平成 25 年度

長周期地震動ハザードマップ作成等支援事業

成果報告書

平成 26 年 3 月

文部科学省研究開発局

独立行政法人防災科学技術研究所

本報告書は、文部科学省の科学技術基礎調査等委託事業による委託業務として、独立行政法人防災科学技術研究所が実施した平成 25 年度「長周期地震動ハザードマップ作成等支援事業」の成果を取りまとめたものです。

目　次

１．長周期地震動ハザードマップ作成等支援事業の概要 ……1
1.1.　長周期地震動ハザードマップについて ……1
1.2.　事業の目的……2
1.3.　事業の内容……3

２．事業の実施体制……4

３．事業の成果 ……5
3.1.　長周期地震動ハザードの評価手法の検討等……5
3.2.　南海トラフの地震を対象とした長周期地震動ハザード評価等 ……12
3.3.　相模トラフの地震を対象とした長周期地震動ハザード評価等 ……59
3.4.　長周期地震動ハザード評価結果等の提示方法の検討等 ……93

４．むすび ……155

付録１　南海トラフの地震を対象とした全シナリオの地震動分布 …… 付録-1
付録２　相模トラフの地震を対象とした全シナリオの地震動分布 ……付録-274

１．長周期地震動ハザードマップ作成等支援事業の概要

1.1.　長周期地震動ハザードマップについて

長周期地震動については、平成 15 年（2003 年）十勝沖地震の際に震央から遠く離れた苫小牧で発生した石油タンク火災の原因の一つとして注目されるなど、近年その危険性が認知され始めた。長周期地震動は、首都圏、中京圏、近畿圏など超高層ビルや長大構造物が集中する平野部で特に顕著に現れる。地震調査研究推進本部では、想定東海地震、昭和型東南海地震、及び 1978 年タイプの宮城県沖地震を対象とした「長周期地震動予測地図」2009 年試作版を 2009 年 9 月に、昭和型南海地震を対象とした「長周期地震動予測地図」2012 年試作版を 2012 年 1 月にそれぞれ作成し、公表している。これらの地域はいずれも近い将来に発生が懸念される南海トラフ沿いの海溝型巨大地震によって長周期地震動に見舞われる可能性が示されている。

一方、2011 年東北地方太平洋沖地震の発生を受けて、これまで知られていたよりも大きな規模の地震まで考慮する必要が生じた。特に、巨大地震発生の切迫性が指摘されている南海トラフの地震や人口が集中する首都圏に大きな影響を及ぼす相模トラフの地震については、過去の地震に基づく少数かつ特定の「シナリオ」を対象とした従来の長周期地震動予測地図にとどまらず、過去に例のない巨大地震により生じる長周期地震動をも考慮した長周期地震動ハザード評価が必要である。今後、これまでの試作版作成等や東北地方太平洋沖地震から得られた知見等を踏まえたさらなる予測手法の高度化だけでなく、広く社会の防災・減災に資する長周期地震動ハザードマップをはじめとした長周期地震動ハザード評価結果の提示が必要であり、そのための研究・検討が早急に必要である。

1.2. 業務の目的

地震調査研究推進本部が公表を目指して検討を進めている、南海トラフ地震、相模トラフ地震を対象とした「長周期地震動ハザードマップ」の作成等を支援するため、長周期地震動ハザード評価のための不確定性を考慮した地震活動のモデル化と長周期地震動シミュレーションにおける震源のモデル化手法および地下構造モデルを提示する。提示した手法に基づいて、南海トラフの地震および相模トラフの地震を対象として、不確定性を考慮した多数の震源モデルによる長周期地震動シミュレーションを実施し、地震活動のモデルとあわせてハザード評価を行う。また、長周期地震動ハザード評価結果や評価に用いたデータを公開するための手段を提示するとともに、ハザード評価結果等が広く社会で活用され防災に資するため、長周期地震動により生じ得る被害、対策等を提示することを目的とする。

（1）長周期地震動ハザードの評価手法の検討等

長周期地震動ハザード評価における地震活動、震源や地下構造のモデル化に必要となるデータや既存モデル等を収集し、整理する。長周期地震動ハザード評価のための地震発生の多様性や不確定性を考慮した地震活動および震源のモデル化手法ならびに長周期地震動ハザード評価に用いる地下構造モデルを提示する。

（2）南海トラフの地震を対象とした長周期地震動ハザード評価等

南海トラフで発生するマグニチュード８程度以上の地震を対象とした長周期地震動ハザード評価を行い、結果をハザードマップ等で提示する。

（3）相模トラフの地震を対象とした長周期地震動ハザード評価等

相模トラフで発生するマグニチュード８程度以上の地震を対象とした長周期地震動ハザード評価を行い、結果をハザードマップ等で提示する。

（4）長周期地震動ハザード評価結果等の提示方法の検討等

長周期地震動ハザードの評価結果および評価に用いた地震活動モデル、震源モデル、地下構造モデルについて、インターネットを通して公開する手段を提示する。一般国民の防災・減災に資するため、長周期地震動の性質、被害事例や対策例を公開する手段を提示する。

1.3. 研究の内容

これまでの「長周期地震動予測地図」試作版の作成等で蓄積されてきた知見等を踏まえつつ、長周期地震動ハザード評価に関する検討を実施する。

サブテーマ（１）では、地震調査研究推進本部による南海トラフの地震および相模トラフの地震の長期評価の内容等に基づいて、長周期地震動ハザード評価に必要なマグニチュード８程度以上の地震発生の多様性や不確定性を考慮した地震活動モデル（地震の規模、発生頻度等）を提示する。長周期地震動シミュレーションのための既往の震源モデルやモデル化手法、および地下構造モデルを収集し、本業務で用いる震源モデル化手法ならびに地下構造モデルを設定する。また、長周期地震動シミュレーション結果に大きく影響を及ぼす破壊開始点およびアスペリティ（または強震動生成域）の位置について、その不確定性を考慮した震源のモデル化手法を提示する。

サブテーマ（２）では、南海トラフで発生するマグニチュード８程度以上の地震を対象として、震源パラメータの不確定性を考慮した多数の震源モデルを作成する。それぞれの震源モデルについて長周期地震動シミュレーションにより地震波形を計算し、地震の発生頻度を考慮することによりハザード評価を行い、結果をハザードマップやハザードカーブとして提示する。

サブテーマ（３）では、相模トラフで発生するマグニチュード８程度以上の地震を対象として、震源パラメータの不確定性を考慮した多数の震源モデルを作成する。それぞれの震源モデルについて長周期地震動シミュレーションにより地震波形を計算し、地震の発生頻度を考慮することによりハザード評価を行い、結果をハザードマップやハザードカーブとして提示する。

サブテーマ（４）では、サブテーマ（２）および（３）の長周期地震動ハザード評価結果だけでなく、サブテーマ（１）で収集したデータや作成したモデルを含めて、インターネットを通してハザード情報を閲覧したりデータをダウンロードできるシステムや携帯端末で利用できるアプリケーションを試作し提示する。また、長周期地震動シミュレーション結果から想定される超高層ビル等の被害や長周期地震動に対する対策法を提示するとともに、長周期地震動の性質や被害事例を広く周知するための方策を提示する。

２．事業の実施体制

所属機関	役職	氏名	担当課題
独立行政法人　防災科学技術研究所	研究領域長	藤原　広行	3.1～3.4
独立行政法人　防災科学技術研究所	主任研究員	森川　信之	3.1～3.4
独立行政法人　防災科学技術研究所	データセンター長	青井　真	3.2, 3.3
独立行政法人　防災科学技術研究所	主任研究員	河合　伸一	3.1, 3.4
独立行政法人　防災科学技術研究所	契約研究員	前田　宜浩	3.1～3.4
独立行政法人　防災科学技術研究所	契約研究員	岩城　麻子	3.1, 3.3
独立行政法人　防災科学技術研究所	契約研究員	東　宏樹	3.4

３．事業の成果

3.1.　長周期地震動ハザードの評価手法の検討等

(1) 事業の内容

(a)　事業の題目

長周期地震動ハザードの評価手法の検討等

(b)　担当者

所属機関	役職	氏名
独立行政法人　防災科学技術研究所	研究領域長	藤原　広行
独立行政法人　防災科学技術研究所	主任研究員	森川　信之
独立行政法人　防災科学技術研究所	主任研究員	河合　伸一
独立行政法人　防災科学技術研究所	契約研究員	前田　宜浩

(c)　事業の目的

長周期地震動ハザード評価における地震活動、震源や地下構造のモデル化に必要となるデータや既存モデル等を収集し、整理する。長周期地震動ハザード評価のための地震発生の多様性や不確定性を考慮した地震活動および震源のモデル化手法ならびに長周期地震動ハザード評価に用いる地下構造モデルを提示する。

(2) 事業の成果

(a)　事業の要約

地震調査研究推進本部による南海トラフの地震および相模トラフの地震の長期評価の内容等に基づいて、長周期地震動ハザード評価に必要なマグニチュード８程度以上の地震発生の多様性や不確定性を考慮した地震活動モデル（地震の規模、発生頻度等）を提示した。長周期地震動シミュレーションのための既往の震源モデルやモデル化手法、および地下構造モデルを収集し、本業務で用いる震源モデル化手法ならびに地下構造モデルを設定した。また、長周期地震動シミュレーション結果に大きく影響を及ぼす破壊開始点およびアスペリティ（または強震動生成域）の位置について、その不確定性を考慮した震源のモデル化手法を提示した。

(b)　事業の成果

1)　地震活動モデル

本検討では南海トラフおよび相模トラフで発生するマグニチュード（以下、M）８程度以上のプレート間巨大地震を長周期地震動ハザード評価の対象とする。

南海トラフの地震に関しては、平成 24 年 5 月に東北地方太平洋沖地震の発生を踏まえた新たな長期評価が公表された（地震調査委員会、2013a）。従来の長期評価では、同じ震源域で同程度の規模の地震が繰返し発生する「固有地震」の考え方に基づいた評価であったが、新しい評価では、過去に発生したことが確認されていないものの、現在の科学的知見

に基づいて起こりうる最大クラスの地震が評価されるとともに、様々なタイプ（規模）の地震が発生する多様性が考慮された評価となった（図 3.1-1）。このように、将来発生する地震として多様な震源モデル（シナリオ）が想定される中では、少数の限られたシナリオのみを考慮した地震動の評価では不十分であり、ある地点に対して及ぼす全ての地震を考慮して、その地点が大きな地震動に見舞われる危険度を評価する確率論的な地震動ハザード評価が有効と考えられる。地震調査研究推進本部（以下、地震本部）では、東北地方太平洋沖地震以後、地震動ハザード評価の改良に向けた検討が進められており、地震調査委員会（2013b）では、南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）に基づいた確率論的地震動ハザード評価が試みられている。その中では、長期評価で例示された震源域（図 3.1-1）に対して、過去に発生した地震（宝永の地震、昭和の地震など）を加味して表 3.1-1 のような「重み」が提示されている。そこで、この「重み」を本検討においても活用することとする。

相模トラフの地震に関して、首都直下地震モデル検討会（2013）は、地震本部と協働した検討により、近い将来に発生する確率は低いとされているものの最大クラスの地震の震源域を提示している。本検討では、平成 24 年度の「長周期地震動予測地図作成等支援事業」を踏まえてその最大クラスの領域区分を行うことにより、南海トラフの地震と同様な評価を実施することとした。このとき各領域に対する「重み」は、地震本部による長期評価や相模トラフ沿いで発生した過去地震を参照して設定することとした。詳細については、3.4 節で述べる。

2) 震源モデル

長周期地震動予測地図 2012 年試作版（地震調査委員会、2012）では、震源インバージョン解析から得られた震源時間関数に対して基底幅 2 秒の三角形パルスを加えることにより、周期 2 秒程度以上の地震動を説明できる震源モデルが作成されている。ただし、震源インバージョン解析結果から得られた個々の要素断層面上での震源時間関数および破壊伝播様式を用いることにより震源過程の複雑さが表現されているものであり、予測のための震源モデル設定に対して同様の複雑さを考慮する手法は現状において確立されていない。

本検討では、震源の多様性および不確実性を考慮した確率論的な長周期地震動ハザード評価を行うため、できるだけ多数の震源モデル（数百ケース）を設定することが必要となる。ただし、すべての不確実性を考慮すると数千ケース以上となり地震動シミュレーションを実施することが困難となることから、本検討では震源モデルの違いによる長周期地震動のばらつきの幅を把握することに重点を置き、平成 24 年度までの「長周期地震動予測地図作成等支援事業」の成果を踏まえて、震源域の拡がり、破壊開始点とアスペリティ（強震動生成域）の配置の不確定性を考慮し、震源パラメータは現状の震源断層を特定した地震の強震動予測手法「レシピ」（地震調査委員会、2009）に基づいて震源パラメータを設定することとした。

（A）巨視的震源パラメータ

海溝型プレート間地震の震源域全体の平均応力降下量については、3.0MPa 程度であるとされている（例えば、Kanamori and Anderson, 1972; Allmann and Shearer, 2009）。一方で、Murotani et al. (2008）では約 2.2MPa、南海トラフの巨大地震モデル検討会（2012）では、M8 クラス以上の巨大地震について 1.9MPa という報告もある。しかしながら、平成 23 年東北地方太平洋沖地震の平均応力降下量は概ね 3～4MPa となっている（南海トラフの巨大地震モデル検討会，2012）ことから、ここでは 3.0MPa を仮定することとした。

以上の仮定のもと、震源域の面積より「レシピ」に従って各パラメータを設定する。

（B）微視的震源パラメータ

平成 24 年度までの「長周期地震動予測地図作成等支援事業」を踏まえて、微視的震源パラメータの設定においては以下の条件を考慮することとした。

- アスペリティ（あるいは強震動生成域）は、各領域区分内に 2 個程度配置し、面積と平均すべり量は、各領域の面積と平均すべり量のそれぞれ 20%と 2.2 倍（Murotani, et al. 2008）とする。
- 震源時間関数は、中村・宮武（2000）によるすべり速度時間関数を基本ケースとする。
- fmax（震源スペクトルの高周波側遮断周波数）は、「レシピ」における 13.5Hz を基本ケースとする。

アスペリティの配置に関して、東北地方太平洋沖地震の分析からはセグメント（領域区分）ごとに 1～2 個となっている（南海トラフの巨大地震モデル検討会，2012）。ここでは、過去の地震に関する震源インバージョン解析結果や南海トラフの巨大地震モデル検討会（2012）による設定も参考に、各領域に 2 個とする。海溝型巨大地震における強震動生成域の大きさに関して、東北地方太平洋沖地震の分析から震源域全体の面積の 10%程度とされる報告もある（南海トラフの巨大地震モデル検討会，2012）。しかしながら、平成 24 年度の「長周期地震動予測地図作成等支援事業」において、上記の条件に基づいて、震源域全体の面積の 20%としたモデル群により本検討で対象とする 5～20 秒の周期帯の地震動について東北地方太平洋沖地震の観測記録を包含できることを確認していることから、ここでは Murotani et al. (2008) による 20%をそのまま用いることとした。各パラメータは、「レシピ」に従って設定する。

（C）その他の震源パラメータ

その他の震源パラメータについては、以下の条件で設定する。

- 破壊伝播速度は、「レシピ」に従い震源域の S 波速度の 72%（2.7km/s ; Geller, 1976）とする。
- 破壊伝播の様式は破壊開始点から同心円状とするが、各アスペリティに到達後、アスペリティ内の破壊はその到達点から同心円状とする（マルチハイポセンター）。

なお、上記（A）～（C）の設定に基づく震源モデルでは破壊伝播の不均質性を考慮し

ていない。そのため、本検討ではマグニチュード（M）8 クラス以上の海溝型巨大地震に対する地震動評価においては、震源モデル全体として周期 5 秒以上が有効となる（地震調査委員会、2004）。

3) 地下構造モデル

周期 2 秒程度以上の長周期地震動シミュレーションに関して、長周期地震動予測地図試作版や平成 24 年度までの「長周期地震動予測地図作成等支援事業」において実績があることから、地震調査委員会（2012）による全国 1 次地下構造モデル（暫定版）を用いる。ただし、フィリピン海プレート上面の深さについては、平成 19 年から平成 23 年度にかけて文部科学省により実施された「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」の成果を踏まえて平成 24 年度の「長周期地震動予測地図作成等支援事業」において修正されたモデルとした（図 3.1-2）。

(c) 結論ならびに今後の課題

本検討では、地震本部による長期評価および内閣府（南海トラフ巨大地震モデル検討会、首都直下地震モデル検討会）に基づいた地震活動モデルと震源域の設定方法を提示した。震源域に関する多様性を考慮し、その不確実性を「重み」を付して表現することにより、確率論的な長周期地震動ハザード評価が可能となることを示した。長周期地震動シミュレーションのための震源モデル設定については、多数の震源モデルを設定する必要性も考慮して、現状の地震本部による強震動予測手法「レシピ」を適用することとした。その結果として、対象となる地震動の周期帯は主に 5 秒程度以上となっている。地下構造モデルについては、平成 24 年度の「長周期地震動予測地図作成等支援事業」の成果物の一つである、全国 1 次地下構造モデル（暫定版）に首都直下地震防災・減災特別プロジェクトの成果を踏まえてフィリピン海プレート上面深さを修正したモデルとした。

多様な震源モデルを考慮するために「重み」を付すことを提示したが、「重み」付け手法について、少なくとも地震動ハザード評価においては現在のところ確立されておらず、今後、専門家の間で合意形成できるような手法の確立に向けた十分な検討を必要とする。長周期地震動シミュレーションのための震源モデルに関して、破壊伝播の不均質性の導入や震源時間関数の形状についてまだ研究途上の段階にあり、海溝型巨大地震の震源をモデル化するための手法を確立していく必要がある。また、今回採用した地下構造モデルに関して、平成 24 年度の「長周期地震動予測地図作成等支援事業」において

・平野の端部付近で観測記録を十分に再現できない地点もあった。
・三次元的な構造として、特に海域について改善の余地が残されている。

などの課題が挙げられている。

水色または青色で塗られる一連の範囲は、地震を同時に発生させると想定される範囲

	深さ	推定破壊域						スケーリング則から推定されるMw
		Z	A	B	C	D	E	
東海・南海地域が連動するパターン	浅部							8.8
	中部	■	■	■	■	■	■	
	深部							
	浅部							9.0[*1]
	中部	■	■	■	■	■	■	
	深部	■	■	■	■	■	■	
	浅部	■	■	■	■	■	■	9.0
	中部	■	■	■	■	■	■	
	深部							
	浅部	■	■	■	■	■	■	9.1[*2]
	中部	■	■	■	■	■	■	
	深部	■	■	■	■	■	■	
	浅部							8.7
	中部		■	■	■	■	■	
	深部							
	浅部		■	■	■	■	■	8.9
	中部		■	■	■	■	■	
	深部							
	浅部							8.8
	中部	■	■	■	■	■		
	深部							
	浅部	■	■	■	■	■		9.0
	中部	■	■	■	■	■		
	深部							
	浅部							8.7
	中部		■	■	■	■		
	深部							
	浅部		■	■	■	■		8.9
	中部		■	■	■	■		
	深部							
	浅部		■	■	■	■		8.4
	中部							
	深部							

図 3.1-1　南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）で例示されている震源域（地震調査委員会、2013a より）。

表 3.1-1　南海トラフの地震の発生パターンと確率論的地震動ハザード評価で付与する重み（地震調査委員会，2013b より）。

	Z (日向灘)	A,B (南海)	C,D (東南海)	E (東海)	重み	M_w	深さ タイプ	No.	
1 地 震	←―――	―――	―――	―――→	0.0125	8.8	①	1	-
	←―――	―――	―――	―――→	0.0125	9.0*[1]	②	2	-
	←―――	―――	―――	―――→	0.0125	9.0	③	3	-
	←―――	―――	―――	―――→	0.0125	9.1*[2]	④	4	-
	×	←―――	―――	―――→	0.1625	8.7	①	5	-
	×	←―――	―――	―――→	0.1625	8.9	③	6	-
	←―――	―――	―――	×	0.0125	8.8	①	7	-
	←―――	―――	―――	×	0.0125	9.0	③	8	-
	×	←―――	―――	×	0.025	8.7	①	9	-
	×	←―――	―――	×	0.025	8.9	③	10	-
		←―――	―――		0.05	8.4	⑤	11	-
2 地 震	←―――	―――	←―――	―――→	0.05	8.7, 8.3	①	12	13
	×	←―――	←―――	―――→	0.325	8.5, 8.3	①	14	13
	←―――	―――	←―――	×	0.025	8.7, 8.2	①	12	15
	×	←―――	←―――	×	0.1	8.5, 8.2	①	14	15
	0.15	1.0	1.0	0.75	1.0				

深さタイプ：　①：深さ 10～25km 程度の震源域　　②：深さ 10～45km 程度の震源域
③：深さ 0～25km 程度の震源域　　④：深さ 0～45km 程度の震源域
⑤：深さ 0～10km 程度の震源域

※1：内閣府　強震動計算モデルのマグニチュード
※2：内閣府　津波計算モデルのマグニチュード

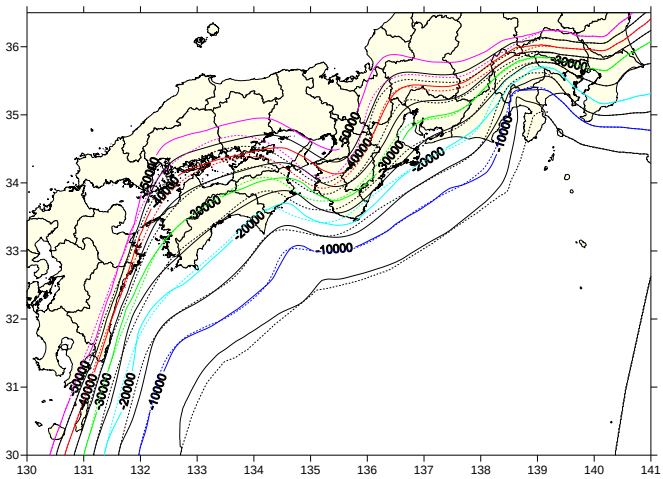


図 3.1-2　本検討で用いたフィリピン海プレート上面深さ（実線）と全国 1 次地下構造モデル（点線）（平成 24 年度「長周期地震動予測地図作成等支援事業」成果報告書より）。

(d) 引用文献

Allmann, B. P. and P. M. Shearer, 2009, Global variations of stress drop for moderate to large earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, **114**, B01310, doi:10.1029/2008JB005821.

Geller, R. J., 1976, Scaling relation for earthquake source parameters and magnitudes, *Bulletin of Seismological Society of America*, **66**, 1501-1523.

地震調査委員会，2004，2003 年十勝沖地震の観測記録を利用した強震動予測手法の検証，千島海溝沿いの地震活動の長期評価（第二版）別添資料.

地震調査委員会，2009，震源断層を特定した地震の強震動予測手法「レシピ」，全国地震動予測地図技術報告書　付録 3.

地震調査委員会，2012,「長周期地震動予測地図」2012 年試作版－南海地震（昭和型）の検討－.

地震調査委員会，2013a，南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）.

地震調査委員会，2013b，今後の地震動ハザード評価に関する検討～2013 年の検討結果～付録.

Kanamori, H. and D. Anderson, 1975, Theoretical basis of some empirical relations in seismology, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **65**, 1073-1095.

Murotani, S., H. Miyake and K. Koketsu, 2008, Scaling of characterized slip models for plate-boundary earthquakes, *Earth Planets and Space*, **60**, 987-991.

中村洋光・宮武隆，2000，断層近傍強震動シミュレーションのための滑り速度時間関数の近似式，地震第 2 輯，**53**，1-9.

南海トラフの巨大地震モデル検討会（内閣府），2012，南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について（第 1 次報告）.

首都直下地震モデル検討会（内閣府），2013，首都直下の M7 クラスの地震及び相模トラフ沿いの M8 クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書.

3.2. 南海トラフを対象とした長周期地震動ハザード評価等

(1) 事業の内容

(a) 事業の題目

南海トラフを対象とした長周期地震動ハザード評価等

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
独立行政法人　防災科学技術研究所	研究領域長	藤原　広行
独立行政法人　防災科学技術研究所	主任研究員	森川　信之
独立行政法人　防災科学技術研究所	データセンター長	青井　真
独立行政法人　防災科学技術研究所	契約研究員	前田　宜浩

(c) 事業の目的

南海トラフで発生するマグニチュード８程度以上の地震を対象とした長周期地震動ハザード評価を行い、結果をハザードマップ等で提示する。

(2) 事業の成果

(a) 事業の要約

南海トラフで発生するマグニチュード８程度以上の地震を対象として、震源パラメータの不確定性を考慮した多数の震源モデルを作成した。それぞれの震源モデルについて長周期地震動シミュレーションにより地震波形を計算し、地震の発生頻度を考慮することによりハザード評価を行い、結果をハザードマップやハザードカーブとして提示した。

(b) 事業の成果

1) 震源モデルの設定

平成 23 年度および平成 24 年度の「長周期地震動予測地図作成等支援事業」では、南海トラフのマグニチュード（以下、M）8 クラスの地震および最大クラスの地震を対象とした長周期地震動シミュレーションが行われている。M8 クラスの地震については、南海地震、東南海地震、想定東海地震などの従来の想定震源域に基づいて震源モデルが設定されているのに対し、最大クラスの地震については、内閣府による「南海トラフの巨大地震モデル検討会　中間とりまとめ（平成 23 年 12 月 27 日公表；以下、内閣府のモデル)」や、地震調査研究推進本部（以下、地震本部）による「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）（平成 25 年 5 月 24 日公表)」で示された最大クラスの震源域に基づいており、震源モデルの設定に関しては、M8 クラスと最大クラスの地震で必ずしも整合が取られていなかった。

長期評価では、最大クラスの震源域を走向方向に 6 区分、深さ方向に 3 区分した小領域に分割し（図 3.2-1)、それらの組み合わせとして、次に発生する地震の震源域の候補が示されている。そこで、本検討においても長期評価に基づいて小領域の組み合わせにより最

大クラス未満の地震の震源域を設定することとし、これにより、確率論的地震動ハザード評価（地震調査委員会、2013b）において設定されている震源域とも整合することとなる。なお、平成 24 年度の検討と同様に、深さ方向に区分された 3 領域のうち、深部領域にはアスペリティ（あるいは強震動生成域）を配置しないこととする。ただし、深部領域と中部領域の境界深さについては、平成 24 年度の検討では内閣府（2012）を参考に約 30km としていたが、本検討では長期評価に従って約 25km とする。これにより、中部領域の面積が減少し、それに伴いアスペリティの大きさも減少した。

（A）巨視的震源パラメータ

3.1 節で述べた方針、および平成 24 年度までの「長周期地震動予測地図作成等支援事業」における検討等を踏まえて、以下のように設定した。

- 対象とする震源域は、確率論的地震動ハザード評価（地震調査委員会、2013b）で想定されているものと同じ 15 ケースとする（図 3.2-2）。
- 全国 1 次地下構造モデル（暫定版）（地震調査委員会、2012）のフィリピン海プレート上面形状を各震源域の形状で切り出して断層面積を算出（表 3.2-1）。
- 震源域全体の平均応力降下量は 3MPa（例えば、Kanamori and Anderson, 1975；Allmann and Shearer, 2009）を仮定する。

（B）微視的震源パラメータ

巨視的震源パラメータと同様に、3.1 節で述べた方針、および平成 24 年度までの「長周期地震動予測地図作成等支援事業」における検討等を踏まえて設定した。ただし、以下の条件についても考慮した。

- アスペリティ（強震動生成域）は、中部領域（深さおよそ 10～25km）の各小領域に 2 個程度配置する。
- 各小領域内のアスペリティ間の面積比は、内閣府のモデル（図 3.2-3）を参考に設定する。
- 浅部領域（深さ 10km 以浅）にはすべりの大きな領域を設定する。
- 浅部領域に対しては滑らかなすべりを表す関数（箱形関数や smoothed ramp 関数とするケースも考慮する。
- fmax について、「レシピ」において地殻内地震に対する値として示されている 6.0Hz とするケースも検討する。

（C）その他の震源パラメータ

その他の震源パラメータについては、3.1 節で述べた通りに設定した。ただし、以下の条件についても考慮した。

- 破壊開始点は、走向方向・深さ方向の領域境界付近（10 か所）を候補とする（図 3.2-3）。
- 浅部領域の破壊伝播速度は、S 波速度の深さ変化を考慮して 2.7km/s よりも遅い

2.3km/s とするケースも仮定する。

（D）計算ケースの設定

震源モデルの違いによる長周期地震動のばらつきの幅を把握することを目的として、上記（A）～（C）に示した方針の中から以下の条件に該当するケースを中心に地震動シミュレーションに用いる震源モデルを作成した。また、いくつかの震源域に対しては、パラメータを細かく設定して震源モデルを作成した（表 3.2-2）。

・破壊開始点：h01、h03、h05 の 3 ケース。
　アスペリティ：中部領域に対して浅い場合と深い場合の 2 ケース
　　浅部領域に対して西側と東側の 2 ケース
・すべり速度時間関数：中村・宮武（2000）
・破壊伝播速度：中部・深部領域に対して 2.7km/s 浅部領域に対して 2.3km/s
・fmax：13.5Hz

結果として、112 ケースとなる。

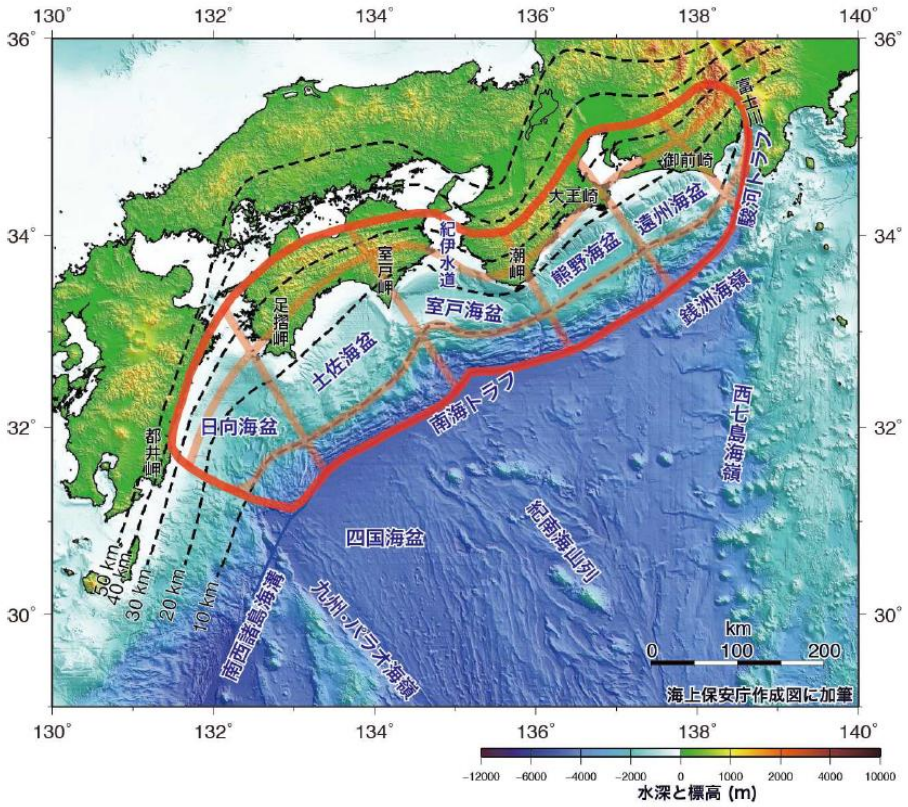


図 3.2-1　長期評価における南海トラフの評価対象領域とその区分け。赤線は最大クラスの震源域。薄い赤線は震源域を類型化するために用いた領域分けの境界線。破線はフィリピン海プレート上面の等深線。「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）について」より抜粋。

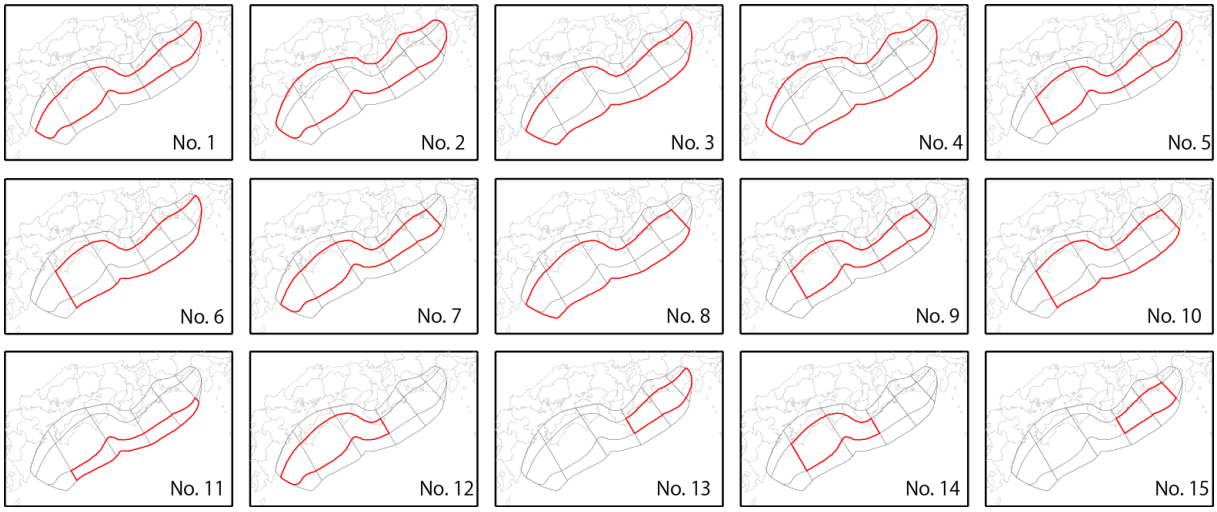


図 3.2-2　本検討で対象とする 15 ケースの震源域。赤線で囲まれた領域がそれぞれの震源域。ケース番号（No.1～15）は表 1 と対応している。

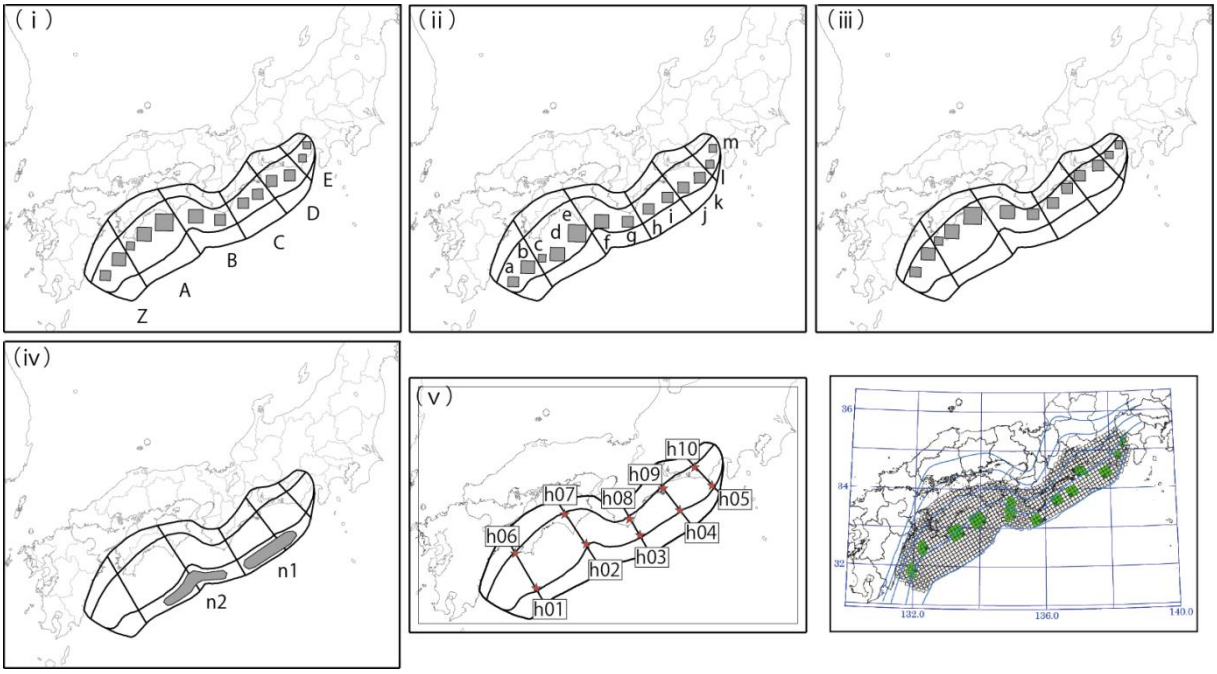


図 3.2-3　アスペリティ（強震動生成域）と破壊開始点の配置。アスペリティは、中部領域に対しては深さによって 3 通り（ｉ～iii）、浅部領域に対しては東南海沖と南海沖の 2 通り（iv）の設定。図中の Z、A~E は走向方向の区分領域、a~m、n1、n2 はアスペリティ番号であり、表 1 と対応している。破壊開始点（赤星印）は、領域境界付近の 10 か所（h01～h10）を考慮（v）。右下には、内閣府により設定されている強震動生成域（基本ケース）を参考として示している。（ｉ）～（iv）の領域が今年度の、（ｖ）が昨年度までの計算対象領域。

表 3.2-1　震源パラメーター一覧。

		Z	A	B	C	D	E	全体			アスペリティ（強震動生成域）																背景領域	面積比
								平均応力降下量（MPa） 3.0			m															s		
								剛性率（GPa） 40.4			Z		A			B		C		D		E					(Σ Sa/S)
											a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n1, n2		
1	d								74370		900	1430	540	1650	2540	1670	1050	970	960	1030	1040	550	540		59500	0.20
	m								2.5E+22		5.5E+20	1.1E+21	2.5E+20	1.4E+21	2.6E+21	1.4E+21	6.9E+20	6.1E+20	6.0E+20	6.7E+20	6.8E+20	2.6E+20	2.5E+20		1.4E+22	
	s								8.3		15.0	18.9	11.6	20.3	25.2	20.5	16.2	15.6	15.5	16.1	16.1	11.7	11.6		5.8	
									8.9		15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0		0.9	
2	d								110480		900	1430	540	1650	2540	1670	1050	970	960	1030	1040	550	540		95610	0.13
	m								4.5E+22		6.7E+20	1.3E+21	3.1E+20	1.7E+21	3.2E+21	1.7E+21	8.4E+20	7.5E+20	7.3E+20	8.2E+20	8.3E+20	3.2E+20	3.1E+20		3.2E+22	
	s								10.1		18.3	23.1	14.2	24.8	30.7	24.9	19.8	19.0	18.9	19.6	19.7	14.3	14.2		8.2	
									9.0		22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3		1.3	
3	d								108070		900	1430	540	1650	2540	1670	1050	970	960	1030	1040	550	540	5710	87490	0.19
	m								4.4E+22		5.1E+20	1.0E+21	2.4E+20	1.3E+21	2.4E+21	1.3E+21	6.4E+20	5.7E+20	5.6E+20	6.2E+20	6.3E+20	2.4E+20	2.4E+20	8.1E+21	2.5E+22	
	s								10.0		14.0	17.6	10.8	18.9	23.4	19.0	15.1	14.5	14.4	14.9	15.0	10.9	10.8	35.2	7.2	
									9.0		15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	15.8	1.0	
4	d								144190		900	1430	540	1650	2540	1670	1050	970	960	1030	1040	550	540	5710	123610	0.14
	m								6.7E+22		5.9E+20	1.2E+21	2.7E+20	1.5E+21	2.8E+21	1.5E+21	7.4E+20	6.6E+20	6.5E+20	7.2E+20	7.3E+20	2.8E+20	2.7E+20	9.4E+21	4.6E+22	
	s								11.6		16.1	20.3	12.5	21.8	27.1	22.0	17.4	16.7	16.7	17.2	17.3	12.6	12.5	40.6	9.3	
									9.2		21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	1.3	
5	d								62710				540	1650	2540	1670	1050	970	960	1030	1040	550	540		50170	0.20
	m								1.9E+22				2.3E+20	1.2E+21	2.4E+21	1.3E+21	6.3E+20	5.6E+20	5.5E+20	6.1E+20	6.2E+20	2.4E+20	2.3E+20		1.1E+22	
	s								7.6				10.6	18.5	23.0	18.6	14.8	14.2	14.1	14.6	14.7	10.7	10.6		5.3	
									8.8				15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0		1.0	
6	d								91890				540	1650	2540	1670	1050	970	960	1030	1040	550	540	5710	73640	0.20
	m								3.4E+22				2.1E+20	1.1E+21	2.1E+21	1.1E+21	5.7E+20	5.1E+20	5.0E+20	5.5E+20	5.6E+20	2.2E+20	2.1E+20	7.2E+21	1.9E+22	
	s								9.2				9.6	16.9	20.9	17.0	13.4	12.9	12.9	13.3	13.4	9.7	9.6	31.4	6.5	
									9.0				15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	1.1	
7	d								68920		900	1430	540	1650	2540	1670	1050	970	960	1030	1040				55140	0.20
	m								2.2E+22		5.1E+20	1.0E+21	2.4E+20	1.3E+21	2.4E+21	1.3E+21	6.4E+20	5.7E+20	5.6E+20	6.3E+20	6.4E+20				1.2E+22	
	s								8.0		14.1	17.7	10.9	19.0	23.6	19.1	15.2	14.6	14.5	15.0	15.1				5.6	
									8.8		15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0				1.0	
8	d								101980		900	1430	540	1650	2540	1670	1050	970	960	1030	1040			5710	82490	0.19
	m								4.0E+22		4.8E+20	9.6E+20	2.2E+20	1.2E+21	2.3E+21	1.2E+21	6.0E+20	5.4E+20	5.3E+20	5.9E+20	6.0E+20			7.7E+21	2.3E+22	
	s								9.7		13.2	16.6	10.2	17.9	22.1	18.0	14.2	13.7	13.6	14.1	14.2			33.2	7.0	
									9.0		15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7			15.7	1.1	
9	d								57270				540	1650	2540	1670	1050	970	960	1030	1040				45820	0.20
	m								1.7E+22				2.1E+20	1.1E+21	2.2E+21	1.2E+21	5.8E+20	5.1E+20	5.1E+20	5.6E+20	5.7E+20				9.5E+21	
	s								7.3				9.8	17.1	21.2	17.2	13.6	13.1	13.0	13.5	13.6				5.1	
									8.8				15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0				1.1	
10	d								85800				540	1650	2540	1670	1050	970	960	1030	1040			5710	68640	0.20
	m								3.1E+22				2.0E+20	1.1E+21	2.0E+21	1.1E+21	5.3E+20	4.7E+20	4.7E+20	5.2E+20	5.3E+20			6.8E+21	1.7E+22	
	s								8.9				9.0	15.8	19.6	15.9	12.6	12.1	12.0	12.5	12.5			29.3	6.2	
									8.9				15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0			15.0	1.2	
11	d								28540															5710	22830	0.20
	m								5.9E+21															2.6E+21	3.3E+21	
	s								5.1															11.3	3.6	
									8.4															15.0	3.0	
12	d								48900		900	1430	540	1650	2540	1670	1050								39120	0.20
	m								1.3E+22		4.0E+20	8.1E+20	1.9E+20	1.0E+21	1.9E+21	1.0E+21	5.1E+20								7.5E+21	
	s								6.7		11.1	14.0	8.6	15.1	18.7	15.1	12.0								4.7	
									8.7		15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0								1.2	
13	d								25460									970	960	1030	1040	550	540		20370	0.20
	m								5.0E+21									4.4E+20	4.3E+20	4.8E+20	4.9E+20	1.9E+20	1.8E+20		2.8E+21	
	s								4.9									11.2	11.1	11.5	11.5	8.4	8.3		3.4	
									8.4									15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0		1.3	
14	d								37250				540	1650	2540	1670	1050								29800	0.20
	m								8.9E+21				1.6E+20	8.4E+20	1.6E+21	8.6E+20	4.3E+20								5.0E+21	
	s								5.9				7.2	12.6	15.7	12.7	10.1								4.1	
									8.6				15.0	15.0	15.0	15.0	15.0								1.5	
15	d								20020									970	960	1030	1040				16020	0.20
	m								3.5E+21									3.7E+20	3.6E+20	4.0E+20	4.1E+20				2.0E+21	
	s								4.3									9.3	9.3	9.6	9.7				3.0	
									8.3									15.0	15.0	15.0	15.0				1.5	

面積 S (km^2)
M_0 (Nm)
すべり量 (m)
Mw

面積 Sa (km^2)
M_0 (Nm)
すべり量(m)
実効応力(MPa)

表 3.2-2　作成した震源モデル。

破壊開始点	h01						h02						h03						h04						h05						h06						h07						h08						h09						h10						
アスペリティ(中部)	深		中		浅		深		中		浅		深		中		浅		深		中		浅		深		中		浅		深		中		浅		深		中		浅		深		中		浅		深		中		浅		
アスペリティ(浅部)	西	東	西	東	西	東	西	東	西	東	西	東	西	東	西	東	西	東	西	東	西	東	西	東	西	東	西	東	西	東	西	東	西	東	西	東	西	東	西	東	西	東	西	東	西	東	西	東	西	東	西	東	
No. 1	○			○									○			○									○			○																										6
No. 2	○			○									○			○									○			○																										6
No. 3	○	○			○	○							○	○			○	○							○	○			○	○																								12
No. 4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	60
No. 5	○		○		○		○		○		○		○		○		○		○		○		○		○		○		○		○		○		○		○		○		○		○		○		○		○		○		30
No. 6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	60
No. 7	○			○									○			○									○			○																										6
No. 8	○	○			○	○							○	○			○	○							○	○			○	○																								12
No. 9	○			○									○			○									○			○																										6
No. 10	○	○			○	○							○	○			○	○							○	○			○	○																								12
No. 11	○	○											○	○											○	○																												6
No. 12	○		○		○		○		○		○		○		○		○																																					9
No. 13													○		○		○		○		○		○		○		○		○												○		○		○		○		○		○		○		18
No. 14	○		○		○		○		○		○		○		○		○														○		○		○		○		○		○														18
No. 15													○		○		○		○		○		○		○		○		○												○		○		○		○		○		○		○		18
																																																					total		279

※　No. 6 については、これに加えて、浅部領域の破壊伝播速度を 2.7km/s とした場合、fmax を 6Hz とした場合、震源時間関数として smoothed ramp 関数を用いた場合についても震源モデルを作成し、計算を行った。

2) 計算結果

まず、上記 1)（D）で示した条件で作成した 112 ケースについての結果から全体的な傾向について検討する。図 3.2-4 に東京都庁、愛知県庁、大阪府庁における工学的基盤上の速度波形を、また、図 3.2-5 にはそれらの相対速度応答スペクトル（減衰定数 5%）を示す。速度波形では、浅部領域を含むケース（No.3, 4, 6, 8, 10, 11）で後続波が支配的であるが、観測点と破壊開始点の位置関係によっては後続波が目立たない場合も見られる（東京都庁・愛知県庁に対して h05、大阪府庁に対して h03 の場合）。また、東京都庁では、図 3.2-3 (i) の E 領域（駿河湾）を含む震源域の場合（No.1～6）に特に振幅レベルが高くなっている。速度応答スペクトルは、東京都庁では約 500cm/s（周期 10 秒付近）、愛知県庁では約 300cm/s（周期 3 秒付近）、大阪府庁では約 300cm/s（周期 4 秒付近）が最大値となっている。平成 24 年度の検討では、最大クラスの地震についてさらに多様な震源モデルを用いた計算が行われているが、本検討の結果（図 3.2-5 上）は平成 24 年度の結果（図 3.2-5 下）よりも全般的に小さな応答値となっている。

まず、平成 24 年度と本検討の結果の違いについて考察する。これらの相違は、地下構造モデルと震源モデルの設定に起因している。そこで、地下構造モデル 2 ケース、震源モデル 3 ケースを設定し、それぞれの影響について検討した。これらは、平成 24 年度の東京都庁での最大ケースに対応する。この震源モデルは、

(1) 固定サイズ（20km×20km）のアスペリティを中部領域に配置する。
(2) 浅部領域と中部・深部領域を 2 つのセグメントとし、両セグメントの平均応力降下量が一定となるように地震モーメントを配分する。

という方針で作成されている。(1) に関しては、本検討では中部領域の面積が減少しているため、同じ方針で震源モデルを設定した場合でも配置されるアスペリティの数が少なくなる。また、(2) に関しては、本検討も平成 24 年度の検討も全体の地震モーメントは同じであるが、本検討の設定では浅部領域に配分される地震モーメントが相対的に大きくなっている。これらの違いの影響を調べるために、次の 4 つのケースについて計算を行い、東京都庁での速度波形と速度応答スペクトルを比較した（図 3.2-6）。

①本検討の震源モデルおよび地下構造モデル
②平成 24 年度の検討のアスペリティおよび地震モーメント、本検討の地下構造モデル
③平成 24 年度の検討の震源モデル、本検討の地下構造モデル
④平成 24 年度の検討の震源モデルおよび地下構造モデル

本検討の結果①に比べ平成 24 年度の結果④は、最大速度で 2 倍程度、応答スペクトルは周期帯によるが 1.2～5 倍程度大きい。このうち震源モデルによる寄与としては、まず、中部領域への地震モーメント配分を大きくすることで（①→②）、最大速度は 1.2 倍程度、応答スペクトルは周期帯によっては 1.5 倍程度増大している。さらに、アスペリティ数がふえることにより（②→③）、最大速度で 1.1～1.4 倍程度、応答スペクトルでは 1.5～2 倍程度増加している。これに対し、地下構造モデルによる寄与は（③→④）、最大速度は 1.2 倍程度変化しているが、速度応答スペクトルには系統的な違いは見られない。以上から、平

成 24 年度と本検討の振幅レベルの違いは主として震源モデルの設定方法の違いに起因したものと考えられる。

既往の結果との比較として、「長周期地震動予測地図」2009 年試作版（地震調査委員会、2009）の昭和東南海地震、2012 年試作版（地震調査委員会、2012）の昭和南海地震の計算結果との比較を行った。ここで、昭和東南海地震、昭和南海地震は、それぞれ本検討の No.15 と No.14 に相当するとし、図 3.2-4 に示した 3 地点において比較した（図 3.2-8）。No.14 と No.15 に対してはそれぞれ 18 ケースの計算を行っている（表 3.2-2）。いずれの地点においても応答スペクトルのばらつきはケース間で 10 倍以上となっており、試作版の結果はそのばらつきの範囲に収まっている。ケース間のばらつきの主要因は破壊開始点の違いによることから、長周期地震動予測地図試作版で設定されている破壊開始点（図 3.2-7）に対応するケースについて見ると、昭和東南海地震の破壊開始点に対応する h08 のケースでは東京都庁、愛知県庁では大きく、大阪府庁では小さくなっている。No.15 の震源域は昭和東南海地震の震源域に比べ東側に広く設定されており、それによりアスペリティの数も増えることから、震源域の東側で大きくなると考えられる。一方、No.15 の震源域と h08 の破壊開始点の組み合わせでは断層破壊が東側のみに広がるため、震源域西側では小さくなる。図 3.2-8a には、昭和東南海地震の震源域とほぼ対応するモデルを用いた平成 23 年度の検討結果を参考として示している。本検討とは破壊開始点とアスペリティ配置がやや異なっており（図 3.2-7）、大阪府庁でも振幅が大きくなっている。反対に、東京都庁では振幅が小さくなるケースが見られる。なお、長周期地震動予測地図試作版に用いられている震源モデル（山中、2004）は Mw8.1、平均応力降下量 1.23MPa であるのに対して、本検討では Mw8.3 と 3MPa、平成 23 年度の検討におけるモデルでは Mw8.2 と 3MPa であり、震源モデルの設定が昭和東南海地震に対して大きいことも振幅が大きくなる一因である。昭和南海地震については、長周期地震動予測地図試作版で結果が示されている愛知県庁と大阪府庁で比較する（図 3.2-8b）。昭和南海地震の破壊開始点は h03 に対応しており、震源域との位置関係により愛知県庁では振幅が小さい。一方、大阪府庁では長周期地震動予測地図試作版とほぼ同じ振幅レベルとなっている。昭和南海地震の震源モデルは、Mw8.4、平均応力降下量 1.18MPa であるのに対して、本検討は Mw8.6 と 3MPa、平成 23 年度の検討では Mw8.5 と 3MPa であり、震源モデルとしては規模が大きいものの、大阪に対しては四国沖のアスペリティの影響が小さいことなどにより同程度の振幅レベルとなっていると考えられる。なお、ここでは示さないが、九州においては本検討結果の方が大きな振幅レベルとなっている。

図 3.2-9 に 3 地点における最大速度（PGV）と速度応答値（周期 5 秒、7 秒、10 秒；減衰定数 5%）のヒストグラム（頻度分布）を示す。表 3.2-2 に示した 279 ケースに対するヒストグラムとともに、それらを 15 の震源域ごとに分けて作成したヒストグラムも示している。全体的な傾向として、震源域が広いほど（M が大きいほど）振幅レベルは高い。東京都庁では他の 2 地点に比べてばらつきが大きく、破壊開始点が西側（赤いバー）のケースや、すべりの大きな領域が東側（▽）のケースで振幅レベルが高いのに対し、駿河湾の領域を含まない No.7～12, 14, 15 のケースで破壊開始点が東側（h05；青いバー）の場

合には振幅が顕著に小さい。愛知県庁では、すべりの大きな領域が東側（▽）のケースで振幅レベルが高い傾向が見られる。また、東南海の領域を含まない No.12, 14 のケースで破壊開始点が中央付近（h03；緑のバー）の場合に振幅が小さくなっている。大阪府庁では、すべりの大きな領域が西側（△）で、破壊開始点が西側（赤いバー）の場合に振幅が大きい。

No.4～6, 13～15 の震源域に対しては、他に比べて破壊開始点を細かに設定した計算を行っている（表 2)。他の震源域に対して設定している h01、h03、の 3 か所のみを考慮した場合と、その他の点も考慮した場合での最大速度、速度応答値の分布の比較を図 3.2-10 に示す。震源域の東側延長上に位置する東京都庁では、3 か所（赤、青、緑）を考慮することで全体のばらつきの幅を概ね表すことができているが、愛知県庁と大阪府庁では 3 か所のみを考慮した場合には、ばらつきの下限を大きめに評価している。また、愛知県庁では最も震源域の広い No.4 に対して、3 か所を考慮した結果が最大値を含む階級に含まれていない。したがって、全体のばらつきの幅を把握するためには、最大、最小となる震源域に対して破壊開始点を細かく設定する必要がある。

No.6 の震源域を対象として、fmax の違い、すべり速度時間関数の違い、浅部領域の破壊伝播速度の違いによる影響について検討した。fmax については、「レシピ」において内陸地殻内（活断層）地震に対して適用する 6.0Hz を用いた場合について、すべり速度時間関数については浅部領域に対して中村・宮武（2000）ではなく smoothed ramp 関数を用いた場合について、破壊伝播速度については中部・浅部と同じ 2.7km/s とした場合について、最大速度、速度応答値を比較した（図 3.2-11)。fmax とすべり速度時間関数については 36 ケースの比較、破壊伝播速度については 18 ケース（破壊開始点が h01～h05 の 5 通り）のみを対象とした比較となっている。なお、smoothed ramp 関数のライズタイムは、中村・宮武（2000）の関数で用いているものと同じとした。fmax については、小さな値を与えることで中村・宮武（2000）の関数における最大すべり速度が小さく設定されることになるが、fmax が 13.5Hz の場合と 6Hz の場合で結果に顕著な違いは認められなかった。これに対して、すべり速度時間関数を smoothed ramp 関数とした場合には、中村・宮武（2000）の関数を用いた場合に比べて振幅レベルの低減が認められた。一方で、破壊伝播速度を大きくした場合には振幅レベルの増加が認められる。平成 24 年度までの検討においても、浅部領域に対して箱形関数を仮定した場合や破壊伝播速度を遅くした場合に振幅レベルの低減が確認されており、浅部領域のモデルの設定が長周期地震動の評価において重要な課題であると言える。

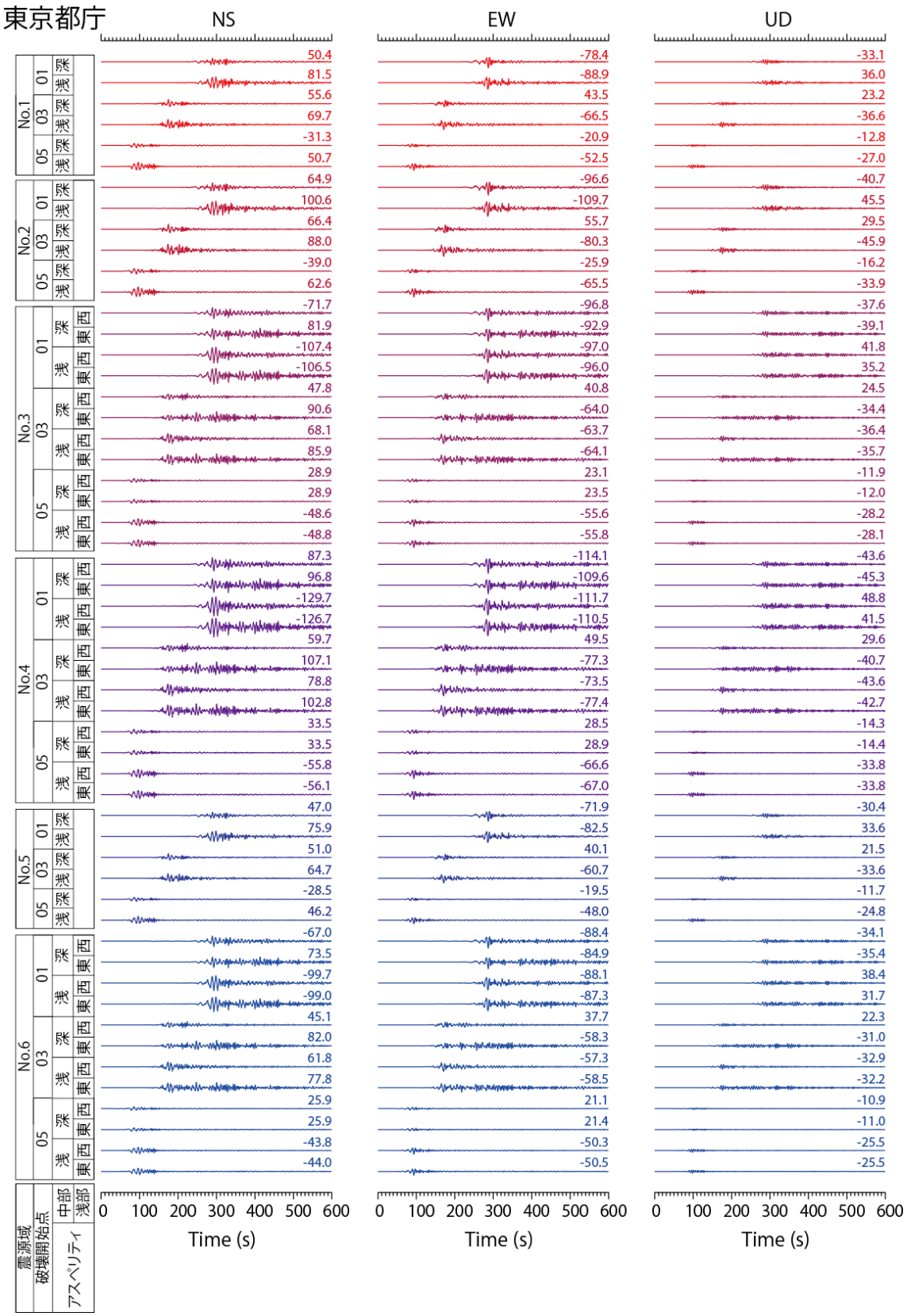


図 3.2-4a　東京都庁における速度波形。同じ震源域に対応する波形を同色で示している。波形は 112 ケース中の最大値で規格化している。

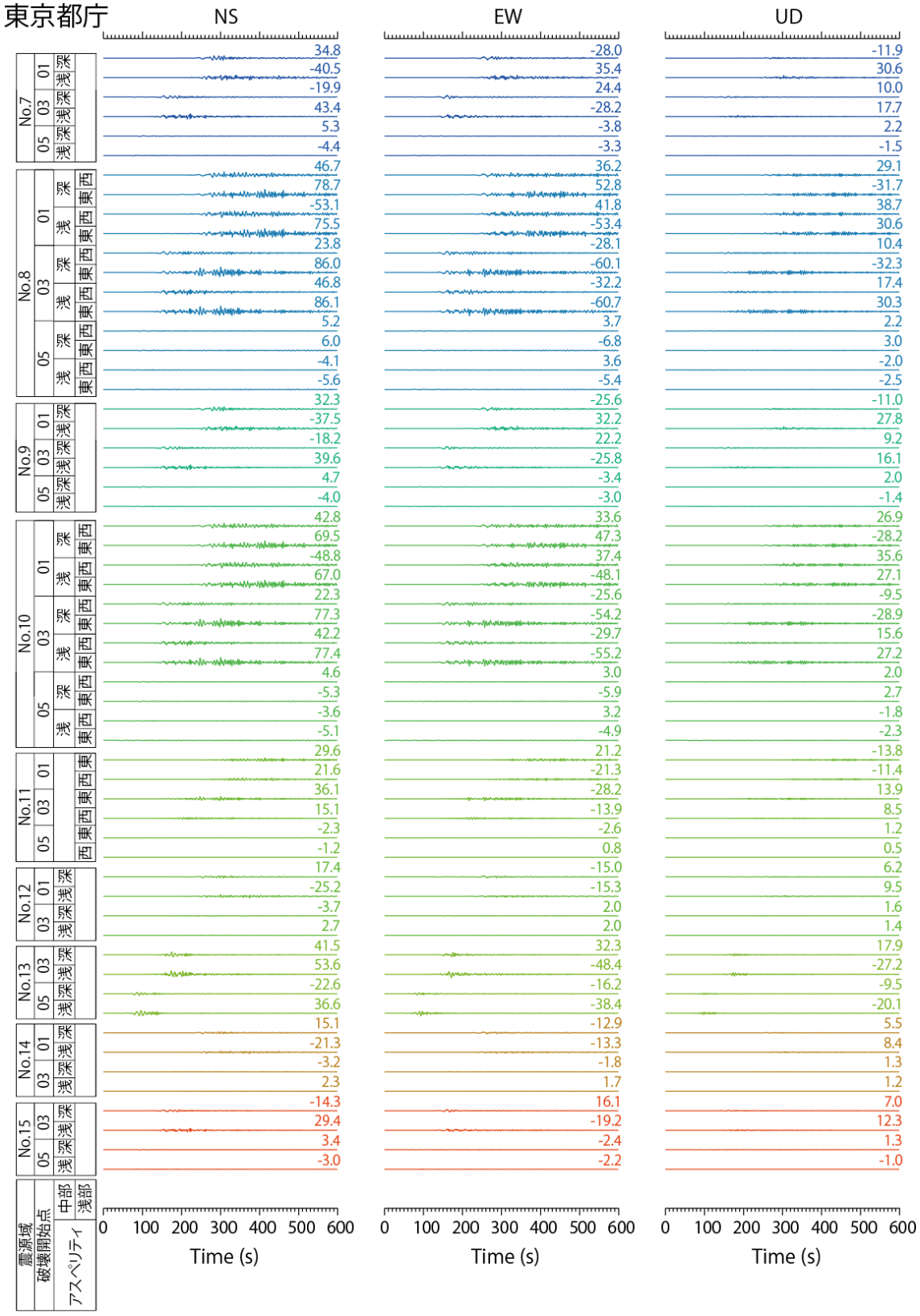

東京都庁
NS
EW
UD
No.7
No.8
No.9
No.10
No.11
No.12
No.13
No.14
No.15
震源域
破壊開始点
アスペリティ
浅部
中部
34.8 -40.5 -19.9 43.4 5.3 -4.4 46.7 78.7 -53.1 75.5 23.8 86.0 46.8 86.1 5.2 6.0 -4.1 -5.6 32.3 -37.5 -18.2 39.6 4.7 -4.0 42.8 69.5 -48.8 67.0 22.3 77.3 42.2 77.4 4.6 -5.3 -3.6 -5.1 29.6 21.6 36.1 15.1 -2.3 -1.2 17.4 -25.2 -3.7 2.7 41.5 53.6 -22.6 36.6 15.1 -21.3 -3.2 2.3 -14.3 29.4 3.4 -3.0
-28.0 35.4 24.4 -28.2 -3.8 -3.3 36.2 52.8 41.8 -53.4 -28.1 -60.1 -32.2 -60.7 3.7 -6.8 3.6 -5.4 -25.6 32.2 22.2 -25.8 -3.4 -3.0 33.6 47.3 37.4 -48.1 -25.6 -54.2 -29.7 -55.2 3.0 -5.9 3.2 -4.9 21.2 -21.3 -28.2 -13.9 -2.6 0.8 -15.0 -15.3 2.0 2.0 32.3 -48.4 -16.2 -38.4 -12.9 -13.3 -1.8 1.7 16.1 -19.2 -2.4 -2.2
-11.9 30.6 10.0 17.7 2.2 -1.5 29.1 -31.7 38.7 30.6 10.4 -32.3 17.4 30.3 2.2 3.0 -2.0 -2.5 -11.0 27.8 9.2 16.1 2.0 -1.4 26.9 -28.2 35.6 27.1 -9.5 -28.9 15.6 27.2 2.0 2.7 -1.8 -2.3 -13.8 -11.4 13.9 8.5 1.2 0.5 6.2 9.5 1.6 1.4 17.9 -27.2 -9.5 -20.1 5.5 8.4 1.3 1.2 7.0 12.3 1.3 -1.0
0 100 200 300 400 500 600
Time (s)

図 3.2-4a　続き。

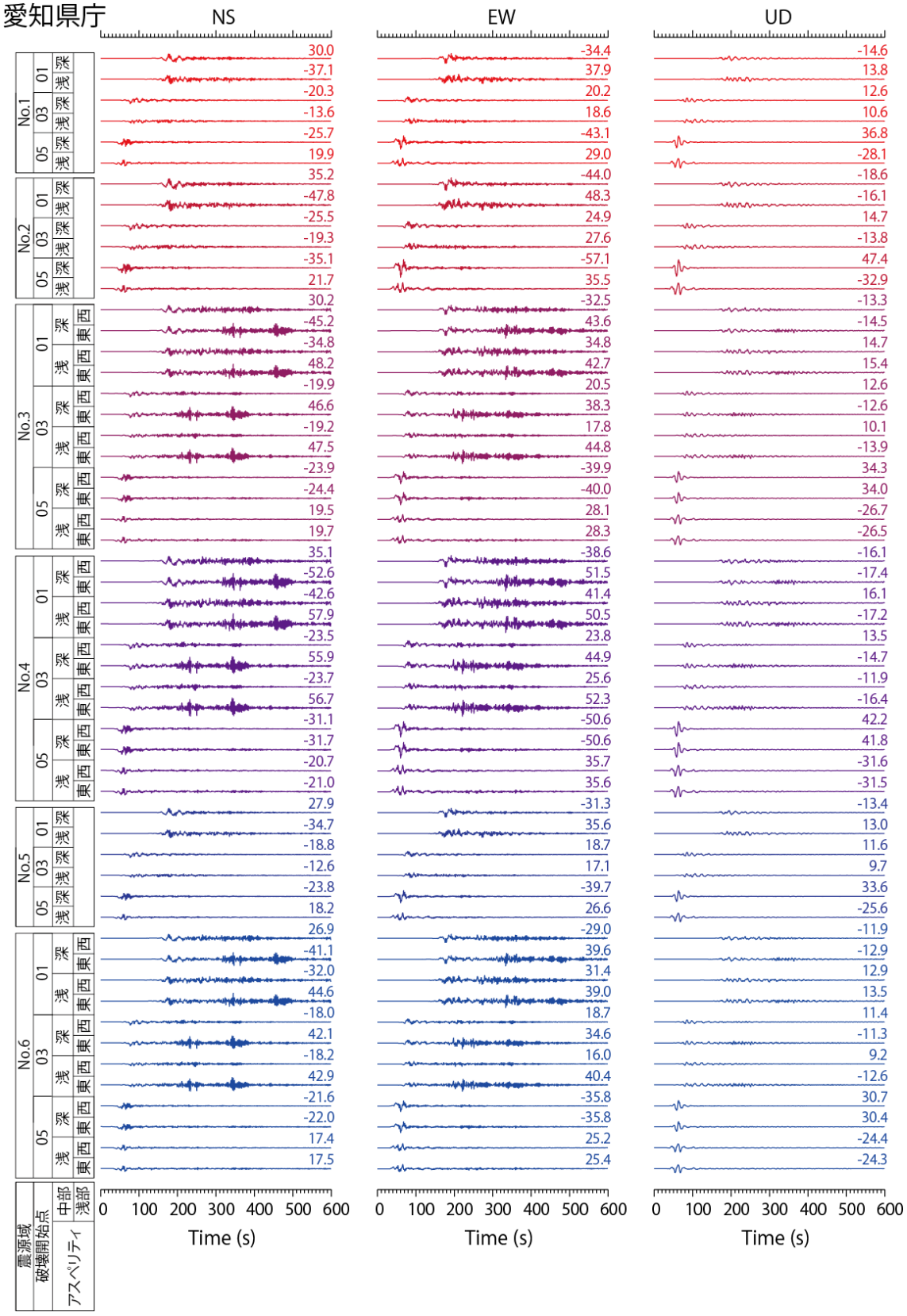


図 3.2-4b　愛知県庁における速度波形。同じ震源域に対応する波形を同色で示している。波形は 112 ケース中の最大値で規格化している。

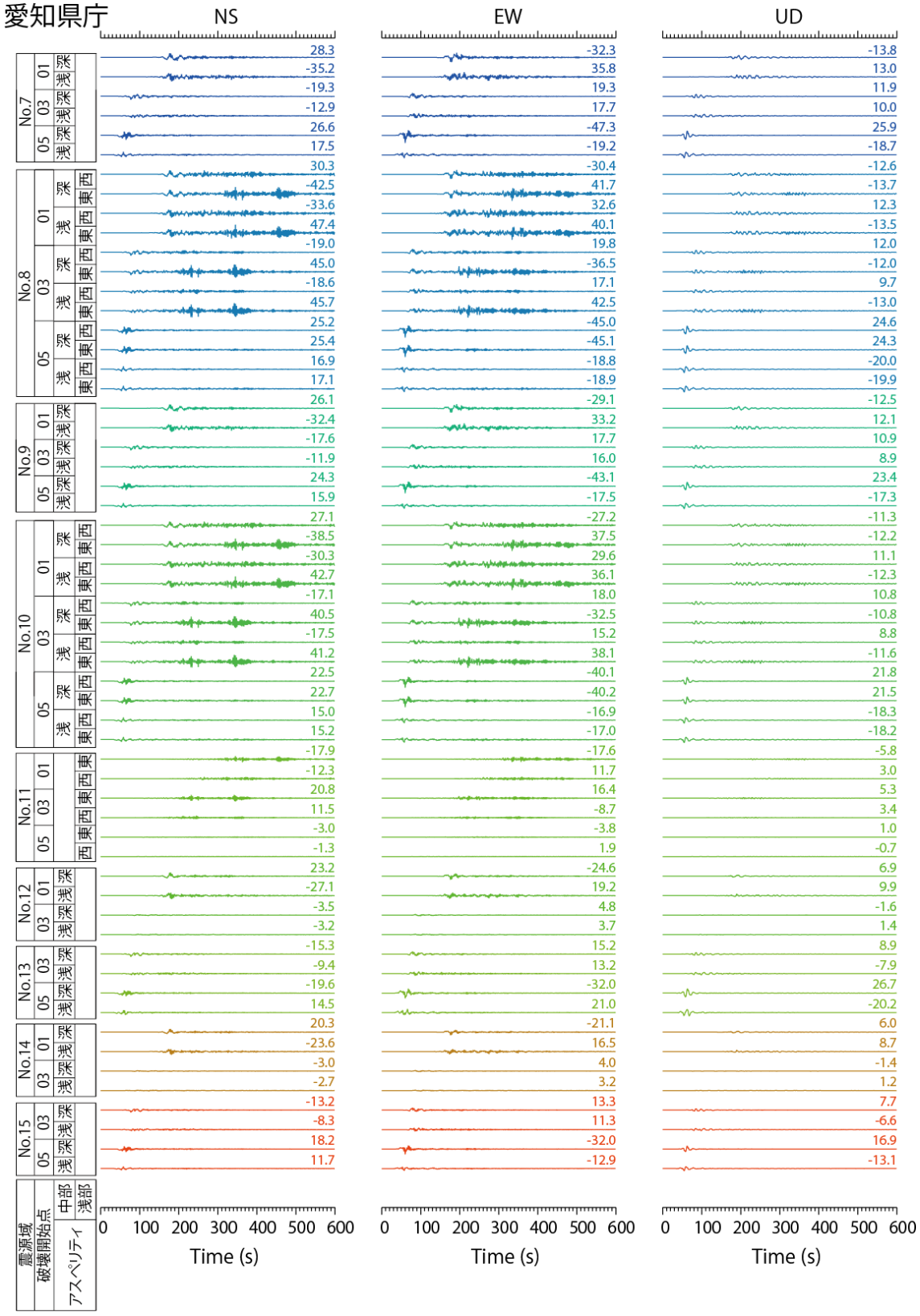

愛知県庁
NS
EW
UD
震源域
破壊開始点
アスペリティ
中部
浅部
No.7
No.8
No.9
No.10
No.11
No.12
No.13
No.14
No.15
Time (s)
0 100 200 300 400 500 600

図 3.2-4b　続き。

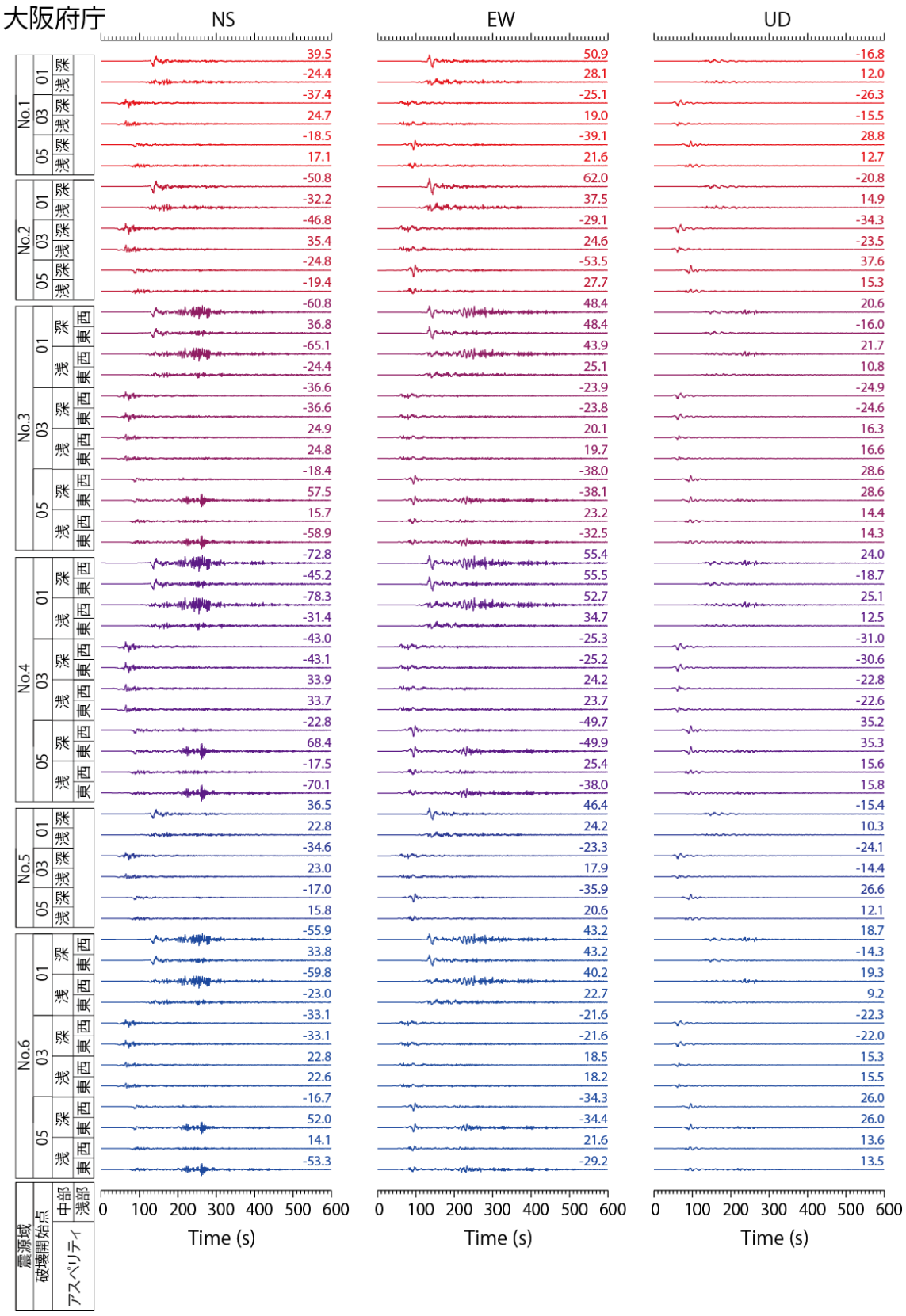


図 3.2-4c　大阪府庁における速度波形。同じ震源域に対応する波形を同色で示している。波形は 112 ケース中の最大値で規格化している。

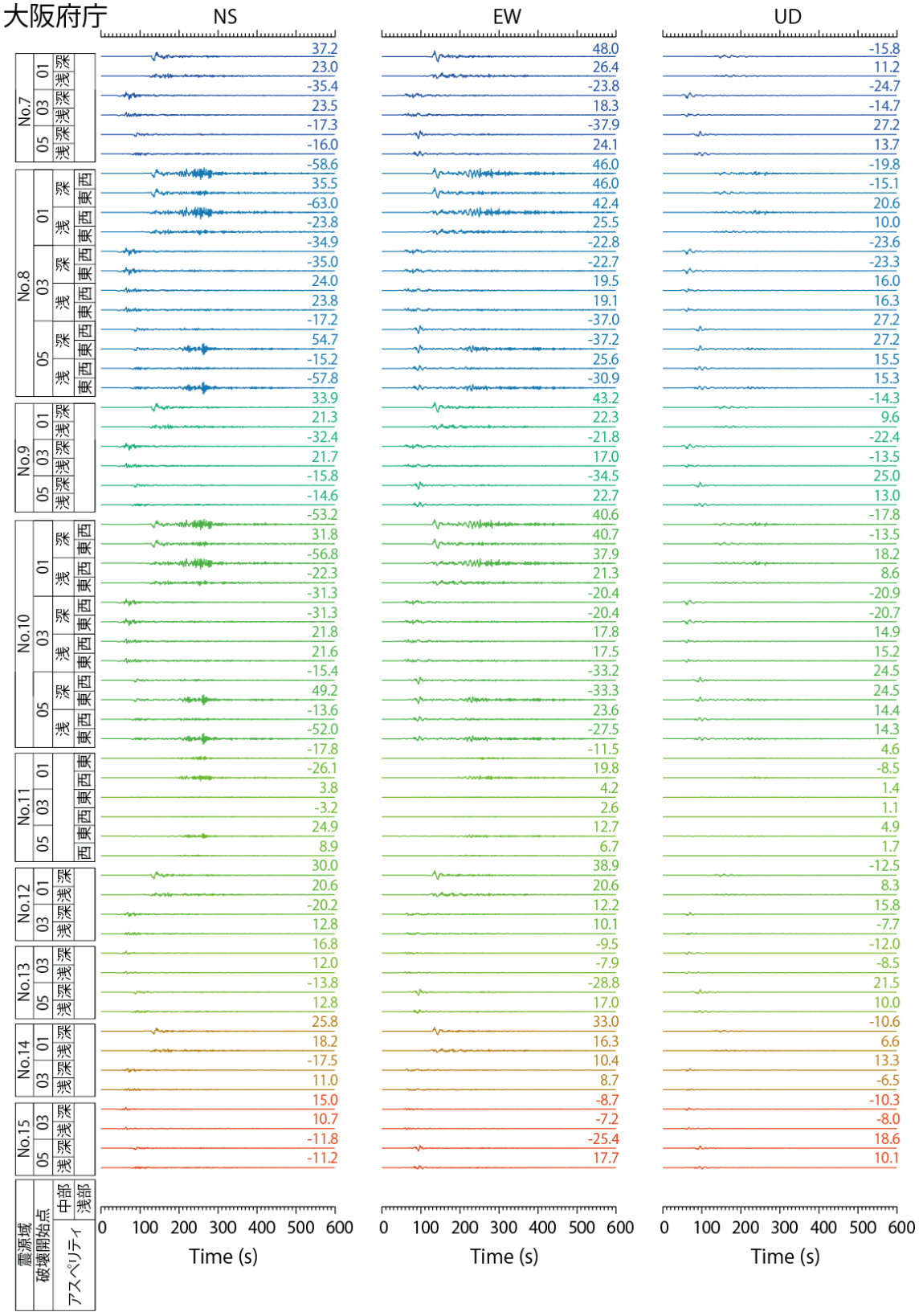

大阪府庁
NS
EW
UD
No.7
No.8
No.9
No.10
No.11
No.12
No.13
No.14
No.15
震源域
破壊開始点
アスペリティ
中部
浅部
0 100 200 300 400 500 600
Time (s)

図 3.2-4c　続き。

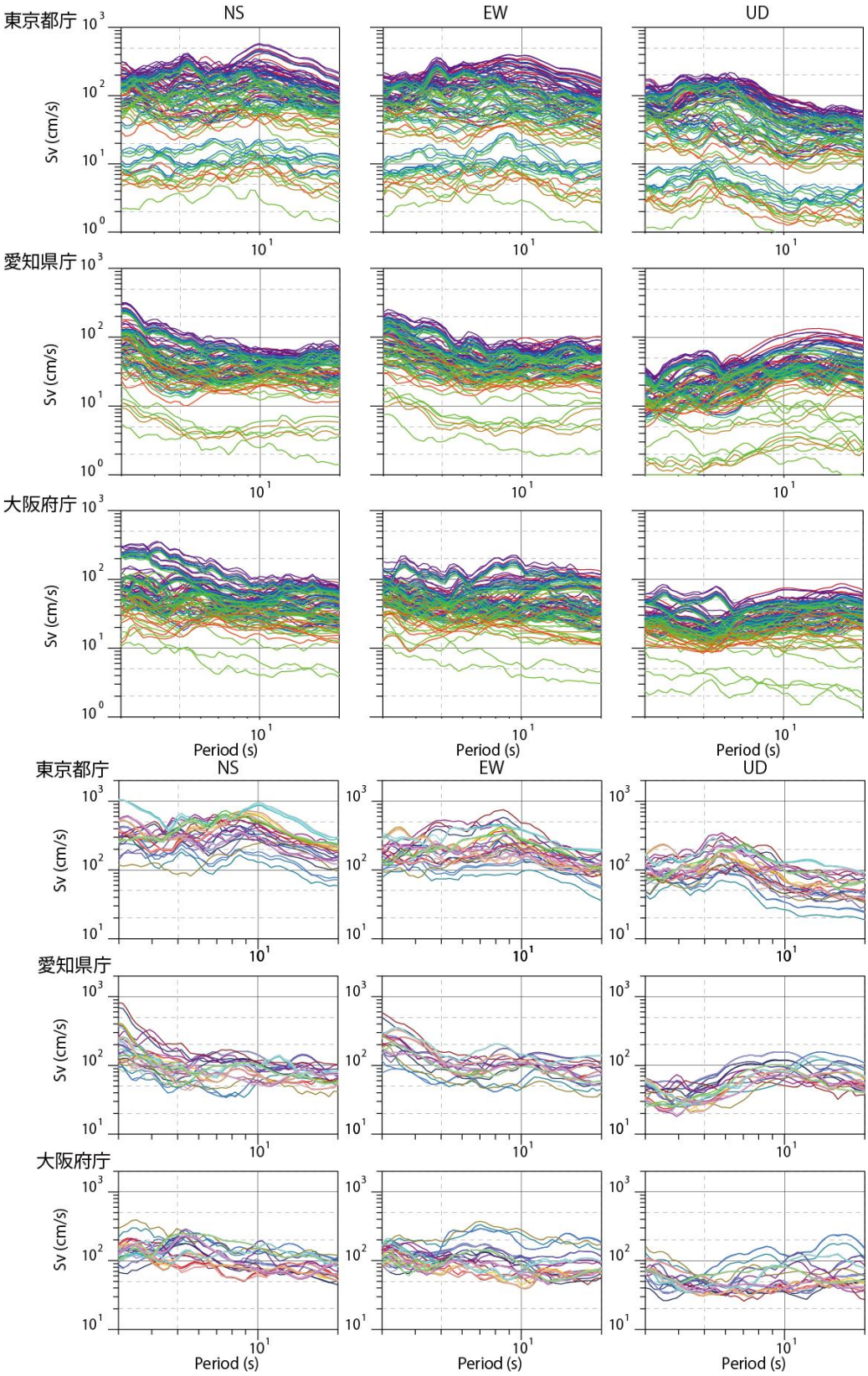


図 3.2-5　1 - 3 段目：東京都庁、愛知県庁、大阪府庁における 112 ケースの速度応答スペクトル（減衰 5%）。スペクトルの色は、図 4a~c の波形の色と対応している。4－6 段目:昨年度の検討による、最大クラス地震の速度応答スペクトル(減衰 5%)。

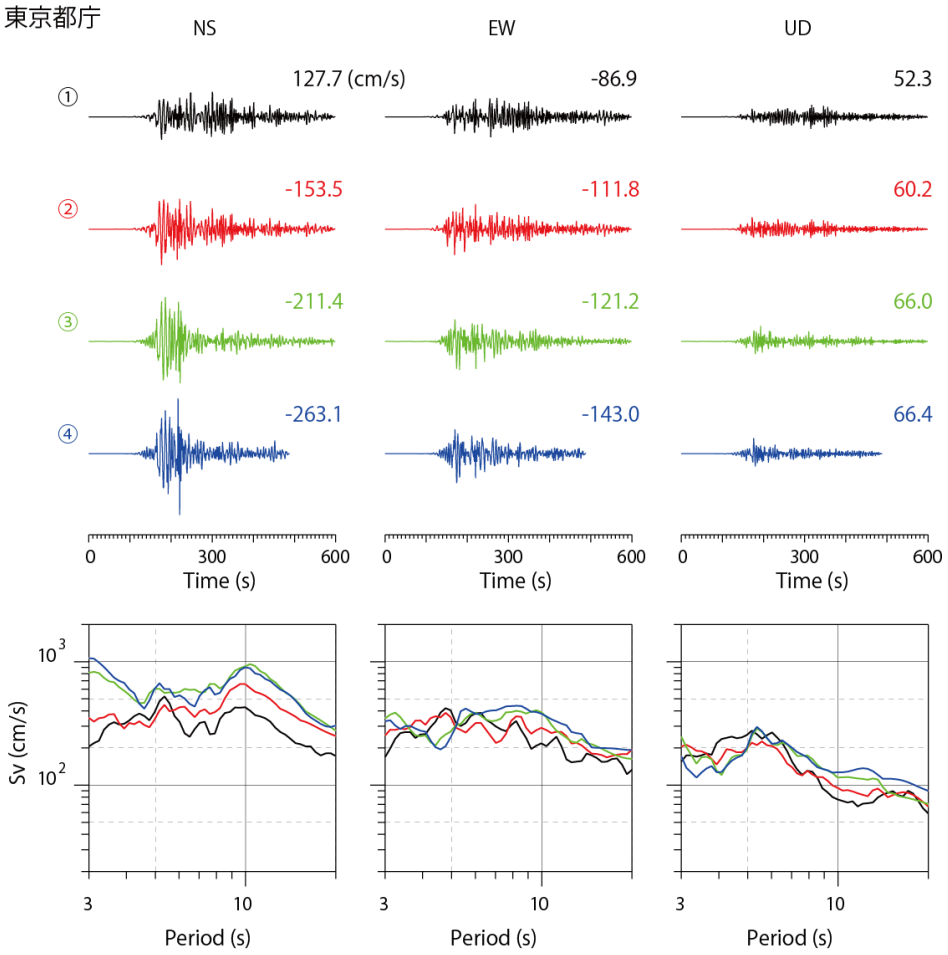


図 3.2-6　平成 24 年度と本検討の計算結果の比較。①~④は、それぞれ、①：本検討の震源・地下構造、②：本検討のアスペリティ、平成 24 年度の地震モーメント、本検討の地下構造、③：平成 24 年度の震源、本検討の地下構造、④：平成 24 年度の震源・地下構造を用いて行った計算結果。速度応答スペクトルの各色は波形と対応している。

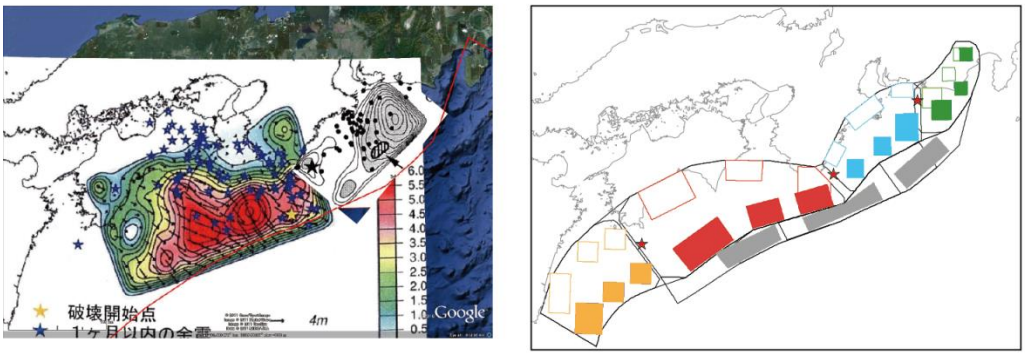


図 3.2-7　左：長周期地震動予測地図で用いられている昭和南海地震と昭和東南海地震の震源モデル。右：平成 23 年度の検討に用いた震源モデル。

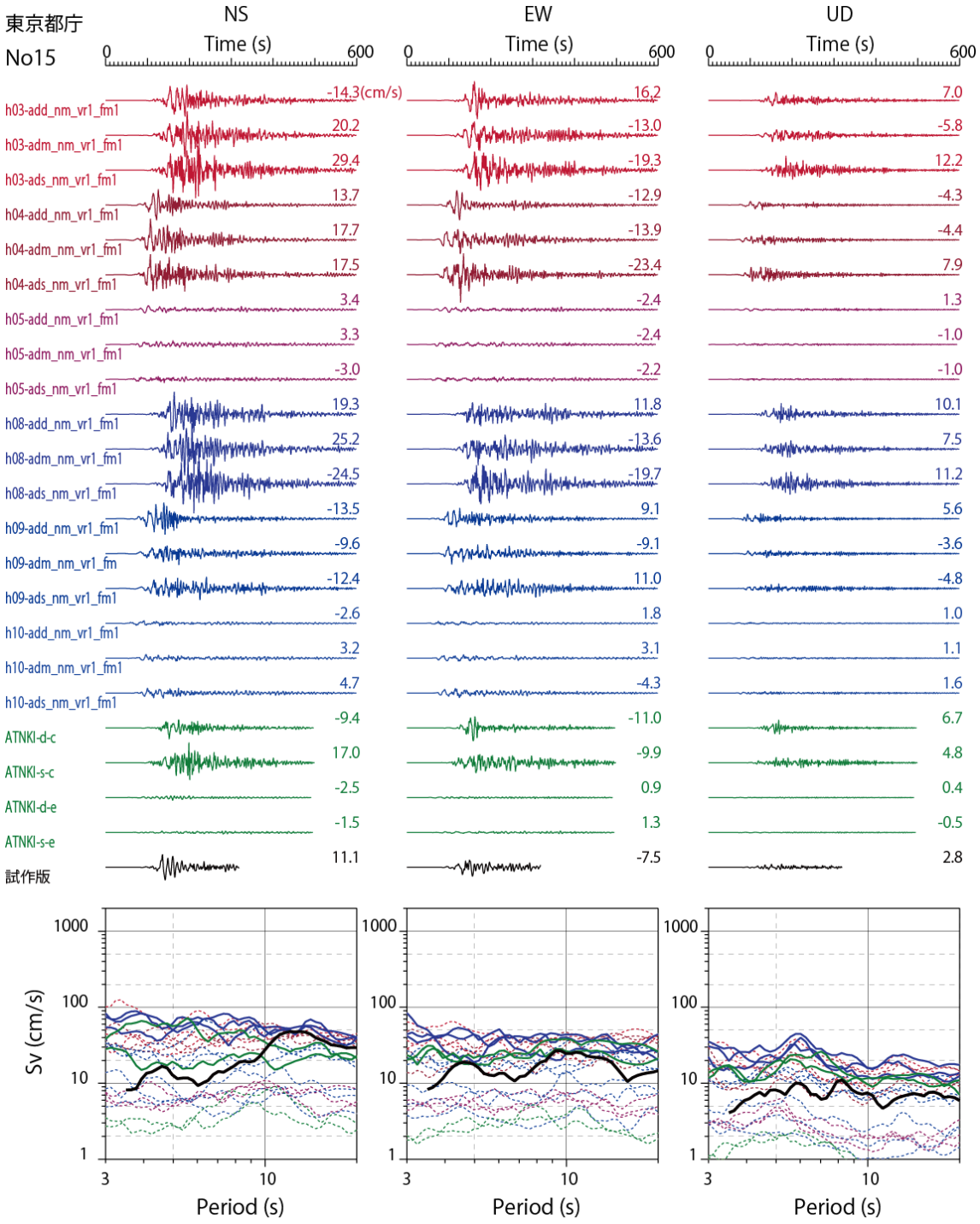


図 3.2-8a　長周期地震動予測地図（昭和東南海地震）との比較。東京都庁における、本年度の結果（赤~青）、平成 23 年度の結果（緑）、長周期地震動予測地図（黒）による速度波形と速度応答スペクトル（減衰 5%）。昭和東南海地震の破壊開始点に最も近いケース（h08）については、スペクトルを実線で描いている。

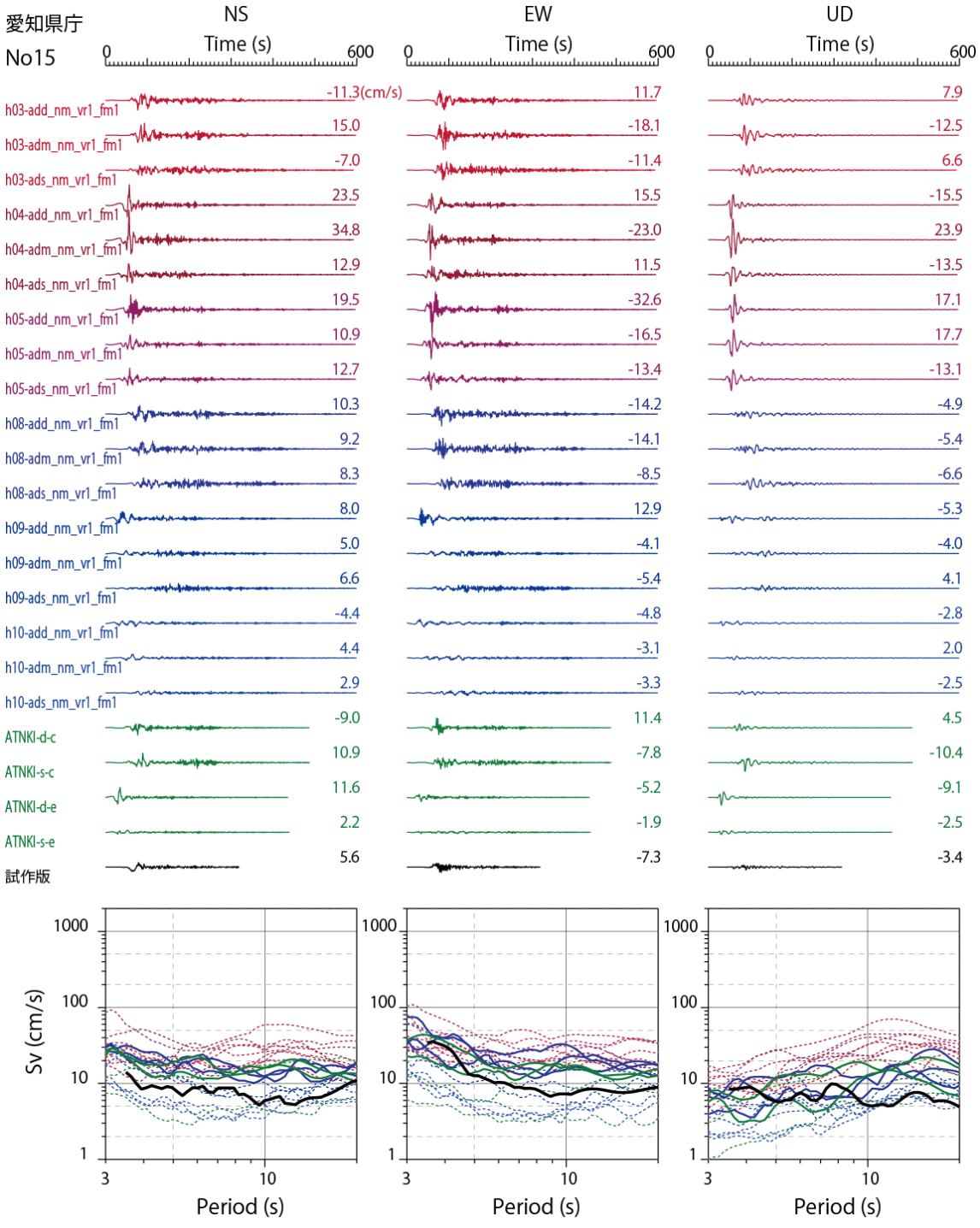


図 3.2-8a　つづき（愛知県庁について）。

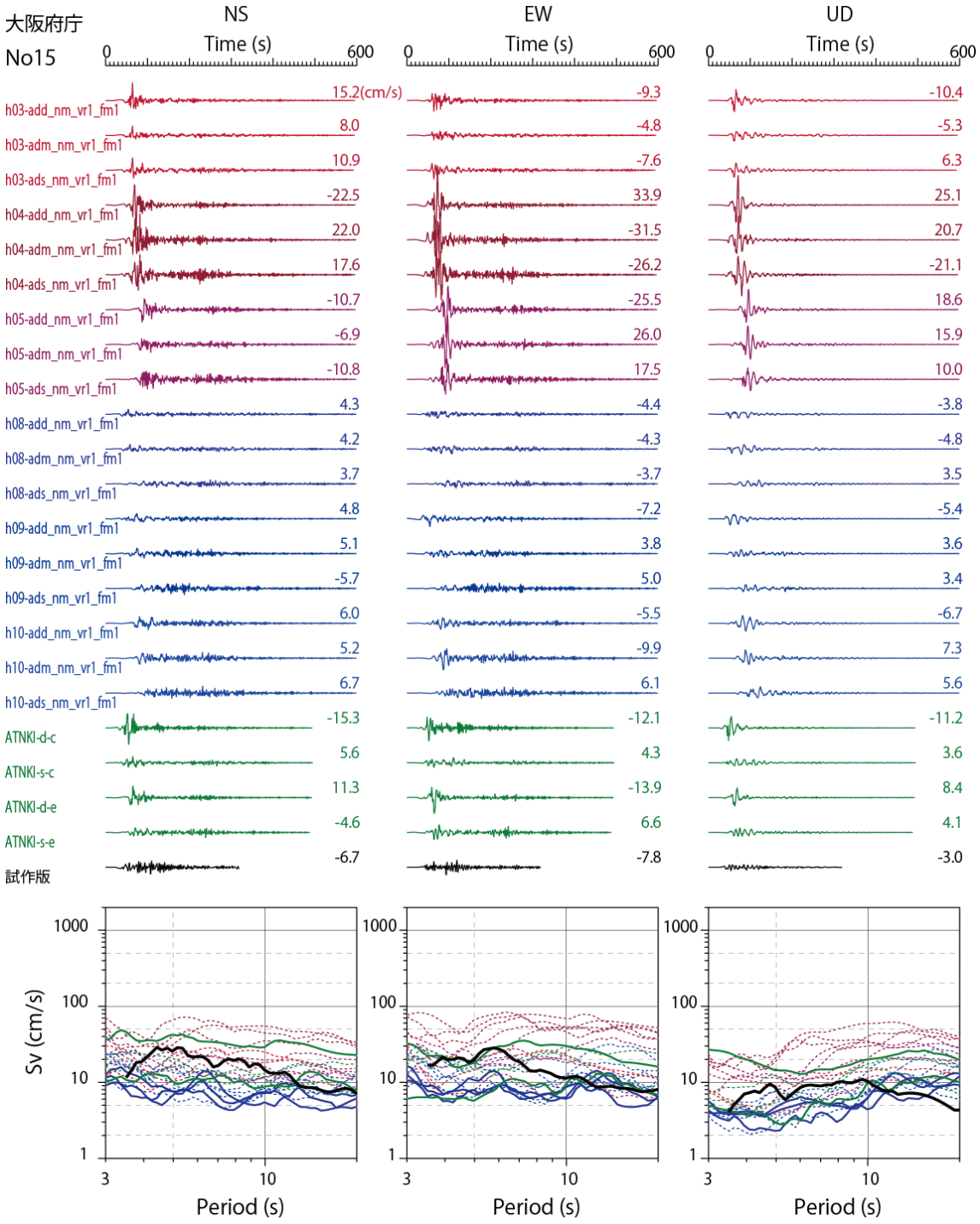


図 3.2-8a　つづき（大阪府庁について）。

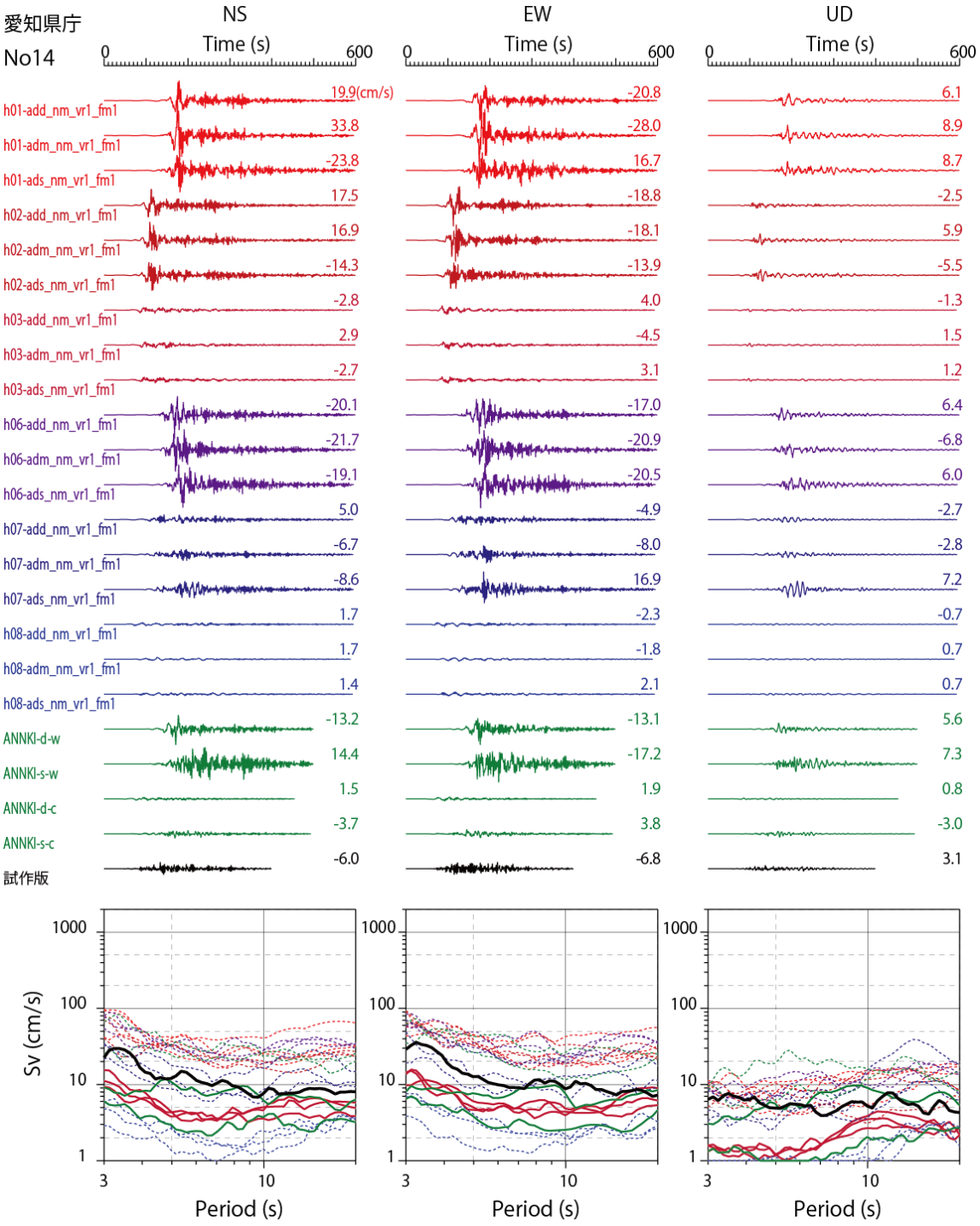


図 3.2-8b　長周期地震動予測地図（昭和南海地震）との比較。愛知県庁における、本年度の結果（赤~青）、平成 23 年度の結果（緑）、長周期地震動予測地図（黒）による速度波形と速度応答スペクトル（減衰 5%）。昭和南海地震の破壊開始点に最も近いケース（h03）について、スペクトルを実線で描いている。

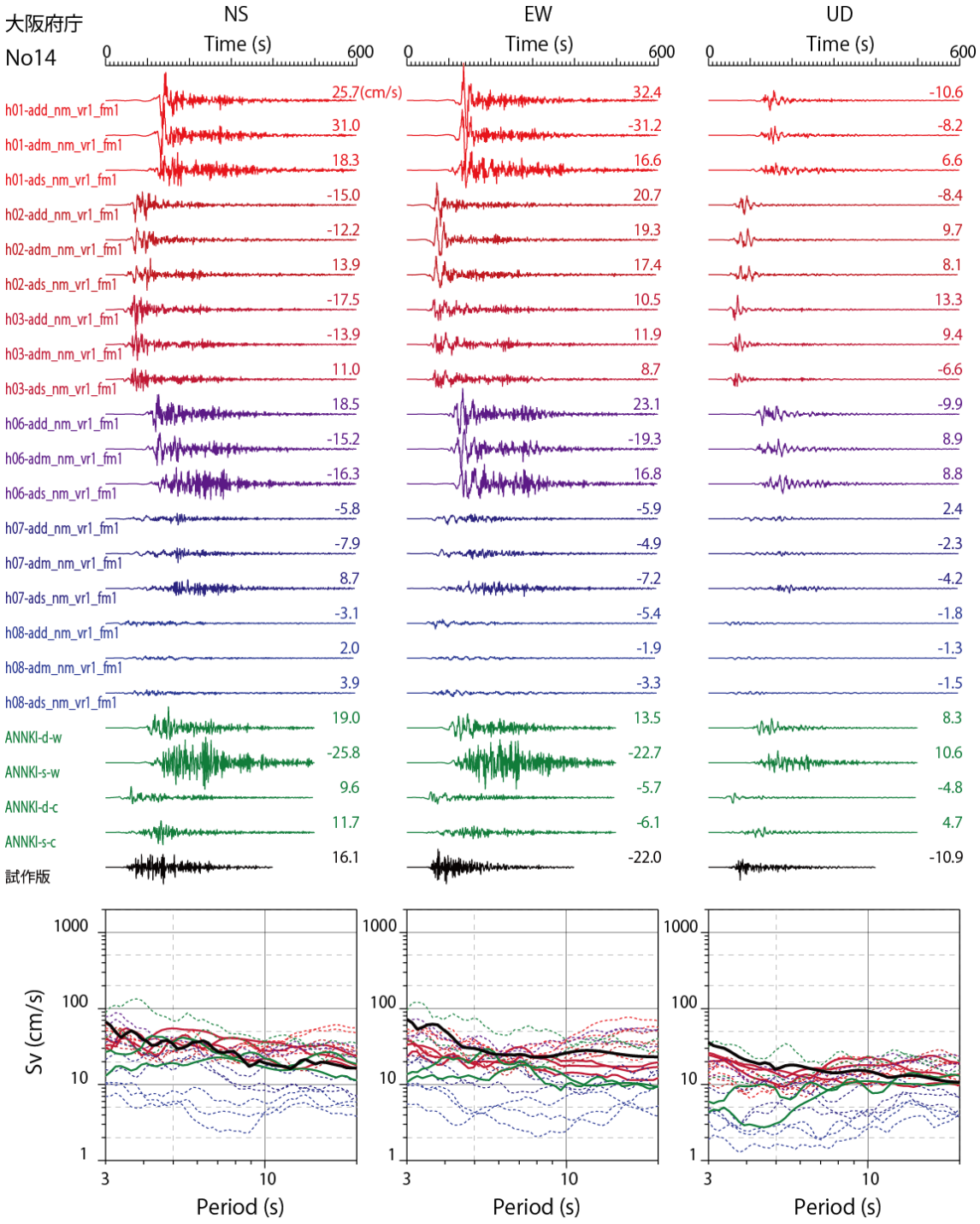


図 3.2-8b　つづき（大阪府庁について）。

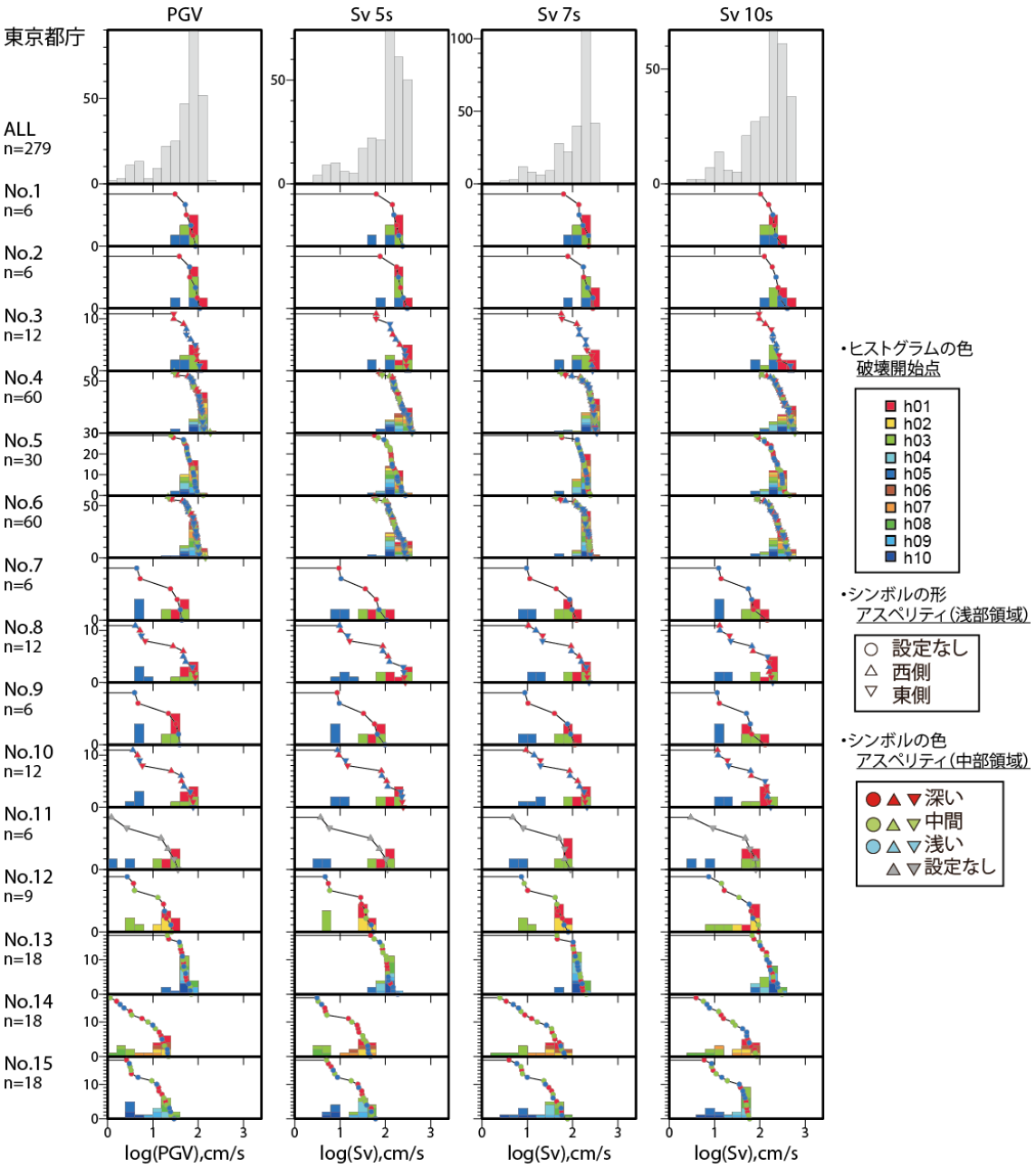


図 3.2-9a　東京都庁における、最大速度値と速度応答値（固有周期 5 秒、7 秒、10 秒、減衰 5%）の分布。最上段は表 2 の 279 ケースについてのヒストグラム。2 段目以下は各震源域についてのヒストグラムと累積頻度分布。No. 1～15 は、図 2 に示した震源域番号に対応している。ヒストグラムは破壊開始点と最大値の関係、累積頻度分布はアスペリティ配置と最大値の関係を示している。

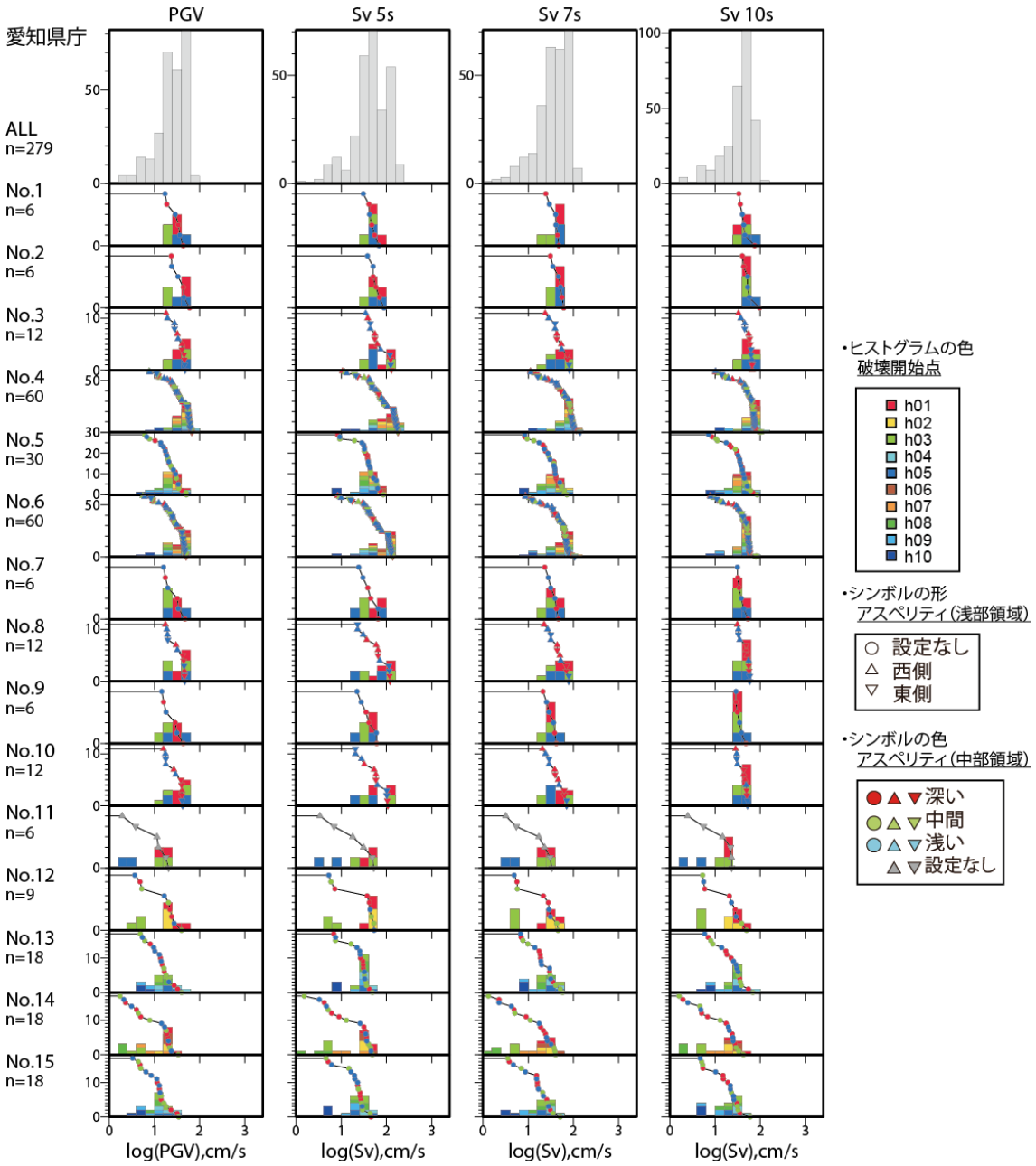


図 3.2-9b　愛知県庁における、最大速度値と速度応答値（固有周期 5 秒、7 秒、10 秒、減衰 5%）の分布。最上段は表 2 の 279 ケースについてのヒストグラム。2 段目以下は各震源域についてのヒストグラムと累積頻度分布。No. 1～15 は、図 2 に示した震源域番号に対応している。ヒストグラムは破壊開始点と最大値の関係、累積頻度分布はアスペリティ配置と最大値の関係を示している。

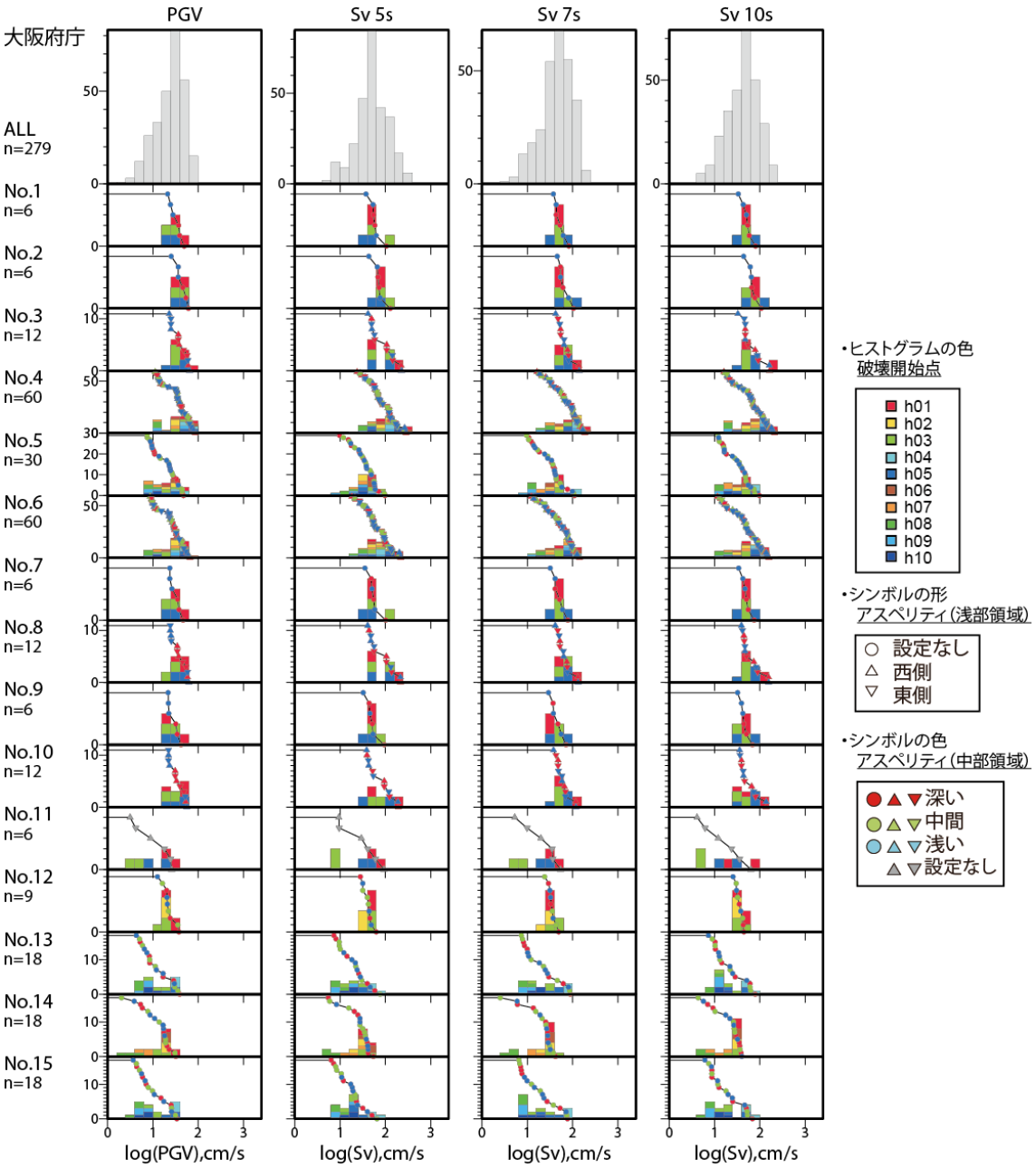


図 3.2-9c　大阪府庁における、最大速度値と速度応答値（固有周期 5 秒、7 秒、10 秒、減衰 5%）の分布。最上段は表 2 の 279 ケースについてのヒストグラム。2 段目以下は各震源域についてのヒストグラムと累積頻度分布。No. 1～15 は、図 2 に示した震源域番号に対応している。ヒストグラムは破壊開始点と最大値の関係、累積頻度分布はアスペリティ配置と最大値の関係を示している。

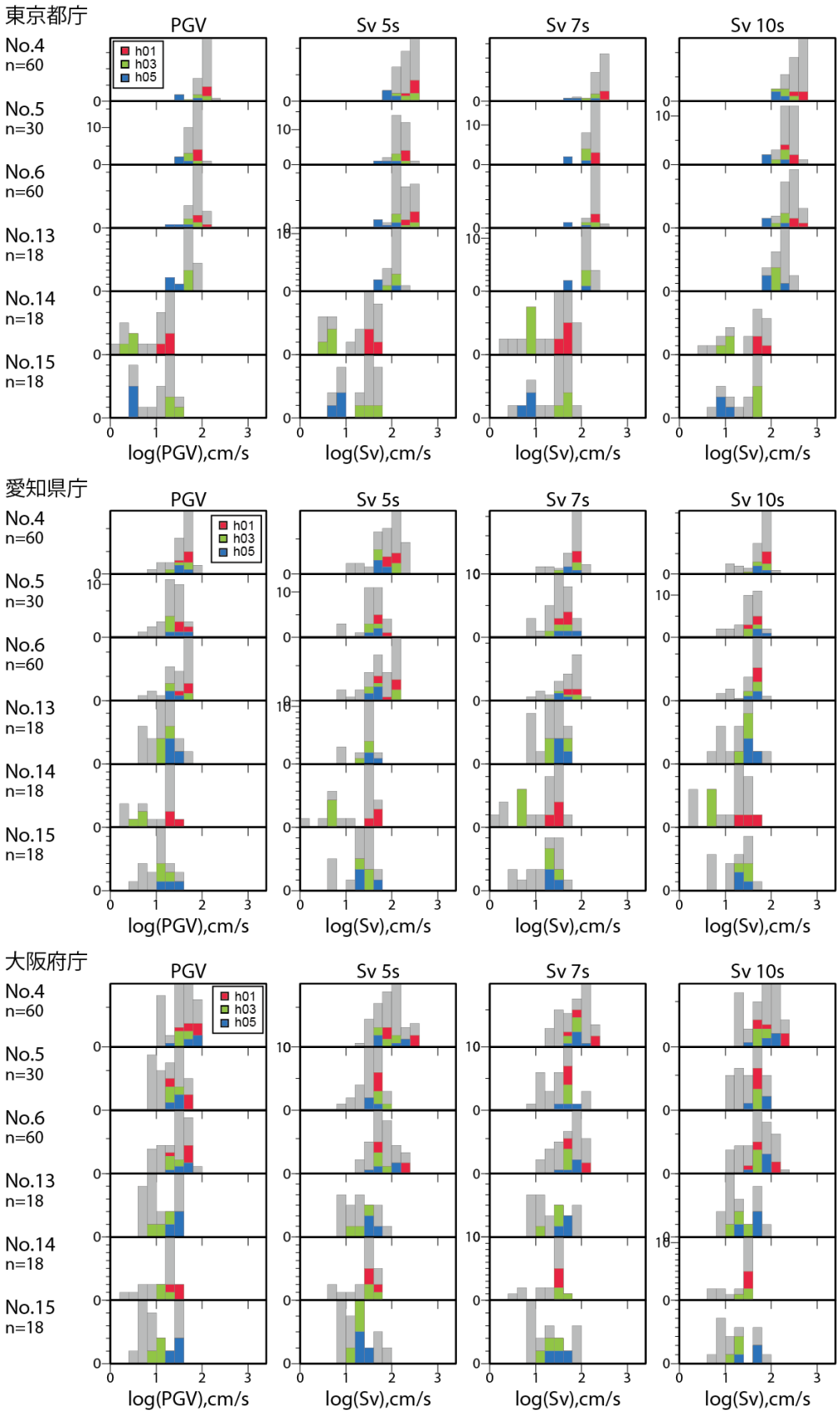


図 3.2-10　破壊開始点によるばらつき。灰色のヒストグラムは、破壊開始点が h01、h03、h05 以外のケース。

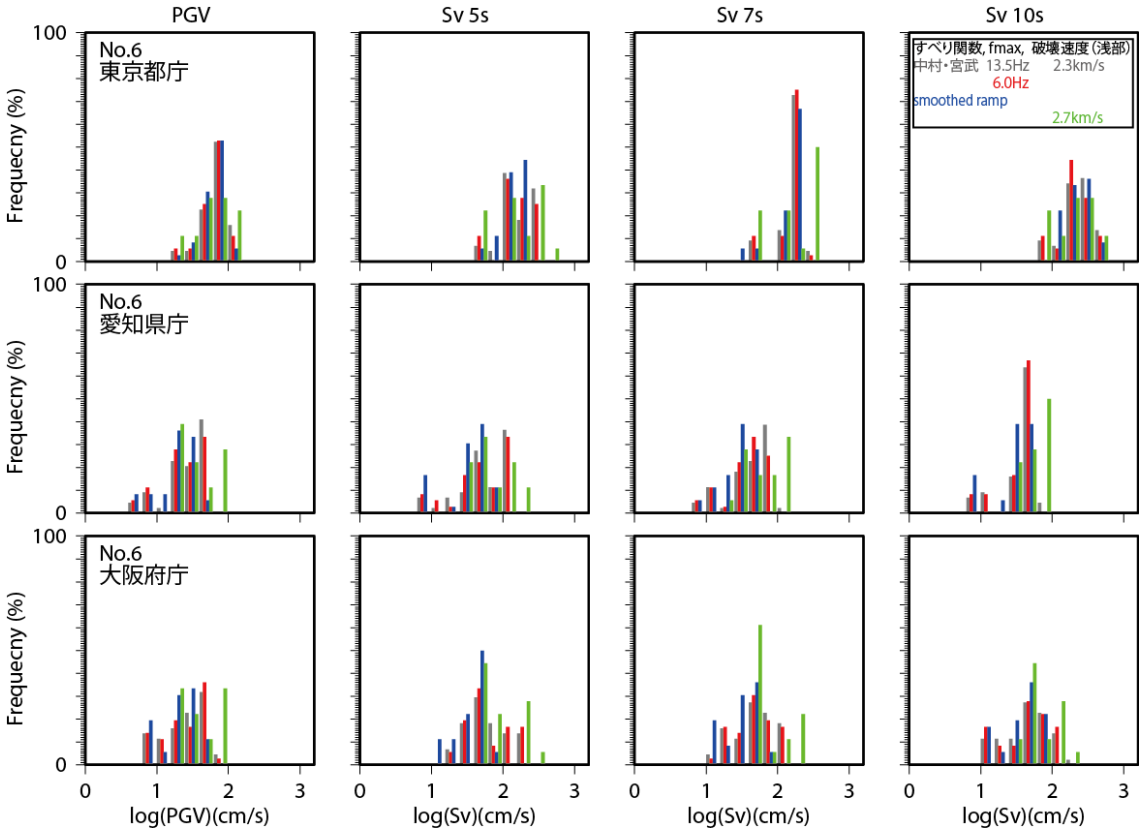


図 3.2-11　No.6 の震源域に対して f_{max}、浅部領域のすべり速度関数と破壊伝播速度を変えた場合の影響評価。

3)　長周期地震動ハザード評価

本検討では、結果をハザードマップやハザードカーブとして提示することを目標としている。そこでまず、例示地点（東京都庁、愛知県庁、大阪府庁）におけるハザードカーブを試算する。なお、ここでは本検討における全ての計算結果（369 ケース）に加え、平成 24 年度までの計算結果（100 ケース）もあわせて用いることとした。

まず、各震源域（図 3.2-2、No.1～15）についての条件付きハザードカーブを作成する。この際、平成 24 年度までのシミュレーション結果について、本検討の結果と対応する震源域で統合する。また、同じ震源域に対する結果に対しては、重みを等分配してハザードカーブを求める。次に、作成された各震源域についての条件付きハザードカーブから、確率論的地震動ハザード評価に関する検討（地震調査委員会、2013b）で設定されている各発生パターン（表 3.2-3、①～⑮）についてのハザードカーブを作成する（図 3.2-12）。1 地震型の発生パターン（①～⑪）は、震源域 No.1～11 にそれぞれ対応しているが、2 地震型の発生パターン（⑫～⑮）については、2 つの震源域についてのハザードカーブを包絡するものとして作成する。最後に、各発生パターンに対して表 3.2-3 に示した重みを付

してそれらを足し合わせることで、南海トラフの巨大地震全体での条件付きハザードカーブを求める。こうして得られた東京都庁、愛知県庁、大阪府庁における条件付きハザードカーブを図 3.2-13 に示す。また、同様に求めたその他の都府県庁所在地等における結果を図 3.2-14 に示す。図 3.2-13 では東京都庁が他の 2 地点よりもハザードが大きいという結果となっているが、図 3.2-14 の大阪舞洲のように大阪平野内でもハザードレベルの高い地点が存在しており、都府県庁所在地における点の結果だけでなく、面的な評価が重要であることを示している。そこで、条件付き超過確率 50%、10%、1%に対応する最大速度および速度応答スペクトル（周期 5 秒、7 秒、10 秒）についてのハザードマップを作成した（図 3.2-15）。大阪平野、濃尾平野を拡大してみると、大阪府庁や愛知県庁は平野内ではハザードの低い地域に位置していることが分かる。また、超過確率が 10%や 1%の地図を見ると、平野部においてハザードが高いことが明らかである。図 3.2-15 では、関東平野、濃尾平野、大阪平野に注目したが、これらの他に静岡県南部もハザードの高い地域となっている。この地域に対しては、全国 1 次地下構造モデルでは付加体がモデル化されており、その領域は図 3.2-15 でハザードの高い領域にほぼ対応している。この領域内の 4 地点における条件付きハザードカーブを図 3.2-16 に示す。付加体から離れるについてハザードレベルが低下しており、付加体の影響が大きいことが分かる。また、SZO017 や SZO018 ではハザードカーブがステップ状に変化しているが、これらは浅部領域の東側に大すべり域を配置した場合に振幅が極端に大きくなったことを反映しており、すべり速度時間関数の設定によっては結果が大きく変わりうるものだと考えられる。

多数の計算結果の中から、各地点における代表的なシナリオを抽出する。ここでは、最大クラスの地震（表 3.2-3 のパターン①～④）と既往最大地震に対応する 3 連動型（表 3.2-3 パターン⑤⑥）を対象として、応答スペクトルを基に代表シナリオを選定する。上記のハザードカーブあるいはハザードマップの作成では表 3.2-3 に示した「重み」を考慮したが、この重みづけには現状では任意性がある。そのためここでは、最大クラスや 3 連動型に発生パターンを限定することで「重み」によらない結果のとりまとめを試みる。平成 24 年度までの計算結果も含めると、最大クラスの地震については 137 ケース、3 連動型については 206 ケースの計算結果がある。それらの速度応答スペクトル（減衰定数 5%；水平 2 成分のうち大きい方を採用）についての平均値（相乗平均）、平均値＋1σ、平均値＋2σ、最大値を求め、それぞれに対して周期 3～10 秒の帯域でスペクトル形状がもっとも良く合う（残差二乗和が最小となる）シナリオを抽出した。参考として、中央値、第 1 四分位、第 3 四分位についても同様の作業を行っている。例示の 3 地点に対して抽出した結果を図 3.2-17～図 3.2-19 に示す。各図には、応答スペクトルに加えて、代表シナリオに対する最大速度の区間分布、図 3.2-13 に示したハザードカーブにおける代表シナリオの位置づけ、当該地点での速度波形も示している。図 3.2-4 で示したように、破壊開始点やアスペリティ配置による影響は観測点によって異なっており、代表シナリオについても地点ごとに異なるシナリオが選定されている。すなわち、東京都庁で抽出された代表シナリオが東京全域に対しての代表シナリオとは限らないことに留意する必要がある。

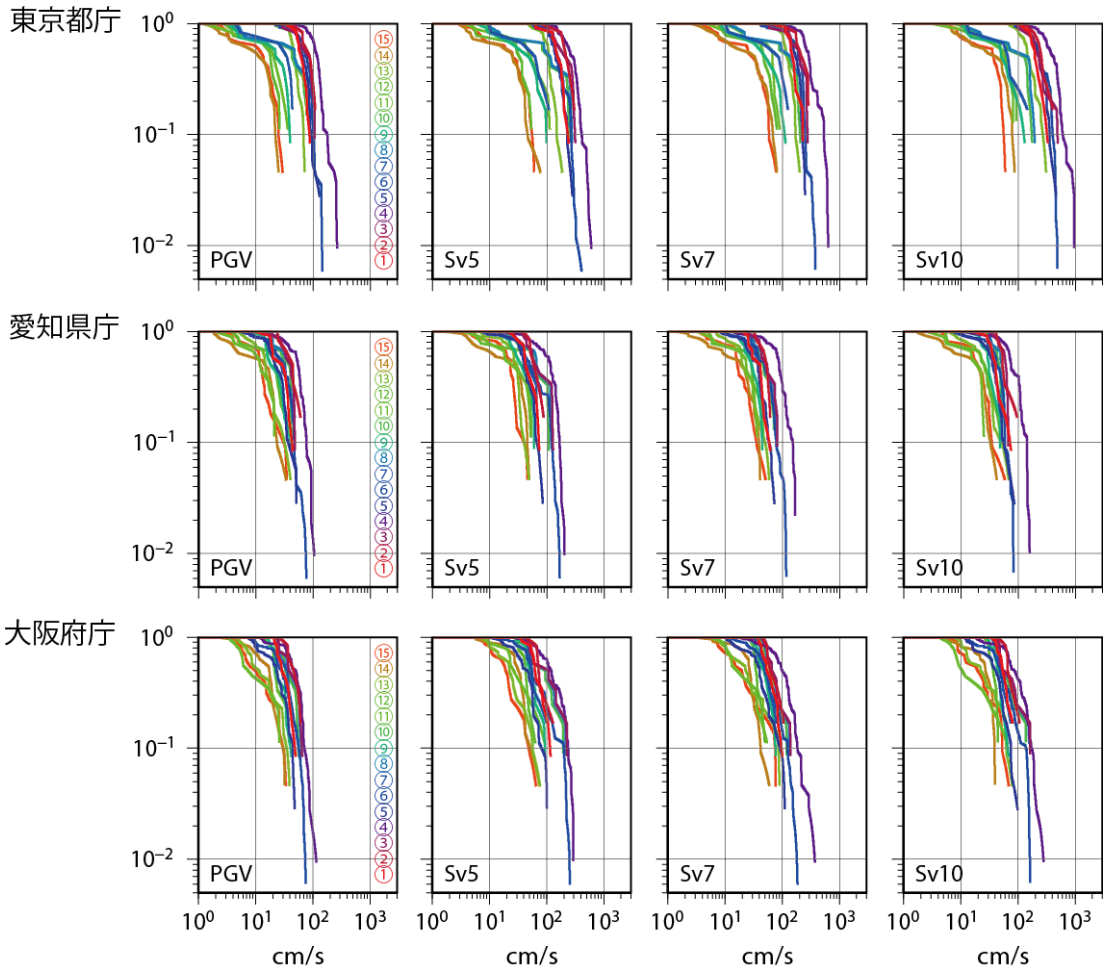


図 3.2-12　東京都庁、愛知県庁、大阪府庁における、南海トラフの地震の各発生パターンに対する最大速度値と速度応答値（周期 5 秒、7 秒、10 秒）についての条件付きハザードカーブ。

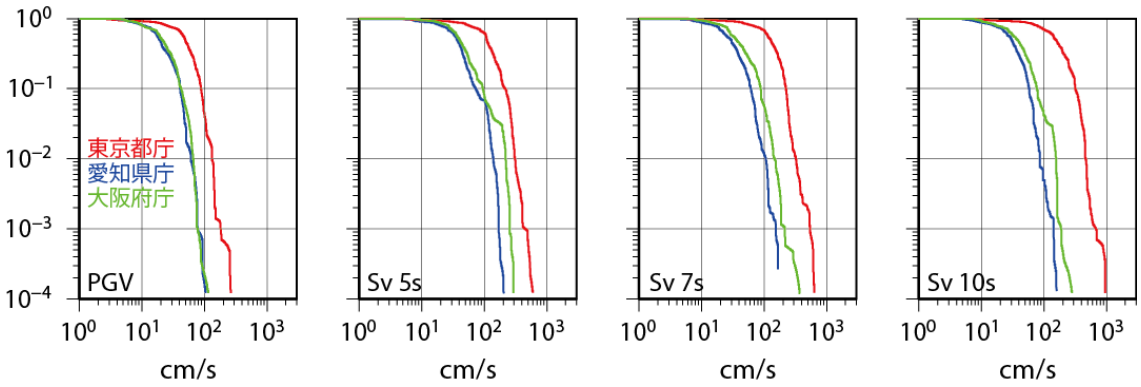


図 3.2-13　東京都庁、愛知県庁、大阪府庁における、南海トラフの地震の全発生パターンに対する最大速度値と速度応答値（周期 5 秒、7 秒、10 秒）についての条件付きハザードカーブ。

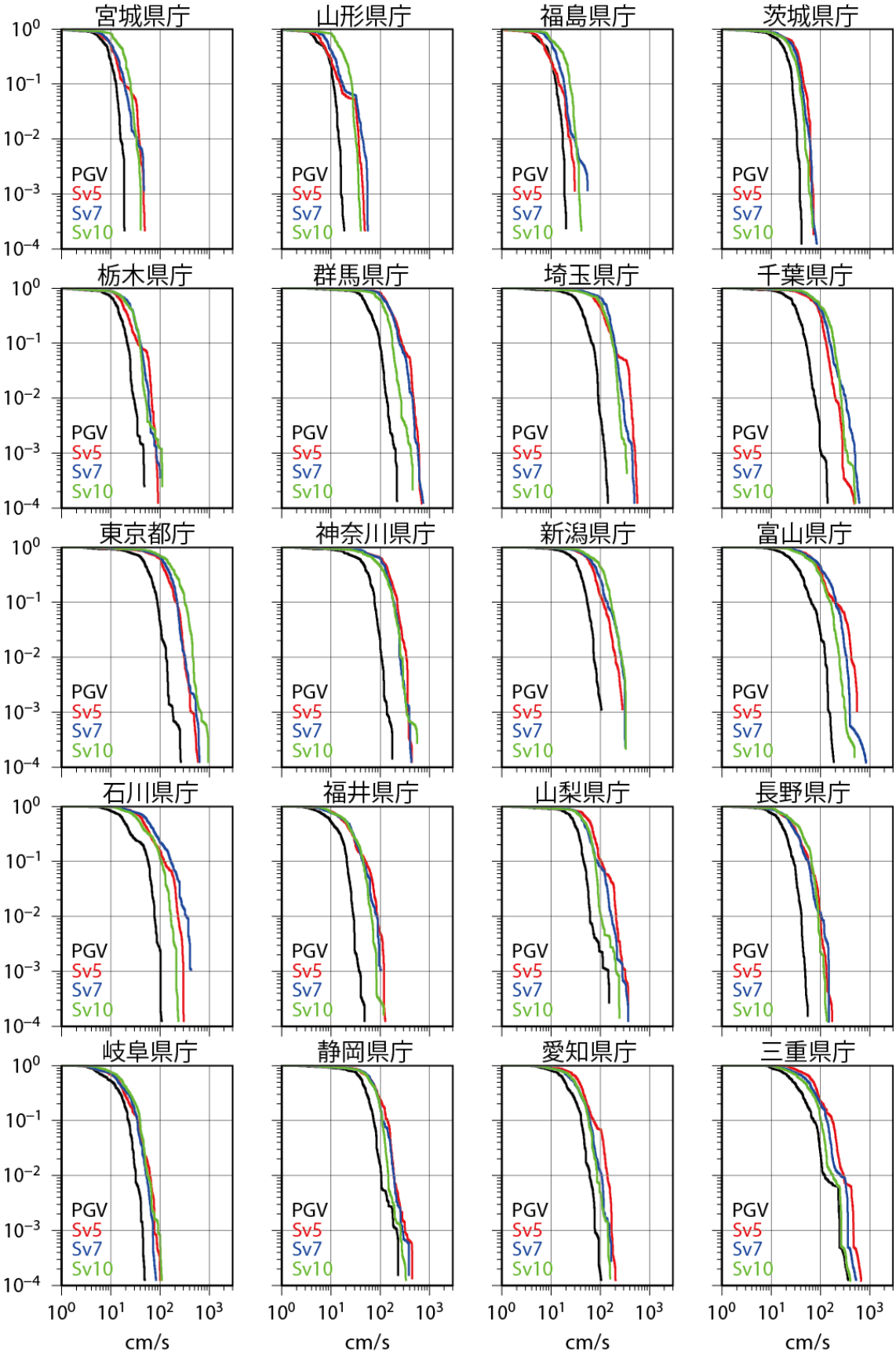


図 3.2-14　条件付きハザードカーブ。

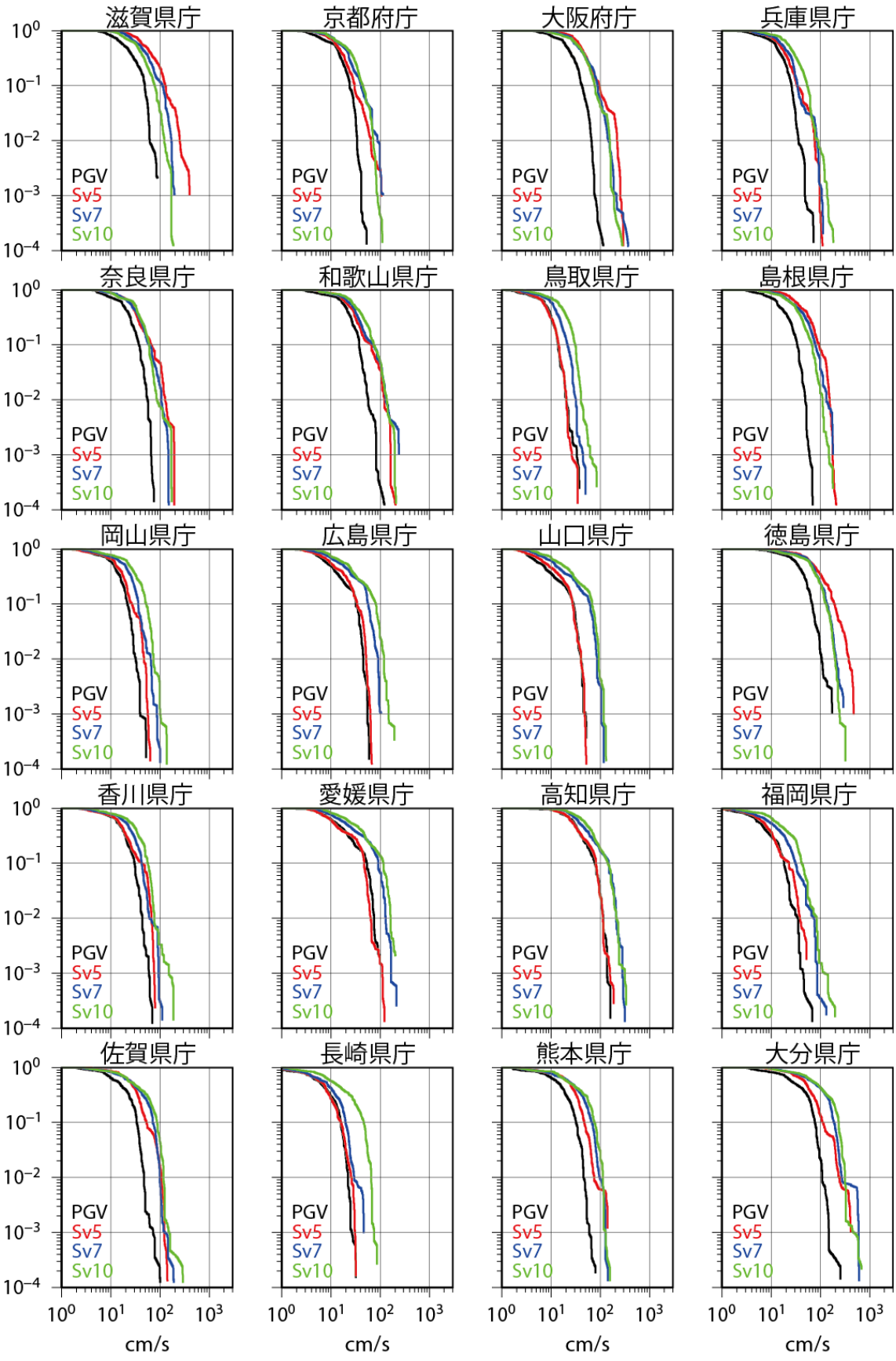

滋賀県庁
京都府庁
大阪府庁
兵庫県庁
奈良県庁
和歌山県庁
鳥取県庁
島根県庁
岡山県庁
広島県庁
山口県庁
徳島県庁
香川県庁
愛媛県庁
高知県庁
福岡県庁
佐賀県庁
長崎県庁
熊本県庁
大分県庁
PGV
Sv5
Sv7
Sv10
cm/s

図 3.2-14　つづき。

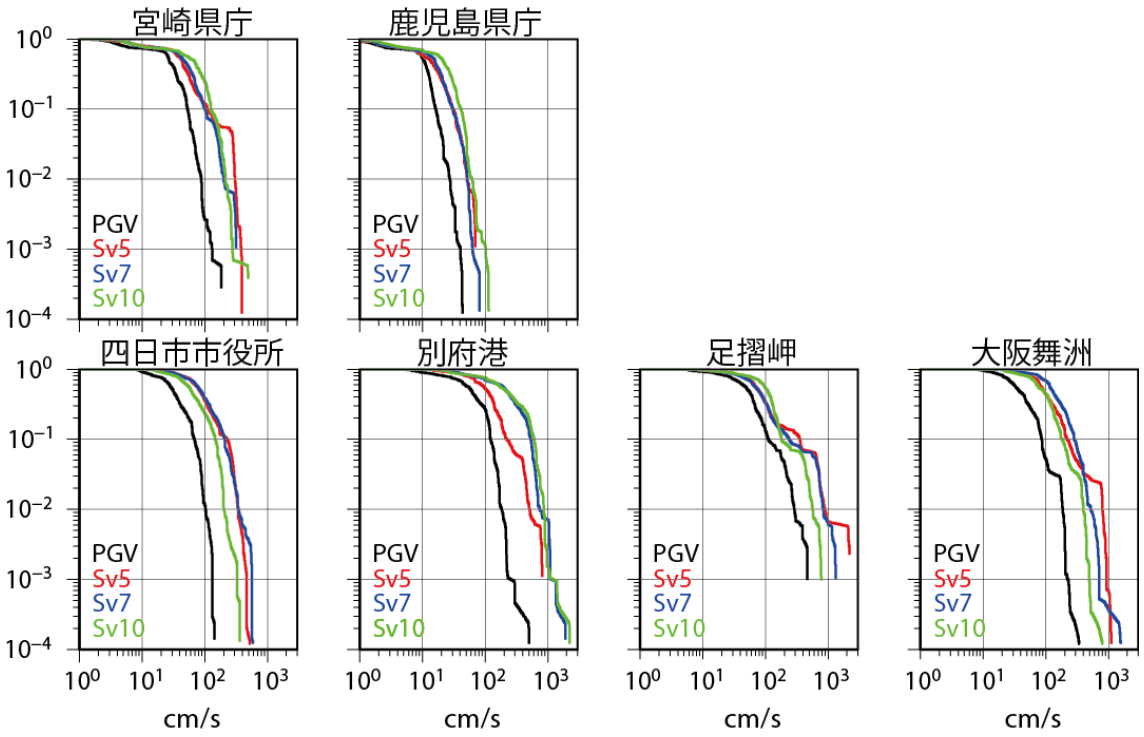


図 3.2-14　つづき。

表 3.2-3　確率論的地震動予測地図における南海トラフの地震の発生パターンと付与する重み（地震調査委員会、2013b）。

発生パターン		Z（日向灘）	A,B（南海）	C,D（東南海）	E（東海）	重み	深さタイプ	震源域	
1地震	①	←	→	→	→	0.0125	a	1	
	②	←	→	→	→	0.0125	b	2	
	③	←	→	→	→	0.0125	c	3	
	④	←	→	→	→	0.0125	d	4	
	⑤	×	←	→	→	0.1625	a	5	
	⑥	×	←	→	→	0.1625	c	6	
	⑦	←	→	→	×	0.0125	a	7	
	⑧	←	→	→	×	0.0125	c	8	
	⑨	×	←	→	×	0.025	a	9	
	⑩	×	←	→	×	0.025	c	10	
	⑪	×	←	→	×	0.05	e	11	
2地震	⑫	←	→	←	→	0.05	a	12	13
	⑬	×	←	←	→	0.325	a	14	13
	⑭	←	→	→	×	0.025	a	12	15
	⑮	×	←	→	×	0.1	a	14	15
		0.15	1.0	1.0	0.75	1.0			

深さタイプ　a ： 深さ10～25km程度の震源域　　b ： 深さ10～40km程度の震源域
c ： 深さ0～25km程度の震源域　　d ： 深さ0～40km程度の震源域
e ： 深さ0～10km程度の震源域

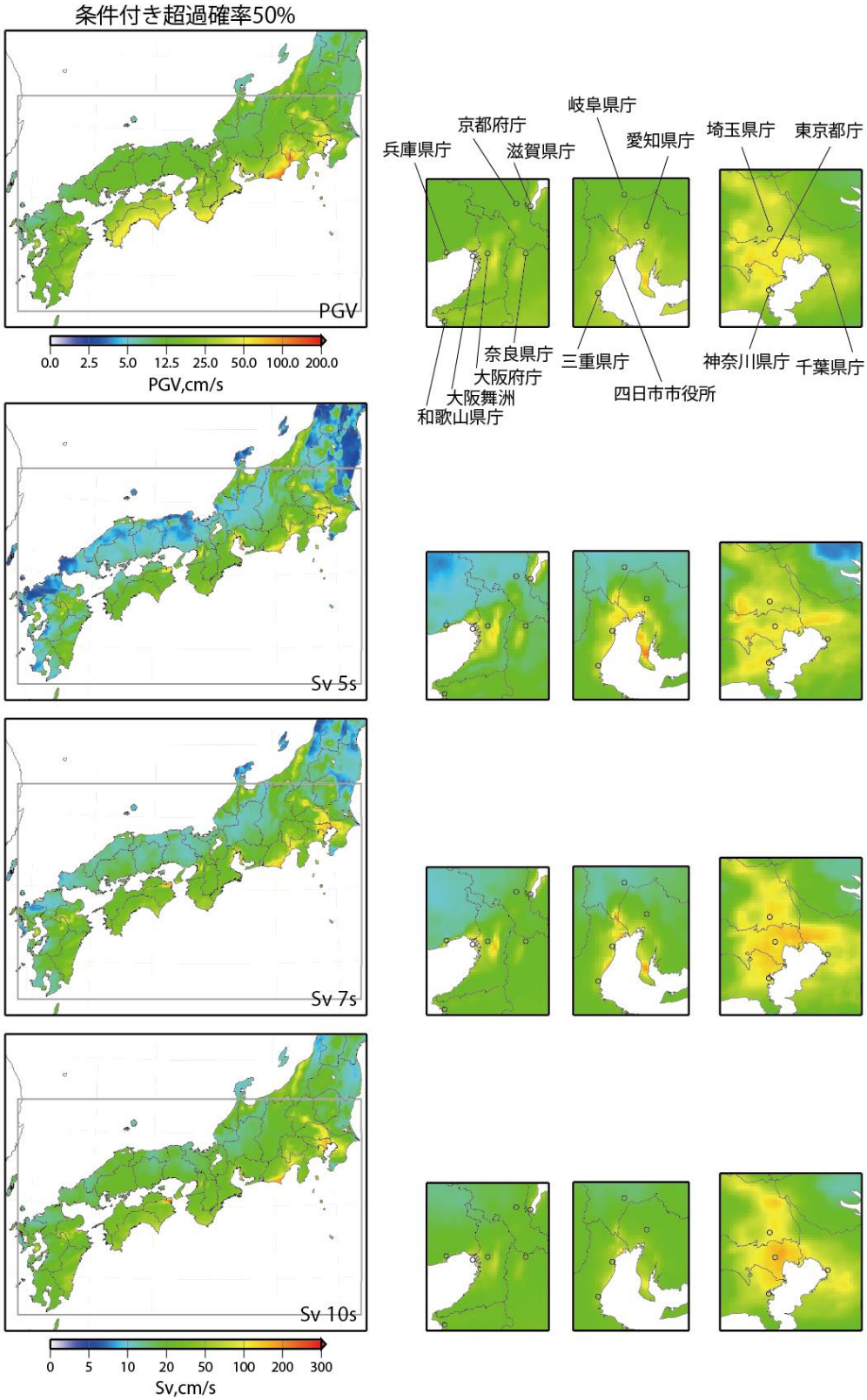


図 3.2-15　条件付き超過確率 50%での、最大速度、速度応答（減衰 5%、周期 5 秒、7 秒、10 秒）のハザードマップ。左図内の灰線で示した領域は平成 23、24 年度の計算対象領域。右図は関東平野、濃尾平野、大阪平野についての拡大図であり、図 14 のハザードカーブ算出地点も示している。

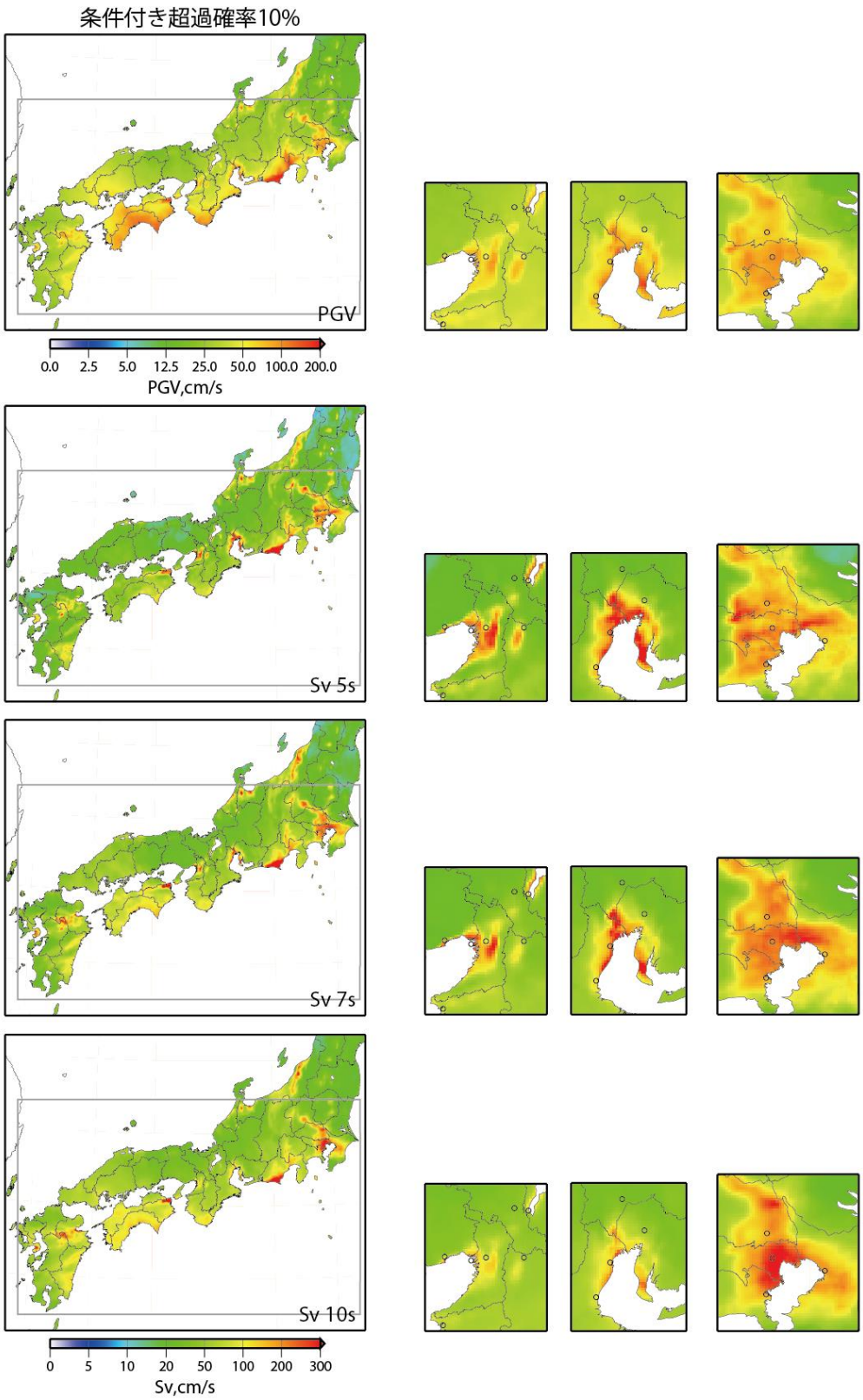


図 3.2-15　つづき（条件付き超過確率 10%について）。

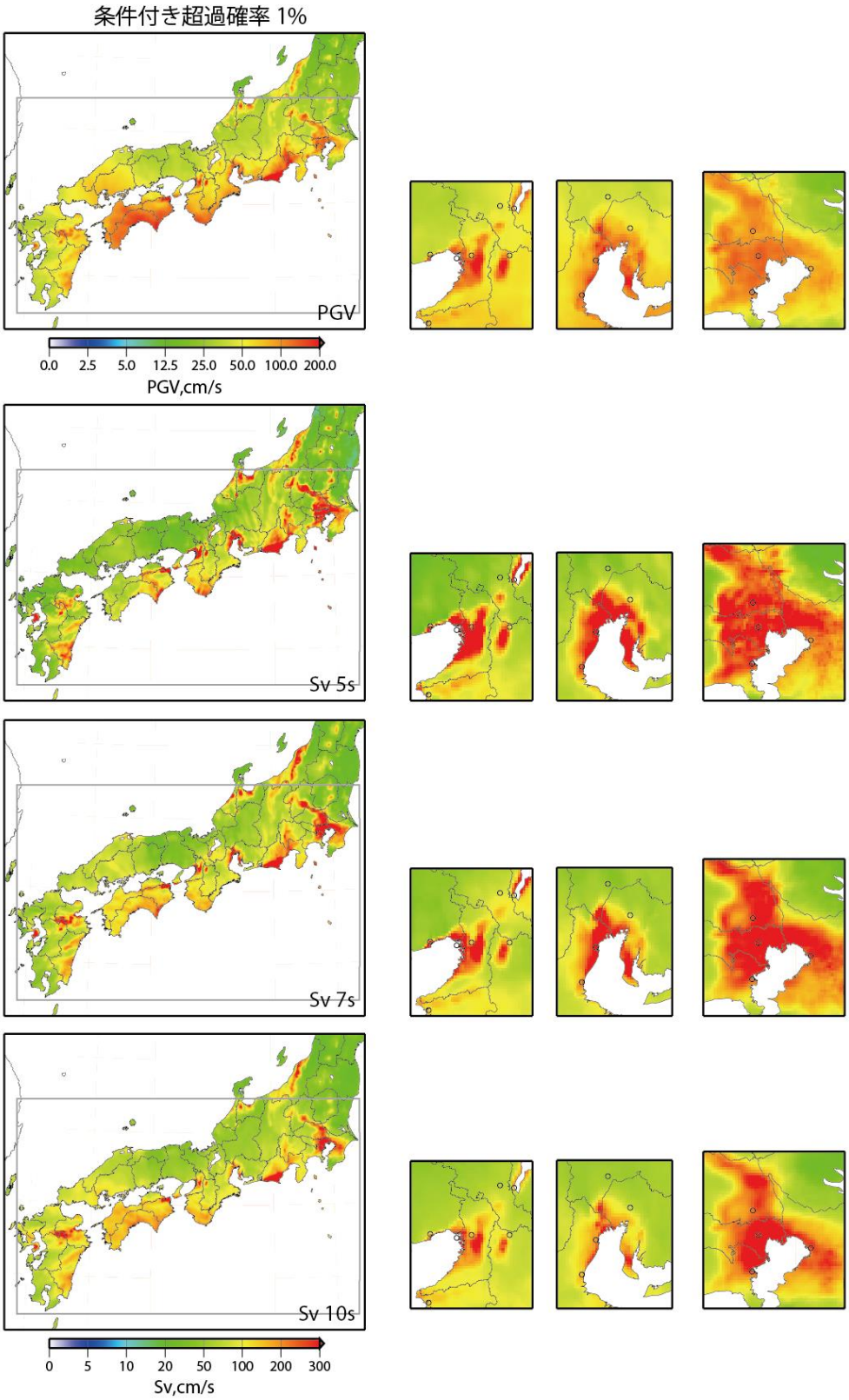


図 3.2-15　つづき（条件付き超過確率 1%について）。

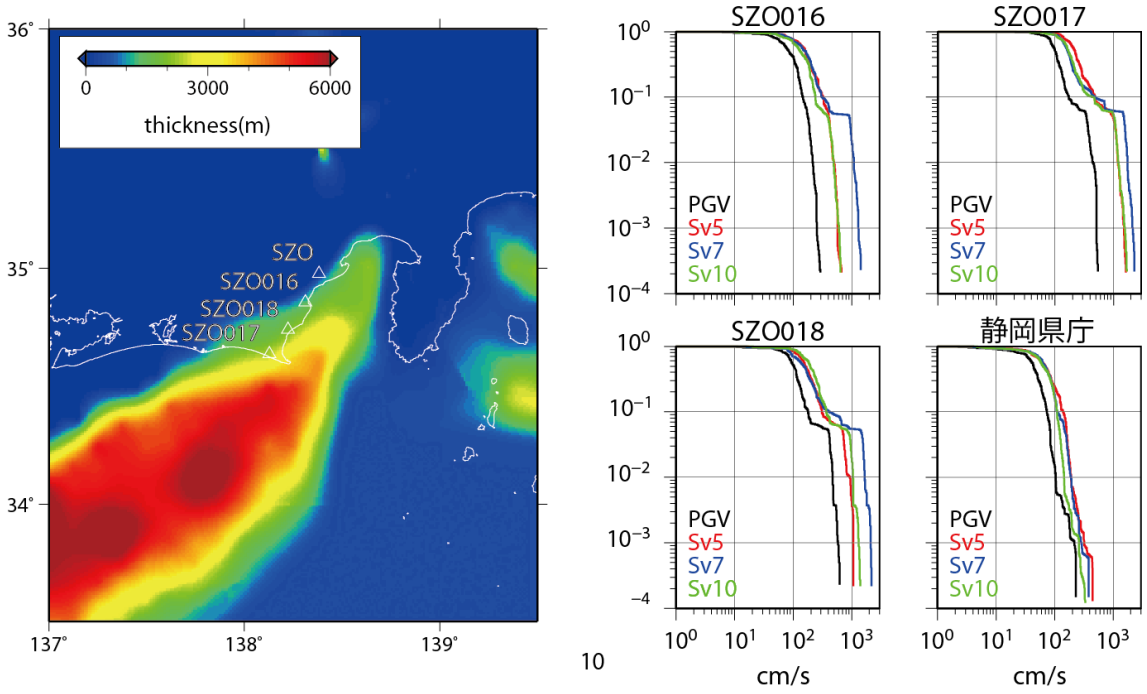
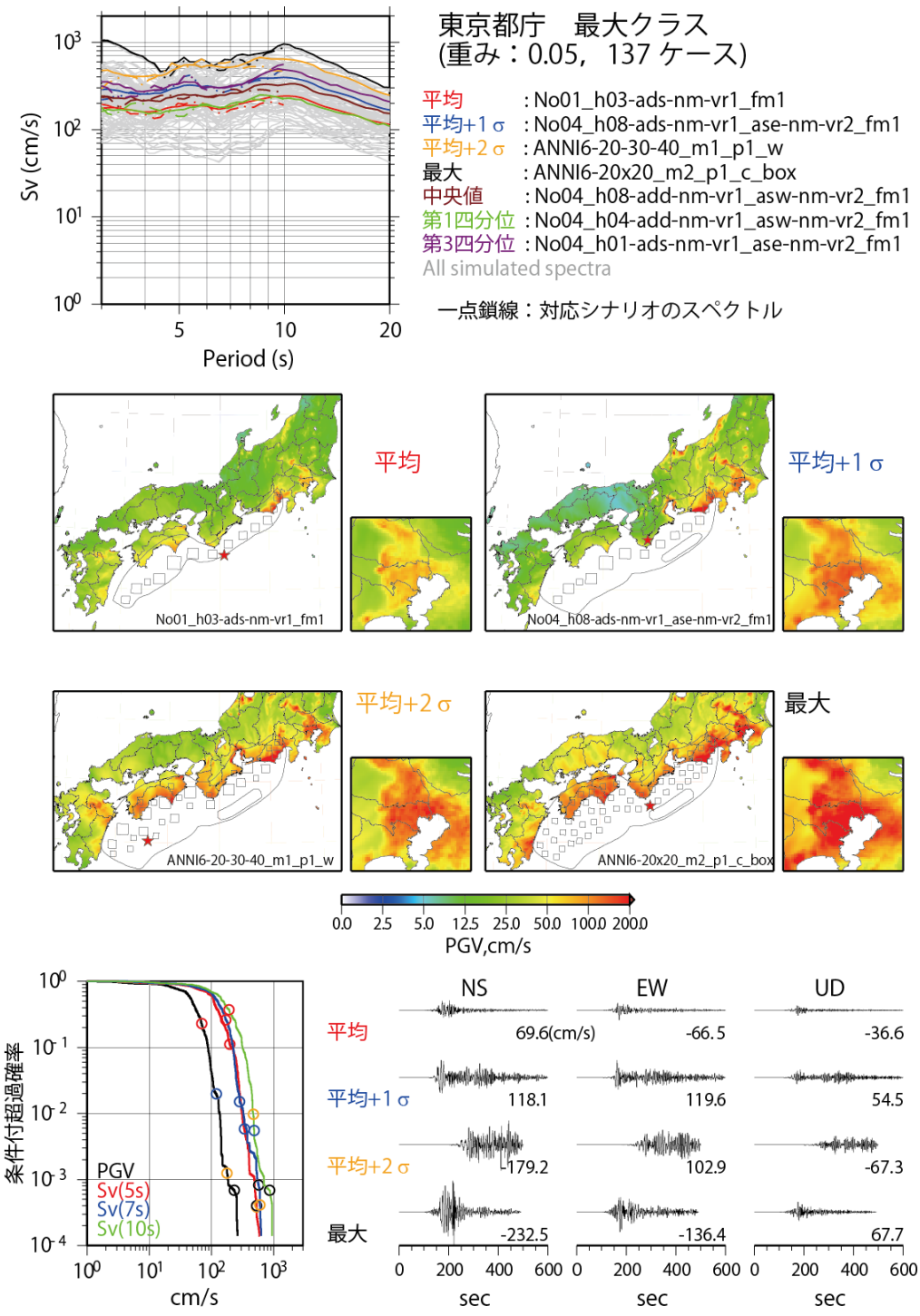
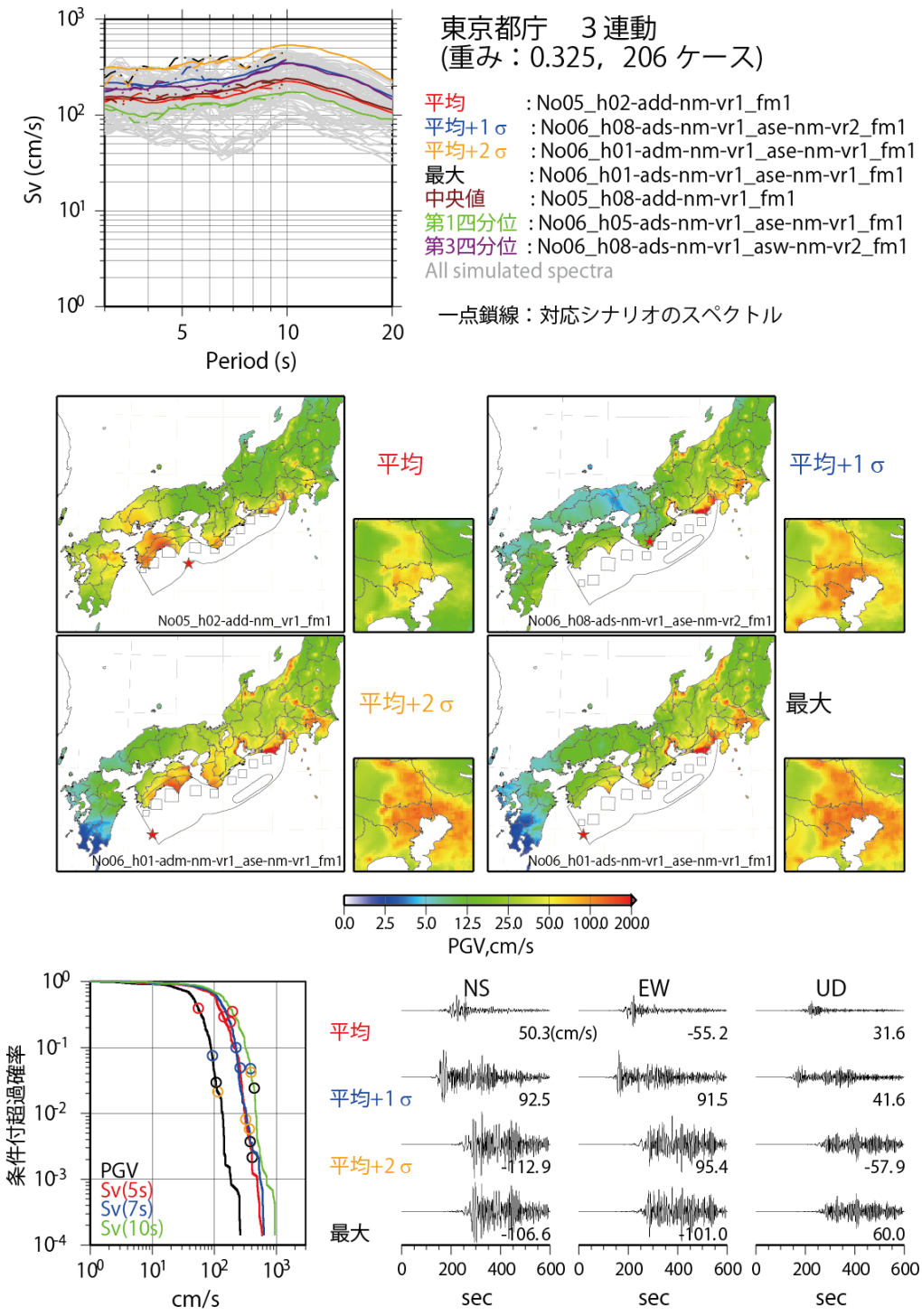


図 3.2-16　左：付加体（Vs＝1000m/s）の層厚の分布。右：条件付きハザードカーブ。



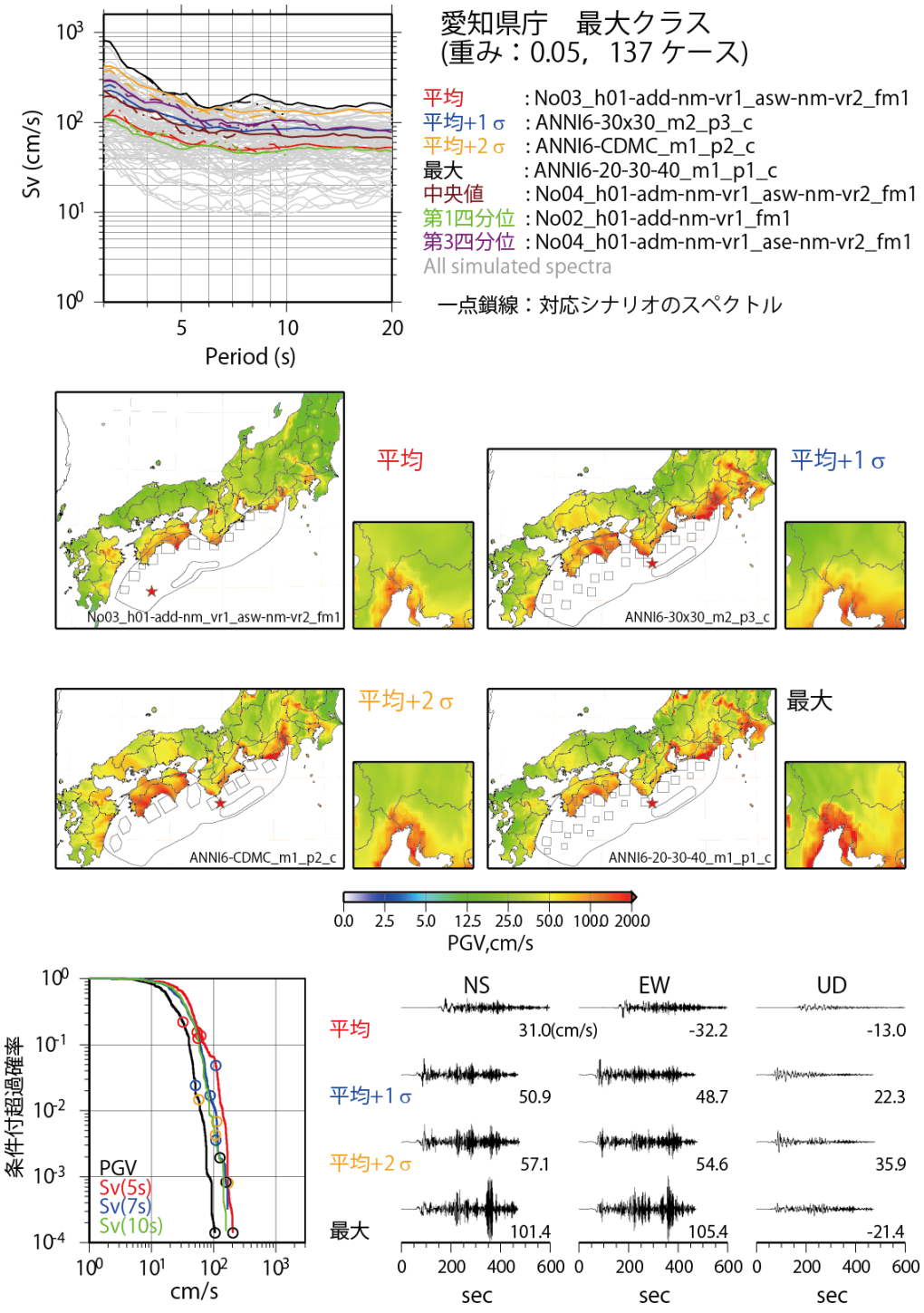
※「最大」は本検討で計算した 137 ケースの中での最大である

図 3.2-17a　東京都庁における、最大クラス地震についての代表シナリオの抽出例。上段左：全シナリオの応答スペクトル（灰色）と代表シナリオのスペクトル（各色：一点鎖線）。中段：各代表シナリオについての最大速度の空間分布。下段左：各代表シナリオのハザードカーブ上での位置づけ。下段右：各代表シナリオの速度波形。



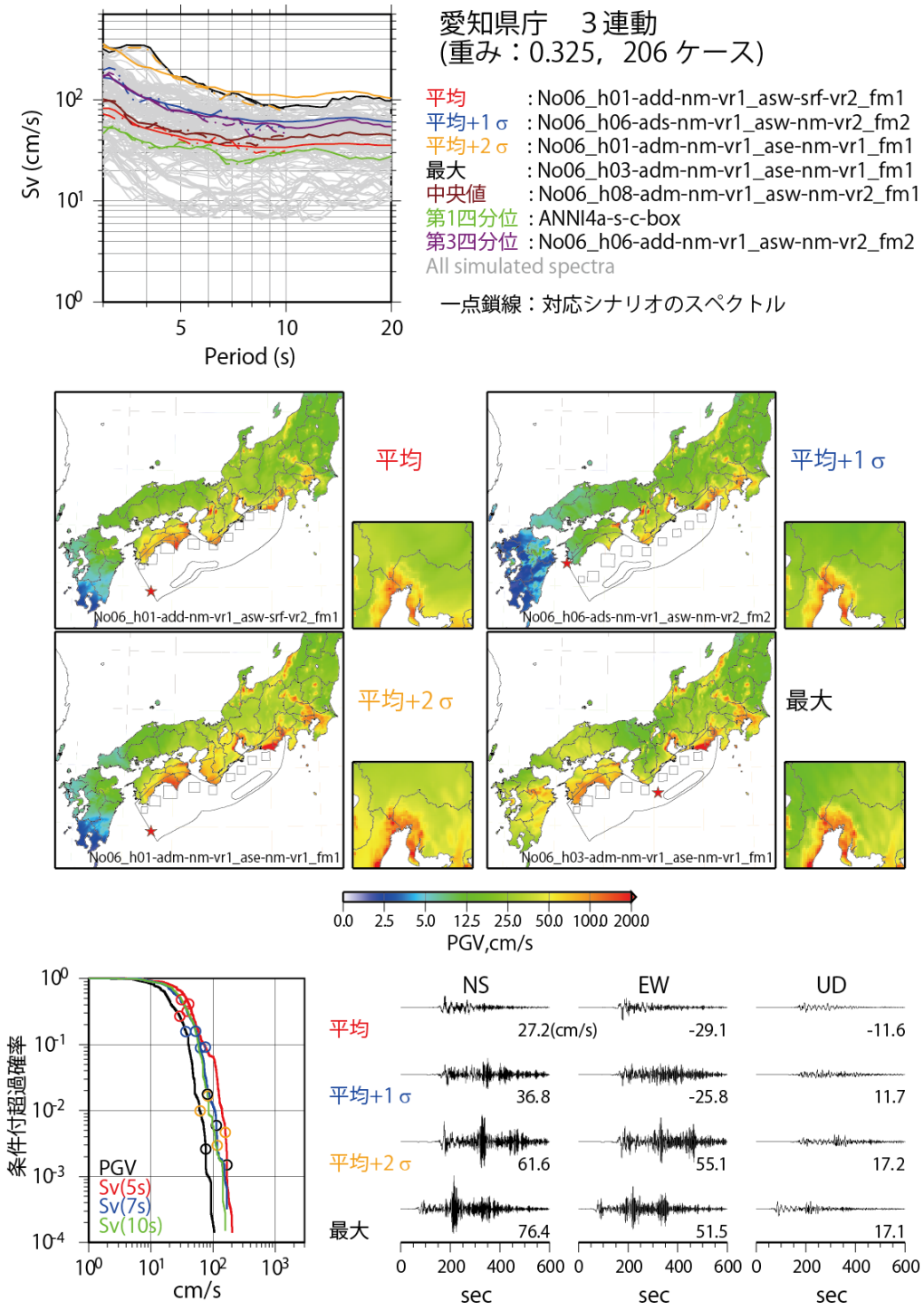
※「最大」は本検討で計算した 206 ケースの中での最大である

図 3.2-17b　東京都庁における、3 連動型地震についての代表シナリオの抽出例。



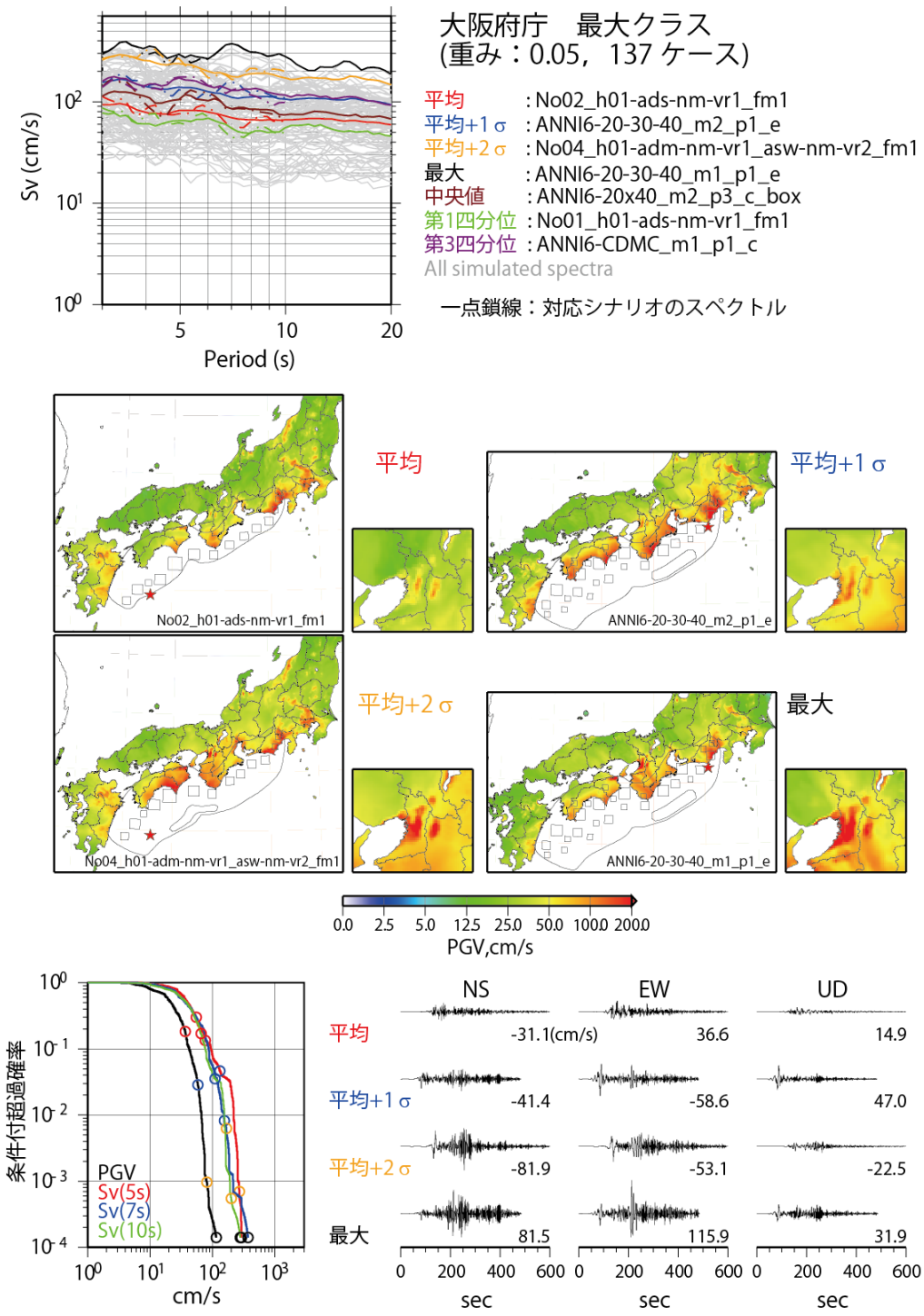
※「最大」は本検討で計算した 137 ケースの中での最大である

図 3.2-18a　愛知県庁における、最大クラス地震についての代表シナリオの抽出例。



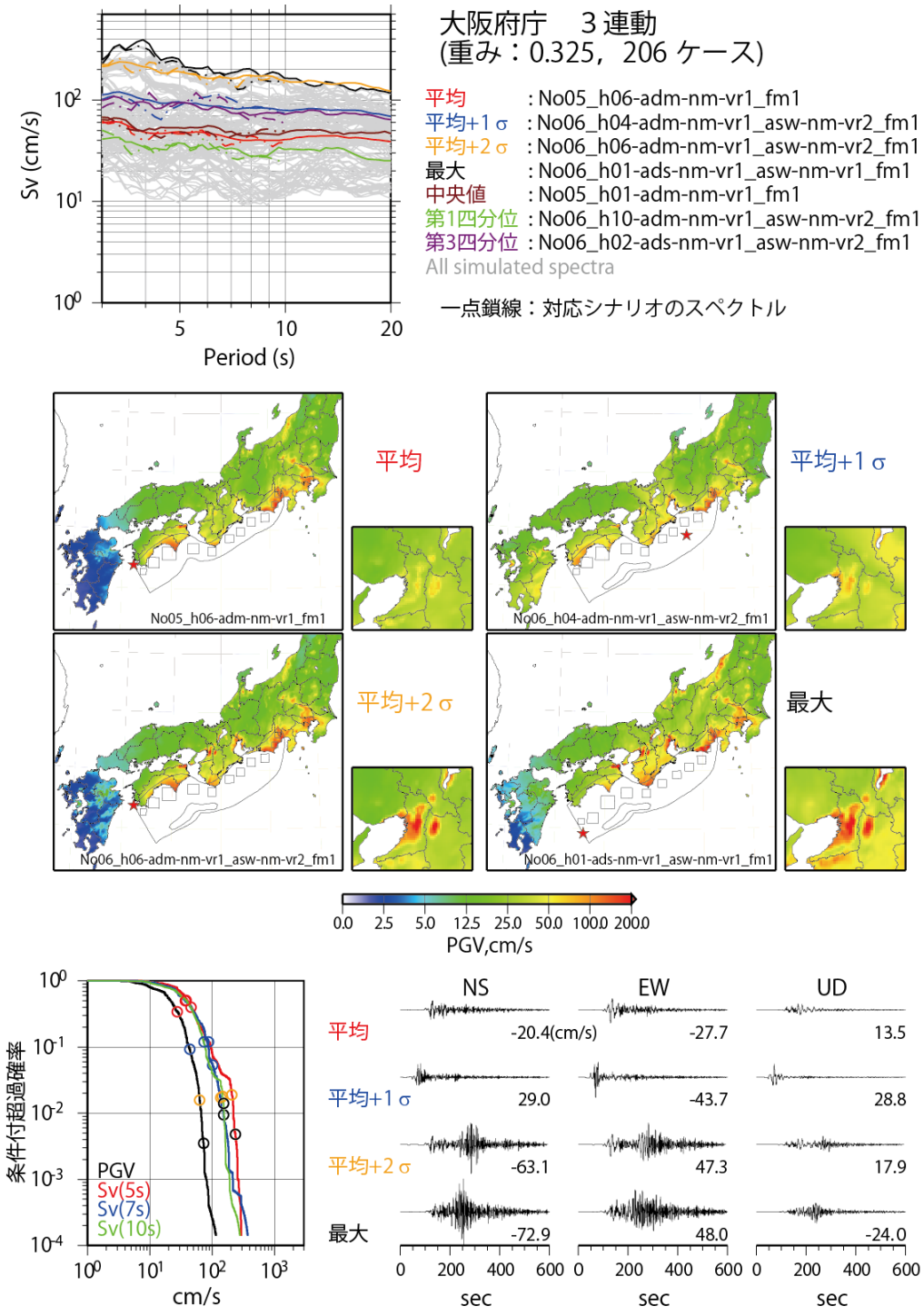
※「最大」は本検討で計算した 206 ケースの中での最大である

図 3.2-18b　愛知県庁における、3 連動型地震についての代表シナリオの抽出例。



※「最大」は本検討で計算した 137 ケースの中での最大である

図 3.2-19a　大阪府庁における、最大クラス地震についての代表シナリオの抽出例。



※「最大」は本検討で計算した 206 ケースの中での最大である

図 3.2-19b　大阪府庁における、3 連動型地震についての代表シナリオの抽出例。

4) 大振幅長周期地震動に対する地盤の応答について

平成 24 年度に行った最大クラスの地震を対象としたシミュレーションでは、速度応答が 1000cm/s 程度となるケースがあった。シミュレーションでは V_S=500m/s の工学的基盤上での揺れを計算しているが、こうした大振幅の長周期地震動によって地盤の非線形性などが生じるかどうかについて検討した。

まず、シミュレーションによる波動場がどの程度の歪みレベルであるかについて調べた。対象としたのは、東京都庁で速度応答スペクトルが最大となった最大クラスの地震（平成 24 年度の検討ケース）と、南海トラフの地震の中では規模の小さい想定東海地震（平成 23 年度の検討ケース）である。それぞれの速度波形（図 3.2-20）が最大値となる時間付近の歪みの分布を図 3.2-21a,b に示す。ここで示している歪みは、シミュレーションによる地表面の速度場（東西南北に 1km 間隔で出力）を積分して得られる変位場を空間微分して求めたものである。それぞれの歪みレベルは、想定東海では 10^{-5}、最大クラスでは 10^{-4} のオーダーである。この歪みレベルにおいて、工学的基盤以深の地盤がどのような応答を示すのかが要点となる。

福元ほか（2009）では、工学的基盤の一つとして扱われる堆積軟岩の三軸圧縮試験結果と動的変形特性の実験結果がまとめられている。図 3.2-23 は、綱島台（横浜市港北区）で採取した上総層群の軟岩（V_S=480m/s、V_P=2280m/s ; 図 3.2-22）についての変形特性（$G/G_0-\gamma$ 関係）である。せん断剛性 G は三軸圧縮試験より得られた変形係数 E と PS 検層から求めたポアソン比 ν から［$G=E/\{2(1+\nu)\}$］、せん断歪み γ は圧縮歪み ε との関係［$\gamma=(1+\nu)\varepsilon$］から算出している。図 3.2-23 は単調載荷の結果であるが、乱れの少ない試料では $\gamma=10^{-3}$ 程度までは剛性低下はほとんど認められない（図 3.2-24a）。なお、「乱れ」とは、試料採取時の振動やその後の応力解放によって試料内部に生じた微小なクラックのことを指している。

福元ほか（2009）では N 値が 30 以上、または V_S が 300m/s 以上の試料に対する動的変形試験の結果も収集されている。図 3.2-24 は塑性指数毎にグループ分けした $G/G_0-\gamma$ 関係である。塑性指数は粘土分含有率/シルト分含有率比と概ね線形の関係があり、塑性指数が大きい（粘土分含有率が多い）ほど非線形化しにくい傾向がみられる。先に示した三軸圧縮試験に用いた試料の塑性指数は約 30%であり図 3.2-24b に対応している。最も乱れの少ないもので比較すると、動的試験（繰返し載荷）における剛性の低下は静的試験（単調載荷）よりも少し小さな歪みから生じているが、歪みレベルはかなり一致している。

以上から、シミュレーションによる工学的基盤での歪みレベル（図 3.2-21）では非線形性の影響はそれほど顕著ではないと考えられる。

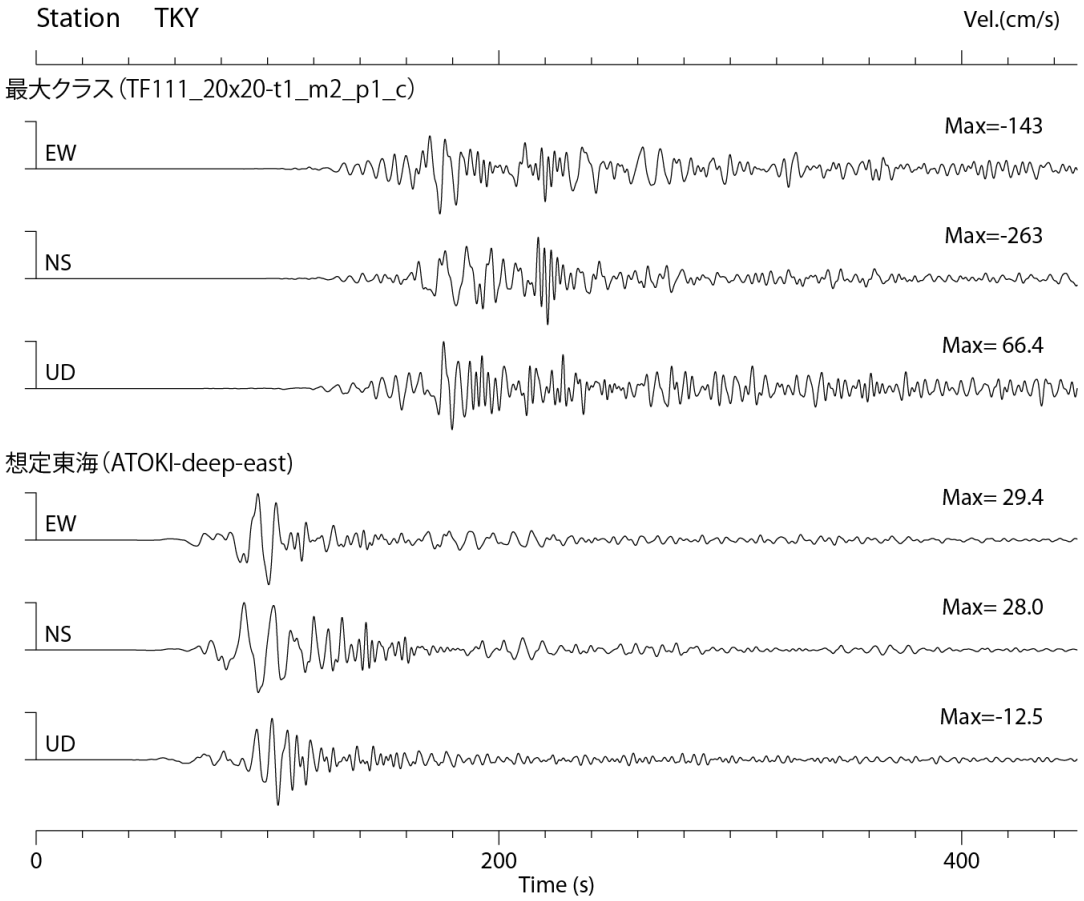


図 3.2-20　東京都庁（TKY）における、（上）最大クラス地震と（下）想定東海地震による速度波形（0.3Hz のローパスフィルターを適用）。各波形の右上に記した最大振幅値（単位：cm/s）でそれぞれ規格化している。

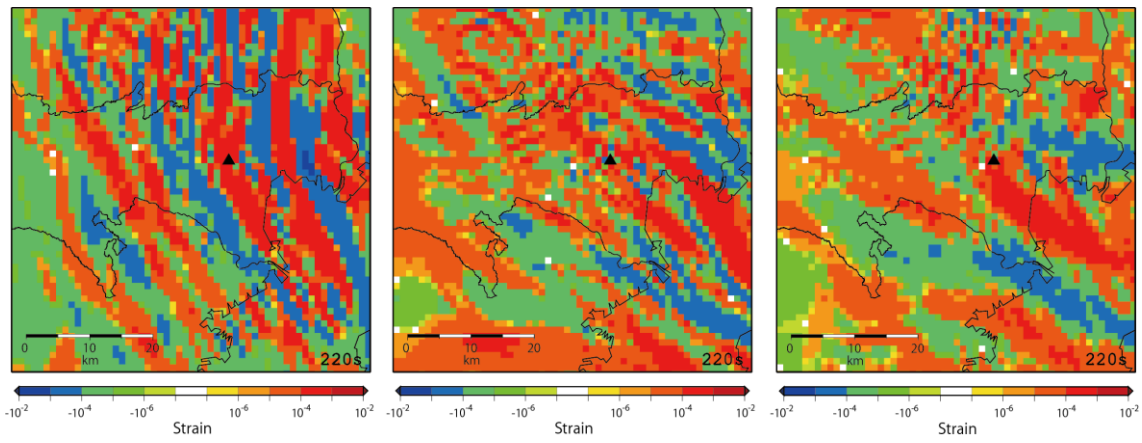


図 3.2-21　(a)最大クラス地震と(b)想定東海地震による関東平野での歪み場。それぞれ図 20 の 220 秒付近と 100 秒付近に対応。左から南北圧縮、東西圧縮、せん断歪み。▲は TKY の位置。

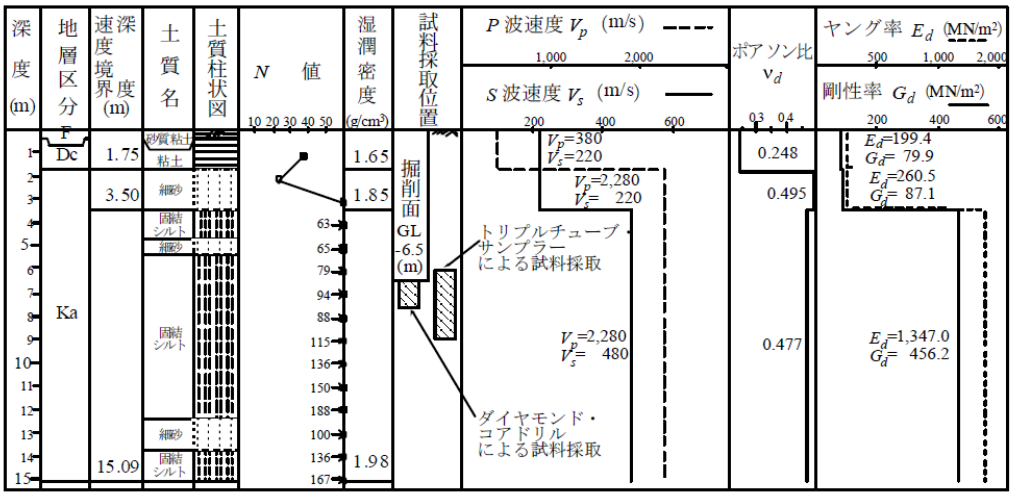
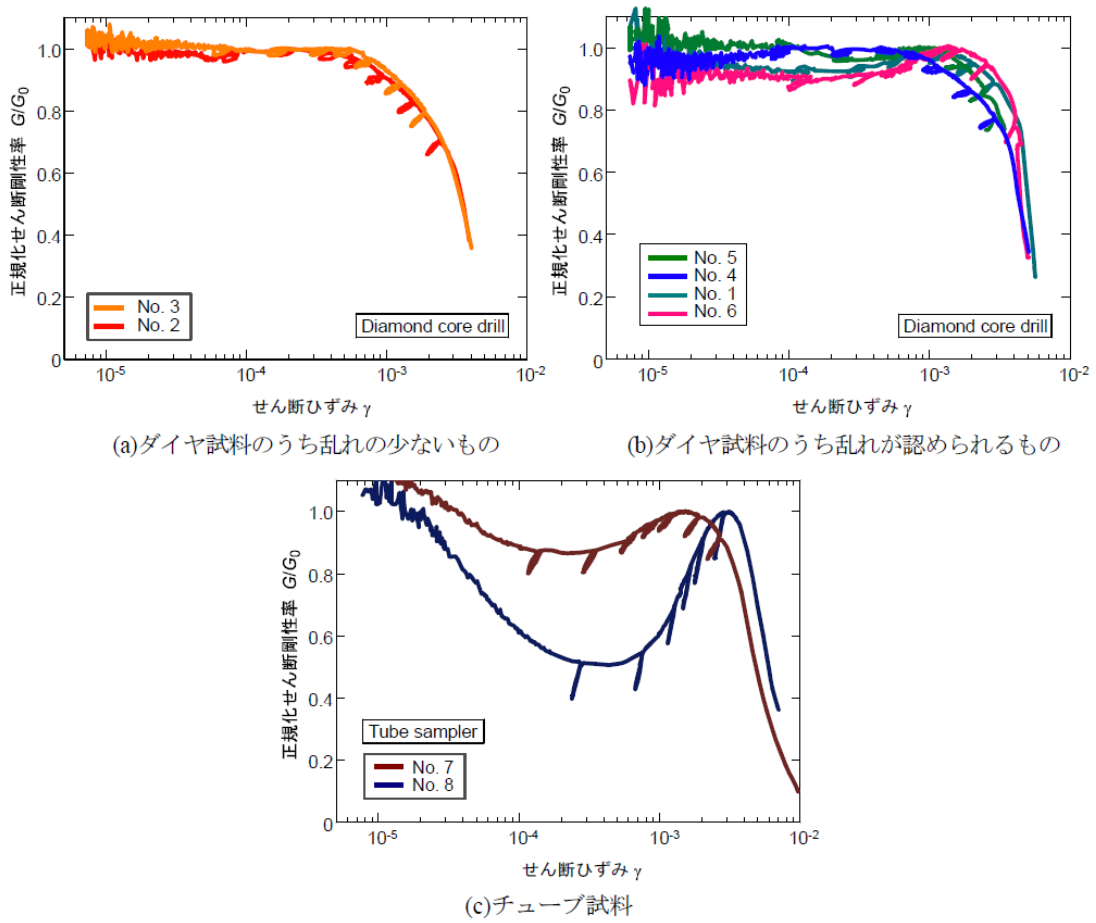


図 3.2-22　試料採取位置の PS 検層結果［福元ほか（2009）の図 1］。

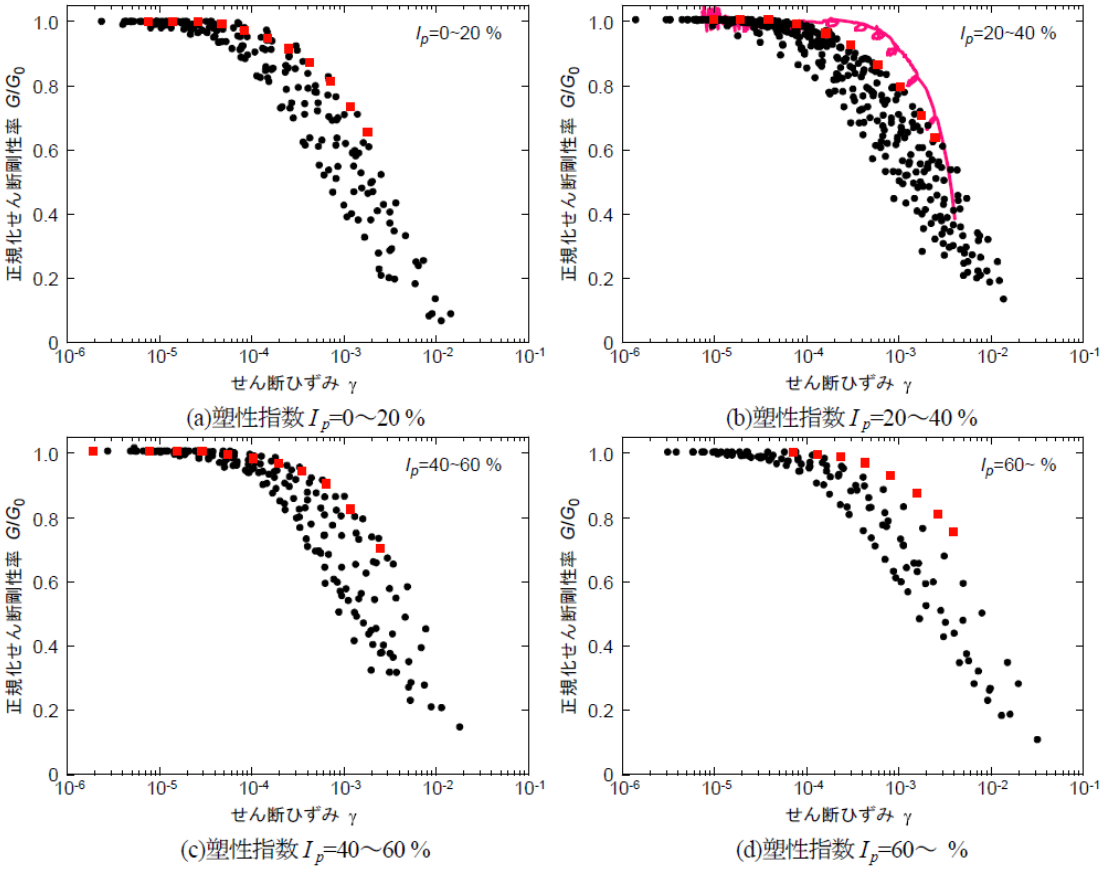


(a)ダイヤ試料のうち乱れの少ないもの

(b)ダイヤ試料のうち乱れが認められるもの

(c)チューブ試料

図 3.2-23　図 3.2-22 の試料についての $G/G_0-\gamma$ 関係［福元ほか（2009）の図 7］。ダイヤ試料、チューブ試料は、ダイヤモンド・コアドリルおよびトリプルチューブ・サンプラーにより採取したことを意味する。また、「乱れ」は、試料採取時の振動やその後の応力解放によって試料内部に生じた微小なクラックのことを指している。



(a)塑性指数 I_p=0～20 %　(b)塑性指数 I_p=20～40 %

(c)塑性指数 I_p=40～60 %　(d)塑性指数 I_p=60～ %

図 3.2-24　N＞30 または V_S＞300m/s の試料についての $G/G_0-\gamma$ 関係[福元・他(2009)の図 12]。塑性指数（I_P）毎に層別されている。最も乱れの少ない試料を赤色で表示。(b)には福元・他（2009）図 8（No.2 の試料）の結果を併記。

(c)　結論および今後の課題

本検討では、長期評価に基づいて M8 クラスから最大クラスまでの地震を対象として 400 ケース弱の長周期地震動シミュレーションを実施した。計算に用いるシナリオの選定では、破壊開始点を細かく設定することで最大速度、速度応答値のばらつき（分布形状）の幅をどの程度押さえられるかを検討した。平成 24 年度の検討における計算結果に比べて振幅レベルが小さい傾向が見られ、主に震源モデルの設定に起因することが分かった。ただし、いずれも「レシピ」に基づいて設定された震源モデルである。また、長周期地震動予測地図（試作版）との比較から、本検討の計算では、破壊開始点による違いが現れやすく、震源域の東西延長上ではアスペリティからの寄与が効率よく重なり合って振幅が大きな結果となる傾向があることが示唆された。平成 24 年度までの検討も含めた計算結果をもとに長周期地震動の確率論的ハザード評価を試行した。低確率のハザードマップでは、地下構造の影響を反映して平野部においてハザードが高くなる傾向が確認された。大きなばらつきをもった多数の計算結果のとりまとめ方として、確率論的なハザード評価は有効な方法であると考えられる。一方で、過去に発生した証拠のない最大クラスの地震、既往最大と考えられる 3 連動型地震の 2 つのグループについて、特定の地点を対象として代表

シナリオの抽出を試行した。震源モデルの違いによる影響は地点ごとに異なるため、地点ごとに異なるシナリオが代表として抽出された。このような取りまとめは、地点ごとに具体的なシナリオを提示する方法として有効であろう。

これまでの検討では、「レシピ」に示された平均的な震源パラメータの設定に基づいたものであり、「レシピ」の範囲内でのばらつきの評価となっている。今後は、長周期地震動だけでなく海溝型地震の広帯域地震動評価に向けて震源時間関数やスケーリング則（アスペリティ面積比など）等に関する検討・整理を行い、海溝型プレート間（巨大）地震の震源モデルの改良を行うことが必要である。また、破壊伝播様式の複雑さの導入や、広帯域地震動評価に向けて別途検討が進められている浅部・深部統合地盤モデルを地震動シミュレーションに組み入れていくことも必要である。本検討では、このように長周期地震動の確率論的ハザード評価の手法を示すことはできたが、ここで試算した確率論的ハザード評価の妥当性を検証するために、計算方法の改良や破壊開始点の設定をはじめとして、ばらつきの幅ばかりでなく分布形状をも押さえるためのより適切なパラメータ設定方法の確立とそれに基づく十分なシミュレーションが必要である。

(d) 引用文献

Allmann, B. P. and P. M. Shearer, 2009, Global variations of stress drop for moderate to large earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, **114**, B01310, doi:10.1029/2008JB005821.

Geller, R. J., 1976, Scaling relations for earthquake source parameters and magnitudes, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **66**, 1501-1523.

福元俊一・吉田望・佐原守，2009，堆積軟岩の動的変形特性，日本地震工学会論文集，9，46-64．地震調査委員会，2009，「長周期地震動予測地図」2009 年試作版，66pp.

地震調査委員会，2009，「長周期地震動予測地図」2009 年試作版.

地震調査委員会，2012，「長周期地震動予測地図」2012 年試作版－南海地震（昭和型）の検討－.

地震調査委員会，2013a，南海トラフの地震活動の長期評価（第二版），94pp.

地震調査委員会，2013b，今後の地震動ハザード評価に関する検討～2013 年における検討結果～付録.

Kanamori, H. and D. Anderson, 1975, Theoretical basis of some empirical relations in seismology, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **65**, 1073-1095.

文部科学省研究開発局・防災科学技術研究所，2012，平成 23 年度　長周期地震動予測地図作成等支援事業　成果報告書.

文部科学省研究開発局・防災科学技術研究所，2013，平成 24 年度　長周期地震動予測地図作成等支援事業　成果報告書.

内閣府，2011，南海トラフの巨大地震モデル検討会　中間とりまとめ.

中村洋光・宮武隆，2000，断層近傍強震動シミュレーションのための滑り速度時間関数の近似式，地震 2，53，1-9.

3.3. 相模トラフを対象とした長周期地震動ハザード評価等

(1) 事業の内容

(a) 事業の題目

相模トラフを対象とした長周期地震動ハザード評価等

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
独立行政法人　防災科学技術研究所	研究領域長	藤原　広行
独立行政法人　防災科学技術研究所	主任研究員	森川　信之
独立行政法人　防災科学技術研究所	データセンター長	青井　真
独立行政法人　防災科学技術研究所	契約研究員	前田　宜浩
独立行政法人　防災科学技術研究所	契約研究員	岩城　麻子

(c) 事業の目的

相模トラフで発生するマグニチュード８程度以上の地震を対象とした長周期地震動ハザード評価を行い、結果をハザードマップ等で提示する。

(2) 事業の成果

(a) 事業の要約

相模トラフで発生するマグニチュード８程度以上の地震を対象として、震源パラメータの不確定性を考慮した多数の震源モデルを作成した。それぞれの震源モデルについて長周期地震動シミュレーションにより地震波形を計算し、地震の発生頻度を考慮することによりハザード評価を行い、結果をハザードマップやハザードカーブとして提示した。

(b) 事業の成果

1) 震源パラメータの設定

（A）巨視的震源パラメータ

相模トラフで発生するマグニチュード（以下、M）8 クラスの地震に関して、地震調査研究推進本部（以下、地震本部）における議論に基づいて設定された「最大クラスの地震」の震源域が首都直下地震モデル検討会（2013）に示されている。本検討では、南海トラフの地震における領域区分や 1923 年大正関東地震の震源域、平成 24 年度の「長周期地震動予測地図作成等支援事業」の検討を参考に、

- フィリピン海プレート上面の深さ方向について「浅部」、「中部」、「深部」に分割する。このとき、プレート上面深さ 10km および 30km をそれぞれの境界とする。
- 「浅部」と「中部」について、大正関東地震の震源域の東端を境界として東西に分割する。
- 「浅部」、「深部」はそれぞれ単独では活動せず、常に「中部」と同時に活動する。

を仮定して「最大クラス」の地震の震源域を区分した。これにより、図 3.3-1 に示す No.1～No.8 の震源域が設定される。ここで、大正関東地震の震源域については、首都直下地震モデル検討会（2013）に基づいている。

各領域を震源とする地震の規模については、3.1 節で述べた通り、震源域全体の平均応力降下量を海溝型プレート間地震の平均的な値である 3MPa（例えば、Kanamori and Anderson, 1975; Allmann and Shearer, 2009）と仮定して、震源域の面積より算出した（表 3.3-1）。

（B）微視的震源パラメータ

各地震の微視的震源パラメータは、3.1 節で述べた方針に従って設定した。このとき、浅部領域のすべりの大きな領域については、震源域が西側のみ（No.3）または東側のみ（No.4）の場合には設定せず、浅部全体の 20%の大きさで 1 個のみ配置することとした。

アスペリティ（強震動生成域）の配置に関して、一部を除いて首都直下地震モデル検討会（2013）において M7 クラスのフィリピン海プレート上面の地震の震源域、および M8 クラスの地震のアスペリティを配置されていない

・蛇紋岩化域（おおむね千葉県北部）
・房総半島沖のスロースリップ域
・フィリピン海プレートの厚さが 15km 未満の領域

にもアスペリティが含まれるモデルとなっている。

以上により設定される震源モデルをここでは、「基本ケース」と呼ぶことにする。アスペリティおよび破壊開始点位置を図 3.3-2 に示す。基本ケースの組み合わせは、表 3.3-2 に示す 156 ケースとなっている。

（C）その他の震源パラメータ

その他の震源パラメータについては、3.1 節で述べた通りに設定した。

（D）震源モデルの追加

上記の基本ケース（計 156 ケース；表 3.3-2）に対して、浅部の大すべり域を含む震源域（No.6 および No.8）のうち、特に計算波形の最大振幅に大きく影響を及ぼす「s1」のケースについて、浅い部分における破壊過程の不確実性を考慮した以下の震源モデルを追加する。

①浅部西側に大すべり域を配置したケース（s1）について、浅部の大すべり域のすべり速度時間関数を中村・宮武（2000）から smoothed ramp に変更。
②浅部西側に大すべり域を配置したケース（s1）について、南海トラフの地震の検討に基づき破壊伝播速度を 2.7km/s から 2.3km/s に変更。

また、平成 24 年度の「長周期地震動予測地図作成等支援事業」における検討では本検討

よりも小さいアスペリティを配置していたことから、アスペリティの大きさに関する不確実性を考慮したモデルも追加した。ここでは、発生頻度が比較的高いと考えられる大正関東地震に相当する震源域に対して、以下の震源モデルを追加する（図 3.3-3）。このとき、アスペリティ配置はパターン 3 に基づいて設定した。

③領域 No.3（首都直下地震モデル検討会（2013）の大正地震に相当）に関して、アスペリティ数を 4 個としたもの（総面積は変わらず）

④領域 No.3（首都直下地震モデル検討会（2013）の大正地震に相当）に関して、アスペリティ面積を 1/2 としたもの（「レシピ」に従って実効応力等のパラメータを再設定）

さらに、No.1～No.8 で対応しない元禄関東地震の震源域について、首都直下地震モデル検討会（2013）のモデルを参照して設定した（図 3.3-4 の No.10）。あわせて、元禄地震では破壊したが大正地震で破壊していない（「元禄地震－大正地震」）とされる房総半島南東沖の地震の震源域も設定した（図 3.3-4 の No.9）。このとき、巨視的震源パラメータは、震源断層全体の平均応力降下量を 3.0MPa と仮定して設定したが、アスペリティの数、位置および大きさは首都直下地震モデル検討会（2013）の強震断層モデルにおける強震動生成域に基づいて設定した（図 3.3-5 右図）。ただし、実効応力等のパラメータの値については、「レシピ」に従って設定しており、首都直下地震モデル検討会（2013）によるパラメータ（下記）と異なっている。

強震断層モデルの強震動生成域総面積=2384.2km^2
強震断層モデルの地震モーメント=4.6×10^{20}Nm（Mw=7.7）※
津波断層モデルの Mw=8.5（震源域全体）
強震動生成域の実効応力=25.0MPa（大正地震、元禄地震で共通）
※強震断層モデルの地震モーメントは強震動生成域のみによるものである

以上の追加モデルは、表 3.3-2 に赤字で示した 90 ケースである。それぞれの震源パラメータを表 3.3-3 に示す。

2) 計算結果

まず、基本ケース（156 ケース）について、東京都庁、神奈川県庁、千葉県庁、埼玉県庁における速度波形を図 3.3-6 に示す。いずれの地点においても、破壊開始点が南（h3）または南東（h5）の場合に振幅が大きくなる。また、No.6 および No.8 では、西側の領域に浅部大すべり域がある場合（s1）、継続時間の長い大振幅の波となっている。

No.8 の震源域に関してすべり速度時間関数あるいは破壊伝播速度を変えたケースの計算波形を比較した例を図 3.3-7 に示す。西側の浅部大すべり域の震源時間関数を smoothed ramp 関数に変えた場合や破壊伝播速度を遅くした場合には、特に後続の振幅が大きく継続時間が長い部分の振幅が小さくなる傾向が見られ、破壊伝播速度を遅くした場合に特にその傾向が顕著である。

No.3 の震源域に関してアスペリティ面積を変えたケースの計算波形を比較した例を図

3.3-8 に示す。大局的には工学的基盤上の最大速度では大きな違いは見られないものの、アスペリティが小さいケース（P4 または P5）で最大速度が 2 倍近く大きくなっている場合があるほか、卓越周期が変わるケースも見られる。

図 3.3-9 に、代表 4 地点（東京都庁、神奈川県庁、千葉県庁、さいたま県庁）における工学的基盤上の最大速度（PGV）と速度応答値（周期 5 秒、7 秒、10 秒；減衰定数 5%）の頻度分布（ヒストグラム）を示す。全体的な傾向として、震源域が広いほど（マグニチュードが大きいほど）振幅レベルは高い。また、破壊が南（h3：黄緑のバー）あるいは南東（h5：青のバー、h7：橙のバー）の場合に振幅が大きい。震源域が房総半島南東沖の場合（No.2、4、9）は破壊開始点位置の違いによる振幅の違いが顕著でばらつきが大きい。

3) 長周期地震動ハザード評価

本年度の検討では、結果をハザードマップやハザードカーブとして提示することを目標としている。そこで、例として、これまでの計算結果を用いて代例示地点（東京都庁、神奈川県庁、千葉県庁、埼玉県庁）におけるハザードカーブを計算する。

まず、各震源域（図 3.3-1 の No.1～8 および図 3.3-4 の No.9、10）についての条件付きハザードカーブを作成する。このとき、破壊開始点やアスペリティ位置等が異なる各ケースの「起こりやすさ」に関する情報は得られていないため、ここでは重みを等配分した。次に、作成された各震源域についてのハザードカーブから、各領域に対して重みを付してそれらを足し合わせることで、相模トラフの M8 クラスの地震全体での条件付きハザードカーブを求める。

各震源域に対する重みを付すにあたって、以下の 3 つのグループに分ける。

①大正関東地震タイプ（平均発生間隔はおおむね 200～400 年）。
②元禄関東地震またはそれ以上（平均発生間隔 2300 年）。
③房総半島南東沖の地震

No.1～No.10 の震源域について、

①No.1 および No.3
②No.5～8 および No.10
③No.2, No.4 および No.9

と分けられる。③の地震については過去に発生したことが知られていないが、房総半島南東沖にひずみが蓄積している可能性が指摘されていること（例えば、西村、2012）や、過去に発生していても陸域に証拠が残りにくいために見落とされている可能性があることを考慮して、①に含めて評価する。ただし、過去の地震の痕跡が見つかっていないことを踏まえて、①の重みを大きくし、①：③を 3:1 とする。①が 200～400 年間隔、②が 2300 年間隔であることから、

①③：②＝7：1、①：③＝3：1 → ①：②：③＝21：4：7

とした。それぞれのグループ内の重みは、地震の規模に応じて、確率論的地震動ハザード評価で用いられている b 値が 0.9 のグーテンベルグ・リヒターの関係式に合うように配分した。このとき、グループ内で規模（M）に「抜け」がある場合は、他の規模に配分する。以上より設定される重みを表 3.3-4 に示す。

このようにして試算したハザードカーブを図 3.3-10 に示す。同様の作業を面的に行い、ここでは、地震動予測式と同様に対数正規分布が仮定できると考え、条件付超過確率が 50%（中央値）、15.9%（対数正規分布での+1σに相当）となる地震動強さの分布をマップとして表示することにより「長周期地震動ハザードマップ」とする。最大速度および速度応答スペクトル（減衰定数 5%；周期 5 秒、7 秒、10 秒）を対象としたマップを図 3.3-11 に示す。図 3.3-11 では、参考のため、条件付超過確率が 2.3%（対数正規分布での+2σに相当）のマップも示している。

もう一つのまとめ方として、各地点における代表的なシナリオを抽出することを試みる。ここでは、3 つのグループごとに、応答スペクトルを基に代表シナリオを選定する。相対速度応答スペクトル（減衰定数 5%；水平 2 成分のうち大きい方を採用）についての平均値（相乗平均）、平均値＋1σ、平均値＋2σ、最大値を求め、それぞれに対して周期 3～10 秒の帯域でスペクトル形状が最も良く合う（残差二乗和が最小となる）シナリオを抽出した。東京都庁、神奈川県庁、千葉県庁、埼玉県庁の 4 地点についての結果を図 3.3-12 に示す。最大クラスと+2σはほぼ同じシナリオが抽出されている。ただし、本検討では破壊伝播の不均質性を考慮していないためにディレクティビティ効果が強く出すぎていることや浅部の大すべり域の破壊が深部と同様である仮定のもとでの結果のために過大評価されている可能性があり、これら最大クラスのシナリオとして抽出された波形についての取り扱いには十分な注意が必要である。

(c) 結論ならびに今後の課題

本検討では、相模トラフの M8 クラスの地震を対象として、震源域、破壊開始点およびアスペリティ位置の不確実性を考慮した多数の震源モデルによる長周期地震動シミュレーションを実施し、各震源域の地震の「起こりやすさ」をあわせて考慮することにより長周期地震動ハザード評価を試み、ハザードカーブやハザードマップとして提示した。

本検討で設定した震源モデル群において、地震ハザード評価に必要な不確実性について多くを考慮できつつあるものの、上記の検討からもアスペリティの配置や大きさに関する不確実性の考慮が平成 24 年度の検討を含めてもまだ不十分であると言え、実用的な確率論的ハザード評価を行うためには、さらに多くの震源モデルによる検討が必要である。また、本検討で設定した領域区分および各領域に対する「重み」は、現状の研究成果や知見に基づいてはいるものの、確率論的な長周期ハザード評価を実施するために仮に設定したものである。一方で、相模トラフの地震に関しては、マグニチュード 8 クラスの地震の震源域が首都圏直下まで拡がることや、今回対象としなかったマグニチュード 7 クラスの地震の発生が切迫しているとされていることから、今後は短周期地震動も含めた広帯域地震動ハ

ザード評価を進める必要がある。

(d) 引用文献

Allmann, B. P. and P. M. Shearer, 2009, Global variations of stress drop for moderate to large earthquakes, *Journal of Geophysical Research*, **114**, B01310, doi:10.1029/2008JB005821.

地震調査委員会, 2012, 「長周期地震動予測地図」2012 年試作版－南海地震（昭和型）の検討－.

Kanamori, H. and D. Anderson, 1975, Theoretical basis of some empirical relations in seismology, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **65**, 1073-1095.

西村卓也, 関東南部の地震間地殻変動とプレート間カップリング, 地震予知連絡会会報, **88**, 521-555.

首都直下地震モデル検討会（内閣府）, 2013, 首都直下の M7 クラスの地震及び相模トラフ沿いの M8 クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書.

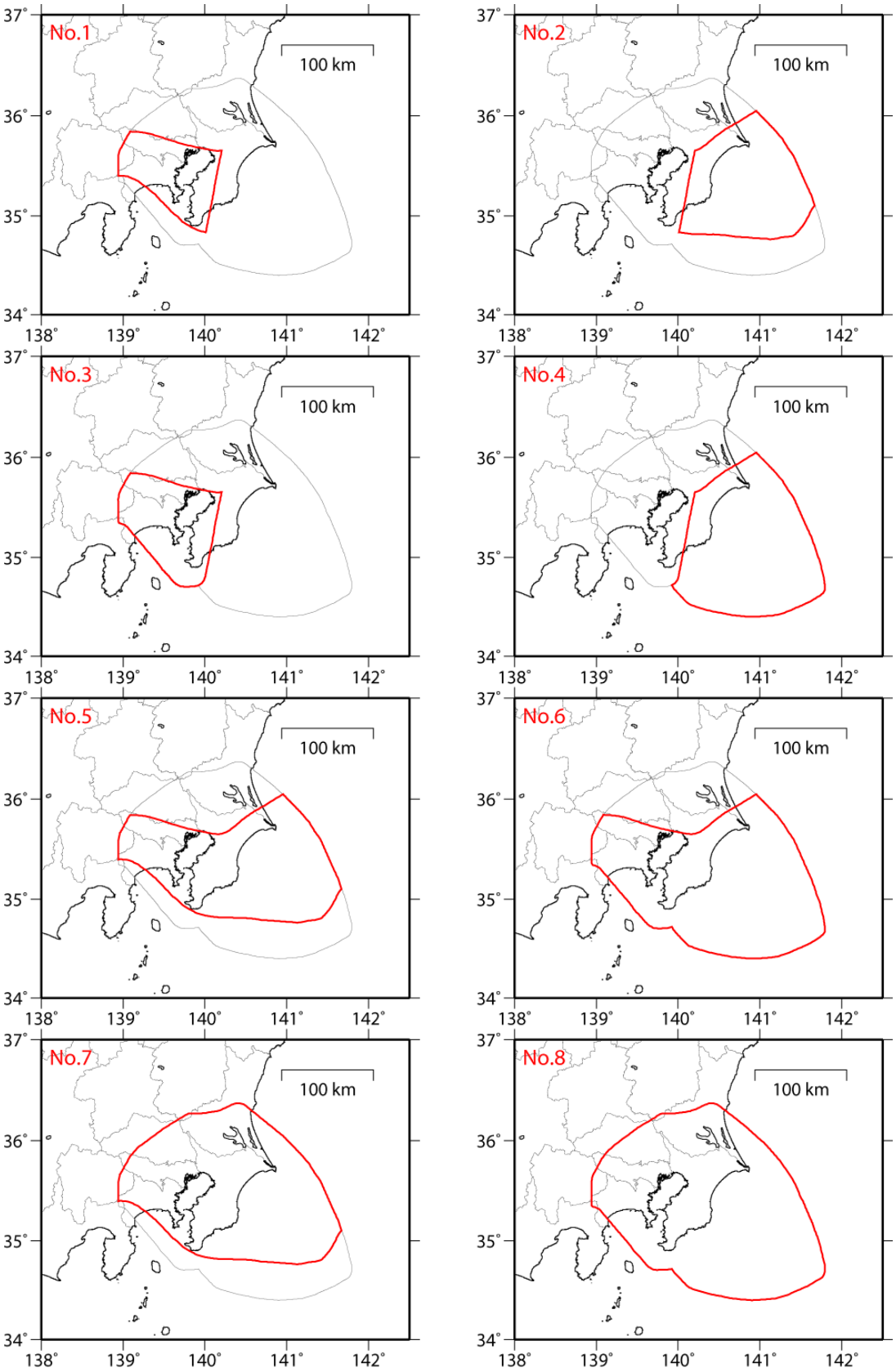


図 3.3-1　相模トラフの M8 クラスの地震の震源域（No.は表 3.3-1 と対応）。

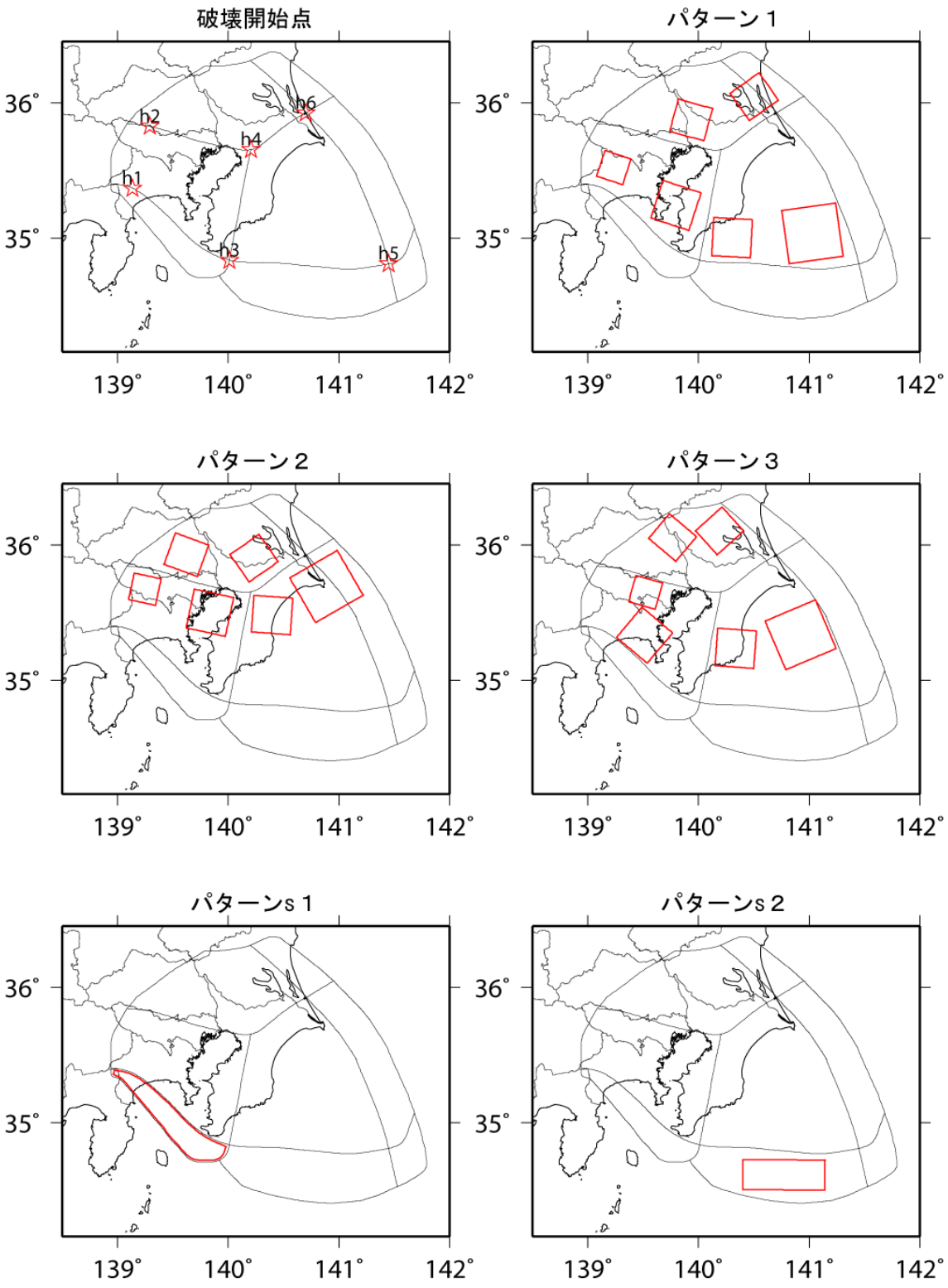


図 3.3-2　アスペリティ（強震動生成域；赤の□など）と破壊開始点（赤の☆）の配置。

表 3.3-1　長周期地震動ハザード評価のための震源パラメータ（基本モデル）。m は中部、d は深部、1 は西部、2 は東部。

No.	巨視的パラメータ		微視的パラメータ								
				m1-1	m1-2	m2-1	m2-2	d-1	d-2	s1, s2	背景領域
1	面積[km²]	7,950	面積[km²]	1,090	500						6,360
	M_0 [Nm]	8.7E+20	M_0 [Nm]	2.9E+20	9.1E+19						4.9E+20
20%	すべり量 [m]	2.7	すべり量 [m]	6.7	4.5						1.9
	Mw	7.9	実効応力 [MPa]	15.0	15.0						2.2
2	面積[km²]	15,030	面積[km²]			2,010	1,000				12,030
	M_0 [Nm]	2.3E+21	M_0 [Nm]			7.4E+20	2.6E+20				1.3E+21
20%	すべり量 [m]	3.7	すべり量 [m]			9.1	6.4				2.6
	Mw	8.2	実効応力 [MPa]			15.0	15.0				2.2
3	面積[km²]	9,990	面積[km²]	1,090	500						8,400
	M_0 [Nm]	1.2E+21	M_0 [Nm]	3.3E+20	1.0E+19						6.9E+20
16%	すべり量 [m]	3.0	すべり量 [m]	7.5	5.0						2.4
	Mw	8.0	実効応力 [MPa]	18.8	18.8						2.8
4	面積[km²]	21,510	面積[km²]			2,010	1,000				18,500
	M_0 [Nm]	3.9E+21	M_0 [Nm]			8.8E+20	3.1E+20				2.7E+21
14%	すべり量 [m]	4.5	すべり量 [m]			10.9	7.7				3.6
	Mw	8.3	実効応力 [MPa]			21.5	21.5				3.1
5	面積[km²]	22,990	面積[km²]	1,090	500	2,010	1,000				18,390
	M_0 [Nm]	4.3E+21	M_0 [Nm]	4.0E+20	1.3E+19	1.0E+21	3.5E+20				2.4E+21
20%	すべり量 [m]	4.6	すべり量 [m]	9.1	6.2	12.4	8.7				3.2
	Mw	8.4	実効応力 [MPa]	15.0	15.0	15.0	15.0				1.6
6	面積[km²]	31,490	面積[km²]	1,090	500	2,010	1,000			1,700	25,190
	M_0 [Nm]	6.9E+21	M_0 [Nm]	4.6E+20	1.4E+20	1.1E+21	4.0E+20			8.9E+20	3.9E+21
20%	すべり量 [m]	5.4	すべり量 [m]	10.3	7.0	14.0	9.9			12.9	3.8
	Mw	8.5	実効応力 [MPa]	15.0	15.0	15.0	15.0			15.0	1.4
7	面積[km²]	31,280	面積[km²]	1,090	500	2,010	1,000	830	830		25,020
	M_0 [Nm]	6.8E+21	M_0 [Nm]	5.0E+20	1.6E+20	1.3E+21	4.4E+20	3.3E+20	3.3E+20		3.8E+21
20%	すべり量 [m]	5.4	すべり量 [m]	11.3	7.6	15.3	10.8	9.9	9.9		3.8
	Mw	8.5	実効応力 [MPa]	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0		1.3
8	面積[km²]	39,790	面積[km²]	1,090	500	2,010	1,000	830	830	1,700	31,830
	M_0 [Nm]	9.8E+21	M_0 [Nm]	5.4E+20	1.7E+20	1.4E+21	4.7E+20	3.6E+20	3.6E+20	1.1E+21	5.5E+21
20%	すべり量 [m]	6.1	すべり量 [m]	12.2	8.3	16.6	11.7	10.7	10.7	15.3	4.3
	Mw	8.6	実効応力 [MPa]	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	1.2

ケース 4（2 個→4 個）　　ケース 5（面積 1/2）

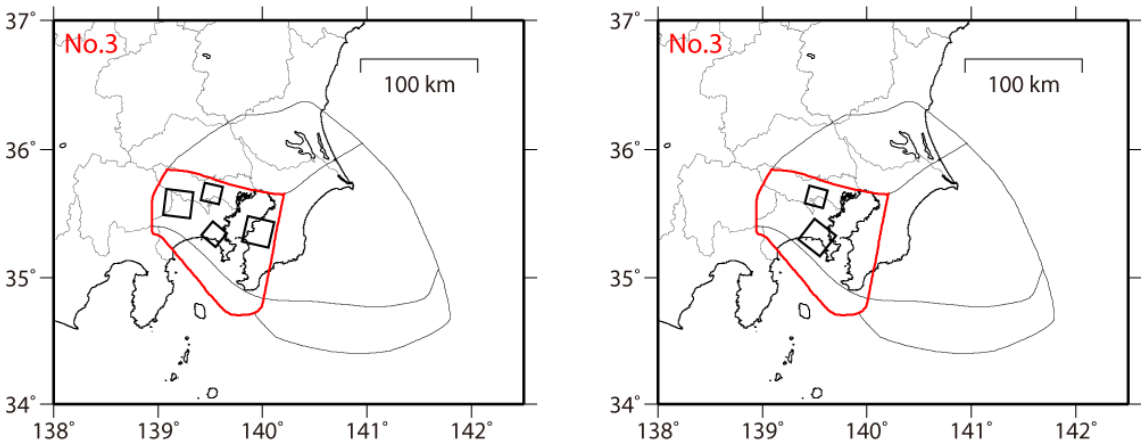


図 3.3-3　震源域 No.3 に対して追加したアスペリティ配置ケース。

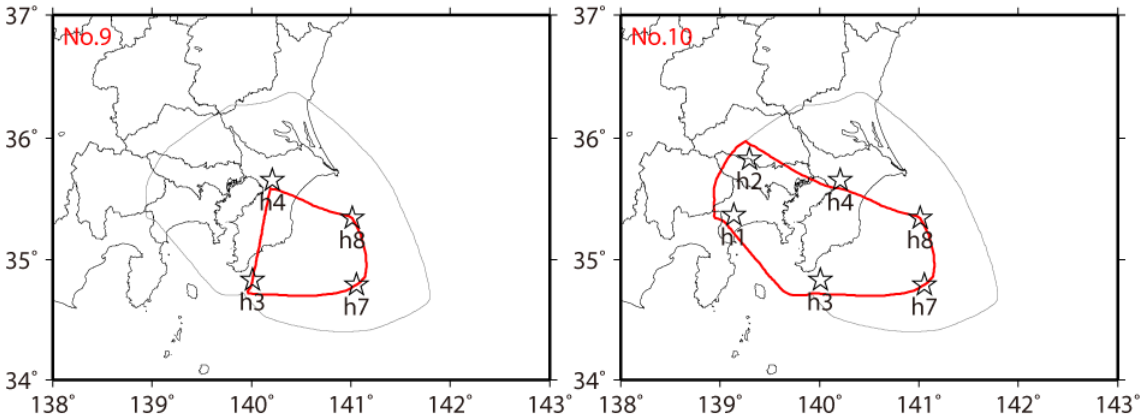


図 3.3-4　追加した房総半島南東沖の地震（No.9）および元禄地震（No.10）の震源モデル。星印は破壊開始点位置（※h1～h4 は図 3.3-2 と同じ位置）。

震源域　　強震断層モデル

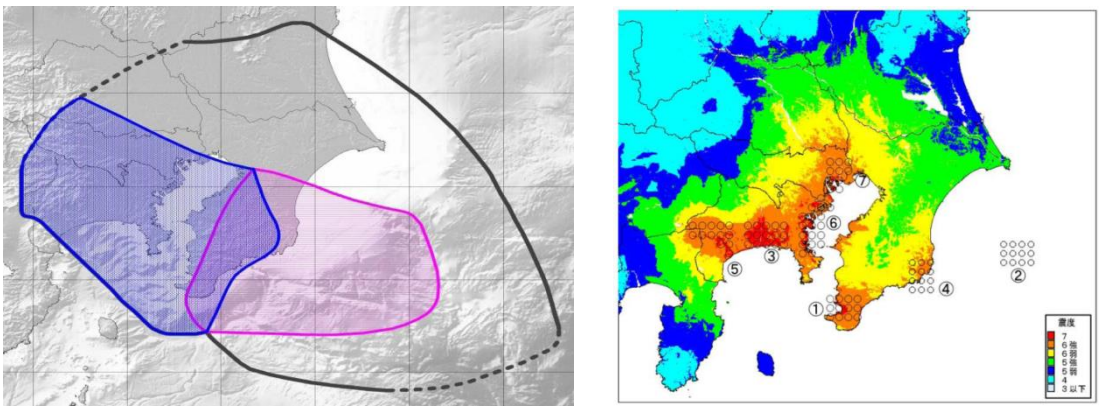


図 3.3-5　左：震源域（青＋桃が元禄地震）、右：強震断層モデル（○が強震動生成域で数字は表 3.3-3 のアスペリティ番号と対応）。（首都直下地震モデル検討会（2013）に加筆）。

表 3.3-2　震源モデルのケース。黒字は基本ケース、赤字は追加ケース。

領域 No.	強震動生成域	大すべり域	破壊開始点	小計
1	3	1*	4	12
2	3	1*	4	12
3	3	1*	4	12
4	3	1*	4	12
5	3	1*	6	18
6	3	2	6	36
7	3	1*	6	18
8	3	2	6	36
6（smoothed ramp）	3	1 (s1)	6	18
6（Vr=2.3 km/s）	3	1 (s1)	6	18
8（smoothed ramp）	3	1 (s1)	6	18
8（Vr=2.3 km/s）	3	1 (s1)	6	18
3（アスペリティ 4 個）	1	1*	4	4
3(アスペリティ面積 1/2)	1	1*	4	4
9（房総半南東沖）	1	1*	4	4
10（元禄関東地震）	1	1*	6	6
計				156＋90

*　は「大すべり域」を配置しない 1 ケースを表す

表 3.3-3　長周期地震動ハザード評価のための震源パラメータ（追加モデル）。

No.	巨視的パラメータ		微視的パラメータ								
				m1-1a	m1-1b	m1-2a	m1-2b				背景領域
3b	面積[km²]	9,990	面積[km²]	550	540	250	250				8,400
	M_0 [Nm]	1.2E+21	M_0 [Nm]	1.7E+20	1.6E+19	5.1E+19	5.1E+19				8.0E+20
16%	すべり量 [m]	3.0	すべり量 [m]	7.5	7.4	5.0	5.0				2.4
	Mw	8.0	実効応力 [MPa]	18.8	18.8	18.8	18.8				2.0
3c	面積[km²]	9,990	面積[km²]	550		250					9,190
	M_0 [Nm]	1.2E+21	M_0 [Nm]	1.7E+20		5.1E+19					1.0E+21
16%	すべり量 [m]	3.0	すべり量 [m]	7.4		5.0					2.7
	Mw	8.0	実効応力 [MPa]	37.7		37.7					4.6
				①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	背景領域
9*	面積[km²]	8,050	面積[km²]		306		315				7430
	M_0 [Nm]	8.9E+20	M_0 [Nm]		7.4E+19		7.7E+19				7.4E+20
8%	すべり量 [m]	2.7	すべり量 [m]		6.0		6.1				2.5
	Mw	7.9	実効応力 [MPa]		38.9		38.9				10.8
10*	面積[km²]	18,030	面積[km²]	313	306	401	315	314	474	262	15650
	M_0 [Nm]	3.0E+21	M_0 [Nm]	1.1E+20	1.0E+20	1.6E+20	1.1E+20	1.1E+20	2.0E+20	8.3E+19	2.1E+21
13%	すべり量 [m]	4.1	すべり量 [m]	8.5	8.4	9.6	8.5	8.5	10.5	7.8	3.3
	Mw	8.2	実効応力 [MPa]	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	5.0

* アスペリティの数、位置および面積を首都直下地震モデル検討会（2013）を参照して設定

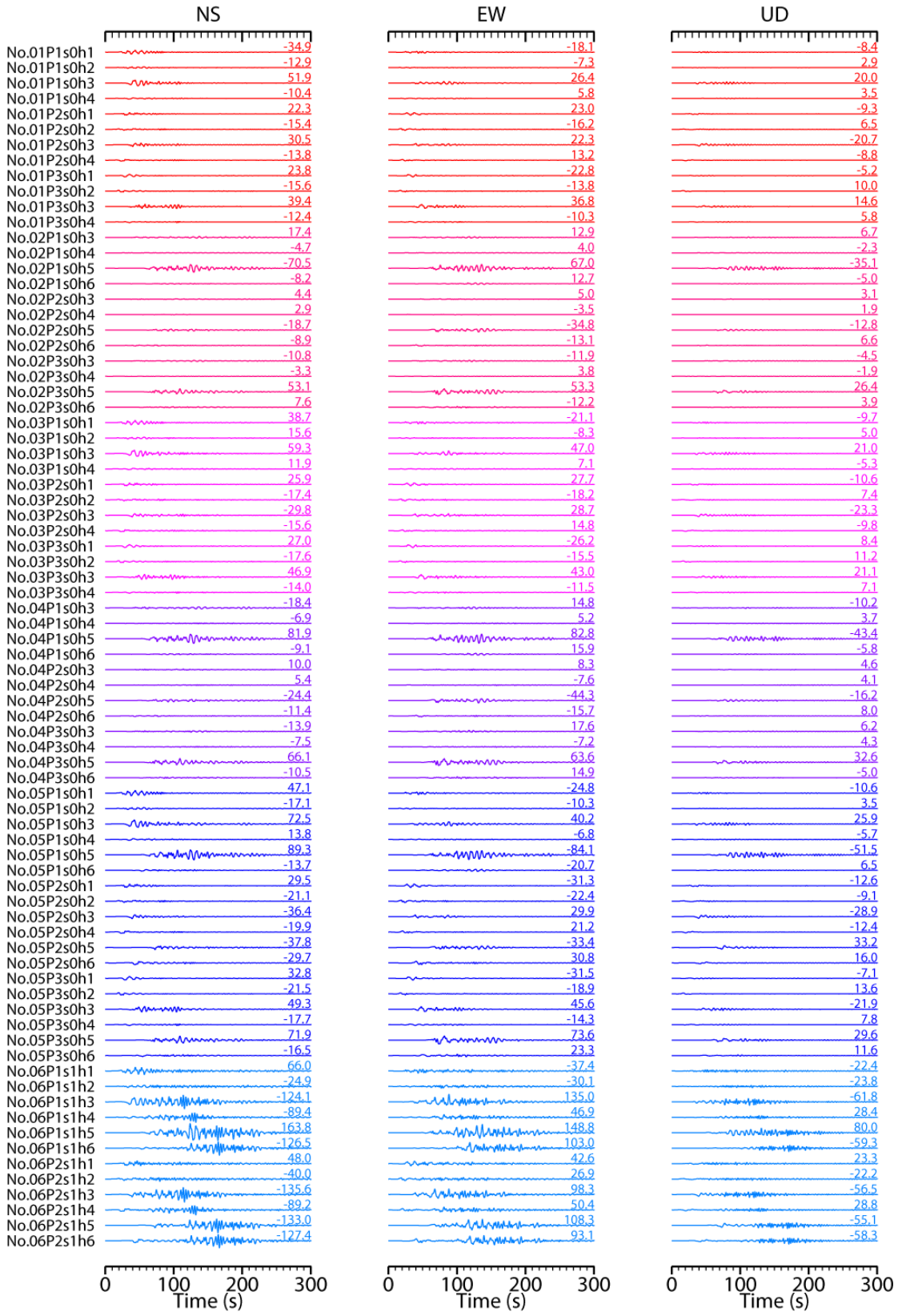


図 3.3-6a　東京都庁における基本モデルによる速度波形。左はケース名、波形右上の数値は最大速度（単位は cm/s）。同じ震源域に対応する波形を同色で示している。

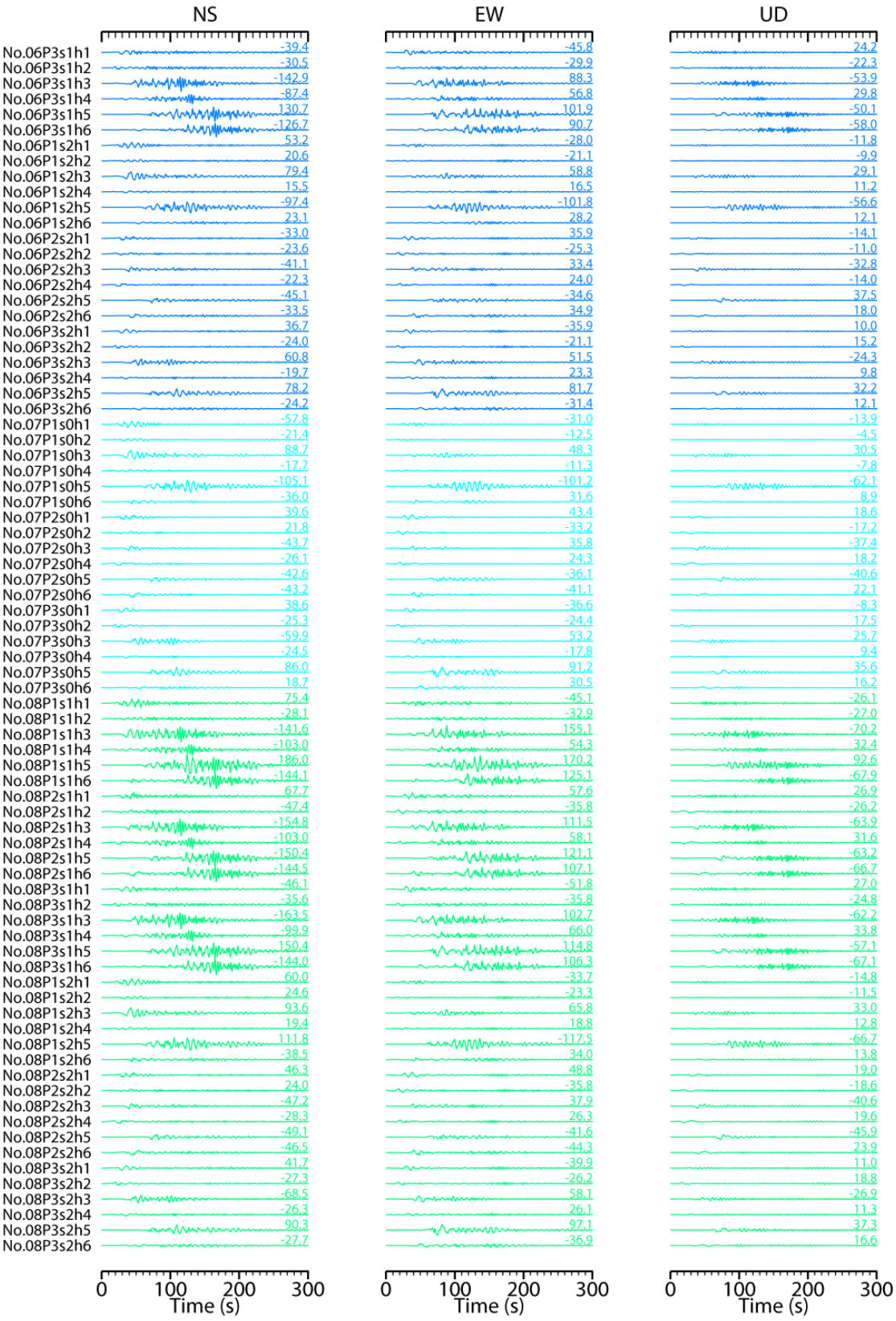


図 3.3-6a　東京都庁における基本モデルによる速度波形（つづき）。

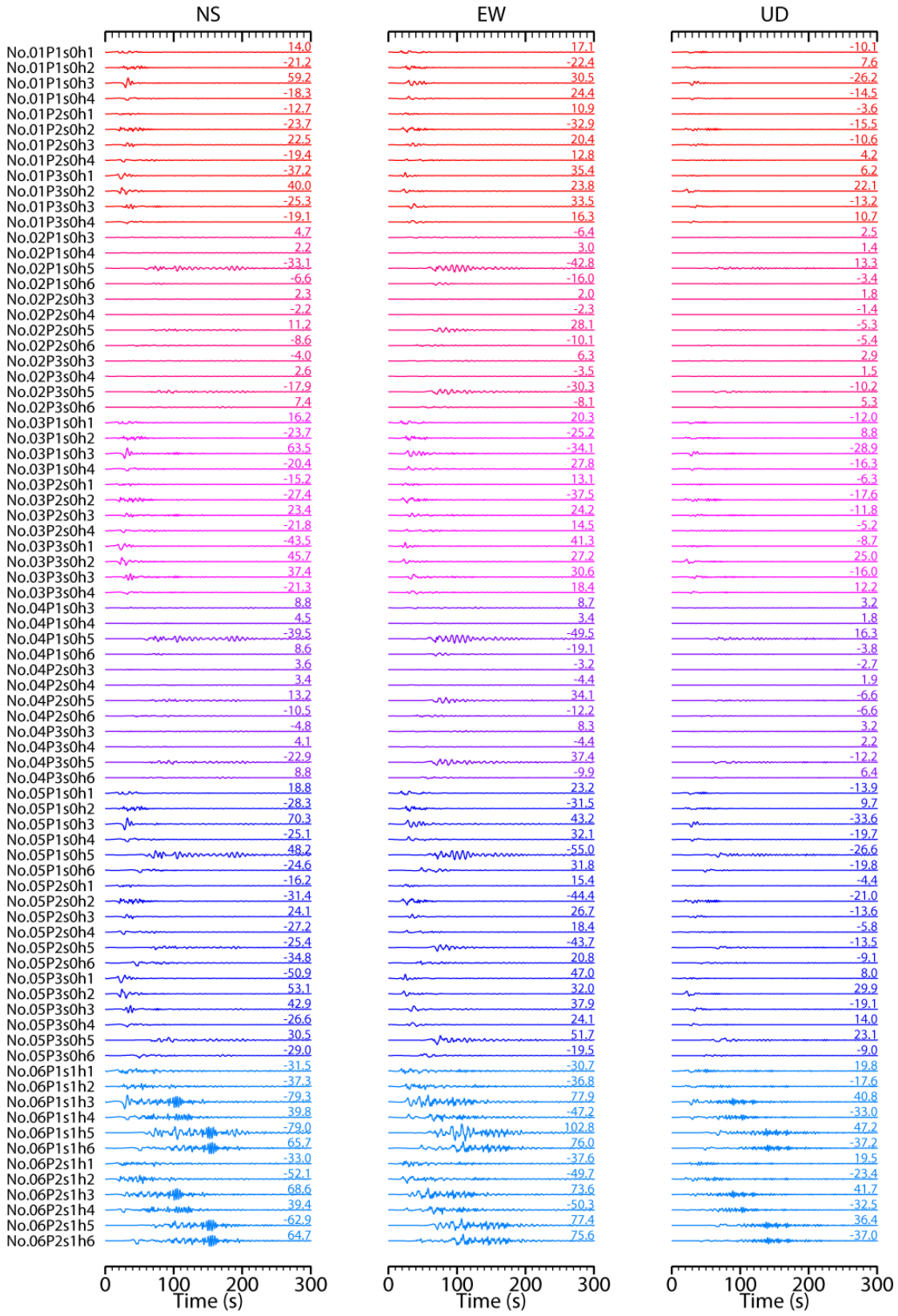


図 3.3-6b　神奈川県庁における基本モデルによる速度波形。左はケース名、波形右上の数値は最大速度（単位は cm/s）。同じ震源域に対応する波形を同色で示している。

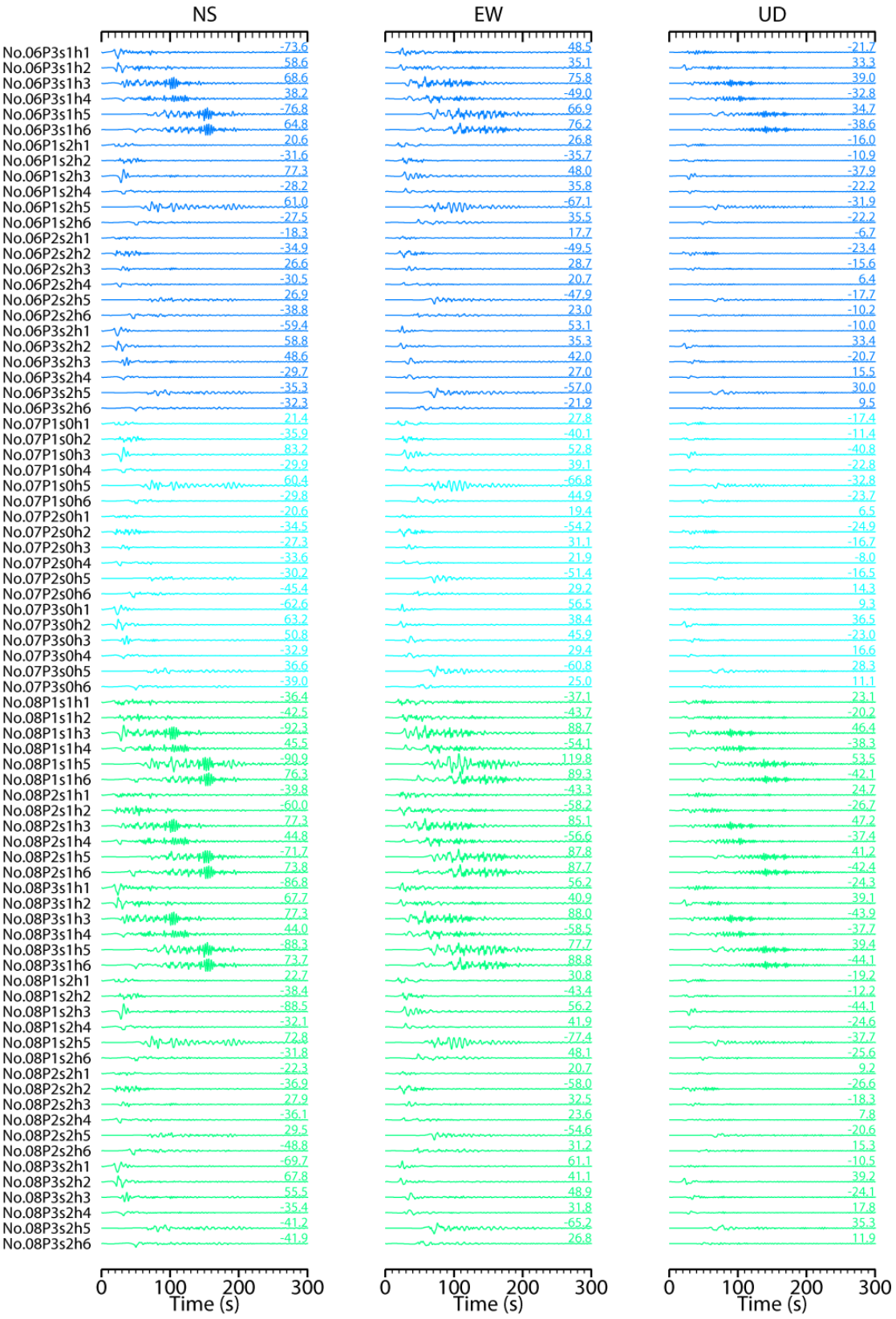


図 3.3-6b　神奈川県庁における基本モデルによる速度波形（つづき）。

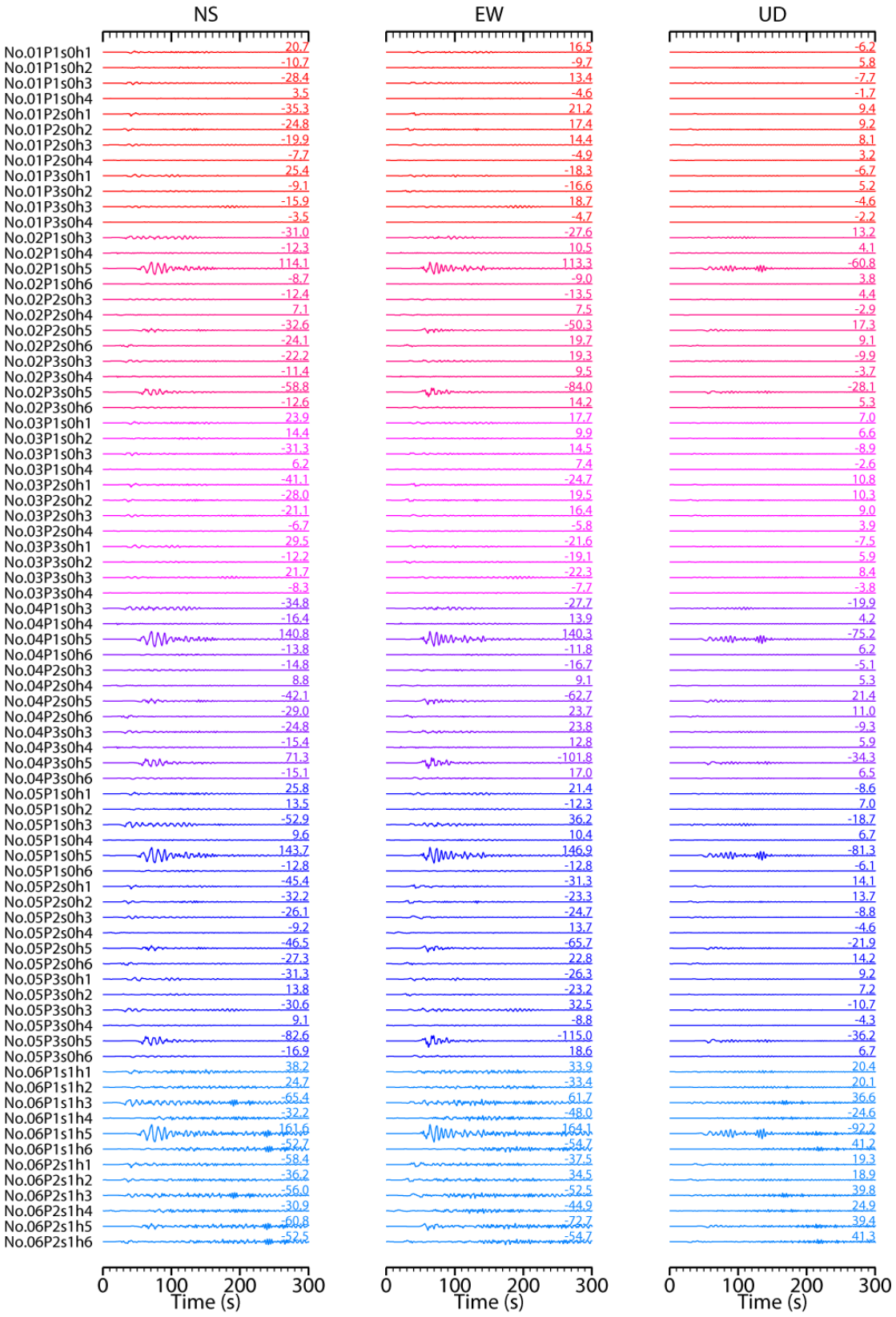


図 3.3-6c　千葉県庁における基本モデルによる速度波形。左はケース名、波形右上の数値は最大速度（単位は cm/s）。同じ震源域に対応する波形を同色で示している。

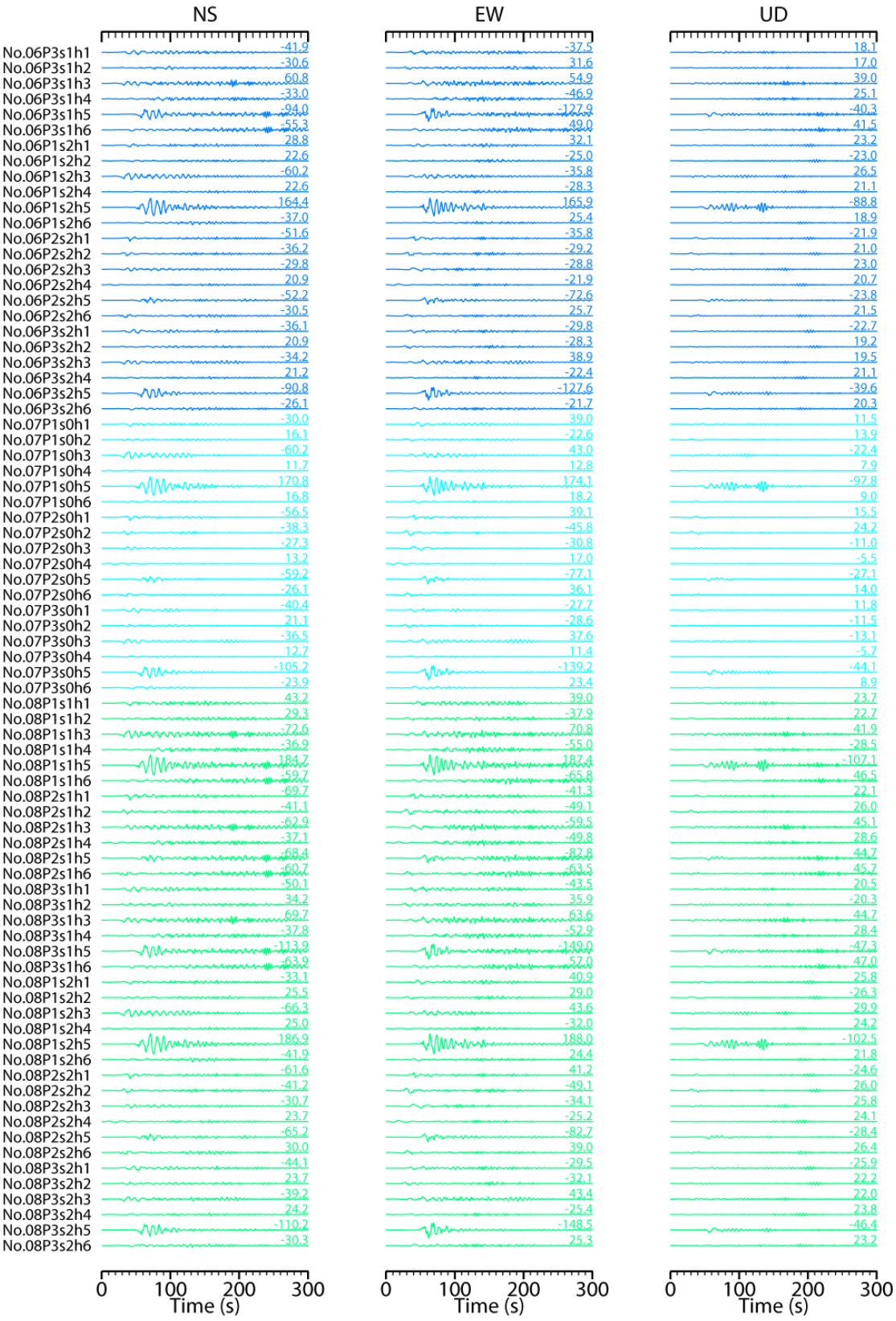


図 3.3-6c　千葉県庁における基本モデルによる速度波形（つづき）。

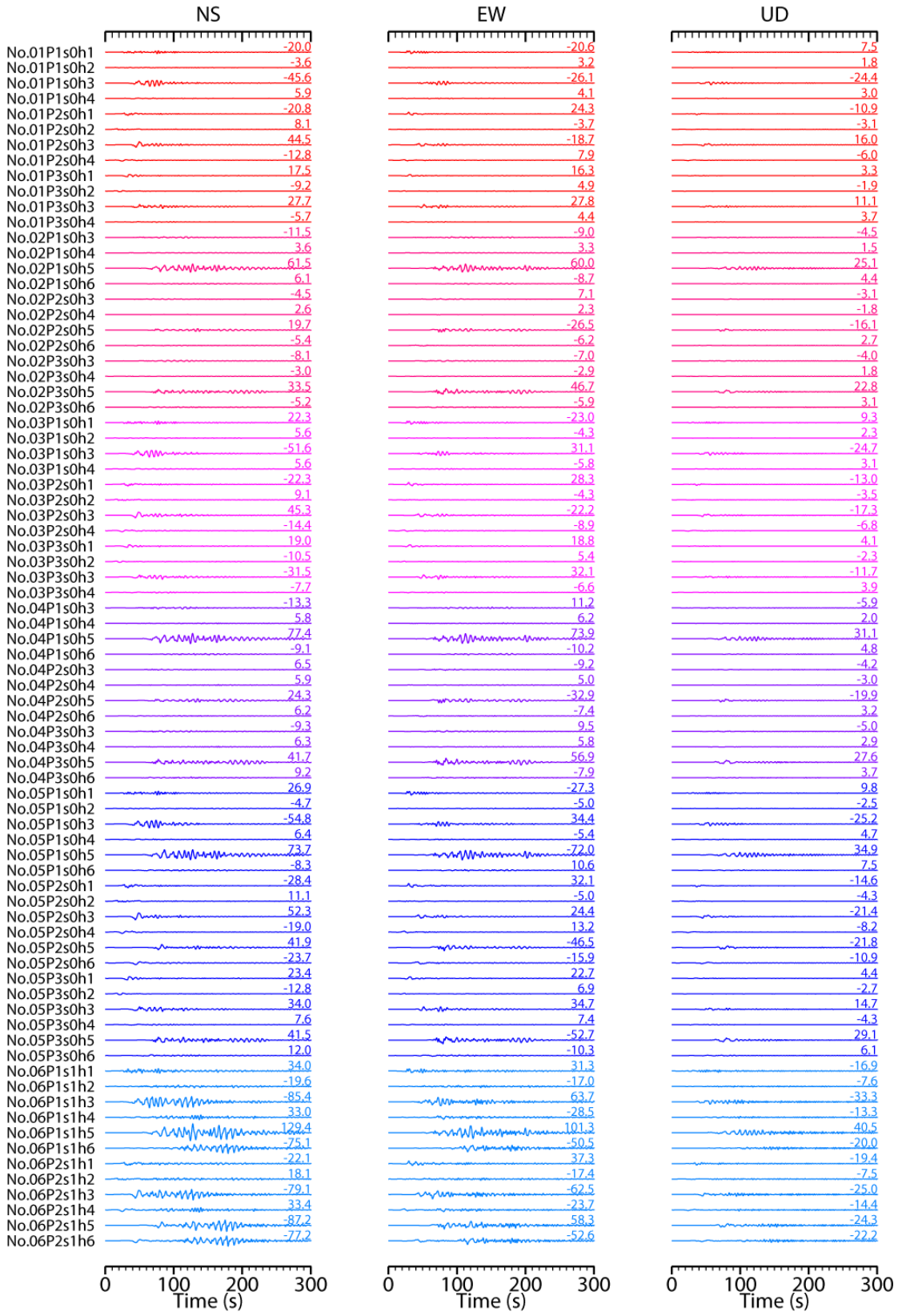


図 3.3-6d　埼玉県庁における基本モデルによる速度波形。同じ震源域に対応する波形を同色で示している。波形は 156 ケース中の最大値で規格化している。

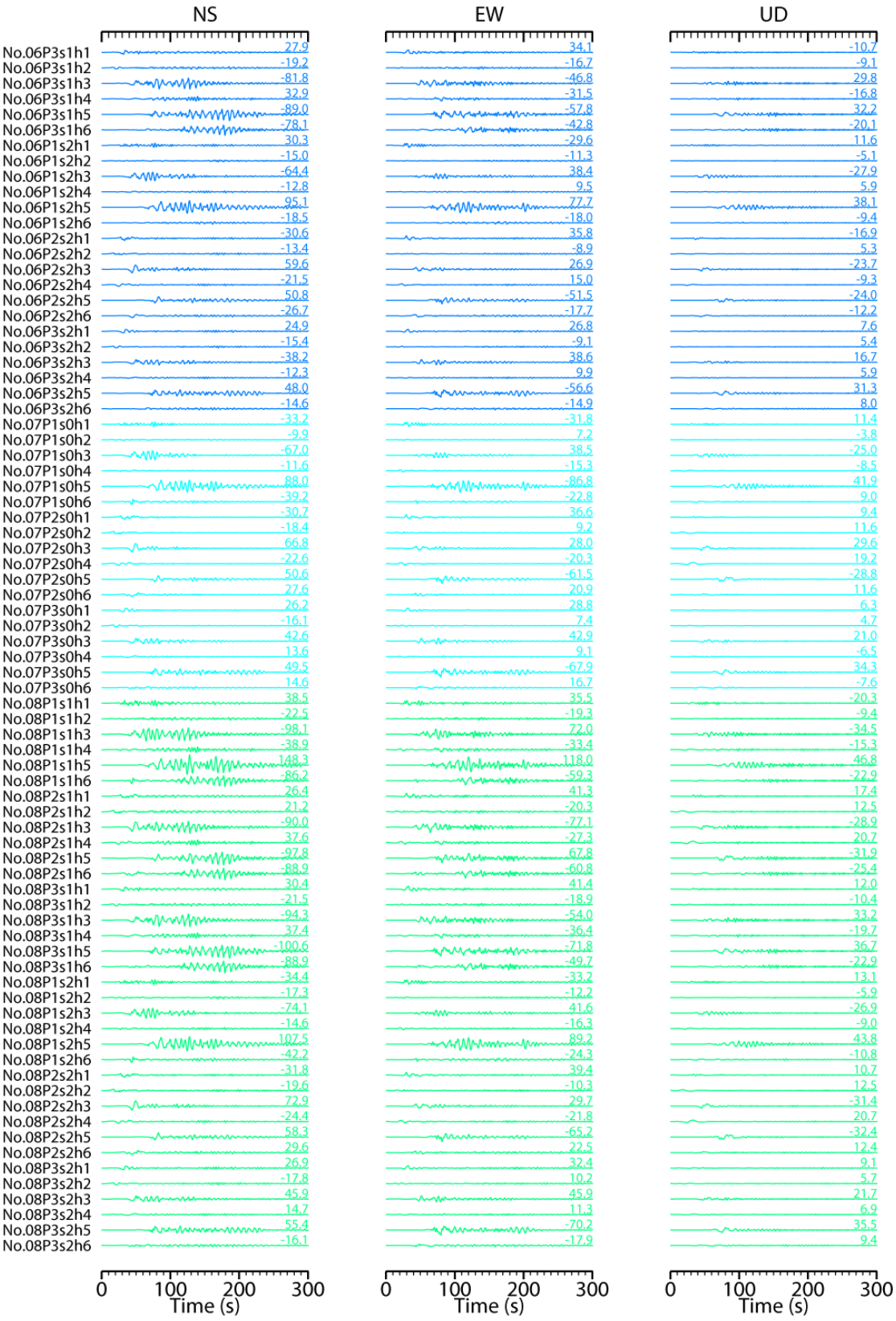


図 3.3-6d　埼玉県庁における基本モデルによる速度波形（つづき）。

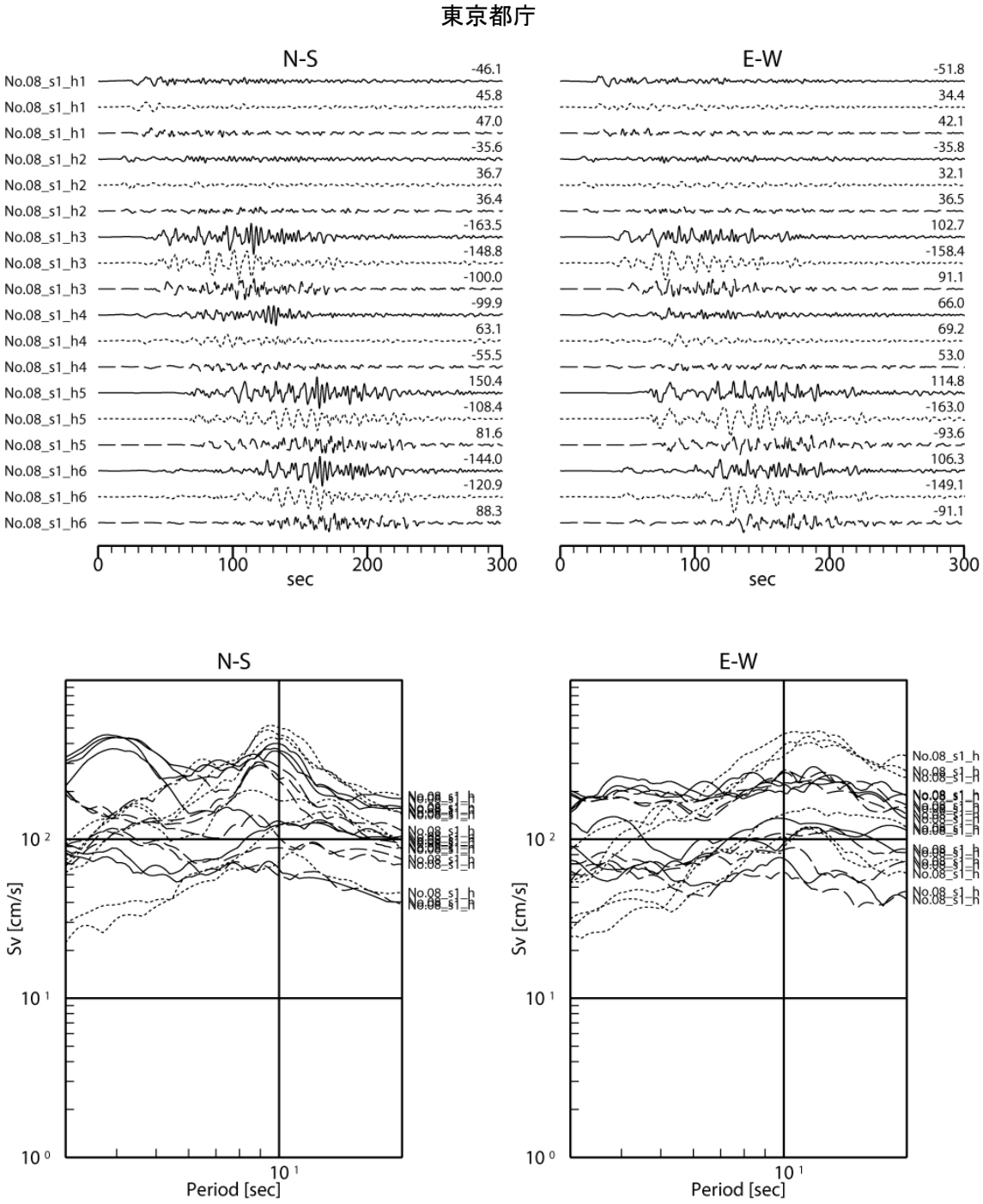
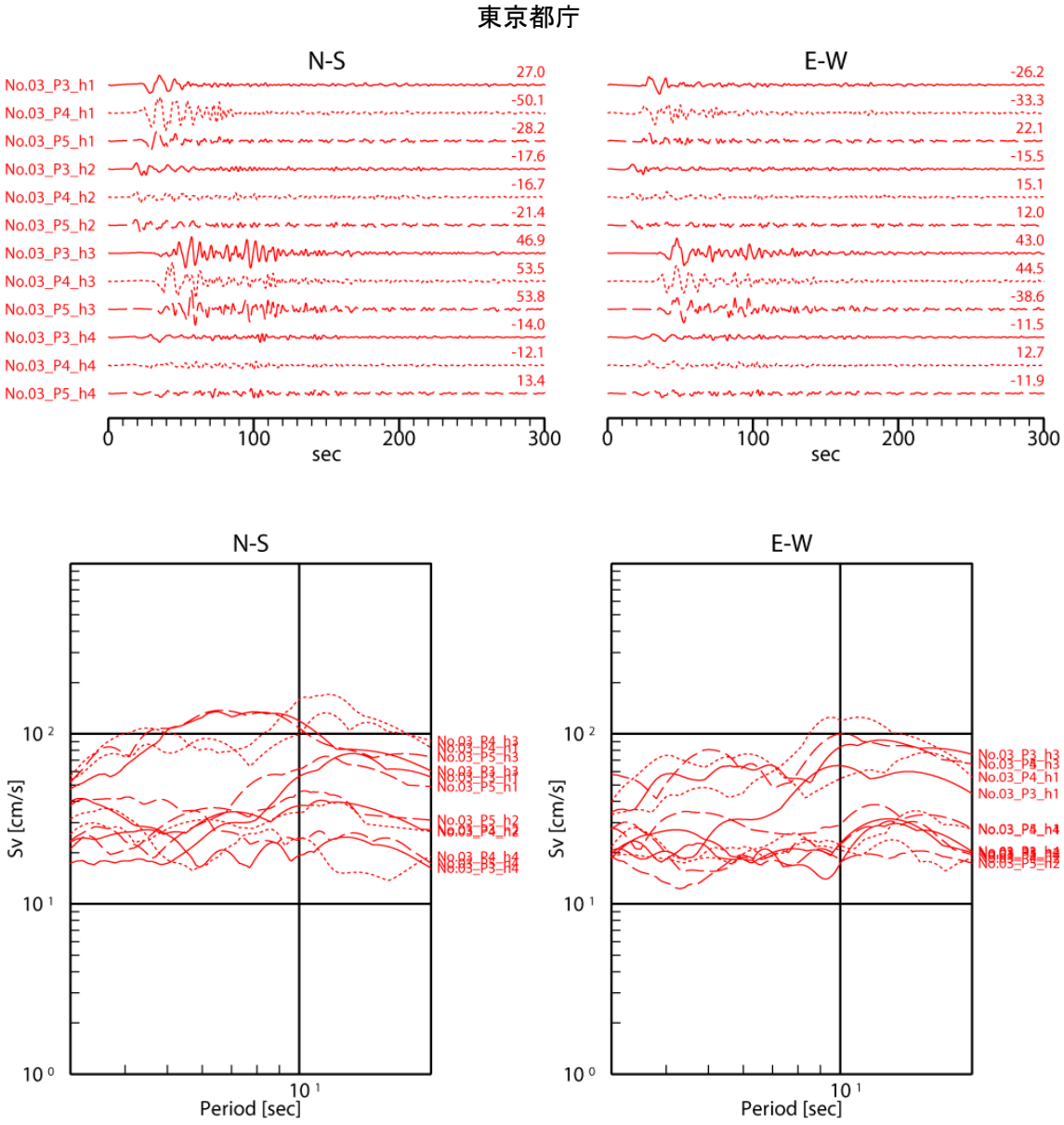


図 3.3-7　No.8 の震源域における西側の浅部大すべり域のパラメータを変えた工学的基盤上の速度波形（上段）と速度応答スペクトル（減衰定数 5%；下段）の比較例（東京都庁)。



実線：ケース 3（P3；中間）

点線：ケース 4（P4；2 個→4 個）

破線：ケース 5（P5；面積 1/2）

図 3.3-8　No.3 の震源域におけるアスペリティ面積を変えた工学的基盤上の速度波形（上段）と速度応答スペクトル（減衰定数 5%；下段）の比較例（東京都庁）。

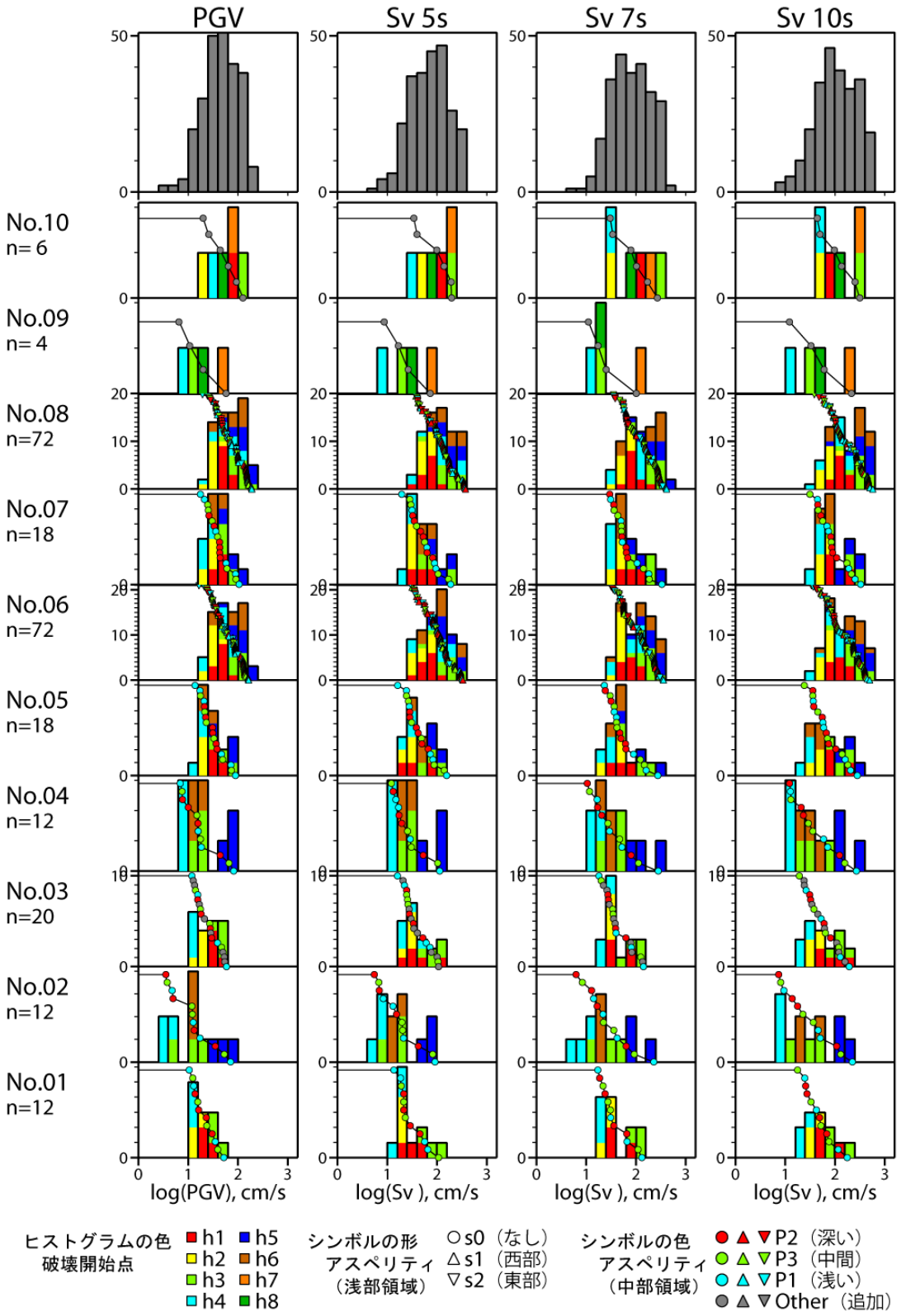


図 3.3-9a　東京都庁における、最大速度と速度応答値（周期 5 秒、7 秒、10 秒、減衰定数 5%）の分布。最上段は表 3 の 246 ケースについてのヒストグラム。2 段目以下は各震源域についてのヒストグラムと累積頻度分布。

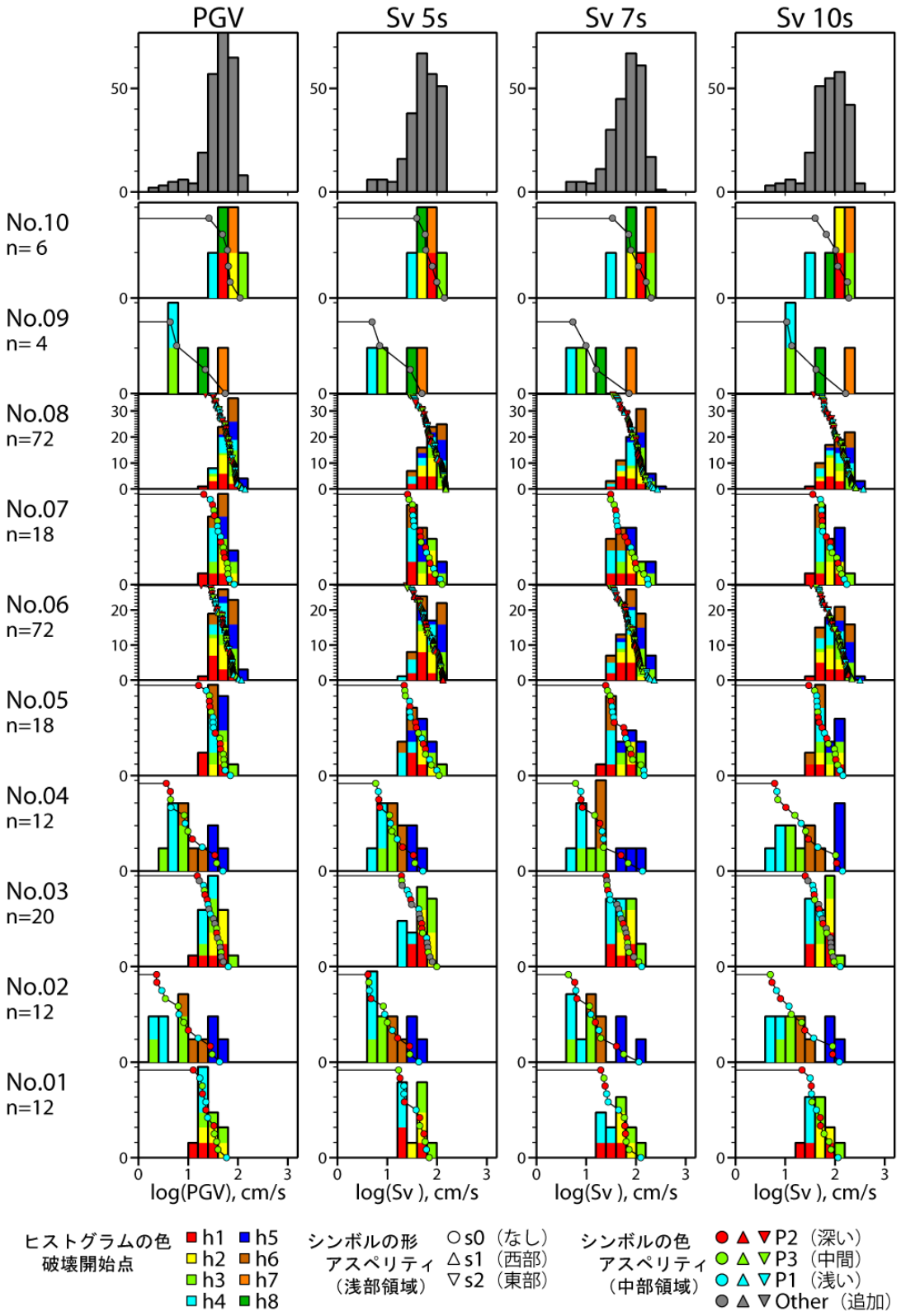


図 3.3-9b　神奈川県庁における、最大速度と速度応答値（周期 5 秒、7 秒、10 秒、減衰定数 5%）の分布。最上段は表 3 の 246 ケースについてのヒストグラム。2 段目以下は各震源域についてのヒストグラムと累積頻度分布。

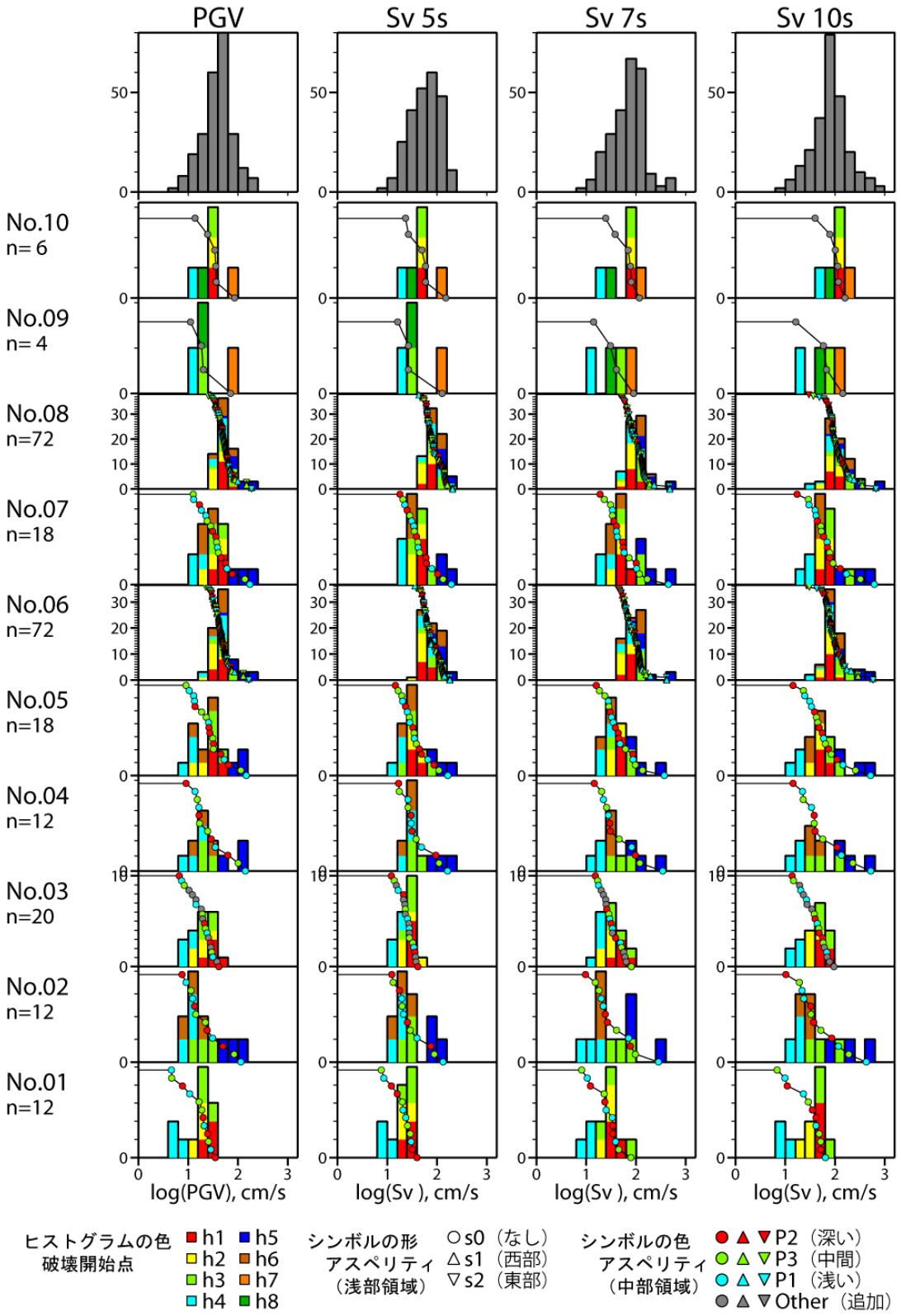


図 3.3-9c　千葉県庁における、最大速度と速度応答値（周期 5 秒、7 秒、10 秒、減衰定数 5%）の分布。最上段は表 3 の 246 ケースについてのヒストグラム。2 段目以下は各震源域についてのヒストグラムと累積頻度分布。

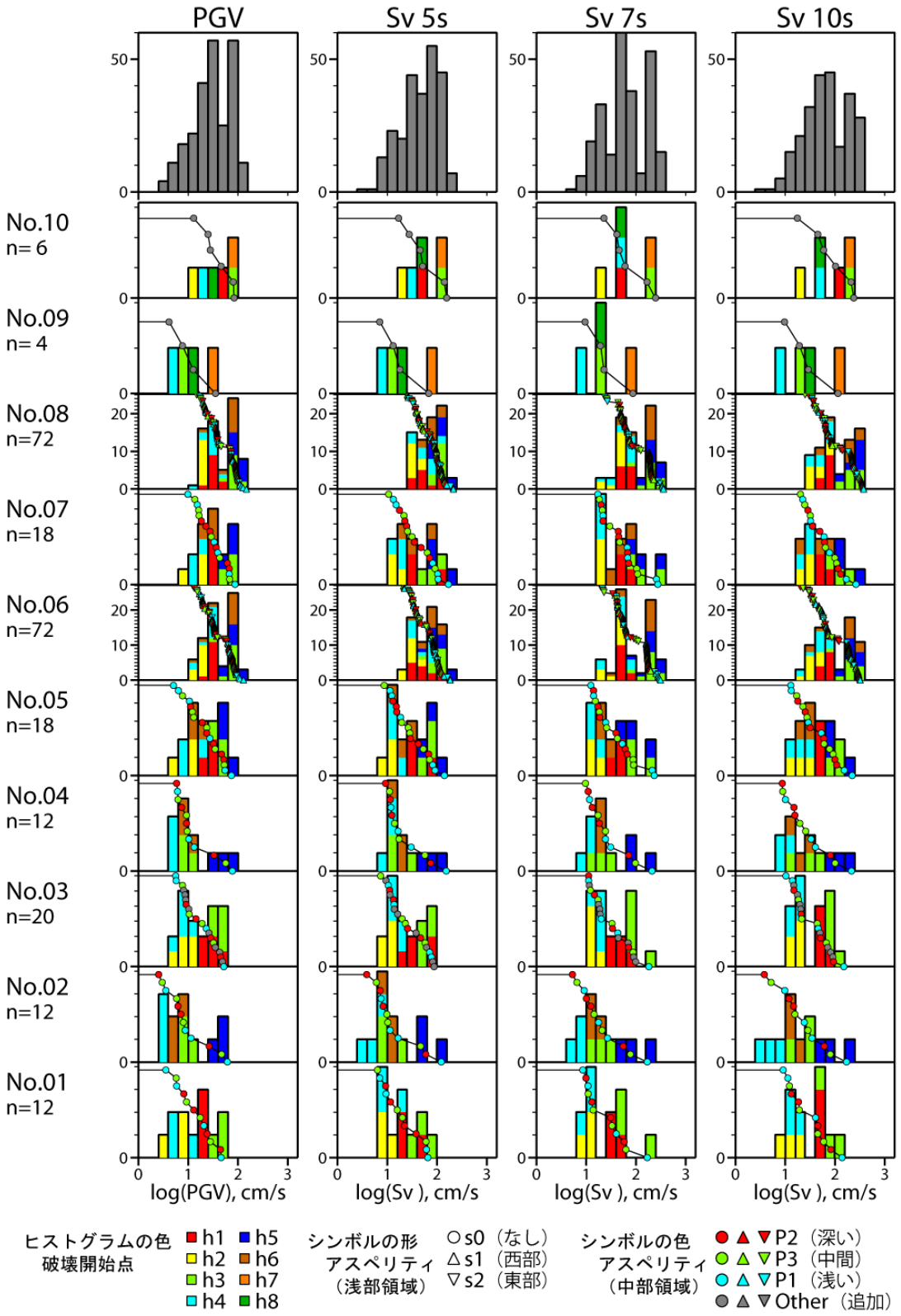


図 3.3-9d　埼玉県庁における、最大速度と速度応答値（周期 5 秒、7 秒、10 秒、減衰定数 5%）の分布。最上段は表 3 の 246 ケースについてのヒストグラム。2 段目以下は各震源域についてのヒストグラムと累積頻度分布。

表 3.3-4　各領域に対する重み

領域 No.	グループ	面積 [km²]※1	Mw	重み
1	①	7,950	7.9	0.362
3		9,990	8.0	0.294
5	②	22,990	8.4	0.031
6		31,490	8.5	0.013
7		31,280	8.5	0.013
8		39,790	8.6	0.023
10		18,030	8.2	0.044
2	③	15,030	8.2	0.065
4		21,510	8.3	0.059
9		8,050	7.9	0.095

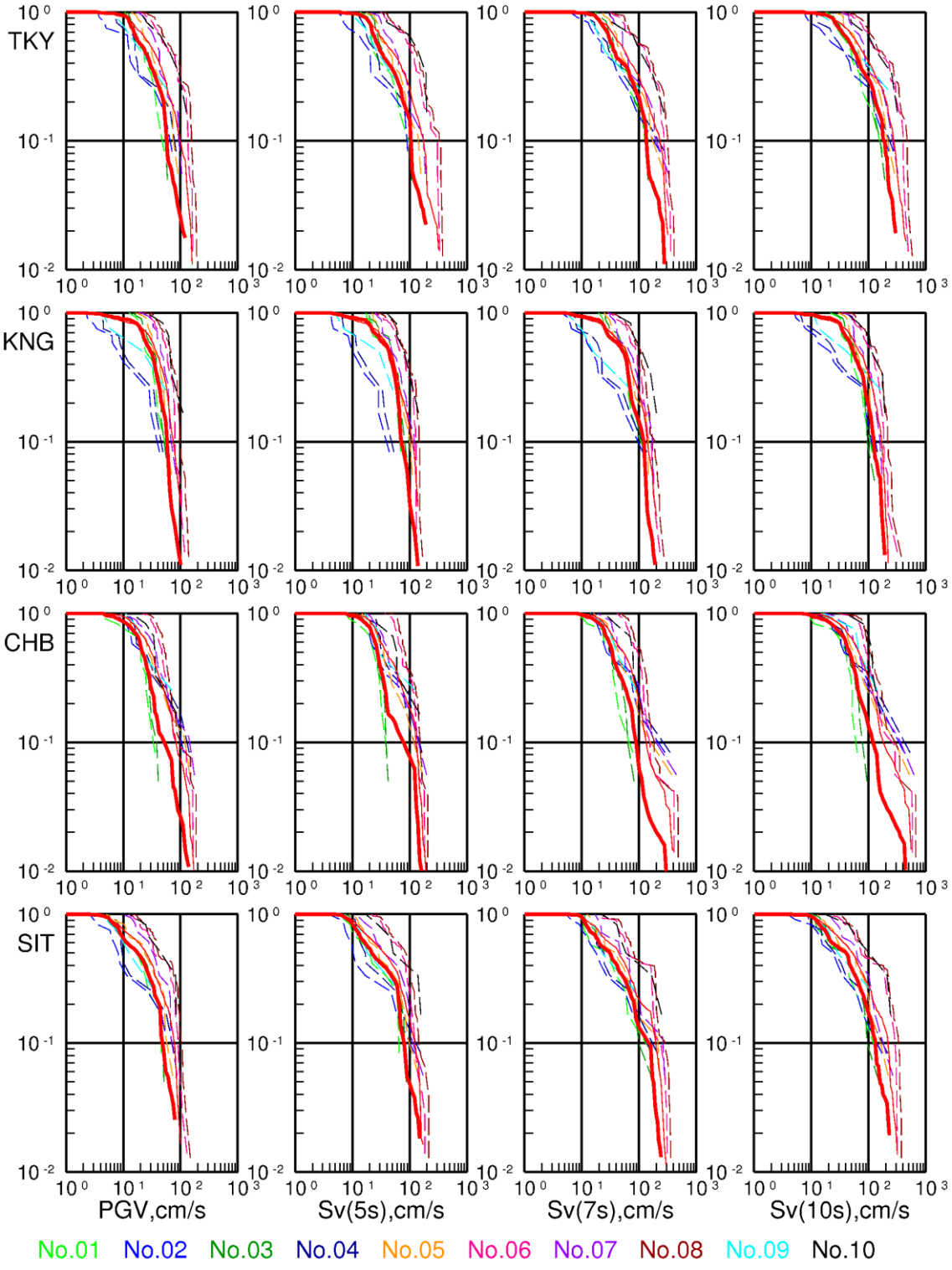
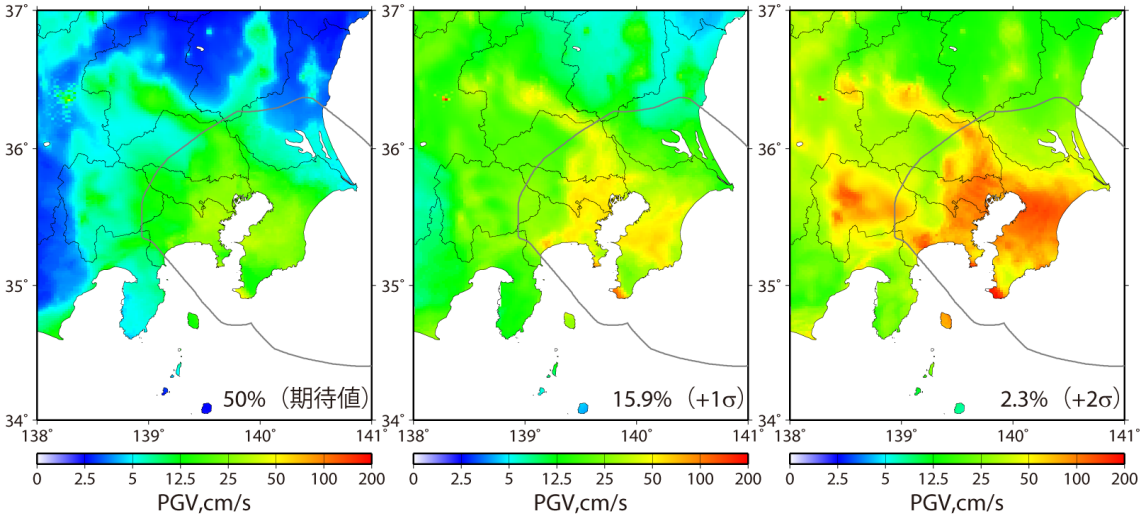


図 3.3-10　東京都庁、神奈川県庁、千葉県庁、埼玉県庁における相模トラフの M8 クラスの地震を対象とした条件付き長周期地震動ハザードカーブ。破線は各領域のもの、赤太線は全体を重ね合わせたもの。

最大速度



周期 5 秒の速度応答値（減衰定数 5%）

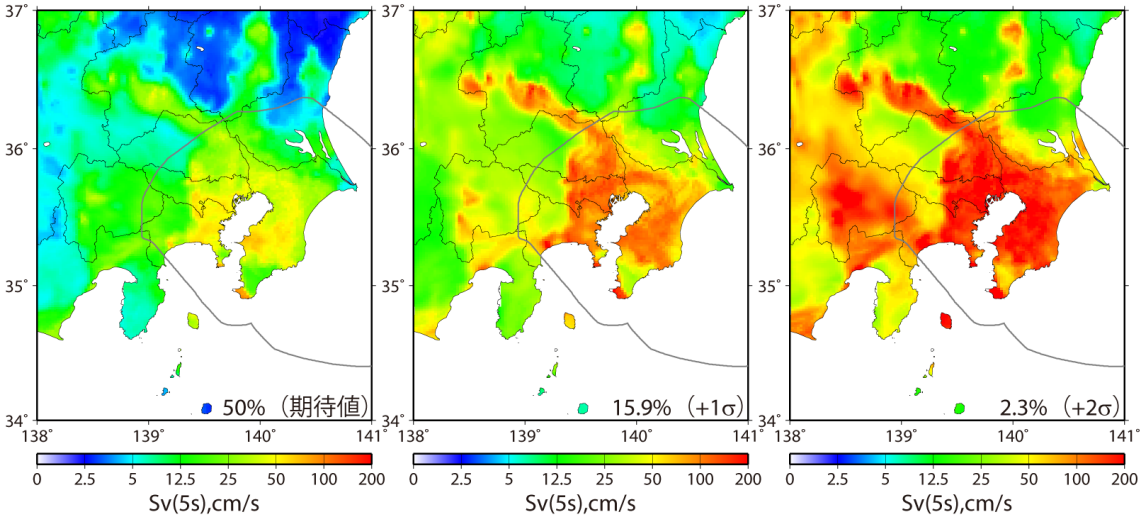
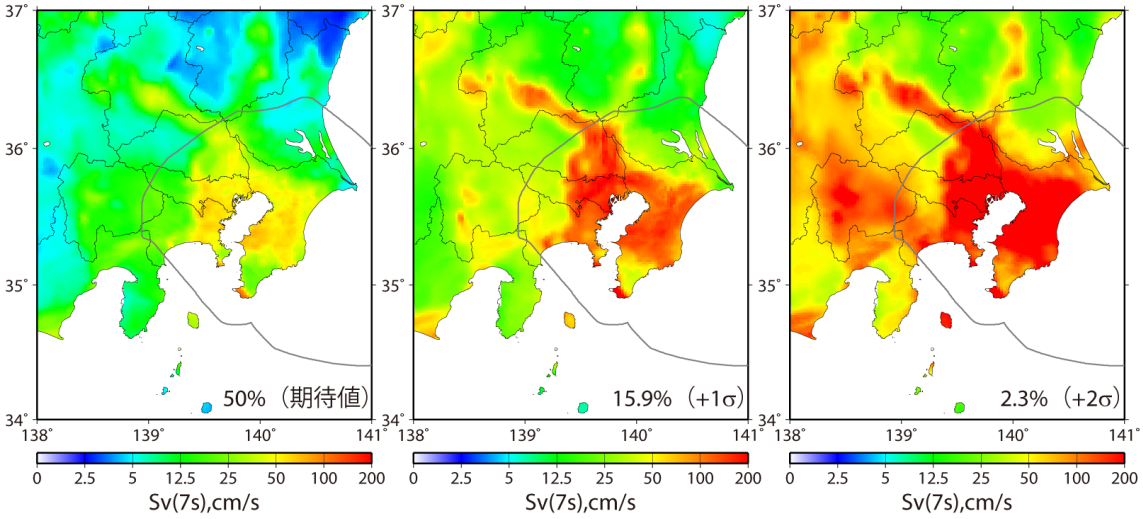


図 3.3-11　相模トラフの M8 クラスの地震を対象とした長周期地震動ハザードマップ。

周期 7 秒の速度応答値（減衰定数 5%）



周期 10 秒の速度応答値（減衰定数 5%）

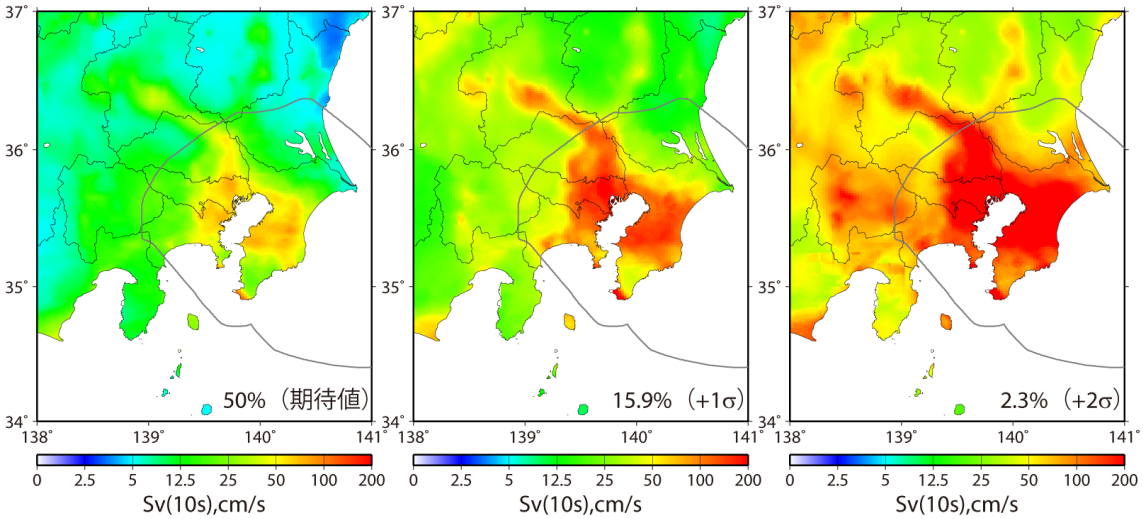
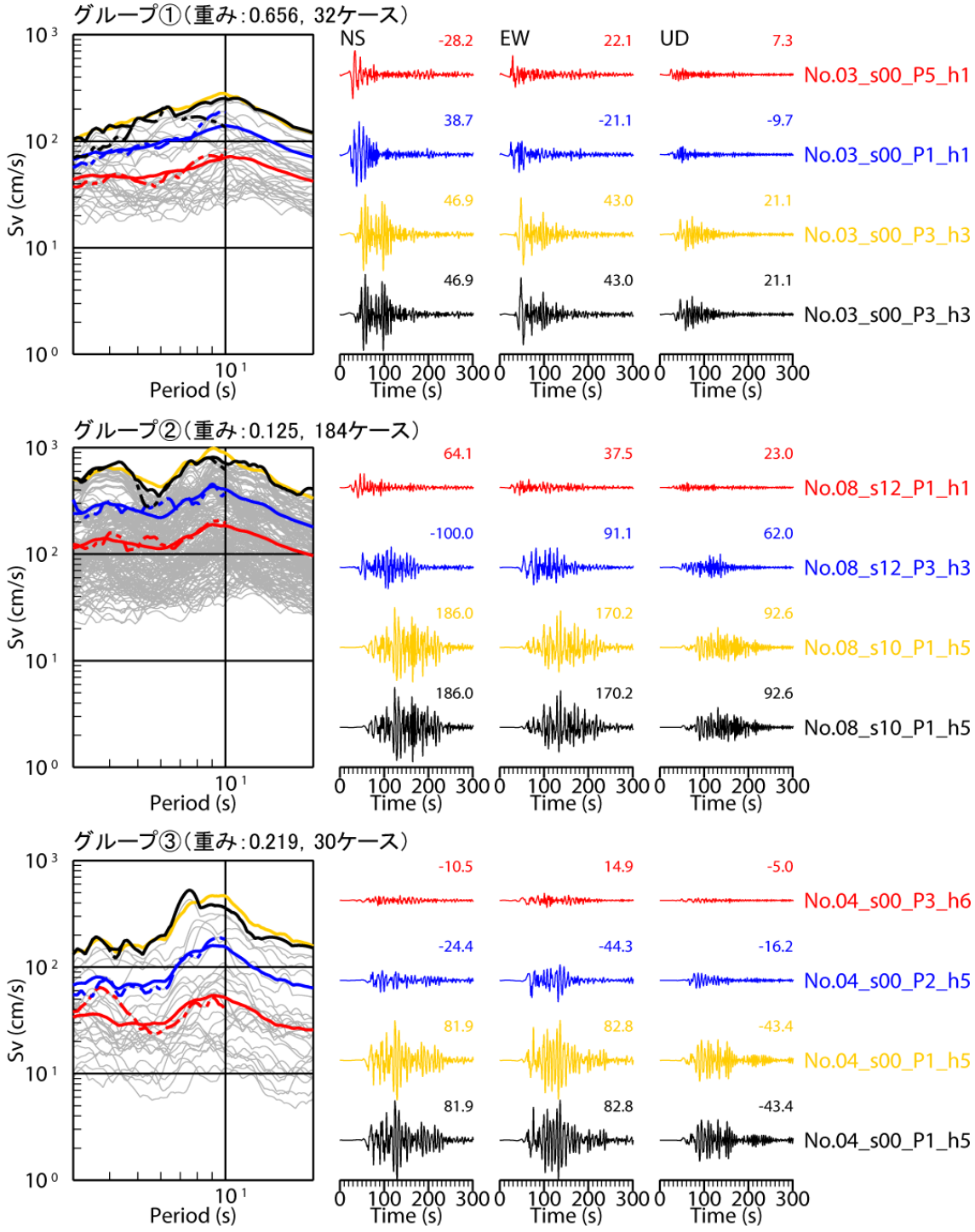


図 3.3-11　相模トラフの M8 クラスの地震を対象とした長周期地震動ハザードマップ（つづき）。

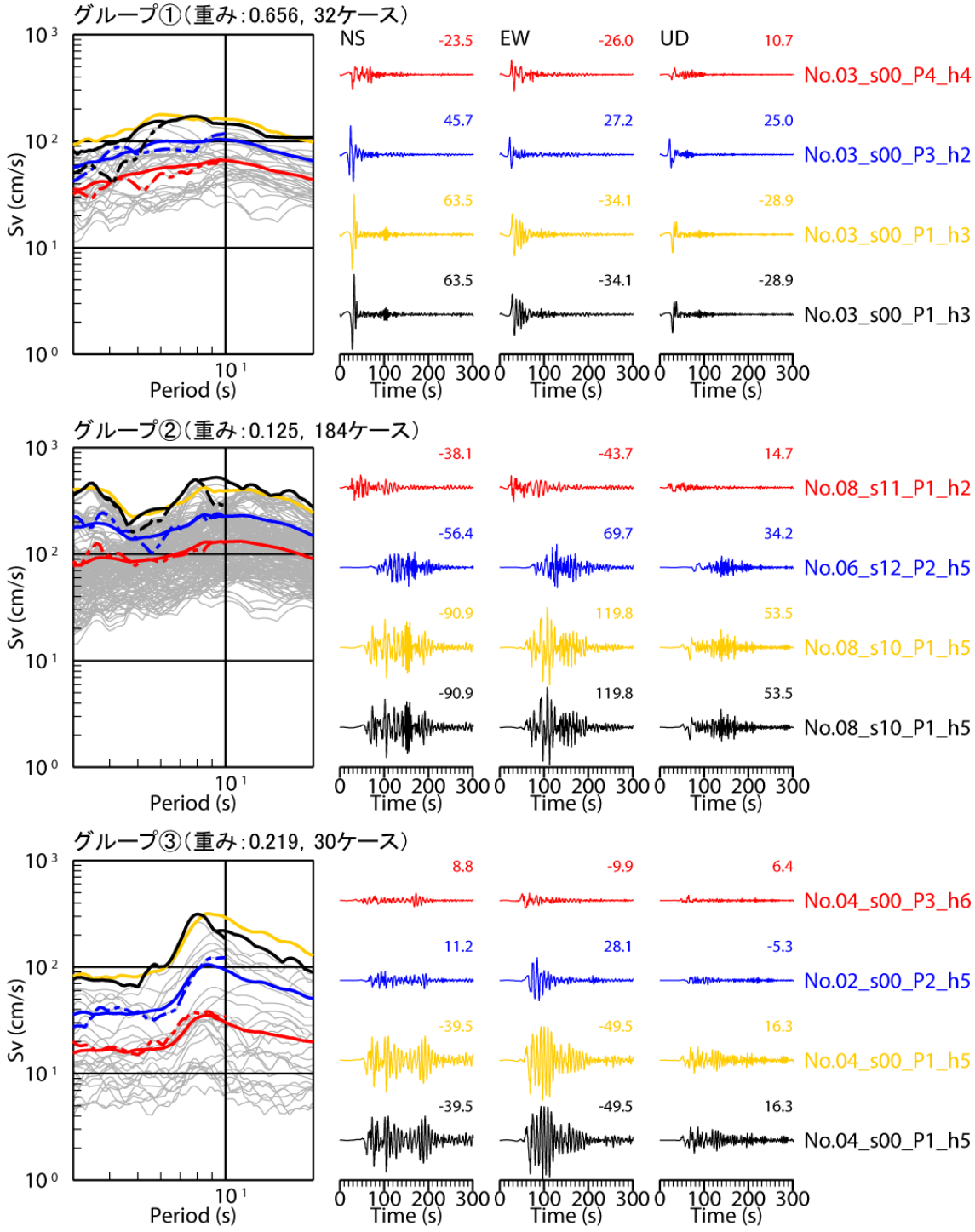


実線：代表値　　一点鎖線：対応シナリオ

平均（相乗平均）　　平均＋1σ　　平均＋2σ　　最大

※「最大」は本検討で計算した各グループのケースの中での最大である

図 3.3-12a　東京都庁における代表シナリオの抽出例。

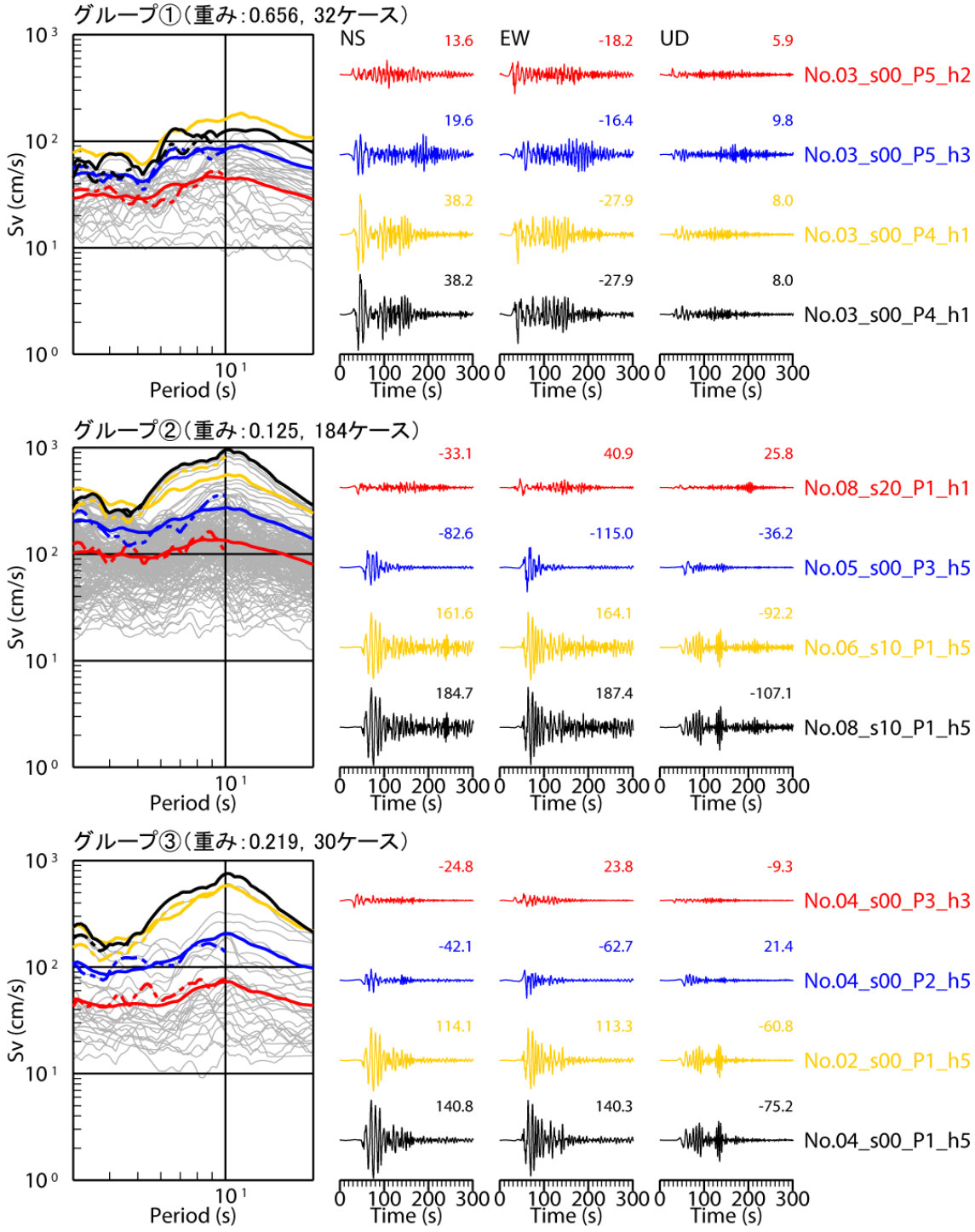


実線：代表値　　一点鎖線：対応シナリオ

平均（相乗平均）　　平均＋1σ　　平均＋2σ　　最大

※「最大」は本検討で計算した各グループのケースの中での最大である

図 3.3-12b　神奈川県庁における代表シナリオの抽出例。

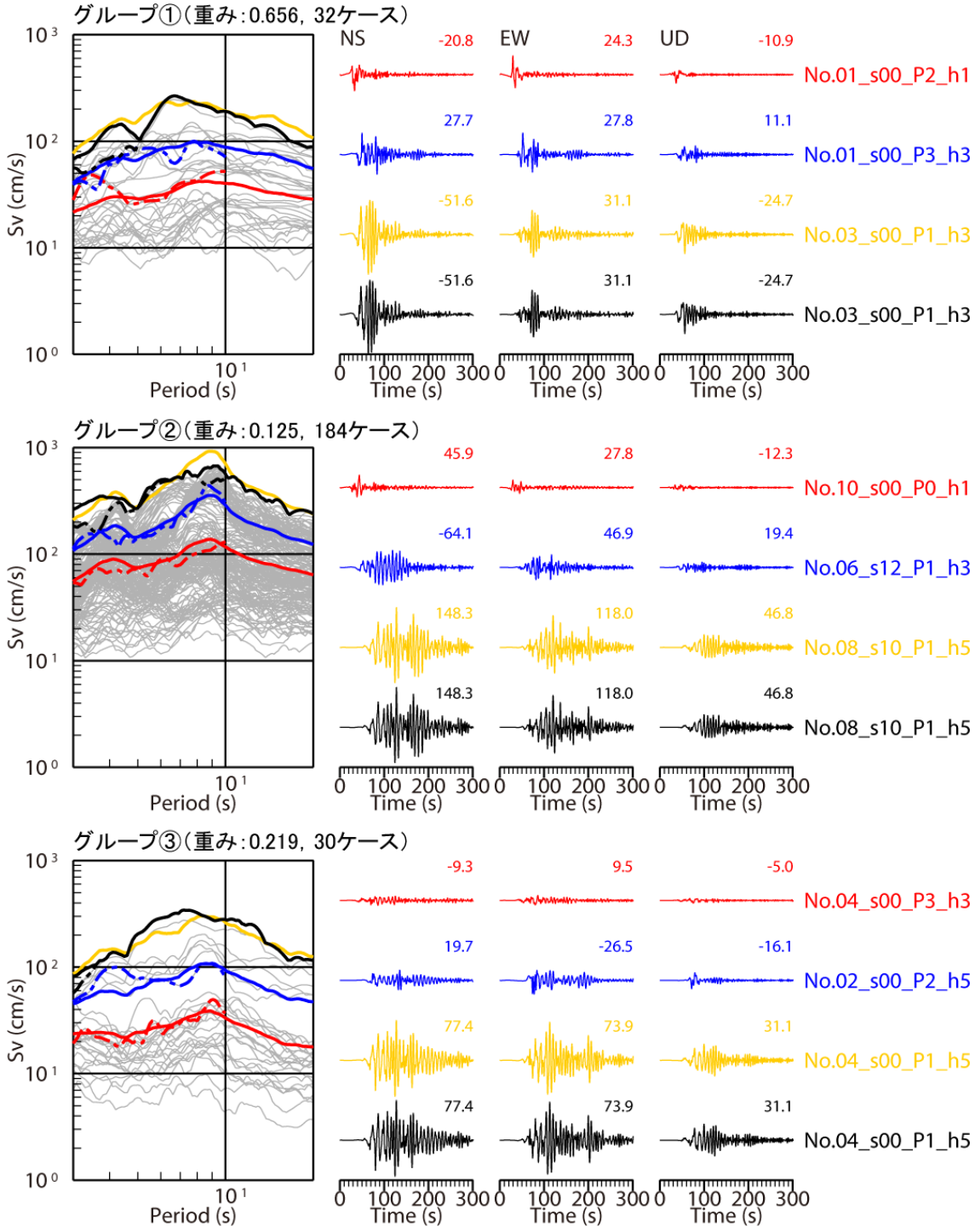


実線：代表値　　一点鎖線：対応シナリオ

平均（相乗平均）　　平均＋1σ　　平均＋2σ　　最大

※「最大」は本検討で計算した各グループのケースの中での最大である

図 3.3-12c　千葉県庁における代表シナリオの抽出例。



実線：代表値　　一点鎖線：対応シナリオ

平均（相乗平均）　　平均＋1σ　　平均＋2σ　　最大

※「最大」は本検討で計算した各グループのケースの中での最大である

図 3.3-12d　埼玉県庁における代表シナリオの抽出例。

3.4. 長周期地震動ハザード評価結果等の提示方法の検討等

(1) 事業の内容

(a) 事業の題目

長周期地震動ハザード評価結果等の提示方法の検討等

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
独立行政法人　防災科学技術研究所	研究領域長	藤原　広行
独立行政法人　防災科学技術研究所	主任研究員	森川　信之
独立行政法人　防災科学技術研究所	主任研究員	河合　伸一
独立行政法人　防災科学技術研究所	契約研究員	東　宏樹
独立行政法人　防災科学技術研究所	契約研究員	前田　宜浩

(c) 事業の目的

長周期地震動ハザードの評価結果および評価に用いた地震活動モデル、震源モデル、地下構造モデルについて、インターネットを通して公開する手段を提示する。一般国民の防災・減災に資するため、長周期地震動の性質、被害事例や対策例を公開する手段を提示する。

(2) 事業の成果

(a) 事業の要約

3.2 節および 3.3 節で示した長周期地震動ハザード評価結果だけでなく、3.1 節で収集したデータや作成したモデルを含めて、インターネットを通してハザード情報を閲覧したりデータをダウンロードできるシステムや携帯端末で利用できるアプリケーションを試作し提示した。また、長周期地震動シミュレーション結果から想定される超高層ビル等の被害や長周期地震動に対する対策法を提示するとともに、長周期地震動の性質や被害事例を広く周知するための方策を提示した。

(b) 事業の成果

1) 長周期地震動ハザード評価データの公開方法に関する検討

防災科学技術研究所では、「地震ハザードの共通情報基盤」として「地震ハザードステーション J-SHIS」を開発し、2005 年より運用を開始している。J-SHIS は、地震調査研究推進本部より公表された確率論的地震動予測地図や震源断層を特定した地震動予測地図をウェブ上で閲覧できるだけでなく、計算結果や評価に用いた震源モデル、地下構造モデル等の各種データをダウンロードできる機能も備えている。このような J-SHIS のシステム・機能は、長周期地震動ハザード評価の結果そのものだけでなく、評価に用いた地震活動モデル、震源モデル、地下構造モデルに関する情報をウェブ上で提供するためのシステムにも活用できる。そこで、J-SHIS を参考にした長周期地震動ハザードに関する情報の公開シス

テムについて検討を行った。

（A）長周期地震動ハザード評価に関する情報

3.2 節および 3.3 節で示したように、長周期地震動ハザード評価結果の情報として、

①長周期地震動ハザードマップ（ある条件付き超過確率に対する地震動強さ分布を示した地図）

②個別ケース（シナリオ）の地震動強さ分布を示した地図

③特定地点におけるハザードカーブ

④特定地点において抽出された代表的な波形データ（平均、＋1σなど；3.2 節、3.3 節参照）と対応シナリオ

⑤特定地点における個別ケースの波形データ

がある。このうち、①および②は全体を概観できる情報であるのに対して、③～⑤は個別地点での詳細な情報である。また、ハザード評価に用いたデータとして、

⑥地震活動モデル：各領域に付与した「重み」の情報

⑦震源モデル：個別ケースの各種震源パラメータ

⑧地下構造モデル：長周期地震動シミュレーションに用いた地下構造モデル。

がある。これらのデータは、対象となる地震に関する知見や長周期地震動と地下構造モデルとの関係に関する知見を提供することができるほか、利用者が独自の考えや情報に基づく「重み」づけや震源モデル（あるいは地下構造モデル）を用いたハザード評価を行うことも可能となることから、評価結果データと同様、公開することは有益である。

（B）データの提供方法の検討

上述のように、長周期地震動ハザード評価においては、多種かつ大量のデータが存在しており、これらをウェブ上で提示あるいは提供するため、ある程度の項目に分類・整理し、トップページから利用者の必要とするそれぞれの項目に移動する形をとる。ここでは、大きく以下の 4 項目

・ハザードマップ（確率論的な長周期地震動ハザードマップ）

・シナリオマップ（個別ケースの計算結果）

・地下構造モデル

・データダウンロード

に分類した（図 3.4-1）。

○長周期地震動ハザードマップ

3.2 節および 3.3 節で提示した、ある超過確率の地震動強さをを地図上で表示する。このとき、利用者の興味の対象に応じて拡大・縮小したり、位置を特定しやすくするため、背景地図として J-SHIS で用いている Google Map を利用することも有効である。図 3.4-2 に

試作例を示す。地図表示に際しては、対象とする地震動の種類（例えば、最大速度や速度応答スペクトルの周期）や超過確率の値を選択できるようにする必要がある。J-SHIS で公開している「全国地震動予測地図」は全ての地震を考慮した地震動ハザード評価結果が示されているが、現時点で提案している長周期地震動ハザードは、特定の震源域で発生する地震を対象としているため、地震の種類も選択できるようにする。また、ハザードマップとあわせて、対象とする地震の震源域も表示すると、表示されているハザードマップの対象としている地震を一目で分かるようにすることができる。このときの震源域は、最大クラスの地震などで代表させることになる（図 3.4-2）。

○シナリオマップ

3.2 節および 3.3 節で計算した個別のケース（シナリオ）の計算結果による地震動強さを地図上で表示する。上述のハザードマップと同様に Google Map を利用することは有効である。図 3.4-3 に試作例を示す。基本的な構成や機能はハザードマップと同様であるが、マップを表示している震源モデルを表示する。なお、長周期地震動ハザード評価では一つの震源域におけるケース数が多くなる傾向があることから、特定のシナリオを容易に選択できるような機能が今後必要となる可能性がある。

○特定地点における情報

J-SHIS では、地図を拡大していき、特定される一つのメッシュをクリックすることでその地点の情報を表示できるが、本検討では代表地点のみで表示・選択できる機能とした。ハザードマップの画面において、「ハザードカーブ／シミュレーション波形」のチェックボタンを作り、チェックすると地図上に代表地点が表示される（図 3.4-4）。表示された地点をクリックすることで、その地点のハザードカーブや 3.2 節および 3.3 節で述べた、「抽出シナリオ」の波形を表示する（図 3.4-5）。本検討では代表地点における情報のみ表示できるものとなっているが、任意の地点について表示することも可能である。ただし、長周期地震動に関しては、全国地震動予測地図における約 250m 四方の細かなメッシュではなく、地下構造（深部地盤）モデルが 1km メッシュであることや対象となる地震動の波長から、1km 四方または 2km 四方のメッシュでの情報提示で十分であると考えられる。

○地震活動モデルの表示

ハザードマップで表示される震源域を選択することにより、領域区分および「重み」の設定を表示する（図 3.4-6）。

○地下構造モデルの表示

J-SHIS にならい、長周期地震動シミュレーションに用いた地下構造モデルの各層下面深さの分布を地図上に表示するようにした（図 3.4-7）。ハザードマップやシナリオマップと比べることにより、地震基盤まで深い平野部において長周期地震動が大きくなるといった関係を利用者が理解しやすくなる。

○データダウンロード機能

ダウンロード可能なデータ（地図データ、ハザードカーブデータなど）の種類をメニュー表示する（図 3.4-8）。利用者が必要とするデータを選択することでダウンロードが開始される。また、マップや特定地点の情報を表示している画面からも「ダウンロード」ができる機能をつけると利用しやすいと考えられる（図 3.4-9）。なお、本検討では、地下構造モデルについては地震本部のウェブページから公開されている全国 1 次地下構造モデル(暫定版）を用いているため、地下構造モデルのダウンロードについては、当該ページにリンクを貼るようにしている。



図 3.4-1　試作した長周期地震動ハザード情報提供ウェブページのトップ画面。

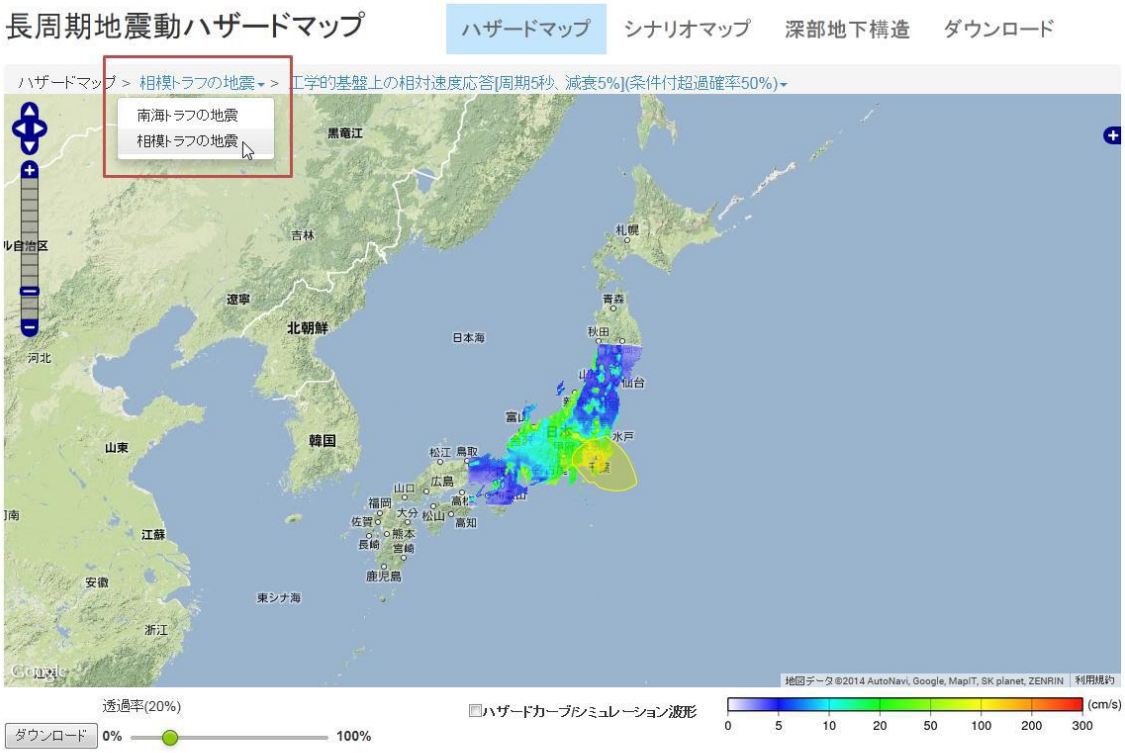


図 3.4-2　長周期地震動ハザードマップの表示例。

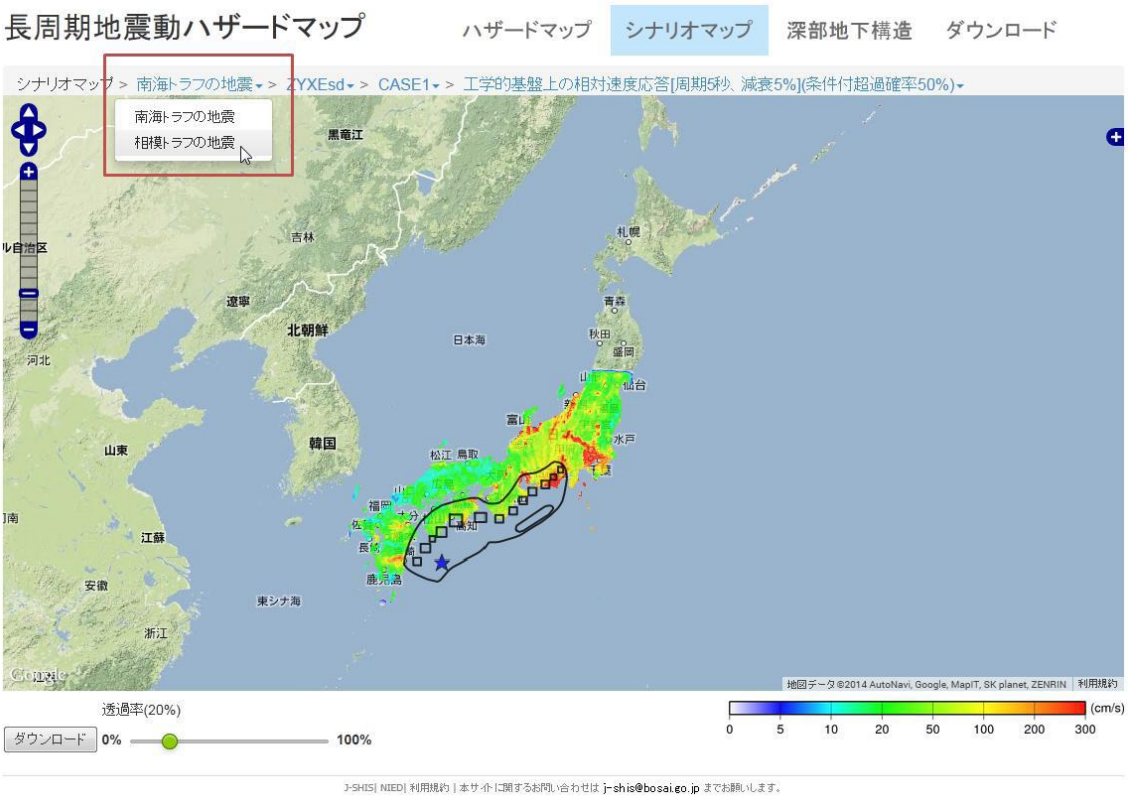


図 3.4-3　シナリオマップの表示例。

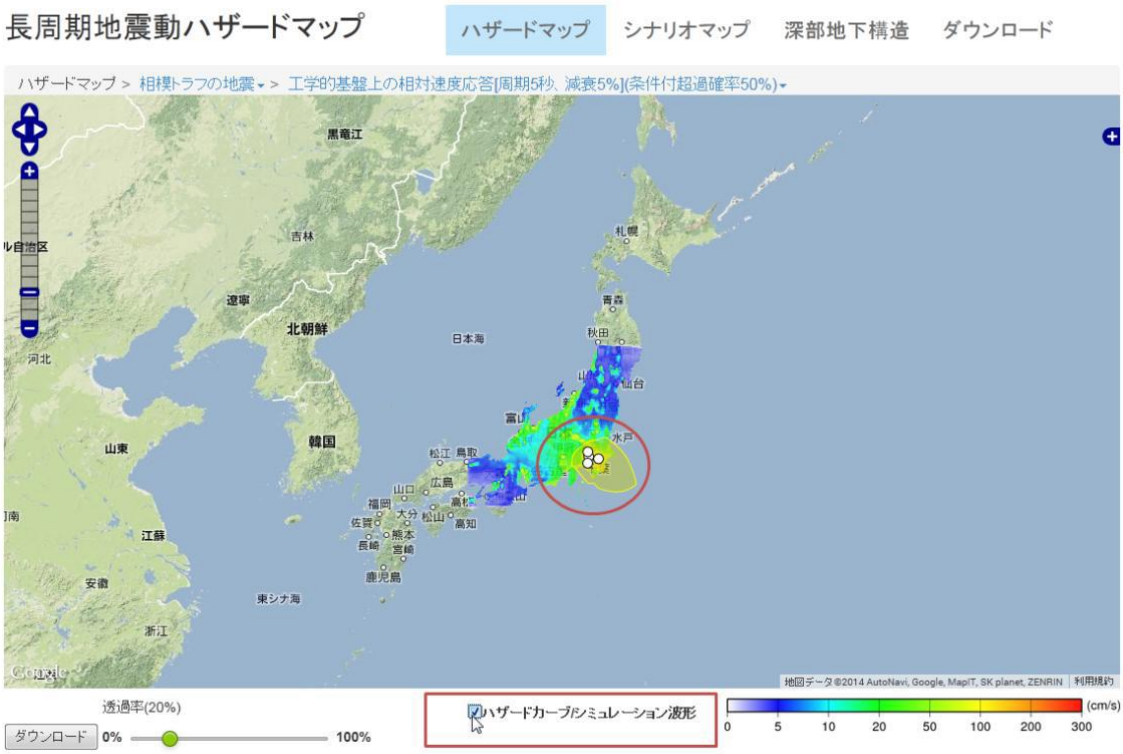


図 3.4-4　特定地点の情報を表示するためのチェックボックス。

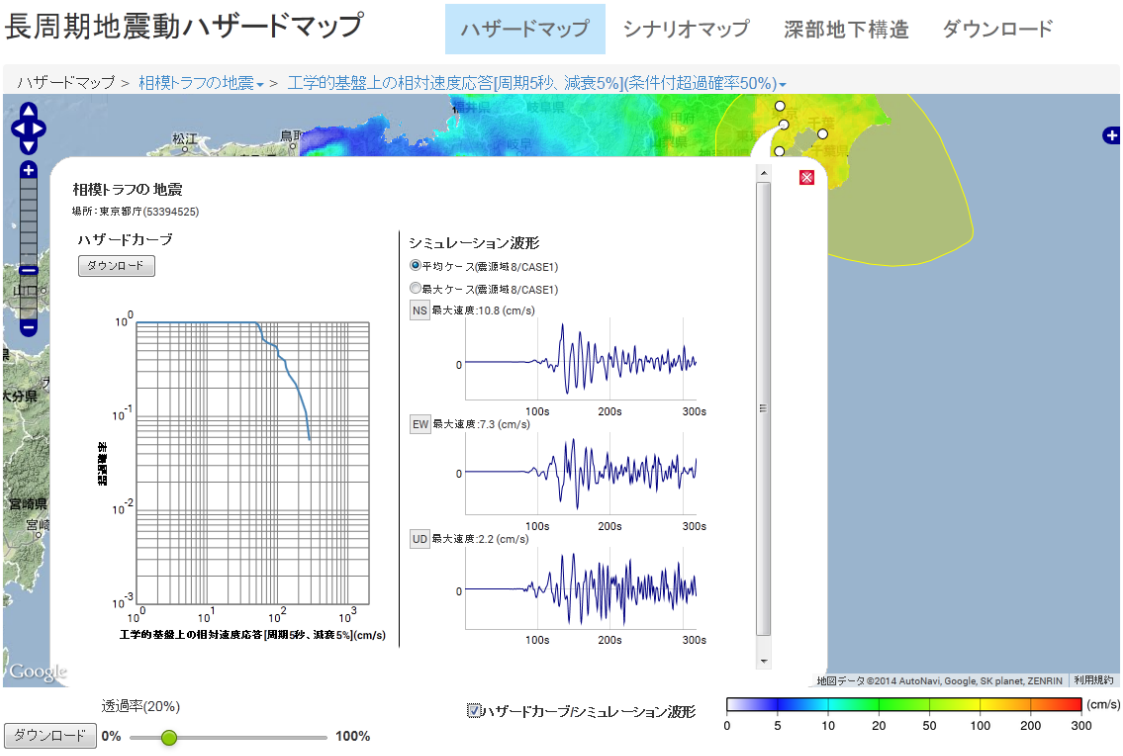


図 3.4-5　特定地点のハザードカーブおよび抽出されたシナリオの波形の表示例。

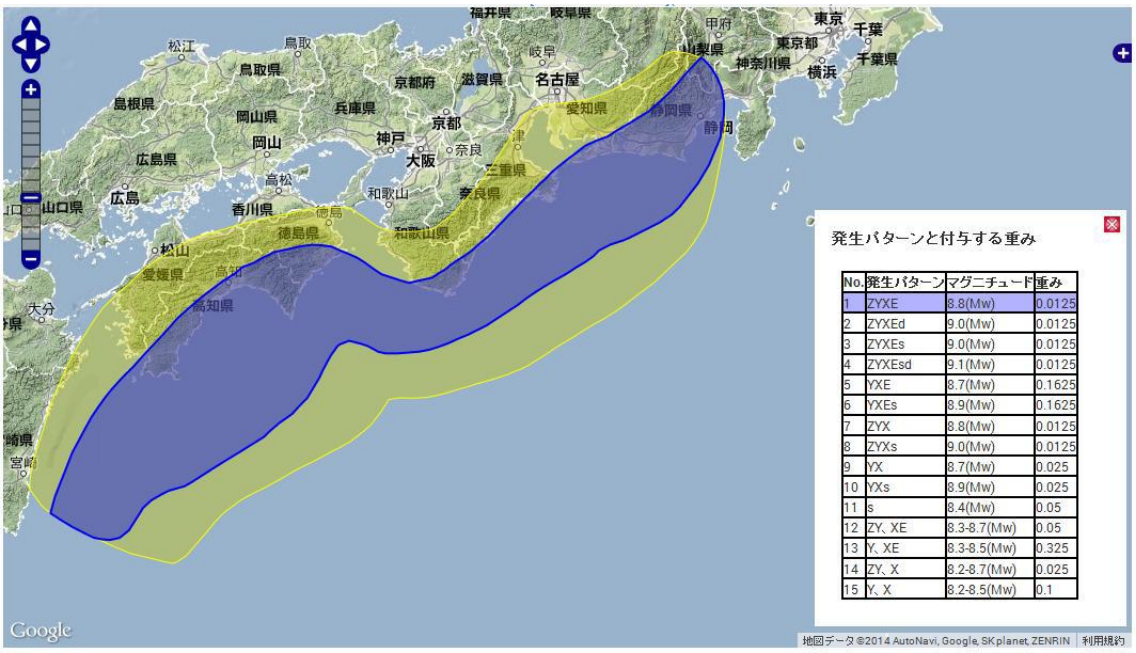


図 3.4-6　地震活動モデル（震源域と「重み」）の表示例。

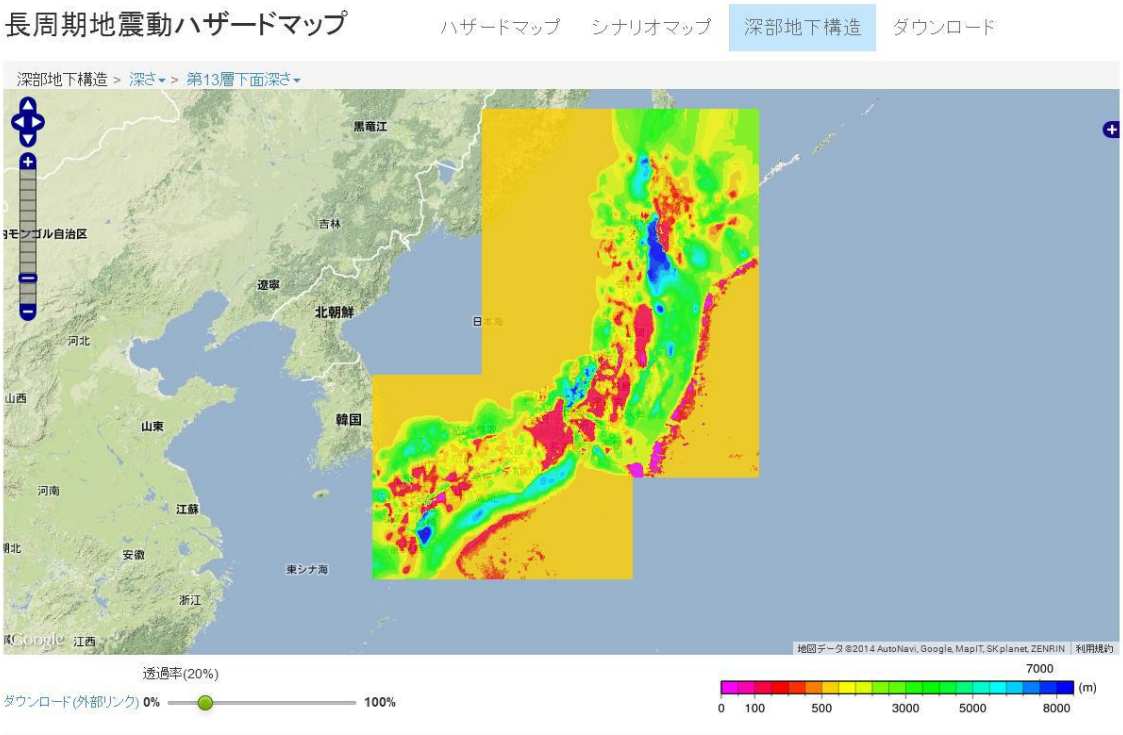


図 3.4-7　地下構造モデルの表示例。



図 3.4-8　データダウンロードページのメニューリスト例。

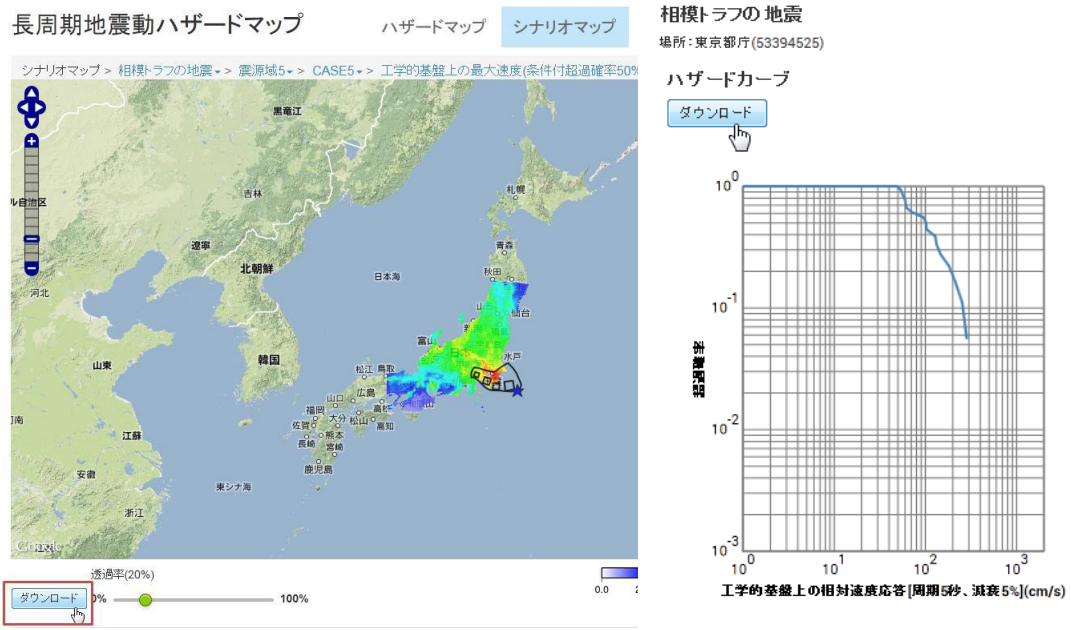


図 3.4-9　マップおよび地点表示画面からのデータダウンロード機能。

2) 長周期地震動の性質や被害事例に関する検討

3.2 節および 3.3 節で示した長周期地震動ハザード評価結果を理解する上で、長周期地震動により生じる現象や被害を知ることは重要である。ここでは、長周期地震動による超高層ビルの応答について、3.2 節および 3.3 節で示した特定の地点における代表シナリオの抽出方法と同様の考え方を用いることにより、長周期地震動ハザード評価結果の利活用も視野に入れた検討を行った。また、長周期地震動の大きさと被害を結びつける尺度についての検討も行った。

（A）長周期地震動ハザード評価に基づく超高層建物の応答

平成 24 年度までは、建物の階数の違いのみを考慮した検討であった。本検討では建物の多様性を考慮して、平成 24 年度までの検討で用いた 6.4m 均等スパンを有する S30、S45、S60 に加え、45 階建て短スパン（3.2m）の純ラーメン架構である S45X、長スパン（15.6m）の耐震壁付ラーメン架構である S45Y、さらに RC 純ラーメン架構である RC40 を採用し、長周期地震動に対する応答評価を実施した。

○南海トラフ地震に対する超高層建物の応答

3.2 節で計算された地震動について、地震動の発生パターン（連動あるいは単独）毎に重みづけを設定し、それらの平均あるいはばらつきを考慮することにより、当該地点での「平均」、「平均＋σ」の地震動を設定する。この時、地震動の発生パターンでも震源モデル等のパラメータが異なる複数ケースの計算が実施されているが、それらの重みは均等とする。また、2 地震として発生するパターンの場合、地点ごとに応答スペクトル振幅の大きい方を採用した。ここで設定した重みの一覧を表 3.4-1 に示す。なお、3.2 節で示したすべての計算結果を用いているわけではないことに留意されたい。

表 3.4-1 に示す重みを考慮して計算した多数のシミュレーション結果の擬似速度応答スペクトルの平均、平均＋σ のスペクトルに最も近い地震動を、「平均」、「平均＋σ」の地震動として設定する。この時、誤差を計算する区間は、対象とする建物の高さを考慮して 3 秒～8 秒とした。地点の代表として東京における全ての長周期地震動シミュレーション結果による地震動のスペクトルと、平均、平均＋σ のスペクトルを図 3.4-10 に示す。さらに、それぞれについて平均、平均＋σ のスペクトルと、それぞれのスペクトルに対応した誤差最小として選定した計算ケースのスペクトルを図 3.4-11 に示す。図中には、誤差を計算する範囲とした 3～8 秒の範囲を黄色網掛けで示している。

選定した平均及び平均＋σ のレベルの地震動に対し、時刻歴応答解析により地震時応答を評価した。さらに、「被害」として、「建物機能」と、「構造部材」に関する損傷を想定し、それぞれについて損傷判定を行った。ここで、損傷判定は、北村・他（2006）に掲載の性能判断基準値表による。同表を表 3.4-2 に転載する。この性能判断基準値表は、2002 年に刊行された日本建築構造技術者協会の JSCA 建築構造性能設計指針の性能メニュー[1)]の中でその概念が定義されたもので、その後実際に性能評価に使える形にするために、性能判断基準値を定める作業が行われ、北村・他（2004）として公表された。さらに過去の種々の

被害データや実験データなどを分析することにより、性能判断基準値を見直し、改良を加えたものが文献[3]の性能判断基準値表で、現状において最も信頼性の高い判定基準であると考えられるため、ここではこれに準じて損傷判定することとした。北村・他（2006）に掲載の性能判断基準値表の掲載された応答値は以下のものに対応する。

・建物挙動：層間変形角、応答加速度　　→ 建物の機能に関する指標
・構造骨組：層塑性率、塑性ヒンジ発生率　→ 建物の損傷度に関する指標
・構造部材：部材塑性率、累積塑性変形倍率 → 部材の損傷度に関する指標

ここで、建物の機能に関する指標とは、設備機器・配管、外壁などの非構造部材、収容物への影響を念頭においたもの、また部材の損傷度に関する指標とは、構造体の損傷の程度を念頭においたもので、特に累積部材塑性変形倍率の λ=1 と 0 の境界値は、おおよそ梁端接合部が破断に至る累積部材塑性変形倍率のに対応している。ただし、これらの応答値の中で、層の塑性率については、今回の解析がすべて部材レベルの立体精算解析モデルでの応答解析であり、層の塑性率は直接出力されないため、表 3.4-2 に示していないように判定には用いない。現行の新築超高層ビルの耐震クライテリアは、表 3.4-2 の中で λ=2 すなわち安全限界余裕度Ⅱ（指定機能確保、小破、小規模修復）に対応していると考えられるため、これが長周期地震動に対する既存超高層ビルの耐震性確保の 1 つの目安になる。なお、RC 造に関しては、累積塑性変形倍率は指標として用いられていないため、ここでは示していない。併せて判定値及び構造部材損傷度についても記載していない。

地震時応答および損傷判定の結果を表 3.4-3～表 3.4-14 に示す。

○相模トラフ地震に対する超高層建物の応答

3.3 節で計算された地震動のうち、首都直下地震モデル検討会（2013）における大正関東地震の震源域と対応する震源域 No.3 を対象として、超高層建物の応答評価を実施した。ここでは、「基本ケース」とした 12 ケースの東京都庁位置での入力地震動を用いた。入力地震動の擬似速度応答スペクトルを図 3.4-12 に示す。周期 3 秒以上でフラットな特性を示すものと長周期側でより大きくなるものがある。ただし、3.3 節で示したように本検討における地震動シミュレーションでは現状の「レシピ」に基づく特性化震源モデルを用いていることから、周期 5 秒以上であることに留意が必要である。

これらの地震動に対する応答解析には、S30、S45、S60 の建物解析モデルを用いた。代表例として、応答スペクトルが大きく、大きな応答結果を示すと考えられる「P1h3」のケースに関して応答最大値分布を図 3.4-13～図 3.4-15 に示す。また、最大層間変形角、最大加速度、最大梁塑性率、最大梁累積塑性変形倍率を全ケースについて表 3.4-15～表 3.4-20 に示す。表中太枠で、P1h3 による検討ケースを示している。各種の震源モデルに関する応答の傾向を以下に示す。

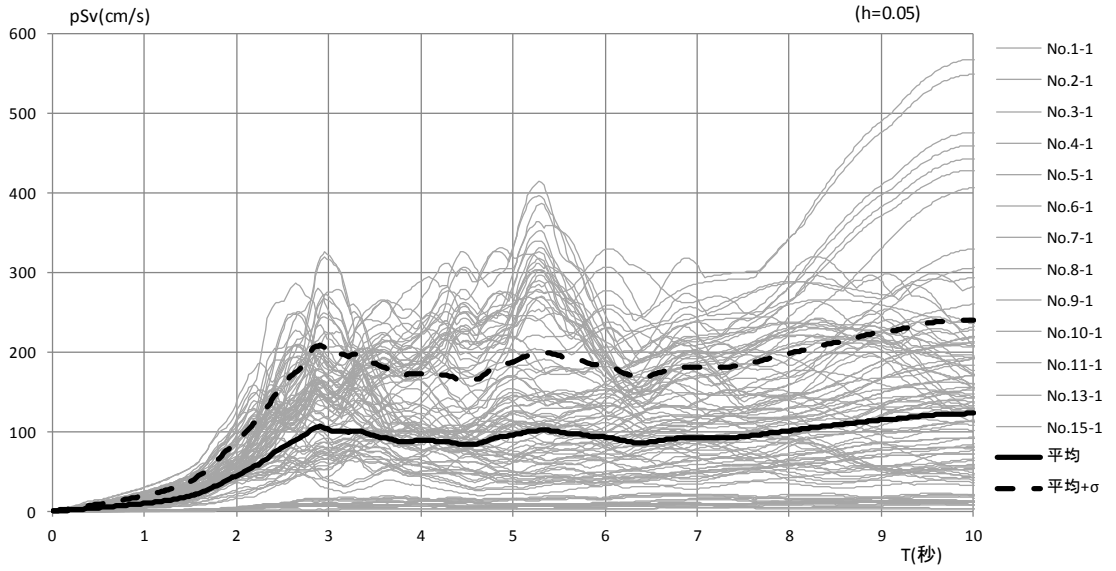
a) 東京に破壊が進行してくる破壊開始点 h3 のケースがいずれの建物モデルに対しても応答が比較的大きい。
b) 震源モデル P1h3 による検討ケース：

・S30、S45、S60 の順に応答が大きくなる。その理由は速度応答スペクトルにより明らかで、入力地震動の特性として周期が長くなるほど応答最大振幅が大きくなるためである。
・いずれの建物解析モデルについても、NS 方向の入力の方が応答が大きくなる傾向がある。
・S30 では最大層間変形角 1/130 程度であり、概ね弾性範囲の応答におさまる。S45 では最大層間変形角 1/100 程度であり、梁部材の塑性化が想定される。S60 では最大層間変形角 1/75 程度となり、各部材の塑性化が進展してある程度の被害が想定されるものの、構造部材に関しては「小損」程度で、その被害は小さい。

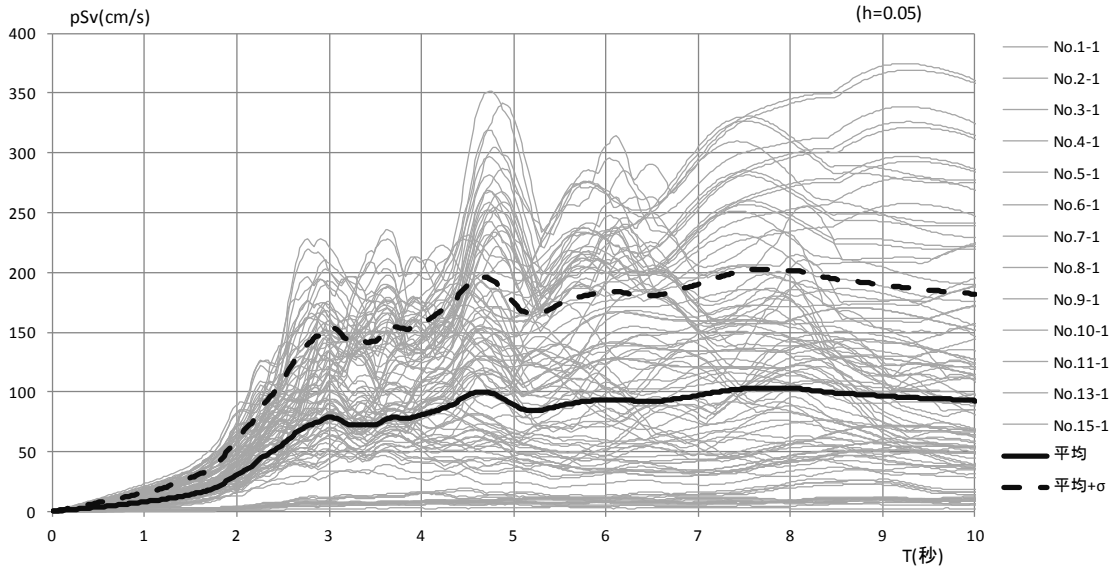
表 3.4-1　超高層建物の応答解析において設定した「重み」。

	Z (日向灘)	A,B (南海)	C,D (東南海)	E (東海)	重み	No.		計算数[*1]
1地震	←	←	←	→	0.0125	1	-	6
	←	←	←	→	0.0125	2	-	6
	←	←	←	→	0.0125	3	-	12
	←	←	←	→	0.0125	4	-	12
	×	←	←	→	0.1625	5	-	6
	×	←	←	→	0.1625	6	-	12
	←	←	→	×	0.0125	7	-	6
	←	←	→	×	0.0125	8	-	12
	×	←	→	×	0.025	9	-	6
	×	←	→	×	0.025	10	-	12
	×	←	→	×	0.05	11	-	6
2地震	←	→	←	→	0.05	12	13	4
	×	←	←	→	0.325	14	13	4
	←	→	→	×	0.025	12	15	4
	×	←	→	×	0.1	14	15	4
	0.15	1.0	1.0	0.75	1.0			

[*1]：発生パターンを固定してパラメータを変えて計算した数。それらの重みは均等とする。

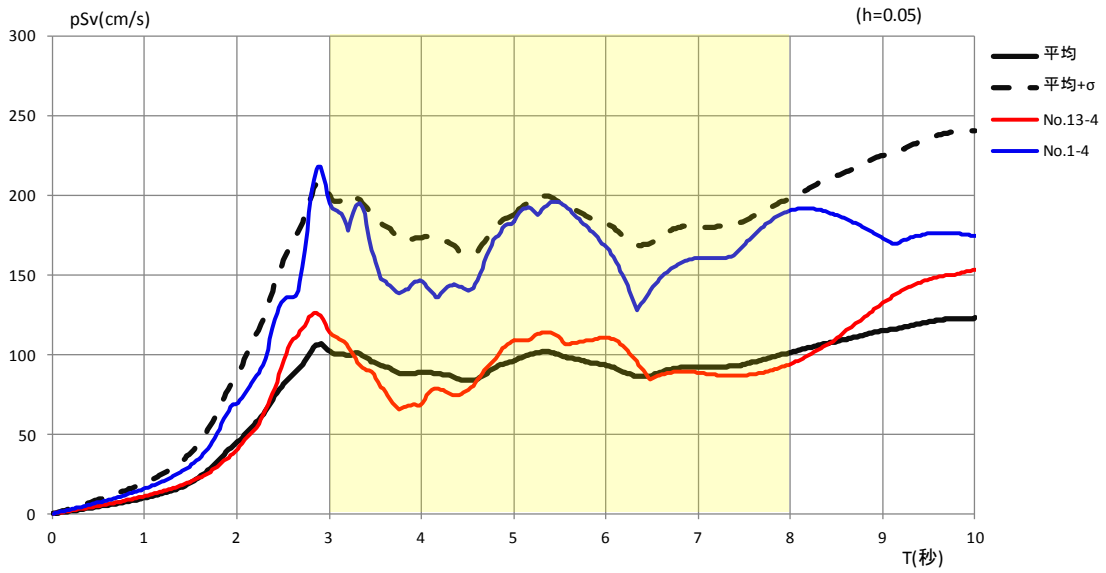


(TKY　NS)

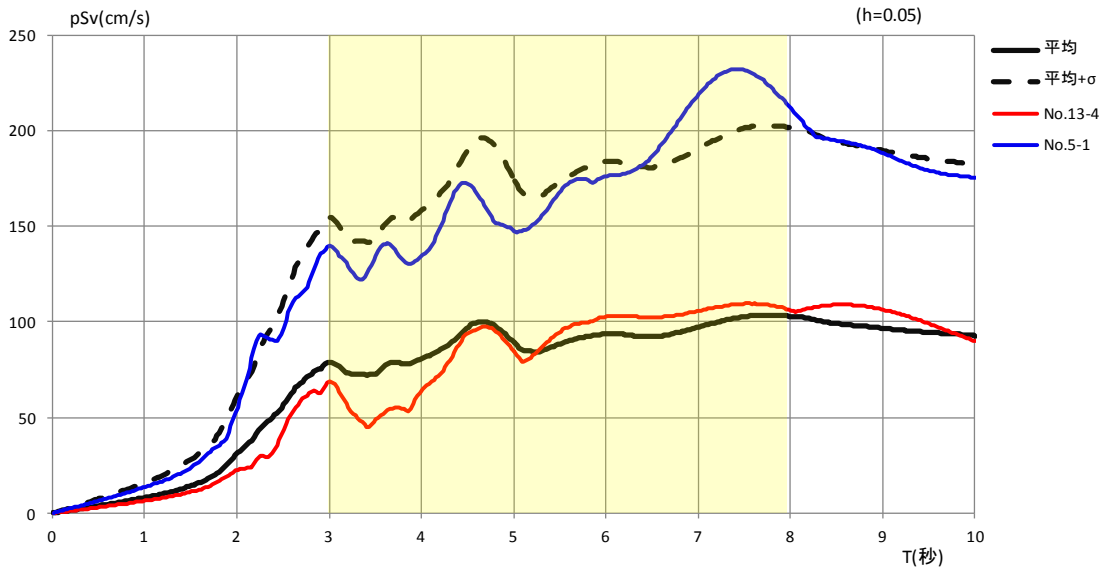


(TKY　EW)

図 3.4-10　全計算ケースと平均、平均＋σ のスペクトル（東京都庁位置：TKY）。



（TKY　NS）



（TKY　EW）

図 3.4-11　スペクトル平均（＋σ）と選択した地震動のスペクトル（TKY）。

表 3.4-2　耐震性能判断基準値表（北村・他、2006）。

	性能評価項目		損傷限界	安全限界 余裕度Ⅰ	安全限界 余裕度Ⅱ	安全限界	安全限界 超過
	判定値 λ		4	3	2	1	0
建物機能	機能		機能維持	主要機能確保	指定機能確保	限定機能確保	機能確保困難
	層間変形角 R(rad)		1/200 以下	1/200-1/150	1/150-1/100	1/100-1/75	1/75 以上
	床加速度 a (cm/s^2)		―	250 以下	250-500	500-1000	1000 以上
構造部材	部材損傷度		無損傷	軽微	小損	中損～大損	大損以上
	部材塑性率 μ_m		1.0 以下	1.0-2.5	2.5-3.75	3.75-5.0	5.0 以上
	累積塑性変形倍率 η_m	JASS6 型	0	0-5.4	5.4-12.0	12.0-21.5	21.5 以上
		ﾉﾝｽｶﾗｯﾌﾟ	0	0-9.0	9.0-20.5	20.5-36.5	36.5 以上
		梁端混用	0	0-3.5	3.5-7.5	7.5-13.5	13.5 以上

表 3.4-3　S30 モデルの長周期地震動に対する損傷判定（平均）。

		AIC		OMS		OSK		TKY	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
建物機能	最大層間変形角(rad)	1/222	1/165	1/80	1/138	1/198	1/189	1/150	1/173
	最大加速度(Gal)	136	187	334	222	158	164	210	173
	判定値 λ	4	3	1	2	3	3	3	3
	機能確保	機能維持	主要機能確保	限定機能確保	指定機能確保	主要機能確保	主要機能確保	主要機能確保	主要機能確保
構造部材	部材塑性率	0.61	0.80	2.45	0.95	0.67	0.70	0.88	0.77
	部材累積塑性変形倍率	0	0	3	0	0	0	0	0
	判定値 λ	4	4	3	4	4	4	4	4
	構造部材損傷度	無損傷	無損傷	軽微	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷

表 3.4-4　S45 モデルの長周期地震動に対する損傷判定（平均）。

		AIC		OMS		OSK		TKY	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
建物機能	最大層間変形角(rad)	1/313	1/365	1/89	1/90	1/186	1/256	1/78	1/118
	最大加速度(Gal)	72	72	256	237	133	95	270	184
	判定値 λ	4	4	1	1	3	4	1	2
	機能確保	機能維持	機能維持	限定機能確保	限定機能確保	主要機能確保	機能維持	限定機能確保	指定機能確保
構造部材	部材塑性率	0.45	0.37	2.19	2.12	0.69	0.55	2.55	1.29
	部材累積塑性変形倍率	0	0	17	15	0	0	6	1
	判定値 λ	4	4	1～3	1～3	4	4	2	3
	構造部材損傷度	無損傷	無損傷	小損～中損	小損～中損	無損傷	無損傷	小損	軽微

表 3.4-5　S60 モデルの長周期地震動に対する損傷判定（平均）。

		AIC		OMS		OSK		TKY	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
建物機能	最大層間変形角(rad)	1/325	1/232	1/64	1/101	1/213	1/361	1/126	1/114
	最大加速度(Gal)	87	128	265	225	136	79	163	183
	判定値 λ	4	4	0	2	4	4	2	2
	機能確保	機能維持	機能維持	機能確保困難	指定機能確保	機能維持	機能維持	指定機能確保	指定機能確保
構造部材	部材塑性率	0.44	0.60	3.63	1.94	0.65	0.40	1.17	1.45
	部材累積塑性変形倍率	0	0	8	13	0	0	0	1
	判定値 λ	4	4	2	1～3	4	4	3	3
	構造部材損傷度	無損傷	無損傷	小損	小損～中損	無損傷	無損傷	軽微	軽微

表 3.4-6　S45X モデルの長周期地震動に対する損傷判定（平均）。

		AIC		OMS		OSK		TKY	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
建物機能	最大層間変形角(rad)	1/312	1/259	1/147	1/203	1/317	1/322	1/215	1/242
	最大加速度(Gal)	128	150	247	199	133	121	187	164
	判定値 λ	4	4	2	4	4	4	4	4
	機能確保	機能維持	機能維持	指定機能確保	機能維持	機能維持	機能維持	機能維持	機能維持
構造部材	部材塑性率	0.71	0.86	3.18	1.38	0.69	0.69	1.09	0.91
	部材累積塑性変形倍率	0	0	7	1	0	0	0	0
	判定値 λ	4	4	4	3	4	4	4	4
	構造部材損傷度	無損傷	無損傷	無損傷	軽微	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷

表 3.4-7　S45Y モデルの長周期地震動に対する損傷判定（平均）。

		AIC		OMS		OSK		TKY	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
建物機能	最大層間変形角(rad)	1/351	1/330	1/95	1/95	1/185	1/234	1/98	1/122
	最大加速度(Gal)	72	88	262	236	135	110	247	225
	判定値 λ	4	4	1	1	3	4	1	2
	機能確保	機能維持	機能維持	限定機能確保	限定機能確保	主要機能確保	機能維持	限定機能確保	指定機能確保
構造部材	部材塑性率	0.30	0.30	1.38	1.39	0.57	0.44	1.32	0.85
	部材累積塑性変形倍率	0	0	3	2	0	0	2	0
	判定値 λ	4	4	3	3	4	4	3	4
	構造部材損傷度	無損傷	無損傷	軽微	軽微	無損傷	無損傷	軽微	無損傷

表 3.4-8　RC40 モデルの長周期地震動に対する損傷判定（平均）。

		AIC		OMS		OSK		TKY	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
建物機能	最大層間変形角(rad)	1/243	1/232	1/106	1/169	1/254	1/242	1/184	1/273
	最大加速度(Gal)	124	126	236	161	116	122	149	106
	判定値 λ	4	4	2	3	4	4	3	4
	機能確保	機能維持	機能維持	指定機能確保	主要機能確保	機能維持	機能維持	主要機能確保	機能維持
構造部材	部材塑性率	0.46	0.48	1.09	0.67	0.44	0.46	0.61	0.41
	部材累積塑性変形倍率								
	判定値 λ								
	構造部材損傷度								

表 3.4-9　S30 モデルの長周期地震動に対する損傷判定（平均＋σ）。

		AIC		OMS		OSK		TKY	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
建物機能	最大層間変形角(rad)	1/125	1/85	1/55	1/100	1/98	1/107	1/79	1/70
	最大加速度(Gal)	252	337	455	289	345	293	387	380
	判定値 λ	2	1	0	2	1	2	1	0
	機能確保	指定機能確保	限定機能確保	機能確保困難	指定機能確保	限定機能確保	指定機能確保	限定機能確保	機能確保困難
構造部材	部材塑性率	1.07	2.24	4.04	1.90	1.92	1.58	2.45	3.05
	部材累積塑性変形倍率	0	2	27	2	4	2	9	4
	判定値 λ	3	3	0～1	3	3	3	2～3	2～3
	構造部材損傷度	軽微	軽微	大損	軽微	軽微	軽微	軽微～小損	軽微～小損

表 3.4-10　S45 モデルの長周期地震動に対する損傷判定（平均＋σ）。

		AIC		OMS		OSK		TKY	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
建物機能	最大層間変形角(rad)	1/173	1/194	1/48	1/64	1/93	1/151	1/58	1/76
	最大加速度(Gal)	138	138	330	290	239	150	359	308
	判定値 λ	3	3	0	0	1	3	0	1
	機能確保	主要機能確保	主要機能確保	機能確保困難	機能確保困難	限定機能確保	主要機能確保	機能確保困難	限定機能確保
構造部材	部材塑性率	0.75	0.66	4.94	3.40	1.97	0.89	3.91	2.83
	部材累積塑性変形倍率	0	0	64	22	7	0	17	5
	判定値 λ	4	4	0～1	0～2	1～3	3	1	2～3
	構造部材損傷度	無損傷	無損傷	大損	中損～大損	小損～中損	軽微	中損～大損	軽微～小損

表 3.4-11　S60 モデルの長周期地震動に対する損傷判定（平均＋σ）。

		AIC		OMS		OSK		TKY	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
建物機能	最大層間変形角(rad)	1/194	1/240	1/53	1/74	1/180	1/156	1/80	1/74
	最大加速度(Gal)	150	122	288	267	126	154	229	195
	判定値 λ	3	4	0	0	3	3	1	0
	機能確保	主要機能確保	機能維持	機能確保困難	機能確保困難	主要機能確保	主要機能確保	限定機能確保	機能確保困難
構造部材	部材塑性率	0.71	0.60	4.50	2.92	0.78	0.92	2.66	3.03
	部材累積塑性変形倍率	0	0	41	26	0	0	4	4
	判定値 λ	4	4	0～1	0～2	4	4	2～3	2～3
	構造部材損傷度	無損傷	無損傷	大損	中損～大損	無損傷	無損傷	軽微～小損	軽微～小損

表 3.4-12　S45X モデルの長周期地震動に対する損傷判定（平均＋σ）。

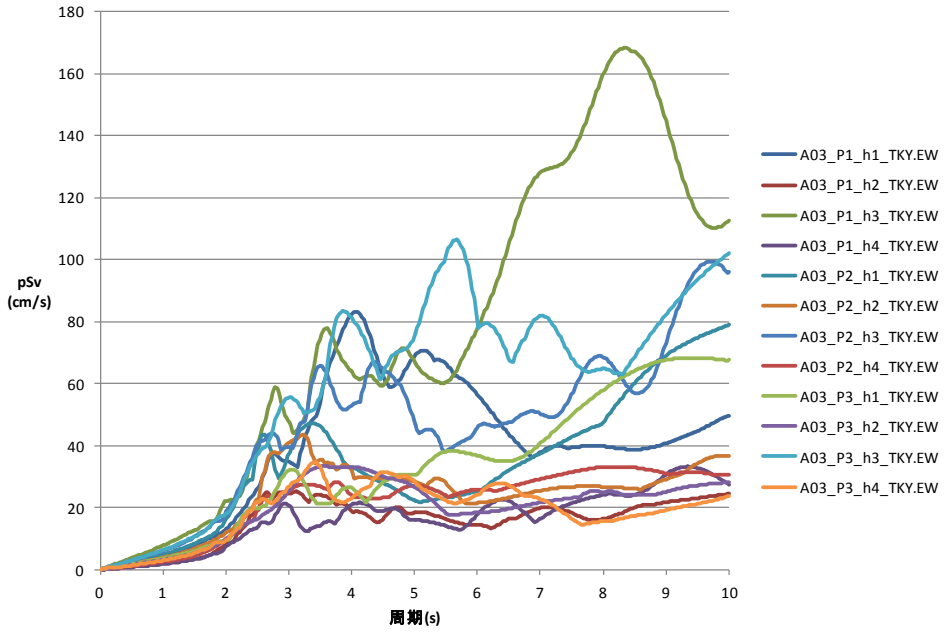
		AIC		OMS		OSK		TKY	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
建物機能	最大層間変形角(rad)	1/198	1/118	1/65	1/164	1/144	1/117	1/78	1/104
	最大加速度(Gal)	207	288	387	214	298	289	358	320
	判定値 λ	3	2	0	3	2	2	1	2
	機能確保	主要機能確保	指定機能確保	機能確保困難	主要機能確保	指定機能確保	指定機能確保	限定機能確保	指定機能確保
構造部材	部材塑性率	1.49	4.62	10.56	2.52	3.18	4.67	8.35	5.51
	部材累積塑性変形倍率	2	7	89	10	15	19	37	11
	判定値 λ	3	1～2	0	2	1～2	1	0	0～2
	構造部材損傷度	軽微	中損	大損以上	小損	中損	中損～大損	大損以上	中損～大損

表 3.4-13　S45Y モデルの長周期地震動に対する損傷判定（平均＋σ）。

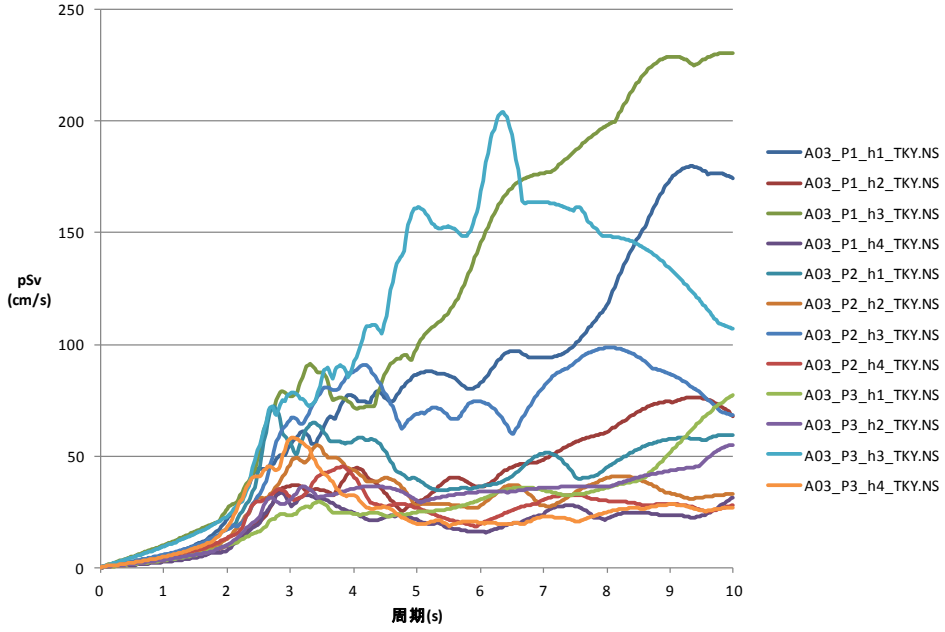
		AIC		OMS		OSK		TKY	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
建物機能	最大層間変形角(rad)	1/163	1/181	1/49	1/78	1/91	1/165	1/53	1/79
	最大加速度(Gal)	173	157	374	253	265	151	336	293
	判定値 λ	3	3	0	1	1	3	0	1
	機能確保	主要機能確保	主要機能確保	機能確保困難	限定機能確保	限定機能確保	主要機能確保	機能確保困難	限定機能確保
構造部材	部材塑性率	0.64	0.56	3.24	1.82	1.45	0.64	2.86	1.66
	部材累積塑性変形倍率	0	0	31	4	2	0	9	2
	判定値 λ	4	4	0～2	3	3	4	2	3
	構造部材損傷度	無損傷	無損傷	中損～大損	軽微	軽微	無損傷	小損	軽微

表 3.4-14　RC40 モデルの長周期地震動に対する損傷判定（平均＋σ）。

		AIC		OMS		OSK		TKY	
		NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW
建物機能	最大層間変形角(rad)	1/136	1/111	1/51	1/138	1/114	1/124	1/62	1/76
	最大加速度(Gal)	207	231	307	184	234	205	319	295
	判定値 λ	2	2	0	2	2	2	0	1
	機能確保	指定機能確保	指定機能確保	機能確保困難	指定機能確保	指定機能確保	指定機能確保	機能確保困難	限定機能確保
構造部材	部材塑性率	0.82	1.02	2.36	0.83	0.98	0.92	1.93	1.56
	部材累積塑性変形倍率								
	判定値 λ								
	構造部材損傷度								

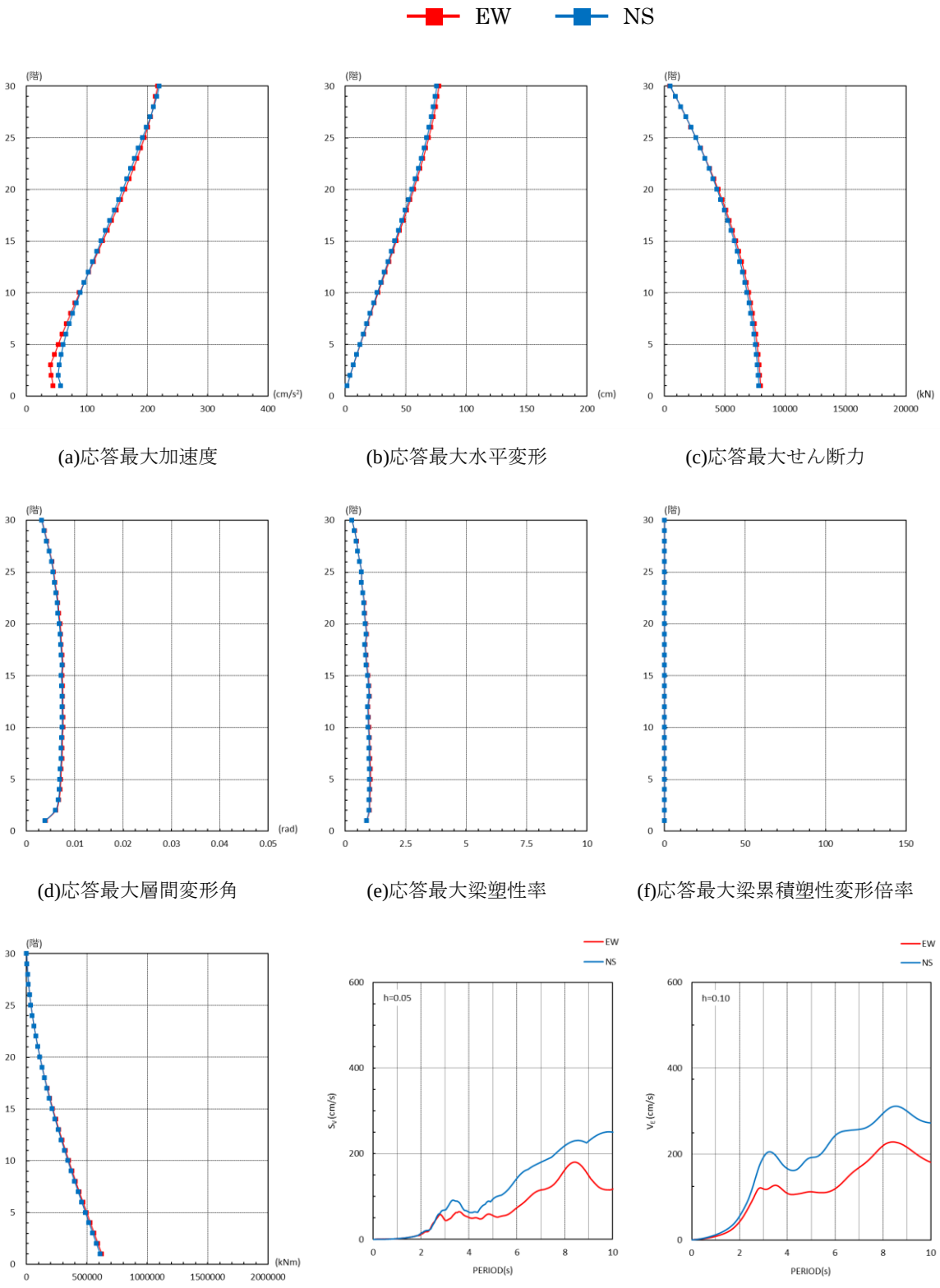


(a) EW



(b) NS

図 3.4-12　相模トラフ地震の擬似速度応答スペクトル（東京都庁位置、減衰 5%）。

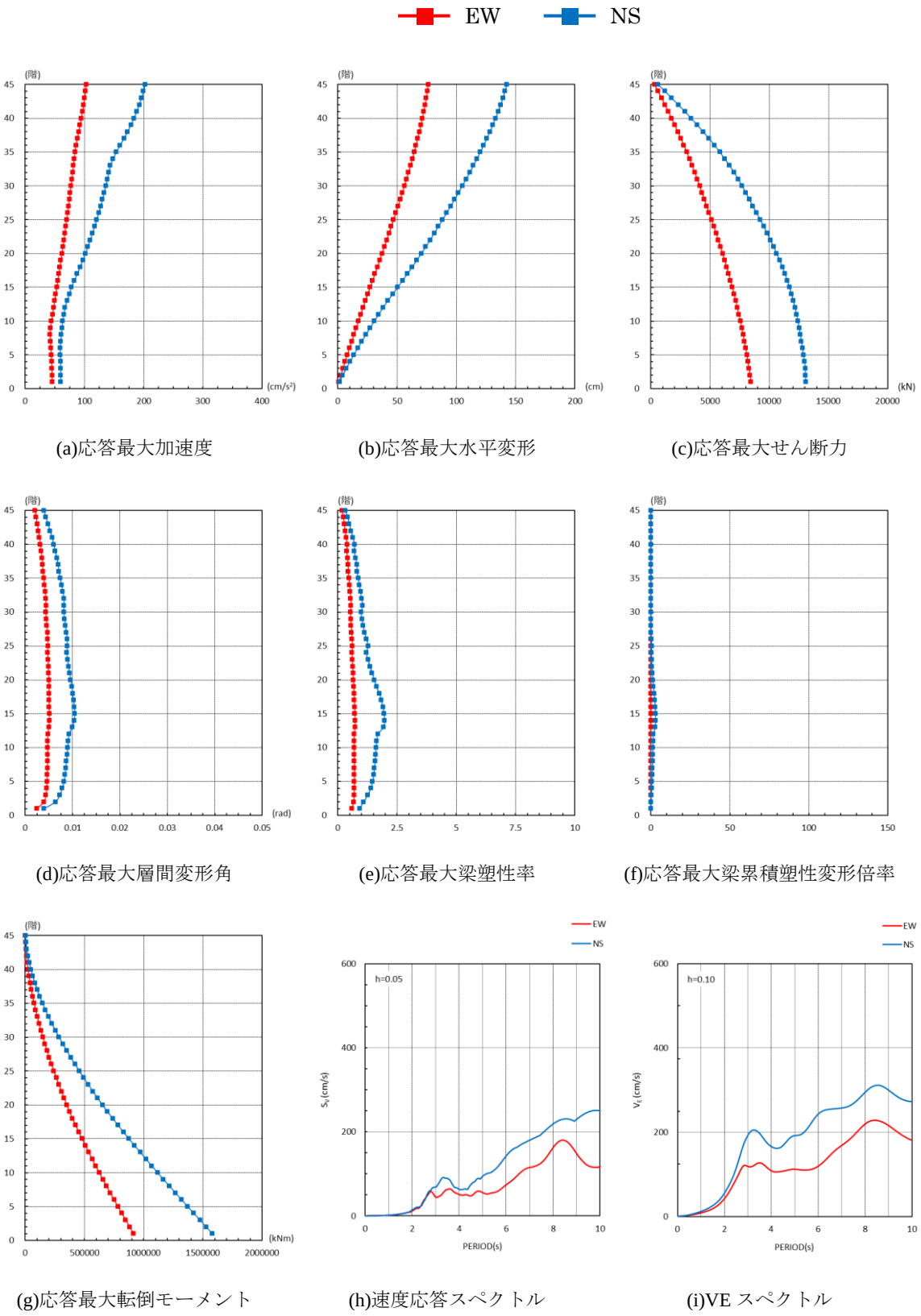


(a)応答最大加速度　(b)応答最大水平変形　(c)応答最大せん断力

(d)応答最大層間変形角　(e)応答最大梁塑性率　(f)応答最大梁累積塑性変形倍率

(g)応答最大転倒モーメント　(h)速度応答スペクトル　(i)VE スペクトル

図 3.4-13　東京都庁位置での応答最大値分布（S30、ケース P1h3）。

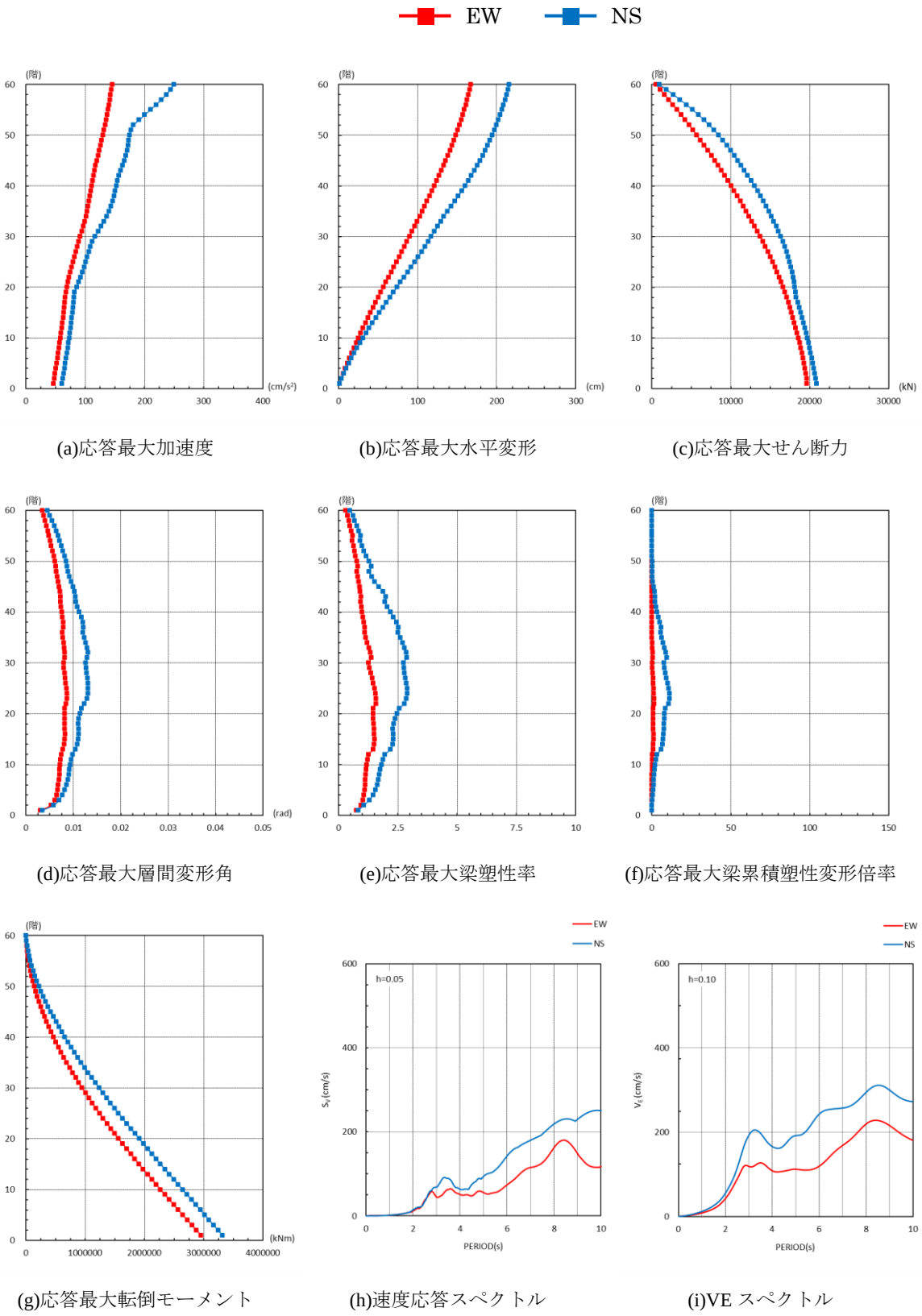


(a)応答最大加速度　(b)応答最大水平変形　(c)応答最大せん断力

(d)応答最大層間変形角　(e)応答最大梁塑性率　(f)応答最大梁累積塑性変形倍率

(g)応答最大転倒モーメント　(h)速度応答スペクトル　(i)VE スペクトル

図 3.4-14　東京都庁位置での応答最大値分布（S45、ケース P1h3）。



(a)応答最大加速度　(b)応答最大水平変形　(c)応答最大せん断力

(d)応答最大層間変形角　(e)応答最大梁塑性率　(f)応答最大梁累積塑性変形倍率

(g)応答最大転倒モーメント　(h)速度応答スペクトル　(i)VE スペクトル

図 3.4-15　東京都庁位置での応答最大値分布（S60、ケース P1h3）。

表 3.4-15　長周期地震動に対する損傷判定（S30、EW）。

地震動	領域区分 No.	3											
	パターン	1				2				3			
	破壊開始点	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
建物機能	最大層間変形角(rad)	1/149	1/321	1/132	1/512	1/246	1/239	1/174	1/283	1/468	1/306	1/118	1/424
	最大加速度(Gal)	198	94	217	58	124	128	169	104	60	98	255	70
	判定値 λ	2	4	2	4	4	4	3	4	4	4	2	4
	機能確保	指定機能確保	機能維持	指定機能確保	機能維持	機能維持	機能維持	主要機能確保	機能維持	機能維持	機能維持	指定機能確保	機能維持
構造部材	部材塑性率	0.91	0.44	1.04	0.29	0.57	0.57	0.78	0.49	0.32	0.46	1.29	0.34
	部材累積塑性変形倍率	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	判定値 λ	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4
	構造部材損傷度	無損傷	無損傷	軽微	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	軽微	無損傷

表 3.4-16　長周期地震動に対する損傷判定（S30、NS）。

地震動	領域区分 No.	3											
	パターン	1				2				3			
	破壊開始点	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
建物機能	最大層間変形角(rad)	1/128	1/251	1/135	1/375	1/164	1/187	1/139	1/229	1/439	1/350	1/92	1/252
	最大加速度(Gal)	231	122	220	80	182	162	215	132	67	85	317	125
	判定値 λ	2	4	2	4	3	3	2	4	4	4	1	4
	機能確保	指定機能確保	機能維持	指定機能確保	機能維持	主要機能確保	主要機能確保	指定機能確保	機能維持	機能維持	機能維持	限定機能確保	機能維持
構造部材	部材塑性率	1.07	0.54	1.01	0.38	0.81	0.71	0.96	0.59	0.33	0.41	2.11	0.54
	部材累積塑性変形倍率	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
	判定値 λ	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4
	構造部材損傷度	軽微	無損傷	軽微	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	軽微	無損傷

表 3.4-17　長周期地震動に対する損傷判定（S45、EW）。

地震動	領域区分 No.	3											
	パターン	1				2				3			
	破壊開始点	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
建物機能	最大層間変形角(rad)	1/133	1/500	1/196	1/651	1/460	1/284	1/207	1/380	1/253	1/499	1/92	1/431
	最大加速度(Gal)	159	45	103	33	51	77	102	58	84	49	212	48
	判定値λ	2	4	3	4	4	4	4	4	4	4	1	4
	機能確保	指定機能確保	機能維持	主要機能確保	機能維持	機能維持	機能維持	機能維持	機能維持	機能維持	機能維持	限定機能確保	機能維持
構造部材	部材塑性率	1.05	0.30	0.72	0.24	0.33	0.50	0.67	0.38	0.56	0.29	2.09	0.35
	部材累積塑性変形倍率	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0
	判定値λ	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2～3	4
	構造部材損傷度	軽微	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	軽微～小損	無損傷

表 3.4-18　長周期地震動に対する損傷判定（S45、NS）。

地震動	領域区分 No.	3											
	パターン	1				2				3			
	破壊開始点	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
建物機能	最大層間変形角(rad)	1/103	1/256	1/96	1/397	1/332	1/372	1/125	1/489	1/472	1/348	1/81	1/369
	最大加速度(Gal)	214	86	203	57	69	60	169	50	45	66	269	70
	判定値λ	2	4	1	4	4	4	2	4	4	4	1	4
	機能確保	指定機能確保	機能維持	限定機能確保	機能維持	機能維持	機能維持	指定機能確保	機能維持	機能維持	機能維持	限定機能確保	機能維持
構造部材	部材塑性率	1.70	0.55	1.97	0.36	0.42	0.39	1.20	0.29	0.32	0.41	2.46	0.37
	部材累積塑性変形倍率	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	11	0
	判定値λ	3	4	3	4	4	4	3	4	4	4	2	4
	構造部材損傷度	軽微	無損傷	軽微	無損傷	無損傷	無損傷	軽微	無損傷	無損傷	無損傷	小損	無損傷

表 3.4-19　長周期地震動に対する損傷判定（S60、EW）。

地震動	領域区分 No.	3											
	パターン	1				2				3			
	破壊開始点	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
建物機能	最大層間変形角(rad)	1/268	1/495	1/116	1/381	1/366	1/485	1/244	1/400	1/343	1/578	1/135	1/312
	最大加速度(Gal)	76	40	145	51	63	50	86	59	64	38	143	73
	判定値λ	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	2	4
	機能確保	機能維持	機能維持	指定機能確保	機能維持	機能維持	機能維持	機能維持	機能維持	機能維持	機能維持	指定機能確保	機能維持
構造部材	部材塑性率	0.53	0.31	1.58	0.39	0.39	0.31	0.58	0.36	0.42	0.27	1.08	0.45
	部材累積塑性変形倍率	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	判定値λ	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4
	構造部材損傷度	無損傷	無損傷	軽微	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	軽微	無損傷

表 3.4-20　長周期地震動に対する損傷判定（S60、NS）。

地震動	領域区分 No.	3											
	パターン	1				2				3			
	破壊開始点	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
建物機能	最大層間変形角(rad)	1/104	1/238	1/76	1/449	1/312	1/243	1/153	1/373	1/316	1/316	1/67	1/373
	最大加速度(Gal)	190	80	250	48	66	83	127	62	65	70	251	76
	判定値λ	2	4	1	4	4	4	3	4	4	4	0	4
	機能確保	指定機能確保	機能維持	限定機能確保	機能維持	機能維持	機能維持	主要機能確保	機能維持	機能維持	機能維持	機能確保困難	機能維持
構造部材	部材塑性率	1.86	0.61	2.89	0.33	0.46	0.58	0.94	0.38	0.46	0.45	3.38	0.39
	部材累積塑性変形倍率	2	0	11	0	0	0	0	0	0	0	19	0
	判定値λ	3	4	2	4	4	4	4	4	4	4	1～2	4
	構造部材損傷度	軽微	無損傷	小損	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	無損傷	中損	無損傷

（B）長周期地震動の強さを表す尺度に関する検討

長周期指標の評価に用いるフィルタの周期特性は、長周期地震動の揺れに対する体感（高橋・他, 2007）に合うように設定する。体感の評価曲線の例を図 3.4-16 に示す。体感感度は、振幅については対数的な特性で、周期に対しては図中に示す$(1/f)^{1/2}$の傾きの直線に概ね平行な特性を示し、速度と加速度の中間的な特性となっている。従って、長周期指標にも計測震度と同じ$(1/f)^{1/2}$の傾きの周波数特性を用いる。長周期指標は、図 3.4-17 に示すように 3 種類の周期 10 秒までの周期フィルタを用いて短周期成分をカットし、長周期成分を抽出して評価を行う。

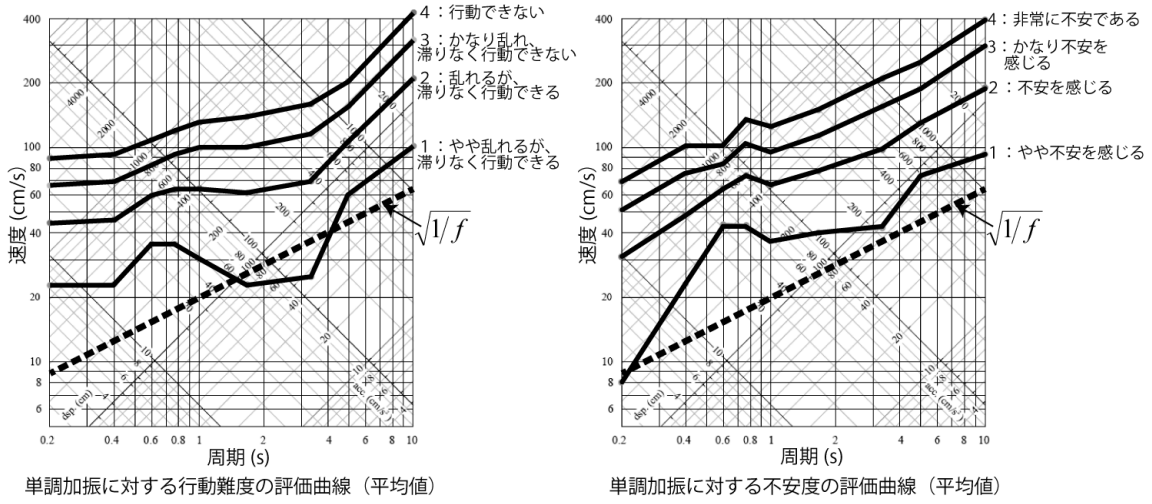


図 3.4-16 長周期地震動を考慮した揺れに対する体感の周期特性
（高橋・他(2007)に加筆、点線：$\sqrt{1/f}$ の傾き直線）。

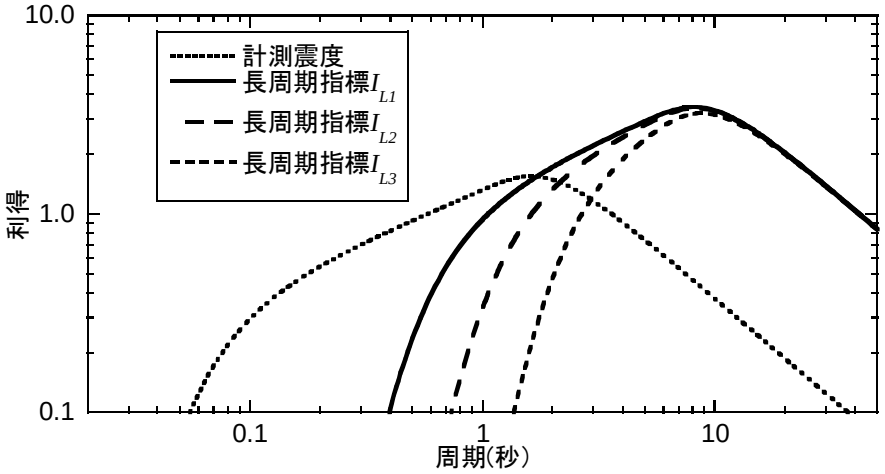


図 3.4-17　地震動指標計算用フィルタの利得特性の比較。

○地表面の観測記録の長周期指標

提案した長周期指標の実際の観測記録での特性を把握するために、図 3.4-18 に震央を示す2000年以降に発生したマグニチュード6以上の主な被害地震の26地震を選定し、K-NETおよびKiK-netの地表面で観測された延べ16,739地点の記録を用いて分析を行った。このとき、図 3.4-17 に示した 3 種類の長周期指標の平均値が同じになるようにした。気象庁が長周期地震動階級に用いている最大絶対速度応答スペクトルの周期に対する計測震度および各長周期指標の相関係数を図 3.4-19 に示す。最も相関係数の大きい周期は、計測震度が0.3秒、I_{L1}が1.3秒、I_{L2}が2.5秒、I_{L3}が4.2秒となった。

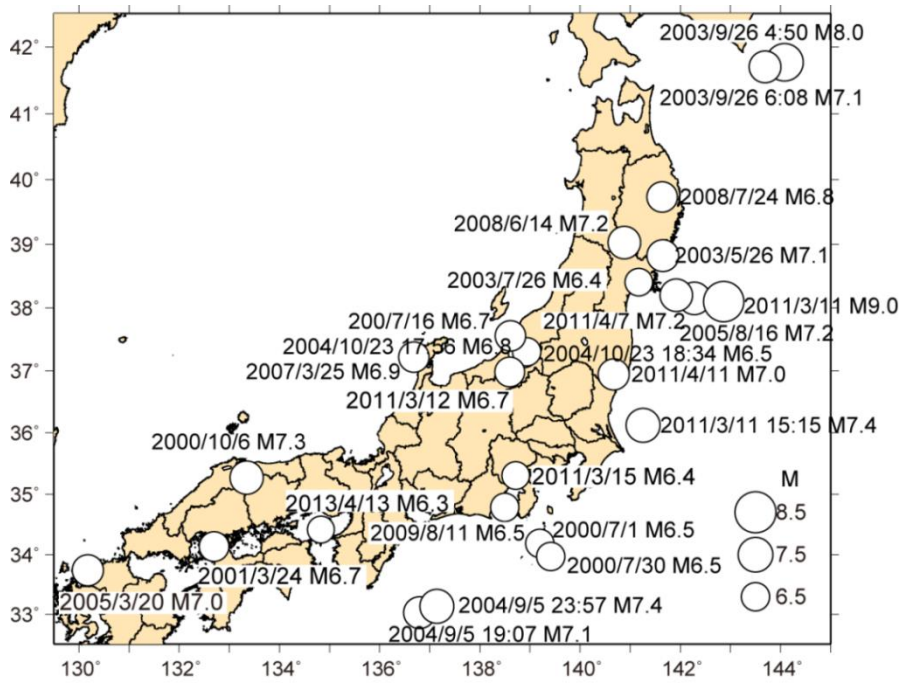


図 3.4-18　分析に用いた地震の震央分布
(震央の傍に日時、気象庁発表マグニチュードMを表示)。

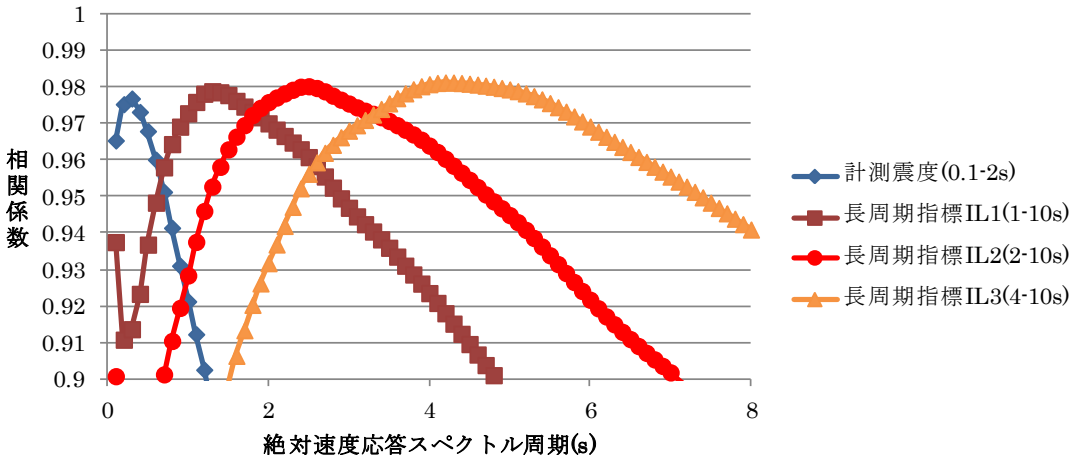
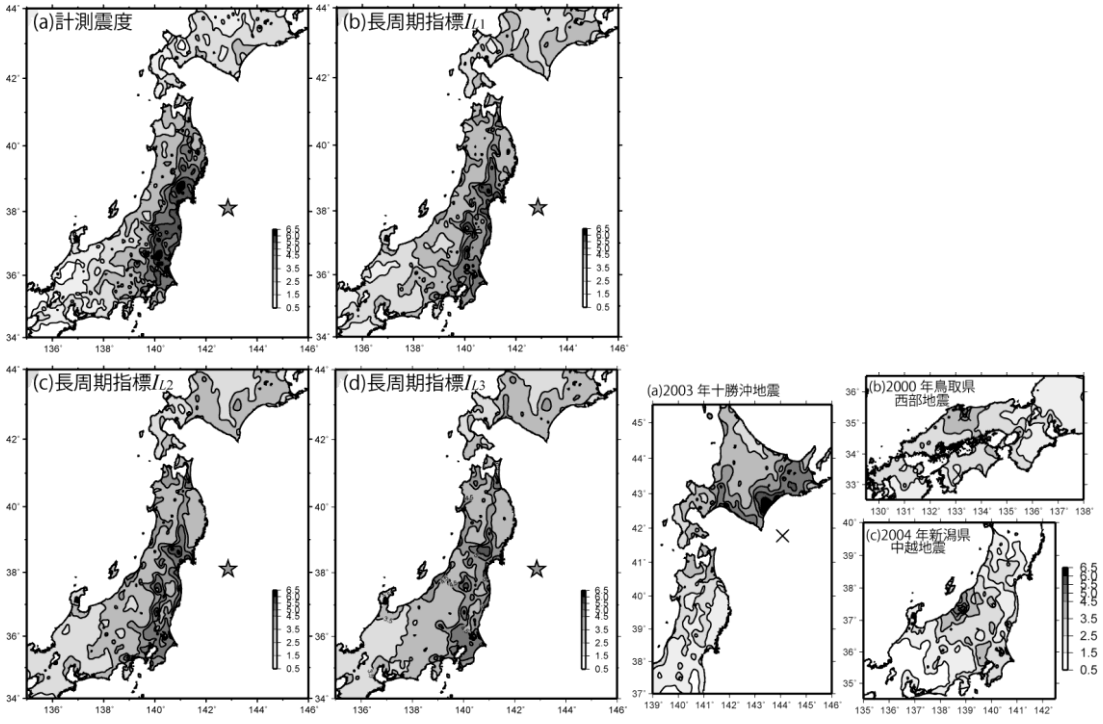


図 3.4-19　各尺度と絶対速度応答スペクトル（水平 2 方向のベクトル和）の対数との相関。

○主な地震の長周期指標分布の分析

長周期地震動によって超高層建物のエレベータやタンクで被害が発生した主な地震について、長周期指標分布を図 3.4-20 に示す。2011 年東北地方太平洋沖地震の本震の長周期指標分布をみると、一般的には平野や盆地で大きくなる傾向が見られ、沖積地盤での長周期成分の増幅特性を示している。計測震度は奥羽山脈の火山フロントを挟んで減衰し、日本海側で明らかに小さくなる様子が見られる。計測震度に比べて長周期指標は、火山フロントでの顕著な減衰は見られず、太平洋側の平野部だけでなく、タンクの被害のあった庄内平野（酒田）や新潟平野などの日本海側の平野部でも大きくなっている。また、長周期指標は距離に対する減衰は計測震度に比べて小さく、超高層建物の被害のあった遠く離れた大阪平野湾岸部でも 5 弱の指標値を示し、増幅が見られる。2003 年十勝沖地震については、長周期指標は、近い十勝平野だけでなく、タンク火災のあった苫小牧のある勇払平野や高層建物のエレベータ被害のあった札幌でも大きくなっている。2000 年鳥取県西部地震では、震央距離約 200km の高層建物のエレベータ被害が多かった沖積平野の大阪や神戸で長周期指標が大きくなっている。2004 年新潟県中越地震では、東京で高層建物のエレベータが被害を受けたが、長周期指標は関東平野で減衰せず、震源から離れた埼玉から東京の東部付近の低地部分で増幅が現れている。長周期指標でおおよそ 5 弱以上の地域で、高層建物のエレベータやタンクの被害の可能性があることが分かる。



(a)2011 年東北地方太平洋沖地震(Mw9.0)　　(b)3 つの大地震の長周期指標 I_{L2}

図 3.4-20　長周期指標の分布。

○長周期地震動の尺度と超高層建物の応答値

2011 年東北地方太平洋沖地震において観測された記録の最大応答値が公開されているもの（日本建築学会, 2012)からのデータを用いて、超高層建物の最大変形角と長周期指標の関係を図 3.4-21 に示す。2 次部材や家具什器に被害が発生した東京、大阪の超高層建物においては、長周期指標は 5 前後だったことが分かる。各長周期指標に対する最大変形角ϕについて直線回帰して (3.4-1)式～(3.4-3)式の関係式を得た。

$$\log\phi = 0.41I_{L1} - 4.68 \qquad (3.4\text{-}1)$$

$$\log\phi = 0.46I_{L2} - 4.92 \qquad (3.4\text{-}2)$$

$$\log\phi = 0.51I_{L2} - 5.20 \qquad (3.4\text{-}3)$$

図 3.4-20 に相関係数の一番大きい I_{L2} に対する回帰式を実線で(3.4-2)式を示すが、外挿して考えると最大変形角 1/100 となるには長周期指標が 6 を超えると推定される。

次に平成 24 年度の「長周期地震動予測地図作成等支援事業」において計算された図 3.4-22 に示す南海トラフ沿いの東海・東南海・南海の 3 連動震源モデル（深部アスペリティ、紀伊半島沖から破壊：ANNI3d-c、以後「南海トラフ 3 連動」と称する）と全国 1 次地下構造モデル（暫定版）(地震調査委員会, 2012)を用いて 3 次元差分法で解析された東京近傍の範囲の 2km メッシュの周期 2 秒以上の長周期シミュレーション波形（Maeda et al., 2012）から長周期地震動の尺度を計算し、応答解析による超高層建物の最大応答値との関係を検討した。

図 3.4-23 に長周期指標 I_{L2} と気象庁の「長周期地震動階級」に用いられている周期 1.6-7.8 秒の絶対速度応答スペクトルの最大値 S_{vp} の分布を示す。両長周期地震動の尺度は、都内中央部と都内西部から埼玉県西部で大きい地域が見られる。I_{L2} と S_{vp} の関係を図 3.4-24 に示す。I_{L2} と S_{vp} の対数は線形関係で、南海トラフ 3 連動地震では、東京近郊では長周期地震動階級 2～4、長周期指標（I_{L2}）で 4.5 以上の長周期地震動が想定される。次に、東京都（2011）のデータに基づいて東京都内の高さ 60m 以上の超高層建物の所在地をデータ化し、超高層建物がある位置での長周期指標の頻度分布を図 3.4-25 に示す。長周期指標が 5.0～6.2 の範囲に超高層建物が存在する。5.0～5.3 だった 2011 年東北地方太平洋沖地震よりは南海トラフ 3 連動地震の方が大きな長周期地震動が想定される。

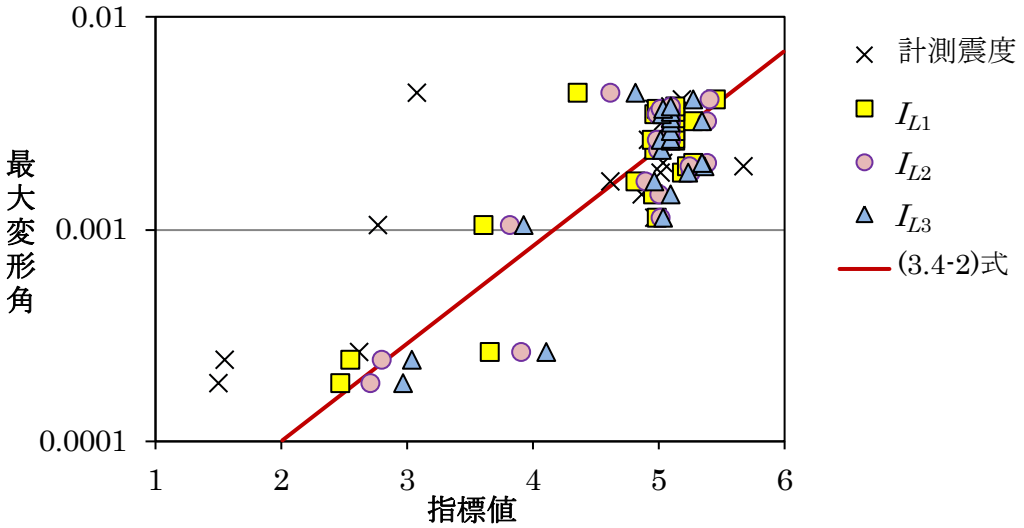


図 3.4-21　超高層建物の最大変形角(日本建築学会, 2012)と震度及び長周期指標の関係(2011 年東北地方太平洋沖地震)。

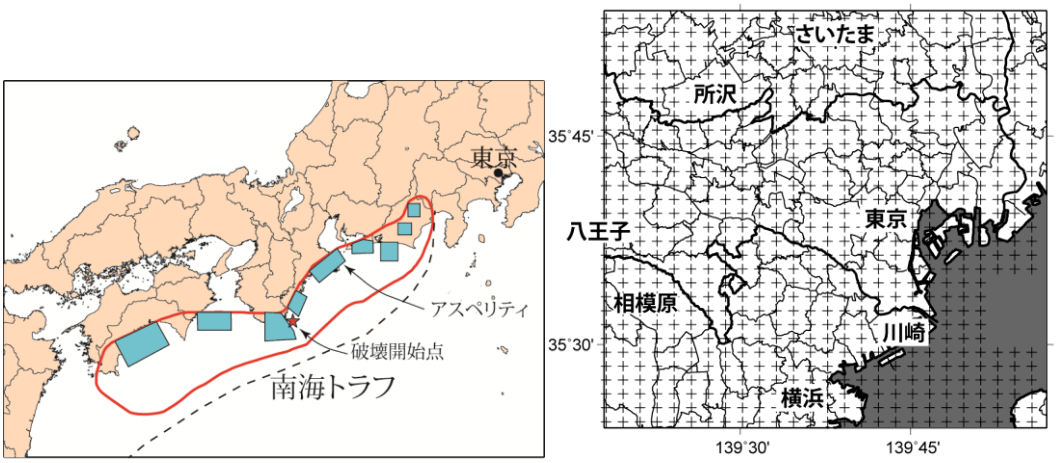


図 3.4-22　南海トラフの 3 連動地震断層モデルと評価地点メッシュ

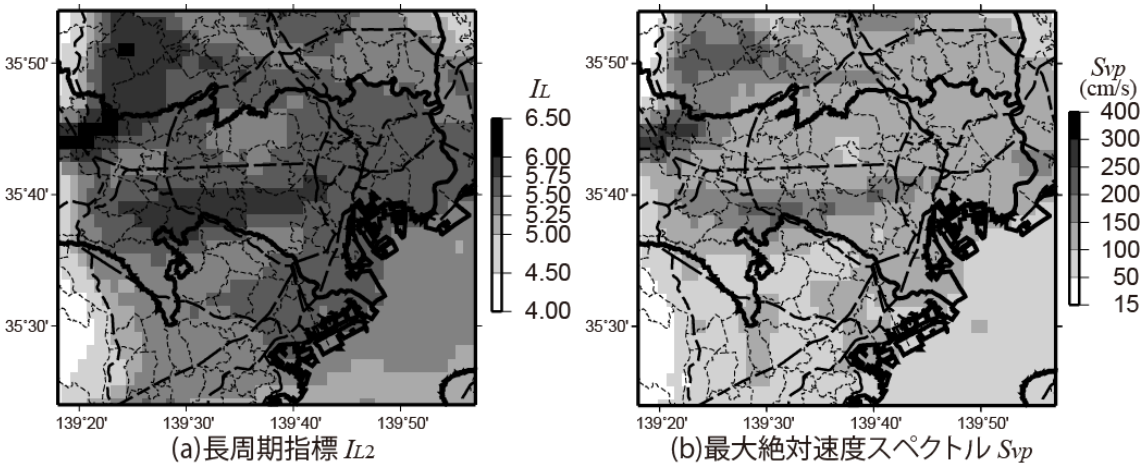


図 3.4-23　長周期地震動指標（南海トラフ 3 連動)。

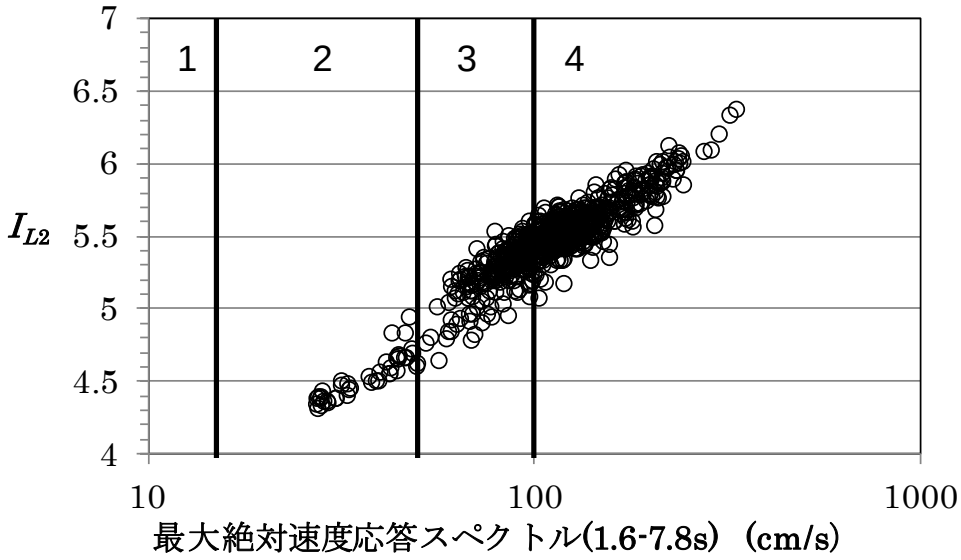


図 3.4-24　絶対速度応答スペクトルの最大値（減衰定数 5%；S_{vp}）と長周期指標 I_{L2} の関係（南海トラフ 3 連動）。

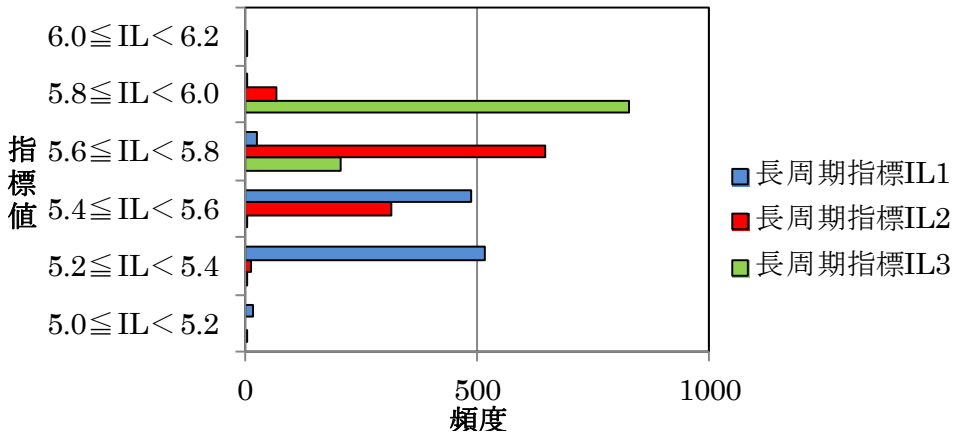


図 3.4-25　東京都内の超高層建物地点の長周期指標の頻度分布（南海トラフ 3 連動）。

建物モデルは、S 造の 30 階建、45 階建、60 階建の 3 種類で、図 3.4-26 に示すように階高 4m、6.4m 均等スパンの純ラーメン架構で、塔状比 4 を目安に幅を設定した基礎固定の平面フレームモデルとする。長周期の入力地震動は、上述の南海トラフ 3 連動地震の東京近郊の 2km メッシュごとに求められたシミュレーション波形とする。

各建物の固有値解析の結果を表 3.4-21 に示す。入力地震動は 2 秒以下の周期成分が少ないので、建物応答は 1 次モードが卓越すると考えられる。

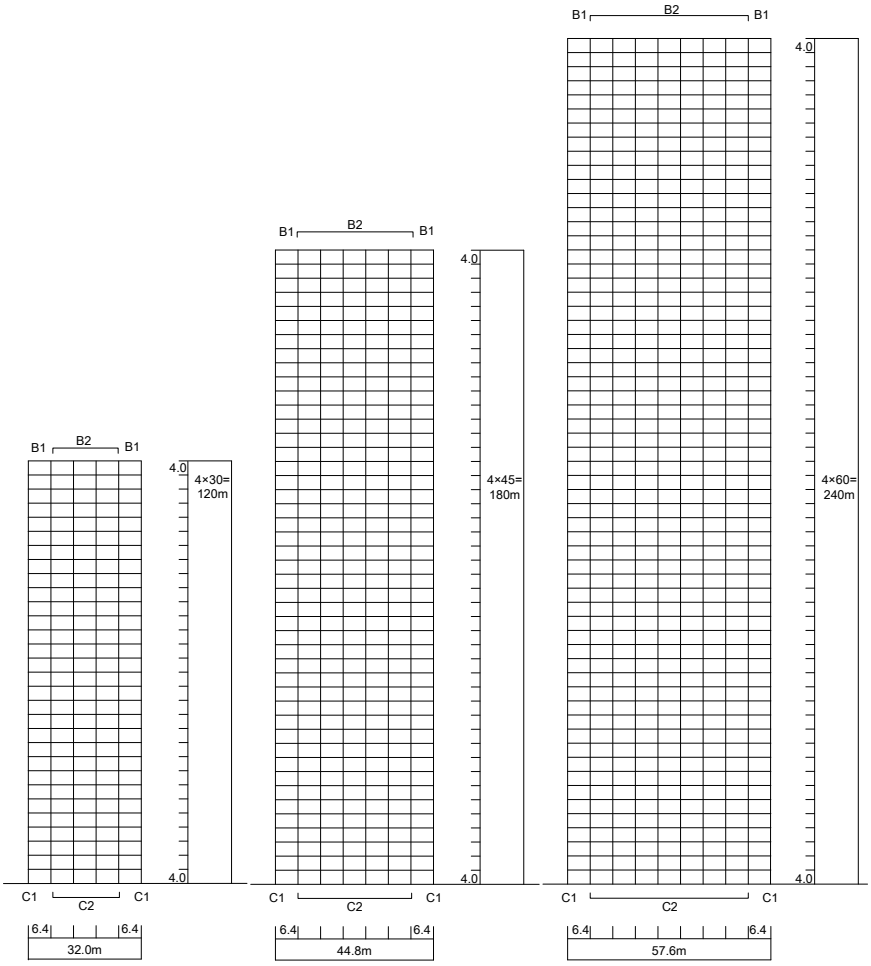


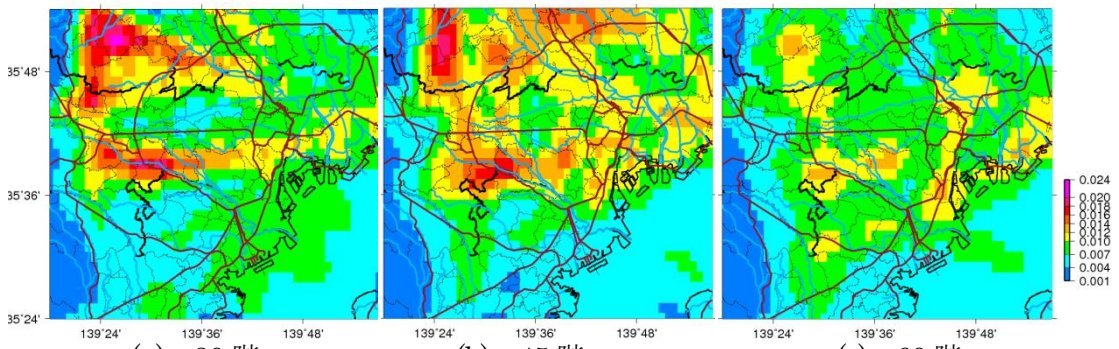
図 3.4-26　超高層建物の応答解析モデル。

表 3.4-21　固有値解析結果。

	30 階建		45 階建		60 階建	
	固有周期(秒)	刺激係数	固有周期(秒)	刺激係数	固有周期(秒)	刺激係数
1 次	3.70	-1.39	5.36	-1.40	6.49	-1.42
2 次	1.25	0.58	1.79	0.59	2.20	0.61

南海トラフ 3 連動地震による入力地震動に対して図 3.4-25 で示した 3 種類の階数の超高層建物モデルの応答解析を行い、最大層間変形角を求めた。得られた 3 種類の超高層建物モデルの最大層間変形角の 2km メッシュの分布を図 3.4-27 に示す。長周期地震動の尺度と図 3.4-12 に示した最大層間変形角との関係の代表例を図 3.4-28～図 3.4-32 に示す。最大層間変形角の対数は、ばらつきがあるものの長周期指標 I_L および S_{vp} の対数と線形の関係があり、階数の異なる建物モデルによる傾向の差は見られない。それぞれの尺度と最大層間変形角の対数との相関係数をまとめて表 3.4-22 に示す。相関係数が一番高いのは、30 階建が相対速度応答スペクトルの平均値、45 階建が擬似速度応答スペクトルの平均値、60 階建が絶対速度応答スペクトルの平均値という結果になった。

S_{vp} など速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の最大値については高い建物ほど相関性が低いことが分かる。ピークとなる特定の周期成分の影響を受けやすいためと考えられ、平均値を尺度にした方がどの高さの建物に対しても安定した相関性があることが分かる。



(a)　30 階　　(b)　45 階　　(c)　60 階

図 3.4-27　S 造超高層モデル建物の最大層間変形角の分布（南海トラフ 3 連動）。

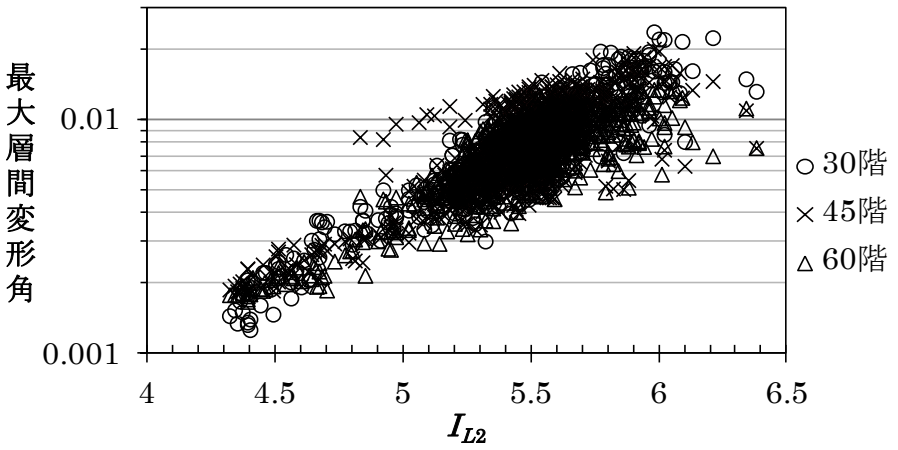


図 3-4-28　長周期指標 I_{L2} と全建物の最大層間変形角（南海トラフ 3 連動）。

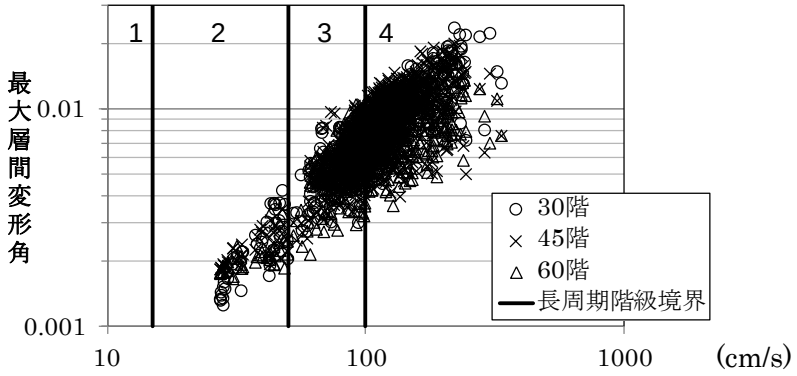


図 3.4-29　絶対速度応答スペクトル（減衰定数 5%；1.6-7.8s）の最大値 S_{vp} と最大層間変形角。

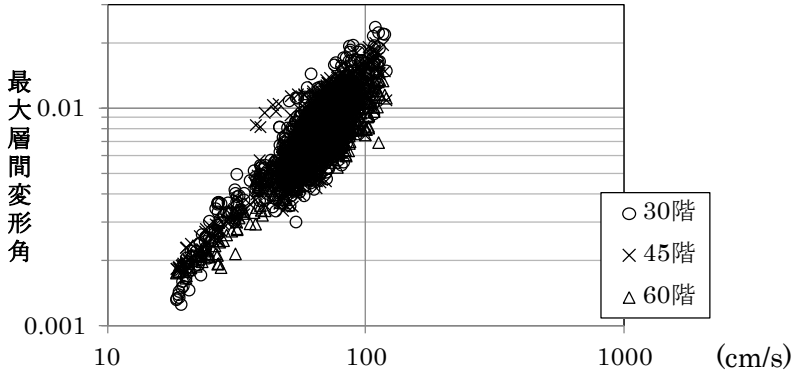


図 3.4-230　絶対速度応答スペクトル（減衰定数 5%；1.6-7.8s）の平均値 S_{vm} と最大層間変形角。

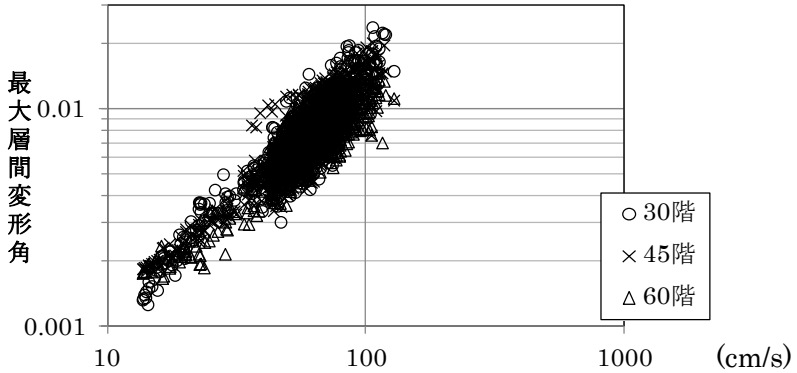


図 3.4-31　相対速度応答スペクトル（減衰定数 5%；1.6-7.8s）の平均値と最大層間変形角。

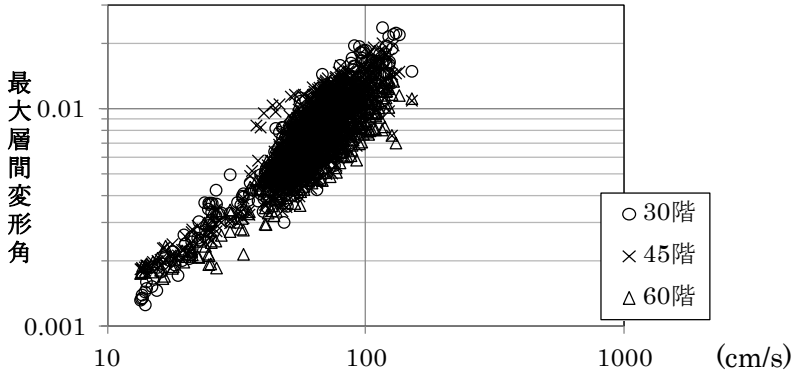


図 3.4-32　擬似速度応答スペクトル（減衰定数 5%；1.6-7.8s）の平均値と最大層間変形角。

表 3.4-22　超高層建物の最大層間変形角の対数と各指標の相関係数。

指標	30 階建	45 階建	60 階建
長周期指標 I_{L1}	0.899	0.779	0.809
長周期指標 I_{L2}	0.903	0.807	0.835
長周期指標 I_{L3}	0.868	0.868	0.898
絶対速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の最大値の対数	0.883	0.817	0.754
絶対速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の平均値の対数	0.883	0.890	0.912
相対速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の最大値の対数	0.892	0.853	0.782
相対速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の平均値の対数	0.917	0.873	0.871
擬似速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の最大値の対数	0.889	0.841	0.772
擬似速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の平均値の対数	0.903	0.890	0.898

代表的指標について、30 階建、45 階建および 60 階建の最大層間変形角φとの関係式を求めると、(3.4-4) 式～ (3.4-6) 式となる。

$$\log\varphi = 0.54 I_{L2} - 5.07 \tag{3.4-4}$$

$$\log\varphi = 0.95 \log\left(S_{vp}\right) - 4.06 \tag{3.4-5}$$

$$\log\varphi = 1.18 \log\left(S_{vm}\right) - 4.25 \tag{3.4-6}$$

絶対速度応答スペクトルと相対速度応答スペクトルについては、建物の固有周期で限定した方がより相関性が高くなると考えられる。そこで、建物が塑性化によって周期が延びることを考慮して固有周期から 1.2 倍の周期まで 0.1 秒刻みのスペクトルの最大値または平均値を用いる。図 3.4-33 に相対速度応答スペクトルの例を示すが、ばらつきが小さくなり相関係数が最大値で 0.952、平均値で 0.947 と相関が高い。

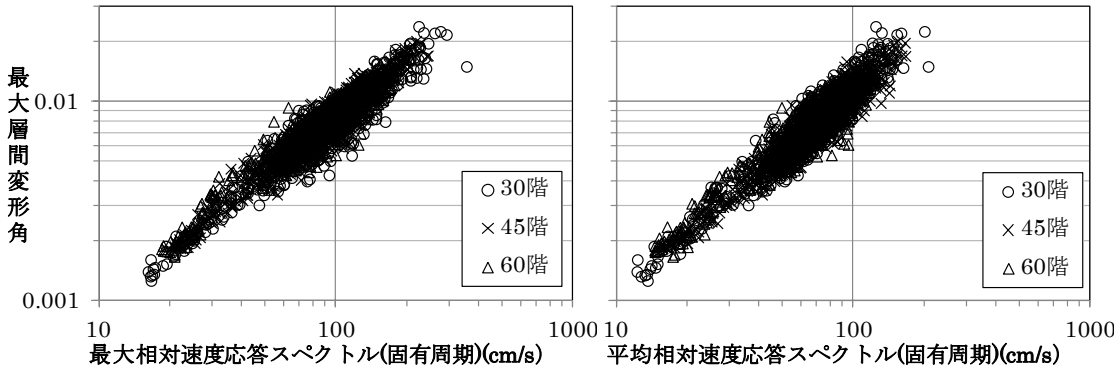
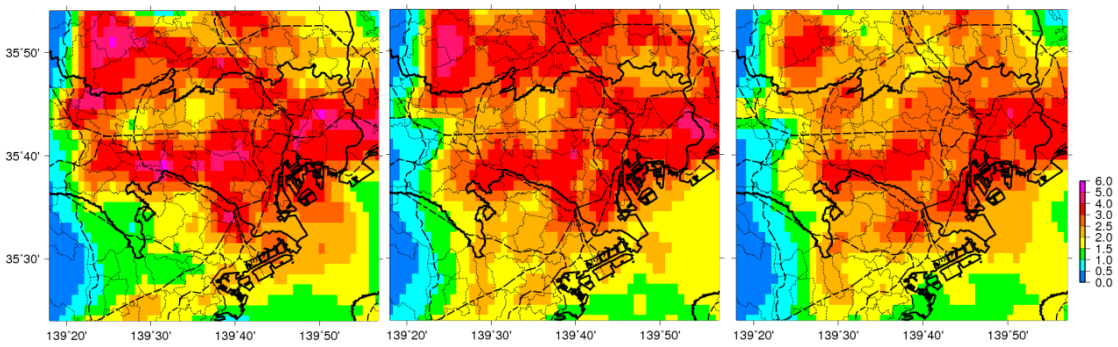


図 3.4-33　相対速度応答スペクトル（減衰定数 5%；固有周期から 1.2 倍周期）の最大値および平均値に対する最大層間変形角の関係。

南海トラフの 3 連動地震の東京近傍の 2km メッシュの地震動を用いて、3 種類の高さの S 造の超高層建物の梁の塑性率の最大値（最大梁塑性率）を求め、長周期地震動の尺度との関係について検討する。図 3.4-34 に示すように、埼玉県南部や東京都南部から東部に掛けて最大梁塑性率が大きい領域が広がっている。

長周期指標 I_{L2} と最大梁塑性率の関係を図 3.4-35 に示す。最大梁塑性率が 1.0 付近まではばらつきが比較的小さく、長周期指標に対して線形に大きくなるように見える。しかし 1.0 を越えるとばらつきが非常に大きいことが分かる。次に、速度応答スペクトルの 1.6～7.8 秒の 0.2 秒刻みの値の最大値と平均値を尺度として検討し、図 3.4-36～図 3.4-38 に示す。図 3.4-35 に実線で区分を示すように長周期地震動階級は概ね 4 になると塑性率 1 を越えるようになる。絶対速度応答スペクトルと相対速度応答スペクトルの相関やばらつきの差はみられないが、それぞれ最大値と平均値を比べると、平均値を用いた方が明らかにばらつきは小さい。さらに、入力地震動の継続時間の影響も考えられるので 1.6～7.8 秒のエネルギースペクトルの平均値と最大梁塑性率との関係をそれぞれ図 3.4-39 に示す。相関やばらつきの程度は速度応答スペクトルの場合と同程度となった。

次に、1 次固有周期近傍の狭帯域の周期成分の影響が大きい可能性があるので、相対速度応答スペクトルについて 1 次固有周期とその 1.2 倍の範囲の 0.1 刻みのスペクトル値の最大値および平均値に対する最大梁塑性率の関係を図 3.4-40 に示す。固有周期が分かる場合は、スペクトルの周期範囲を狭くすることによりばらつきが小さくなることが確認された。



(a)　30 階　　(b)　45 階　　(c)　60 階

図 3.4-34　S 造超高層モデル建物の最大梁塑性率の分布（南海トラフ 3 連動 ANNI3d-c）。

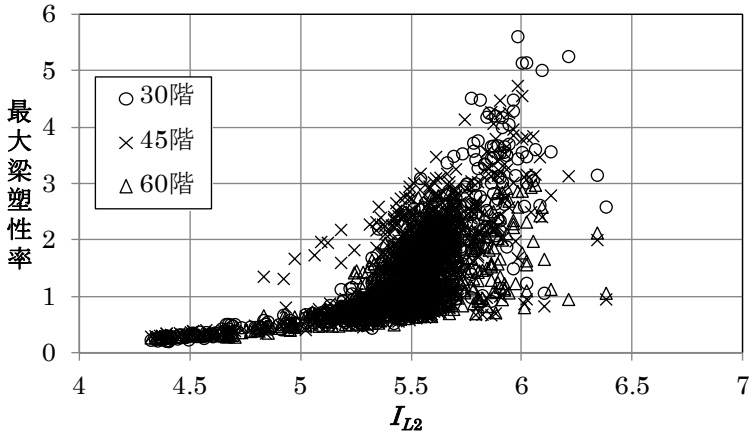


図 3.4-35　長周期指標と全建物の最大梁塑性率。

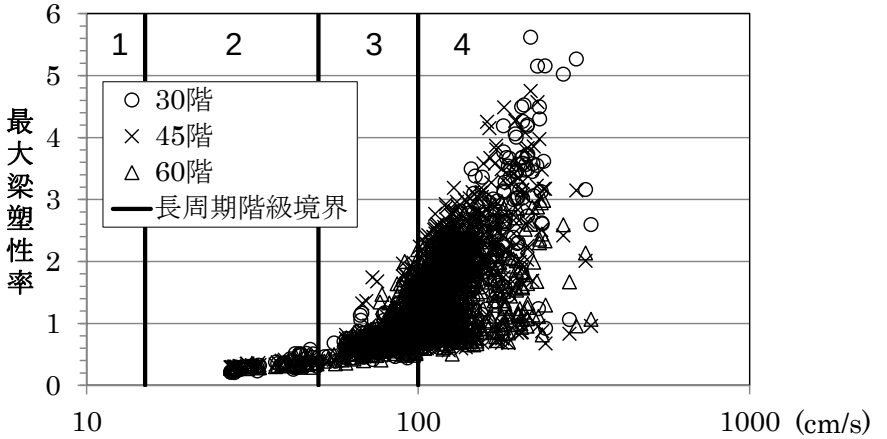


図 3.4-36　絶対速度応答スペクトル（減衰定数 5%；1.6-7.8s）の最大値と最大梁塑性率。

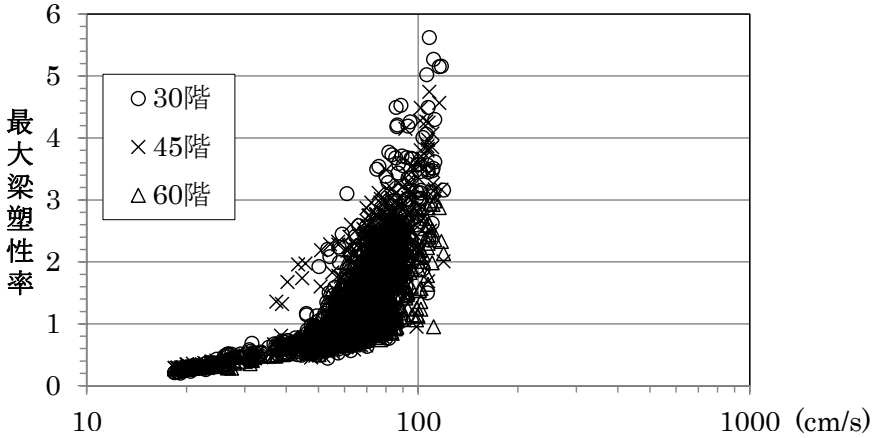


図 3.4-37　絶対速度応答スペクトル（減衰定数 5%；1.6-7.8s）の平均値と最大梁塑性率。

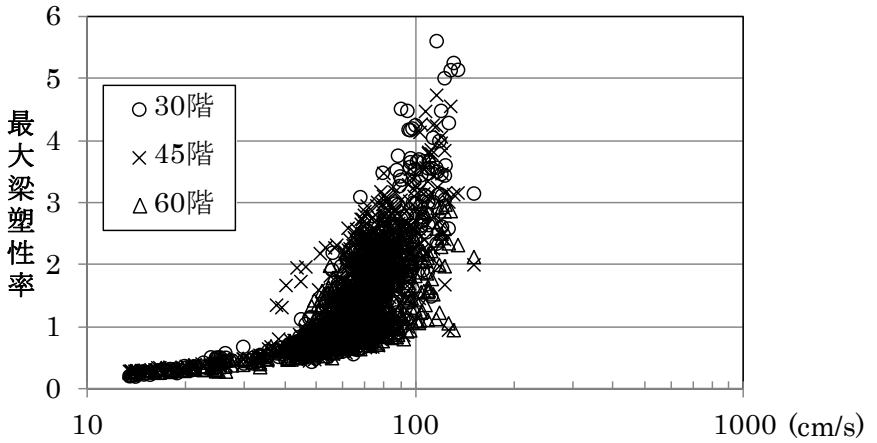


図 3.4-38　相対速度応答スペクトル（減衰定数 5% ; 1.6-7.8s）の平均値と最大梁塑性率。

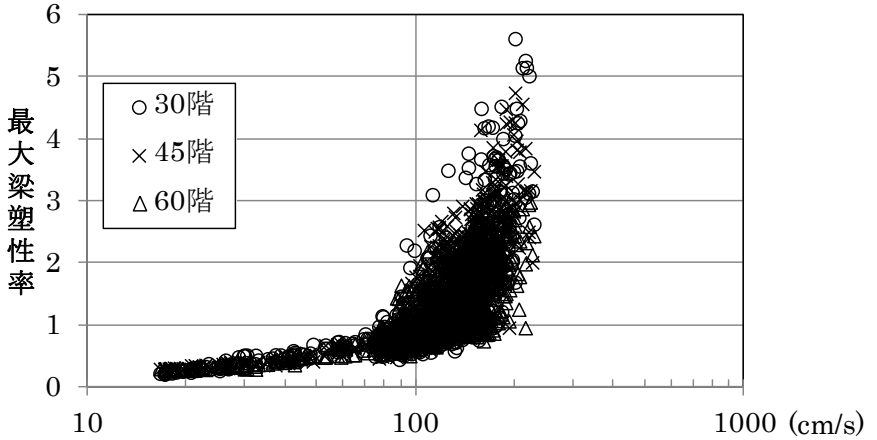


図 3.4-39　減衰定数 5%のエネルギースペクトル（減衰定数 5% ; 1.6-7.8s）の平均値と最大梁塑性率。

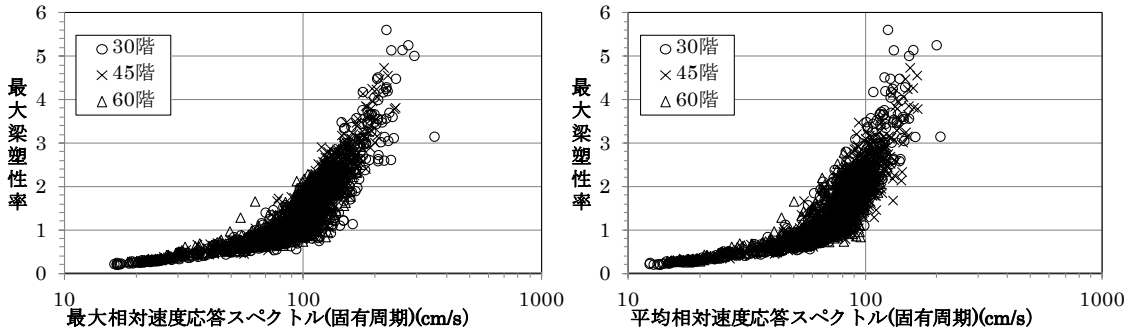
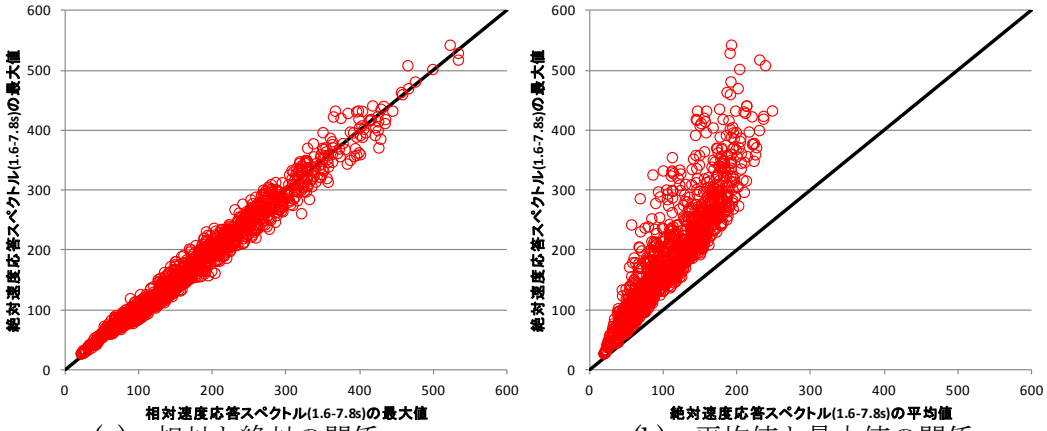


図 3.4-340　相対速度応答スペクトル（減衰定数 5%；固有周期からその 1.2 倍の周期まで）と最大梁塑性率。

○長周期地震動の尺度の比較

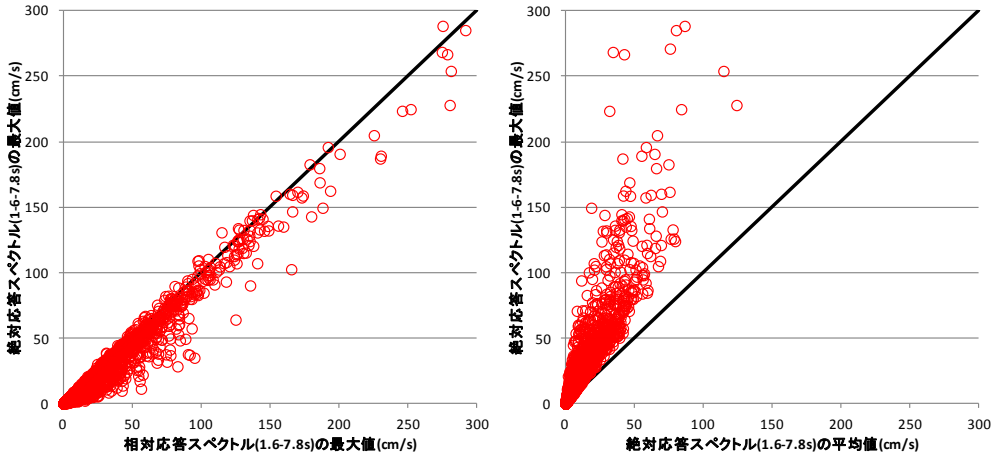
南海トラフの 3 連動（ANNI3d-c）および 3 連動＋トラフ沿い（ANNI4c-s-w）の図 3.4-22 の範囲のシミュレーション波形を用いて相対速度応答スペクトルと絶対速度応答スペクトルを計算し、1.6-7.8s の 0.2 秒刻みの値の相対速度応答スペクトルと絶対速度応答スペクトルの関係および最大値と平均値の関係を図 3.4-41 に示す。相対速度応答スペクトルと絶対速度応答スペクトルとの関係は、平均的には傾き 1 の線形関係で、高い相関性を示す。一方、最大値は平均値に比べて平均として約 2 倍大きいが、ばらつきは大きいことがわかる。

次に、図 3.4-18 に示した地震の K-NET および KiK-net の地表面の記録の水平 2 成分から相対速度応答スペクトルと絶対速度応答スペクトルを計算した。1.6-7.8s の 0.2 秒刻みの値の相対と絶対の関係および最大値と平均値の関係を図 3.4-42 に示す。図 3.4-41 に示した南海トラフのシミュレーション波形よりばらつきは大きいが、傾向は同じである。



(a)　相対と絶対の関係　　(b)　平均値と最大値の関係

図 3.4-41　絶対および相対速度応答スペクトルとの比較
(南海トラフ 3 連動 ANNI3d-c および南海トラフ 3 連動＋トラフ沿い ANNI4c-s-w)。



(a)　相対と絶対の関係　　(b)　平均値と最大値の関係

図 3.4-42　速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の比較(図 3.4-18 の地震の観測波)。

長周期指標と気象庁長周期地震動階級を比較する。図 3.4-18 に示した地震の K-NET および KiK-net の観測波から長周期地震動階級の算定に用いられる絶対速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の最大値 S_{vp} などの速度応答スペクトルによる長周期地震動の尺度および長周期指標 I_L を算定した。

S_{vp} と長周期指標の中で一番相関性の高かった I_{L2} の関係を図 3.4-43 に示す。S_{vp} の対数と I_{L2} はほぼ線形の関係があり、(3.4-7) 式の関係式を得た。

$$I_{L2} = 1.90 \log S_{vp} + 1.50 \qquad (3.4\text{-}7)$$

I_{L2} について絶対速度応答スペクトル (1.6-7.8s) の最大値 S_{vp} から算定される長周期地震動階級との対応を図 3.4-44 に示す。赤く示した範囲は平均± σ を示す。平均± σ から判断すると、長周期地震動階級の境目は、1 から 2 が I_{L2}=3.7、2 から 3 が I_{L2}=4.7、3 から 4 が I_{L2}=5.2 となった。

長周期指標の算定の際のハイカットフィルタの下限周期 $1/f_c$ をパラメータにして、長周期指標と速度応答スペクトルによる長周期地震動の尺度の対数との相関係数の関係を図 3.4-45 に示す。絶対速度応答スペクトル (1.6-7.8s) の平均値 S_{vm} が一番長周期側との相関がよく、フィルタ下限周期約 3 秒で一番相関係数が高いことが分かる。相対速度応答スペクトル (1.6-7.8s) の最大値および平均値については、フィルタ下限周期は 1 秒前後である。

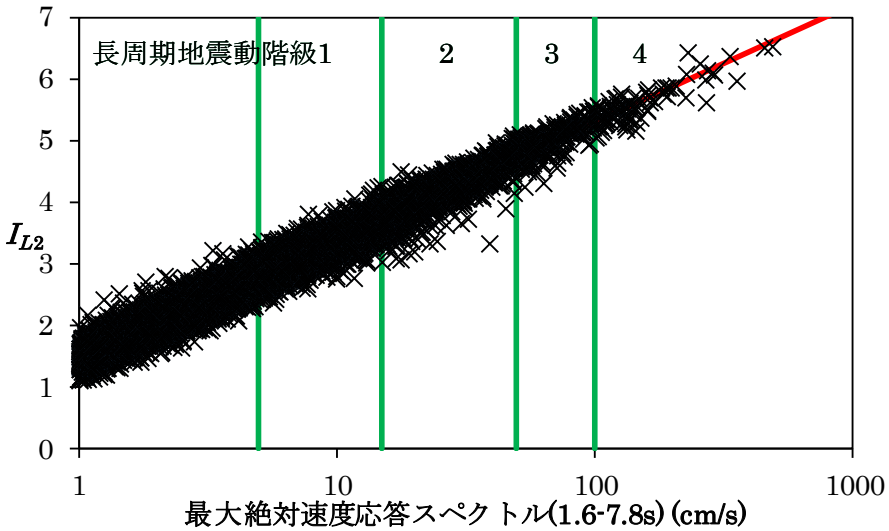


図 3.4-43　観測地震の 1.6～7.8 秒の絶対速度応答スペクトル (減衰定数 5%) の最大値 S_{vp} と長周期指標 I_{L2} の関係.。

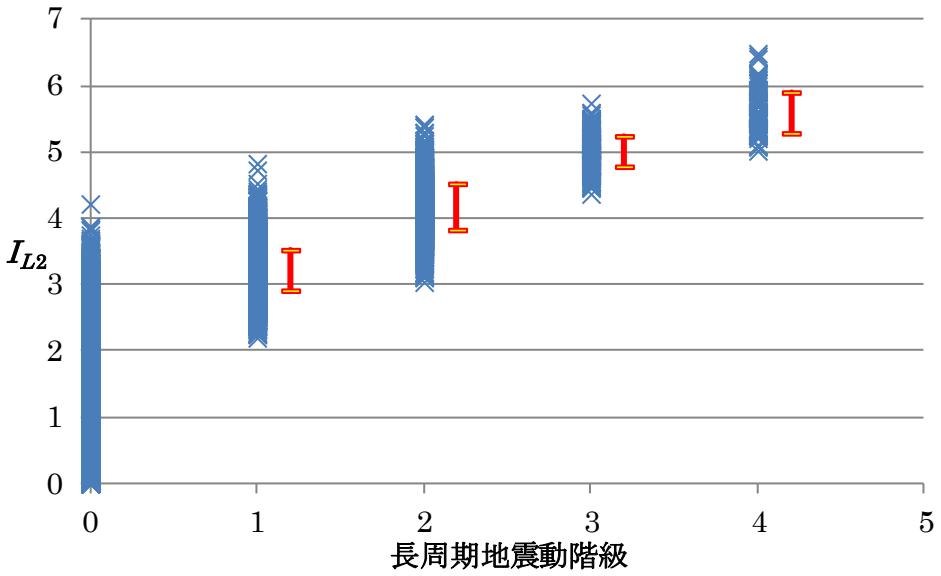


図 3.4-44　長周期地震動階級と長周期指標 I_{L2}（赤で示した範囲は平均± σ を示す）。

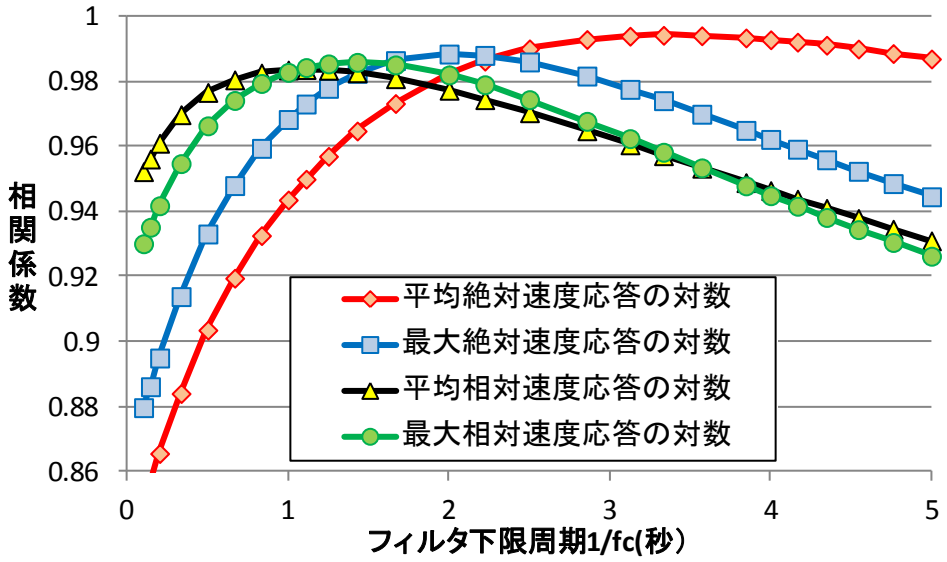
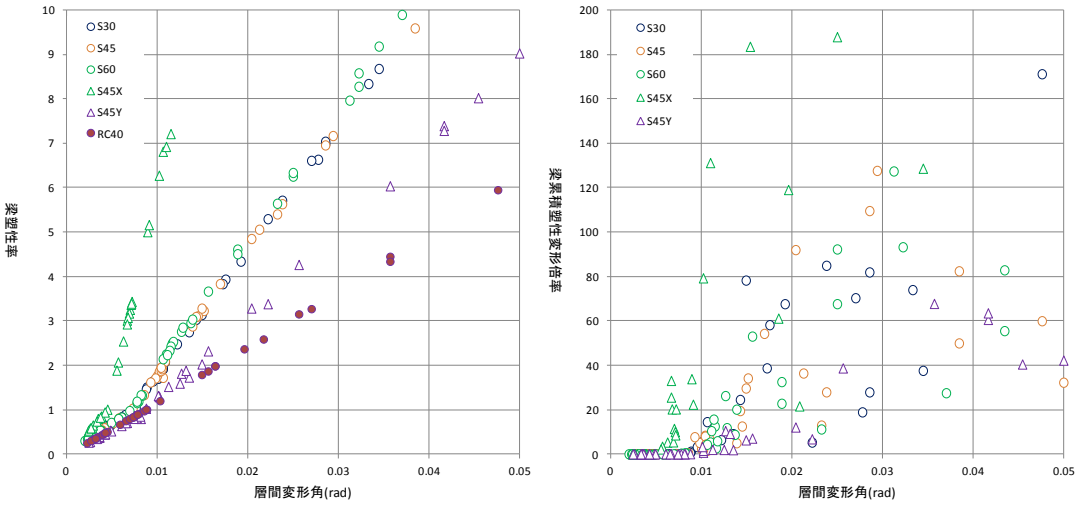


図 3.4-45　$1/f_c$ をパラメータにした長周期指標と速度応答スペクトル指標（いずれも減衰定数 5%；1.6-7.8s）の対数との相関係数。

（C）建物の多様性とフラジリティ

○構造形式の異なる超高層建物の応答

平成 24 年度までの検討において用いた均等スパン純ラーメン架構の 30 階建、45 階建、60 階建の建物解析モデルに加えて、構造形式の異なる超高層建物として、3.2m 短スパンを基本とした S45X モデル、15.6m 長スパン＋耐震壁(耐震ブレース)を有する S45Y モデルを想定した。ここに建物階数は 45 階で共通としている。さらに、構造形式の異なる建物解析モデルとして、RC 造 40 階建純ラーメン架構である RC40 を採用した。解析ケースは、平成 24 年度に作成・選択した、各地の「平均」「平均＋σ」「最大」のケースとした。建物解析モデルの違いによる応答特性の違いを評価するために、各建物解析モデルにより得られた応答値の相関を検討した。図 3.4-46 に示すように最大層間変形角、最大部材塑性率、最大部材累積塑性変形倍率の関係を比較すると、塑性化の進展によってばらつきが大きくなり、モデル間の差が大きくなっていることが分かる。



(a)　層間変形角－梁塑性率　　(b)　層間変形角－梁累積塑性変形倍率

図 3.4-46　構造形式の異なる超高層建物の応答値の比較。

南海トラフの地震の全国 7 地点における平均、平均＋σ、最大級の 3 種類の入力地震動を用いて、長周期地震動の尺度である長周期指標 I_{L2}、気象庁の長周期地震動階級の用いている絶対速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の最大値 S_{vp} と絶対速度応答スペクトル(1.6-7.8s)の平均値 S_{vm} をパラメータにして超高層建物の応答（最大層間変形角、最大梁塑性率、最大梁累積塑性変形倍率）のばらつきを検討した。ここでは S_{vp} を代表尺度として結果を示すが、他の尺度も傾向はほぼ同じであった。また、最大梁累積塑性変形倍率では、継続時間の影響があるため固有周期からその 1.2 倍までの周期のエネルギースペクトルの最大値を用いた。

最大層間変形角との関係について図 3.4-47 に示す。赤線は東京近郊のシミュレーション波形から回帰して得られた関係式（3.4-5）式であるが、ある大きさの尺度（S_{vp}）に対して最大層間変形角の大きめの評価値を与える傾向がある。これは、東京近郊では南海トラフ地震の場合スペクトル特性が平坦でどの周期帯域もパワーを持っているが、全国各地のスペクトル特性は、狭帯域の特異な場合があるためと考えられる。多様性を考慮することによってばらつきが大きいが、特定のモデルだけが偏った特性は示していない。

図 3.4-48 に最大梁塑性率との関係を示す。短スパンの S 造である S45F-X は極めて大きな塑性率を示すケースがあり、スパン長の影響が見られる。塑性率が 1 を超えて立ち上がる長周期地震動の尺度の値はかなりばらつきがある。

図 3.4-49 に最大梁累積塑性変形倍率との関係を示す。平成 24 年度までのモデルで得られた回帰式を赤線で示すが、緑三角で示す S45F-X モデルは値が大きくなったところで乖離が大きい。入力が大きくなった時には建物モデルによって差が生じることが分かった。

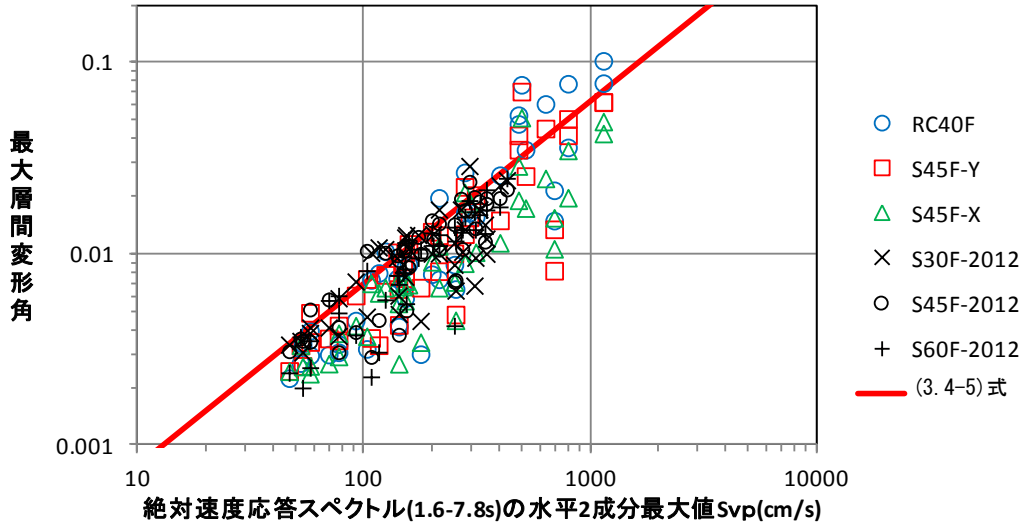


図 3.4-47　長周期地震動尺度と最大層間変形角。

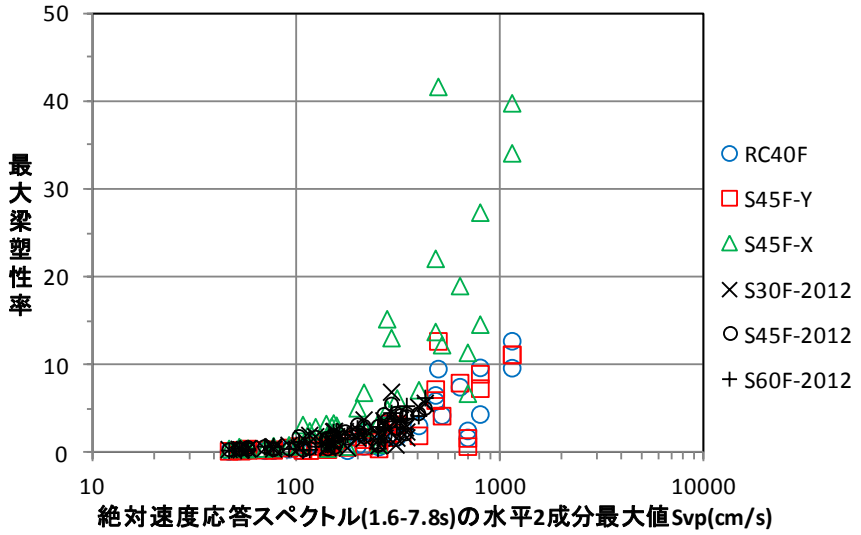
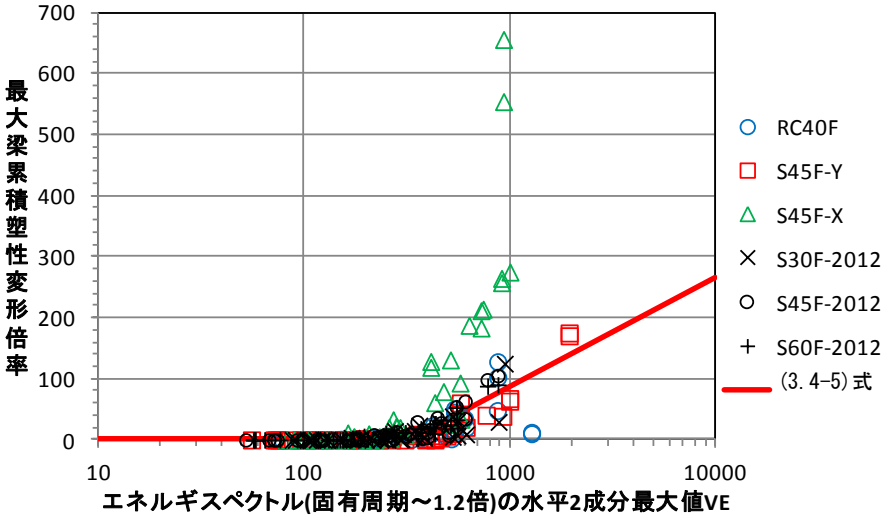
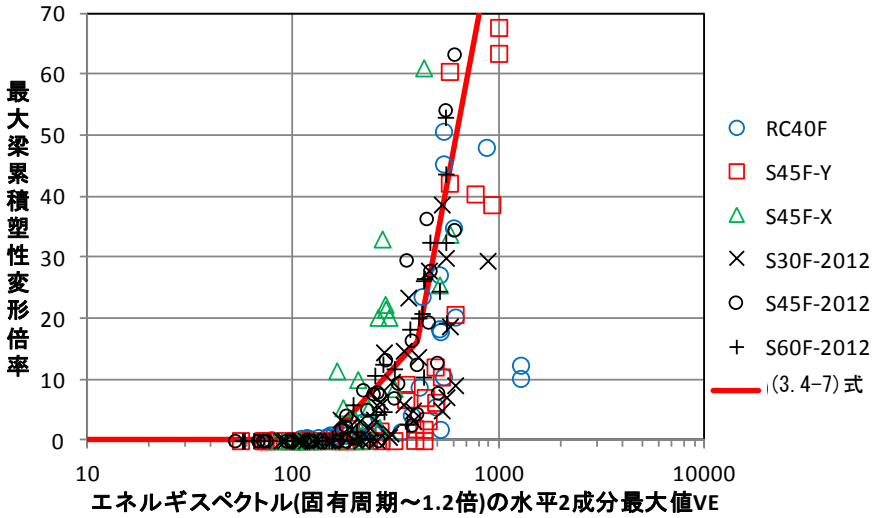


図 3.4-48　長周期地震動尺度と最大梁塑性率。



(a)　全データ



(b)　70 まで拡大表示

図 3.4-49　エネルギースペクトル指標と最大梁累積塑性変形倍率。

○超高層建物のフラジリティの評価

長周期指標 I_L、絶対速度応答スペクトル（1.6-7.8s）の最大値 S_{vp} と平均値 S_{vm}、および相対速度応答スペクトル（1.6-7.8s）の平均値 ${}_rS_{vm}$ など長周期地震動の尺度と超高層建物の応答値との相関に基づいて、尺度に対する超高層建物のフラジリティ曲線を評価する。応答値としては、最大層間変形角、最大梁塑性率、最大梁塑性変形倍率とし、フラジリティのレベルとしては、耐震性能判断基準値表（北村・他, 2006）による安全限界余裕度Ⅱと安全限界の境界である最大層間変形角 1/100、最大梁塑性率 3.75、最大梁塑性変形倍率 12 とする。入力地震動は南海トラフ地震の全国 7 地点の平均、平均＋σ、最大級とする。建物モデルは多様性を考慮した 6 種類とする。なお、それぞれの解析ケースに偏った重みを与えず、均一の確率と仮定してフラジリティ評価を行う。

絶対速度応答スペクトル（1.6-7.8s）の最大値 S_{vp} と応答解析によって求められた最大層間変形角の関係を図 3.4-450 に示す。主な尺度の相関係数、回帰式のパラメータ、各尺度の ϕ=1/100 になる中央値および対数標準偏差をまとめて表 3.4-22 に示す。表 3.4-22 に示す回帰式の傾き a を用いて図 3.4-50 の全てのデータを ϕ=1/100 に換算して得られた尺度の値の確率分布を図 3.4-50 に×で示す。図 3.4-51 には、表 3.4-22 に示す中央値と対数標準偏差の対数正規分布と仮定した際の確率分布を実線で重ねて示す。対数正規分布の仮定が妥当であることが分かる。表 3.4-22 に示すように、相対速度応答スペクトル（1.6-7.8s）の平均値 ${}_rS_{vp}$ が、一番相関係数は高く、対数標準偏差は小さく、最適な尺度と考えられ、これについても図 3.4-51 と同様にフラジリティ曲線を評価して図 3.4-52 に示す。合致度は一番高いことが分かる。

表 3.4-22　長周期地震動の尺度と最大層間変形角 ϕ の関係

尺度 ξ	I_{L2}	S_{vp} の対数	S_{vm} の対数	${}_rS_{vm}$ の対数
最大層間変形角 ϕ の対数の相関係数	0.885	0.872	0.897	0.901
回帰式の傾き a	0.512	0.936	0.998	1.038
回帰式の切片 b	-5.02	-4.148	-4.021	-4.059
ϕ=1/100 になる尺度 ξ の中央値	5.90	197.2	105.9	96.3
回帰式に対する ϕ の対数標準偏差	0.327	0.189	0.160	0.151

回帰式： $\log\phi = a\xi + b$

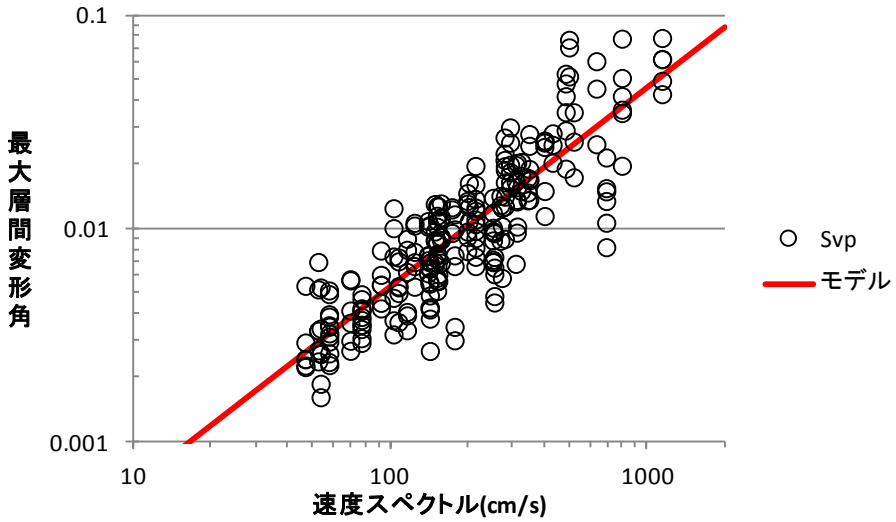


図 3.4-50　絶対速度応答スペクトル(減衰定数 5% ; 1.6-7.8s)の最大値 S_{vp} と最大層間変形角の関係。

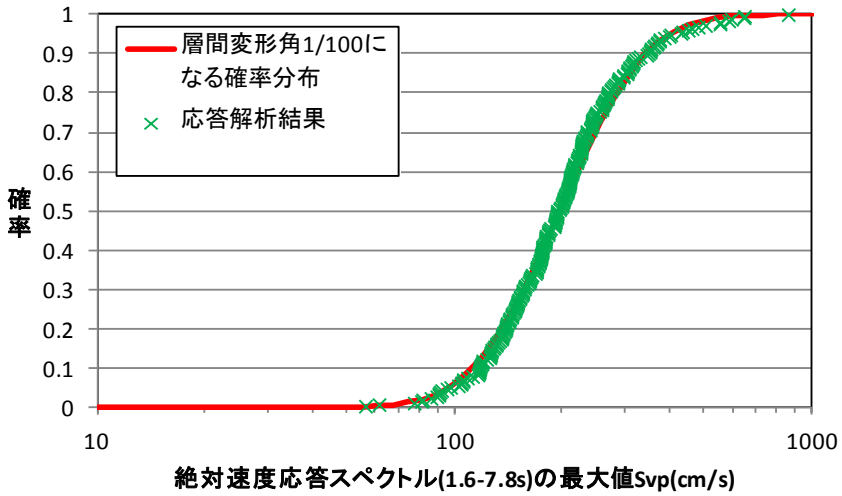


図 3.4-51　絶対速度応答スペクトル(減衰定数 5% ; 1.6-7.8s)の最大値 S_{vp} による最大層間変形角のフラジリティ曲線。

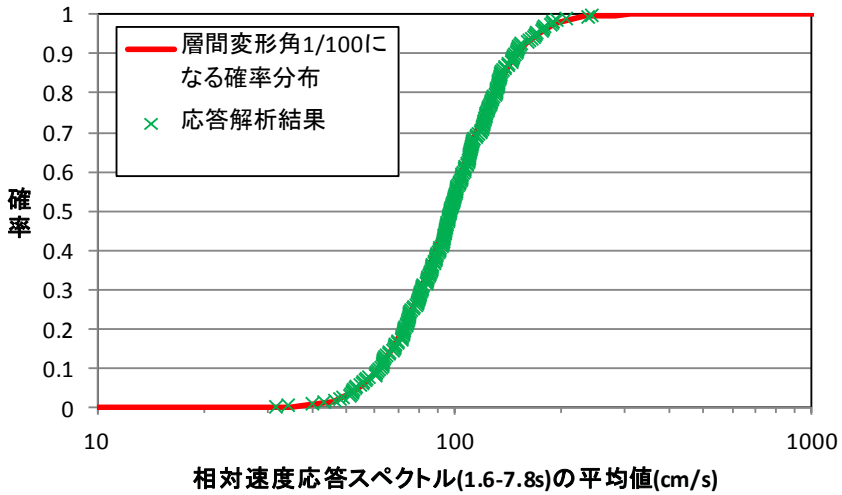


図 3.4-52　相対速度応答スペクトル(減衰定数 5% ; 1.6-7.8s)の平均値 ${}_{r}S_{vp}$ による最大層間変形角のフラジリティ曲線。

絶対速度応答スペクトル（1.6-7.8s）の最大値 S_{vp} と最大梁塑性率の関係と回帰式を図 3.4-53 に示す。S_{vp} の対数に対して最大梁塑性率は線形の関係が見られる。相関係数、回帰式のパラメータ、各尺度のμ=3.75 になる中央値および対数標準偏差をまとめて表 3.4-23 に示す。この回帰式の傾き a を用いて全てのデータをμ=3.75 に換算して得られた尺度の値の確率分布を図 3.4-54 に×で示す。図 3.4-54 には、表 3.4-23 に示す中央値と対数標準偏差の対数正規分布と仮定した際の確率分布を実線で重ねて示すが、対数正規分布の仮定が概ね妥当であることが分かる。表 3.4-23 に示すように、最大層間変形角と同様に、相対速度応答スペクトル（1.6-7.8s）の平均値 rS_{vm} が、一番相関係数は高く、対数標準偏差は小さい。最適と考えられる rS_{vm} についてもフラジリティ曲線を図 3.4-55 に示す。対数正規分布とした実線との合致度はよい。

表 3,4-23　長周期地震動の尺度と最大梁塑性率μの関係。

尺度ξ	I_{L2}	S_{vp} の対数	S_{vm} の対数	$_rS_{vm}$ の対数
最大梁塑性率μの対数の相関係数	0.847	0.834	0.858	0.864
回帰式の傾き a	0.644	1.178	1.257	1.309
回帰式の切片 b	-3.54	-2.442	-2.283	-2.335
μ=3.75 になる尺度ξの中央値	6.39	364.1	187.7	166.8
回帰式に対するμの対数標準偏差	0.391	0.222	0.194	0.183

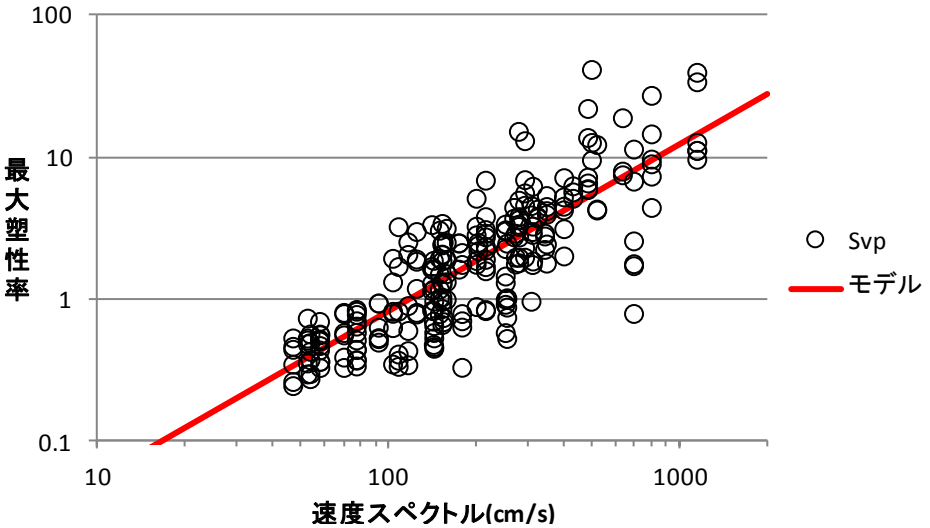


図 3.4-53　絶対速度応答スペクトル(減衰定数 5% ; 1.6-7.8s)の最大値 S_{vp} と最大梁塑性率の関係。

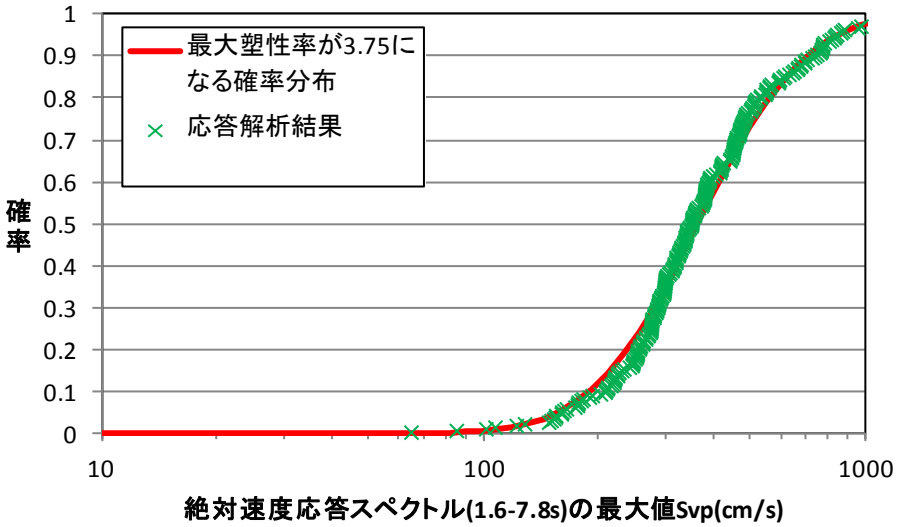


図 3.4-54　絶対速度応答スペクトル（減衰定数 5%；1.6-7.8s）の最大値 S_{vp} による最大梁塑性率のフラジリティ曲線。

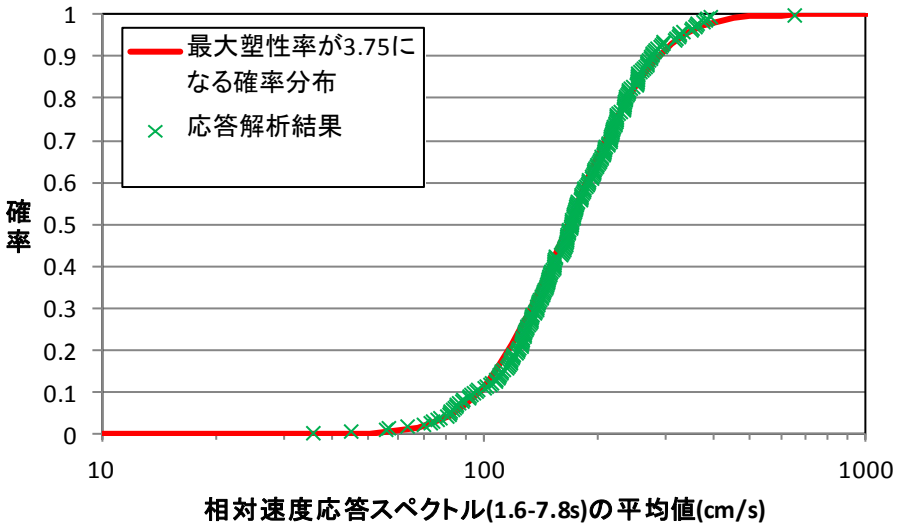


図 3.4-55　相対速度応答スペクトル（減衰定数 5%；1.6-7.8s）の平均値 ${}_{r}S_{vm}$ による最大梁塑性率のフラジリティ曲線。

絶対速度応答スペクトル（1.6-7.8s）の最大値 S_{vp} と最大梁累積塑性変形倍率ηの関係と回帰式を図 3.4-56 に示す。S_{vp} の対数に対して最大梁累積塑性変形倍率はばらつきが大きいが、線形の関係があるとして検討する。相関係数、回帰式のパラメータ、各尺度のη=12 になる中央値および対数標準偏差などをまとめて表 3.4-24 に示す。この回帰式の傾き a を用いて全てのデータをη=12 に換算して得られた尺度の値の確率分布を図 3.4-56 に×で示す。図 3.4-57 には、表 3.4-24 に示す中央値と対数標準偏差の対数正規分布と仮定した際の確率分布を実線で重ねて示すが、対数正規分布の仮定に偏りがあることが分かる。表 3.4-24 に示すように、最大層間変形角と同様に、相対速度応答スペクトル（1.6-7.8s）の平均値 rS_{vm} が、一番相関係数は高く、対数標準偏差は小さいので、これについてもフラジリティ曲線を図 3.4-58 に示す。多少合致度はよくなるが偏りが見られる。表 3.4-25 に示すようにエネルギースペクトルの尺度を用いるとさらにばらつきが小さくなるが、最大層間変形角や最大梁塑性率に比べて劣る。

図 3.4-56 に示すように、データのばらつきを与えている原因として、0.1 以下の最大梁累積塑性変形倍率のデータがある。これらのデータ値については物理的な意味はなく、最大梁累積塑性変形倍率がη=12 での特性とは関係がないと考えられるので、ここでは 0.1 以下の最大梁累積塑性変形倍率のデータを除いて分析を行い、結果をまとめて表 3.4-26 および表 3.4-27 に示す。ばらつき自体は小さくなり、相関係数は大きくなった。得られたフラジリティ曲線を図 3.4-59～図 3.4-61 に示すように、最大梁累積塑性変形倍率については、絶対速度応答スペクトルの尺度より相対速度応答スペクトルの尺度、さらにエネルギースペクトルを尺度に用いた方がよいと考えられる。また、データ数が減っているため確率分布は少し波打って見えるが、データ全部を用いた場合に比べて対数正規分布によく適合していると考えられる。

表 3.4-24　長周期地震動の尺度と最大梁累積塑性変形倍率ηの関係（全データ）。

尺度ξ	I_{L2}	S_{vp}の対数	S_{vm}の対数	$_rS_{vm}$の対数
ηの対数との相関係数	0.752	0.736	0.762	0.777
回帰式の傾き a	2.264	4.114	4.416	4.66
回帰式の切片 b	-13.40	-9.503	-8.996	-9.297
η =12 になる尺度ξの中央値	6.40	373.2	191.4	168.52
回帰式に対するηの対数標準偏差	0.546	0.309	0.275	0.253

表 3.4-25　エネルギースペクトル V_Eと最大梁累積塑性変形倍率ηの関係（全データ）。

尺度ξ	V_E(1.6-7.8s)の平均値の対数	V_E固有周期からその 1.2 倍周期までの最大値の対数
ηの対数との相関係数	0.786	0.835
回帰式の傾き a	4.726	4.752
回帰式の切片 b	-11.083	-11.659
η =12 になる尺度ξの中央値	374.4	479.23
回帰式に対するηの対数標準偏差	0.245	0.217

表 3.4-26　長周期地震動の尺度と最大梁累積塑性変形倍率ηの関係（η≦0.1 を除く）。

尺度ξ	I_{L2}	S_{vp}の対数	S_{vm}の対数	$_rS_{vm}$の対数
ηの対数との相関係数	0.760	0.757	0.764	0.785
回帰式の傾き a	1.127	2.105	2.162	2.315
回帰式の切片 b	-5.90	-4.072	-3.628	-3.856
η =12 になる尺度ξの中央値	6.19	280.1	150.3	135.4
回帰式に対するηの対数標準偏差	0.462	0.249	0.239	0.214

表 3.4-27　エネルギースペクトル V_Eと最大梁累積塑性変形倍率ηの関係（η≦0.1 を除く）。

尺度ξ	V_E(1.6-7.8s)の平均値の対数	V_E固有周期からその 1.2 倍周期までの最大値の対数
ηの対数との相関係数	0.795	0.820
回帰式の傾き a	2.353	2.526
回帰式の切片 b	-4.757	-5.513
η =12 になる尺度ξの中央値	302.5	406.9
回帰式に対するηの対数標準偏差	0.207	0.182

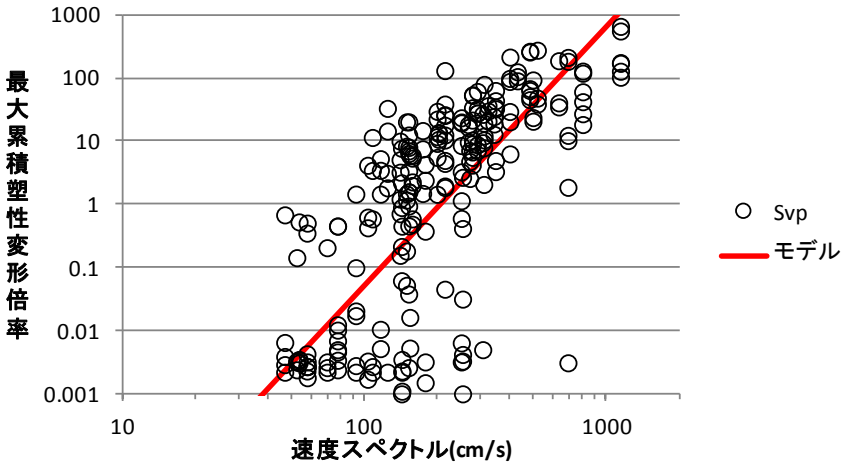


図 3.4-56　絶対速度応答スペクトル（減衰定数 5%；1.6-7.8s）の最大値 S_{vp} と最大梁累積塑性変形倍率の関係。

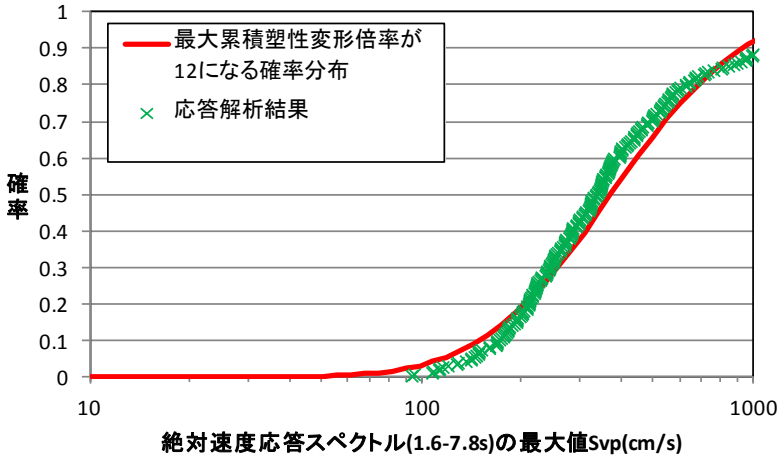


図 3.4-57　絶対速度応答スペクトル（減衰定数 5%；1.6-7.8s）の最大値 S_{vp} による最大梁累積塑性変形倍率のフラジリティ曲線。

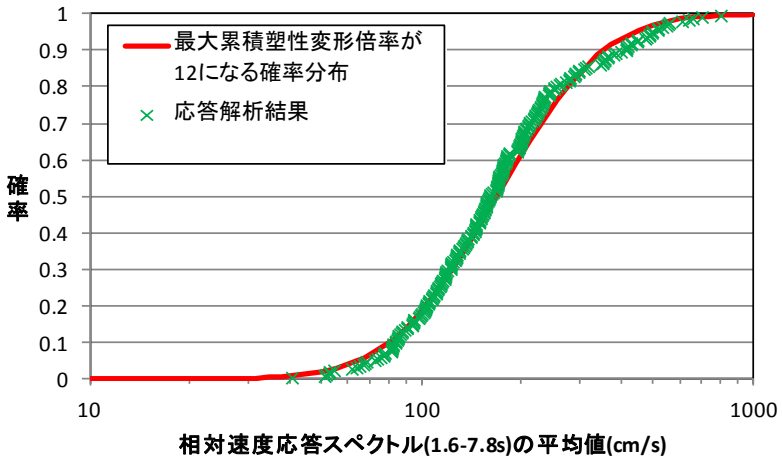


図 3.4-58　相対速度応答スペクトル（減衰定数 5%；1.6-7.8s）の平均値 ${}_{r}S_{vm}$ による最大梁累積塑性変形倍率のフラジリティ曲線。

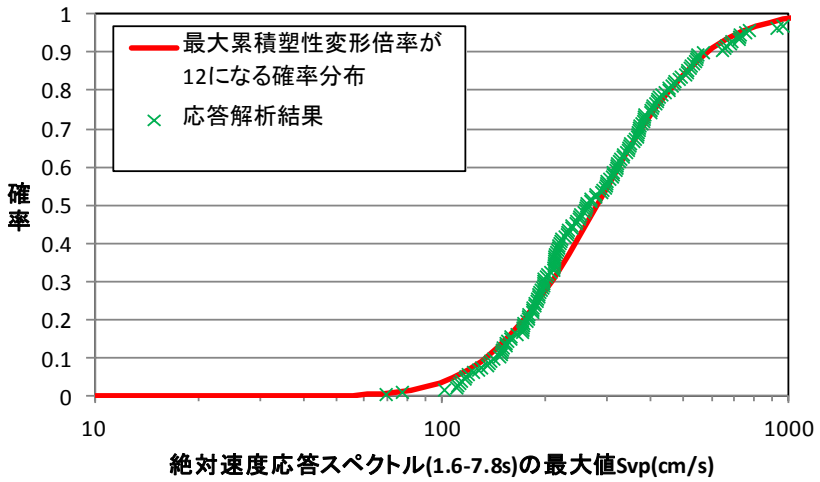


図 3.4-59　絶対速度応答スペクトル（減衰定数 5%；1.6-7.8s）の最大値 S_{vp} による最大梁累積塑性変形倍率のフラジリティ（最大累積塑性変形倍率 0.1 以下のデータを除いた分析）。

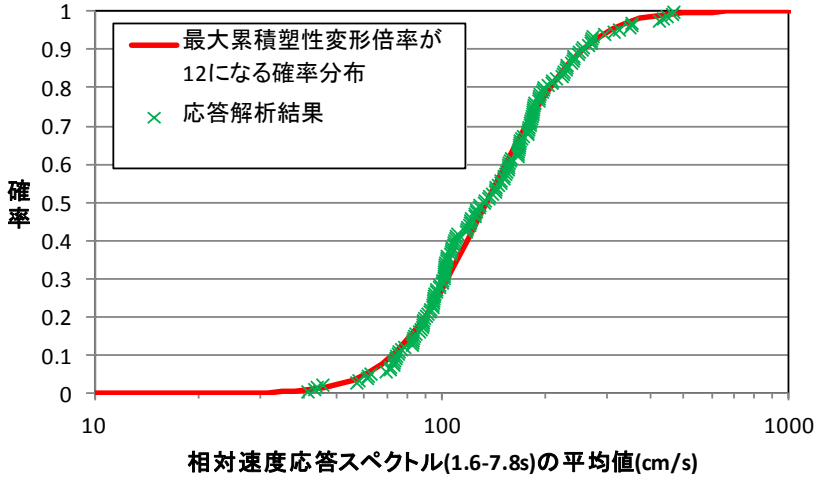


図 3.4-60　相対速度応答スペクトル（減衰定数 5%；1.6-7.8s）の平均値 ${}_rS_{vm}$ による最大梁累積塑性変形倍率のフラジリティ（最大累積塑性変形倍率 0.1 以下のデータを除いた分析）。

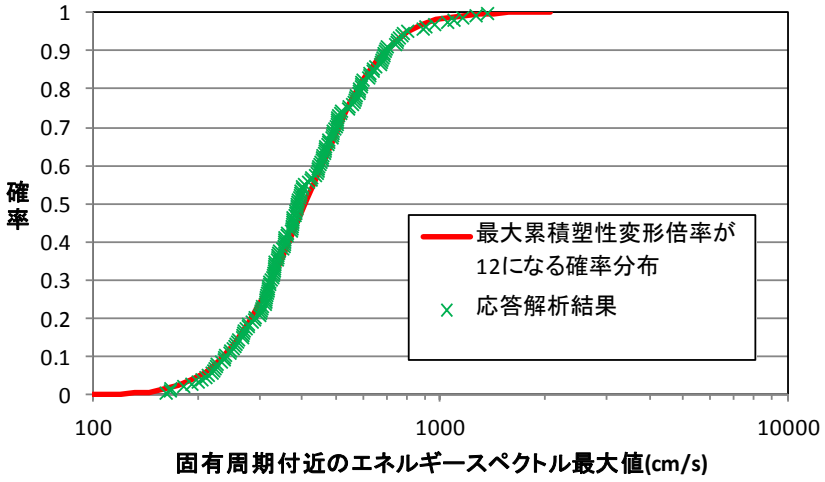


図 3.4-61　固有周期から 1.2 倍周期までのエネルギースペクトル（減衰定数 5%）の最大値による最大梁累積塑性変形倍率のフラジリティ（最大累積塑性変形倍率 0.1 以下のデータを除いた分析。

○揺れの継続時間の影響

Trifunac and Brady(1975)に従って、地震の加速度波形のパワー(自乗)の積算値が観測波形全体の 5%と 95%の間の時間を継続時間 T_dとする。2012 年度までの 69 ケースの南海トラフの全国 7 か所（大分、大阪、大阪舞洲、四日市、愛知、静岡、東京）のシミュレーション波形を用いて継続時間に対する 1.6～7.8 秒のエネルギースペクトルと相対速度応答スペクトルの平均値の比を図 3.4-61 に示す。線形的な関係を示す。継続時間 T_d=0 の場合の値を 1.0 として直線回帰すると、(3.4-8）式となり、図 3.4-62 に赤線で示す。

$$\frac{\overline{V_E}}{\overline{S_V}} = 0.00530T_d + 1.0 \qquad (3.4\text{-}8)$$

図 3.4-64 に示した被害地震で K-NET および KiK-net での観測記録を用いて、継続時間とエネルギースペクトル V_Eおよび速度応答スペクトルを計算し、(1)で示したシミュレーション波形の分析と同様な分析を行い、継続時間に対する平均 V_E／平均 S_Vを図 3.4-63 に示す。両者は対数軸上で線形の関係があり、得られた回帰式（3.4-9）式を図中に赤線で示す。

$$\frac{\overline{V_E}}{\overline{S_V}} = 1.13\log T_d - 0.27 \qquad (3.4\text{-}9)$$

長周期地震動が卓越した代表的な地震の観測地点のデータを選定して図 3.4-64 に示す。（3.4-8）式と（3.4-9）式も重ねて示す。ばらつきは大きいが継続時間が長くなると比は大きくなる。同じ地震では震源近傍より沖積平野上の遠方のほうが継続時間は長くなり、3 種類の比の差が小さくなる傾向が見られる。そこで、その原因を分析するために 2011 年東北地方太平洋沖地震を例に沖積地盤上の 3 地点のスペクトルの比較を図 3.4-65～図 3.4-67 に示す。長周期側をみると、震源近傍では擬似速度応答スペクトルと絶対速度応答スペクトルは同程度であるが、相対速度応答スペクトルはそれよりも大きくなりばらつきがあるが、遠方では 3 種類の速度応答スペクトルは一致する傾向があり、3 種類の比が同じになることが分かる。

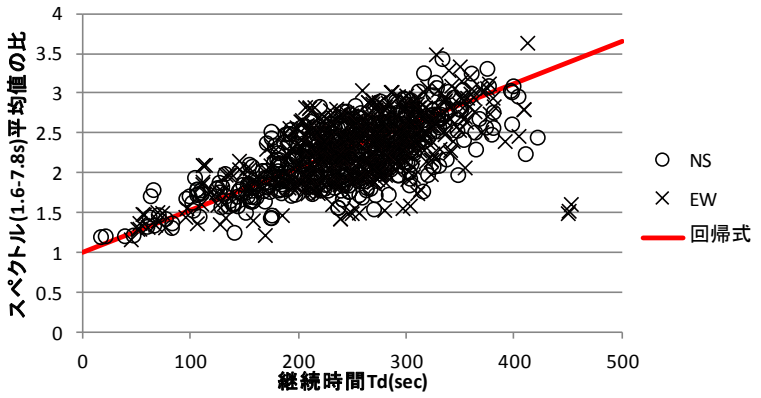


図 3.4-62　継続時間に対する 1.6-7.8 秒の平均スペクトル比（エネルギースペクトル／相対速度応答スペクトル）。

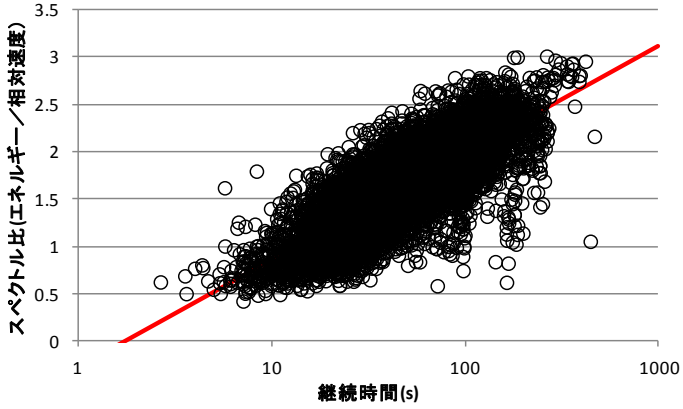


図 3.4-63　継続時間に対する 1.6-7.8 秒の平均スペクトル比（エネルギースペクトル／相対速度応答スペクトル）。

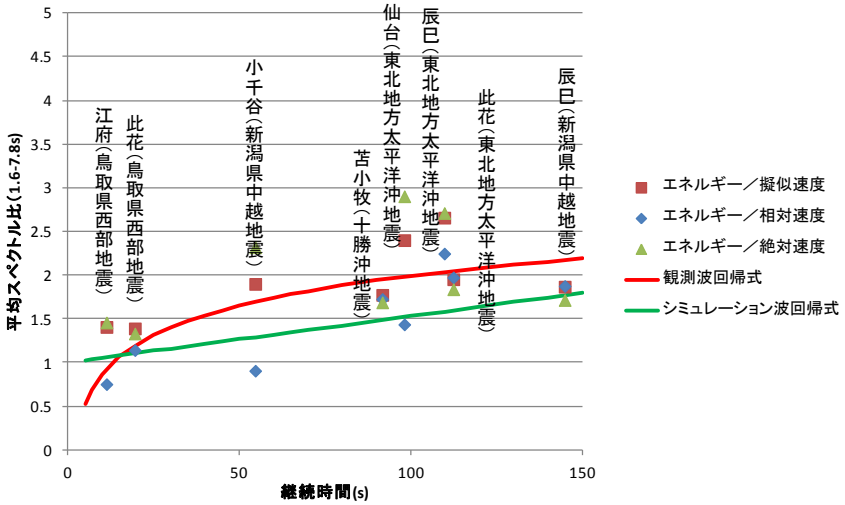


図 3.4-64　継続時間に対する 1.6-7.8 秒の平均スペクトル比（マーカーは観測値、実線の回帰式は菱形のマーカーに対応した V_E/S_V の 6.4-1 式および 6.4-2 式）。

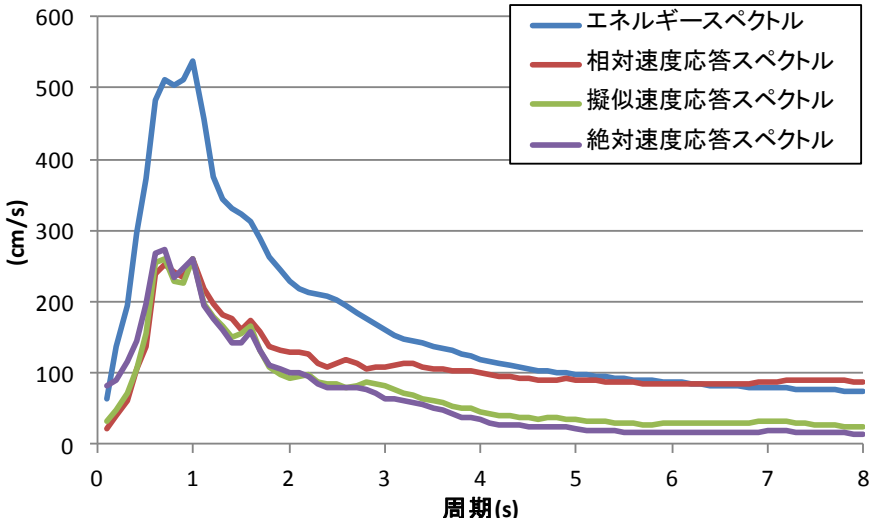


図 3.4-65　スペクトル比較（2011 年東北地方太平洋沖地震 MYG013 仙台 NS 成分）。

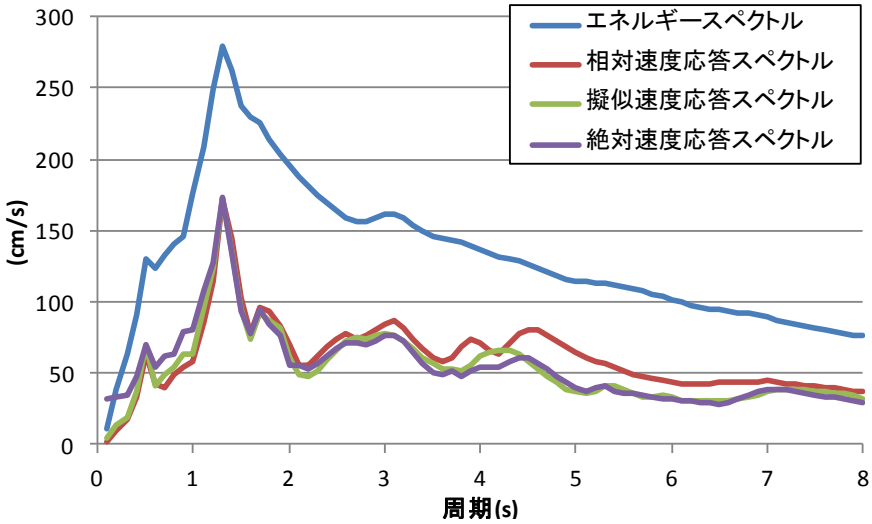


図 3.4-66　スペクトル比較（2011 年東北地方太平洋沖地震 TKY017 辰巳 NS 成分）。

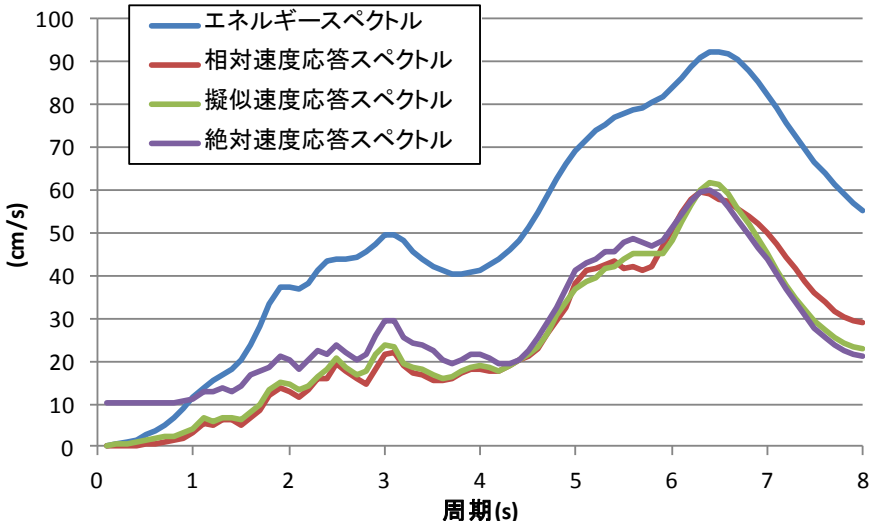


図 3.4-67　スペクトル比較（2011 年東北地方太平洋沖地震 OSKH02 此花 NS 成分）。

南海トラフのシミュレーション波形については 2 秒以上の周期成分しか含まれていないが、観測波については短周期成分も含まれているので、評価した継続時間は同等ではない。ここでは、ローパスフィルタによって 1 秒以上の周期成分のみ取り出し、さらに主要動の大きい部分のみを取り出すために終了判定のパワーの累積値は 95%ではなく 70%として継続時間を計算する。上述の継続時間に対するここで評価した継続時間の関係を図 3.4-68 に示す。平均的にみるとここで評価した継続時間の方が短い傾向がある。

図 3.4-63 に対応した図を図 3.4-69 に示す。赤線は図 3.4-63 に記入した（3.4-9）式で、継続時間の求め方を変えても相関が良くなることはなく、全体的には傾向は変わらないことが分かる。

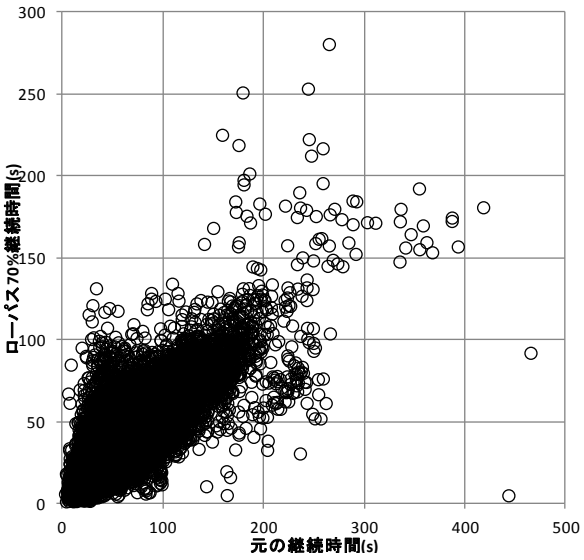


図 3.4-68　観測波の継続時間の求め方の違いによる相関。

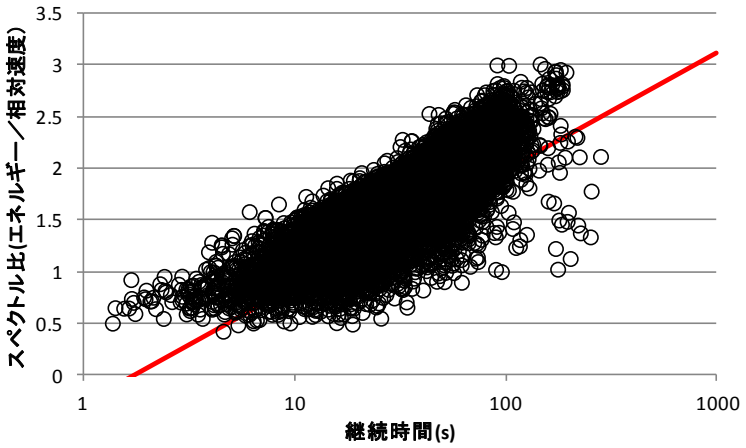


図 3.4-69　継続時間に対する 1.6-7.8 秒の平均スペクトル比。

○最大梁累積塑性変形倍率

長周期地震動は沖積平野では長時間揺れ続ける現象が起きる。大きな揺れが継続すると、鉄骨部材は低サイクル疲労を起こして破断し、被害が大きくなる可能性がある。そのような被害に関係した建物応答値として最大梁累積塑性変形倍率について検討する。南海トラフ 3 連動震源モデルによる東京近郊の 2km メッシュのシミュレーション長周期地震動を入力地震動とする。入力地震動から計算した長周期指標 I_{L2} と応答解析結果による最大累積塑性変形倍率の関係を図 3.4-70 に示す。45 階建だけは低い指標値でも最大累積塑性変形倍率が大きいケースがあるが、概ね指標値が 5.3 を境に塑性化が進むケースが多いことが分かる。ただし、ばらつきが大きく、明瞭な相関は見られない。

次に、絶対速度応答スペクトル（1.6-7.8s）の最大値 S_{vp} と最大累積塑性変形倍率の関係を図 3.4-70 に示す。長周期地震動階級 4 となる 100cm/s 以上で塑性化が進んでいる。ただし、長周期指標と同様に、S_{vp} と最大累積塑性変形倍率との関係はばらつきが大きく、明瞭な相関が見えない。同様に、絶対速度応答スペクトル（1.6-7.8s）の平均値 S_{vm} を尺度とすると、図 3.4-72 に示すように、ばらつきが小さくなる。

継続時間の効果を考慮できるエネルギースペクトルを用いて検討を行う。水平 2 方向の周期 1.6～7.8 秒の 0.2 秒刻みのエネルギースペクトル（減衰 10%）の最大値に対する最大梁塑性変形倍率を図 3.4-73 に示す。ばらつきは依然として大きい。そこで、図 3.4-74 に示すように、超高層建物の 1 次固有周期からその 1.2 倍周期のエネルギースペクトルの最大値 V_E を用いると、最大梁累積塑性変形倍率との相関は大きく改善された。

さらに、震源の特性の違いや継続時間の違いの影響を把握するために、南海トラフの 44 シナリオ地震による東京新宿の地震動で検討した結果を図 3.4-75 に示す。建物階数の違いや継続時間が異なるシナリオ地震に対して、傾向は変化なく、ばらつきが小さい。V_E=150cm/s までは塑性化せず、400cm/s を越えると最大梁累積塑性変形倍率は急激に大きくなる傾向が見られる。V_E の対数に対して最大梁累積塑性変形倍率 C_P との関係を（3.4-10）式～（3.4-12）式に示す 3 折れ線で置換する。

$$C_P = 0 \quad : V_E \leq 150 \tag{3.4-10}$$

$$C_P = 38.2 \log V_E - 83.1 \quad : 150 < V_E \leq 400 \tag{3.4-11}$$

$$C_P = 178.4 \log V_E - 447.9 \quad : 400 < V_E \tag{3.4-12}$$

ただし、梁の長さの違いや RC 造など異なる構造形式の建物の場合では梁に塑性が始まる V_E 値が異なり、もう少しばらつきがある可能性がある。

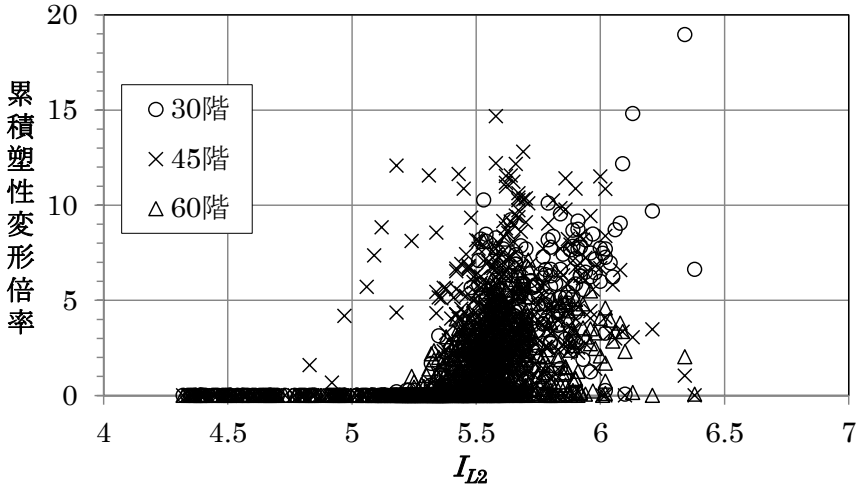


図 3.4-70　長周期指標 I_{L1}～I_{L3} と最大累積塑性変形倍率(ANNI3d-c)

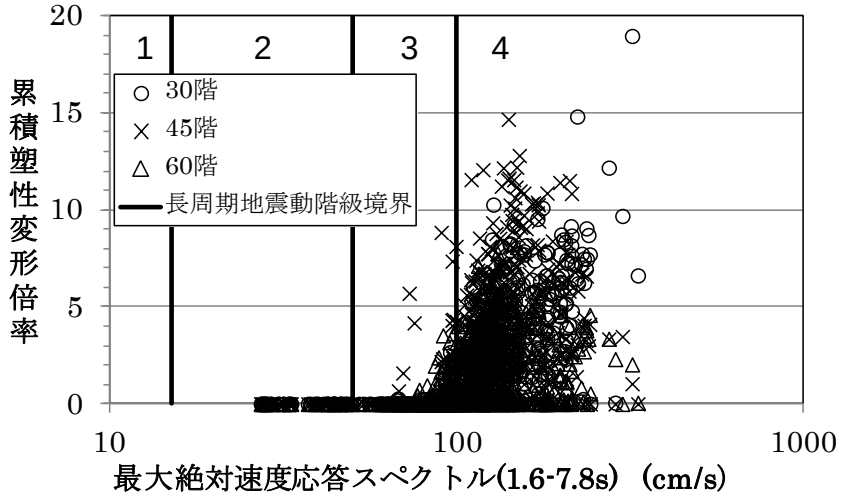


図 3.4-71　S_{vp} と最大累積塑性変形倍率（ANNI3d-c)。

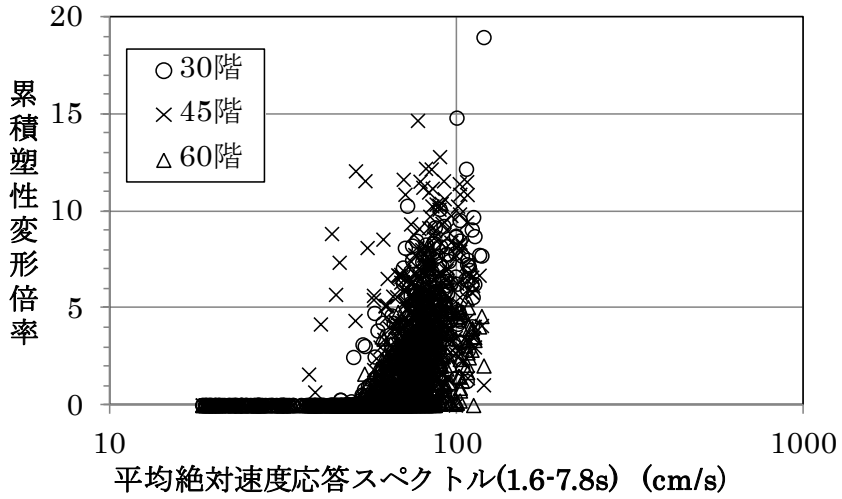


図 3.4-72　S_{vm} と最大累積塑性変形倍率（ANNI3d-c)。

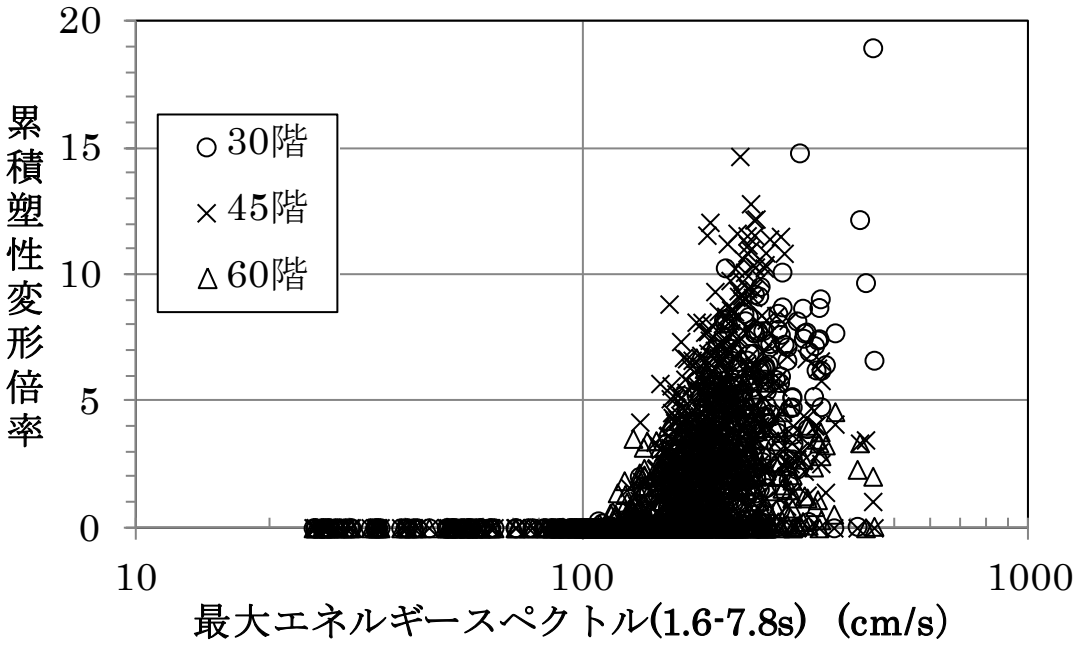


図 3.4-73　周期 1.6～7.8 秒の 0.2 刻みのエネルギースペクトルの最大値と最大累積塑性変形倍率。

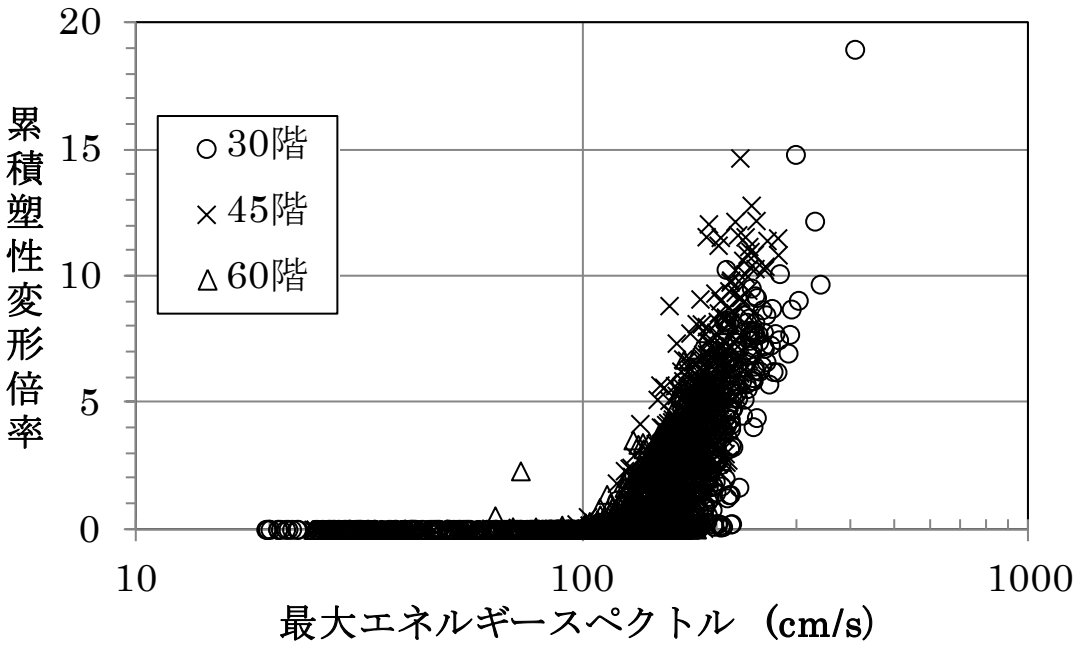
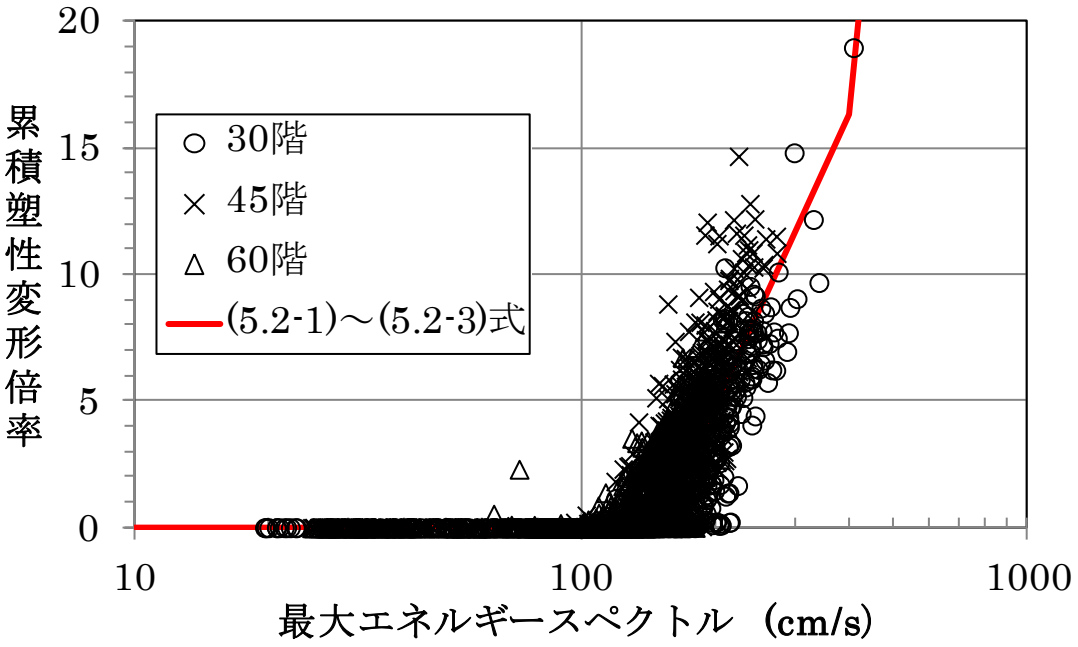
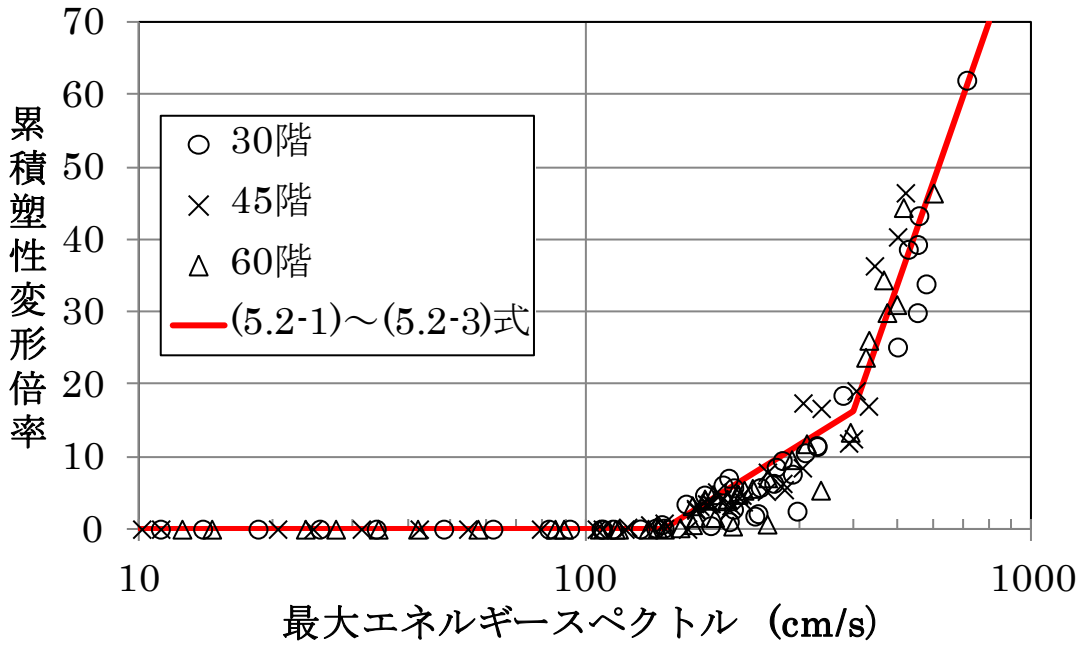


図 3.4-74　建物 1 次周期からその 1.2 倍周期までの 0.1 秒刻みのエネルギースペクトルの最大値と最大累積塑性変形倍率 C_P 。



(a)　南海トラフ 3 連動地震(ANNI3d-c)（図 3.2-2 範囲）



(b)　南海トラフ 44 シナリオ地震（東京新宿）

図 3.4-75　建物 1 次周期からその 1.2 倍周期までの 0.1 秒刻みのエネルギースペクトルの最大値 V_E と最大累積塑性変形倍率 C_P。

（E）ゆれビルの改修

長周期地震動に対する理解を深めるため、高層ビルの最上階での揺れを表示するアプリケーション「ゆれビル」をこれまでに開発していたが、2013 年 9 月にリリースされた iPhone の新しい OS（iOS7）において正常に動作しないことが確認された。そこで、iOS7 でも動作するようにアプリケーションの改修を行った。

(c) 結論および今後の課題

本検討では、地震ハザードステーション J-SHIS を参照して検討した結果、3.3 節までに述べた長周期地震動ハザード評価について、評価結果および評価に用いたデータを公開するシステムの一案を示すことができた。また、多様な超高層建物の応答計算を実施し、本検討で計算した長周期地震動シミュレーション結果からどの程度の被害が生じ得るかを具体的に提示するとともに、長周期地震動の強さを表す指標について、気象庁による長周期地震動階級も含めて、超高層建物の被害との対応について検討し、長周期地震動ハザード評価結果をフラジリティ評価に活用する可能性ついて示すことができた。これらの検討結果は、長周期地震動ハザード評価結果の利活用はもちろん、長周期地震動とそれによる被害についての理解を一般に広め、長周期地震動への対策に資することが期待できる。

今後、専門家さらに超高層建物に居住する一般の人が簡単に被害の程度を想定し、長周期地震動とその被害を理解し、対策などへの利活用を容易に行うことができるようなシステム作りのために、本検討の流れを位置づけて行くことが重要と考えられる。さらに、今年度は南海トラフがメインで検討を行ったが、相模トラフについても同等な検討が今後求められている。また、東京近郊だけでなく、濃尾平野や大阪平野などの超高層建物の建てられている地域での揺れや建物応答の違いなどを面的に詳細に検討することも緻密な対策を考える上で重要である。このように、今後ますます利活用が広がっていくような長周期地震動に関する検討が望まれる。さらに、超高層建物の最大応答値には、短周期地震動成分の影響も含まれるので、厳密な評価には広帯域地震動の評価が今後必要と考えられる。

(d) 引用文献

北村春幸・宮内洋二・福島順一・深田良雄・森伸之，2004，性能設計における性能判断基準値に関する研究－時刻歴応答解析に基づく JSCA 耐震性能メニューの検証－，日本建築学会構造系論文集，第 576 号，pp.47-54.

北村春幸・宮内洋二・浦本弥樹，2006，性能設計における耐震性能判断基準値に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第 604 号，pp.183-191.

日本建築学会，2012，長周期地震動対策に関する公開研究集会資料.

首都直下地震モデル検討会，2013，首都直下の M7 クラスの地震及び相模トラフ沿いの M8 クラスの地震等の震源断層モデルと震度分布・津波高等に関する報告書，45pp.

高橋徹・貞弘雅晴・斉藤大樹・森田高市・野口和也・箕輪親宏，2007，長周期地震動を考慮した人間の避難行動限界評価曲線の提案，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-2（構造Ⅱ），pp.497-498.

東京都，2011，建築統計年報 2011 年版，東京都都市整備局市街地建築部.
Trifunac, M. D. and A. G. Brady, 1975, A study on the duration of strong earthquake ground motion,*Bull. Seism. Soc. Am.*, 65, pp.581-626.

４．むすび

南海トラフおよび相模トラフの地震に対する長周期地震動の確率論的ハザード評価へ向けて、本検討では平成 24 年度までの「長周期地震動予測地図作成等支援事業」の検討内容および最新の研究成果や知見を取り入れた検討を実施し、以下の成果が得られた。

- 確率論的ハザード評価に必要となる震源域や破壊開始点、アスペリティ配置等の不確実性を考慮した多数の震源モデルを作成する手法を提示した。
- 南海トラフ沿いの M8 クラス以上の地震を対象として、最大規模の地震まで含む 400 ケース程度の震源のモデル化を行い、長周期地震動シミュレーションを実施した。
- 相模トラフ沿いの M8 クラスの地震を対象として、最大規模の地震まで含む 250 ケース程度の震源のモデル化を行い、長周期地震動シミュレーションを実施した。
- 確率論的な長周期地震動ハザード評価を実施するため、地震の「起こりやすさ」を考慮した「重み」を提示した。
- 上記の長周期地震動シミュレーション結果に平成 24 年度までの結果も含め、「重み」を考慮することにより確率論的なハザード評価を試行し、特定地点におけるハザードカーブや特定の地震動強さ（最大速度または速度応答スペクトル）に対するハザードマップを試作した。
- 多様な震源モデル群の中から、特定地点における代表波形（シナリオ）の抽出方法を提案した。
- 多様な超高層ビルを対象として、上記で計算された長周期地震動によりどのような被害が生じ得るかを推定した。
- 超高層建物の被害に関連する指標（層間変形角など）と長周期地震動強さを表す指標との関係について検討し、長周期地震動ハザード評価結果を超高層建物のフラジリティ評価に活用する可能性を示した。
- 長周期地震動に関する事例を示す携帯端末のアプリケーションについて、最新の OS に対応できるようにした。これにより、分かりやすく長周期地震動に関する情報を広く提供することが可能となった。

本検討では南海トラフおよび相模トラフの長周期地震動に対して不確実性を考慮した検討を実施し、長周期地震動の確率論的ハザード評価を行う枠組みを提案し試行した。しかしながら、その検討内容には以下のような課題があり、試算したハザードマップの妥当性の検証とあわせて検討を進める必要がある。

- これまでの検討では「レシピ」の範囲内でのばらつきの評価となっている。今後は、海溝型地震の広帯域地震動評価に向けて震源時間関数やスケーリング則（アスペリティ面積比など）等に関する検討・整理を行い、海溝型プレート間（巨大）地震の震源モデルの改良を行うとともに各種パラメータの不確実性を考慮したばらつき評価を行うことが必要である。
- 本検討では従来に比べて多数のケースによる計算を実施したが、確率論的ハザード評価において、詳細な地震動分布形状まで把握する不確実性を包含するには不足してい

る。破壊開始点やアスペリティの設定および配置についてもさらに細密な設定による多数のケース数を網羅する必要がある。

・本検討では破壊伝播の不均質性を考慮しておらず、また、浅部の大すべり域について深部と同様の破壊過程を仮定したケースもあるなど、特定地点における「最大クラス」の波形については過大評価となっている可能性がある。

・相模トラフの地震に関しては、M8 クラスの地震の震源域が首都圏直下まで拡がる可能性があることや M7 クラスの地震の切迫性が指摘されている。これらの地震では一般建物の被害や耐震設計等に大きく影響をおよぼす周期 1 秒前後の地震動（あるいは計測震度）も大きくなることから、長周期地震動だけでなく広帯域地震動ハザード評価が必要である。

・海溝型巨大地震の広帯域地震動ハザード評価に向けて、震源モデルに関して破壊伝播の不均質性導入や震源時間関数の改良・高度化、地下構造モデルに関して浅部・深部統合地盤モデルの作成といった高度化が必要である。

・長周期地震動ハザード評価のデータは、評価結果だけでなく、評価に用いたデータも含めて膨大なものであり、これらを実際に公開していくためには、十分な計算機資源等による公開システムを整備することが必要であるとともに、継続的に公開するためにはそのシステムのメンテナンスにも配慮する必要がある。

・本検討における超高層建物の応答計算や被害との関係の面的な評価に関しては、南海トラフの地震における東京周辺地域を対象の中心に行ったが、相模トラフの地震、濃尾平野や大阪平野等についても同様な面的な検討が必要である。

・超高層建物の応答に関しても、長周期地震動だけでなく、短周期地震動を含む広帯域地震動ハザード評価に基づく評価が必要である。

付録 1. 南海トラフの地震を対象とした全シナリオの長周期地震動分布

本付録では、南海トラフの地震を対象とした長周期地震動ハザード評価において設定した全てのシナリオ（ケース）についての長周期地震動分布を示す。

【震源域描画】

外側枠線：震源域

内側枠線：アスペリティ

☆　　：破壊開始点

【ケース名称】

- 浅部領域を含まないケース

  [震源域]_[破壊開始点]-ad[中部領域アスペリティ]-[すべり速度関数]-vr[破壊伝播速度]_fm[fmax]

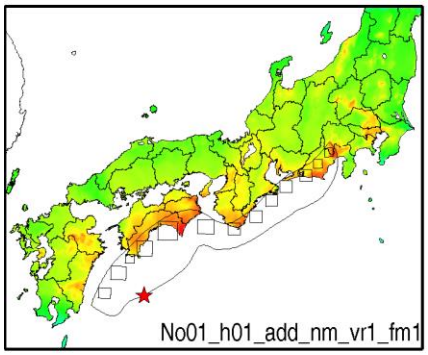
- 浅部領域を含むケース

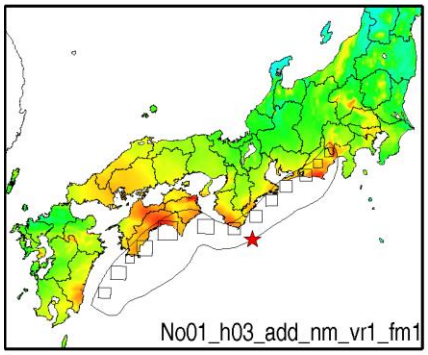
  [震源域]_[破壊開始点]-ad[中部領域アスペリティ]-[すべり速度関数]-vr[破壊伝播速度]_as[浅部領域アスペリティ]-[すべり速度関数]-vr[破壊伝播速度]_fm[fmax]

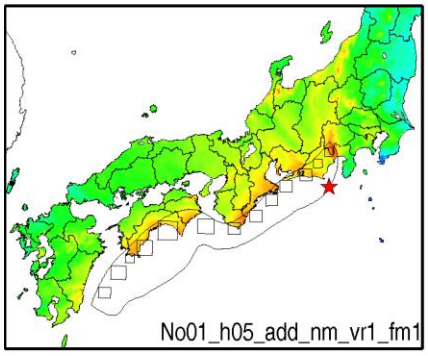
・震源域：No01 ~ No15
・破壊開始点：h01 ~ h10
・中部領域アスペリティ：s（浅）、m（中）、d（深）
・浅部領域アスペリティ：e（東）、w（西）
・すべり速度関数：nm（中村・宮武）、srf（smoothed ramp）
・破壊伝播速度：1（2.7km/s）、2（2.3km/s）
・fmax：1（13.5Hz）、2（6.0Hz）

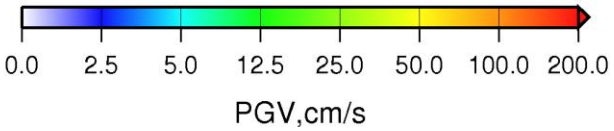
最大地動速度（PGV）の空間分布

No01_r2_add_nm_vr1_fm1

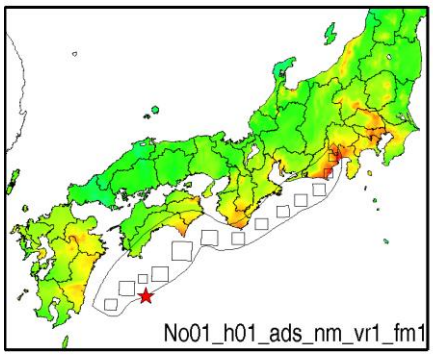


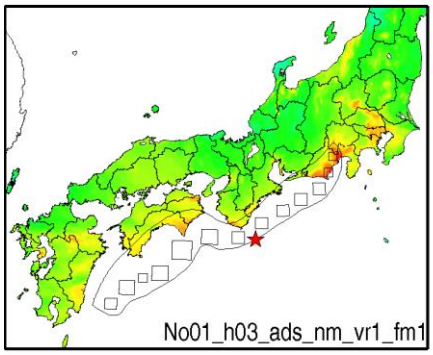


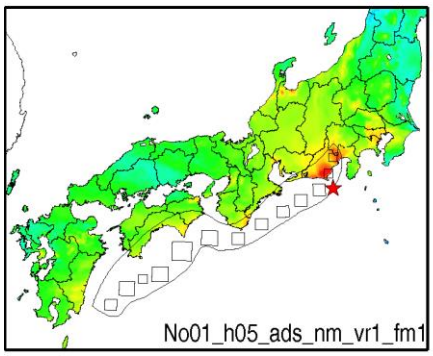


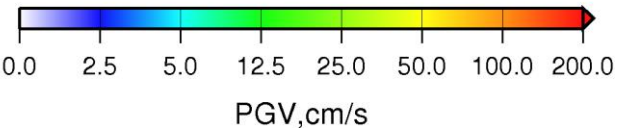


No01_r2_ads_nm_vr1_fm1

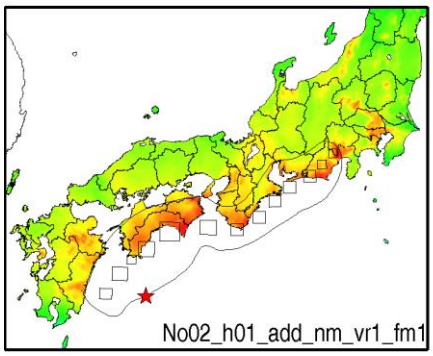


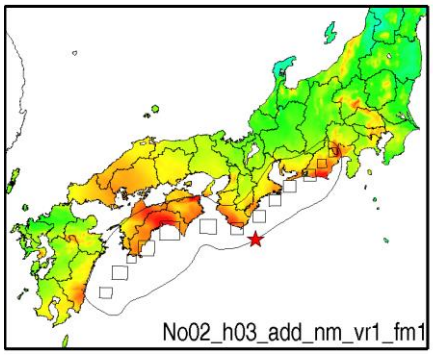


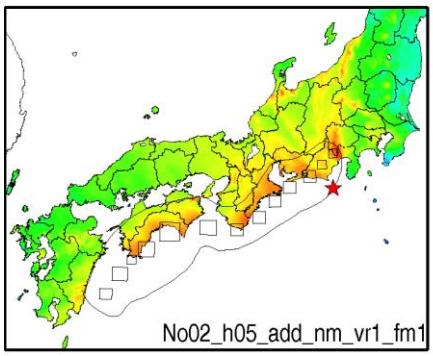


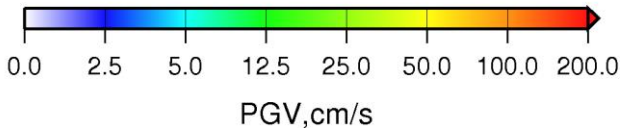


No02_r2_add_nm_vr1_fm1

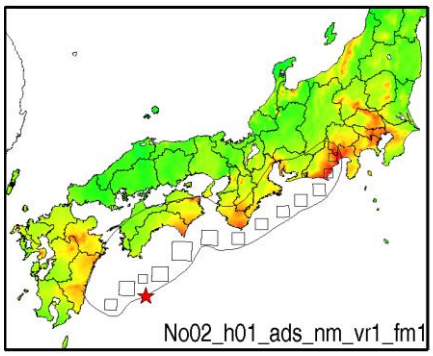


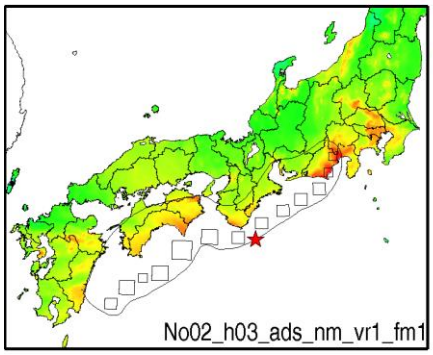


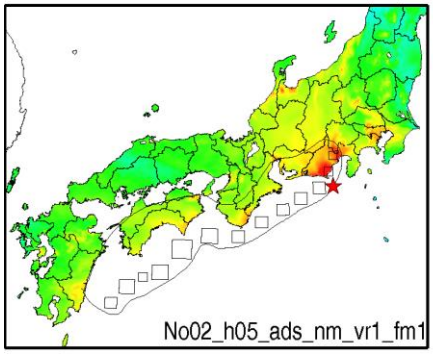


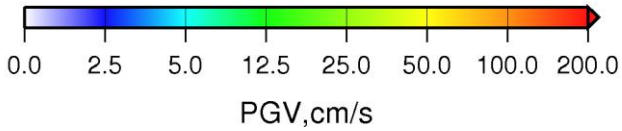


No02_r2_ads_nm_vr1_fm1

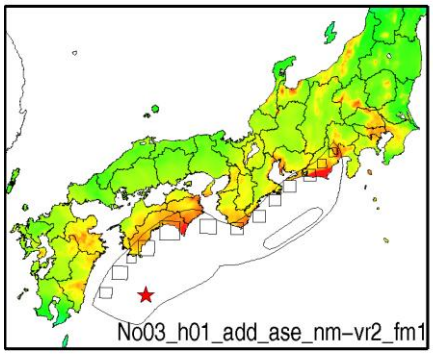


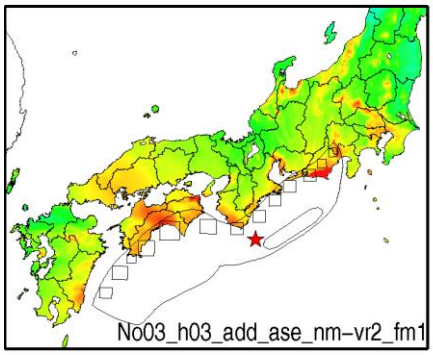


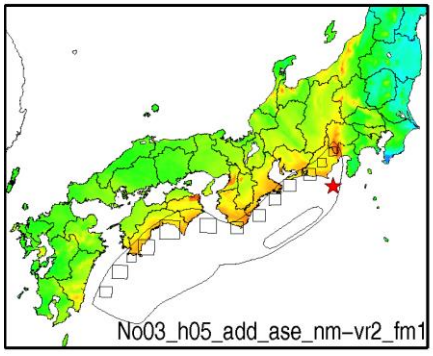


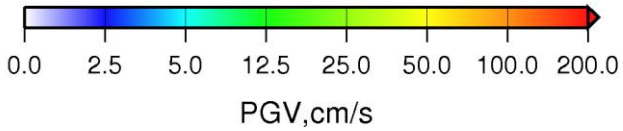


No03_add_ase_nm-vr2_fm1

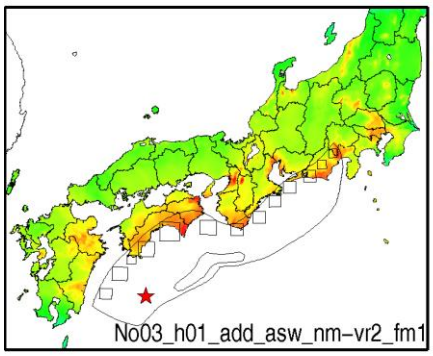


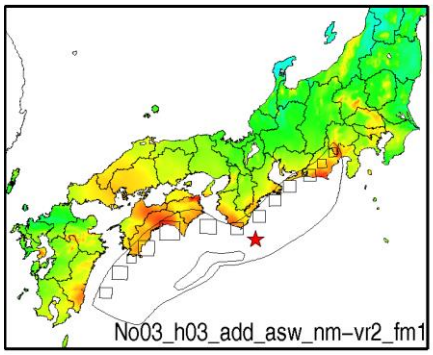


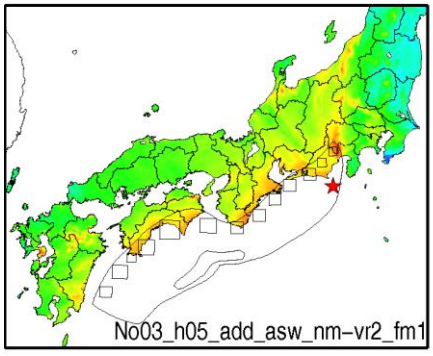


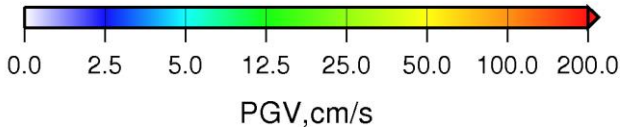


No03_add_asw_nm-vr2_fm1

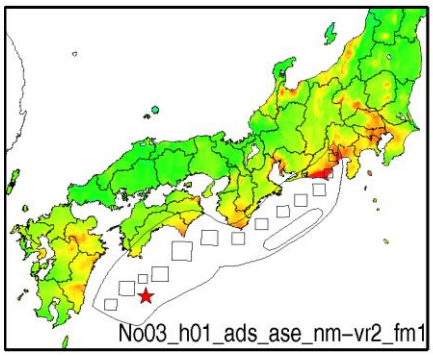


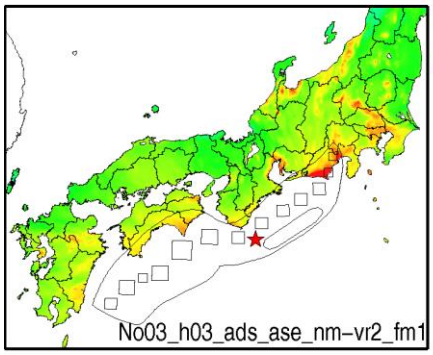


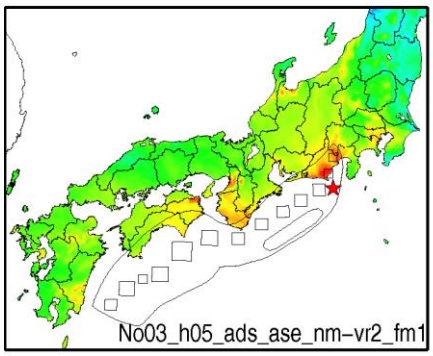


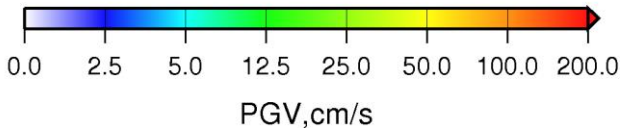


No03_ads_ase_nm-vr2_fm1

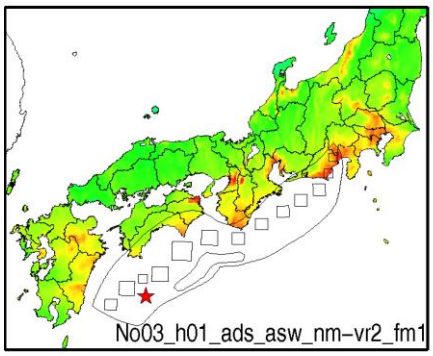


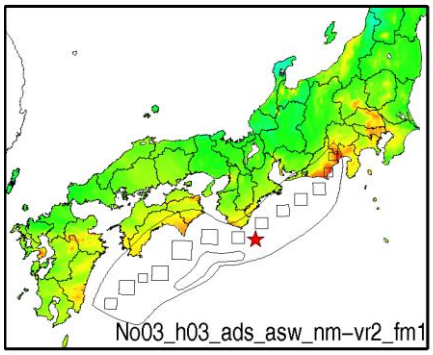


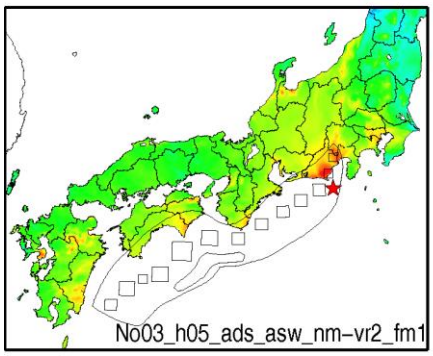


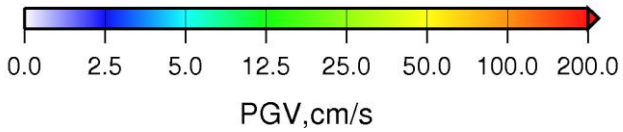


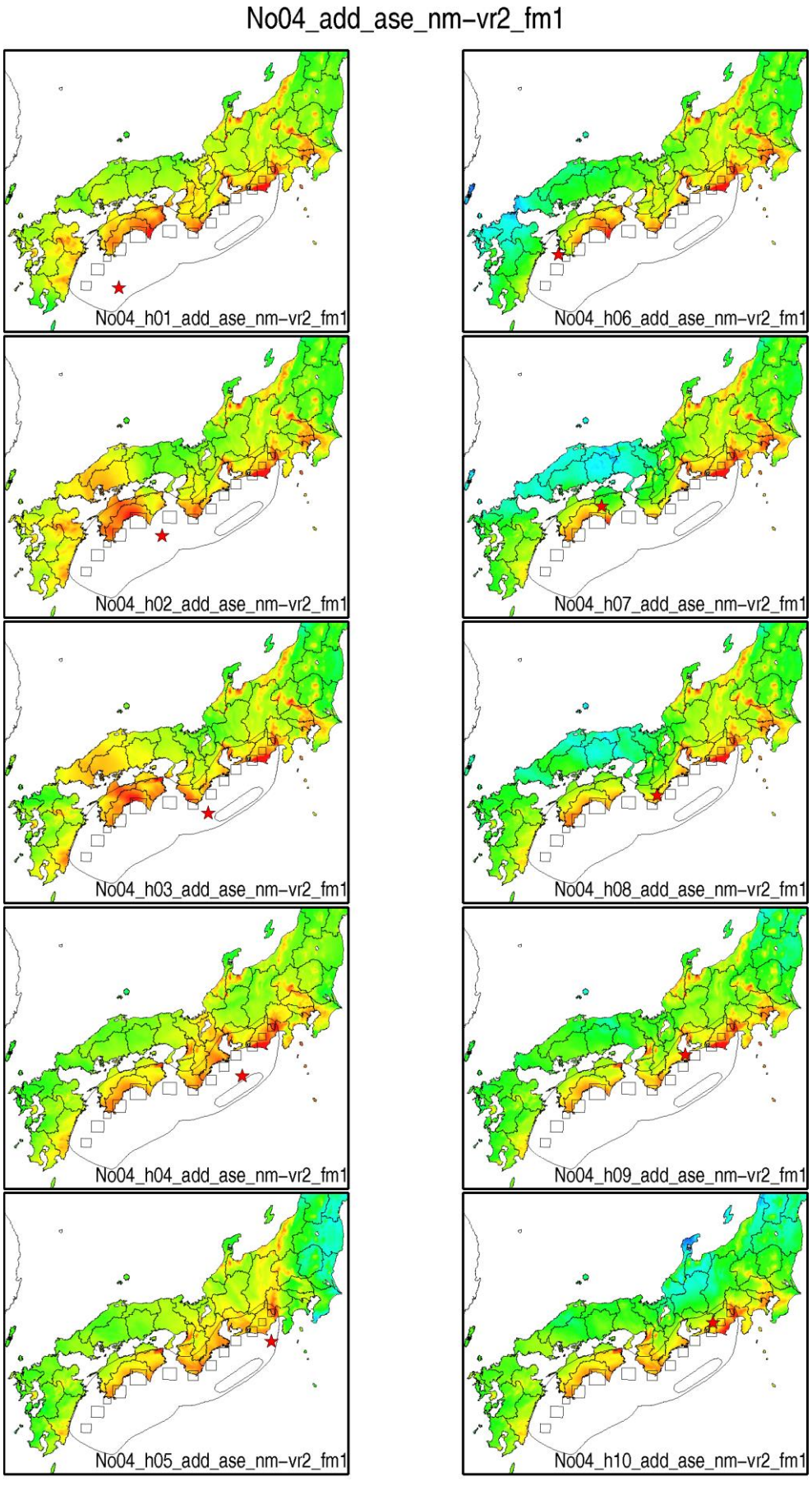
No03_ads_asw_nm-vr2_fm1



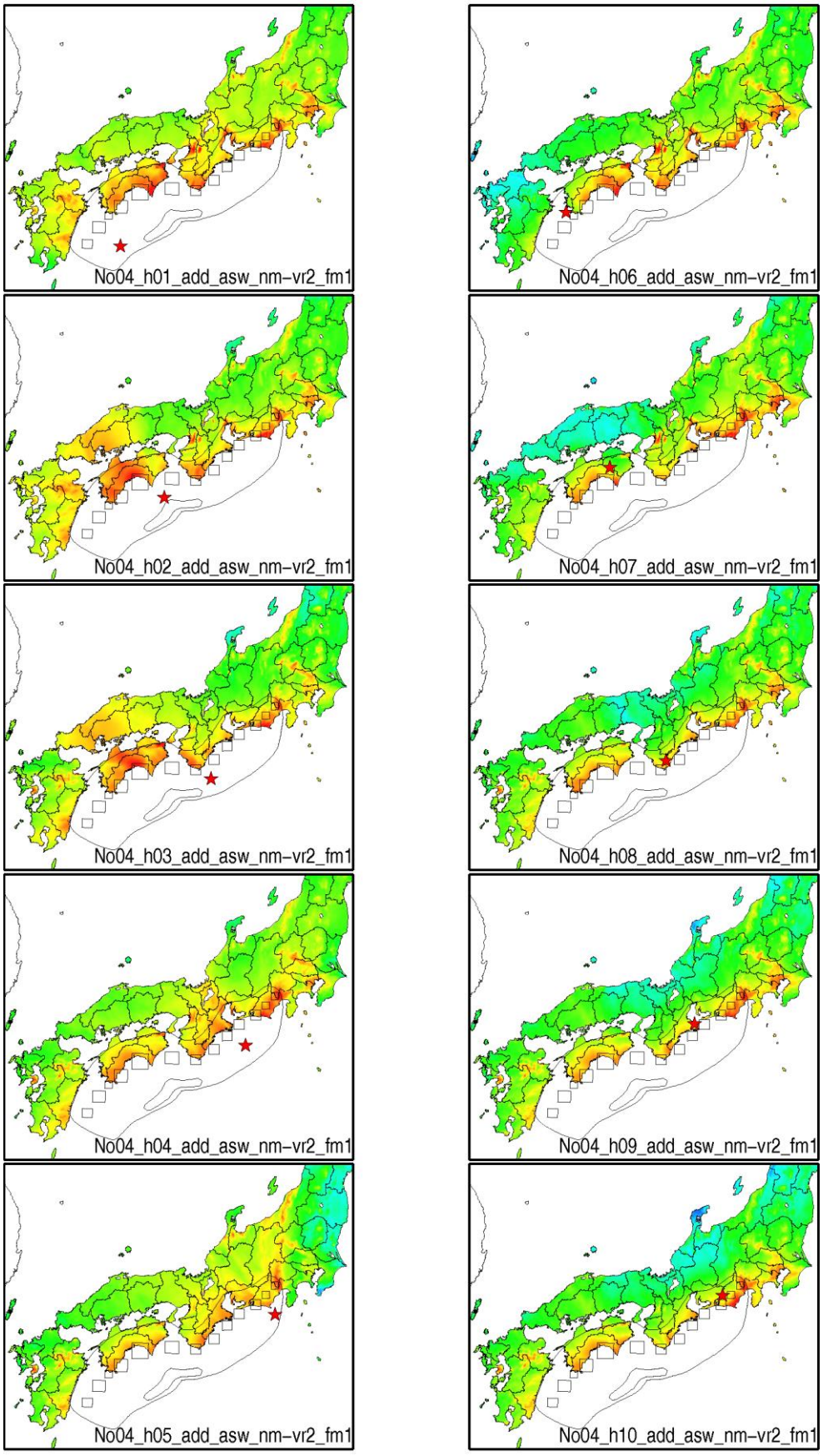




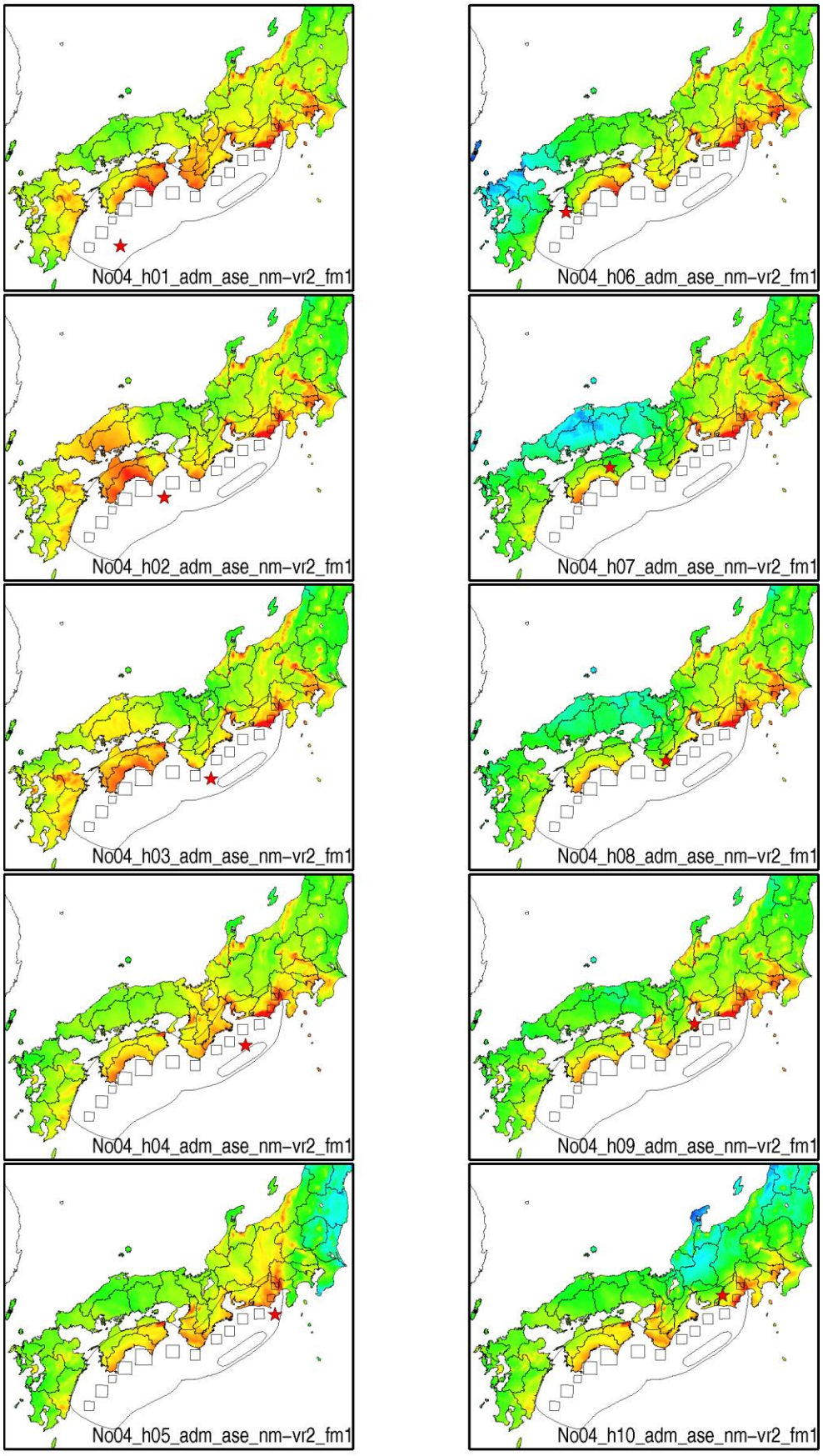


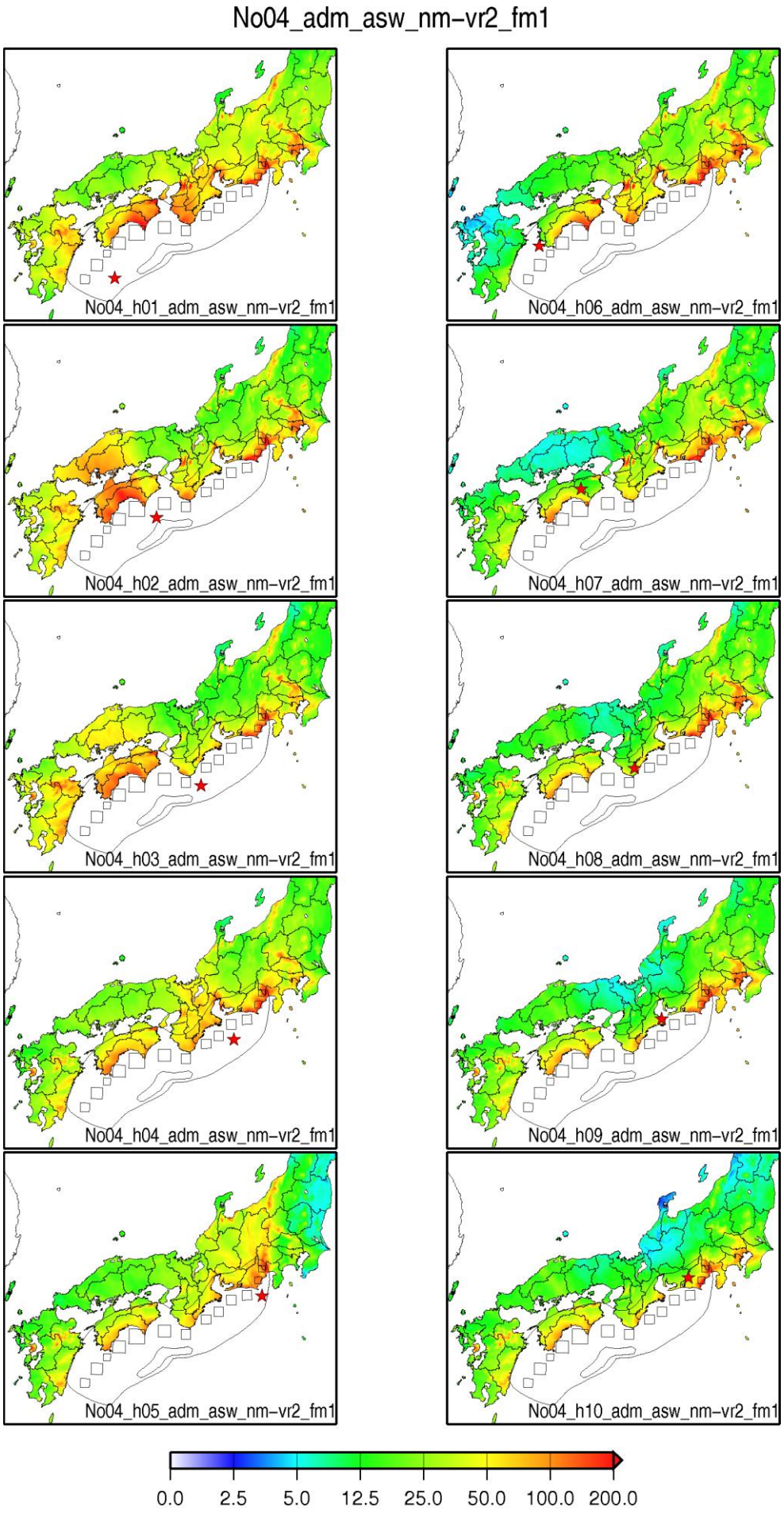

No04_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h01_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h06_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h02_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h07_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h03_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h08_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h04_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h09_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h05_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h10_add_ase_nm-vr2_fm1
0.0 2.5 5.0 12.5 25.0 50.0 100.0 200.0
PGV,cm/s

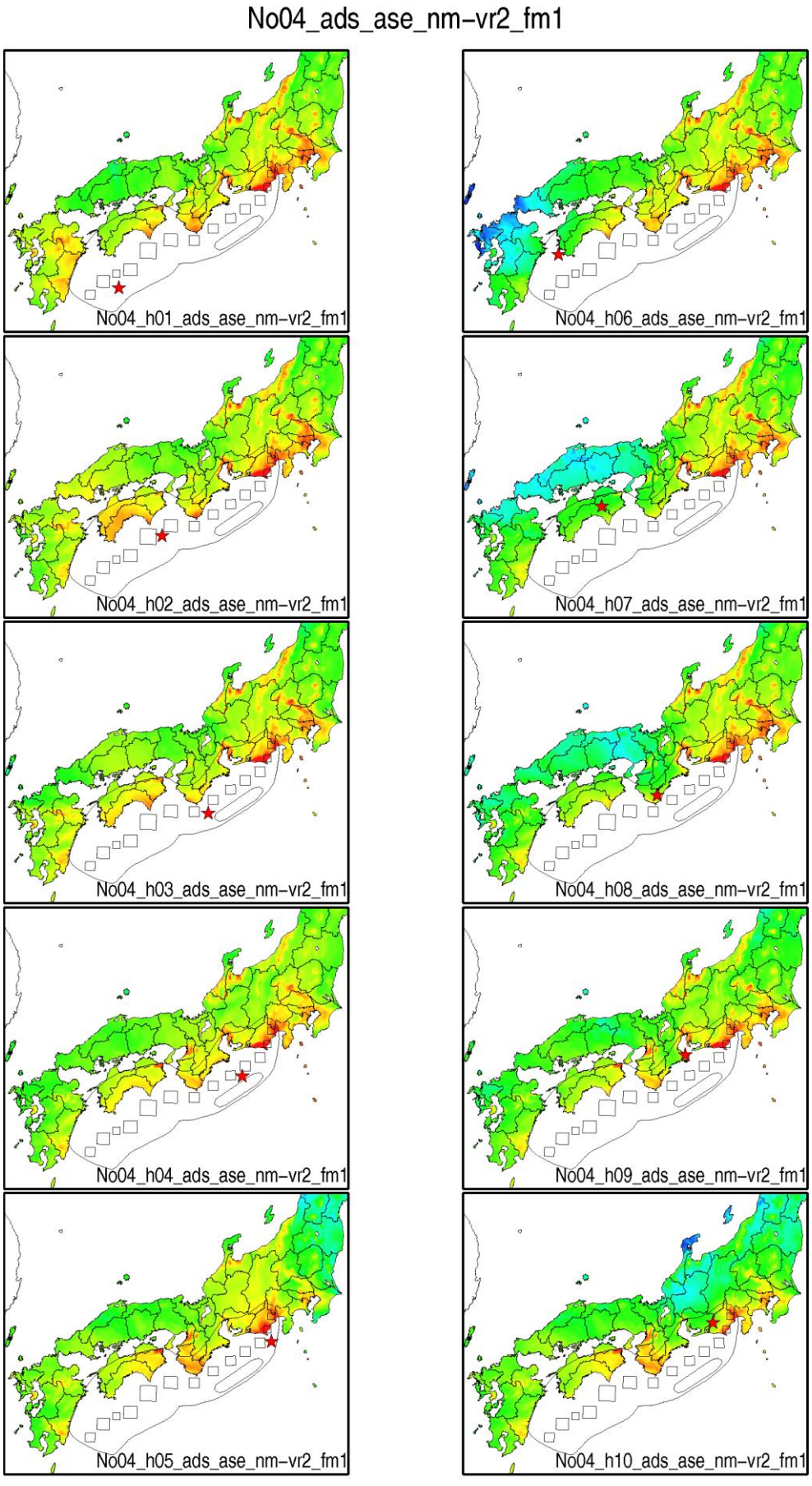
No04_add_asw_nm-vr2_fm1

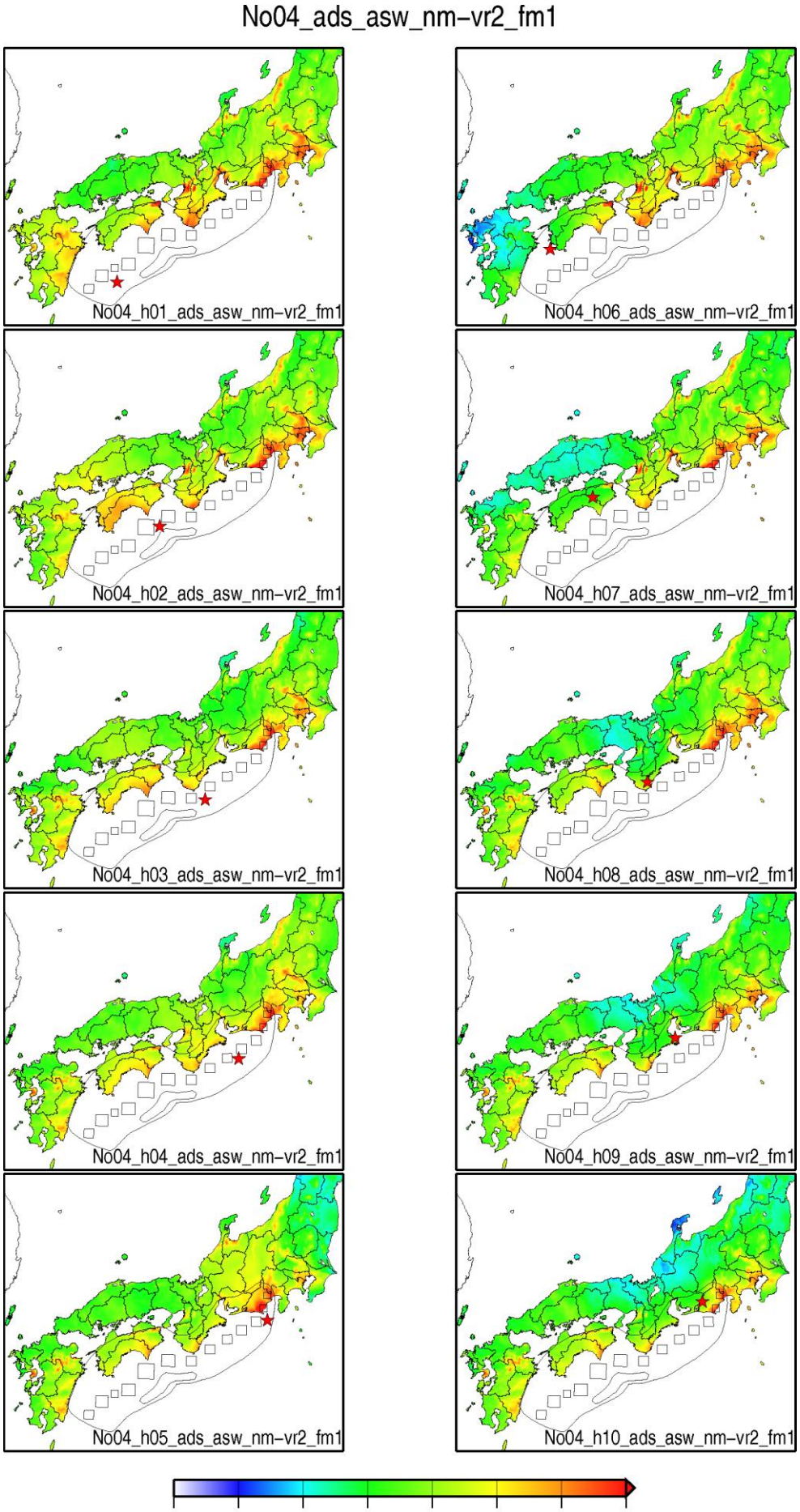


No04_adm_ase_nm-vr2_fm1

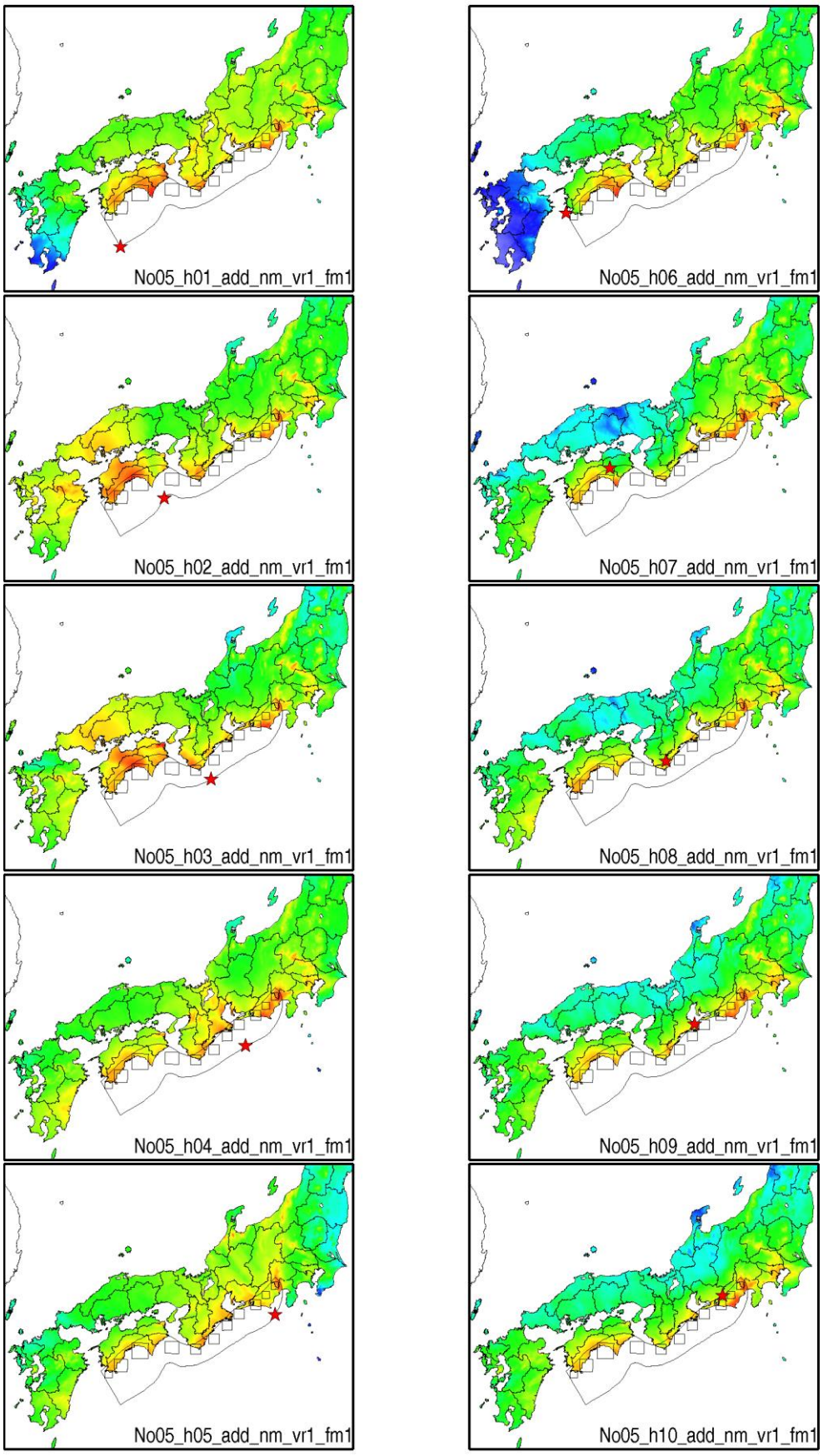


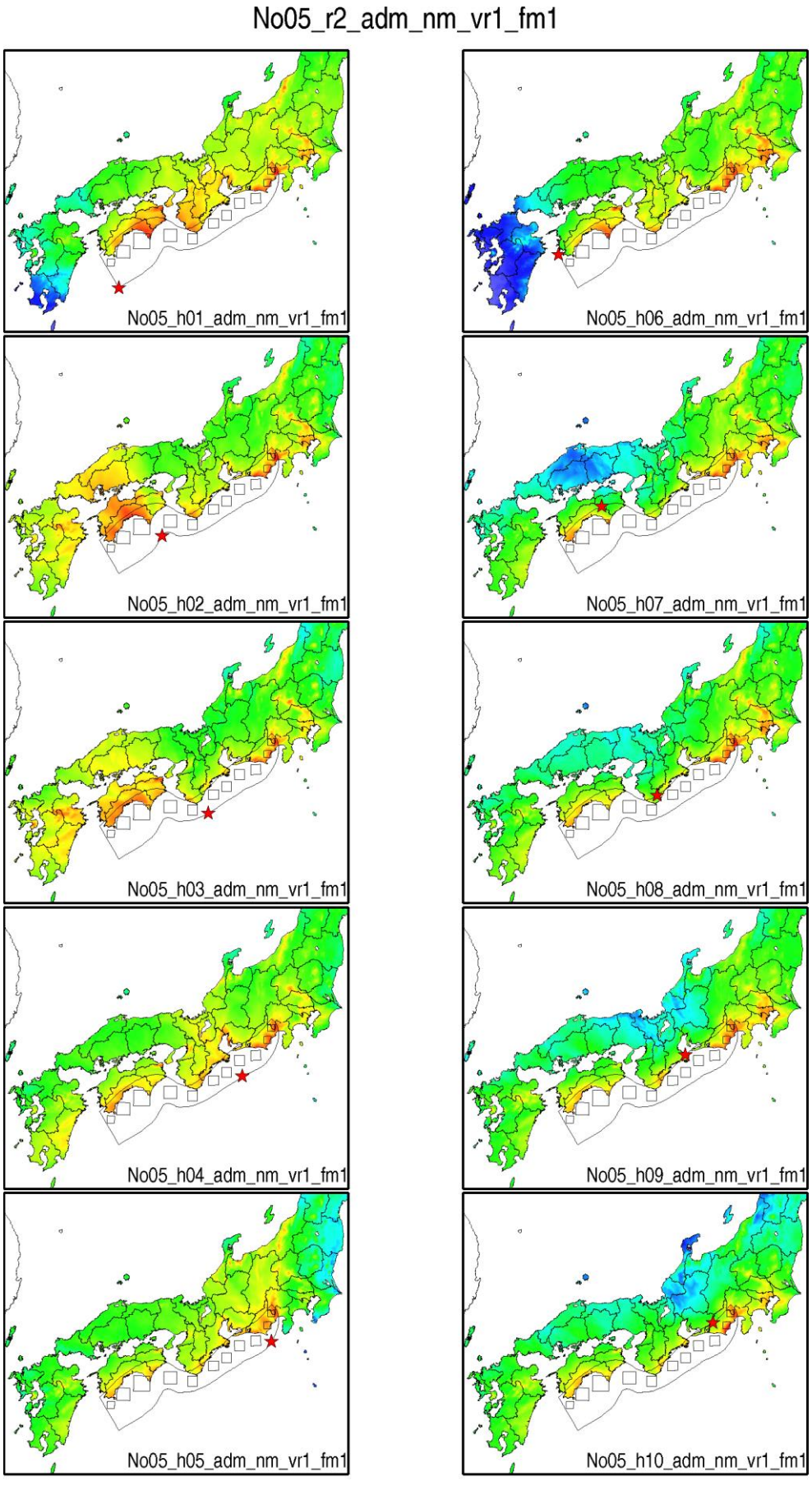

No04_adm_asw_nm-vr2_fm1
No04_h01_adm_asw_nm-vr2_fm1
No04_h06_adm_asw_nm-vr2_fm1
No04_h02_adm_asw_nm-vr2_fm1
No04_h07_adm_asw_nm-vr2_fm1
No04_h03_adm_asw_nm-vr2_fm1
No04_h08_adm_asw_nm-vr2_fm1
No04_h04_adm_asw_nm-vr2_fm1
No04_h09_adm_asw_nm-vr2_fm1
No04_h05_adm_asw_nm-vr2_fm1
No04_h10_adm_asw_nm-vr2_fm1
0.0 2.5 5.0 12.5 25.0 50.0 100.0 200.0
PGV,cm/s

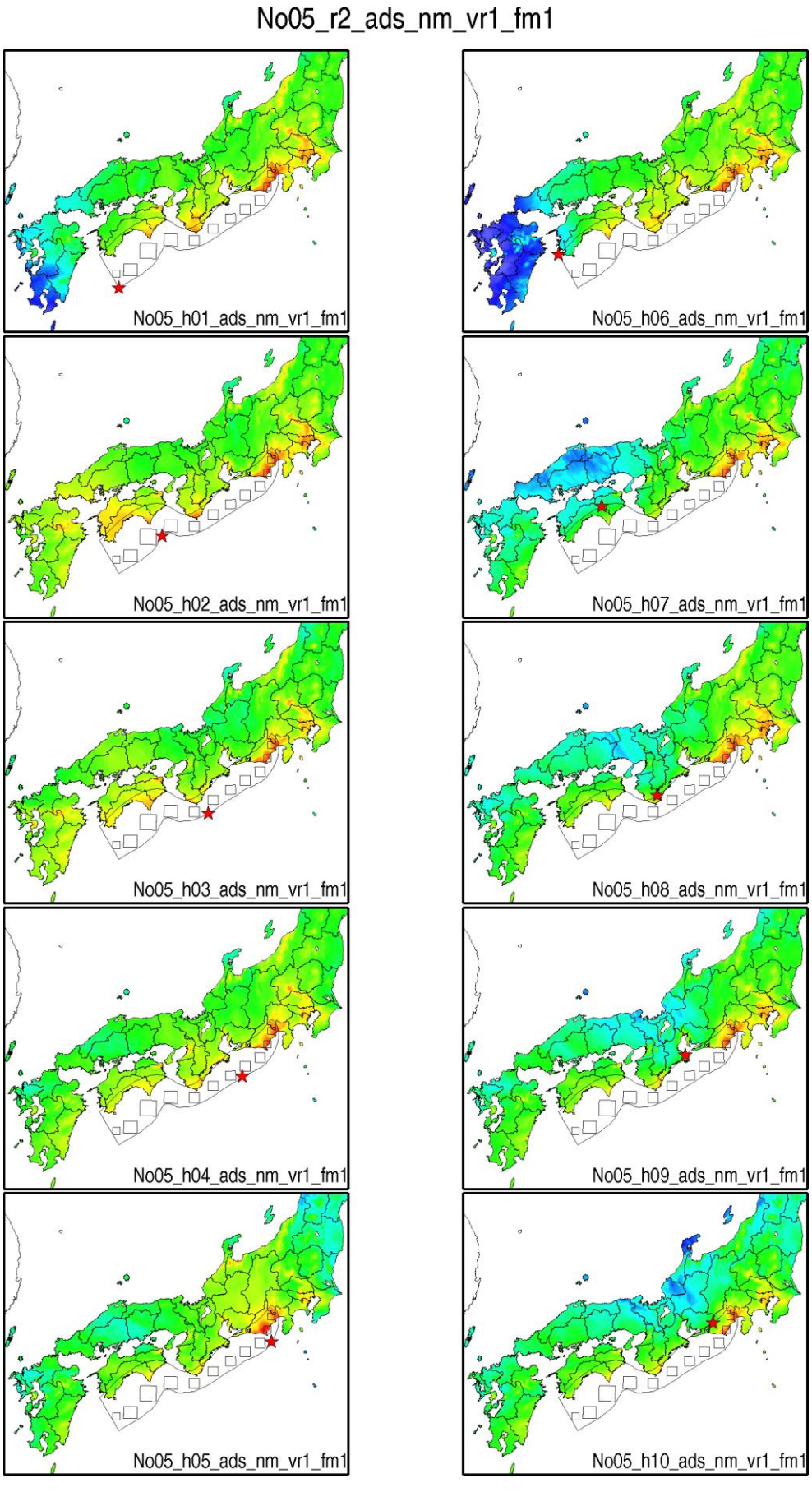

No04_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h01_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h06_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h02_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h07_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h03_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h08_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h04_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h09_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h05_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h10_ads_ase_nm-vr2_fm1
0.0 2.5 5.0 12.5 25.0 50.0 100.0 200.0
PGV,cm/s


No04_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h01_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h06_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h02_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h07_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h03_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h08_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h04_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h09_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h05_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h10_ads_asw_nm-vr2_fm1
0.0 2.5 5.0 12.5 25.0 50.0 100.0 200.0
PGV,cm/s

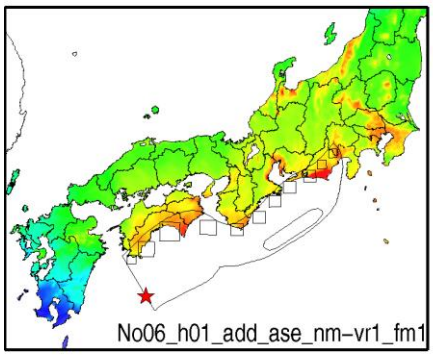
No05_r2_add_nm_vr1_fm1

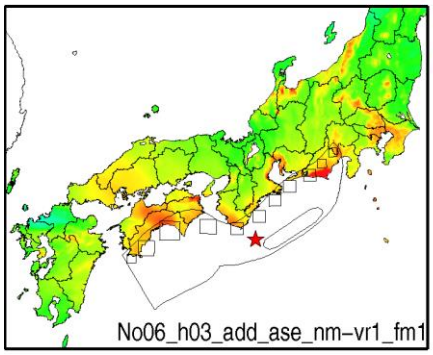


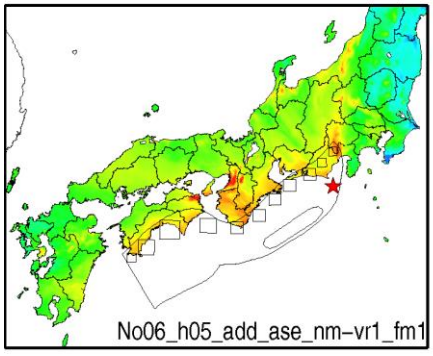

No05_r2_adm_nm_vr1_fm1
No05_h01_adm_nm_vr1_fm1
No05_h06_adm_nm_vr1_fm1
No05_h02_adm_nm_vr1_fm1
No05_h07_adm_nm_vr1_fm1
No05_h03_adm_nm_vr1_fm1
No05_h08_adm_nm_vr1_fm1
No05_h04_adm_nm_vr1_fm1
No05_h09_adm_nm_vr1_fm1
No05_h05_adm_nm_vr1_fm1
No05_h10_adm_nm_vr1_fm1
0.0
2.5
5.0
12.5
25.0
50.0
100.0
200.0
PGV,cm/s

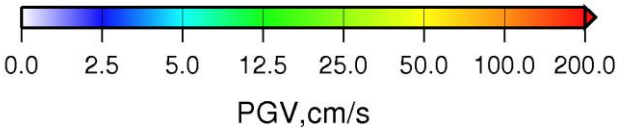

No05_r2_ads_nm_vr1_fm1
No05_h01_ads_nm_vr1_fm1
No05_h06_ads_nm_vr1_fm1
No05_h02_ads_nm_vr1_fm1
No05_h07_ads_nm_vr1_fm1
No05_h03_ads_nm_vr1_fm1
No05_h08_ads_nm_vr1_fm1
No05_h04_ads_nm_vr1_fm1
No05_h09_ads_nm_vr1_fm1
No05_h05_ads_nm_vr1_fm1
No05_h10_ads_nm_vr1_fm1
0.0
2.5
5.0
12.5
25.0
50.0
100.0
200.0
PGV,cm/s

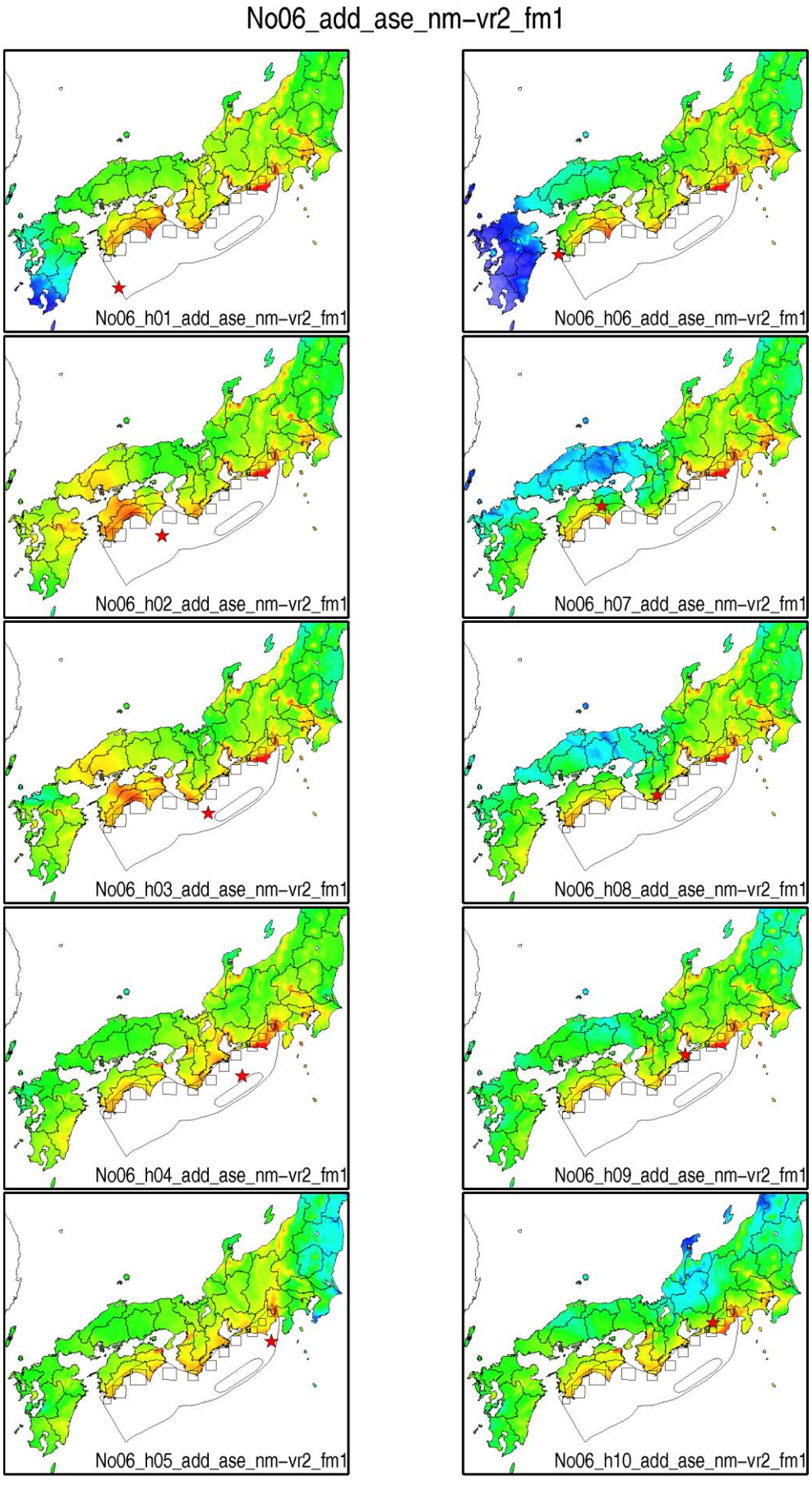
No06_add_ase_nm-vr1_fm1



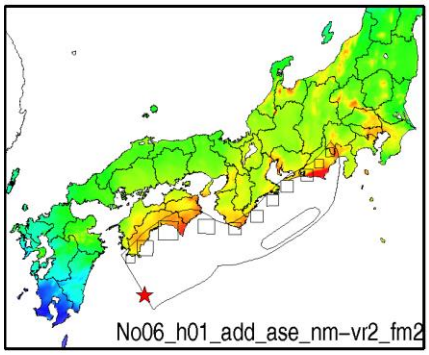


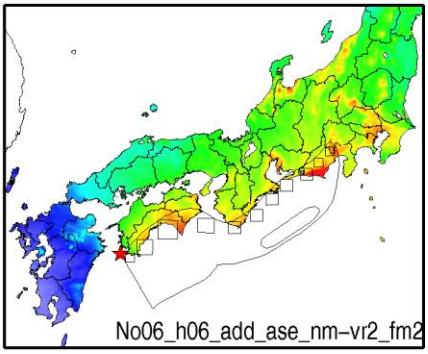


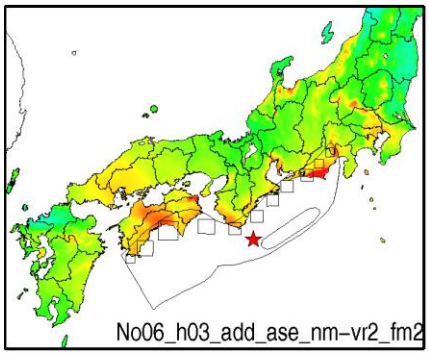


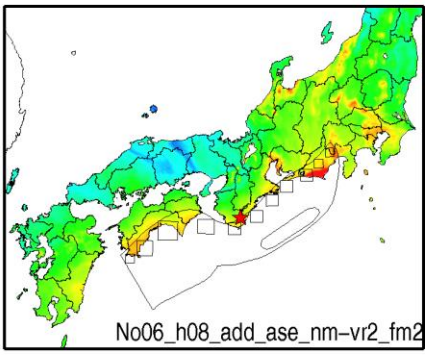

No06_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h01_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h06_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h02_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h07_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h03_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h08_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h04_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h09_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h05_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h10_add_ase_nm-vr2_fm1
0.0 2.5 5.0 12.5 25.0 50.0 100.0 200.0
PGV,cm/s

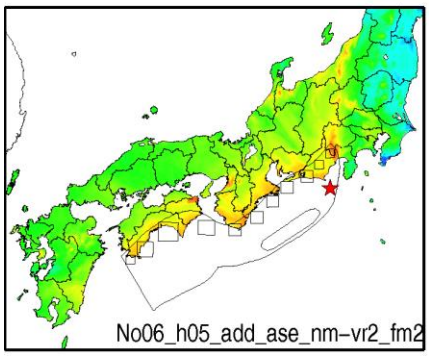
No06_add_ase_nm-vr2_fm2

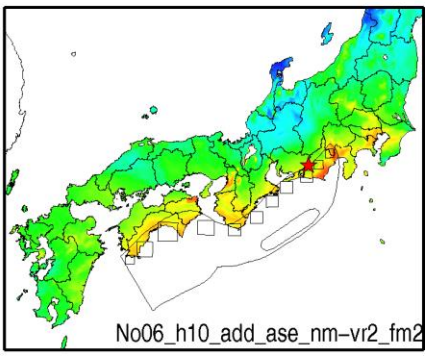


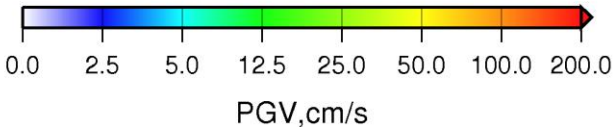




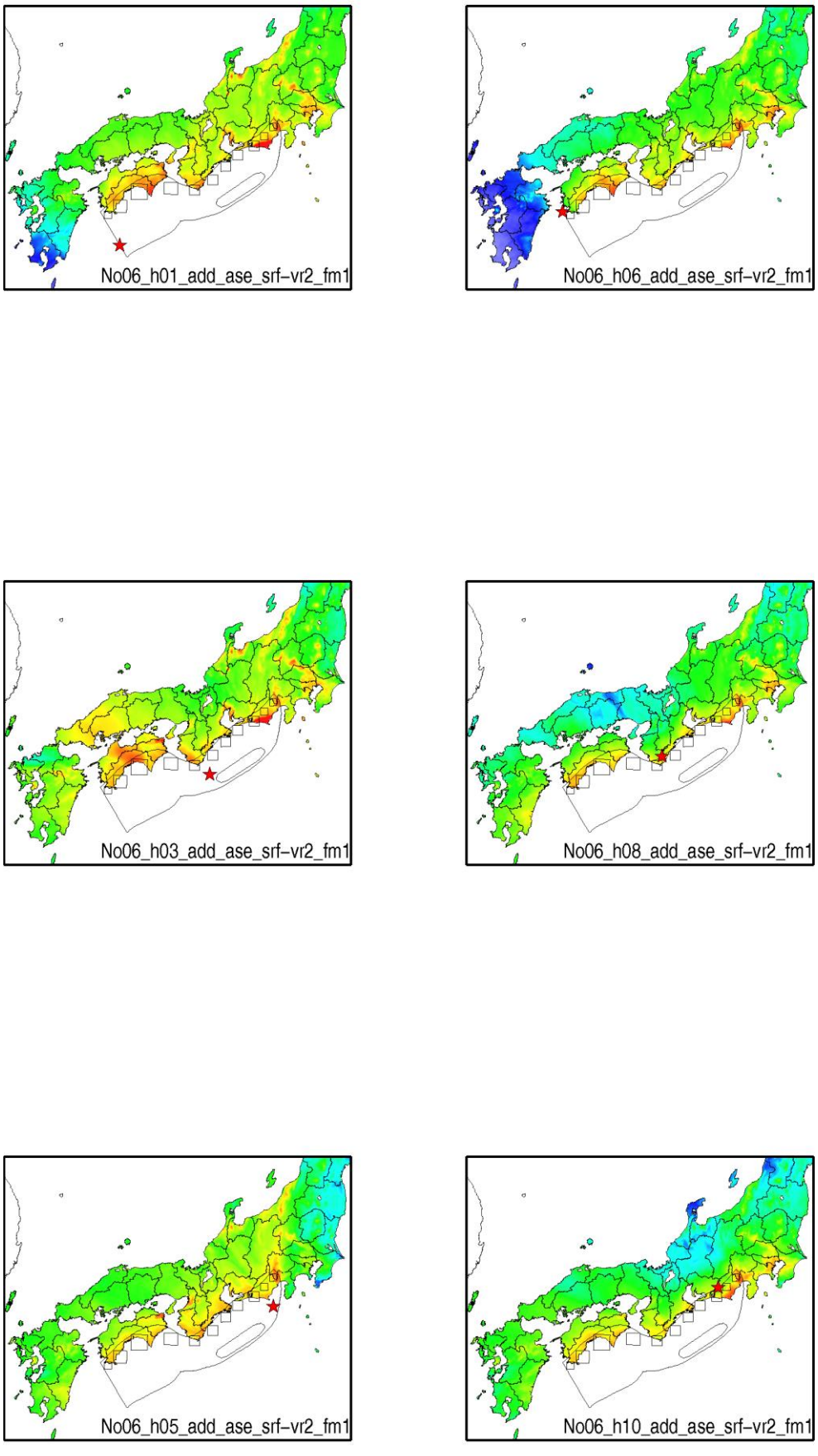




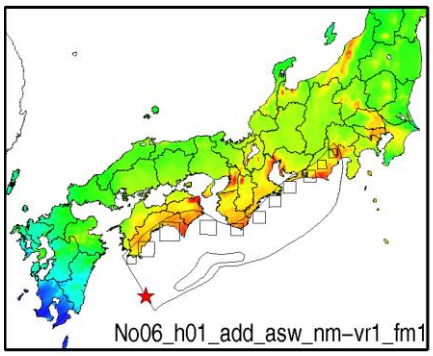


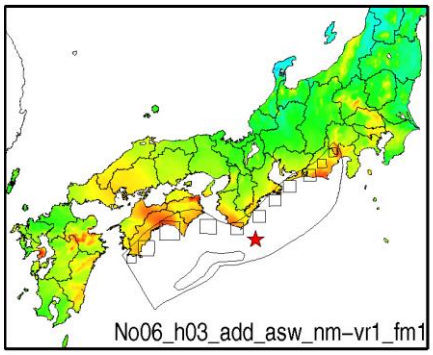


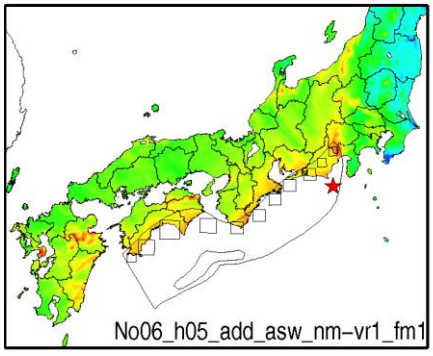
No06_add_ase_srf-vr2_fm1

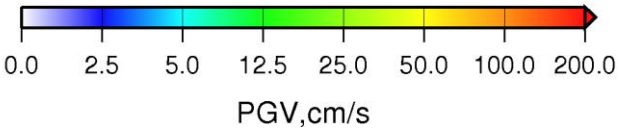


No06_add_asw_nm-vr1_fm1

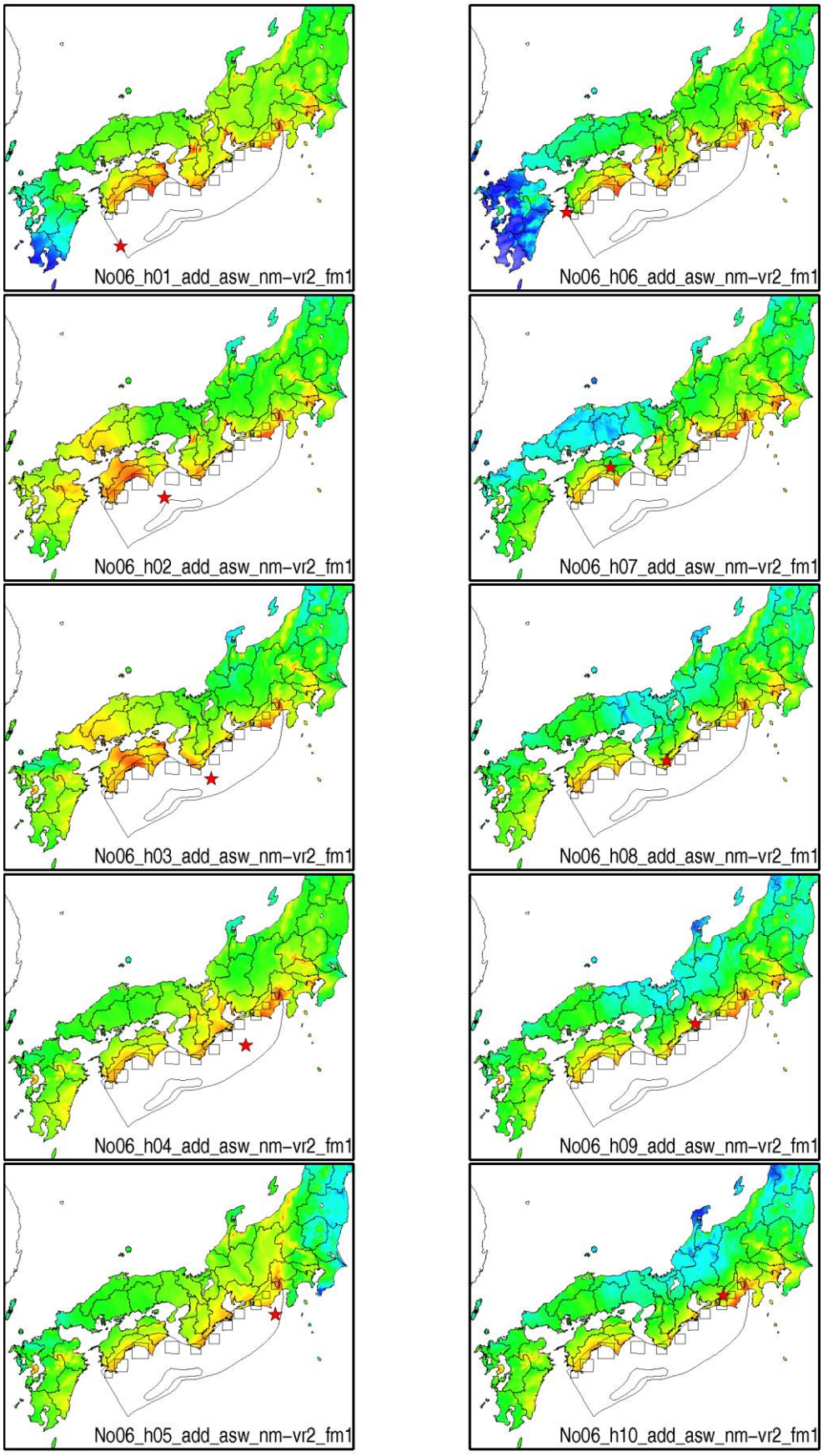




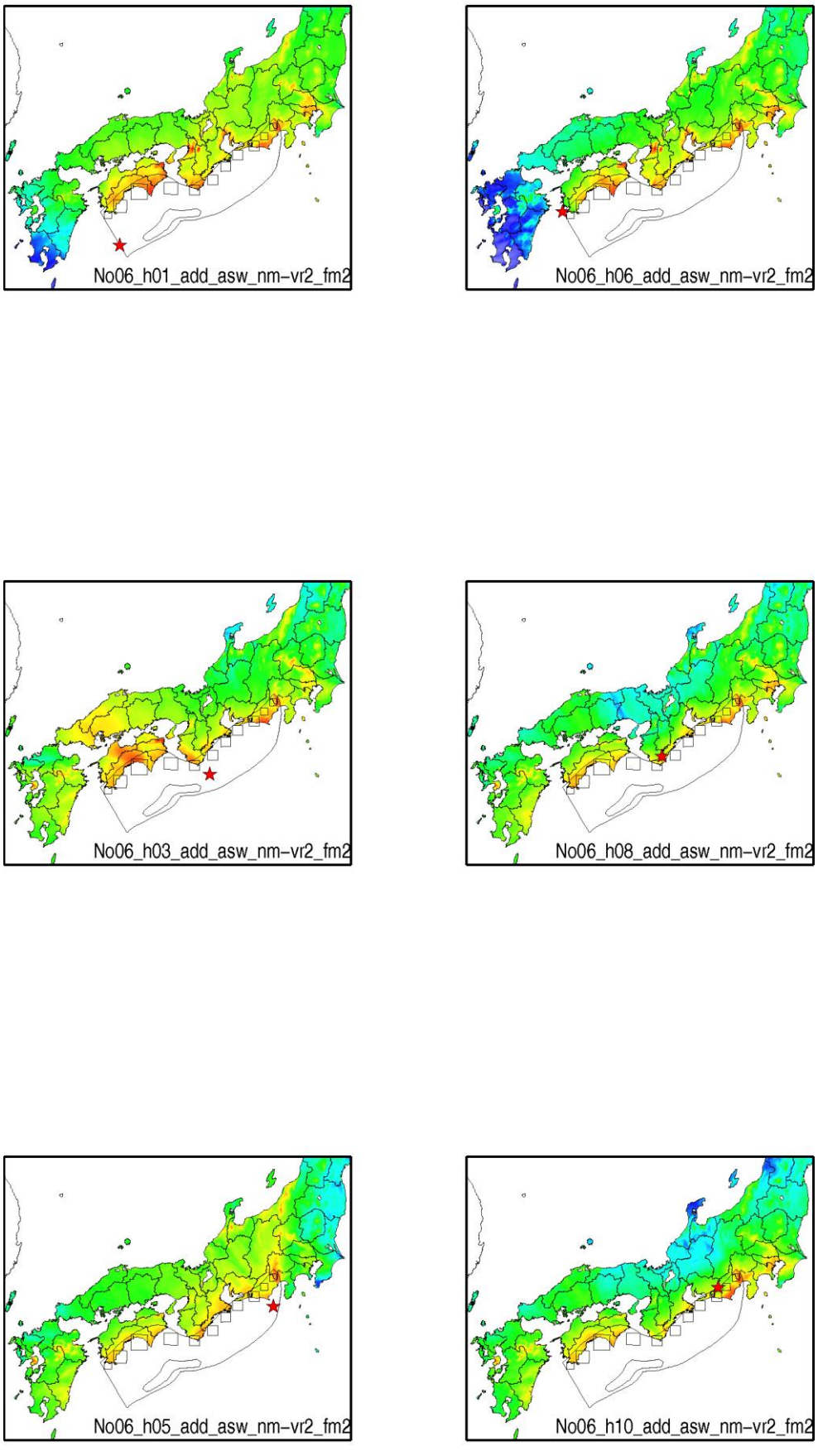




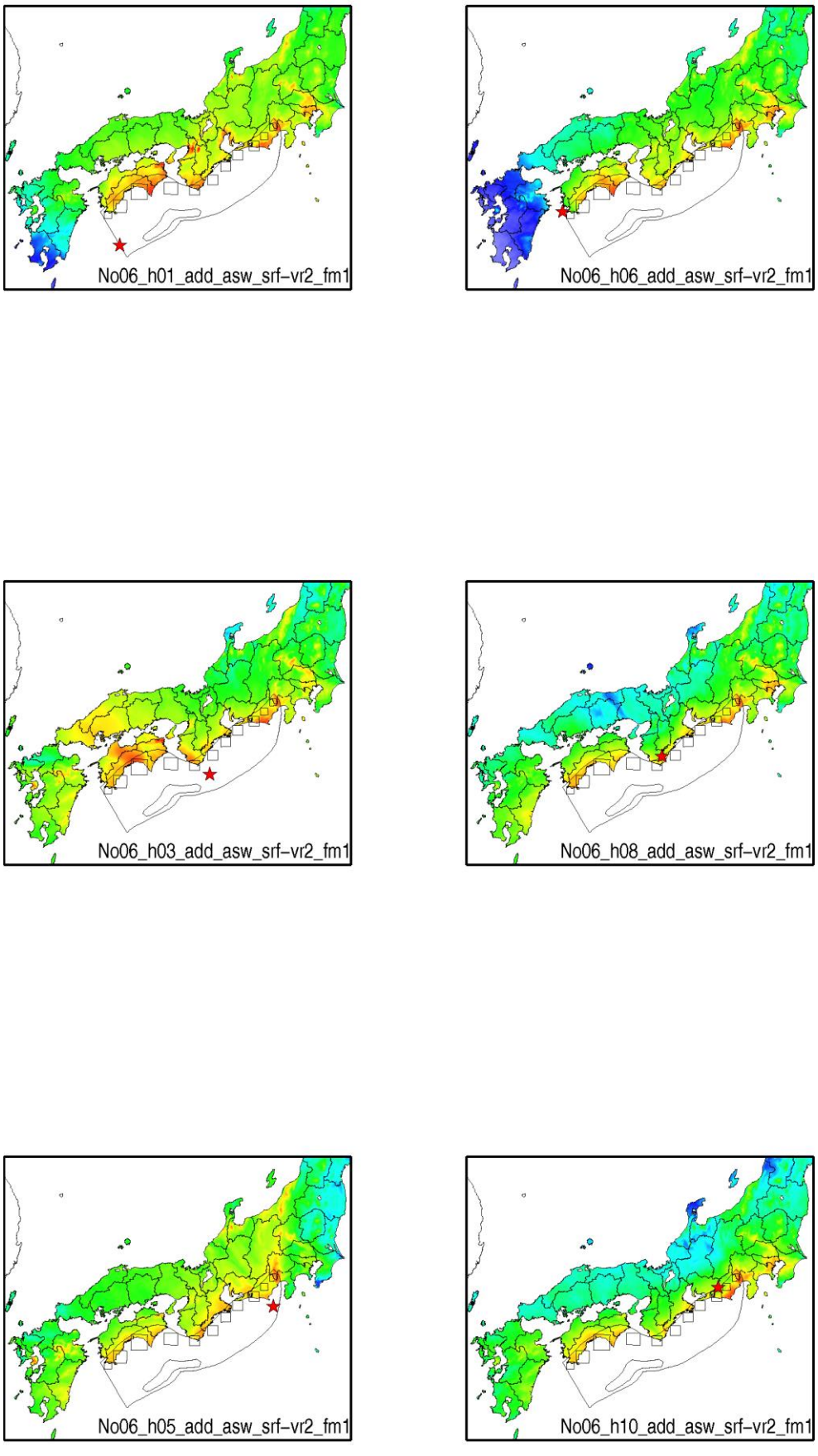
No06_add_asw_nm-vr2_fm1



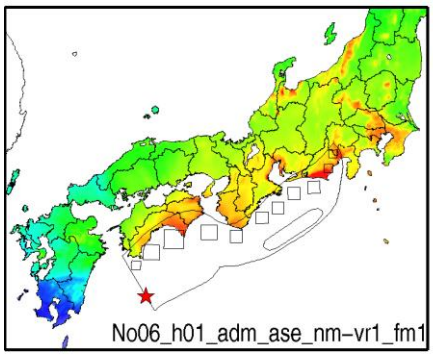
No06_add_asw_nm-vr2_fm2

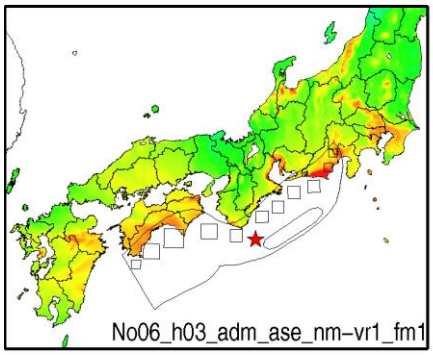


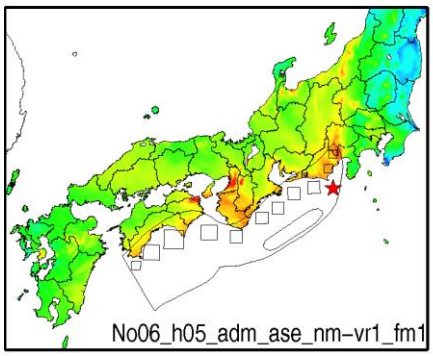
No06_add_asw_srf-vr2_fm1

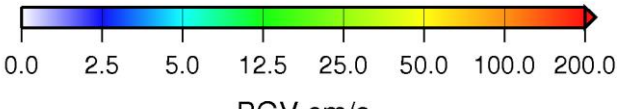


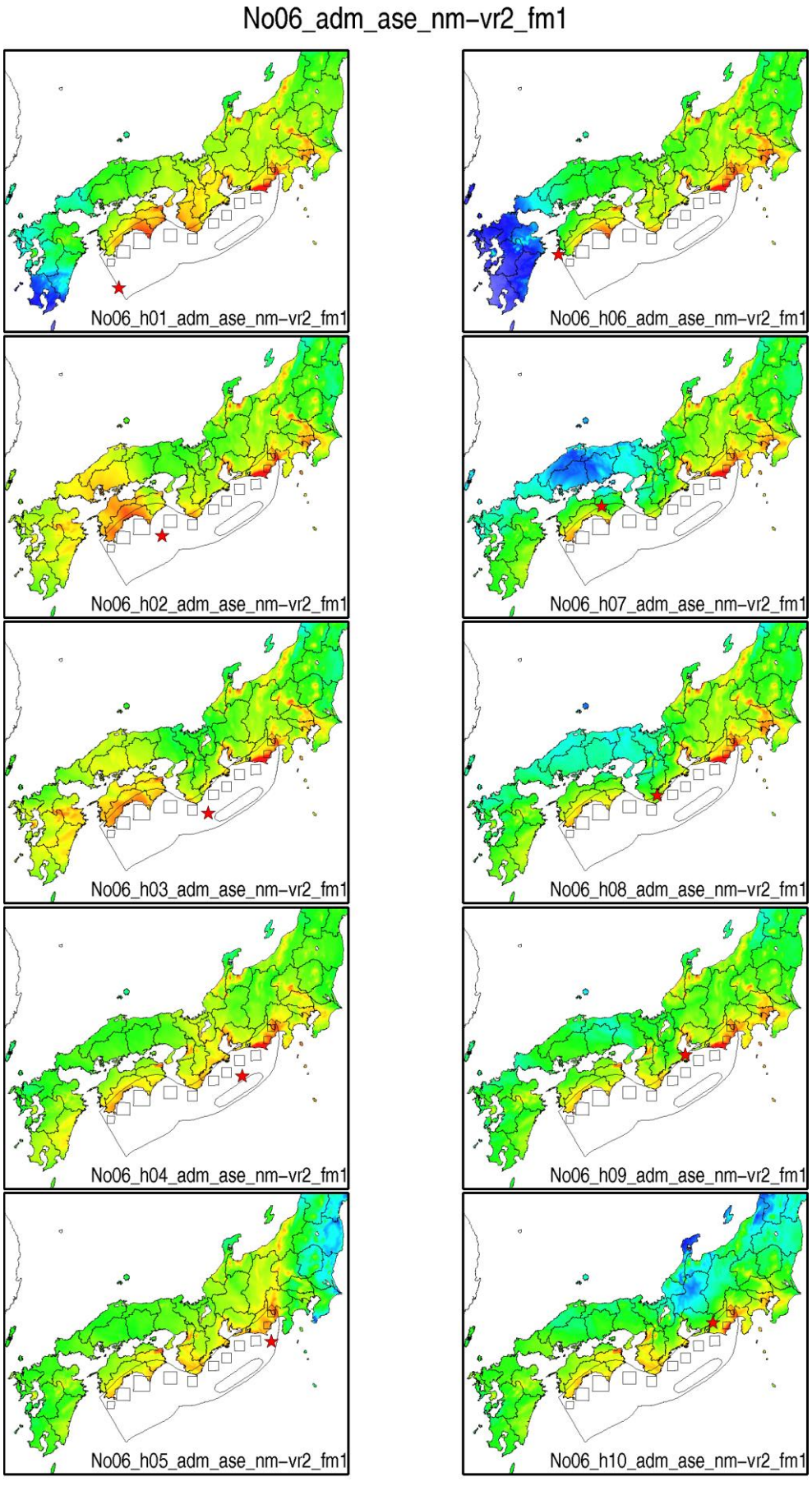
No06_adm_ase_nm-vr1_fm1



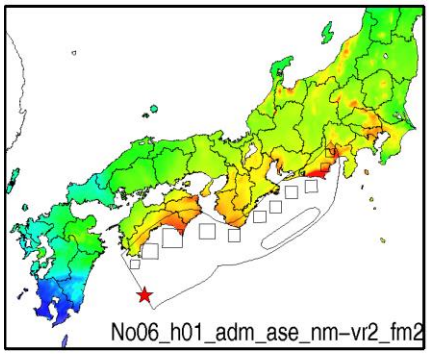


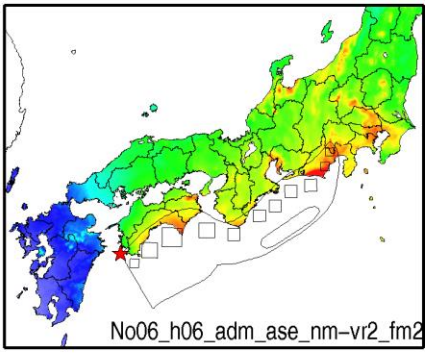


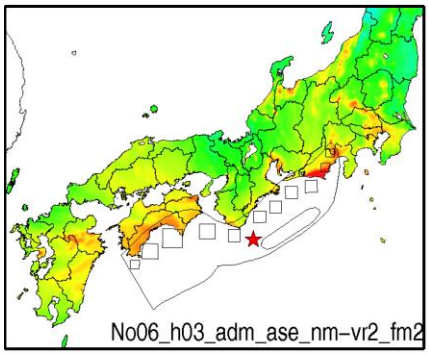


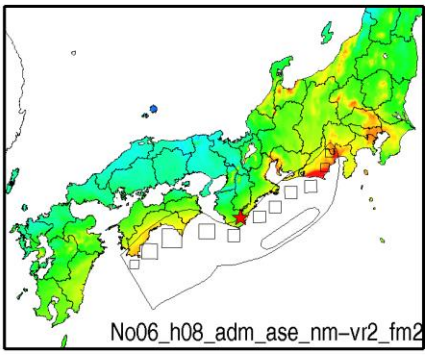

No06_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h01_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h06_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h02_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h07_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h03_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h08_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h04_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h09_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h05_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h10_adm_ase_nm-vr2_fm1
0.0 2.5 5.0 12.5 25.0 50.0 100.0 200.0
PGV,cm/s

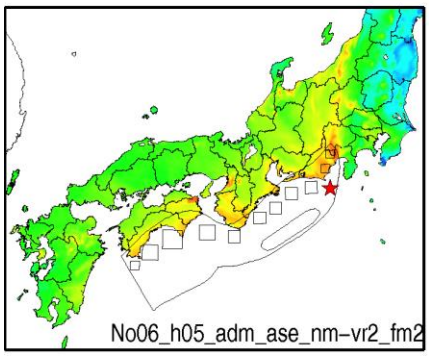
No06_adm_ase_nm-vr2_fm2

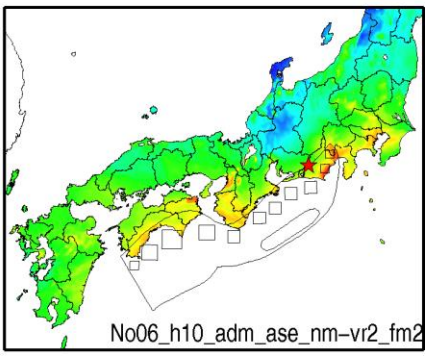


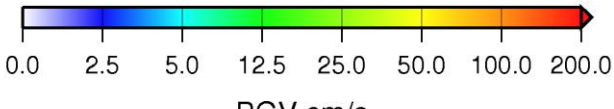




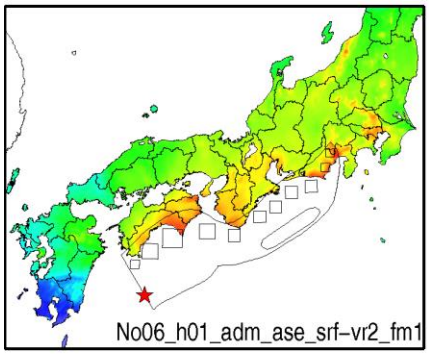


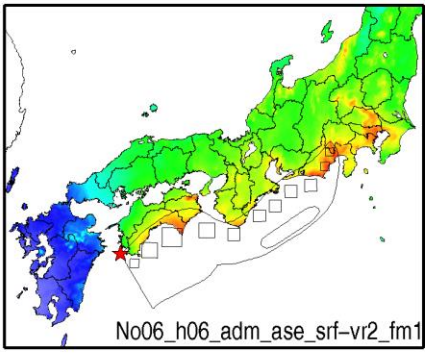


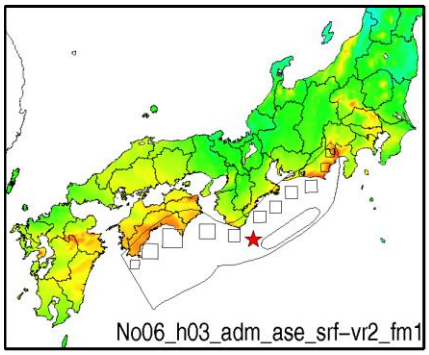


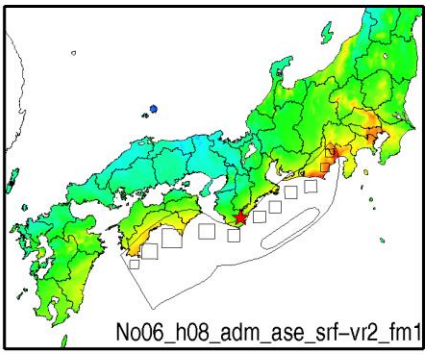


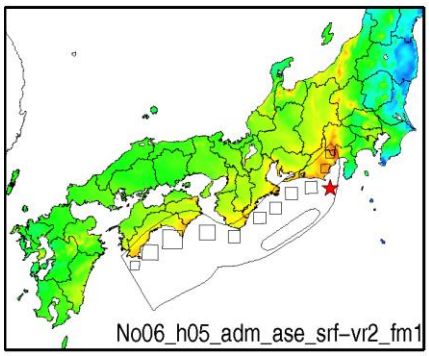
No06_adm_ase_srf-vr2_fm1

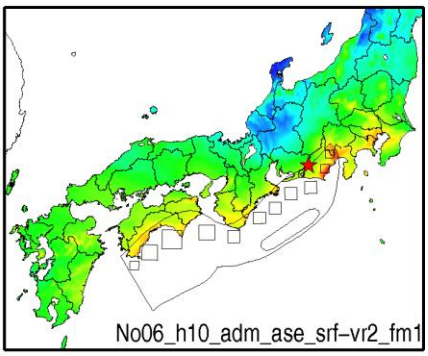


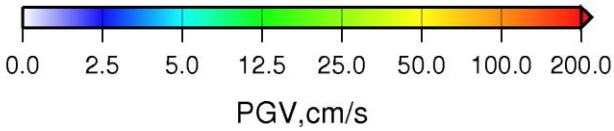




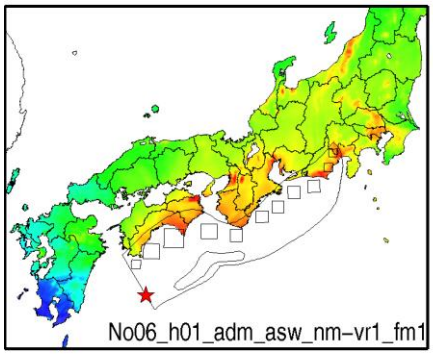


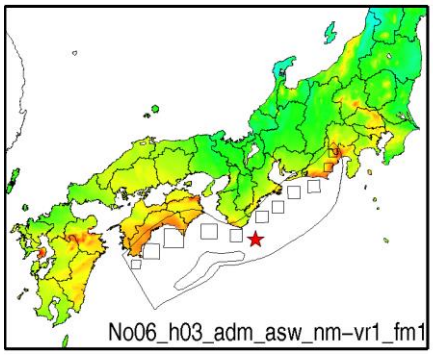


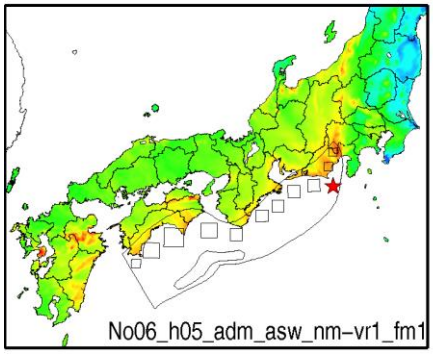


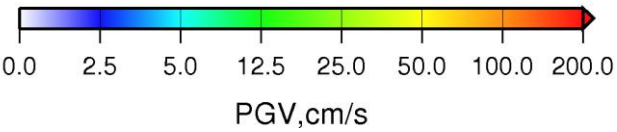


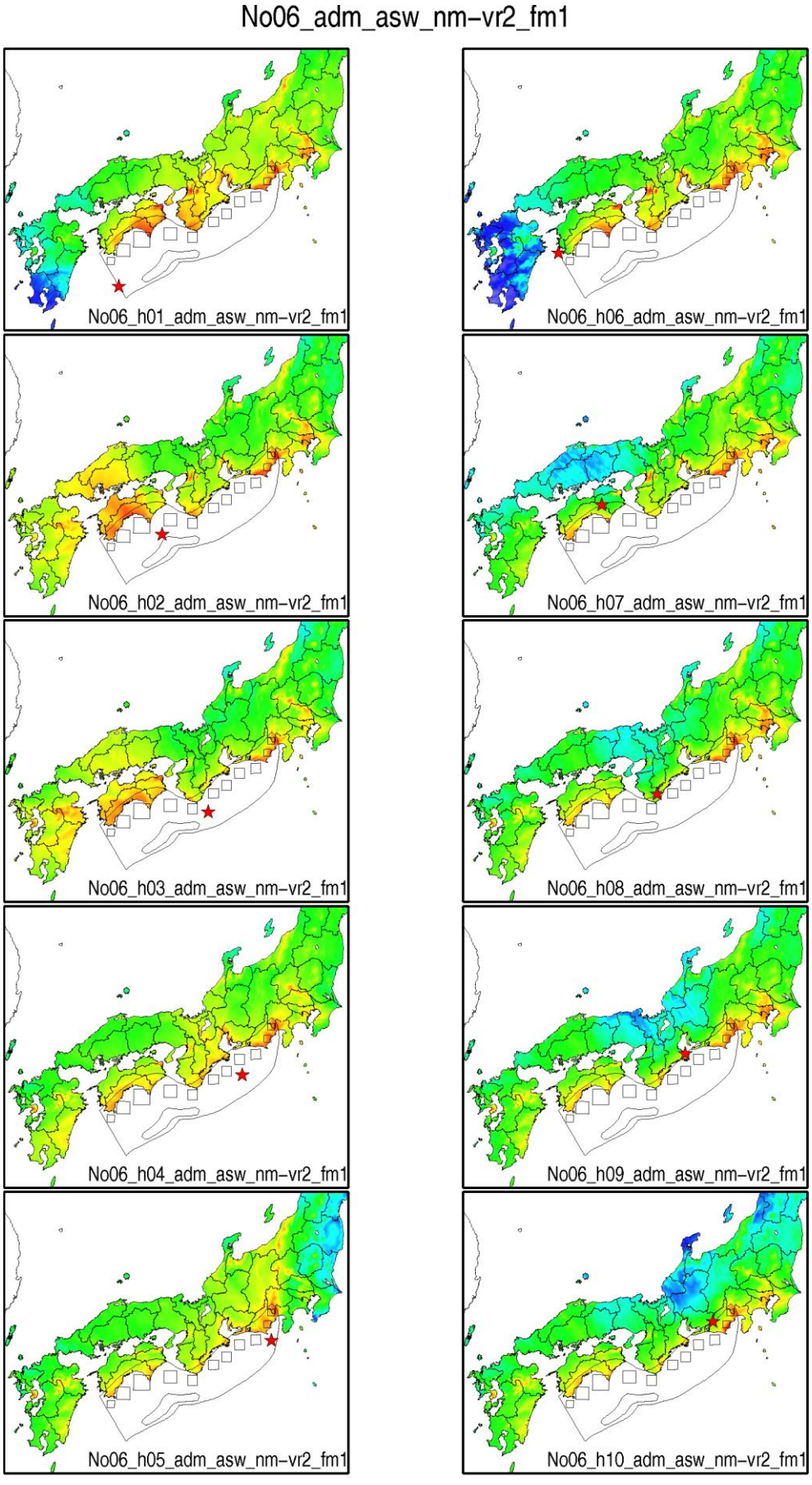
No06_adm_asw_nm-vr1_fm1



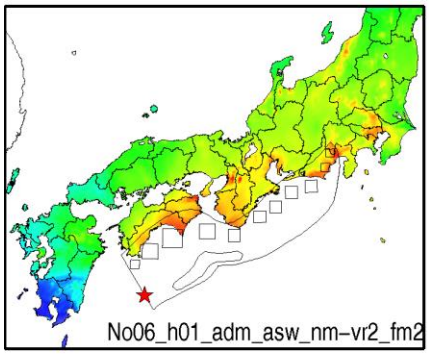


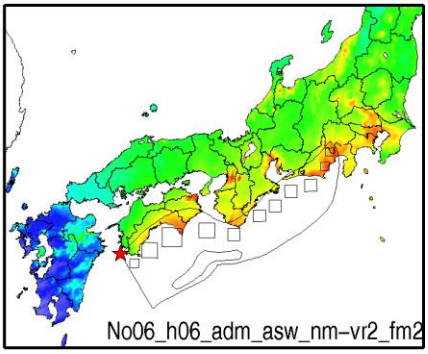


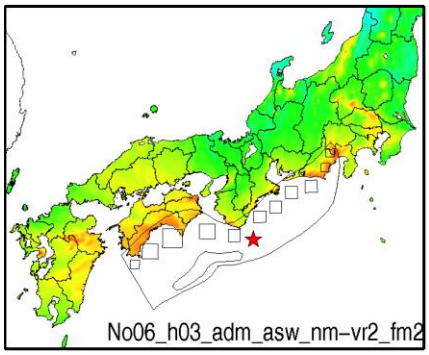


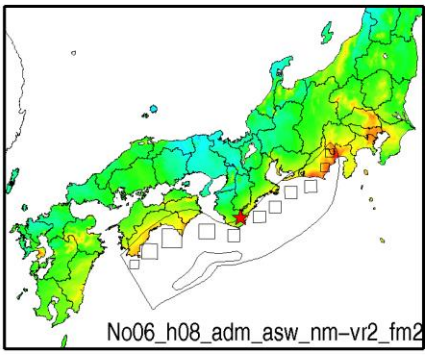

No06_adm_asw_nm-vr2_fm1
No06_h01_adm_asw_nm-vr2_fm1
No06_h06_adm_asw_nm-vr2_fm1
No06_h02_adm_asw_nm-vr2_fm1
No06_h07_adm_asw_nm-vr2_fm1
No06_h03_adm_asw_nm-vr2_fm1
No06_h08_adm_asw_nm-vr2_fm1
No06_h04_adm_asw_nm-vr2_fm1
No06_h09_adm_asw_nm-vr2_fm1
No06_h05_adm_asw_nm-vr2_fm1
No06_h10_adm_asw_nm-vr2_fm1
0.0
2.5
5.0
12.5
25.0
50.0
100.0
200.0
PGV,cm/s

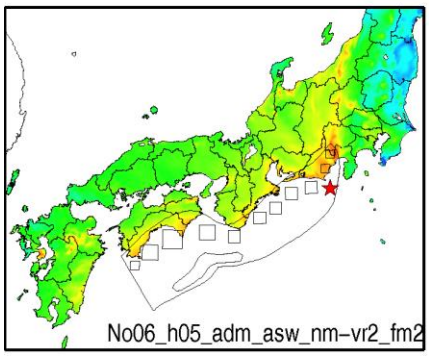
No06_adm_asw_nm-vr2_fm2

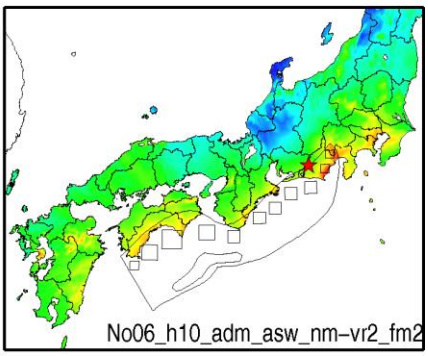


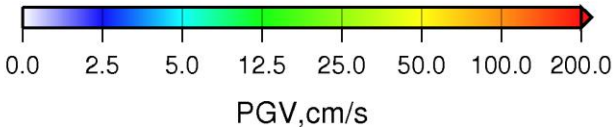




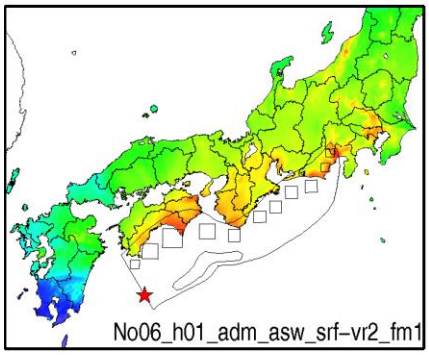


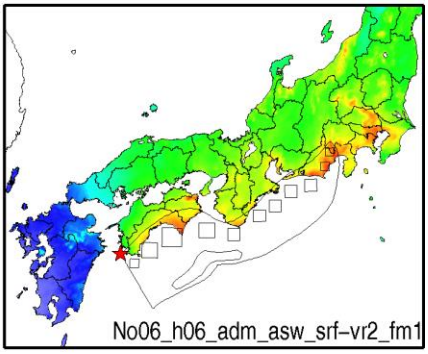


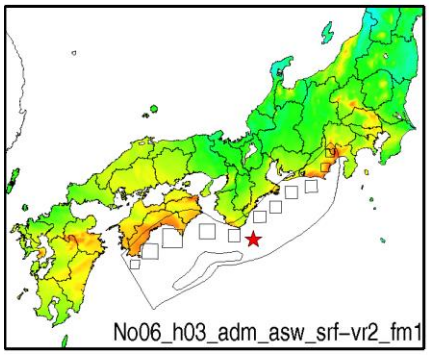


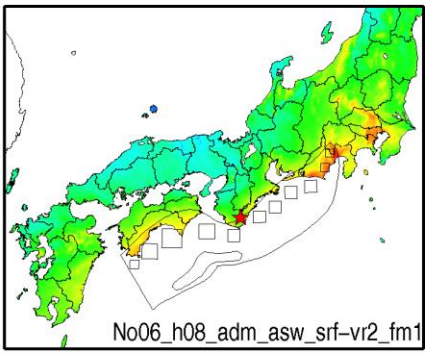


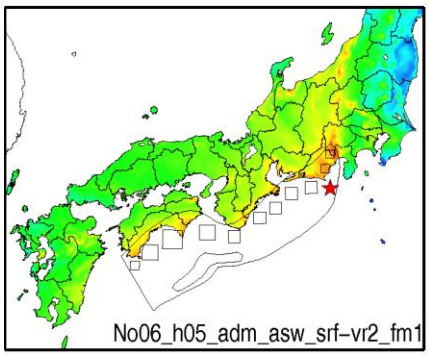
No06_adm_asw_srf-vr2_fm1

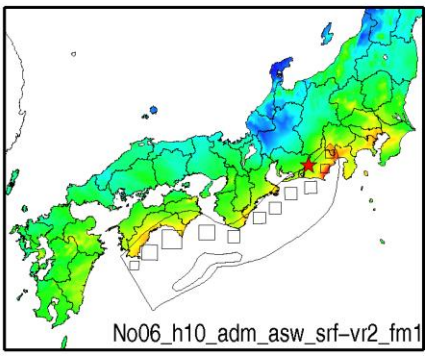


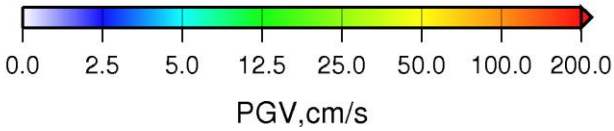




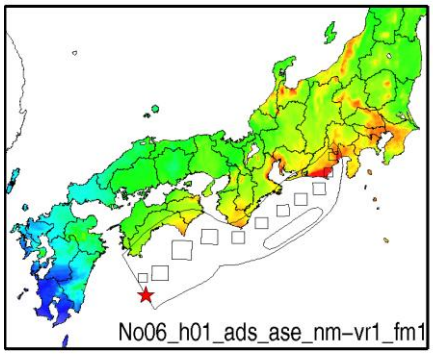


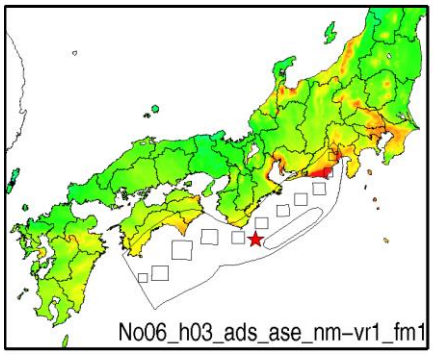


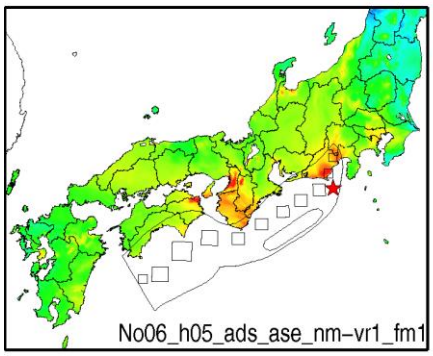


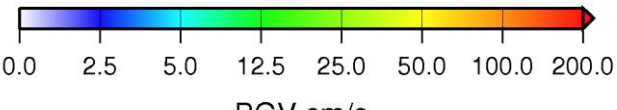


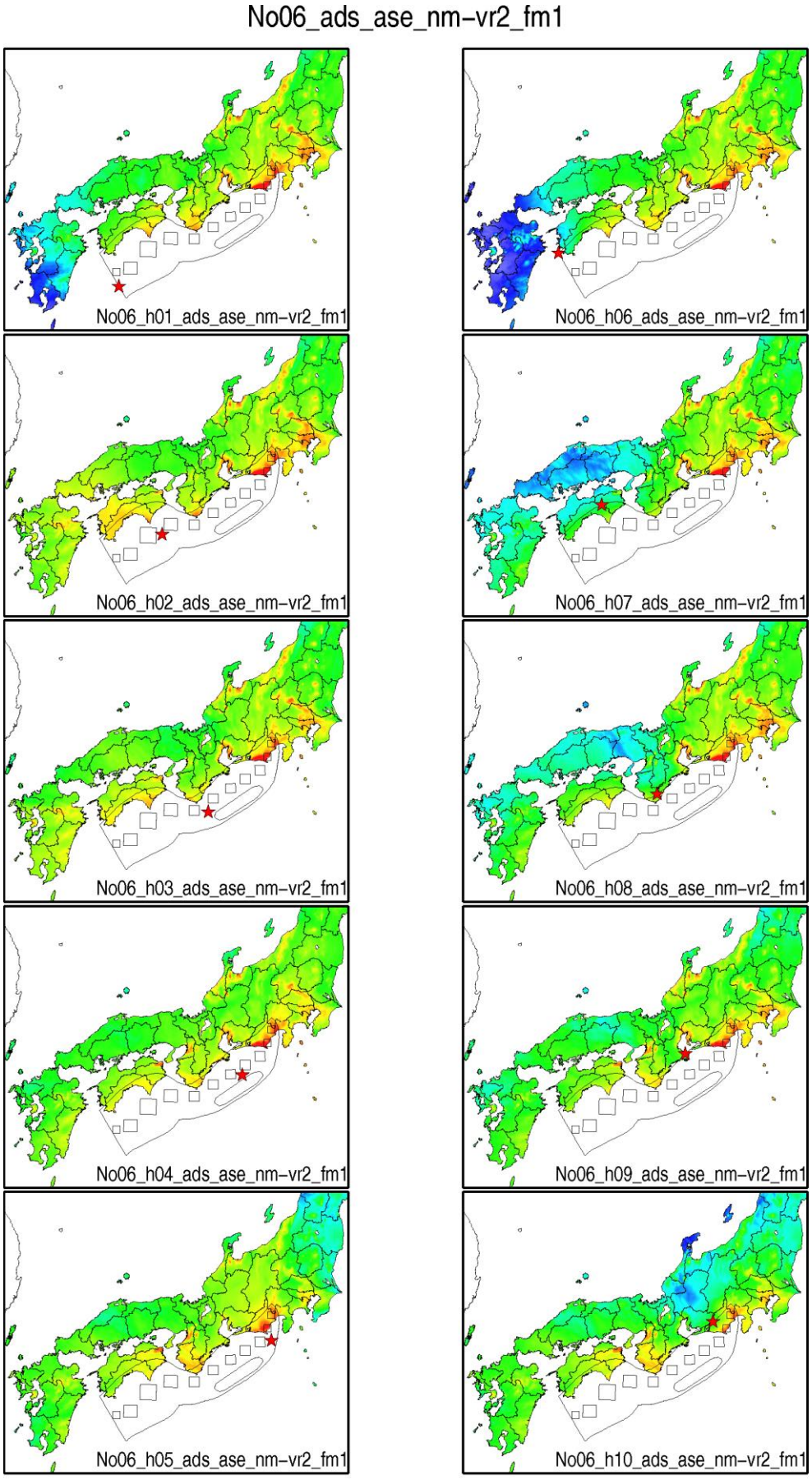
No06_ads_ase_nm-vr1_fm1



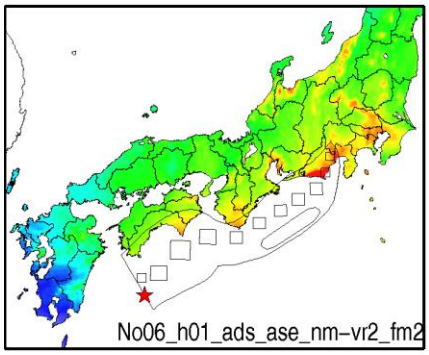


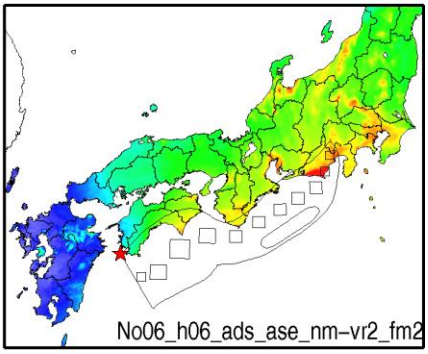


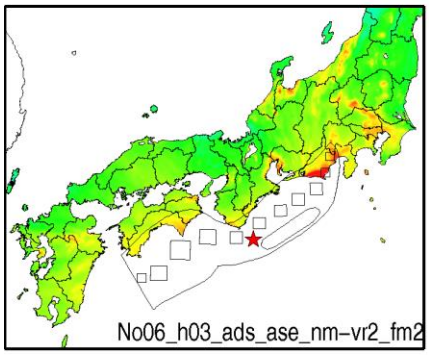


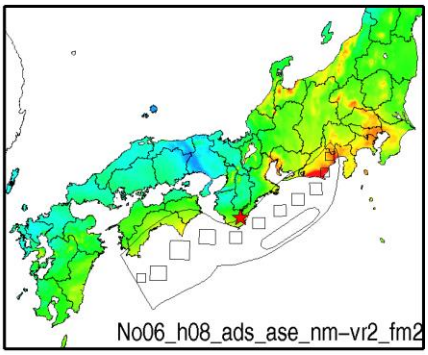

No06_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h01_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h06_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h02_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h07_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h03_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h08_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h04_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h09_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h05_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h10_ads_ase_nm-vr2_fm1
0.0 2.5 5.0 12.5 25.0 50.0 100.0 200.0
PGV,cm/s

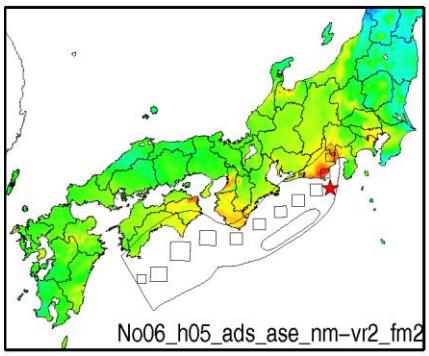
No06_ads_ase_nm-vr2_fm2

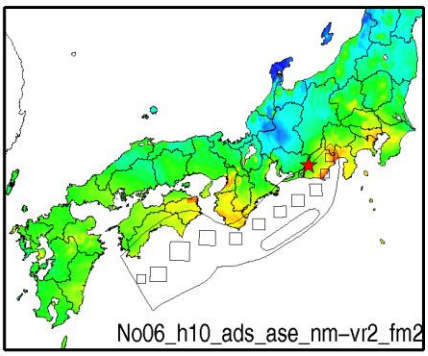


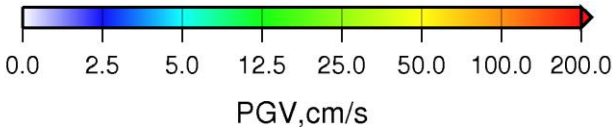




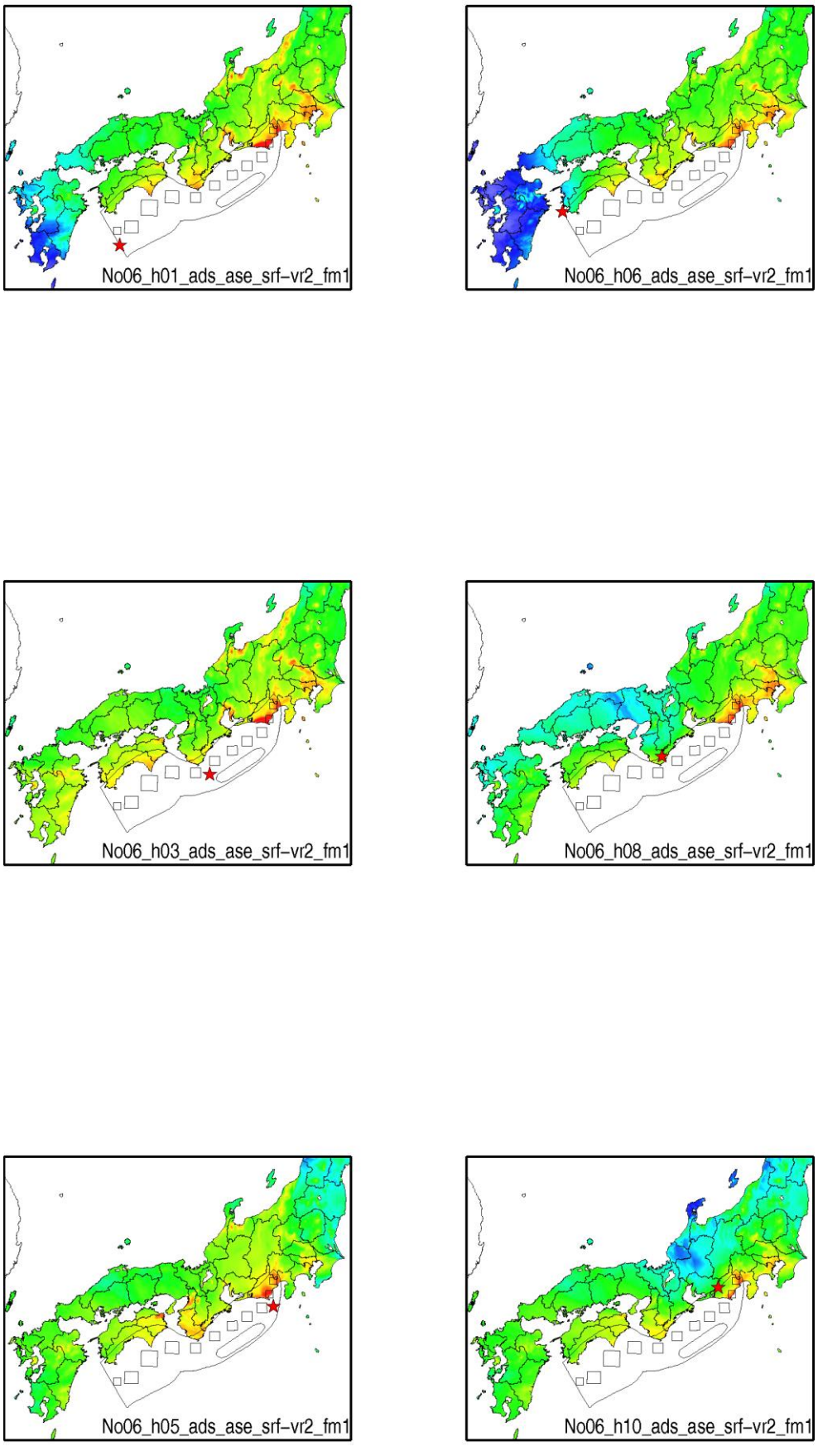




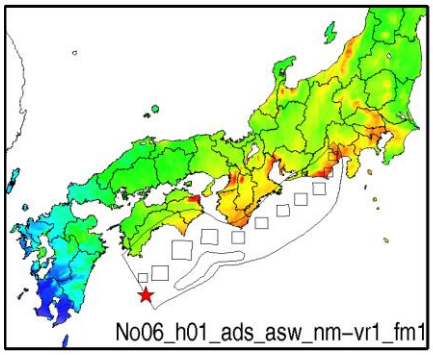


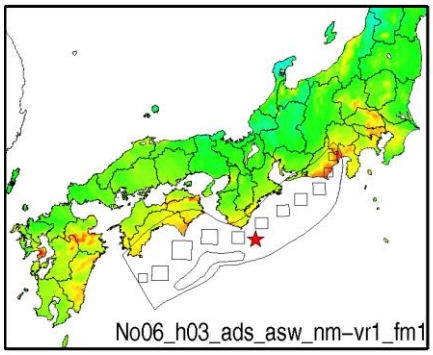


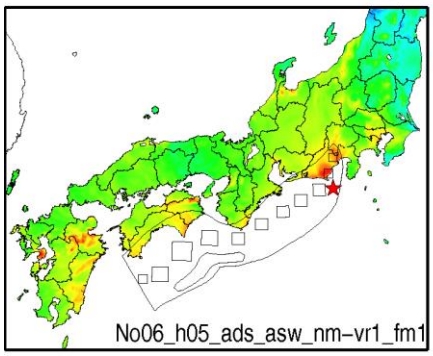
No06_ads_ase_srf-vr2_fm1

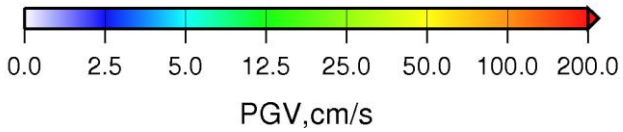


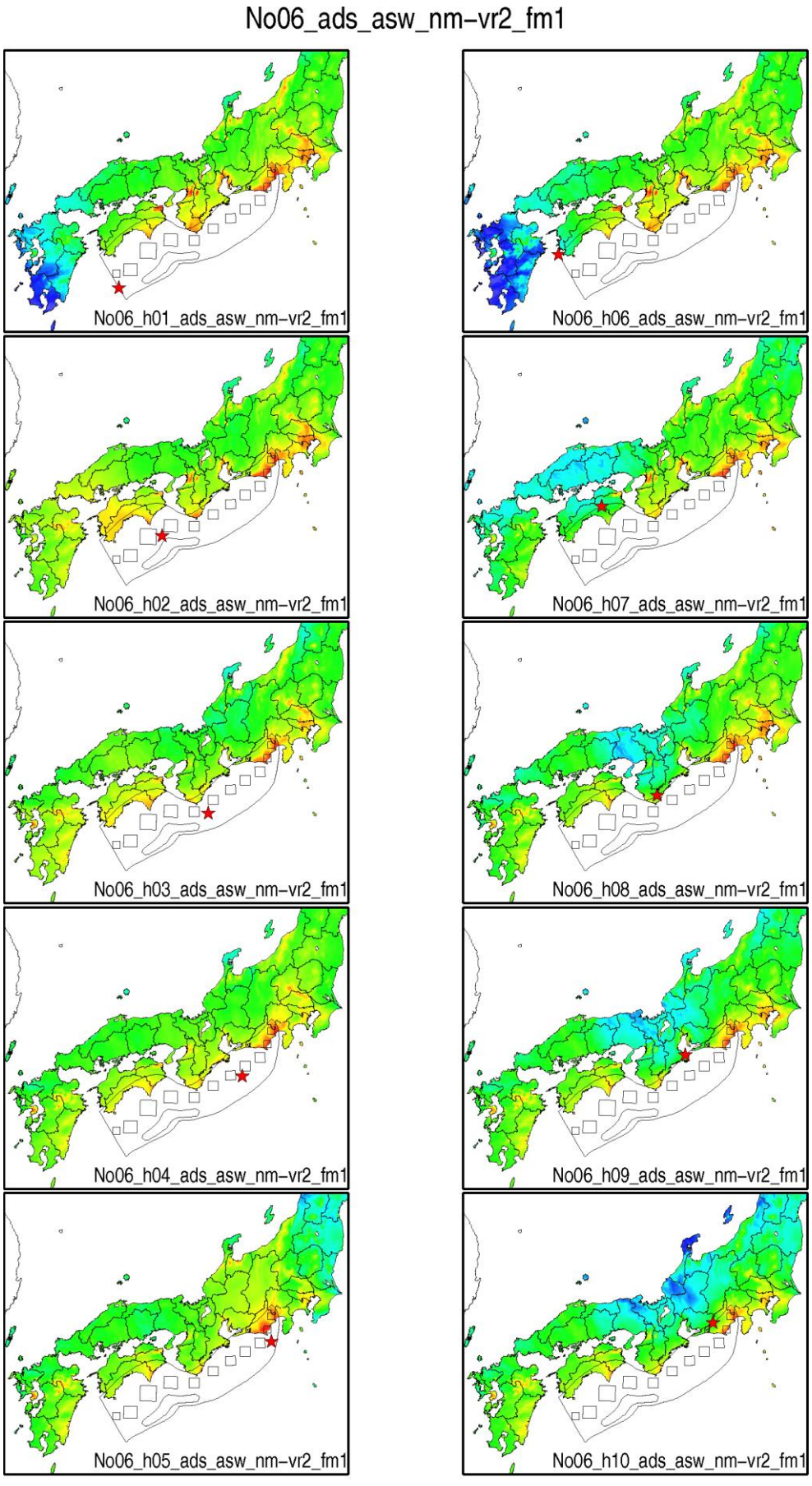
No06_ads_asw_nm-vr1_fm1



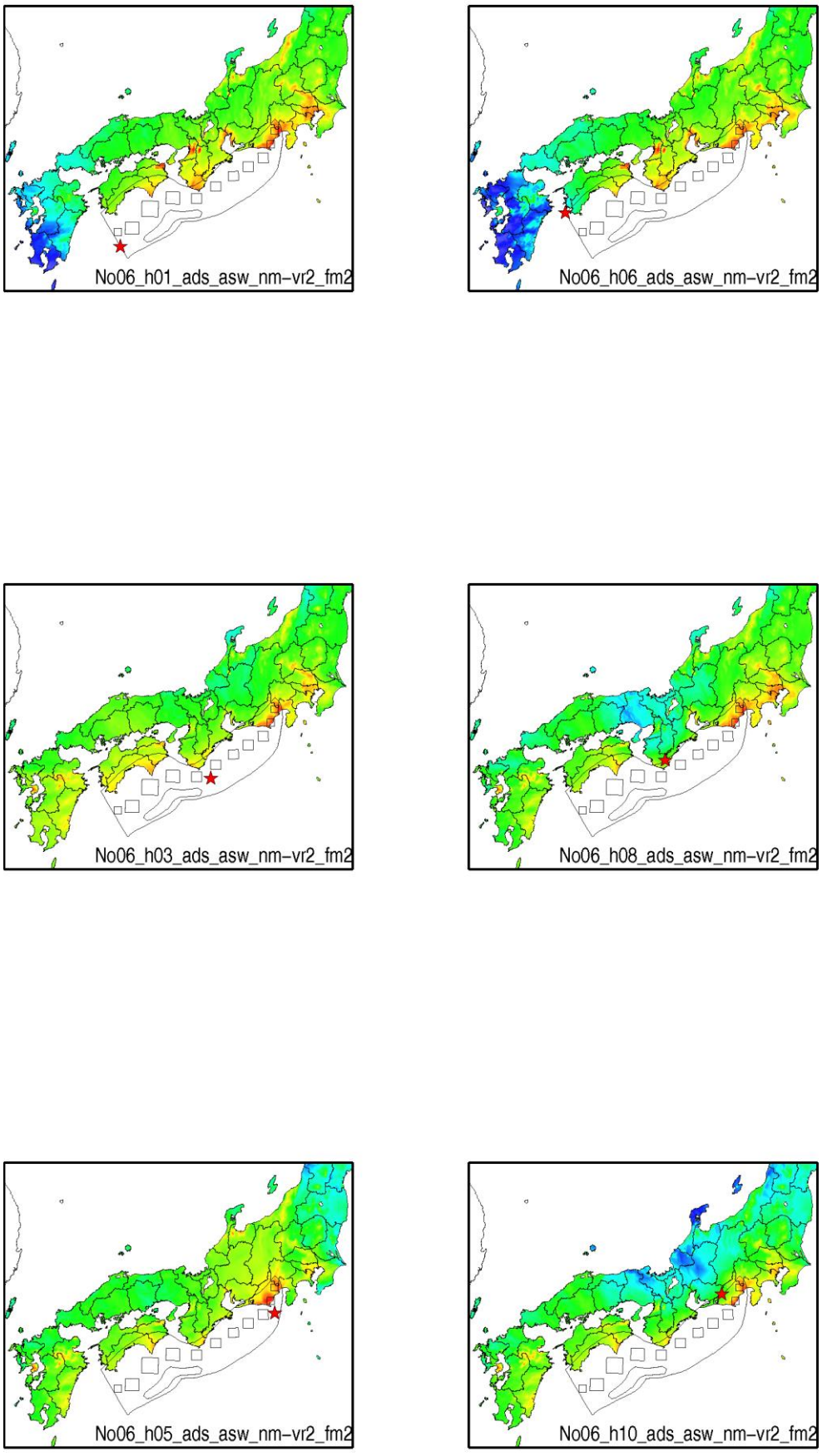




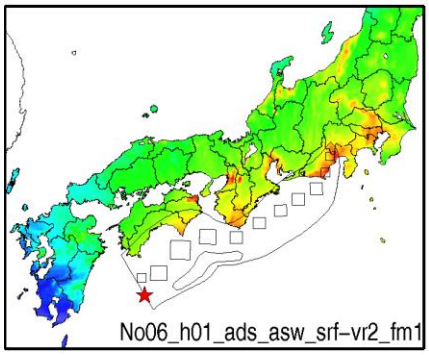


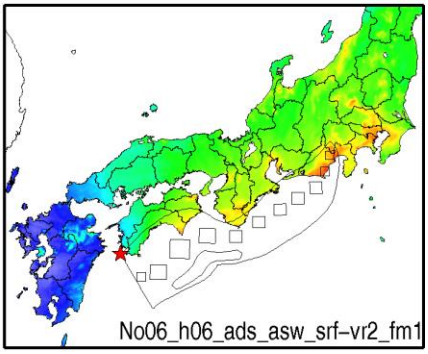

No06_ads_asw_nm-vr2_fm1
No06_h01_ads_asw_nm-vr2_fm1
No06_h06_ads_asw_nm-vr2_fm1
No06_h02_ads_asw_nm-vr2_fm1
No06_h07_ads_asw_nm-vr2_fm1
No06_h03_ads_asw_nm-vr2_fm1
No06_h08_ads_asw_nm-vr2_fm1
No06_h04_ads_asw_nm-vr2_fm1
No06_h09_ads_asw_nm-vr2_fm1
No06_h05_ads_asw_nm-vr2_fm1
No06_h10_ads_asw_nm-vr2_fm1
0.0 2.5 5.0 12.5 25.0 50.0 100.0 200.0
PGV,cm/s

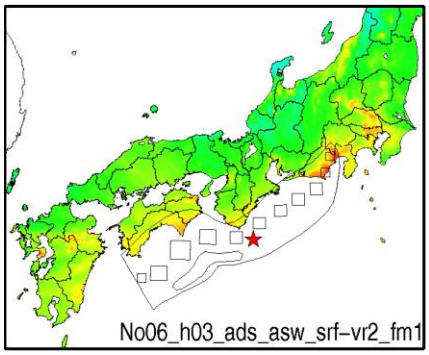
No06_ads_asw_nm-vr2_fm2

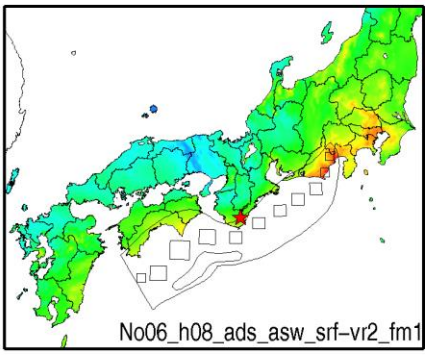


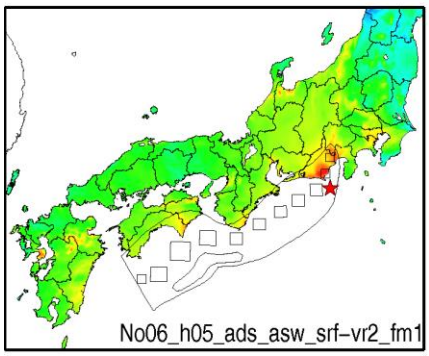
No06_ads_asw_srf-vr2_fm1

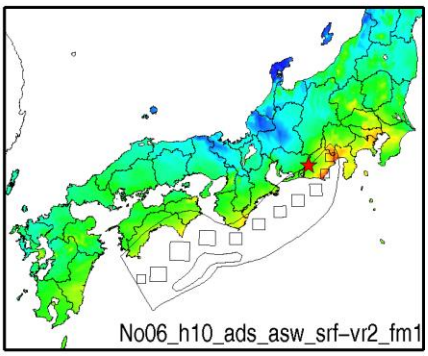


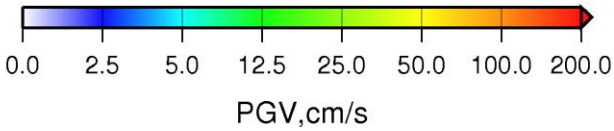




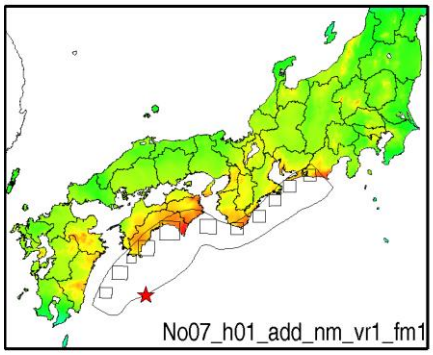


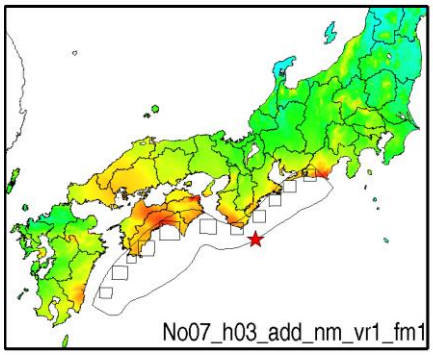


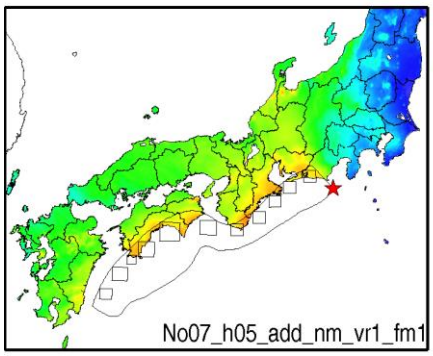


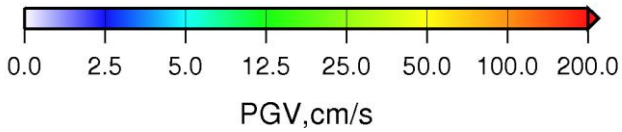


No07_r2_add_nm_vr1_fm1

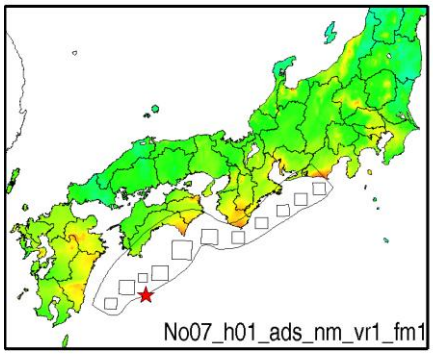


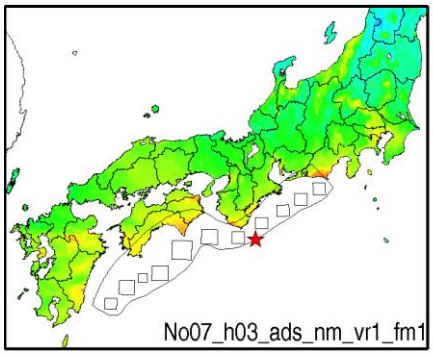


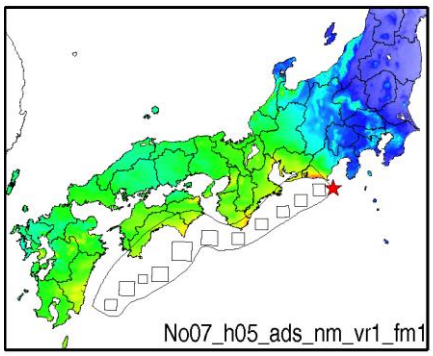


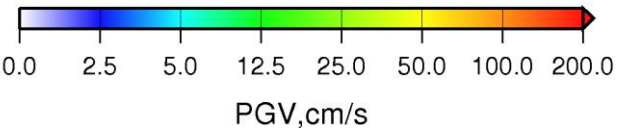


No07_r2_ads_nm_vr1_fm1

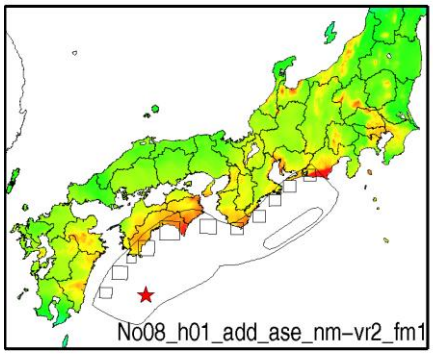


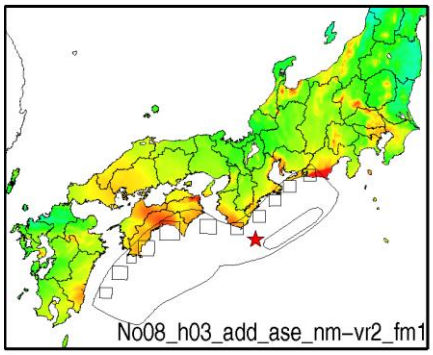


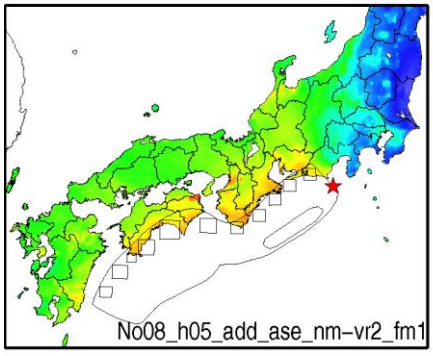


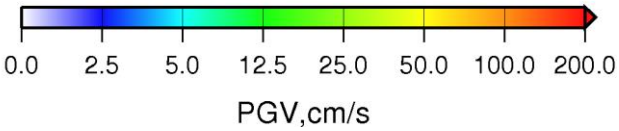


No08_add_ase_nm-vr2_fm1

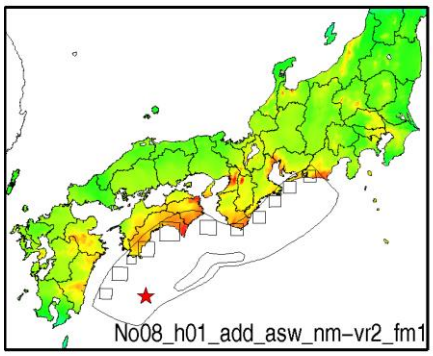


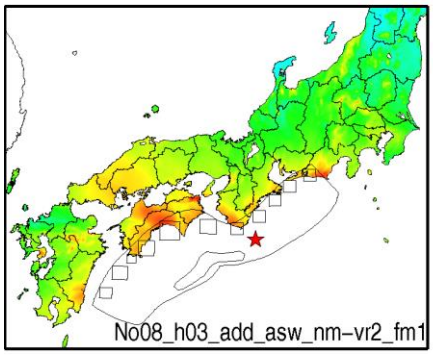


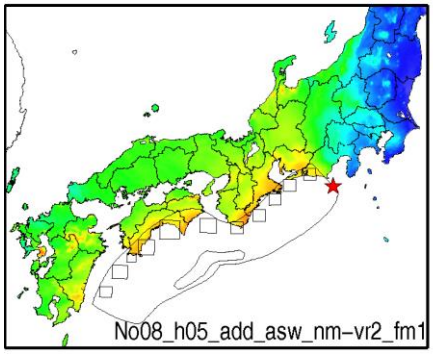


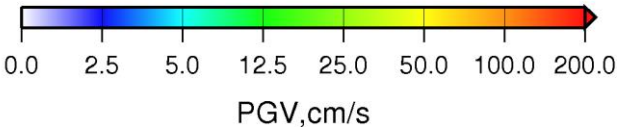


No08_add_asw_nm-vr2_fm1

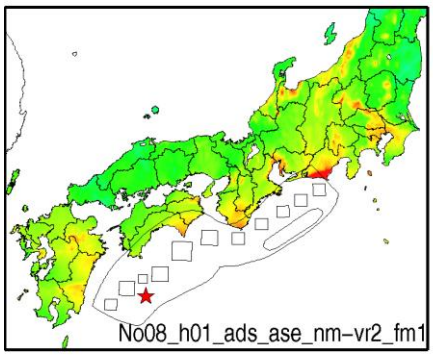


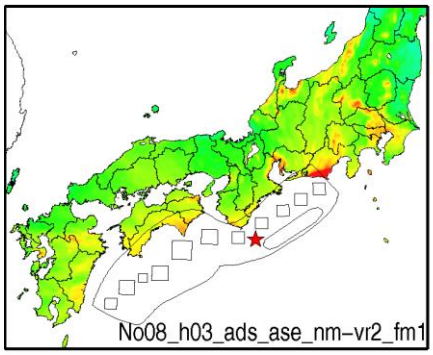


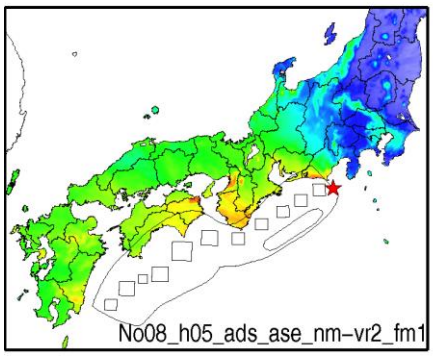


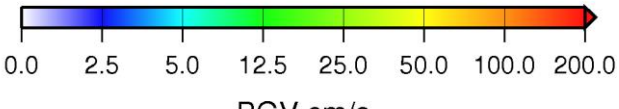


No08_ads_ase_nm-vr2_fm1

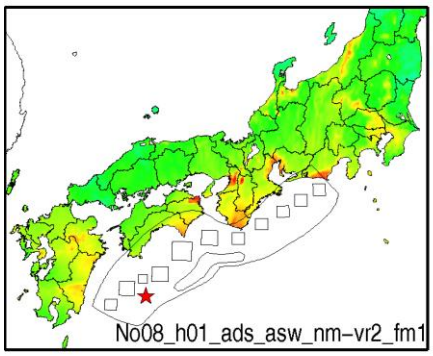


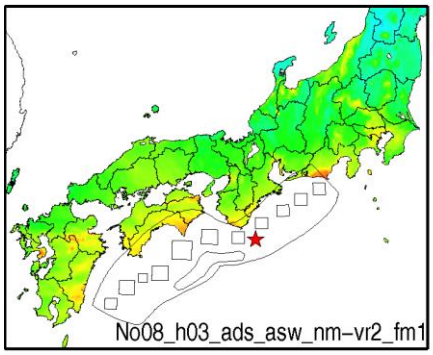


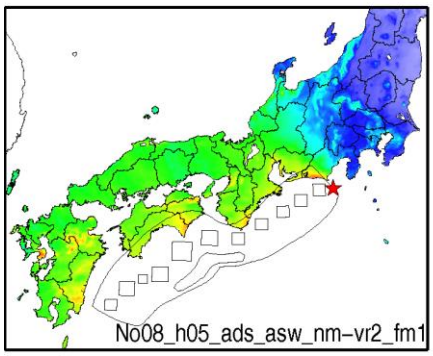


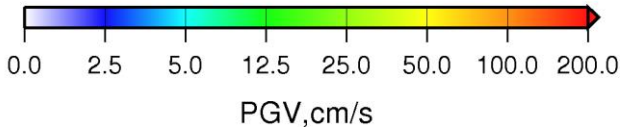


No08_ads_asw_nm-vr2_fm1

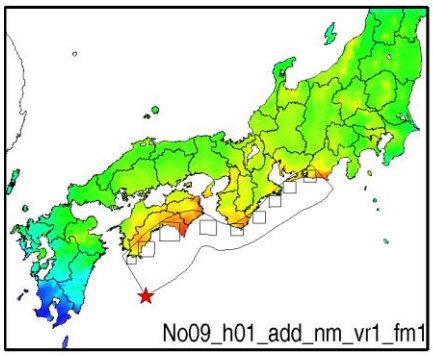


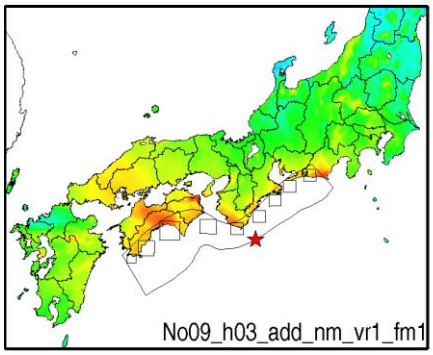


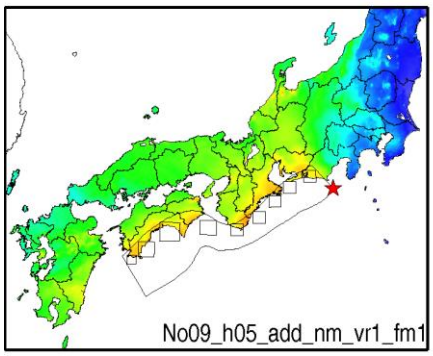


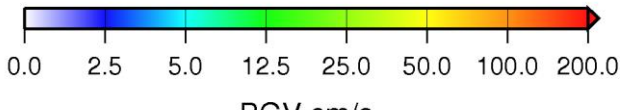


No09_r2_add_nm_vr1_fm1

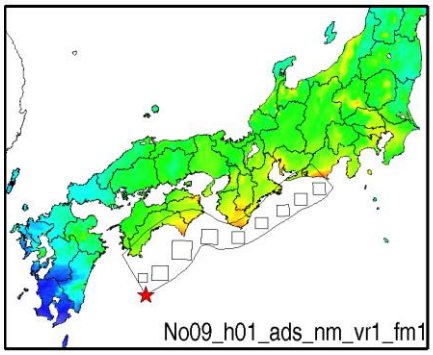


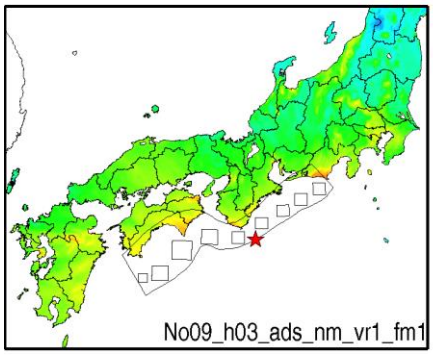


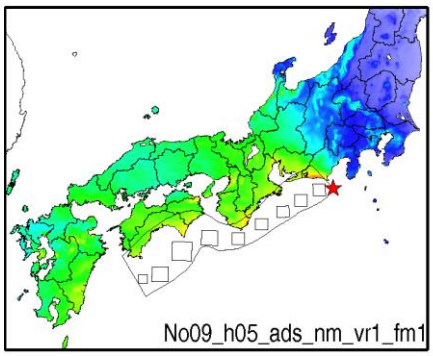


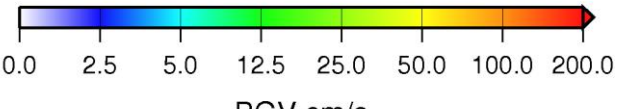


No09_r2_ads_nm_vr1_fm1

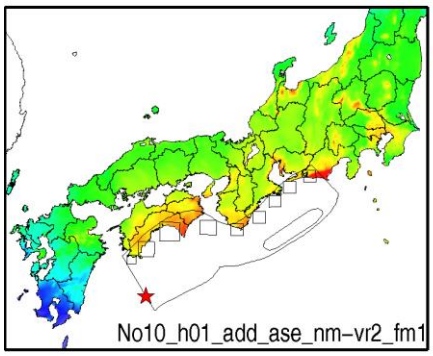


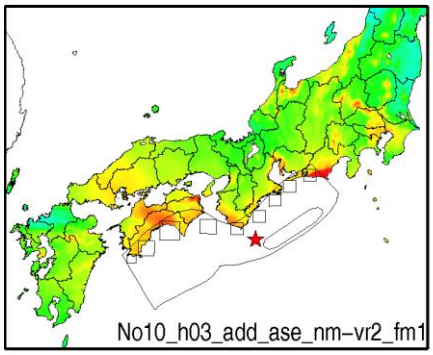


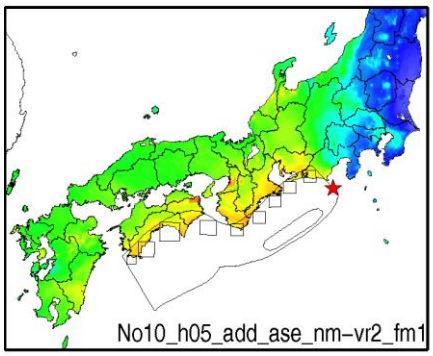


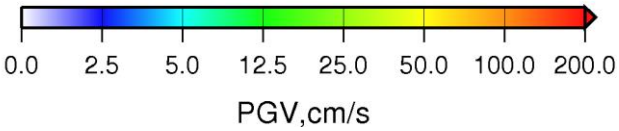


No10_add_ase_nm-vr2_fm1

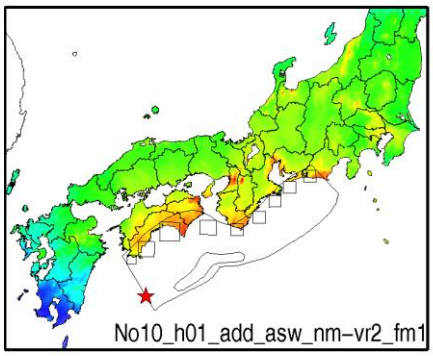


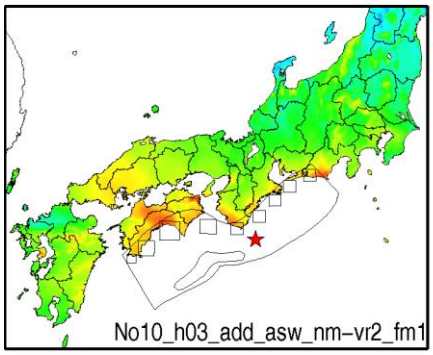


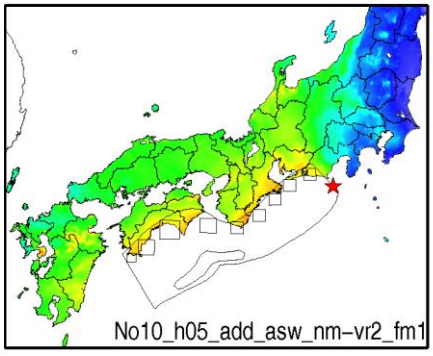


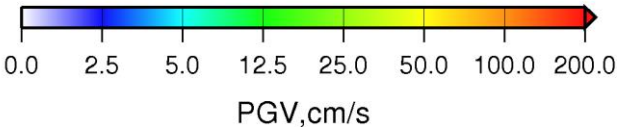


No10_add_asw_nm-vr2_fm1

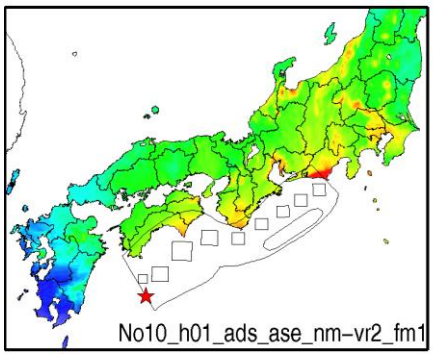


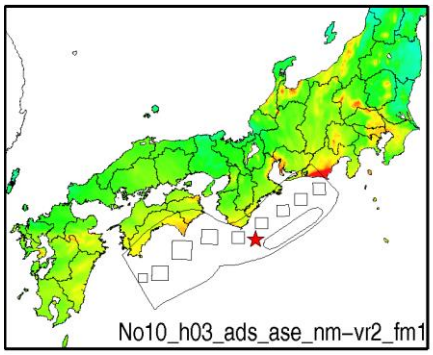


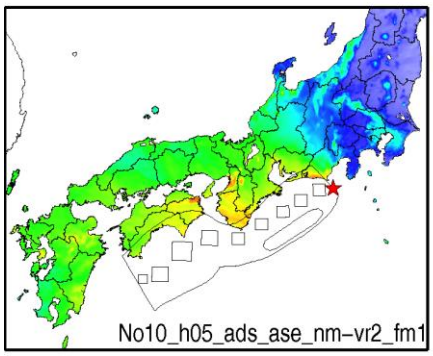


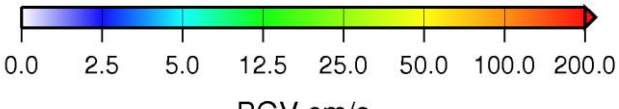


No10_ads_ase_nm-vr2_fm1

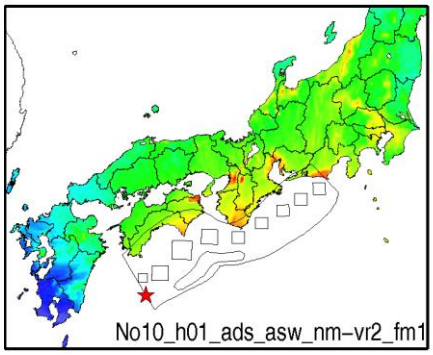


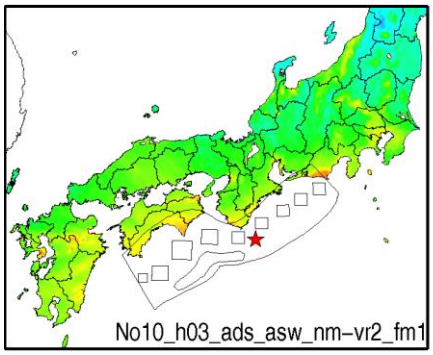


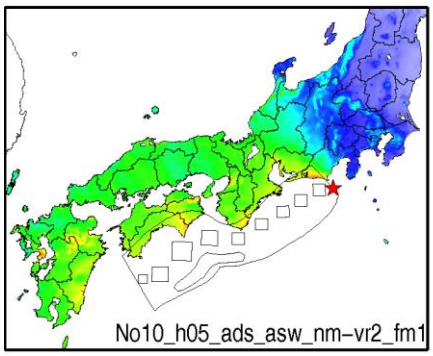


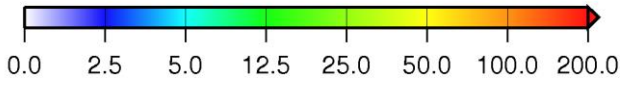


No10_ads_asw_nm-vr2_fm1

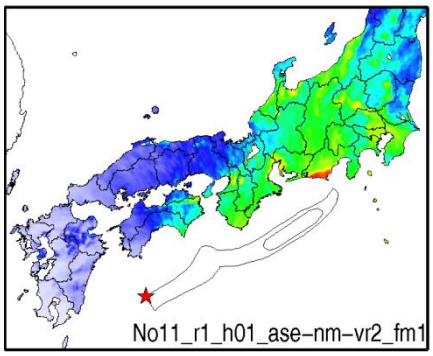


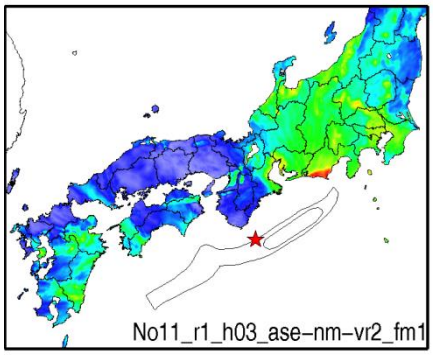


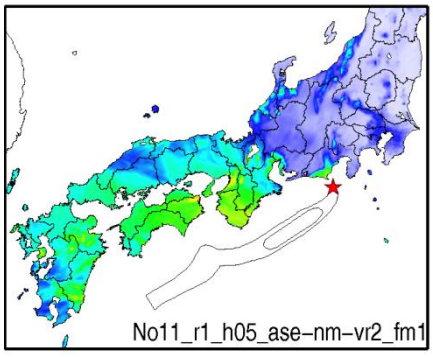


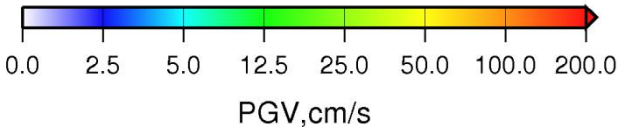


No11_r1_ase-nm-vr2_fm1

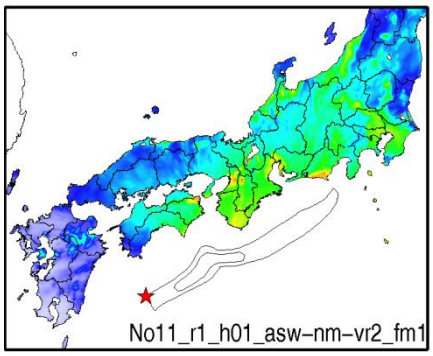


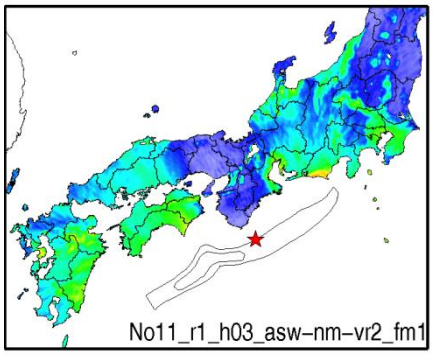


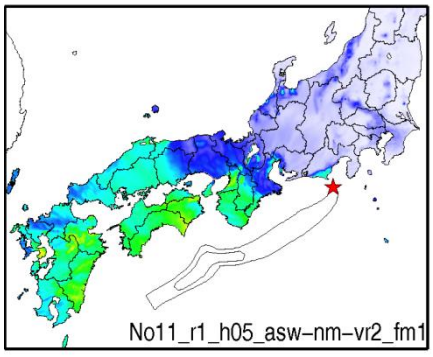


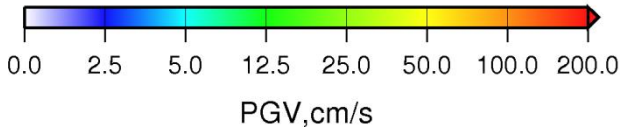


No11_r1_asw-nm-vr2_fm1

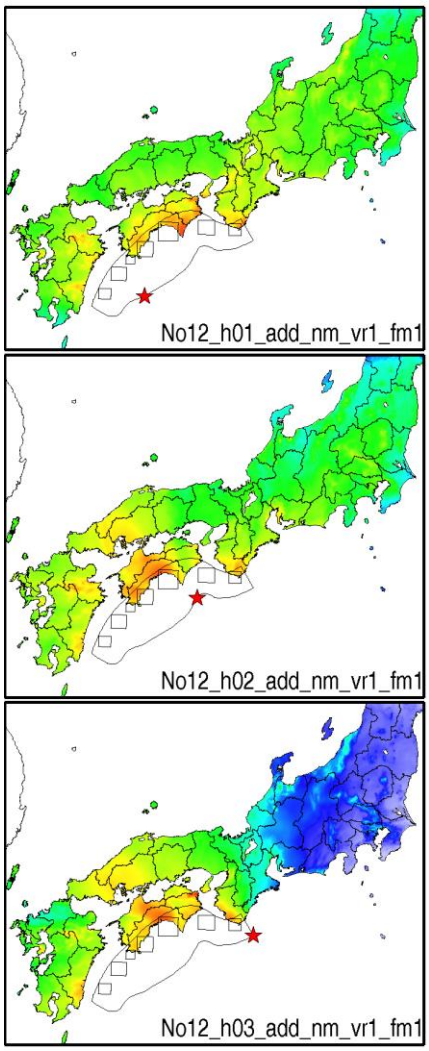


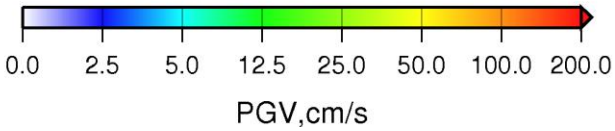




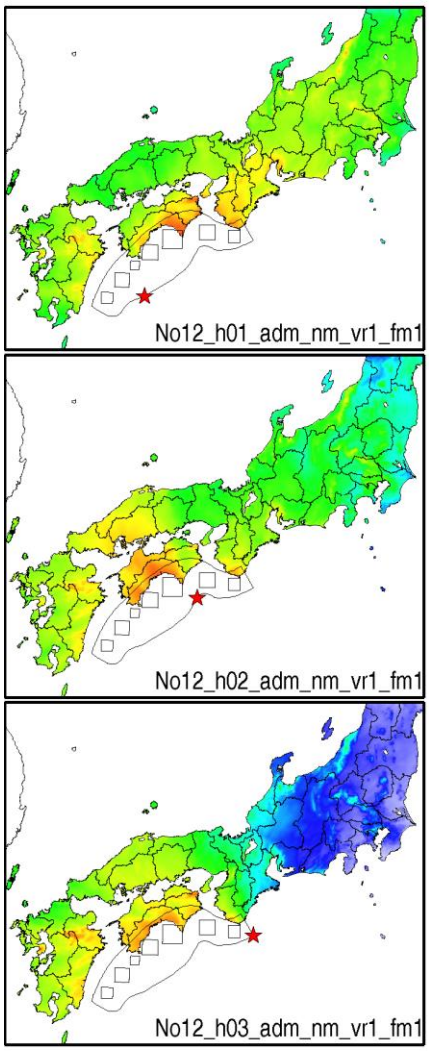


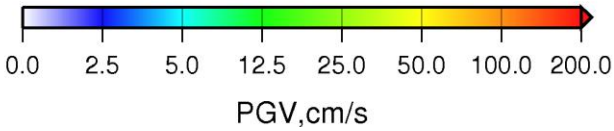
No12_r2_add_nm_vr1_fm1



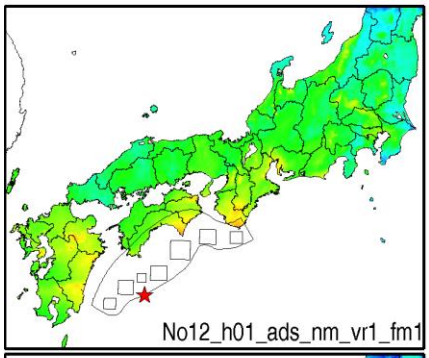


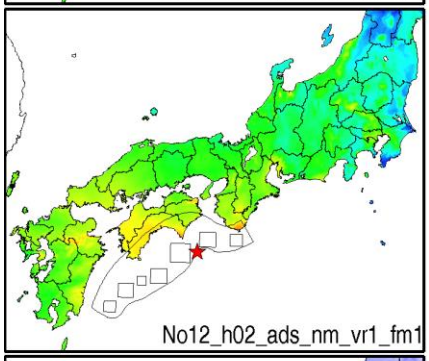
No12_r2_adm_nm_vr1_fm1

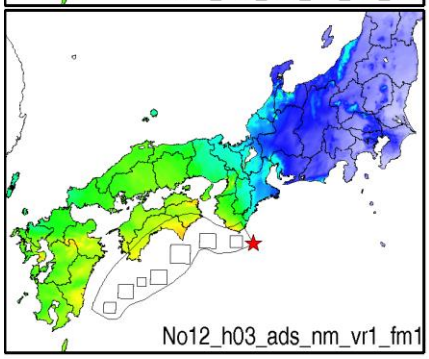


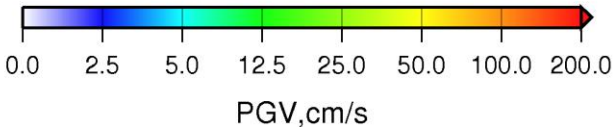


No12_r2_ads_nm_vr1_fm1

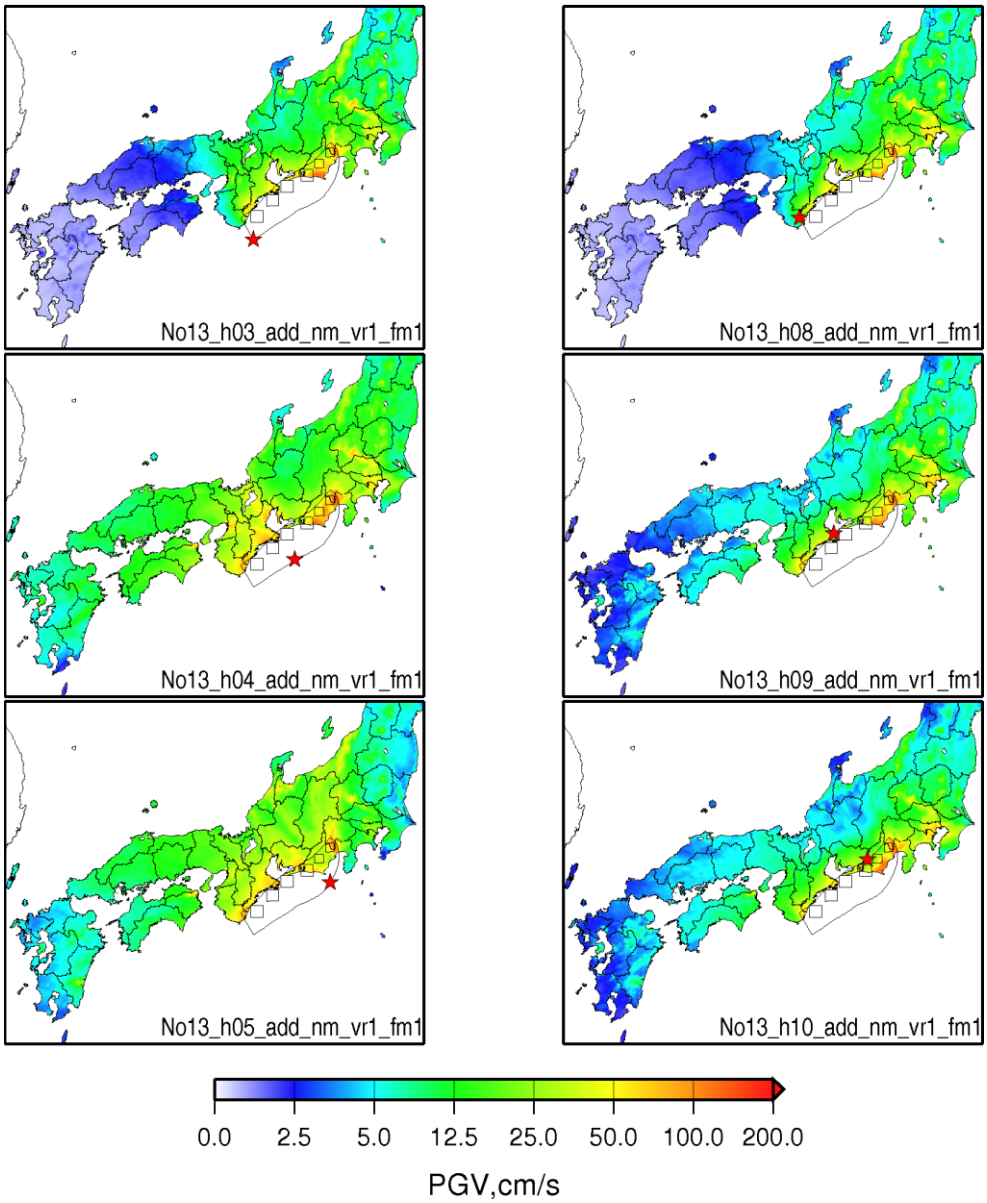




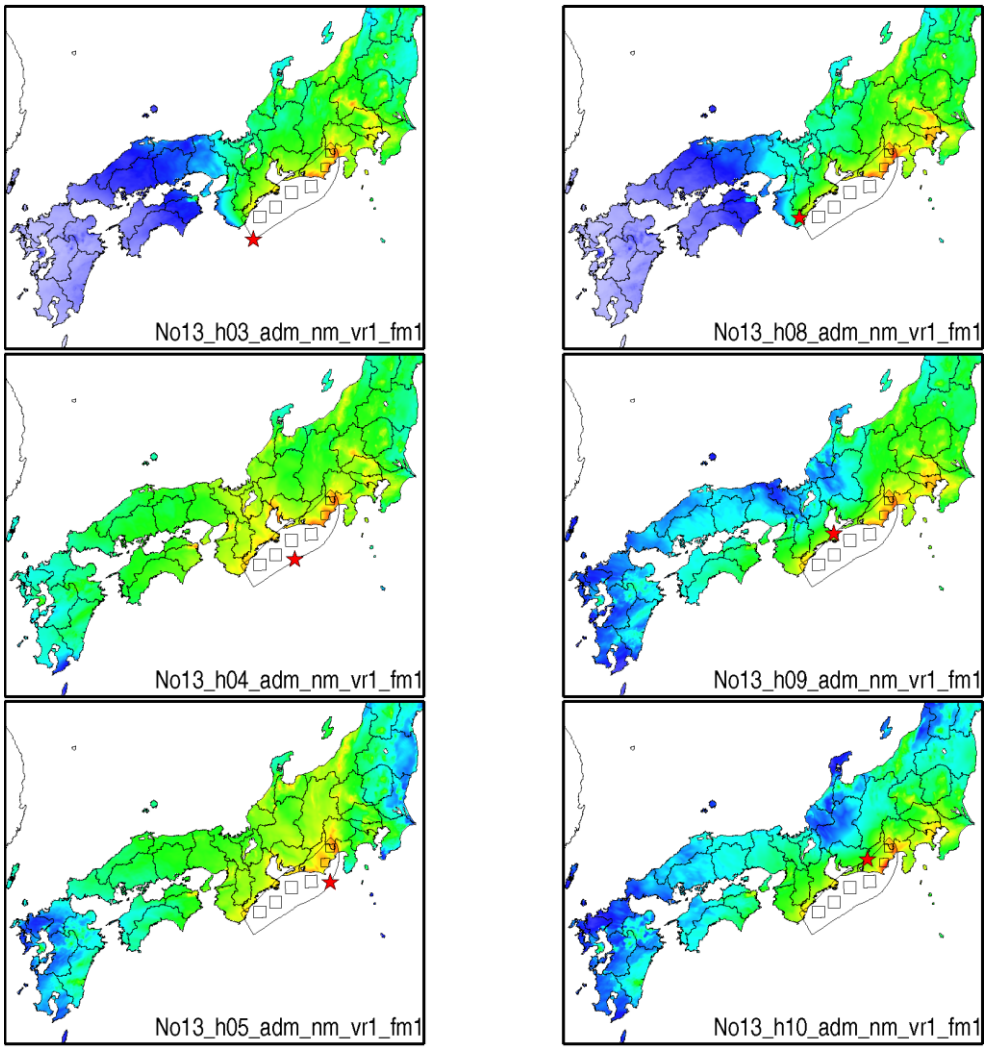




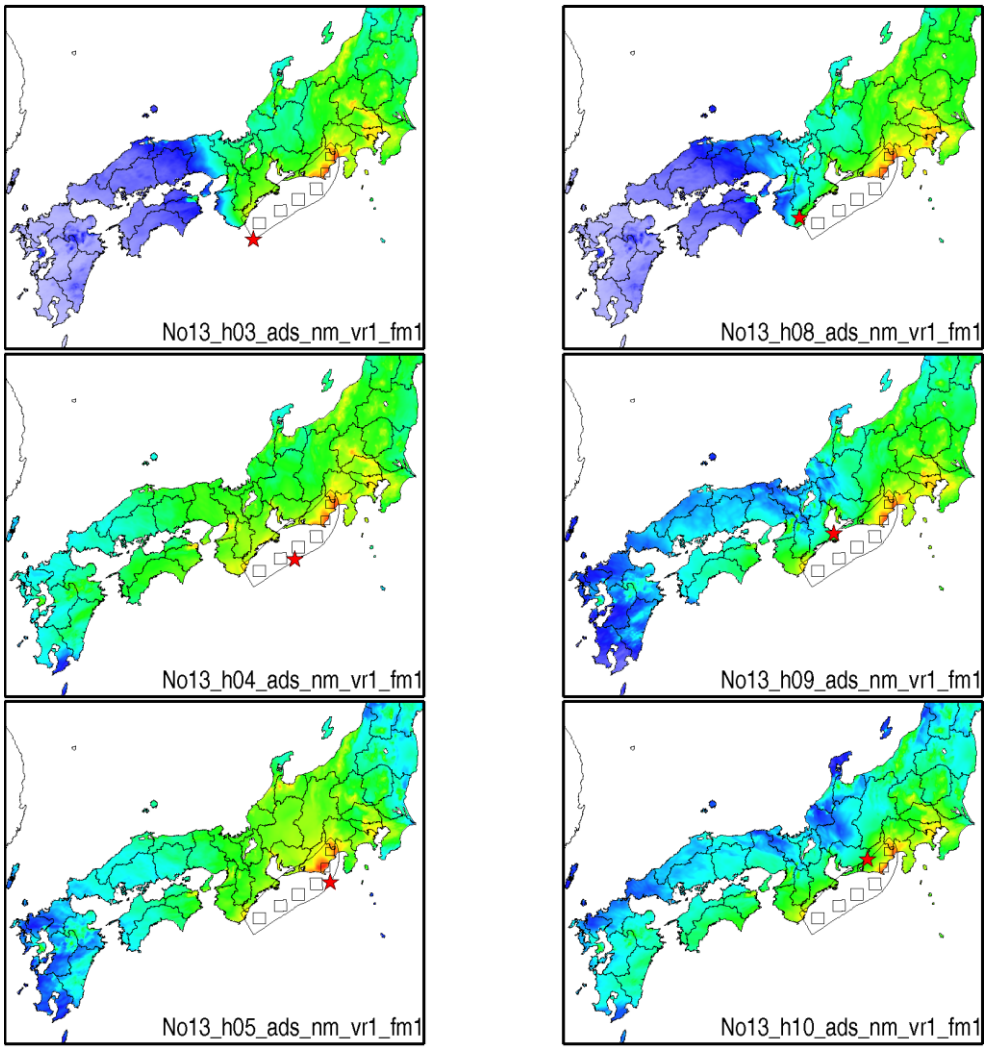
No13_r2_add_nm_vr1_fm1



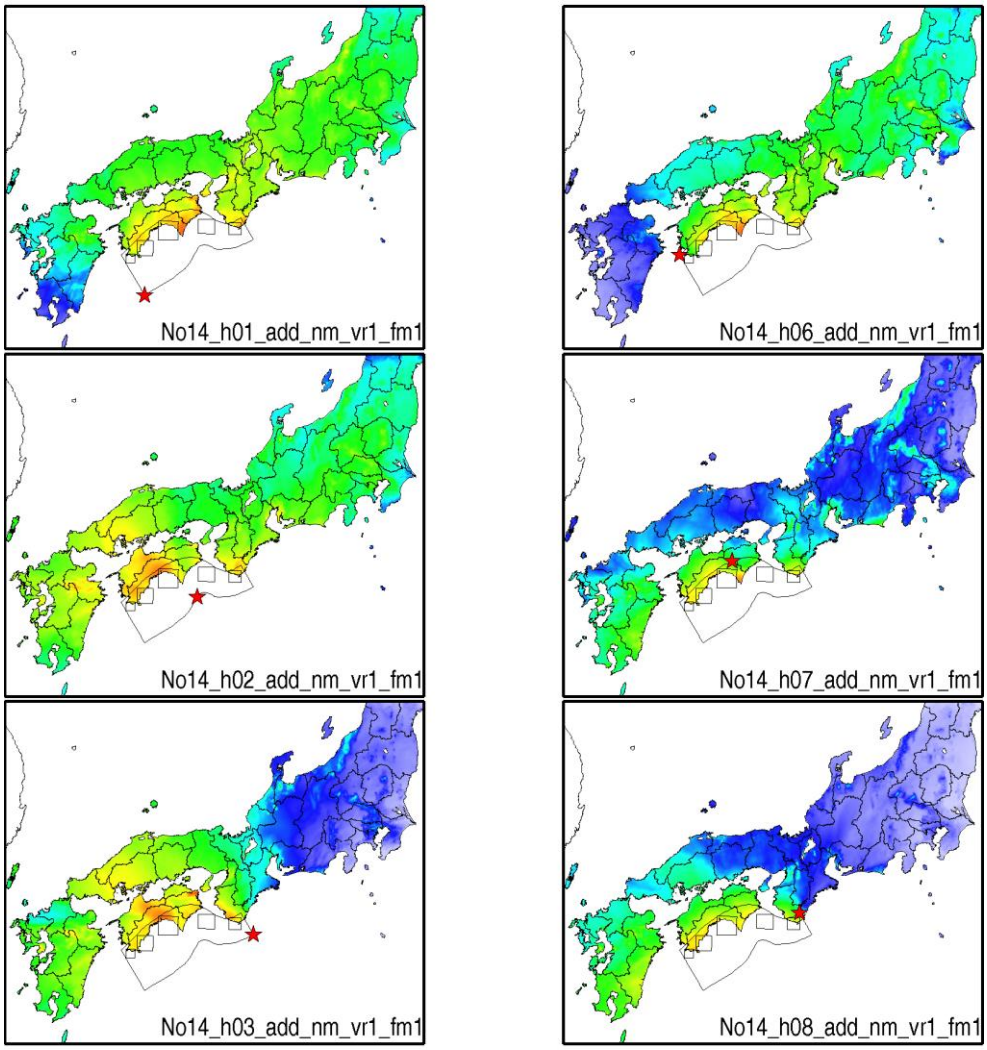
No13_r2_adm_nm_vr1_fm1

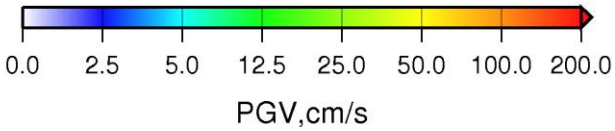


No13_r2_ads_nm_vr1_fm1

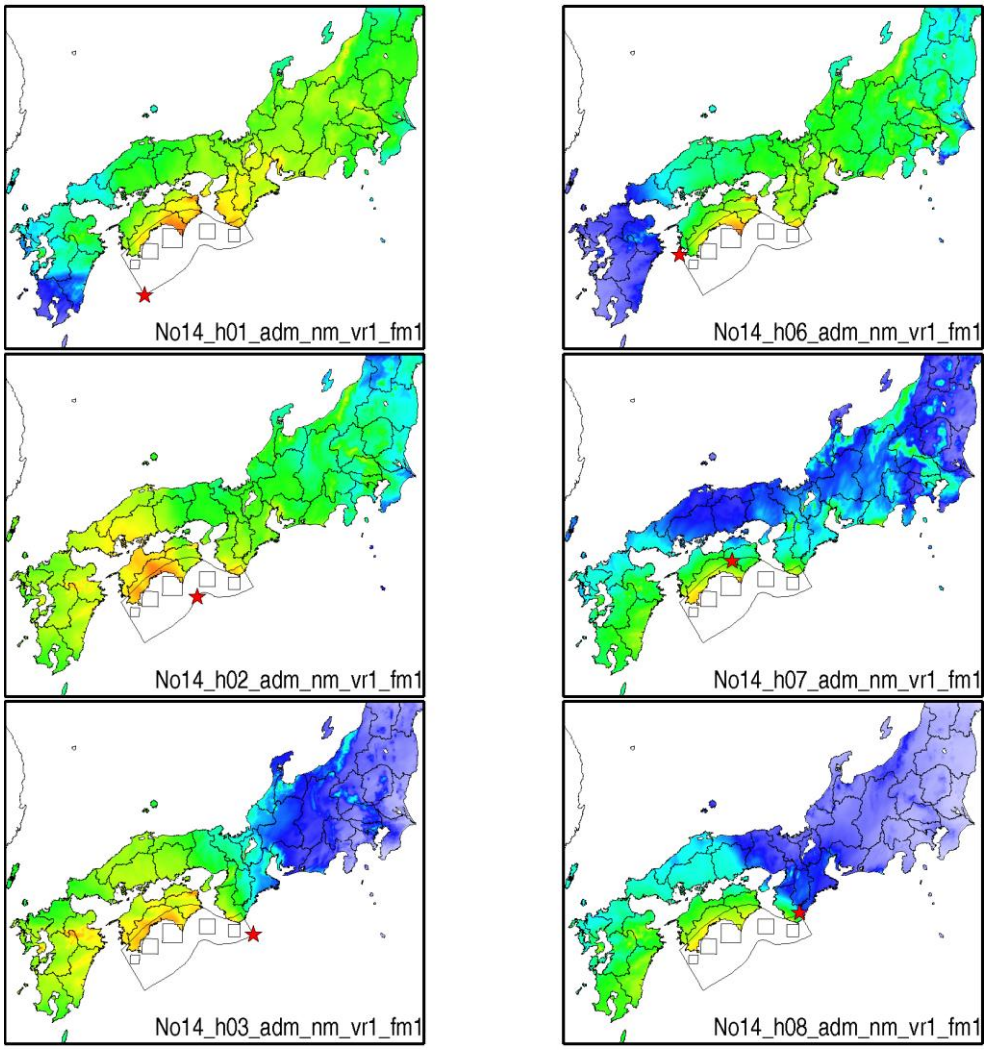


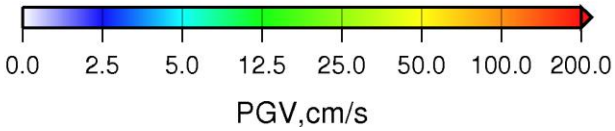
No14_r2_add_nm_vr1_fm1



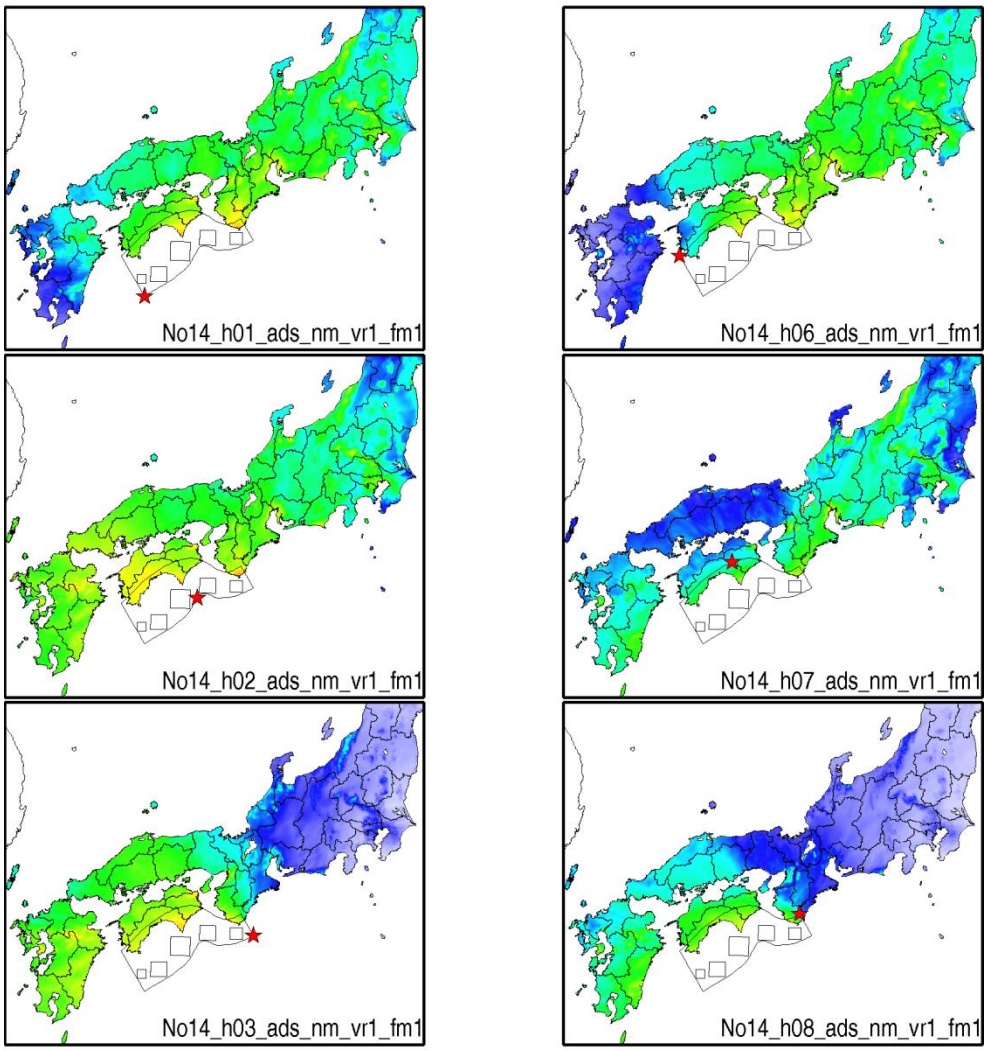


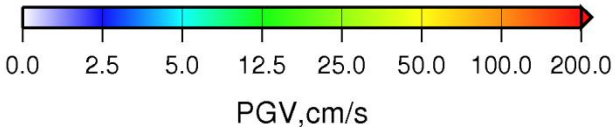
No14_r2_adm_nm_vr1_fm1



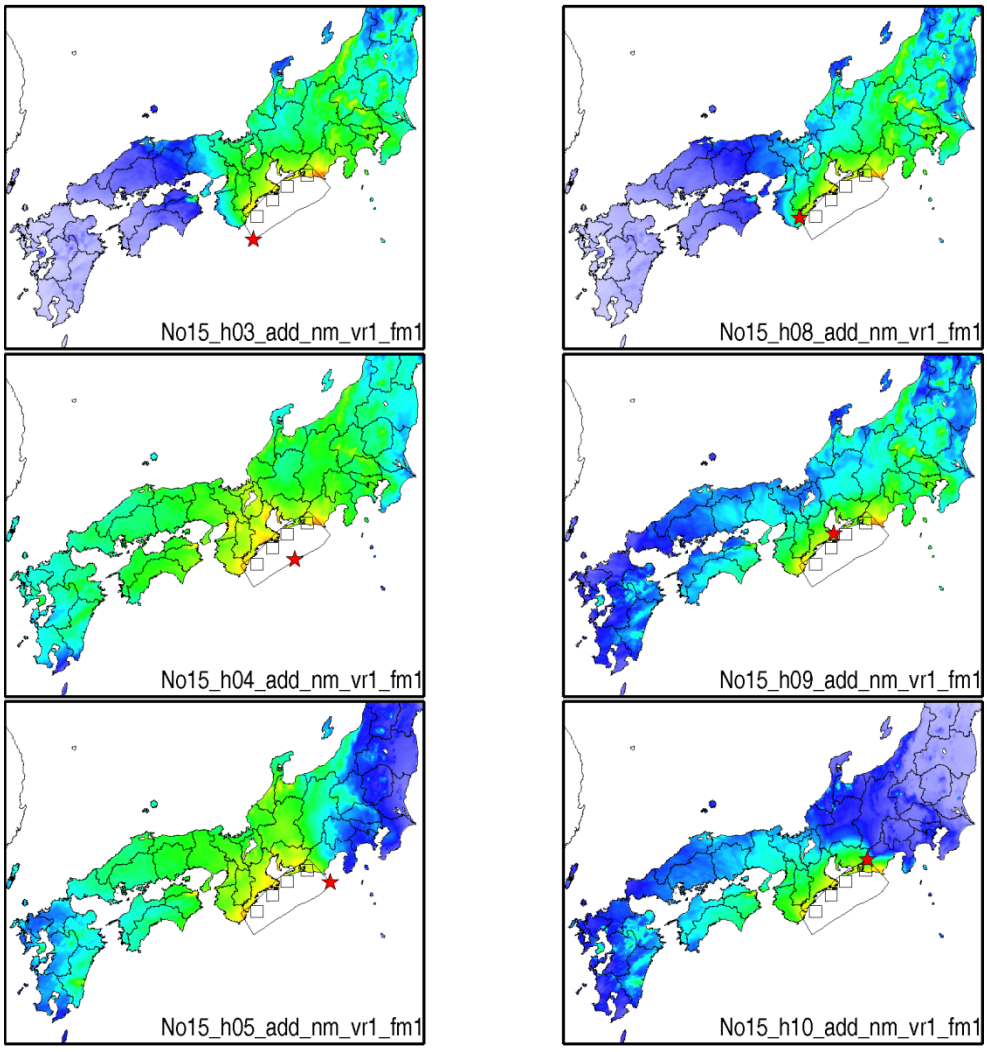


No14_r2_ads_nm_vr1_fm1

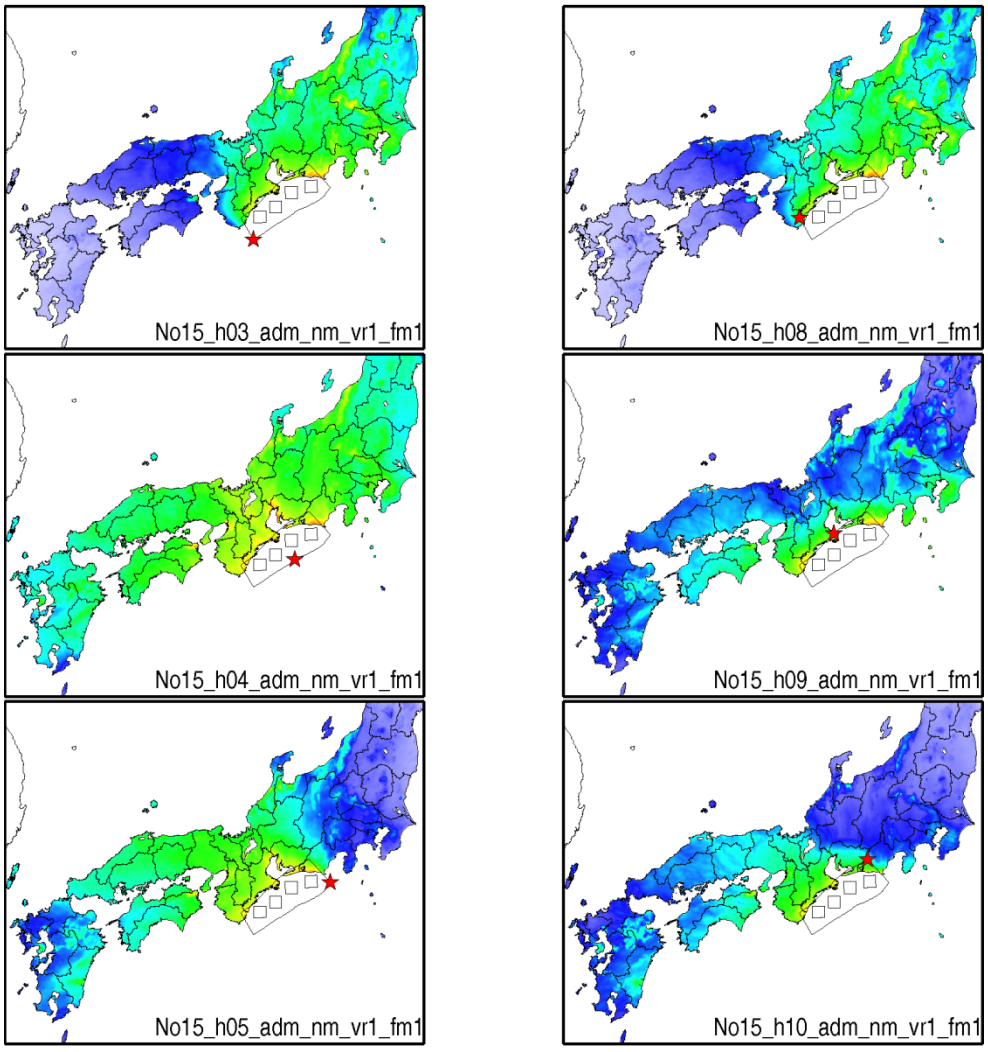




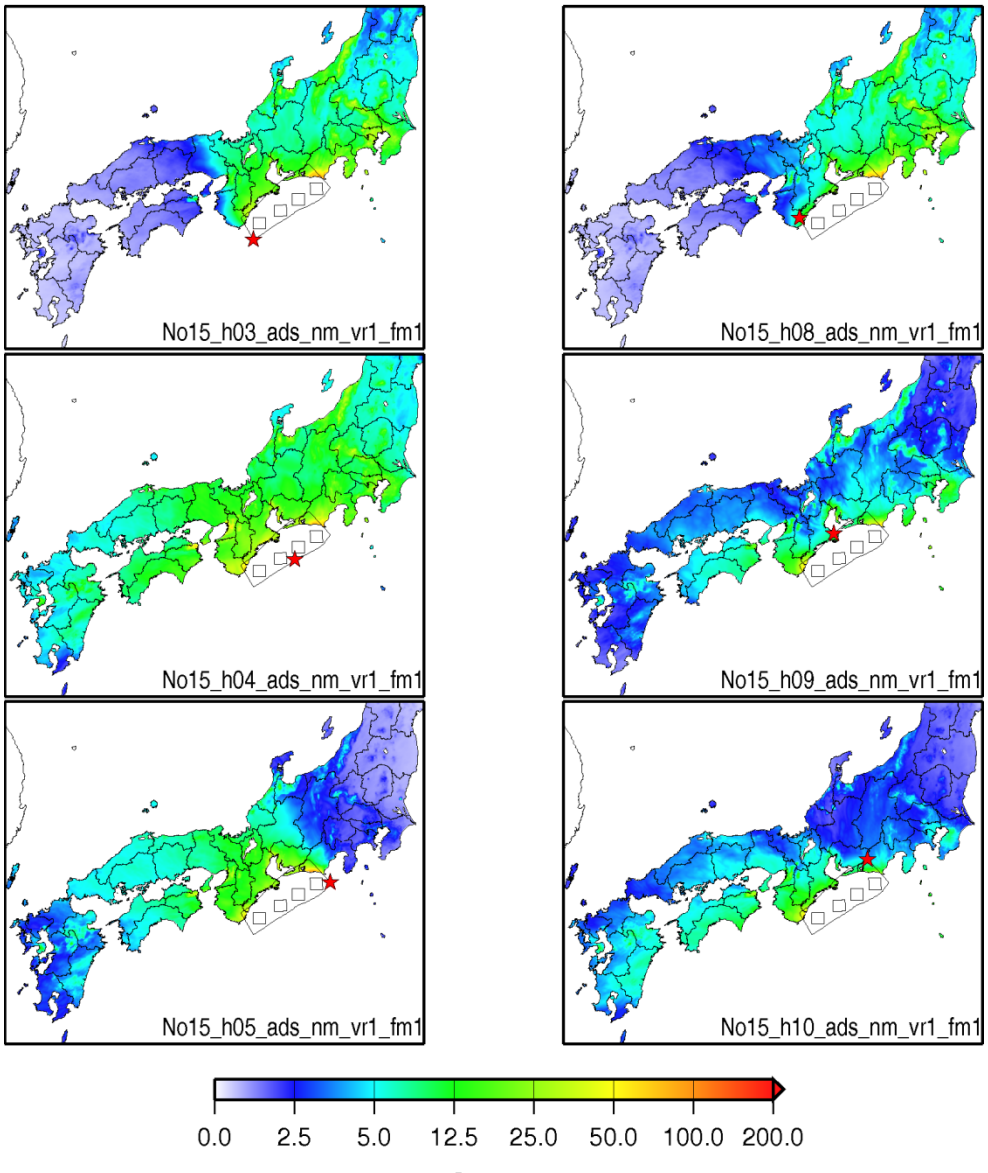
No15_r2_add_nm_vr1_fm1



No15_r2_adm_nm_vr1_fm1

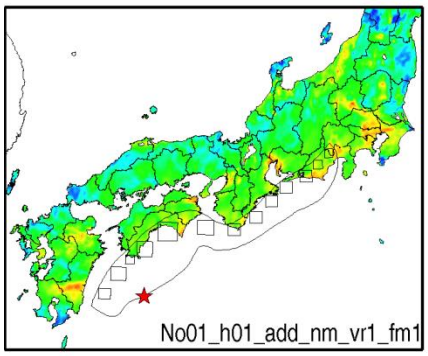


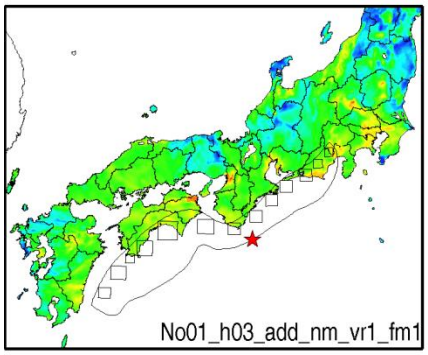
No15_r2_ads_nm_vr1_fm1

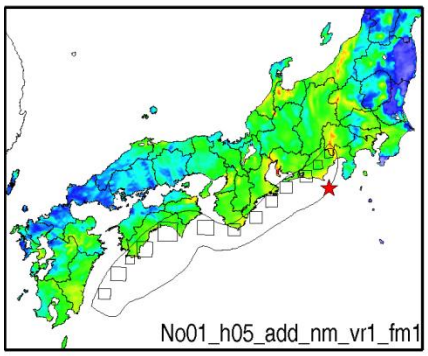


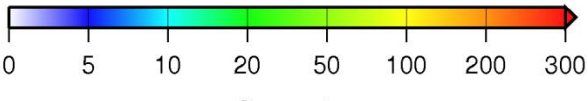
速度応答値(Sv:減衰定数 5%、周期 5 秒)の空間分布

No01_r2_add_nm_vr1_fm1

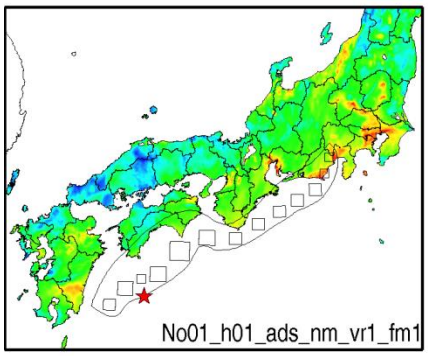


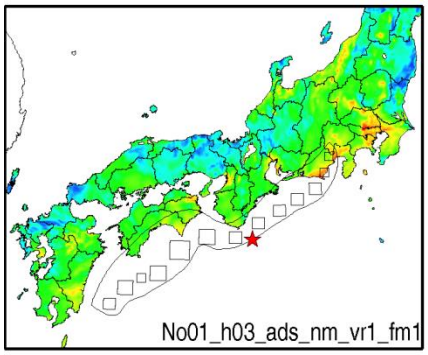


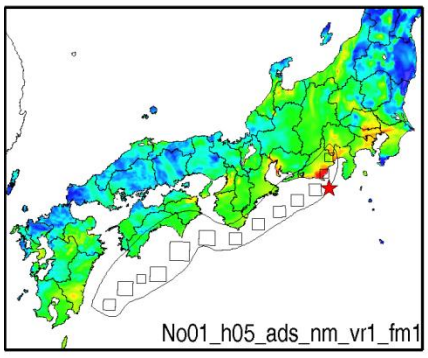


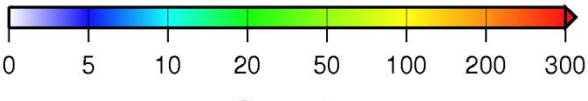


No01_r2_ads_nm_vr1_fm1

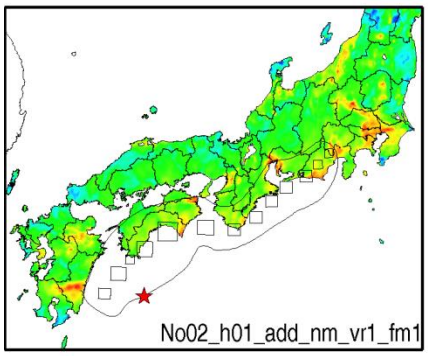


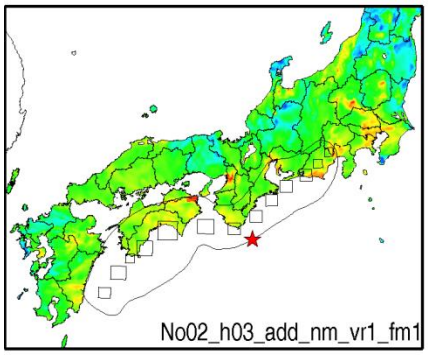


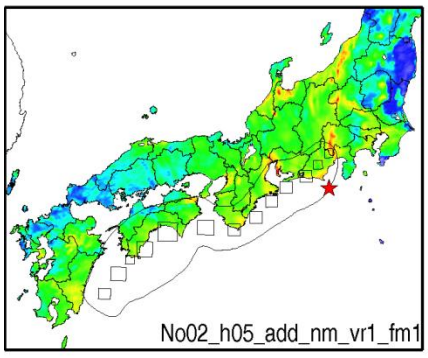


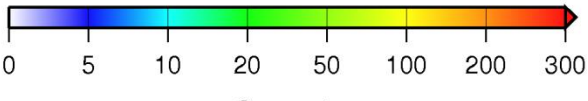


No02_r2_add_nm_vr1_fm1

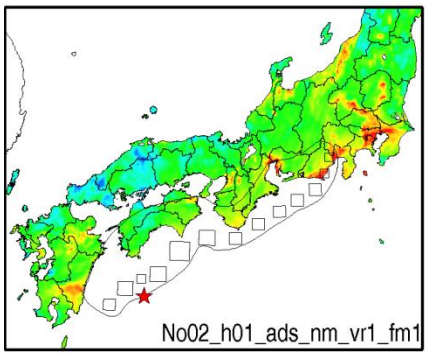


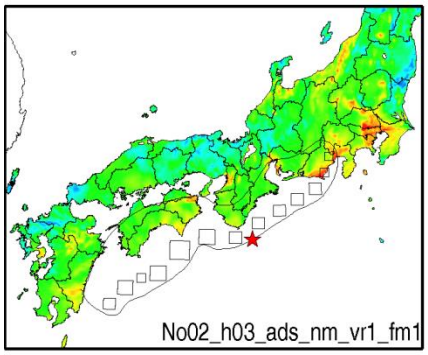


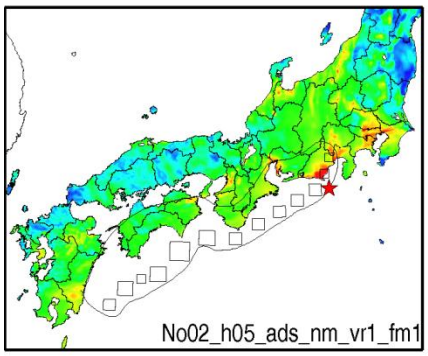


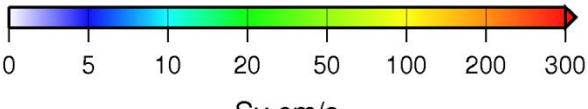


No02_r2_ads_nm_vr1_fm1

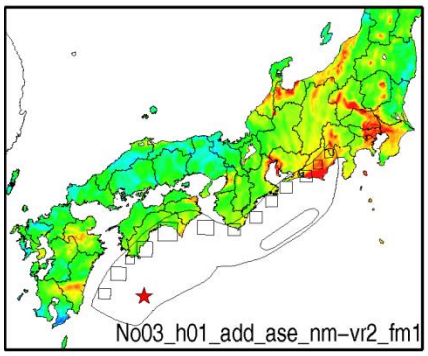


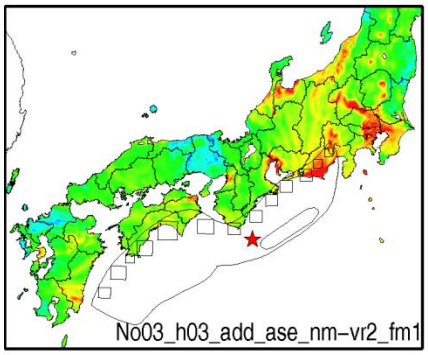


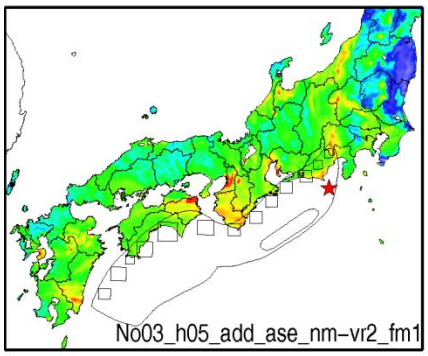


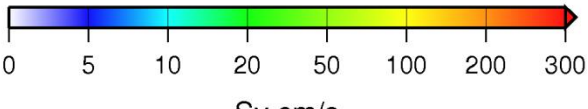


No03_add_ase_nm-vr2_fm1

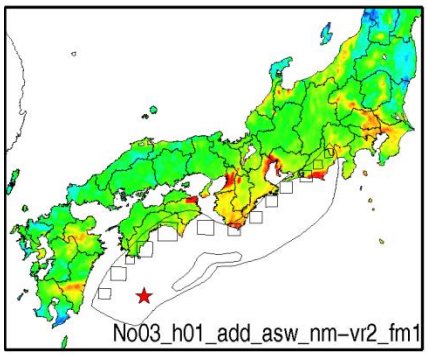


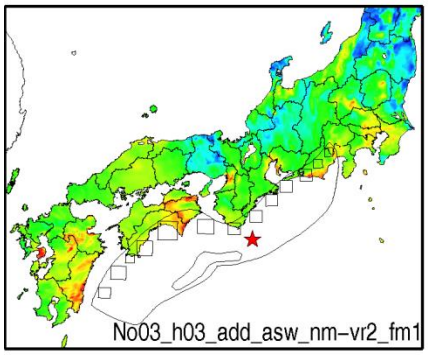


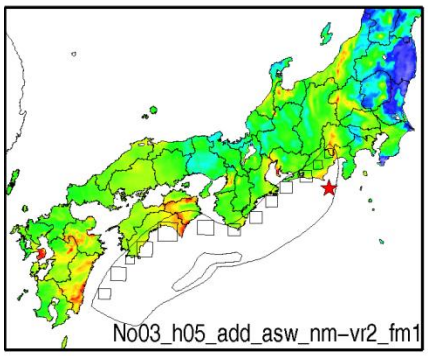


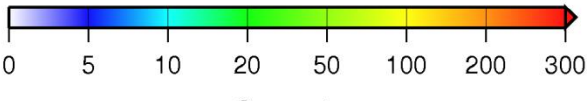


No03_add_asw_nm-vr2_fm1

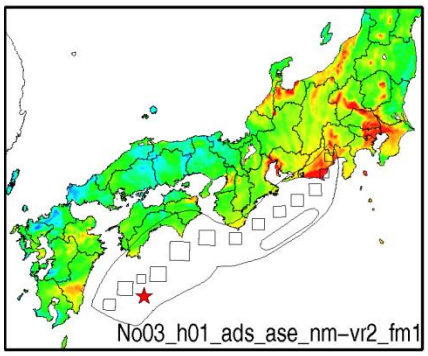


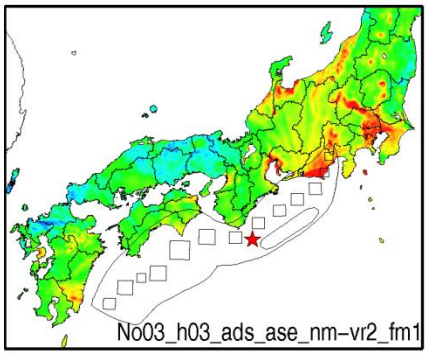


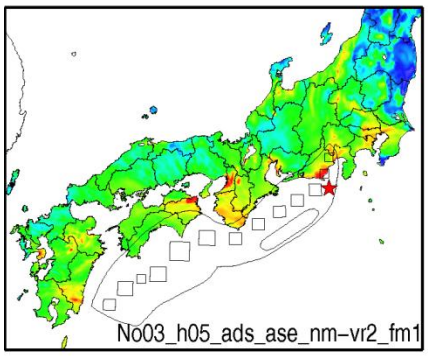


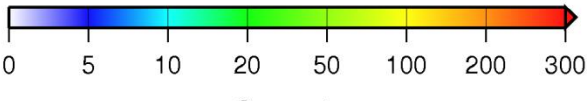


No03_ads_ase_nm-vr2_fm1

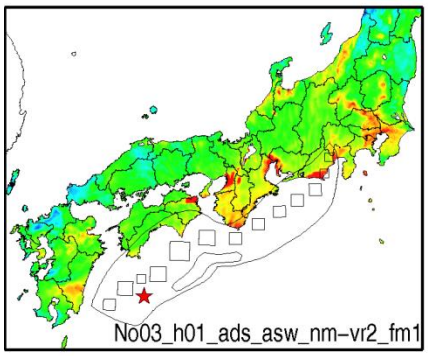


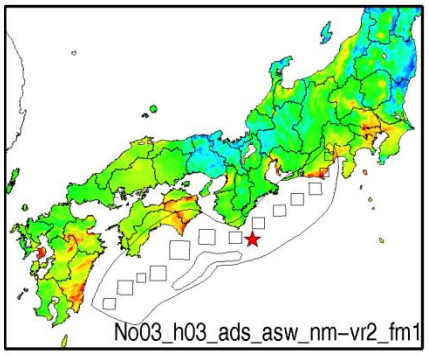


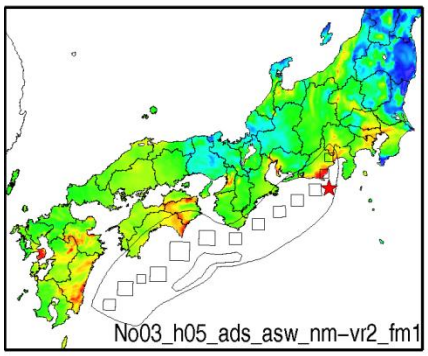


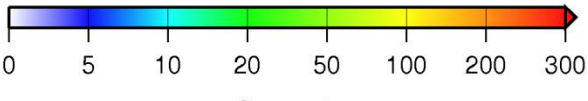


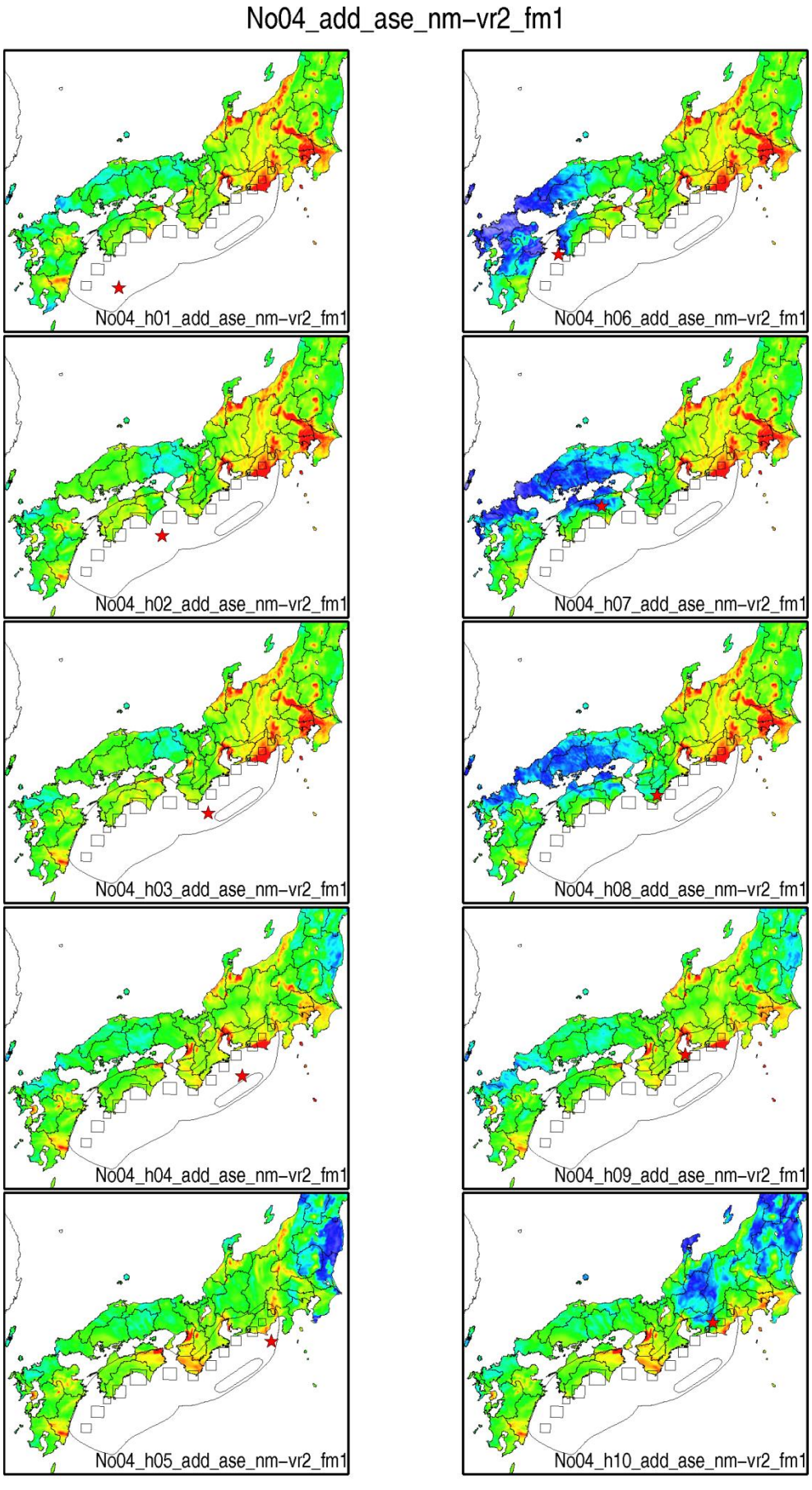
No03_ads_asw_nm-vr2_fm1

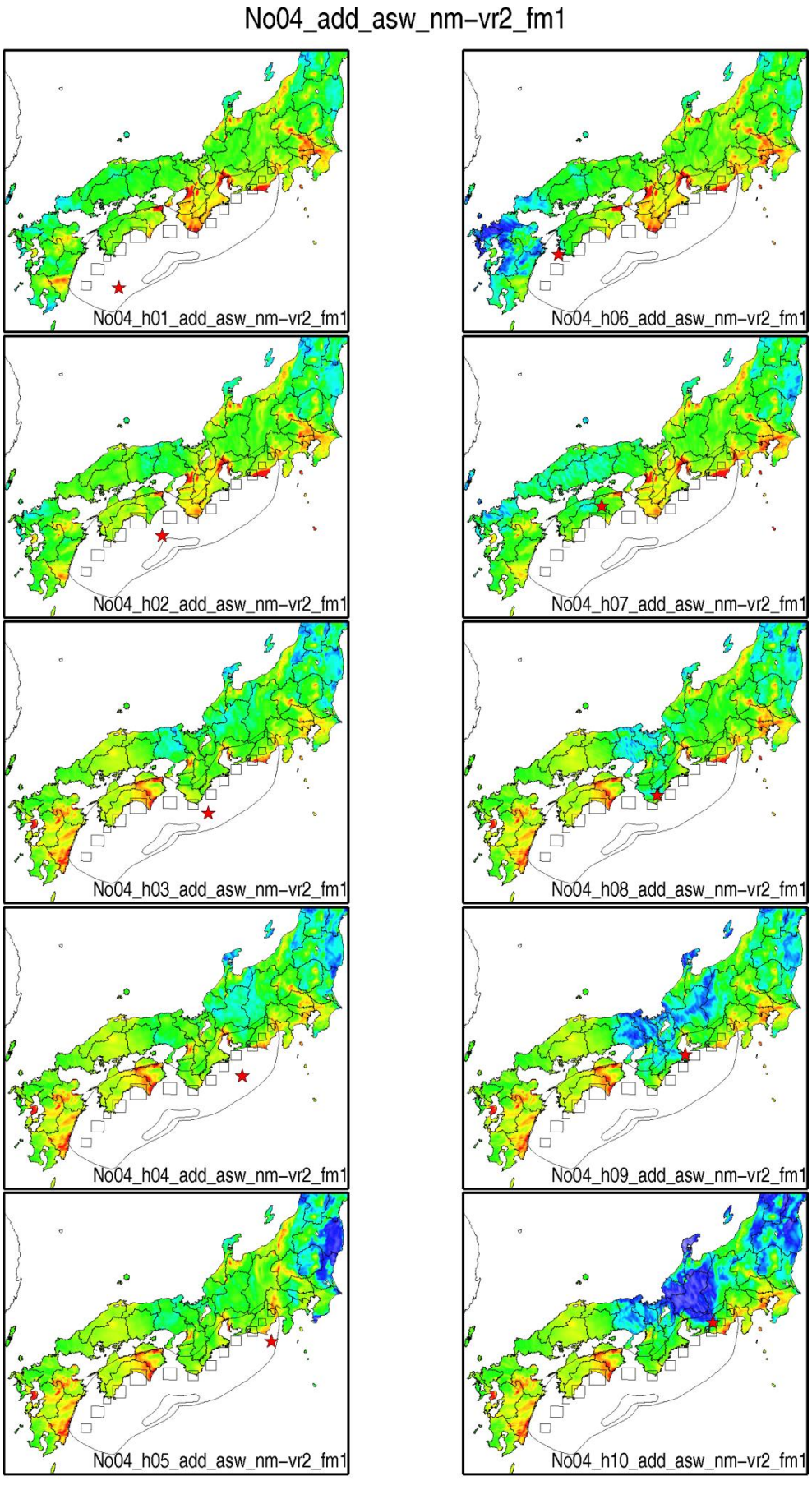




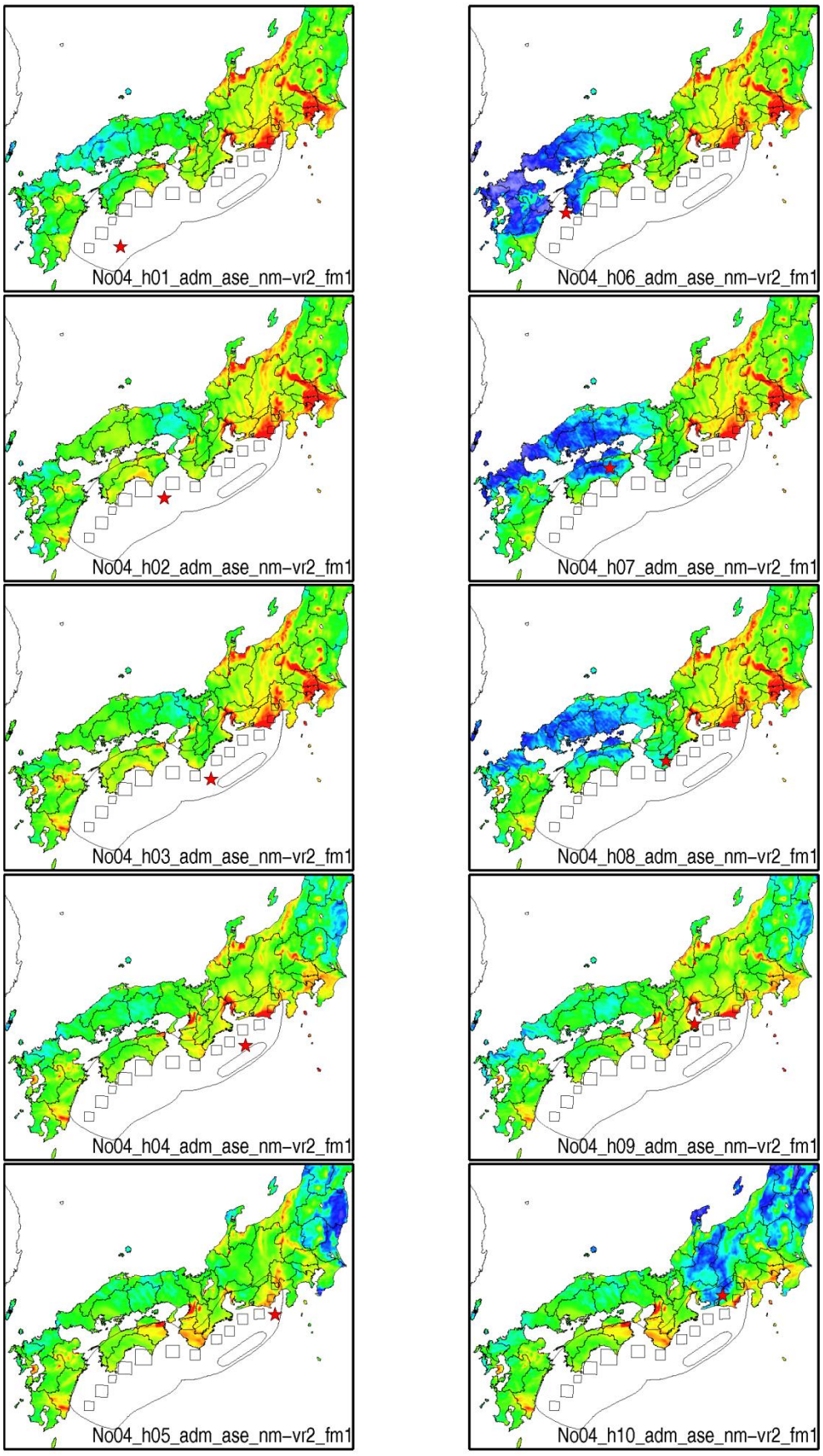




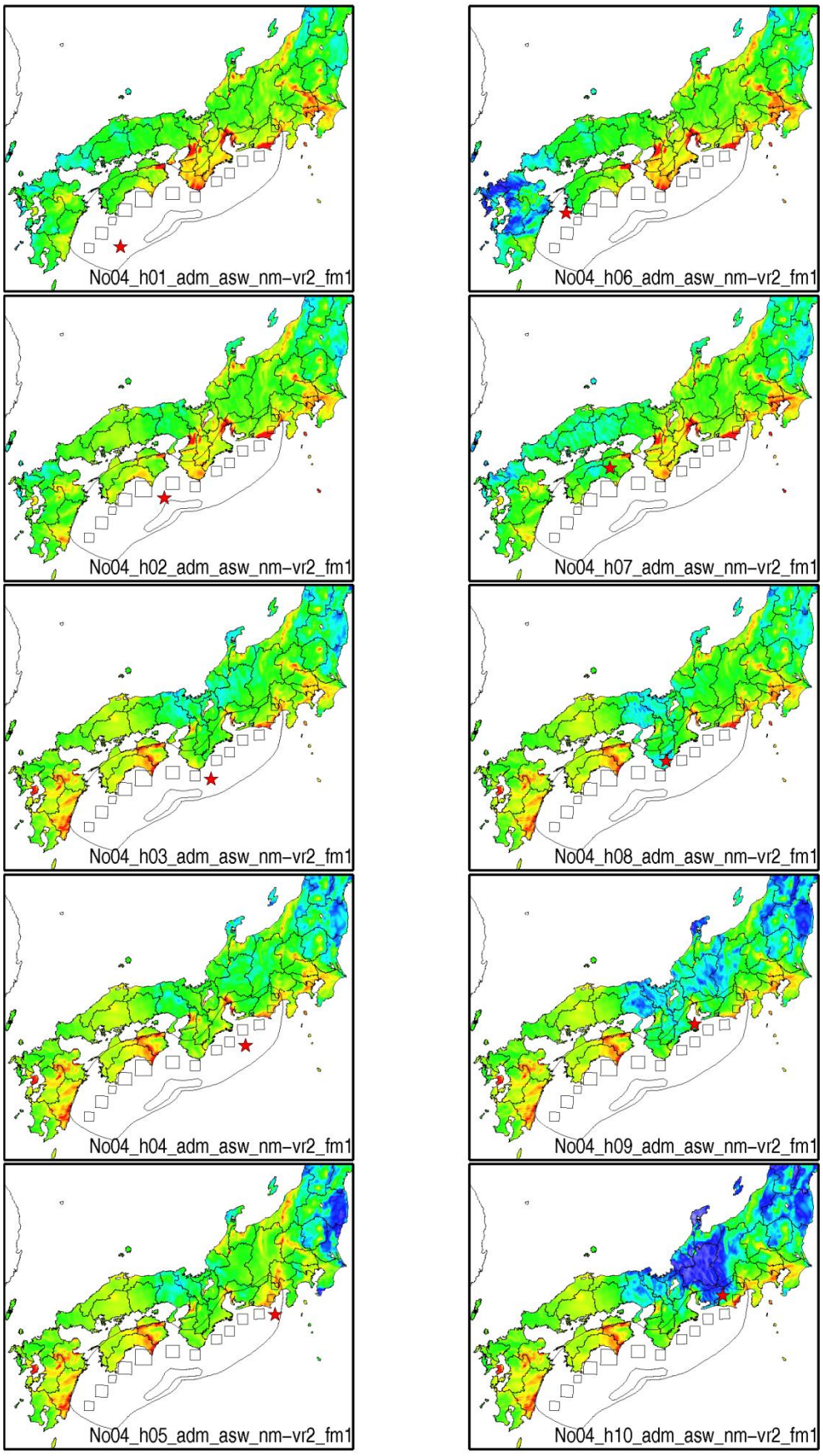

No04_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h01_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h06_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h02_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h07_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h03_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h08_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h04_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h09_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h05_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h10_add_ase_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

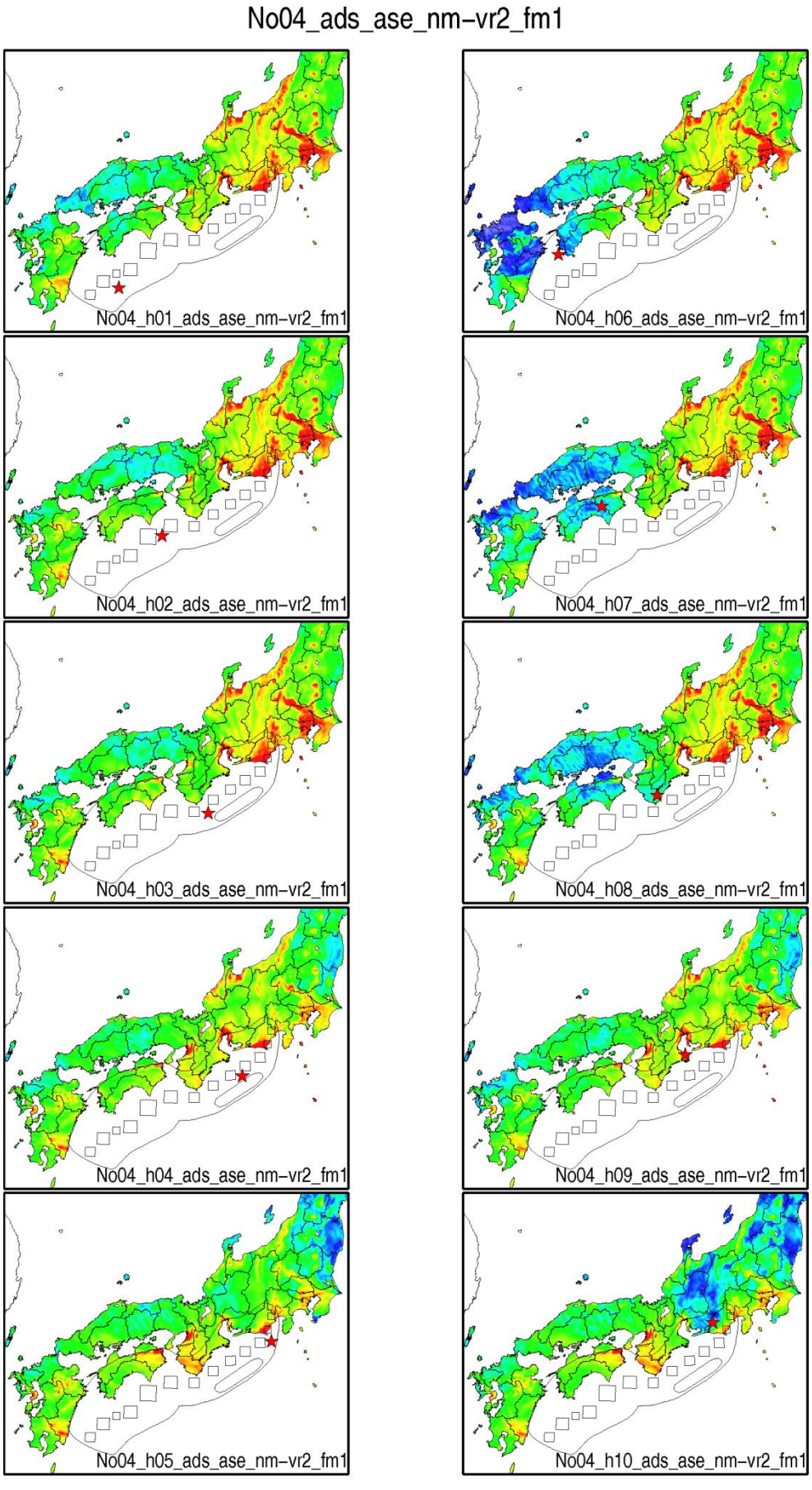

No04_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h01_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h06_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h02_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h07_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h03_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h08_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h04_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h09_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h05_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h10_add_asw_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

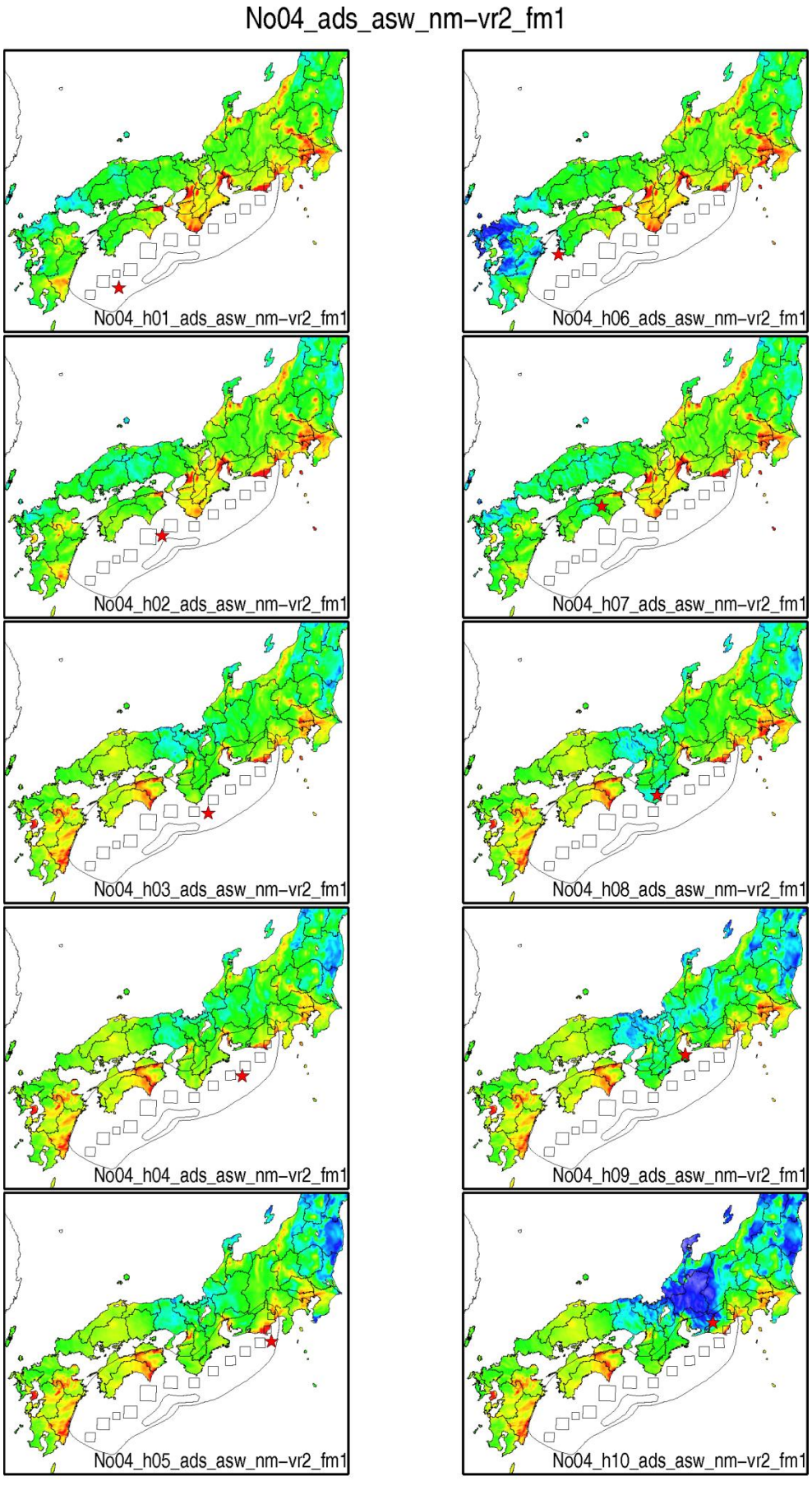
No04_adm_ase_nm-vr2_fm1



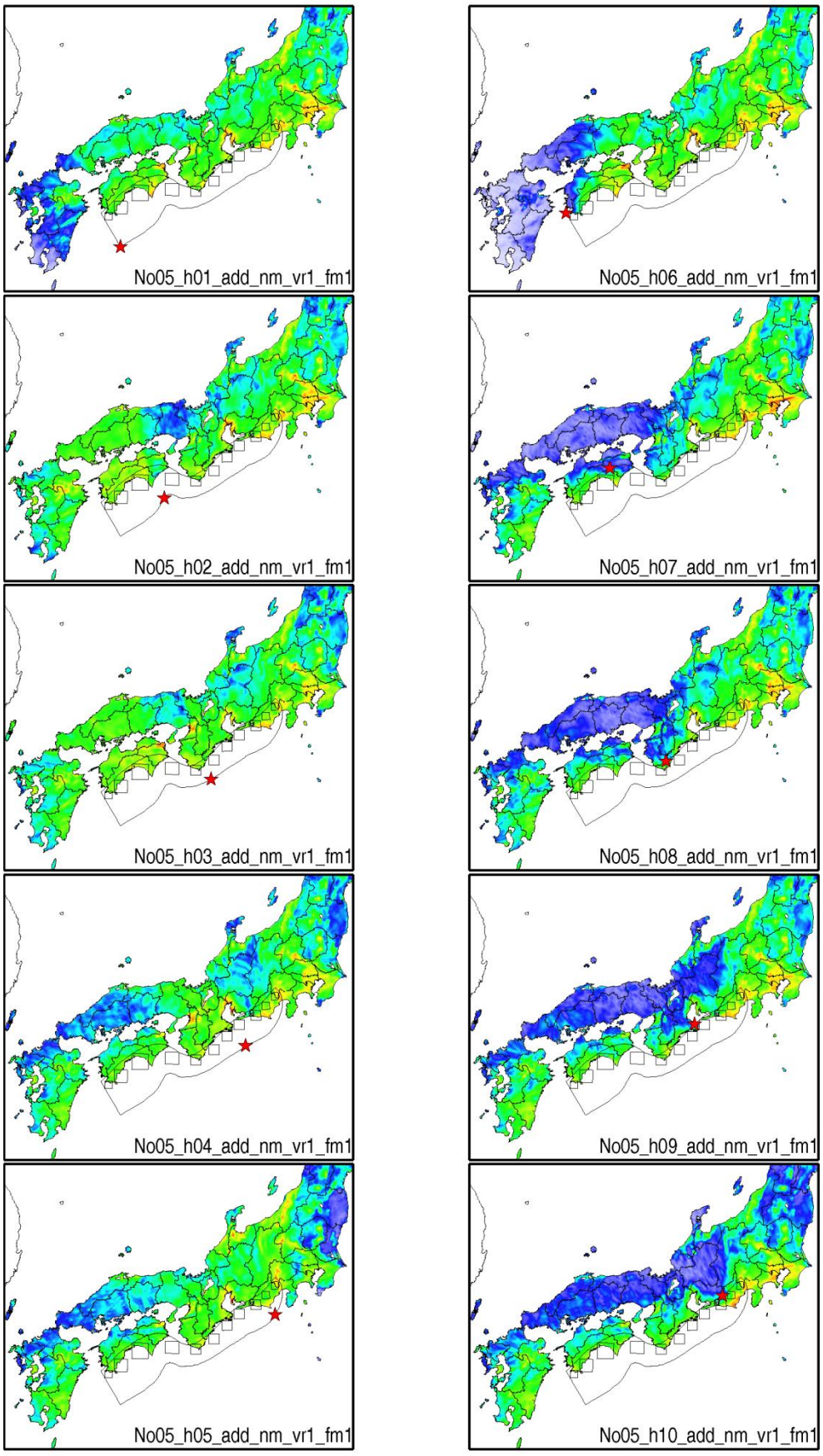
No04_adm_asw_nm-vr2_fm1

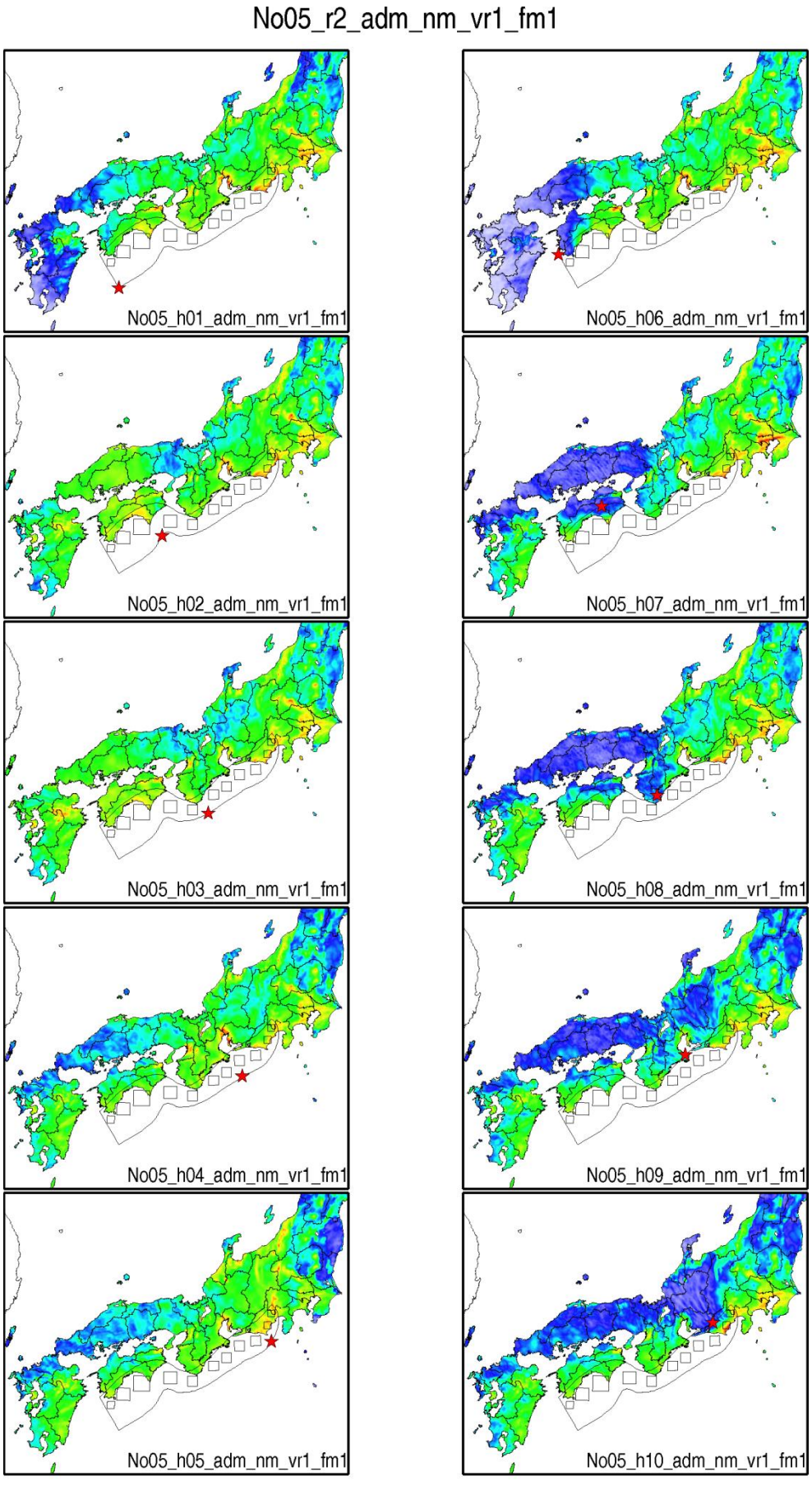


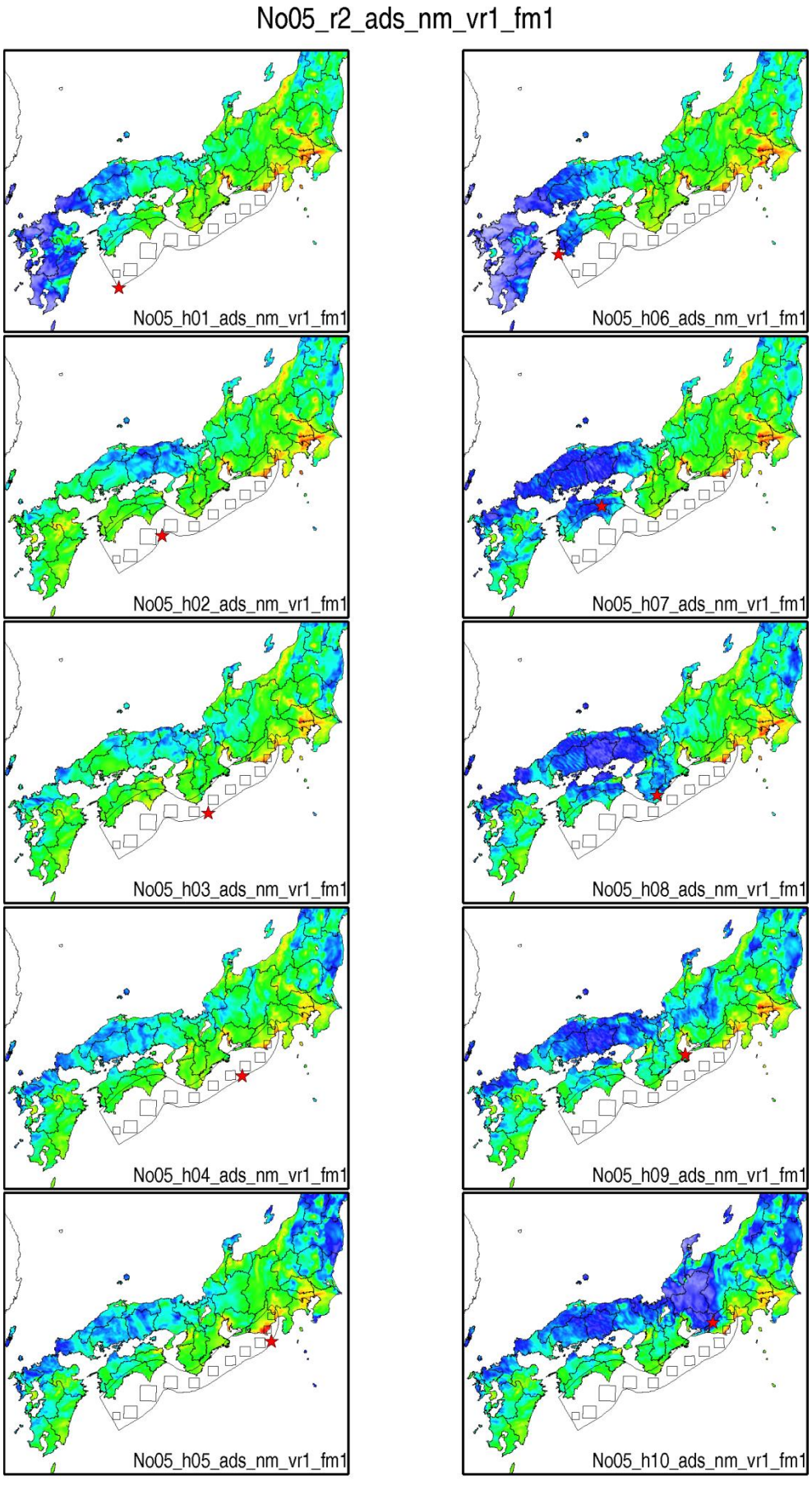

No04_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h01_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h06_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h02_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h07_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h03_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h08_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h04_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h09_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h05_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h10_ads_ase_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s


No04_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h01_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h06_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h02_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h07_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h03_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h08_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h04_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h09_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h05_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h10_ads_asw_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

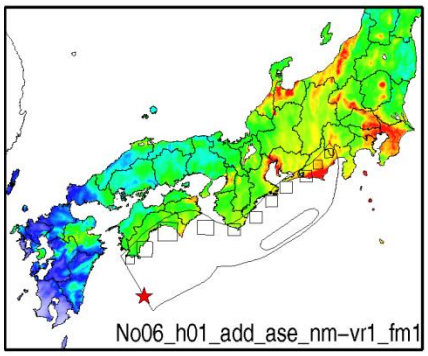
No05_r2_add_nm_vr1_fm1

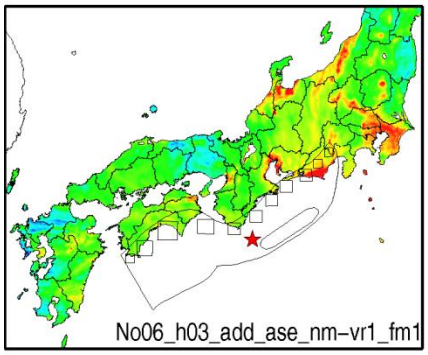


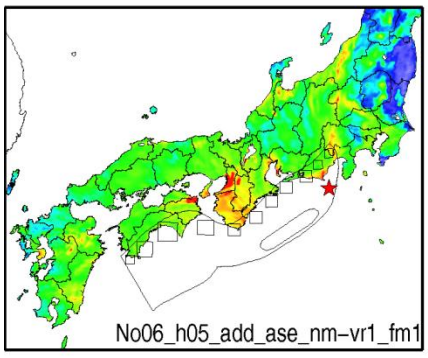

No05_r2_adm_nm_vr1_fm1
No05_h01_adm_nm_vr1_fm1
No05_h06_adm_nm_vr1_fm1
No05_h02_adm_nm_vr1_fm1
No05_h07_adm_nm_vr1_fm1
No05_h03_adm_nm_vr1_fm1
No05_h08_adm_nm_vr1_fm1
No05_h04_adm_nm_vr1_fm1
No05_h09_adm_nm_vr1_fm1
No05_h05_adm_nm_vr1_fm1
No05_h10_adm_nm_vr1_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

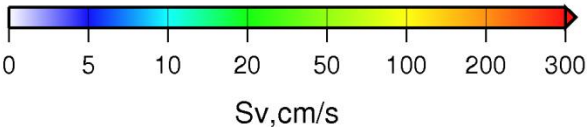

No05_r2_ads_nm_vr1_fm1
No05_h01_ads_nm_vr1_fm1
No05_h06_ads_nm_vr1_fm1
No05_h02_ads_nm_vr1_fm1
No05_h07_ads_nm_vr1_fm1
No05_h03_ads_nm_vr1_fm1
No05_h08_ads_nm_vr1_fm1
No05_h04_ads_nm_vr1_fm1
No05_h09_ads_nm_vr1_fm1
No05_h05_ads_nm_vr1_fm1
No05_h10_ads_nm_vr1_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

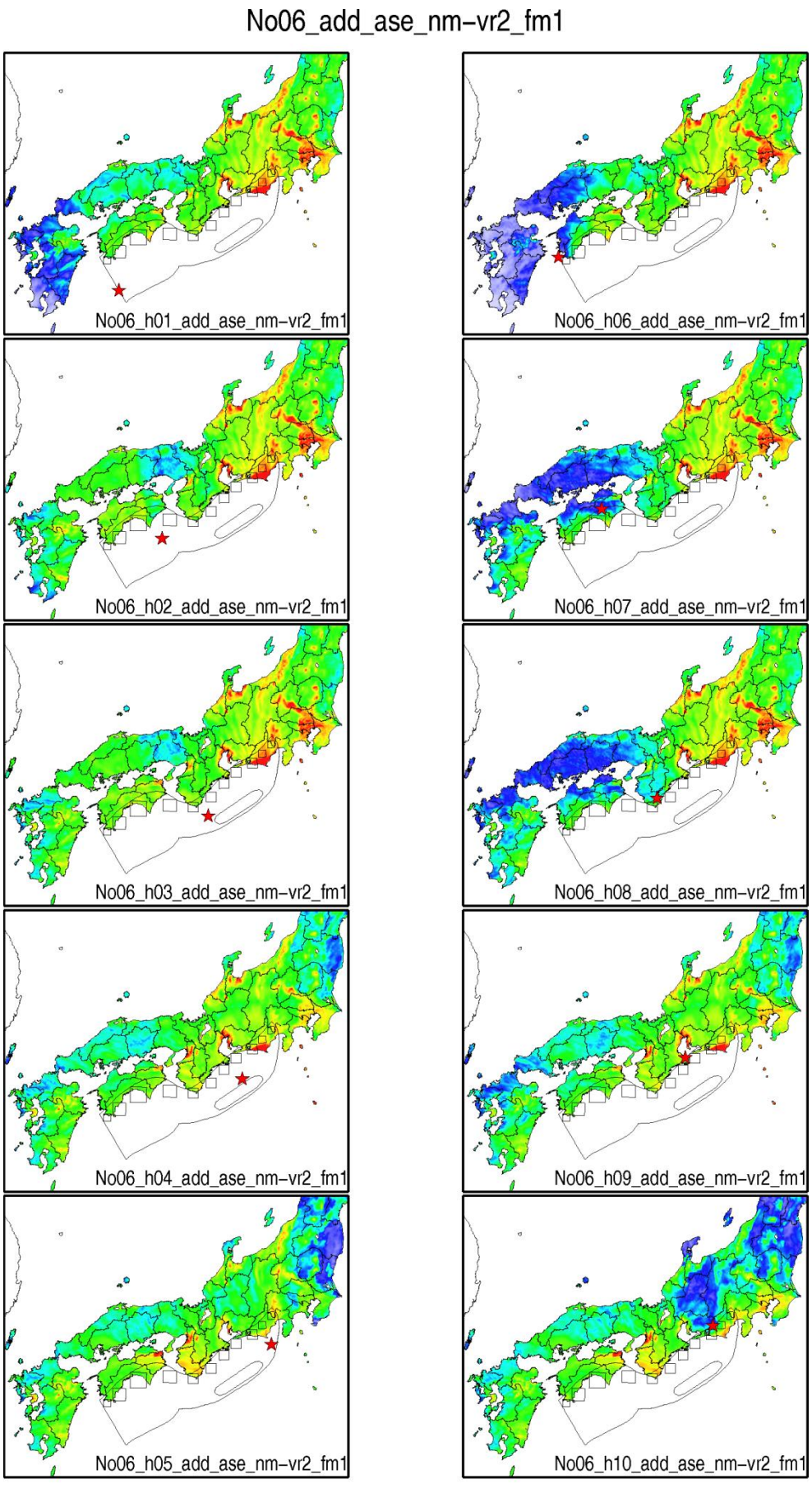
No06_add_ase_nm-vr1_fm1



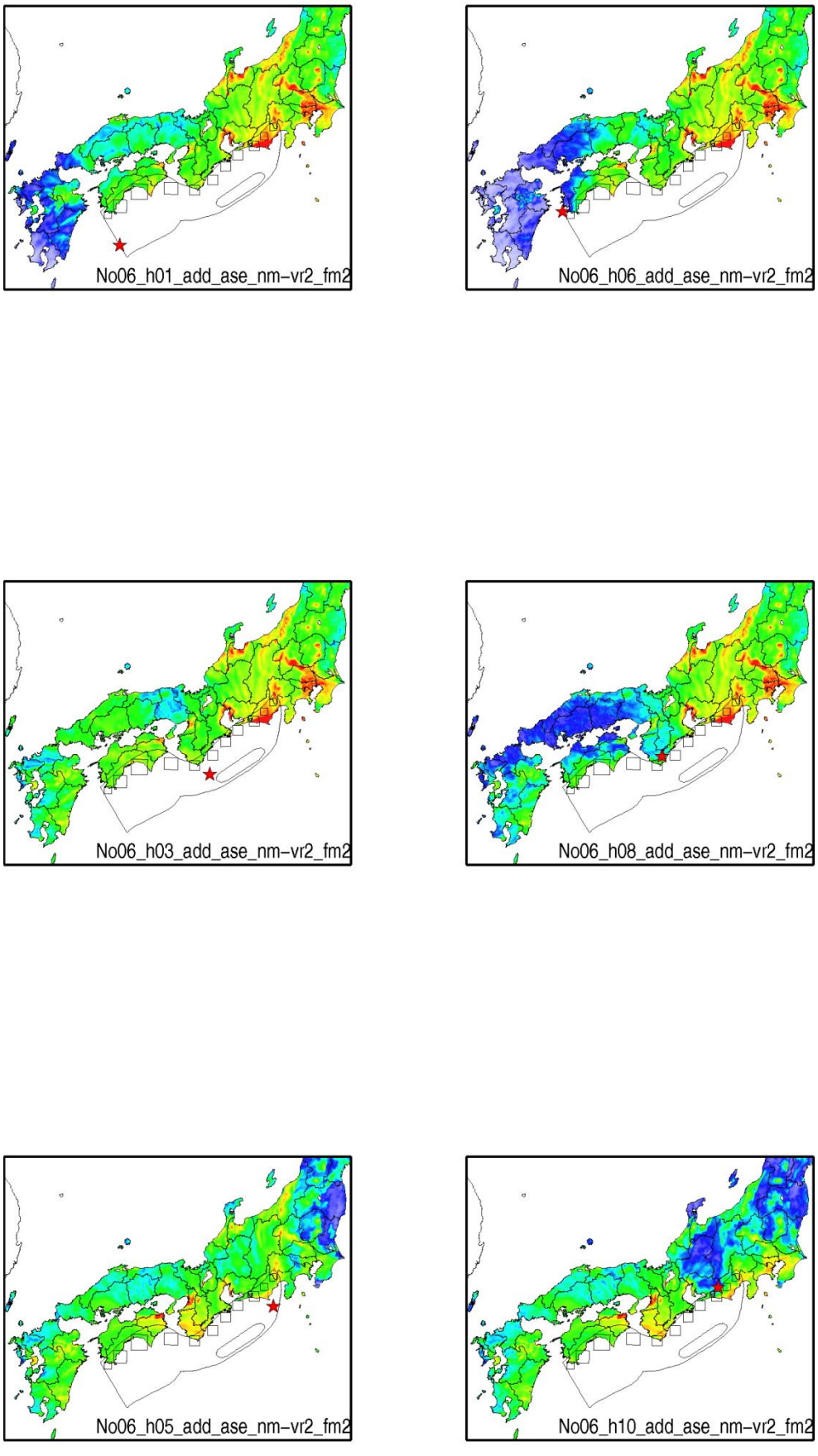




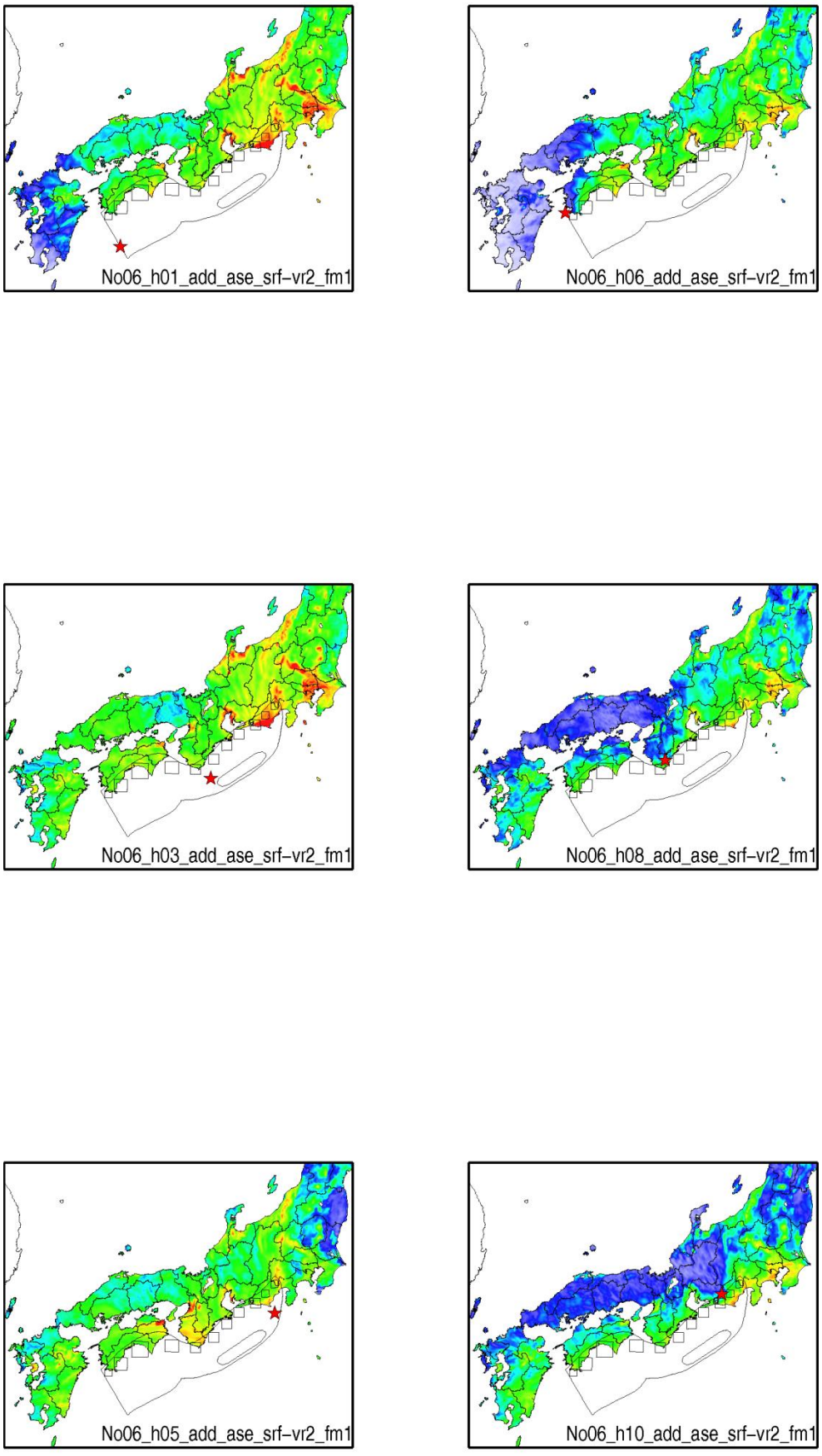



No06_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h01_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h06_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h02_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h07_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h03_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h08_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h04_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h09_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h05_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h10_add_ase_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

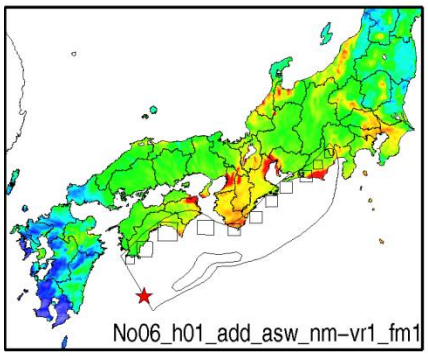
No06_add_ase_nm-vr2_fm2

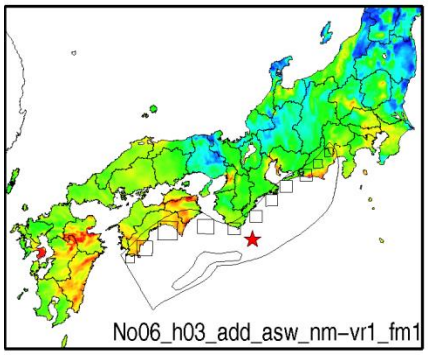


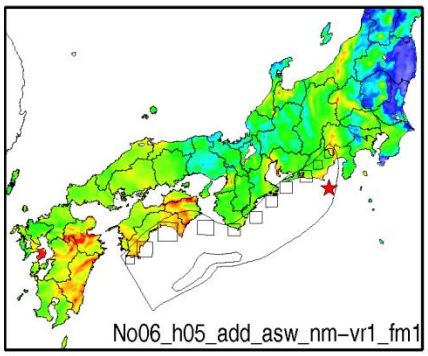
No06_add_ase_srf-vr2_fm1

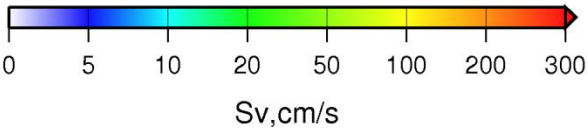


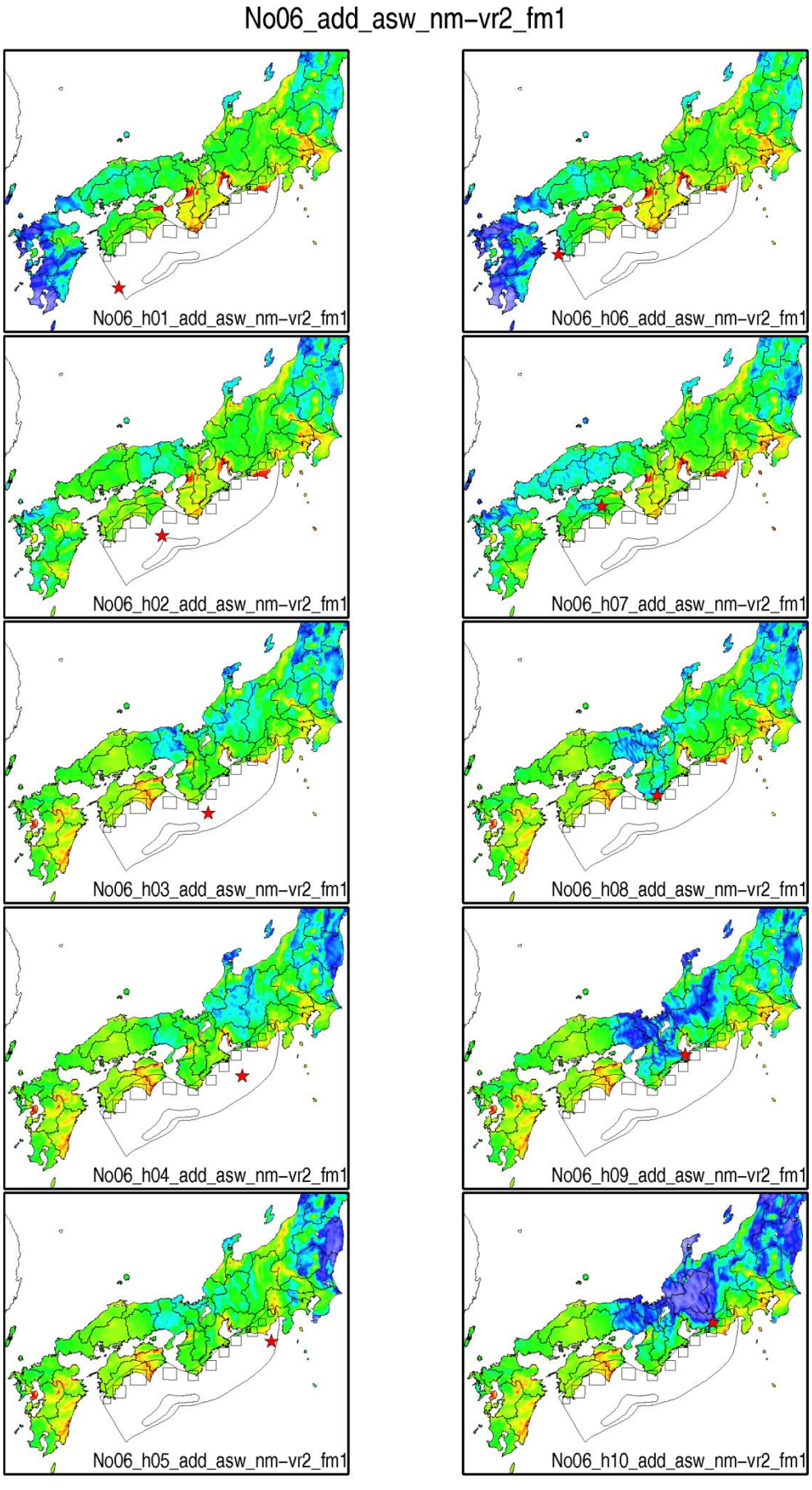
No06_add_asw_nm-vr1_fm1



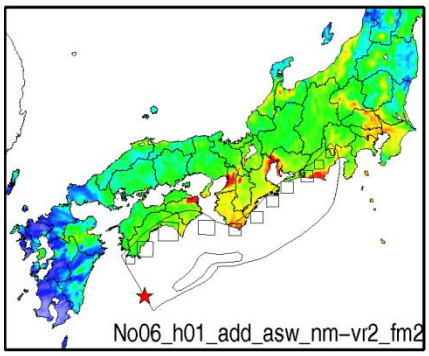


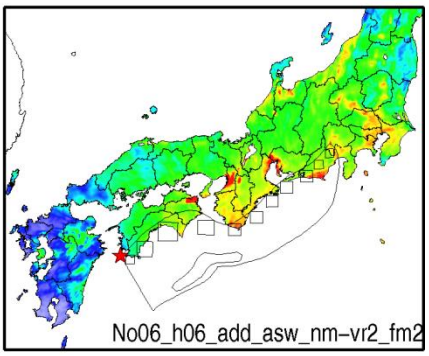


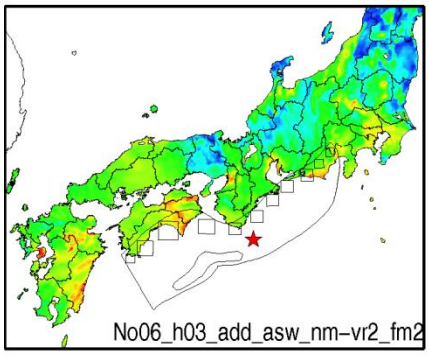


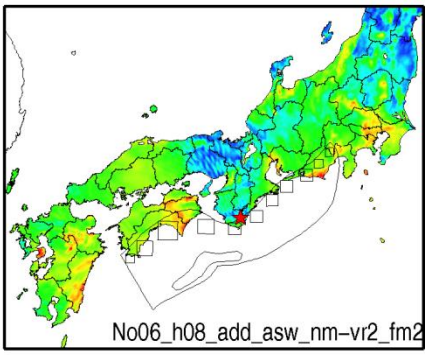

No06_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h01_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h06_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h02_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h07_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h03_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h08_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h04_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h09_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h05_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h10_add_asw_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

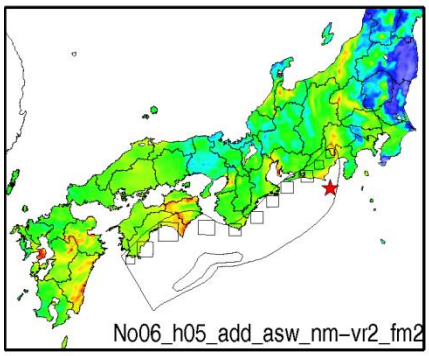
No06_add_asw_nm-vr2_fm2

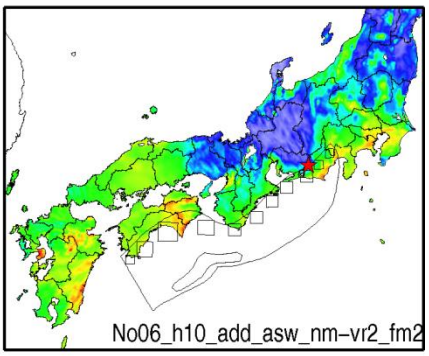


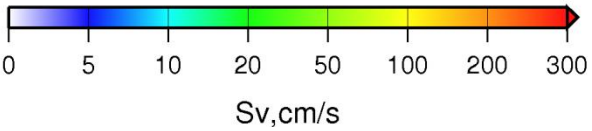




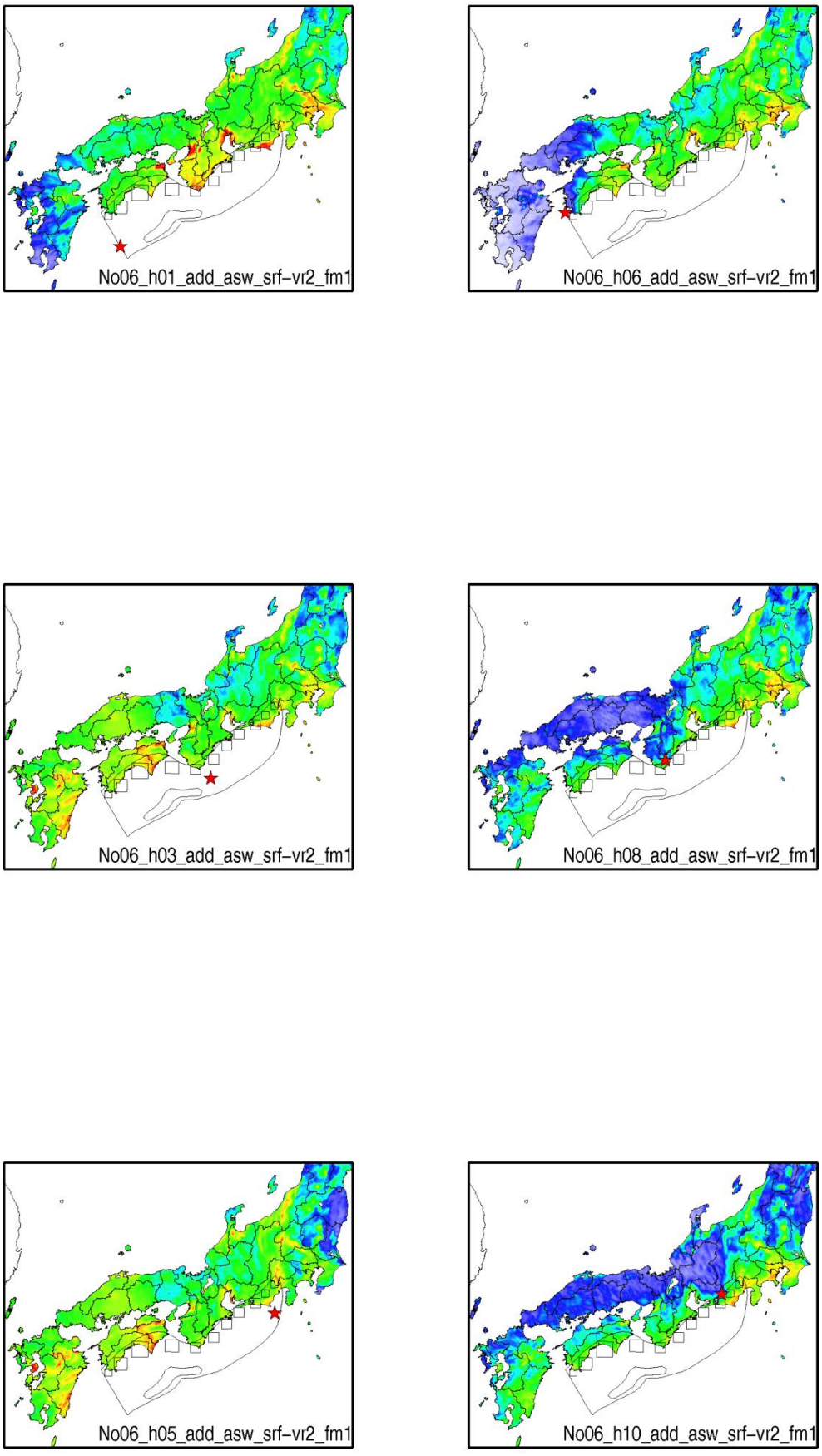




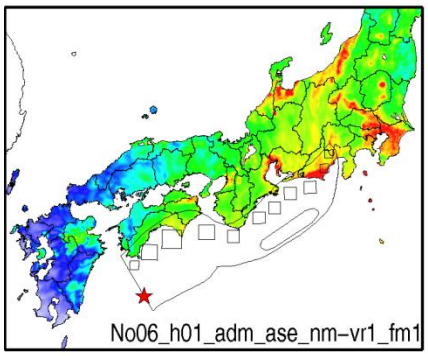


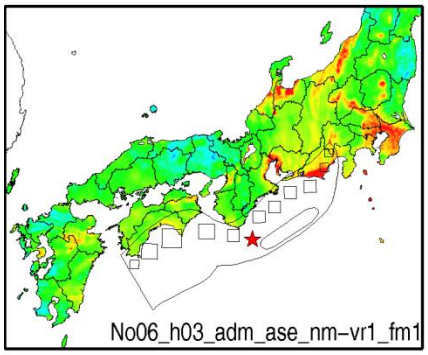


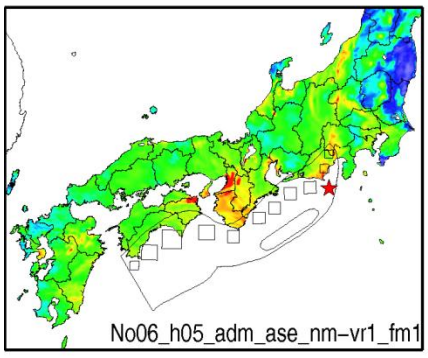
No06_add_asw_srf-vr2_fm1

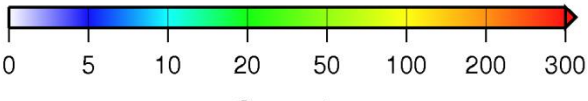


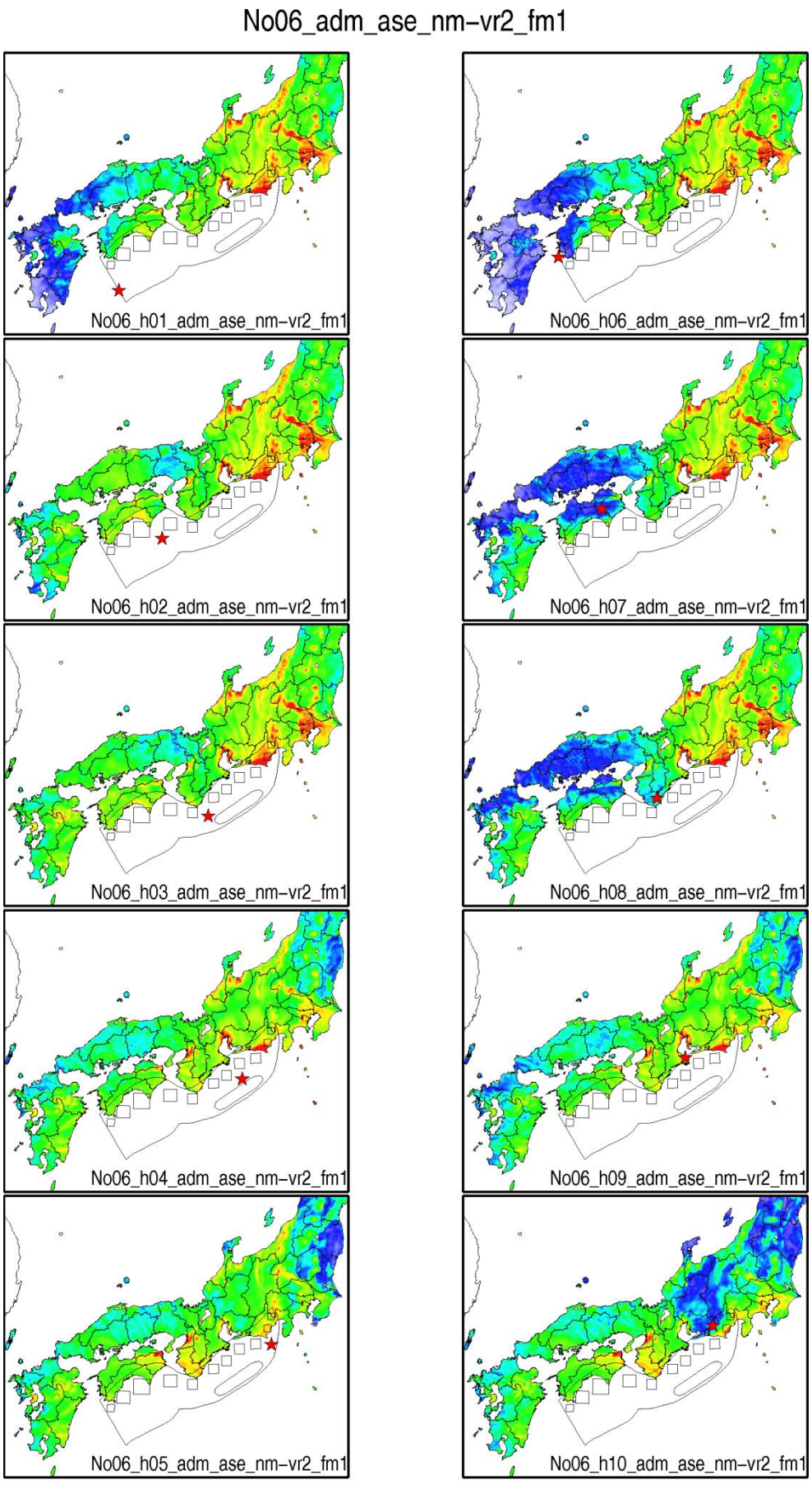
No06_adm_ase_nm-vr1_fm1



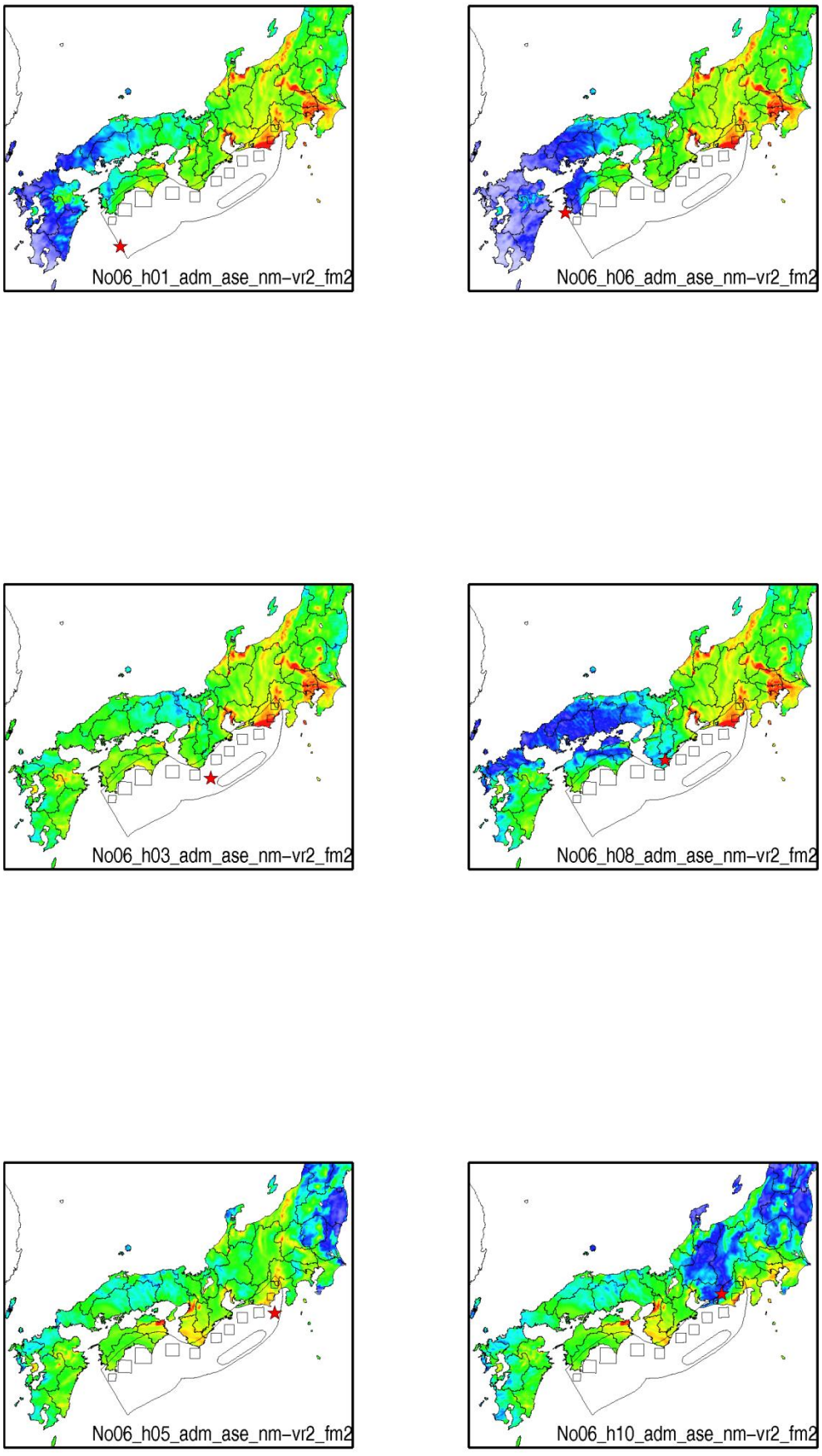




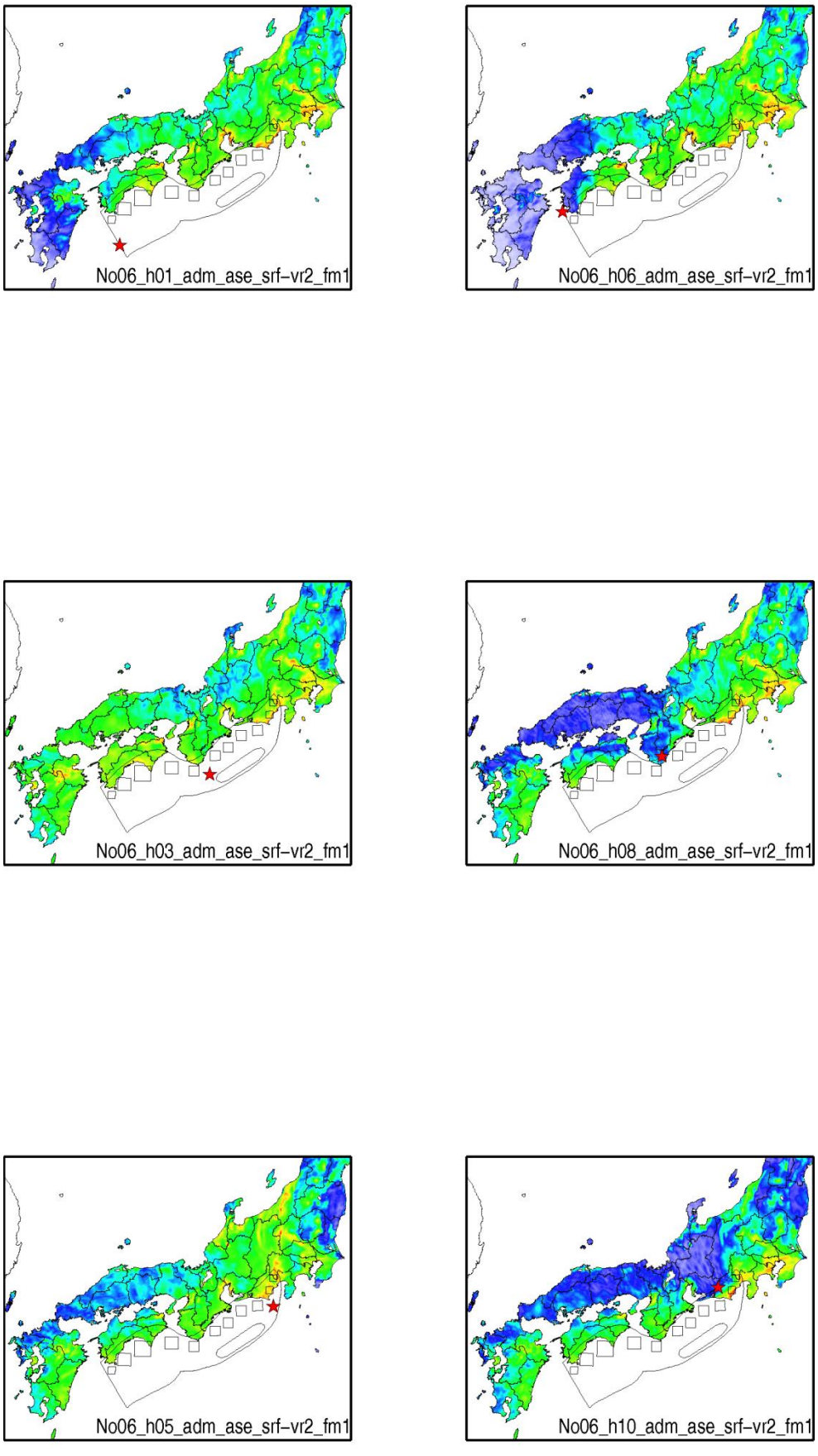



No06_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h01_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h06_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h02_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h07_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h03_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h08_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h04_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h09_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h05_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h10_adm_ase_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

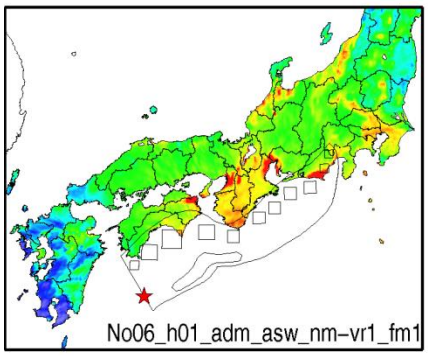
No06_adm_ase_nm-vr2_fm2

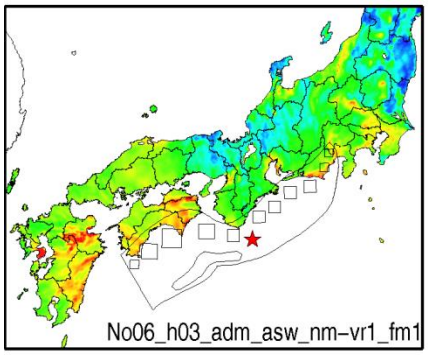


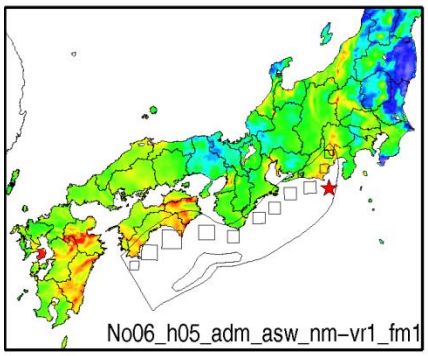
No06_adm_ase_srf-vr2_fm1

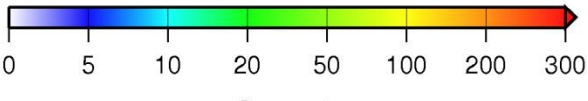


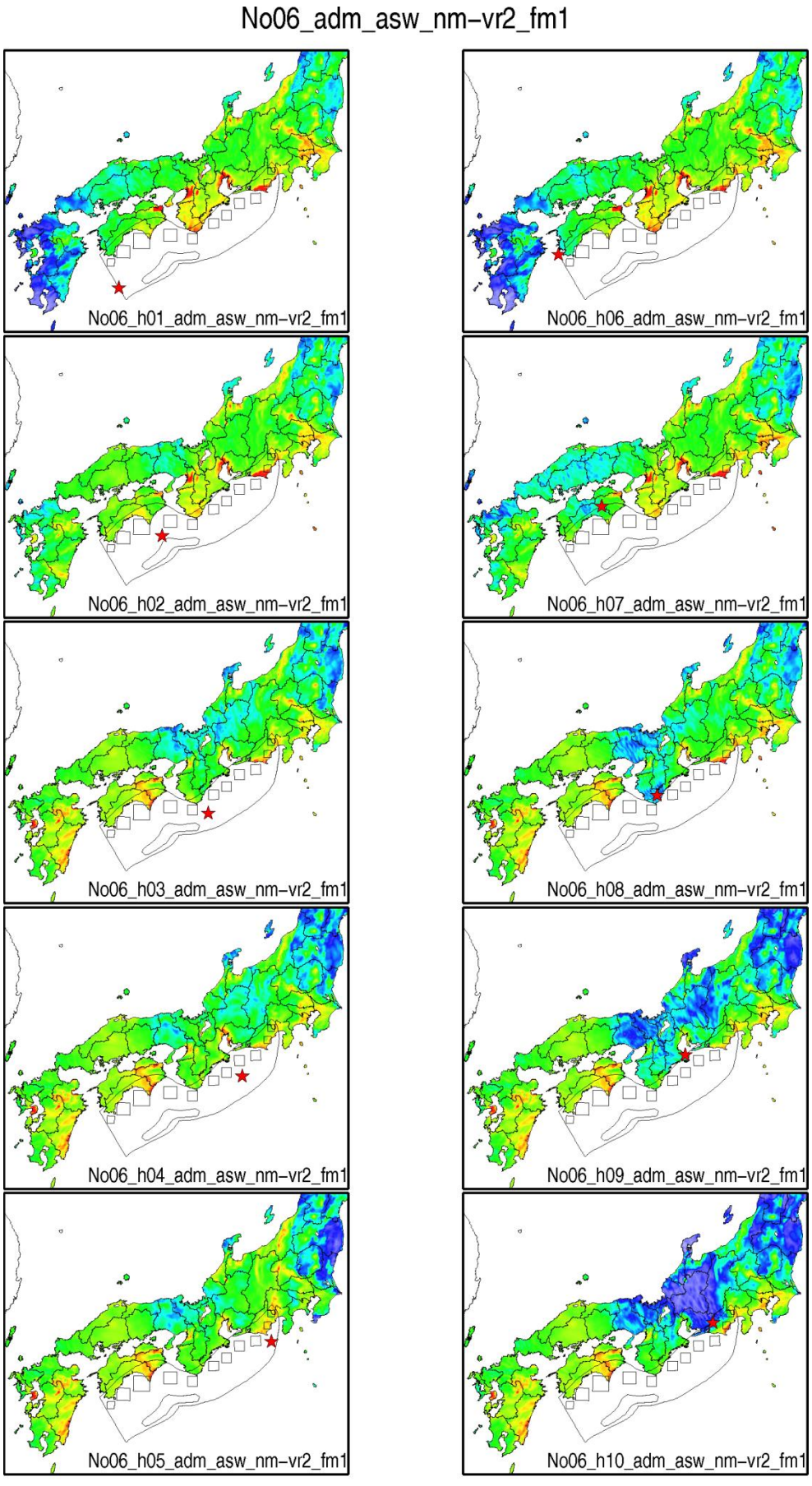
No06_adm_asw_nm-vr1_fm1



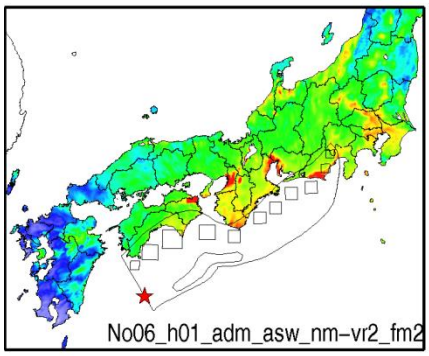


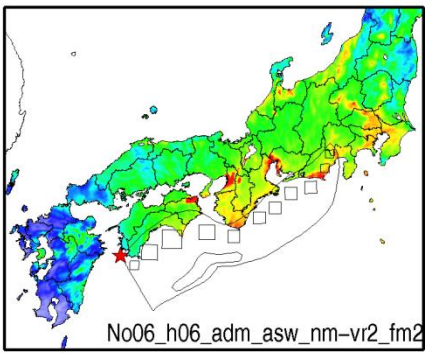


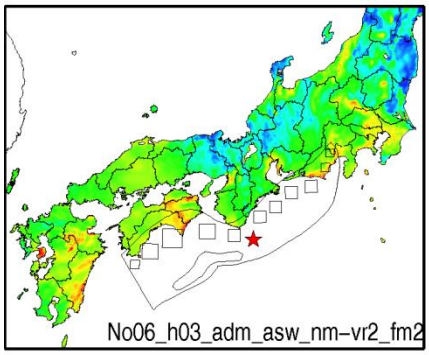


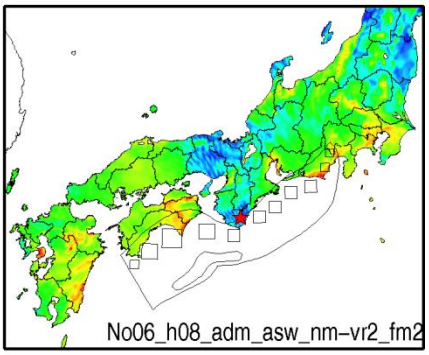

No06_adm_asw_nm-vr2_fm1
No06_h01_adm_asw_nm-vr2_fm1
No06_h06_adm_asw_nm-vr2_fm1
No06_h02_adm_asw_nm-vr2_fm1
No06_h07_adm_asw_nm-vr2_fm1
No06_h03_adm_asw_nm-vr2_fm1
No06_h08_adm_asw_nm-vr2_fm1
No06_h04_adm_asw_nm-vr2_fm1
No06_h09_adm_asw_nm-vr2_fm1
No06_h05_adm_asw_nm-vr2_fm1
No06_h10_adm_asw_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

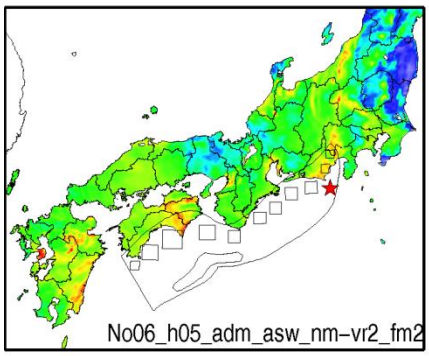
No06_adm_asw_nm-vr2_fm2

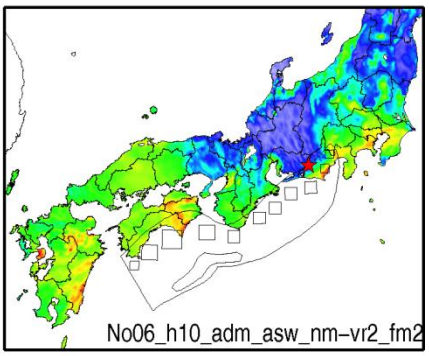


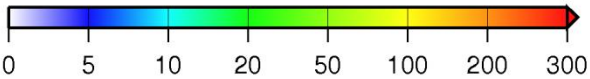






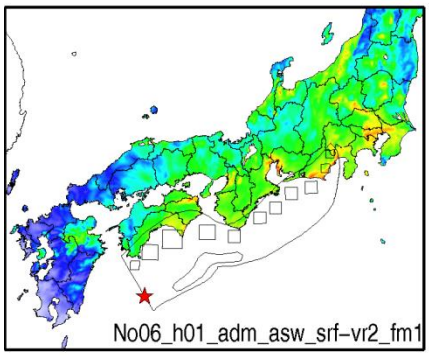


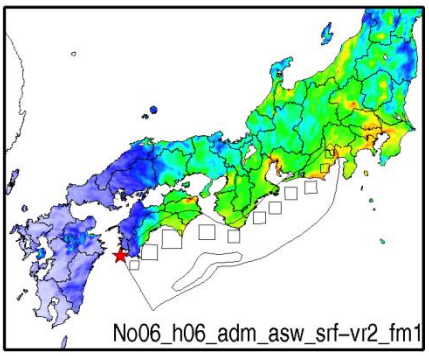


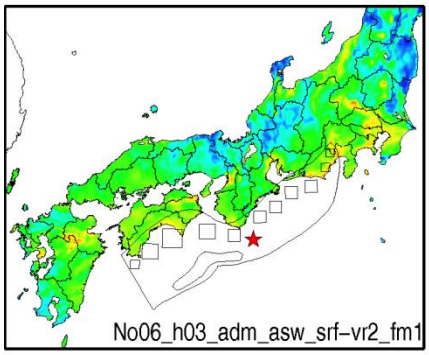


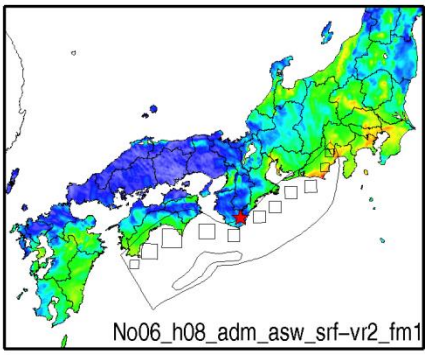
Sv,cm/s

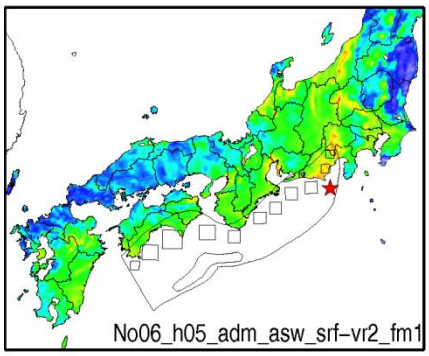
No06_adm_asw_srf-vr2_fm1

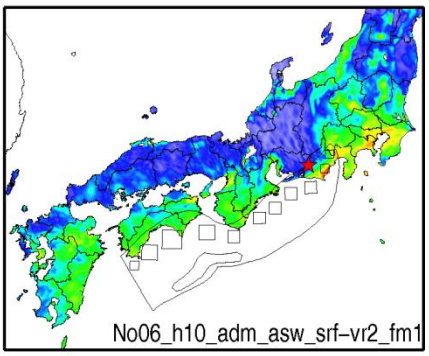


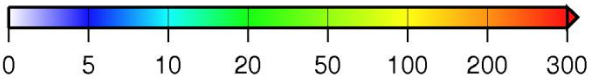






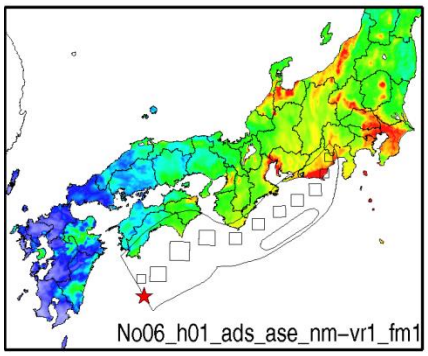


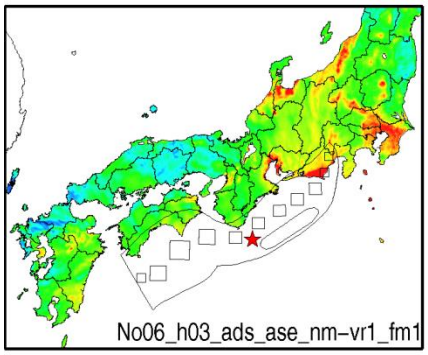


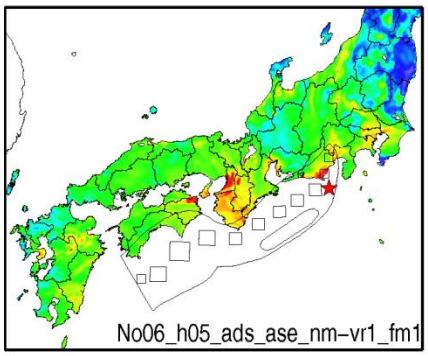


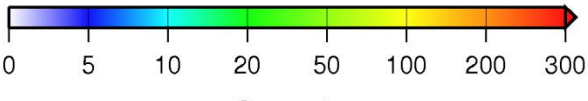
Sv,cm/s

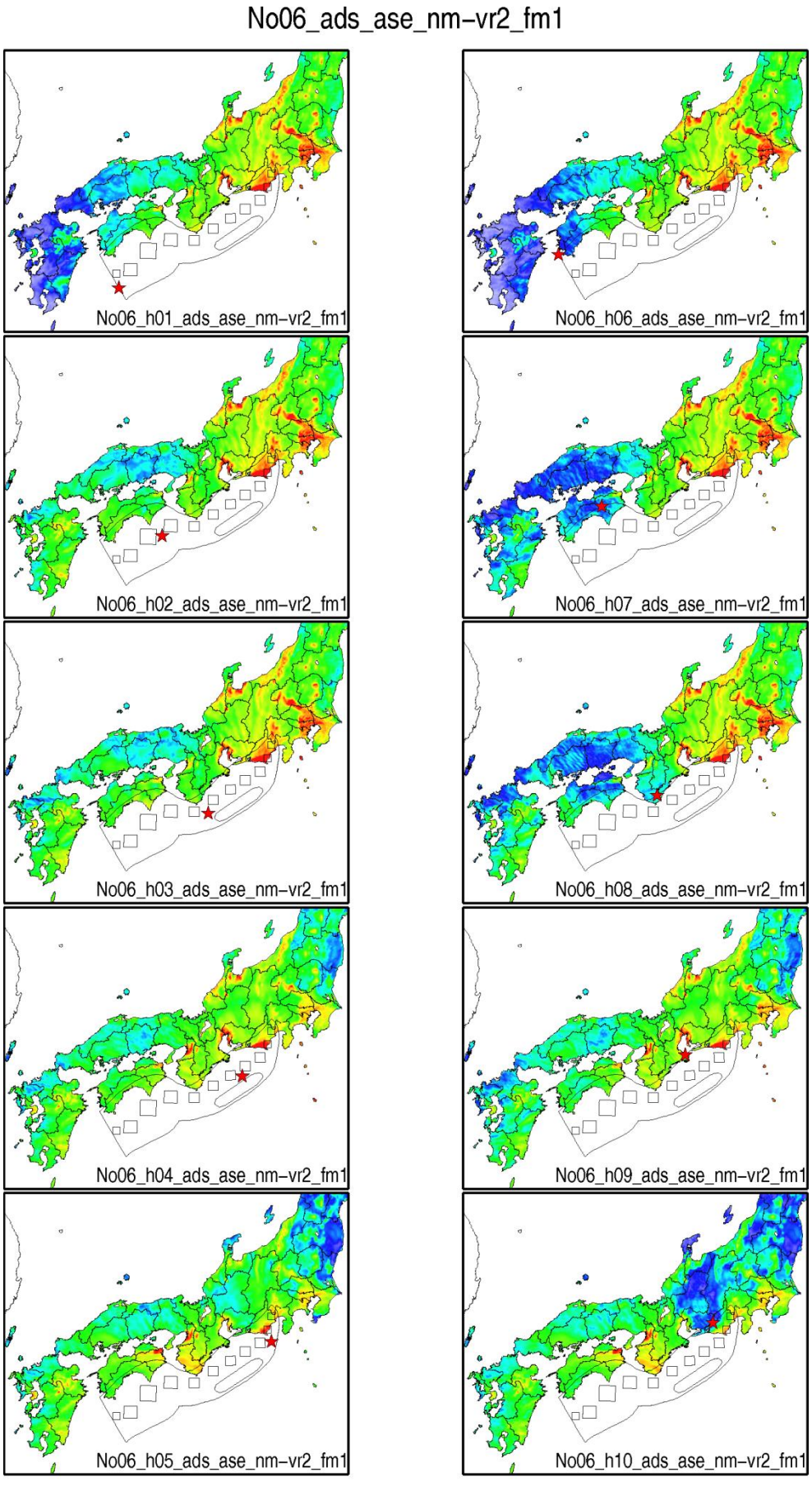
No06_ads_ase_nm-vr1_fm1



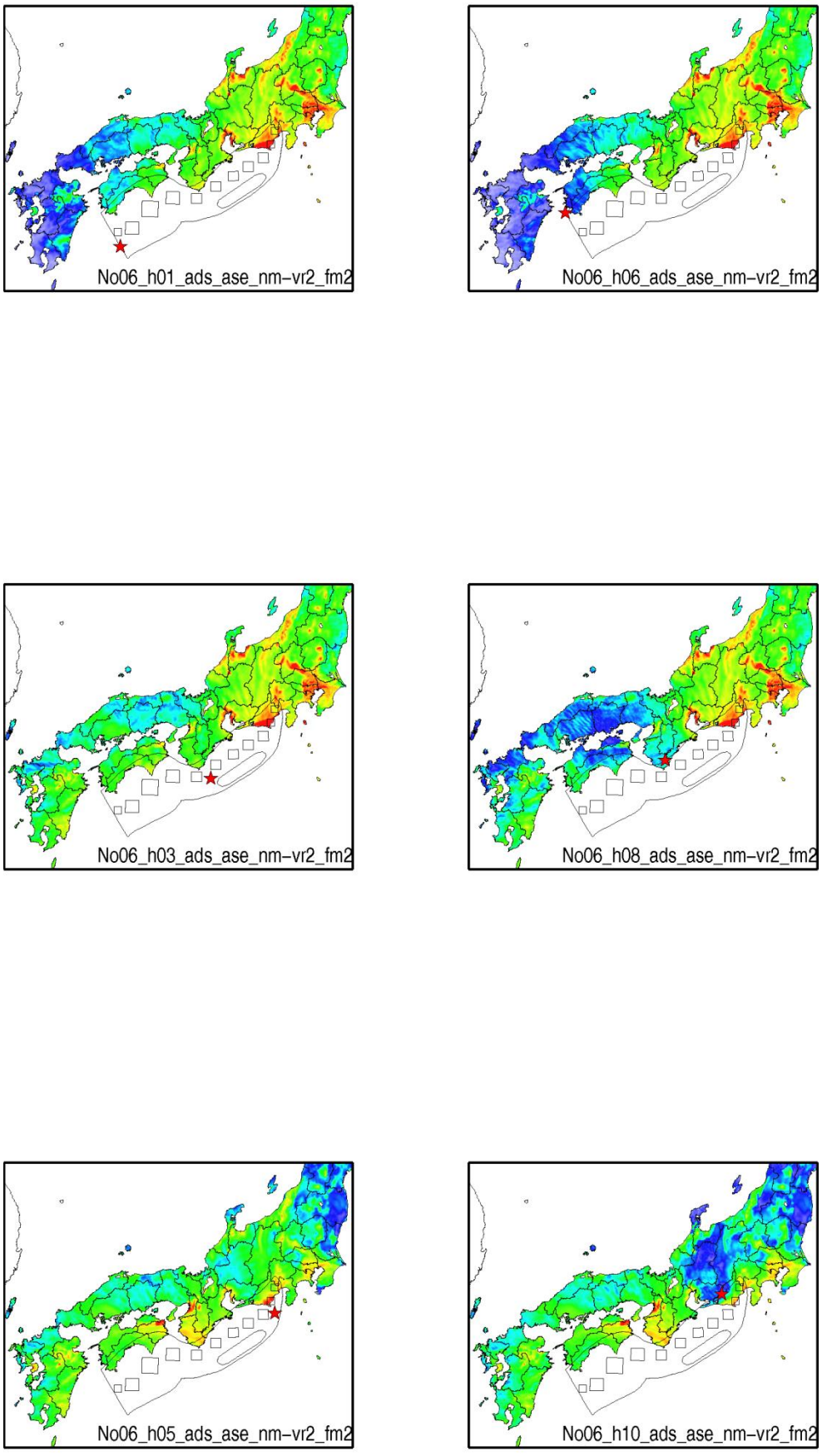




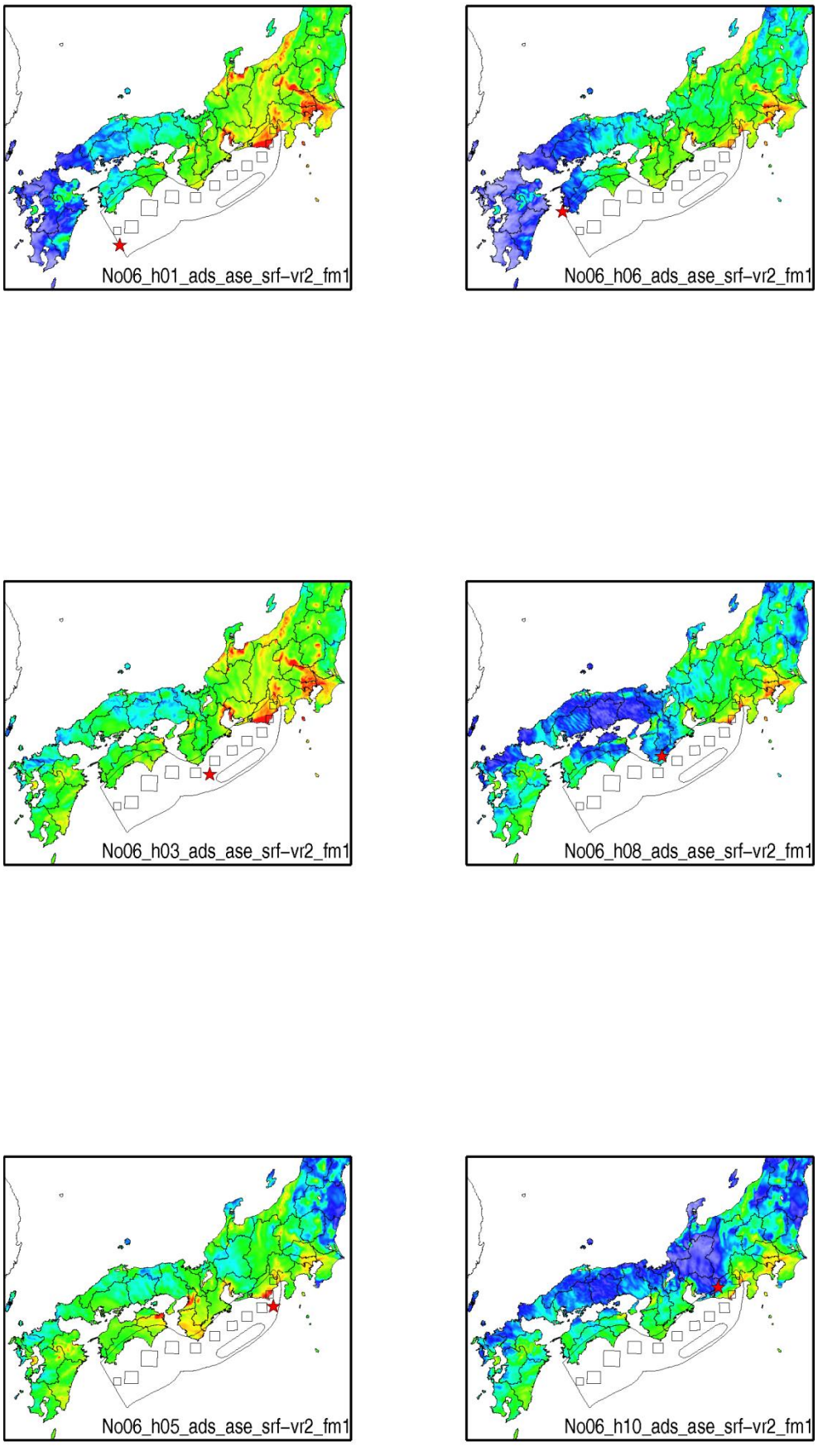



No06_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h01_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h06_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h02_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h07_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h03_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h08_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h04_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h09_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h05_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h10_ads_ase_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

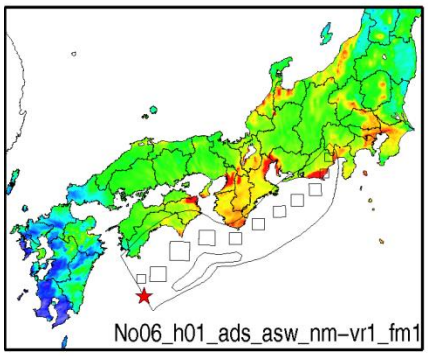
No06_ads_ase_nm-vr2_fm2

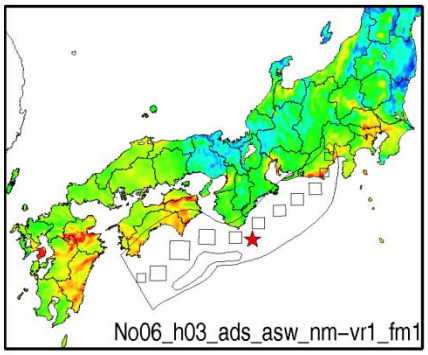


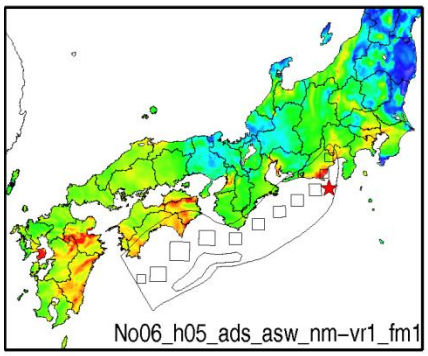
No06_ads_ase_srf-vr2_fm1

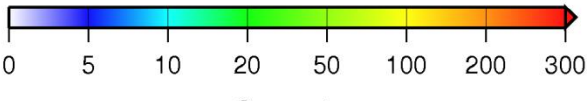


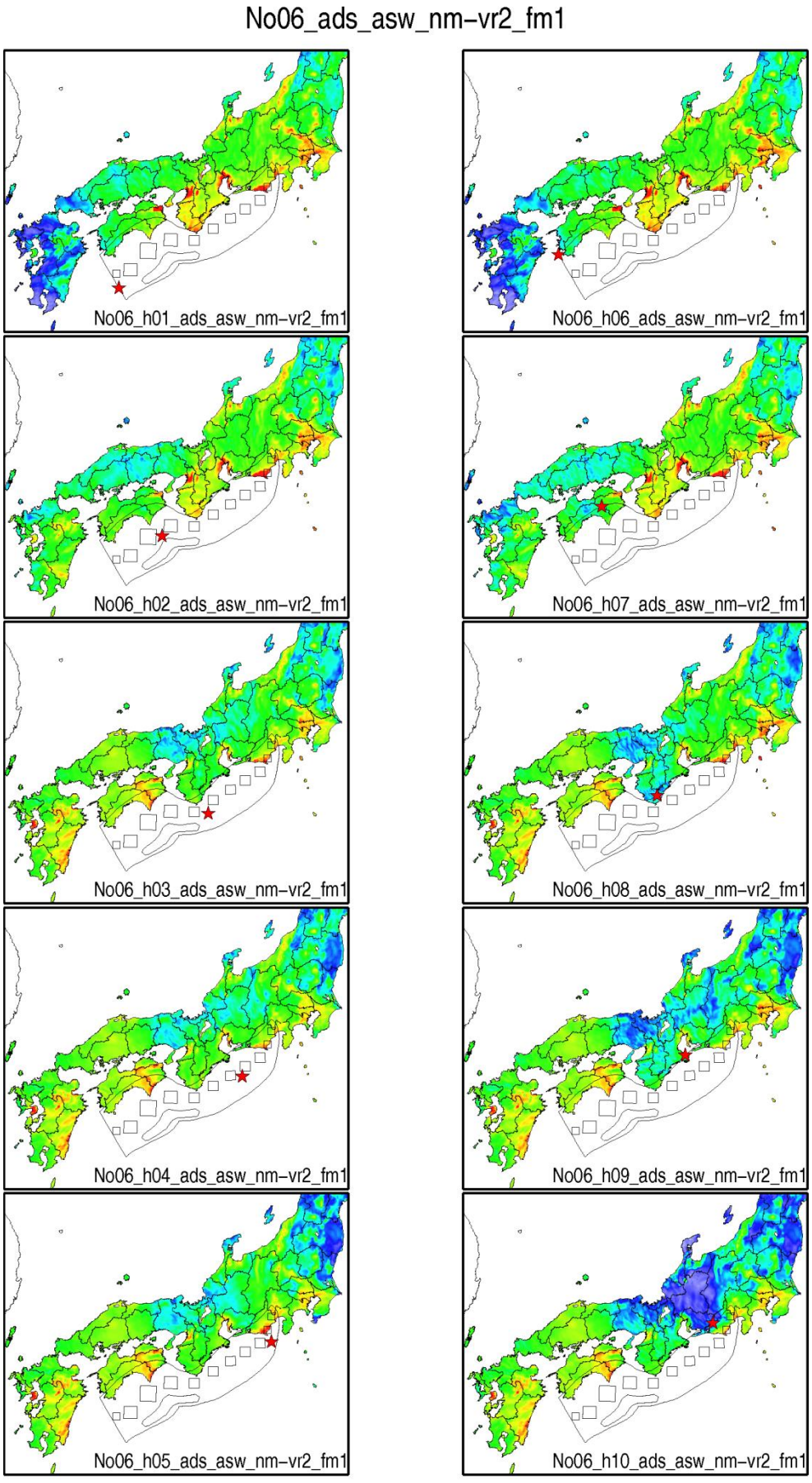
No06_ads_asw_nm-vr1_fm1



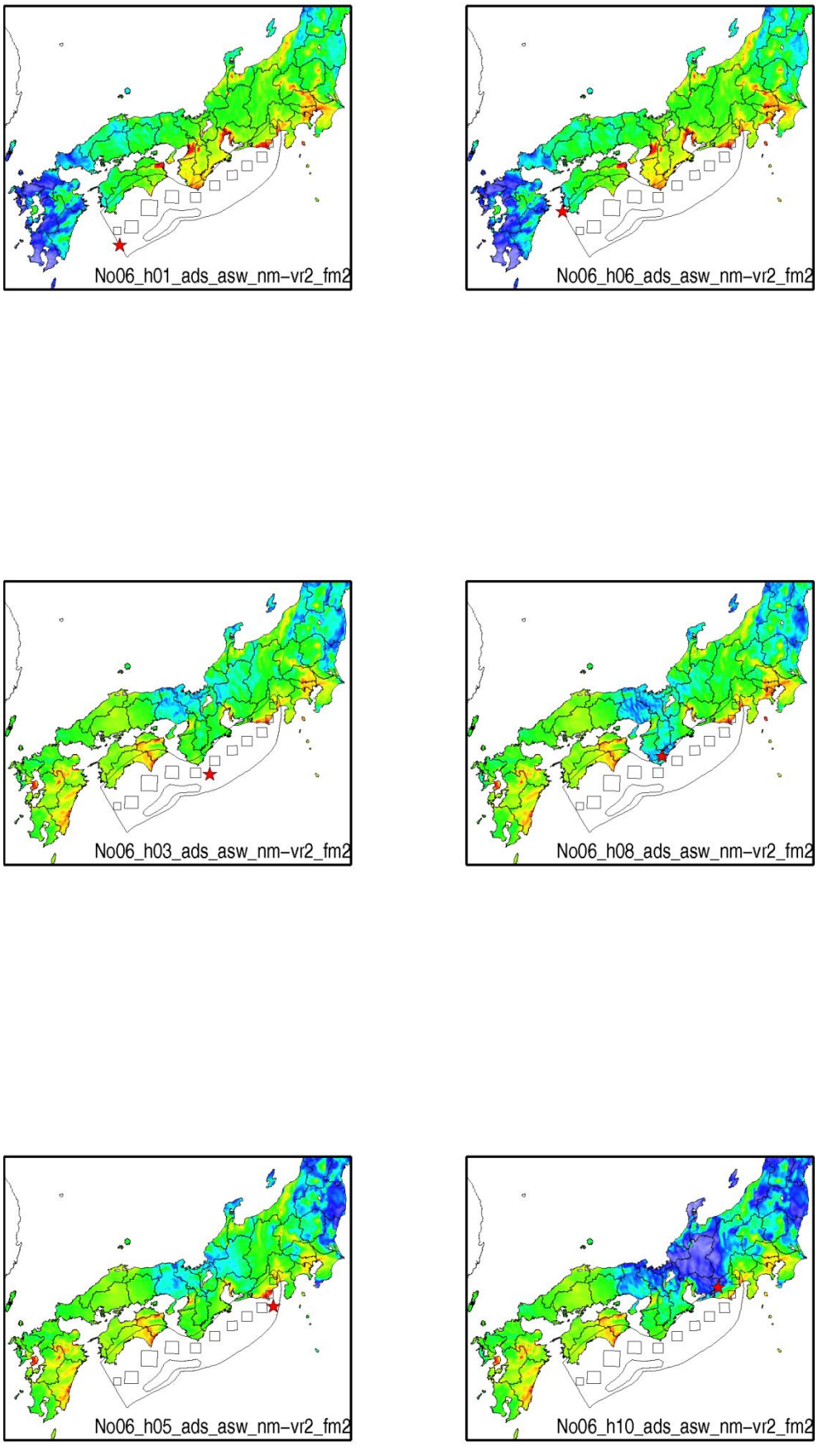




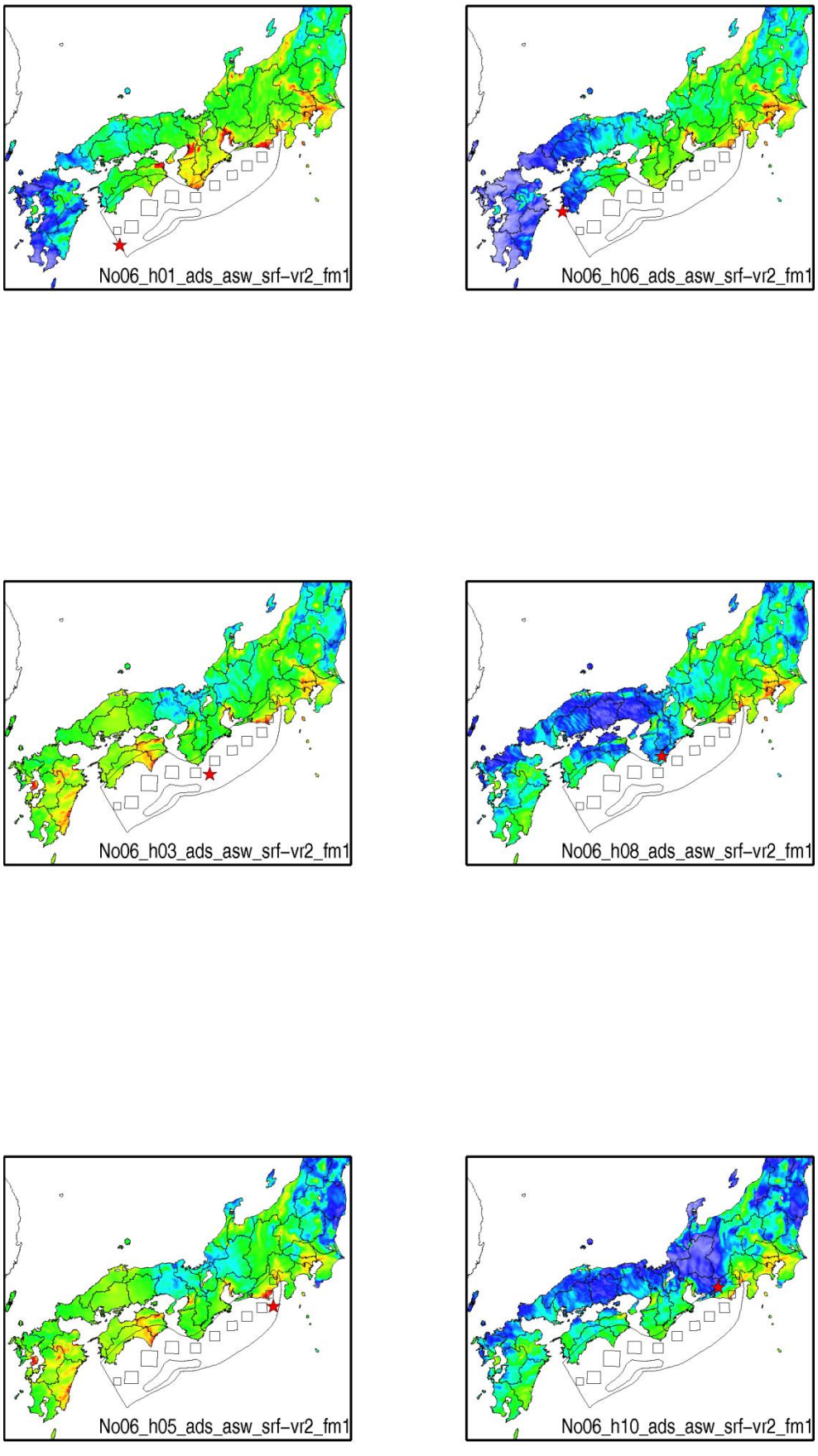



No06_ads_asw_nm-vr2_fm1
No06_h01_ads_asw_nm-vr2_fm1
No06_h06_ads_asw_nm-vr2_fm1
No06_h02_ads_asw_nm-vr2_fm1
No06_h07_ads_asw_nm-vr2_fm1
No06_h03_ads_asw_nm-vr2_fm1
No06_h08_ads_asw_nm-vr2_fm1
No06_h04_ads_asw_nm-vr2_fm1
No06_h09_ads_asw_nm-vr2_fm1
No06_h05_ads_asw_nm-vr2_fm1
No06_h10_ads_asw_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

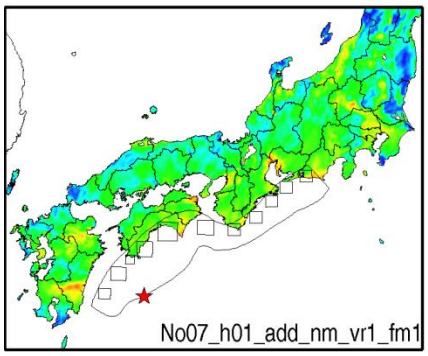
No06_ads_asw_nm-vr2_fm2

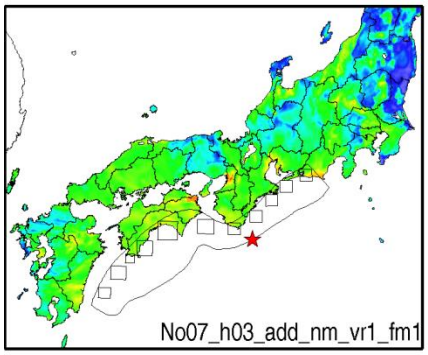


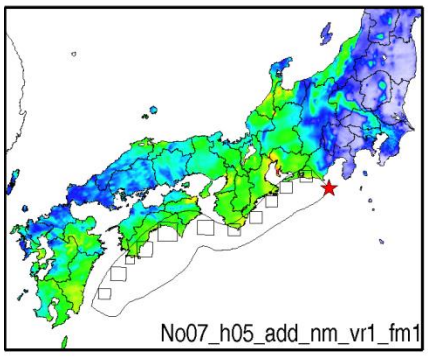
No06_ads_asw_srf-vr2_fm1

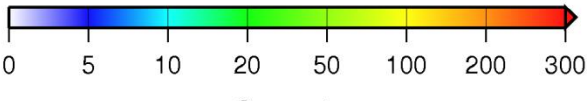


No07_r2_add_nm_vr1_fm1

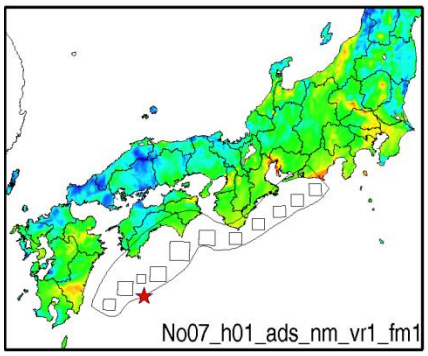


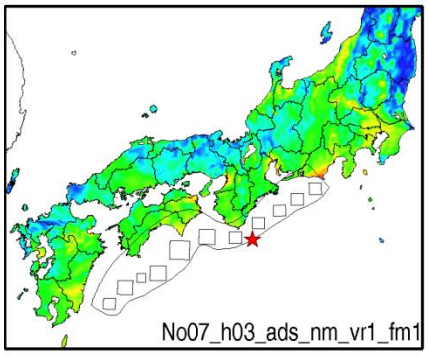


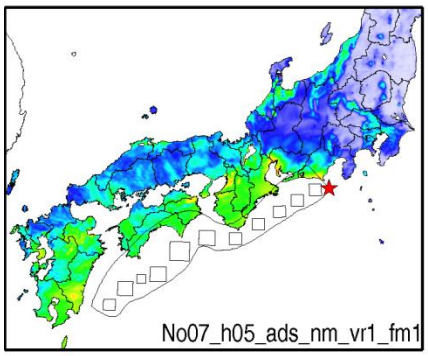


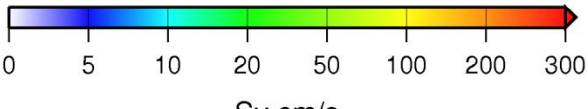


No07_r2_ads_nm_vr1_fm1

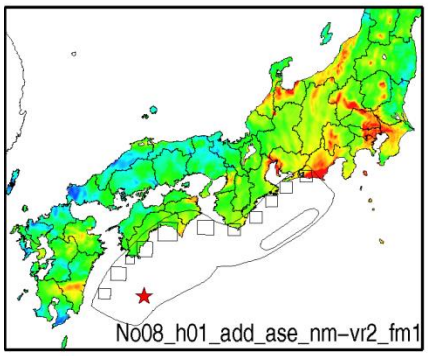


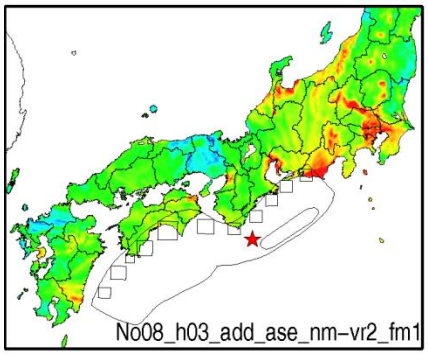


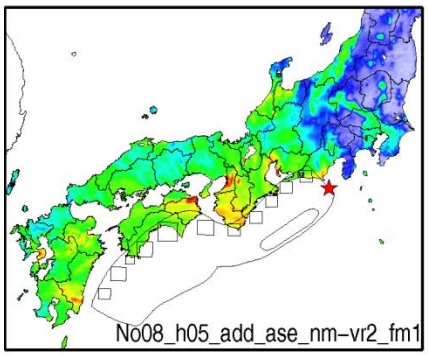


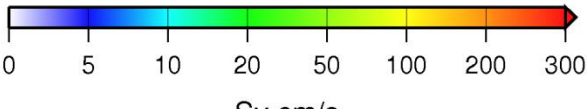


No08_add_ase_nm-vr2_fm1

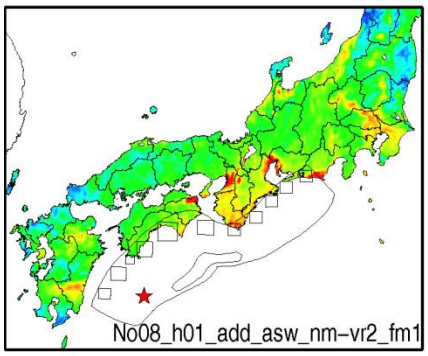


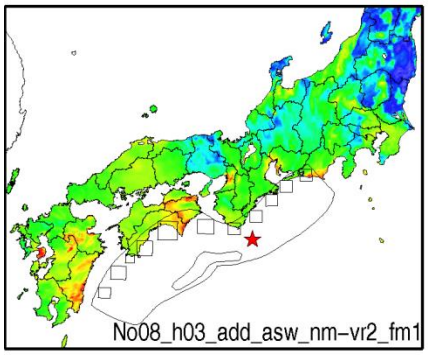


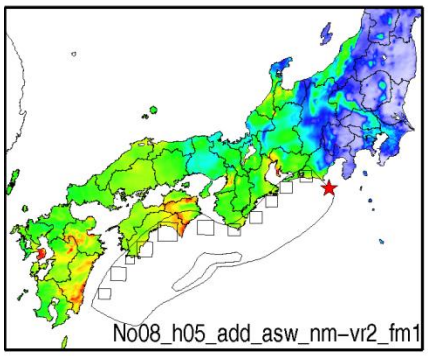


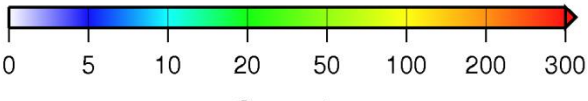


No08_add_asw_nm-vr2_fm1

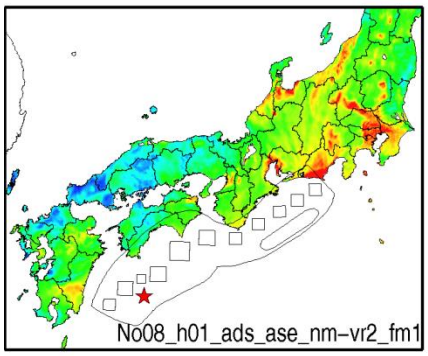


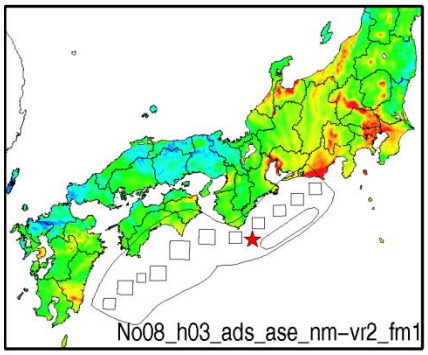


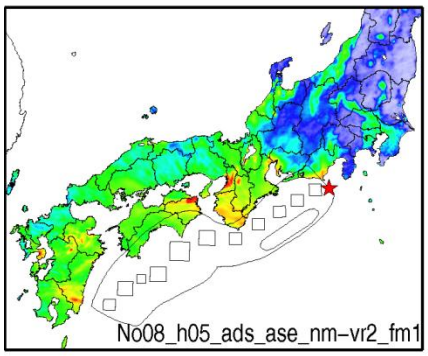


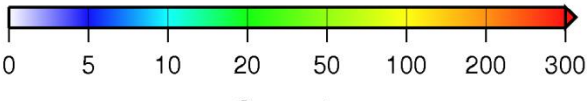


No08_ads_ase_nm-vr2_fm1

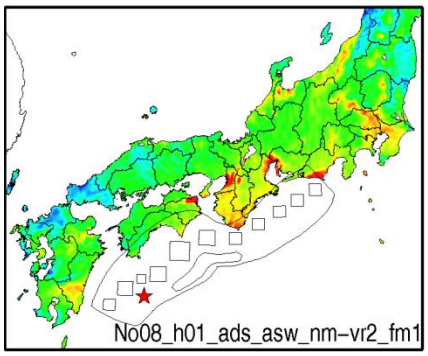


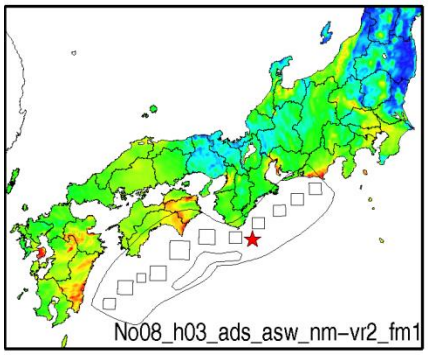


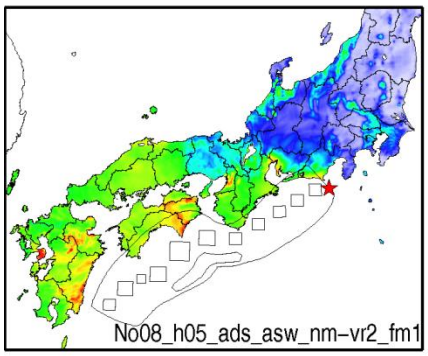


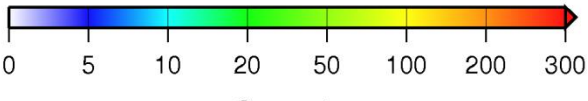


No08_ads_asw_nm-vr2_fm1

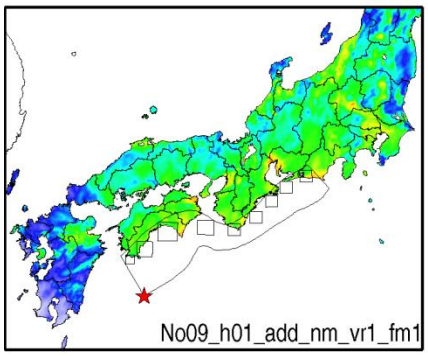


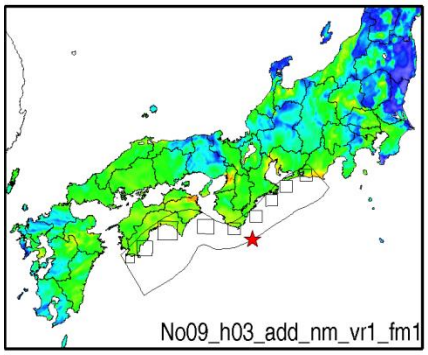


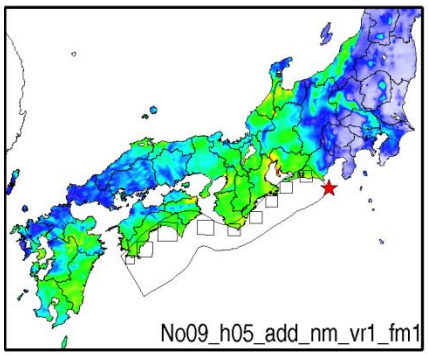


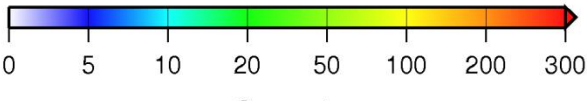


No09_r2_add_nm_vr1_fm1

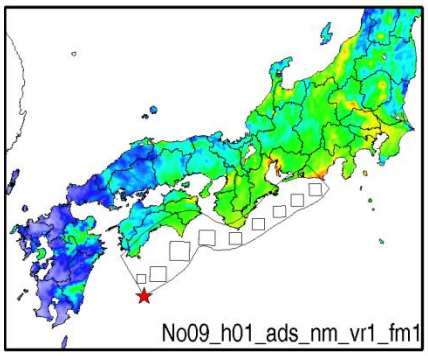


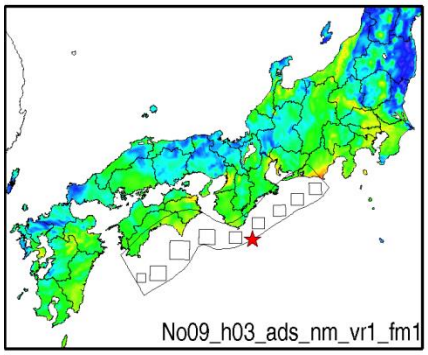


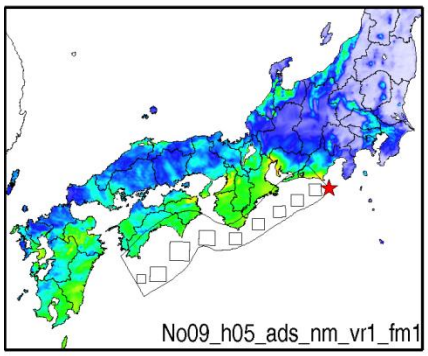


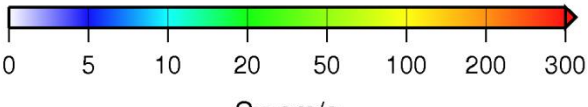


No09_r2_ads_nm_vr1_fm1

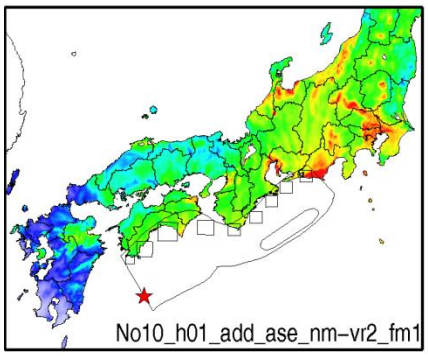


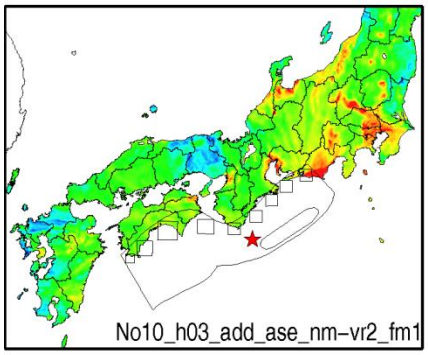


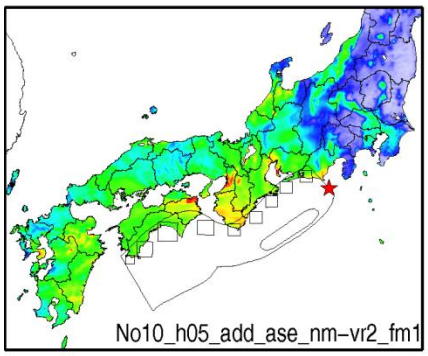


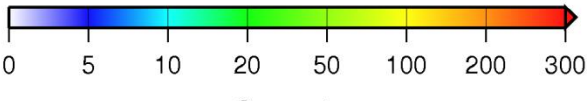


No10_add_ase_nm-vr2_fm1

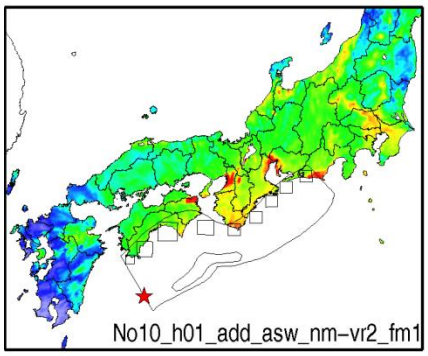


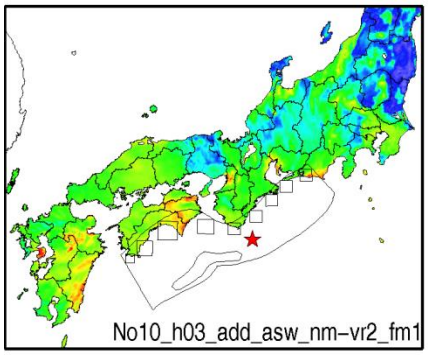


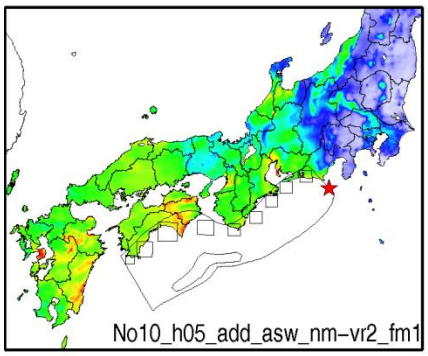


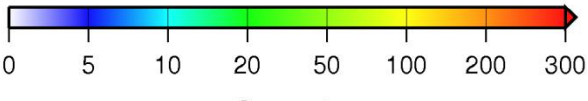


No10_add_asw_nm-vr2_fm1

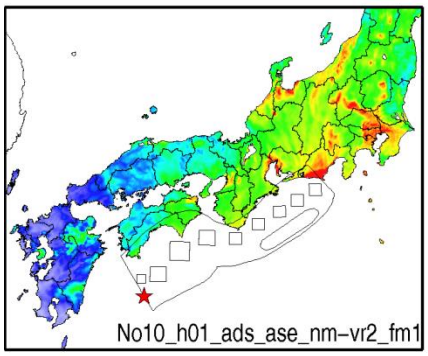


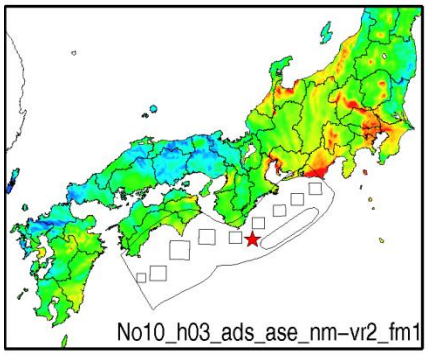


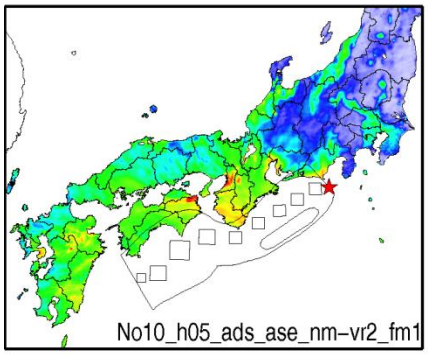


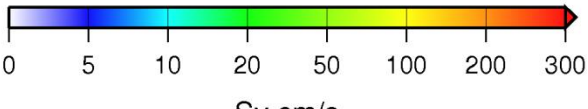


No10_ads_ase_nm-vr2_fm1

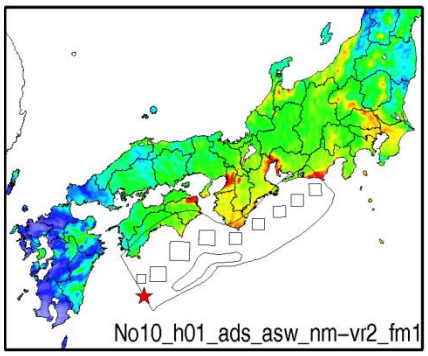


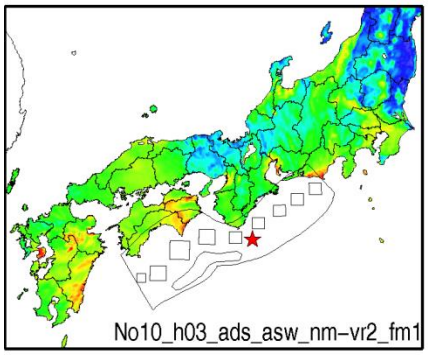


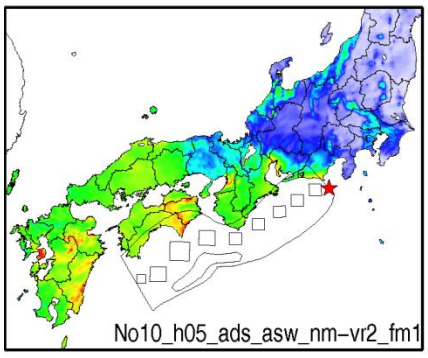


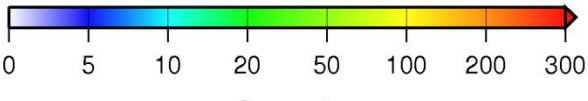


No10_ads_asw_nm-vr2_fm1

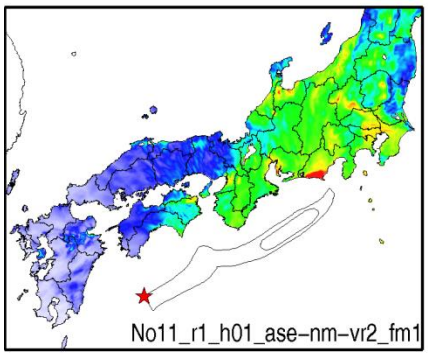


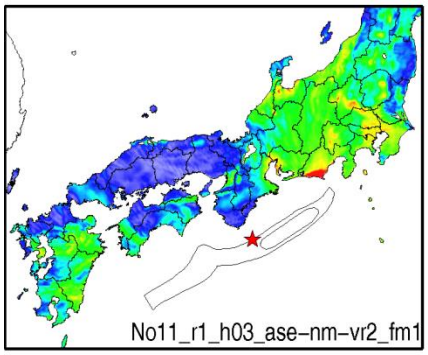


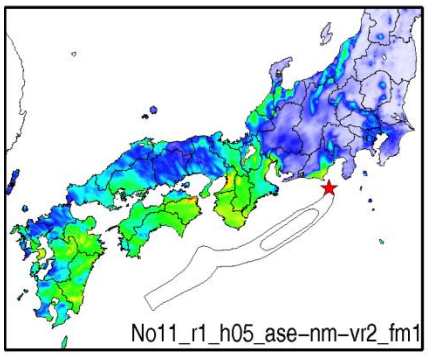


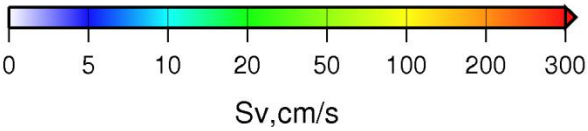


No11_r1_ase-nm-vr2_fm1

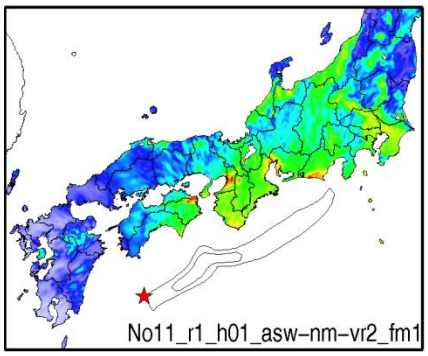


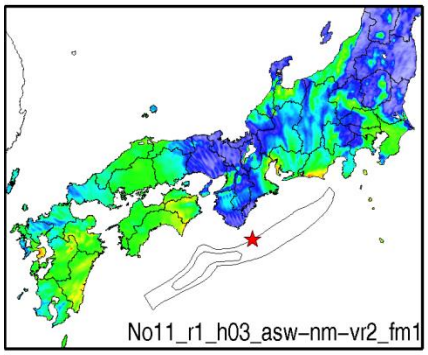


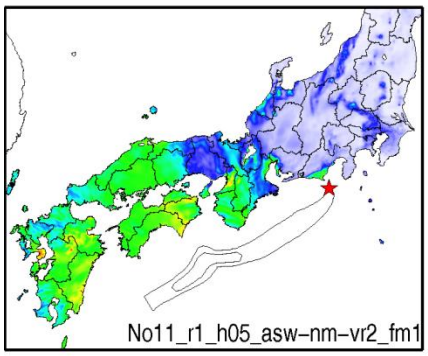


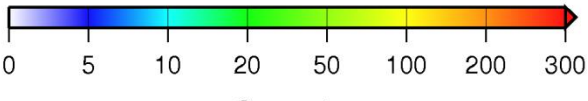


No11_r1_asw-nm-vr2_fm1

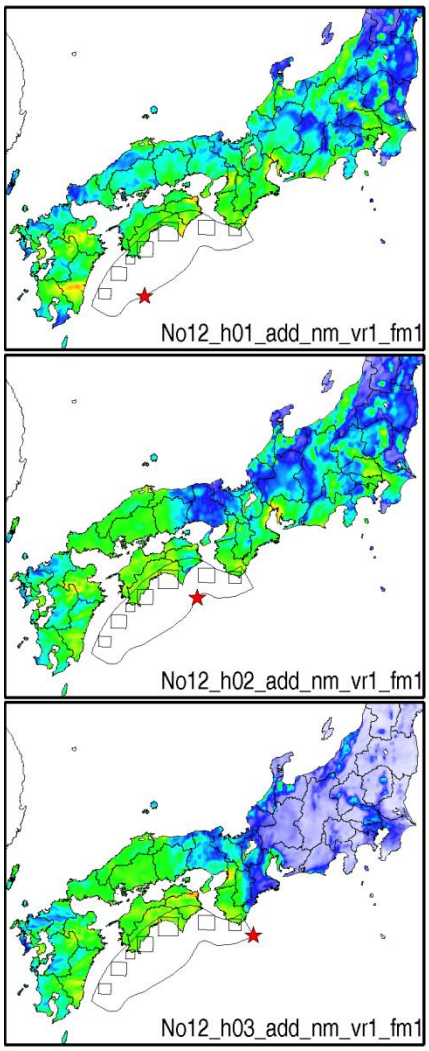


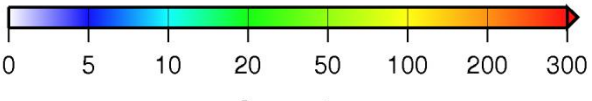




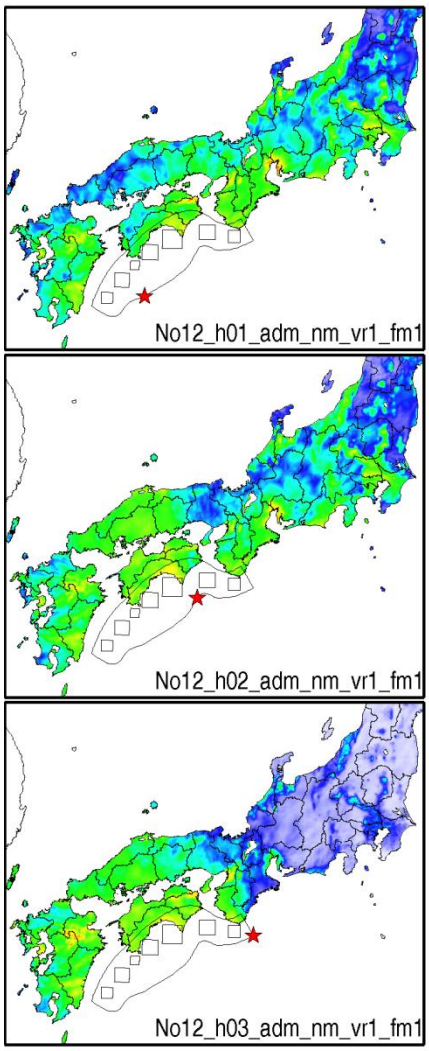


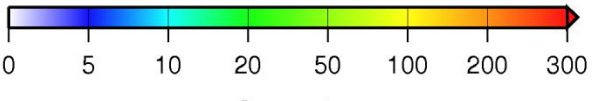
No12_r2_add_nm_vr1_fm1



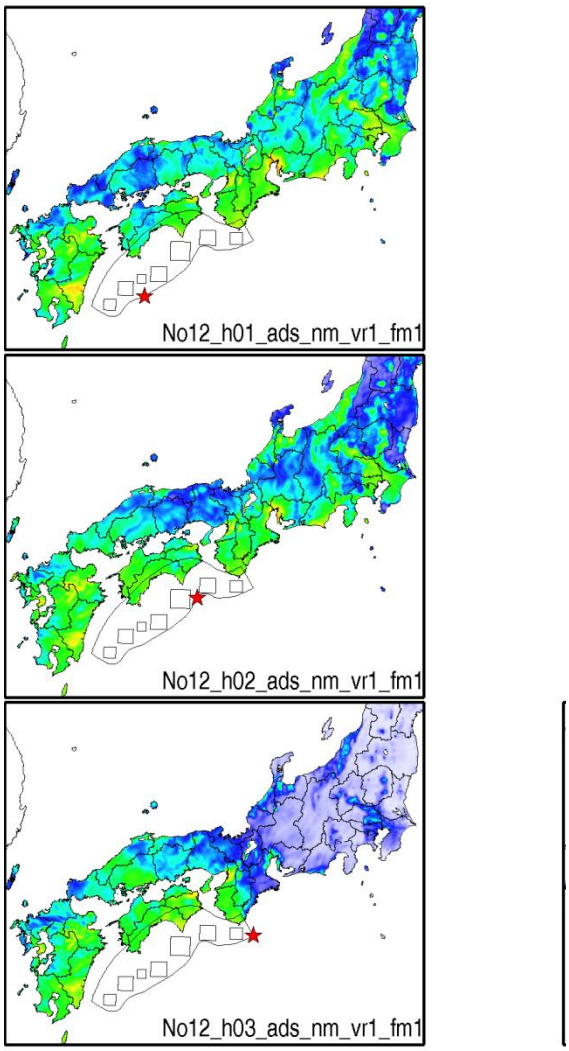


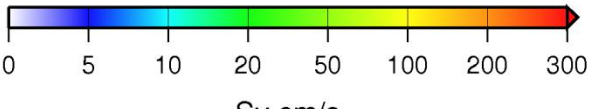
No12_r2_adm_nm_vr1_fm1



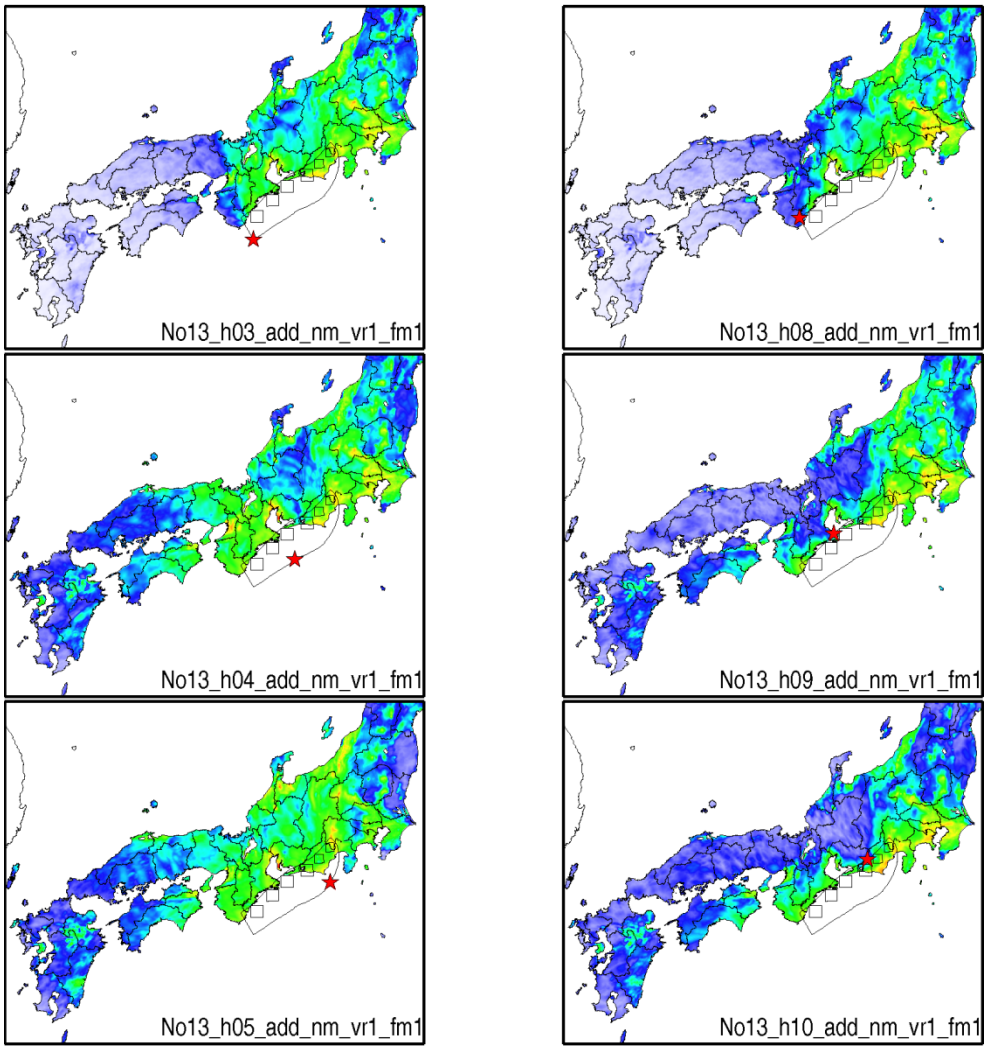


No12_r2_ads_nm_vr1_fm1

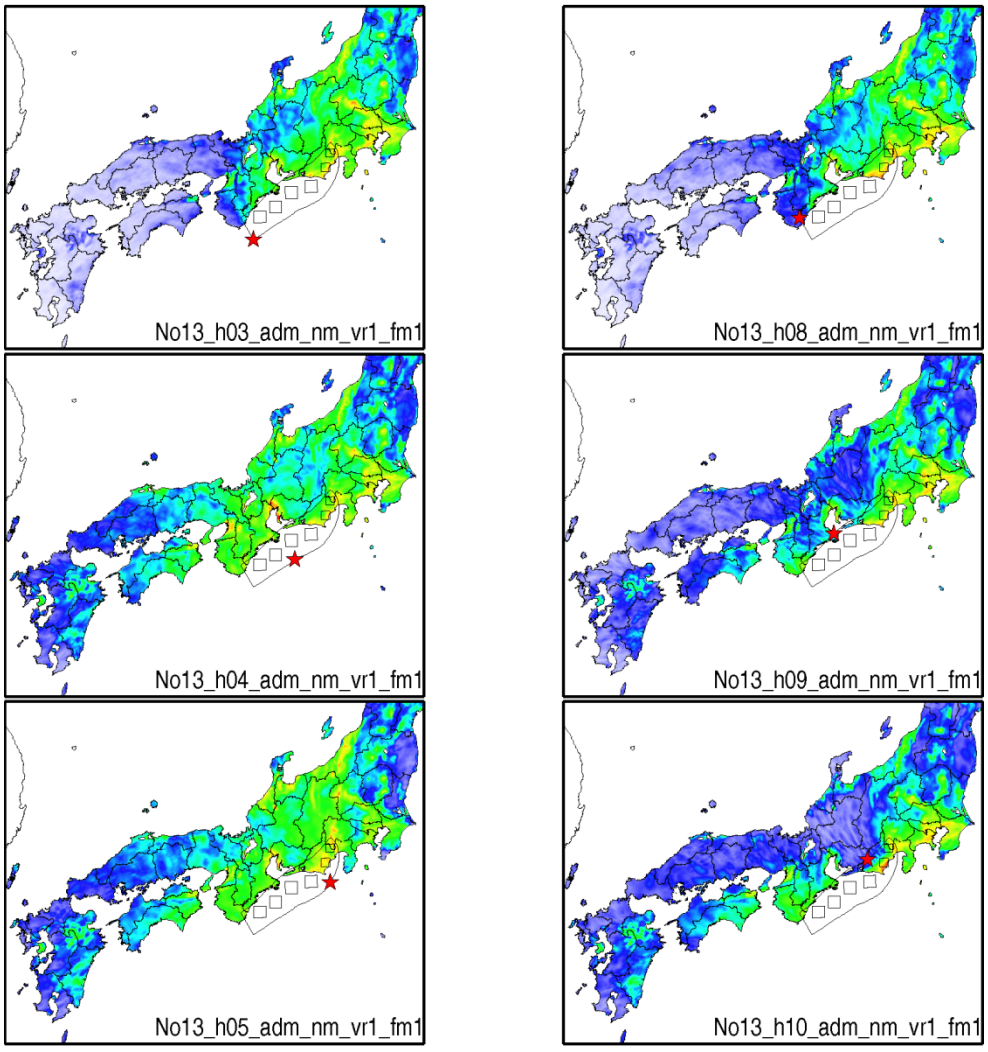




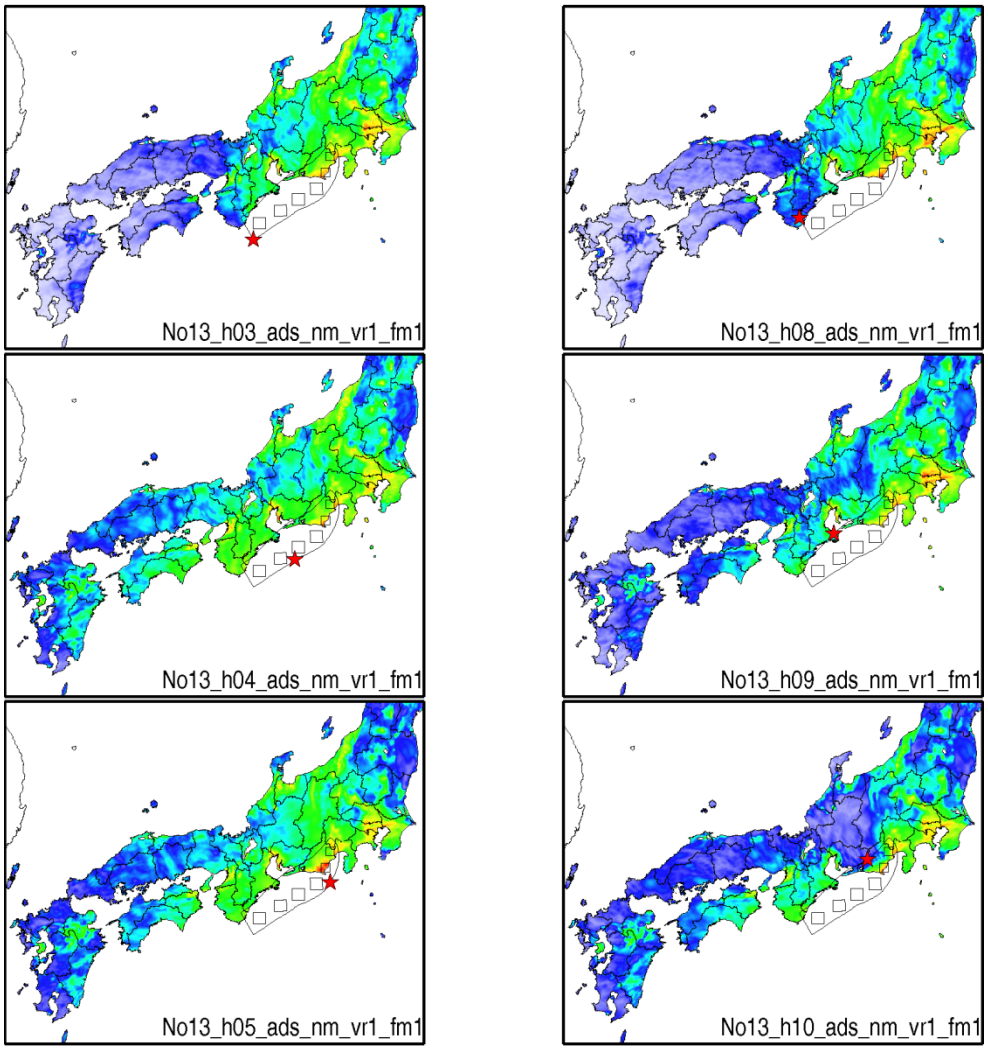
No13_r2_add_nm_vr1_fm1



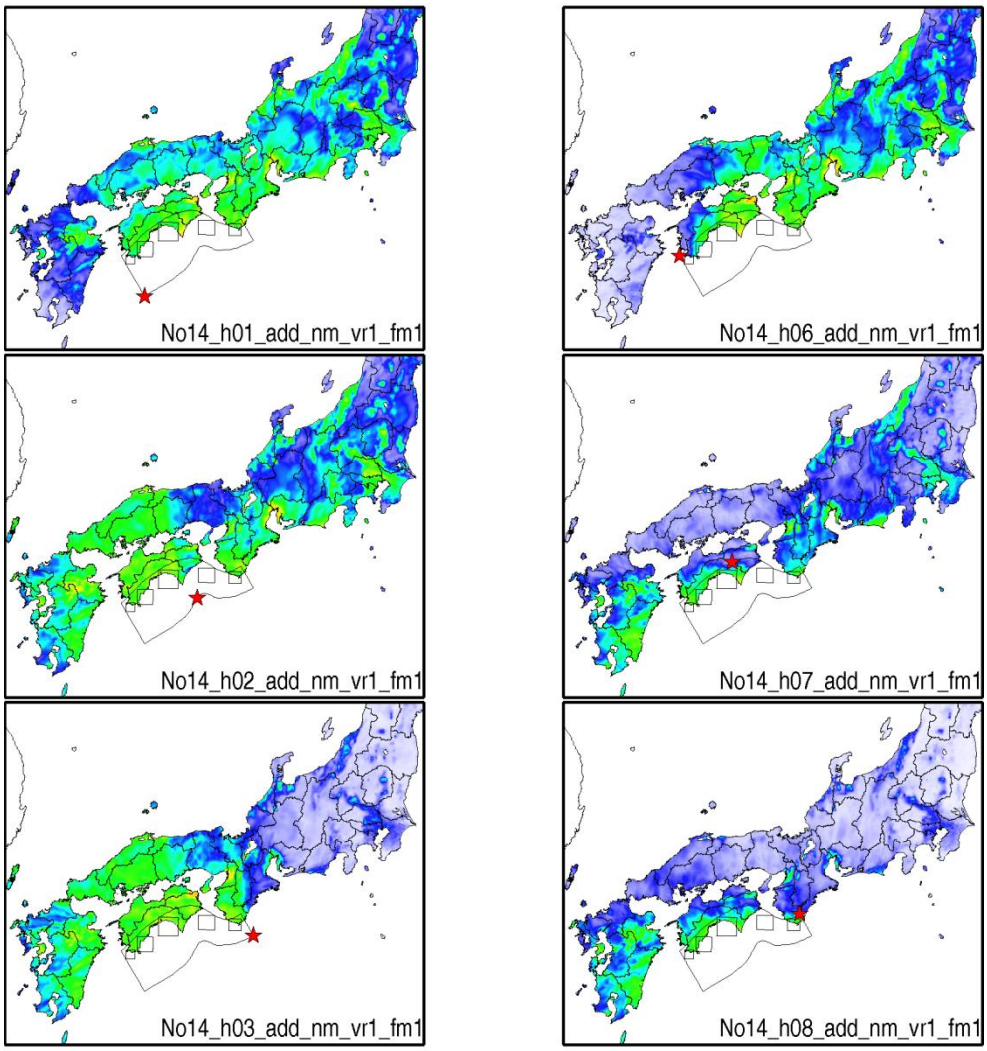
No13_r2_adm_nm_vr1_fm1

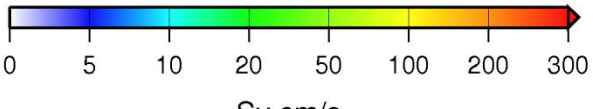


No13_r2_ads_nm_vr1_fm1

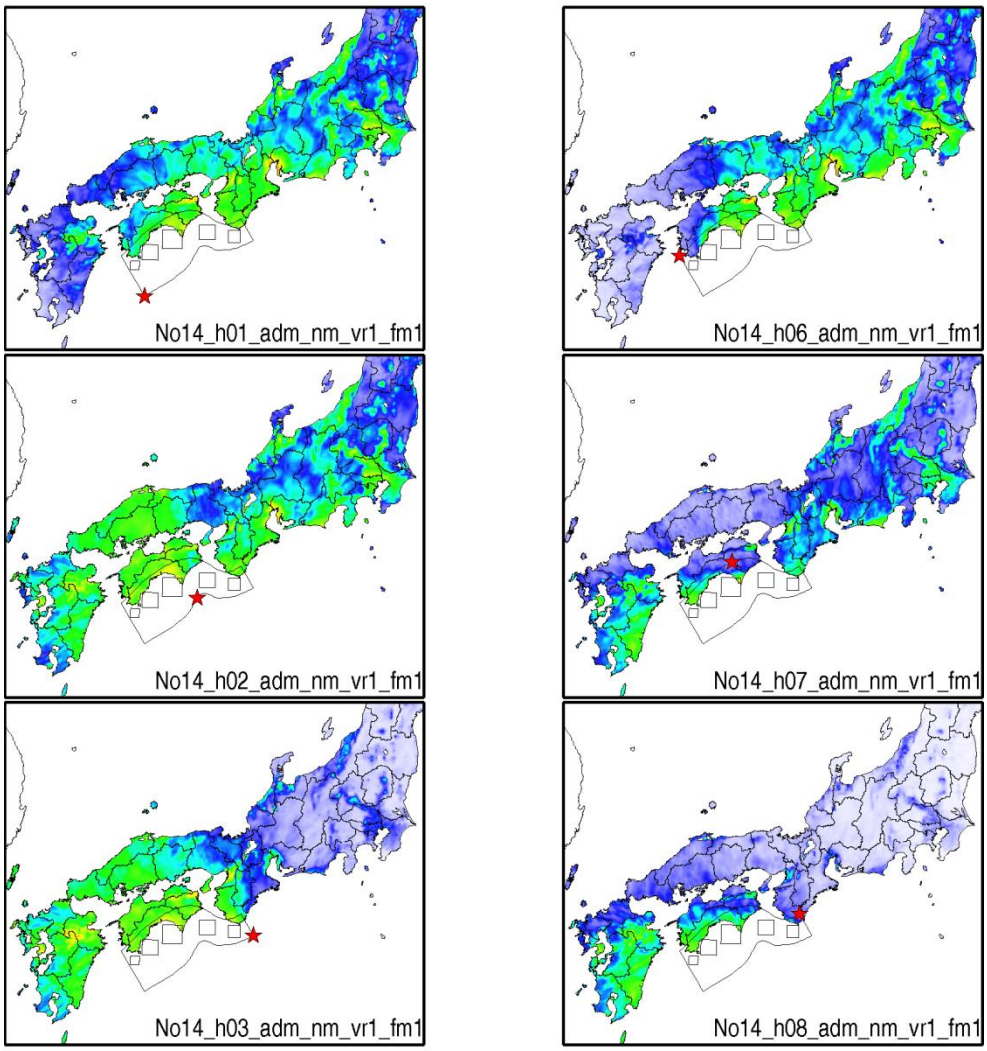


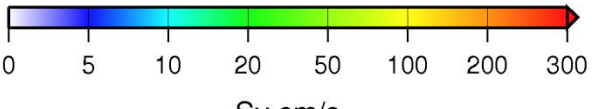
No14_r2_add_nm_vr1_fm1



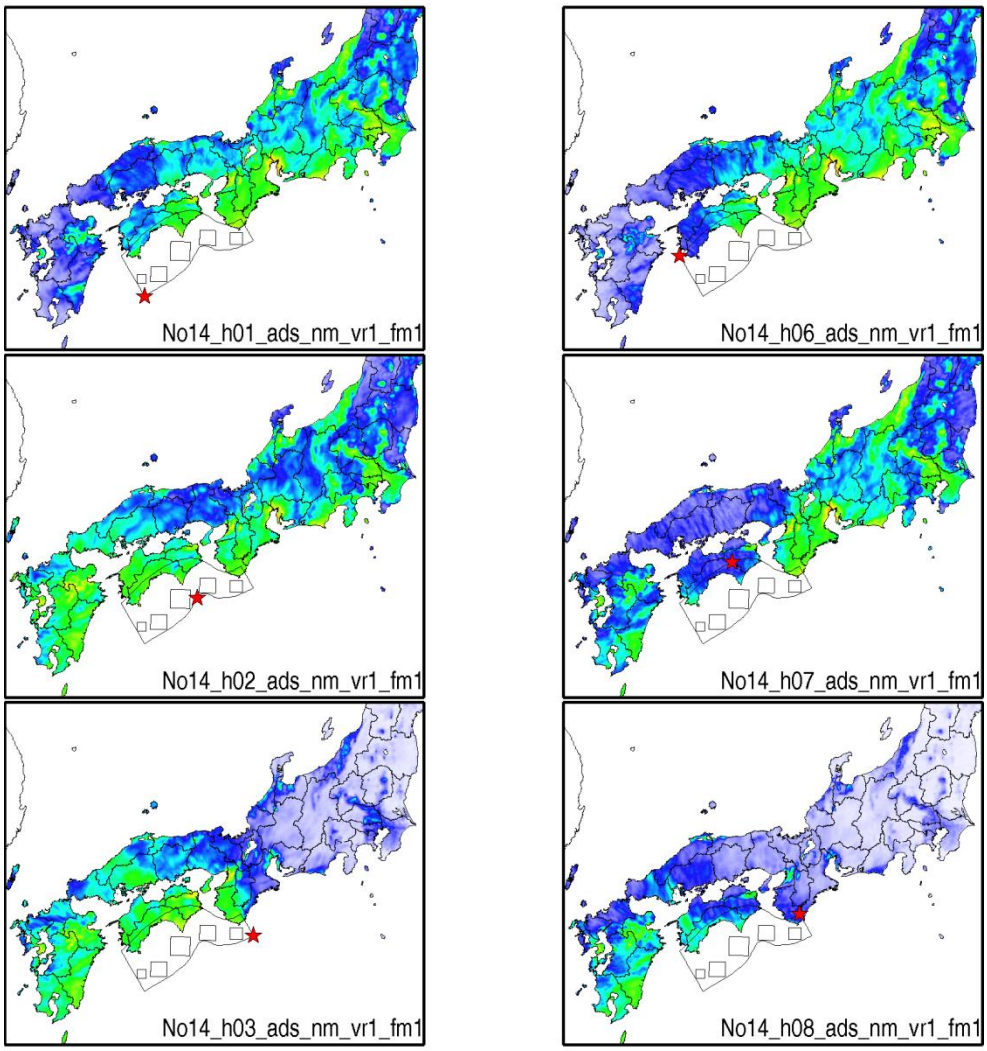


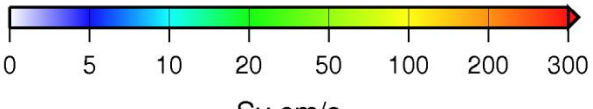
No14_r2_adm_nm_vr1_fm1



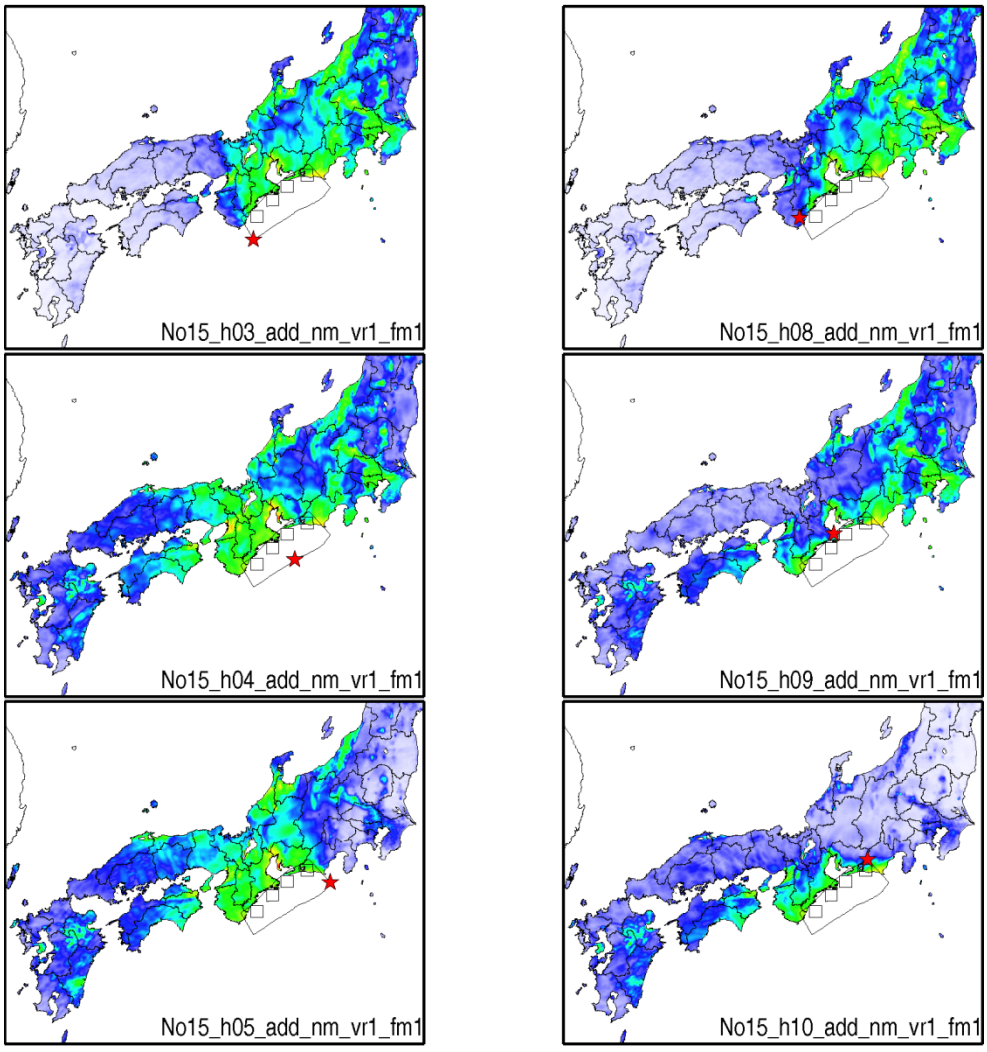


No14_r2_ads_nm_vr1_fm1

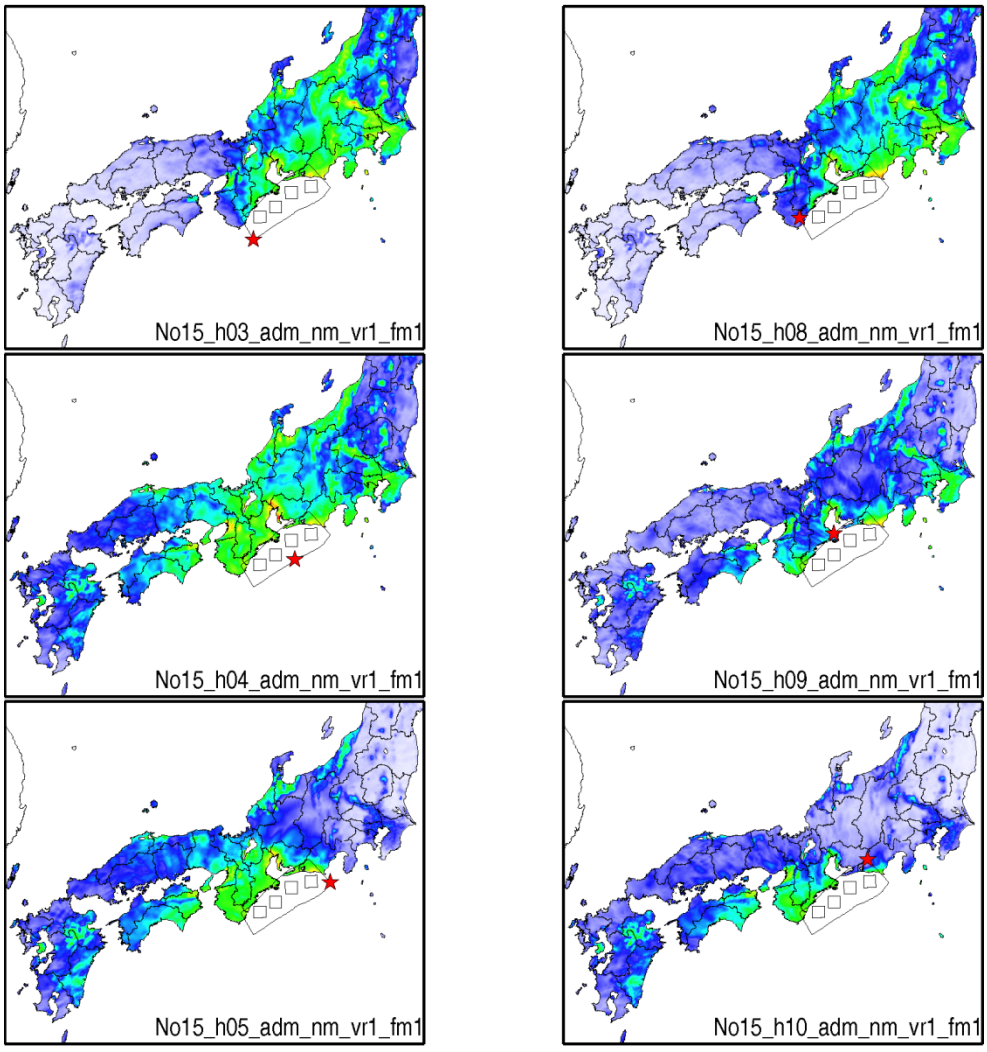




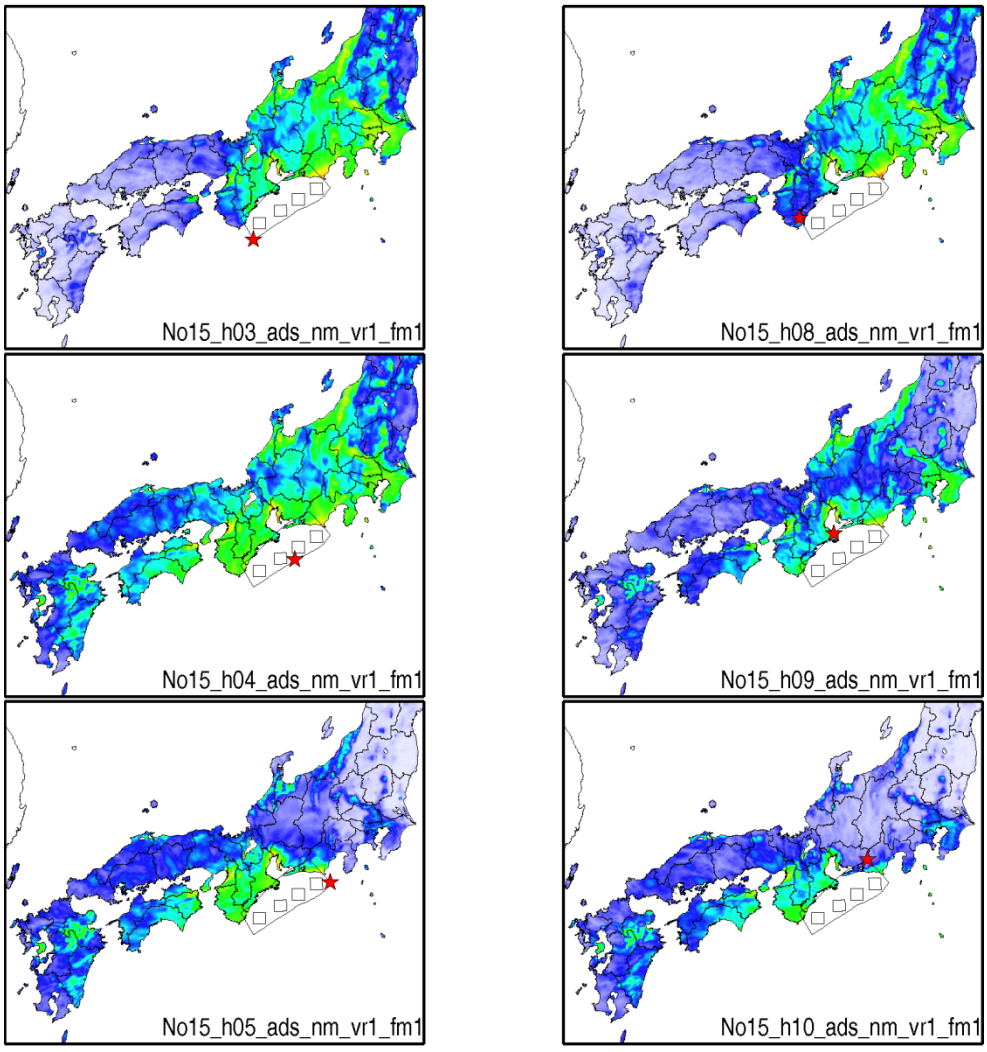
No15_r2_add_nm_vr1_fm1



No15_r2_adm_nm_vr1_fm1

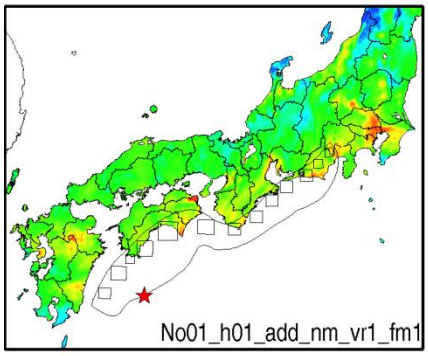


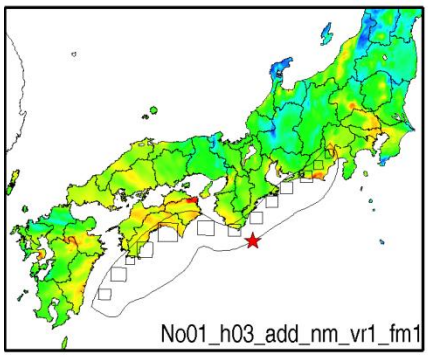
No15_r2_ads_nm_vr1_fm1

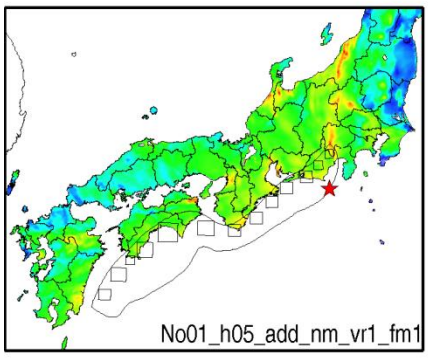


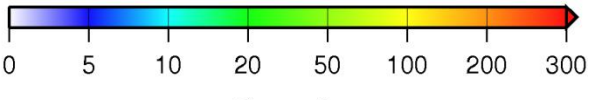
速度応答値(Sv:減衰定数 5%、周期 7 秒)の空間分布

No01_r2_add_nm_vr1_fm1

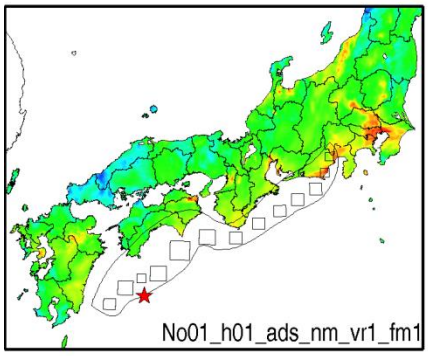


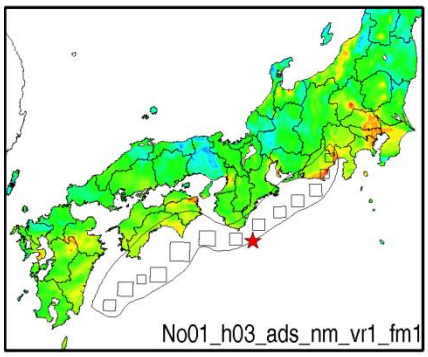


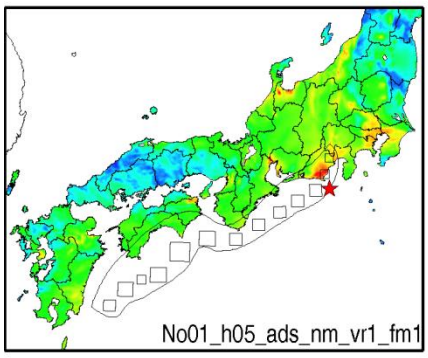


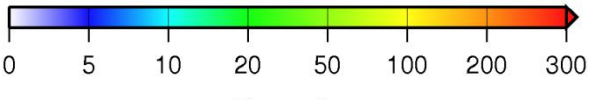


No01_r2_ads_nm_vr1_fm1

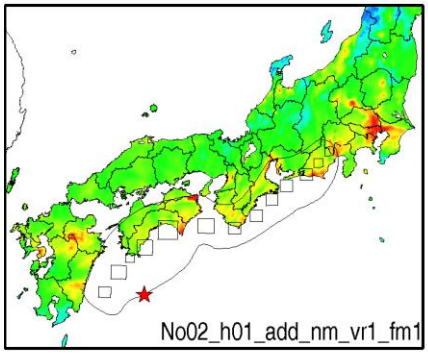


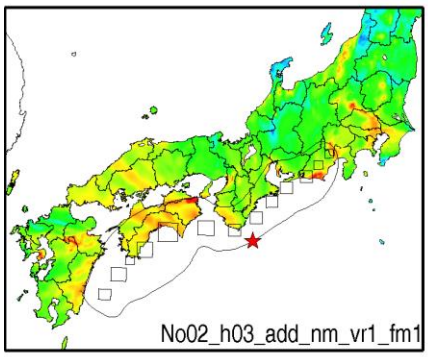


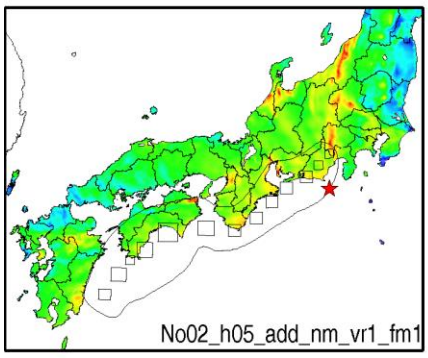


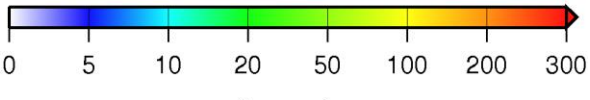


No02_r2_add_nm_vr1_fm1

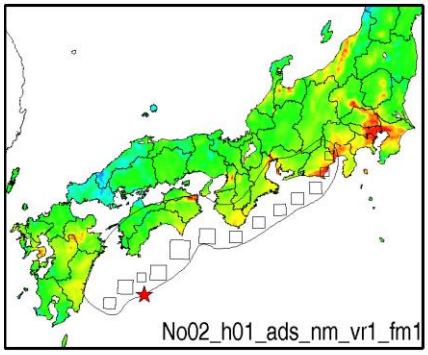


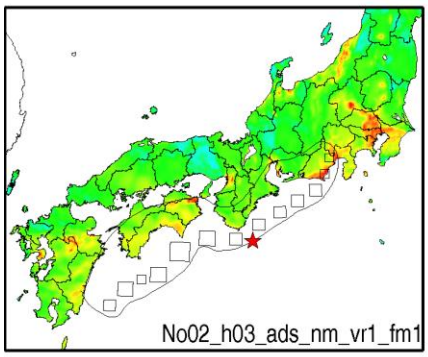


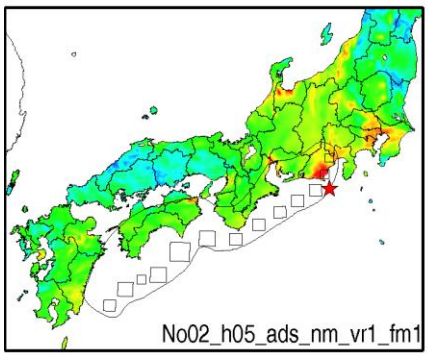


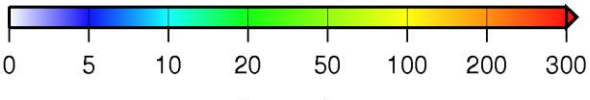


No02_r2_ads_nm_vr1_fm1

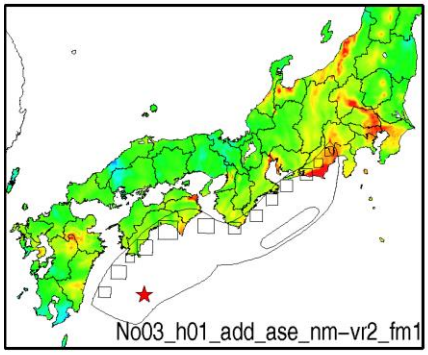


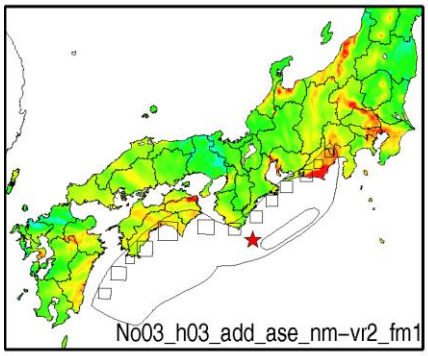


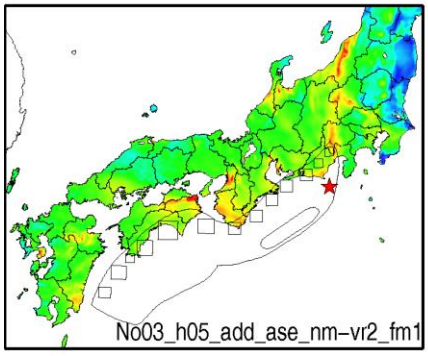


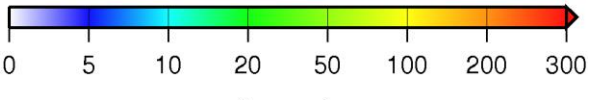


No03_add_ase_nm-vr2_fm1

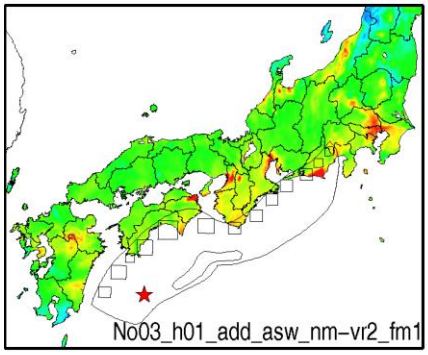


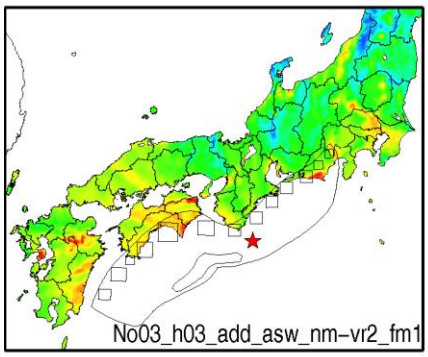


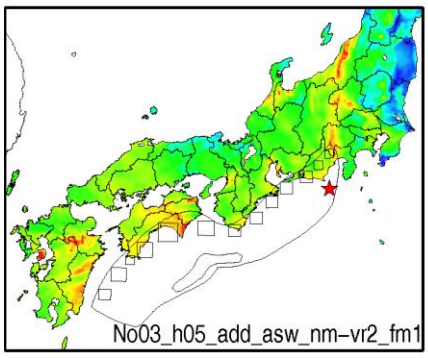


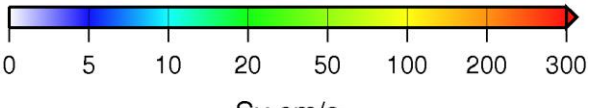


No03_add_asw_nm-vr2_fm1

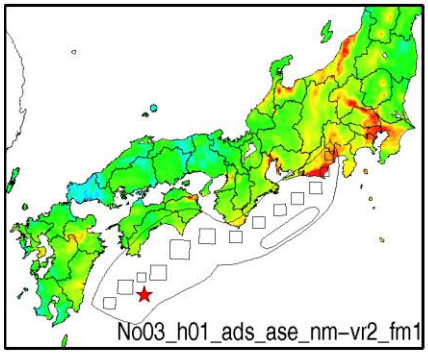


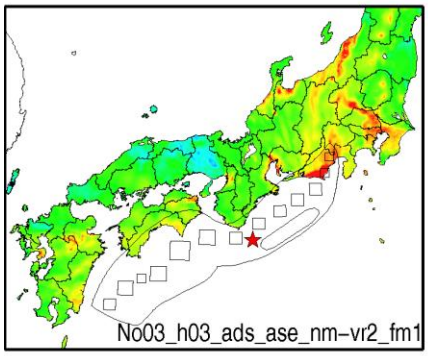


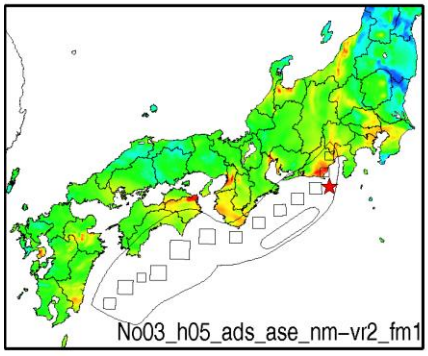


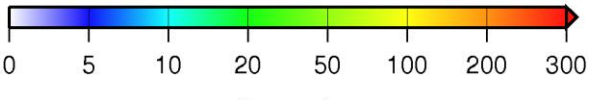


No03_ads_ase_nm-vr2_fm1

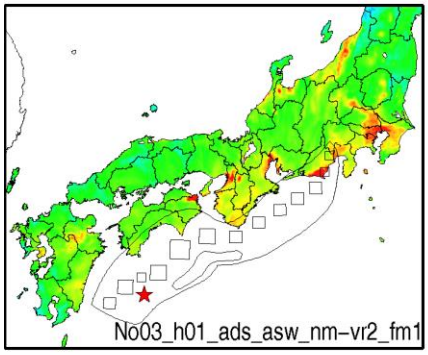


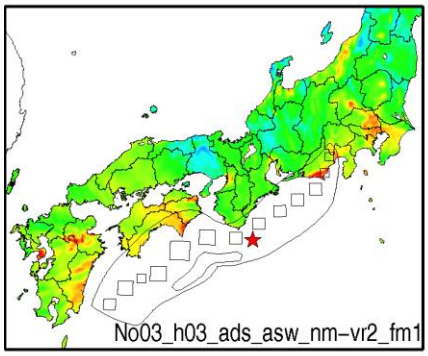


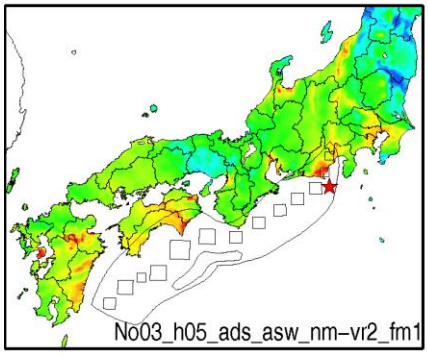


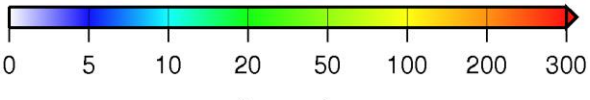


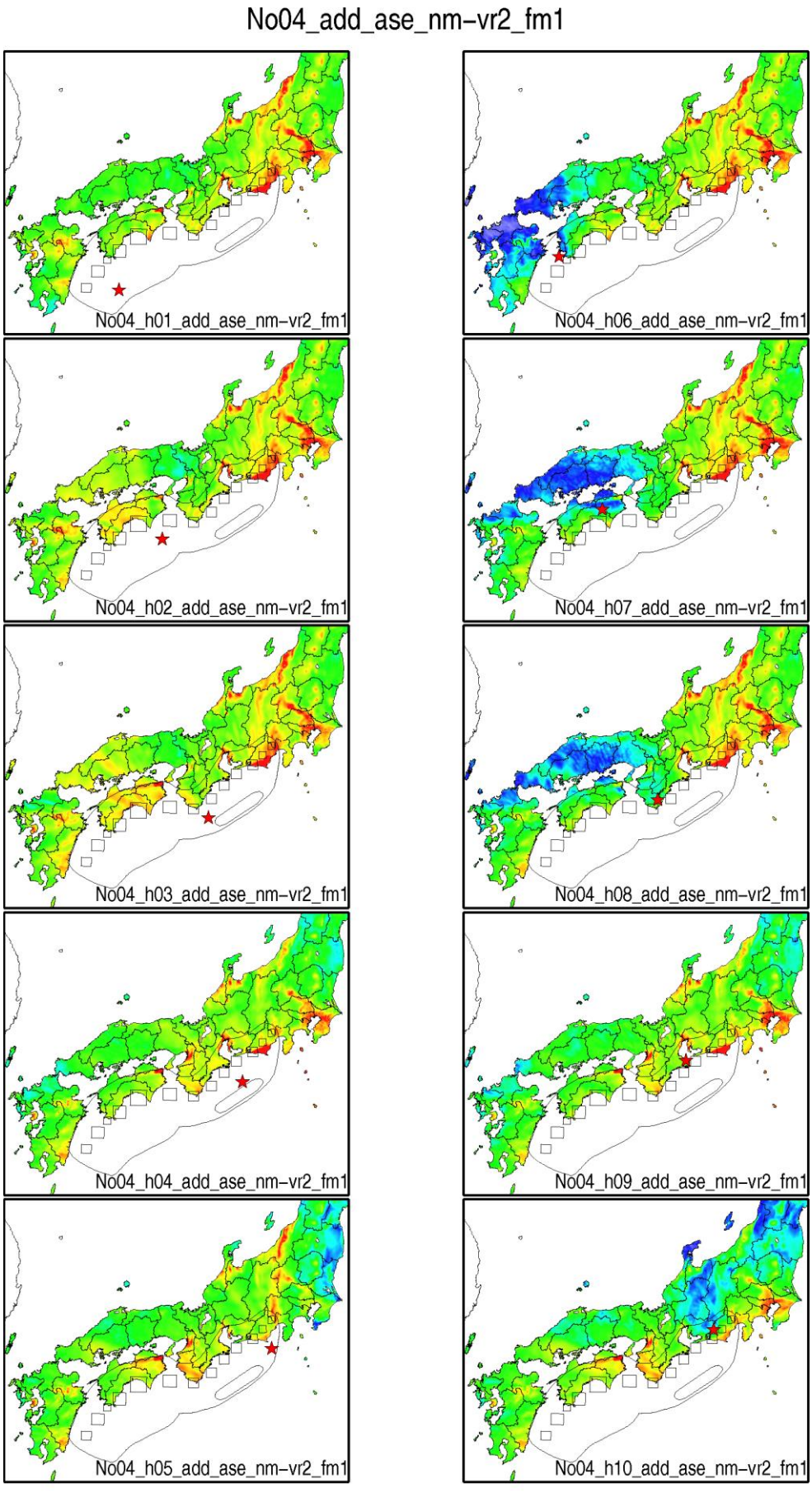
No03_ads_asw_nm-vr2_fm1

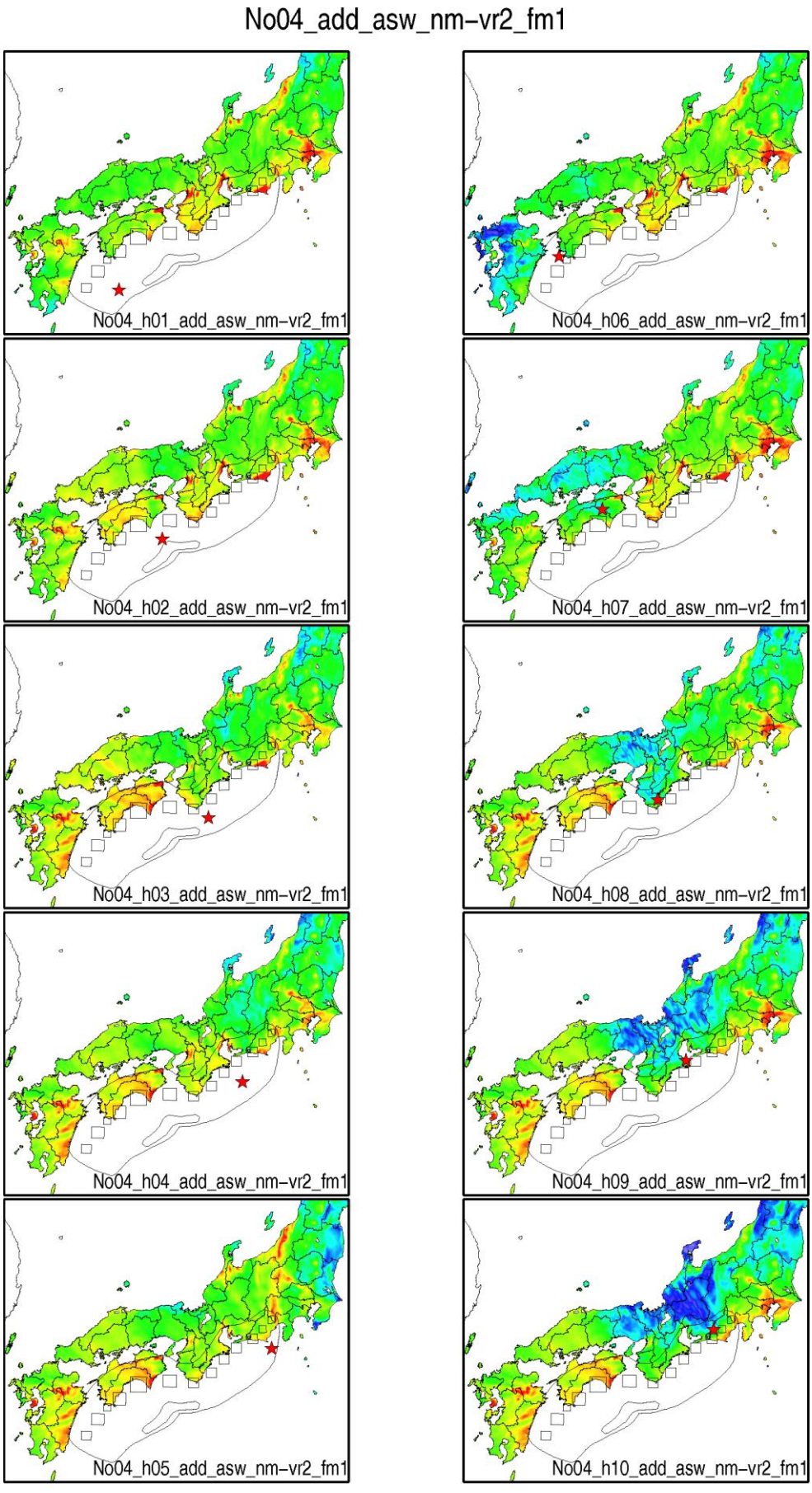


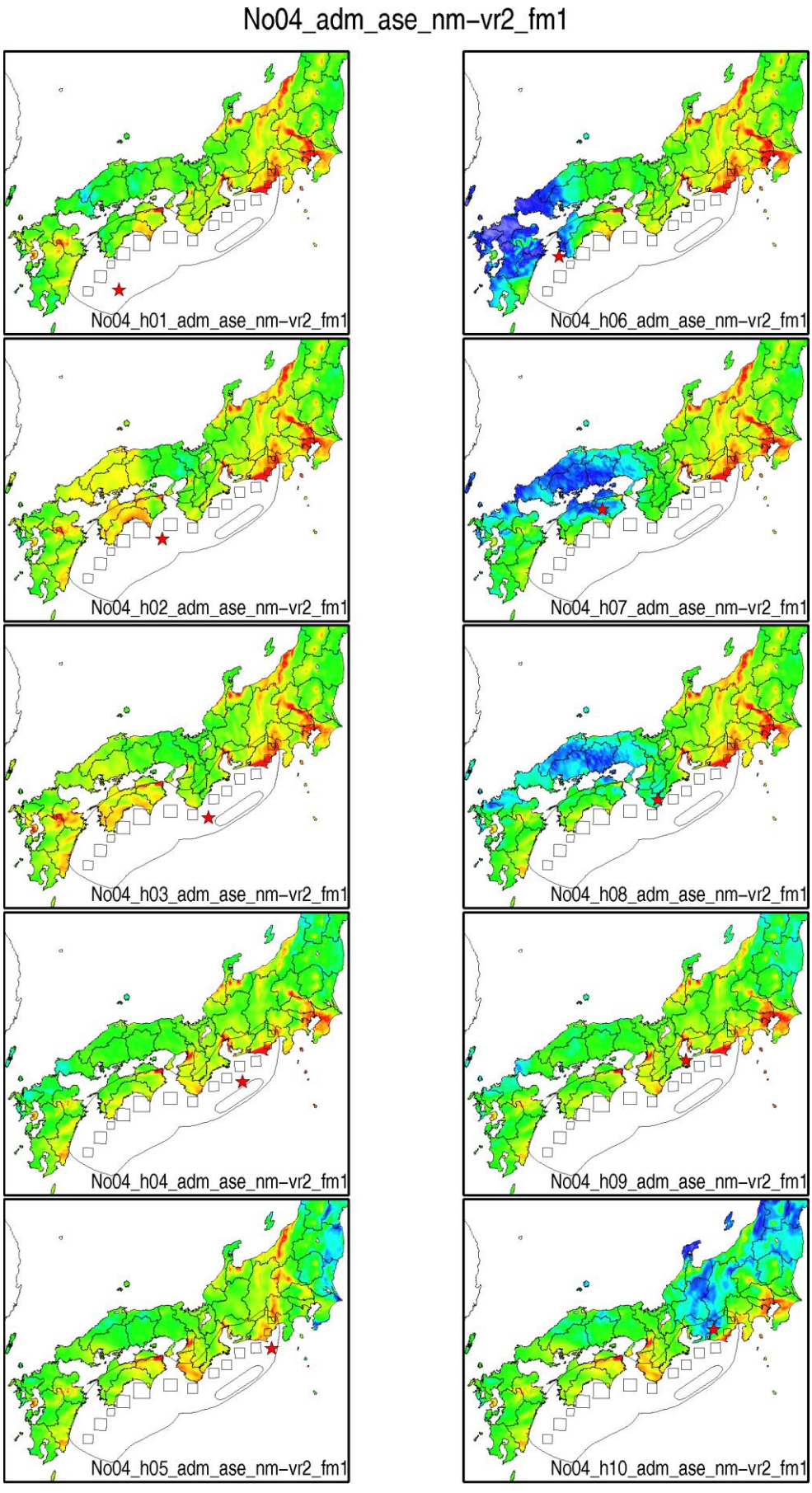




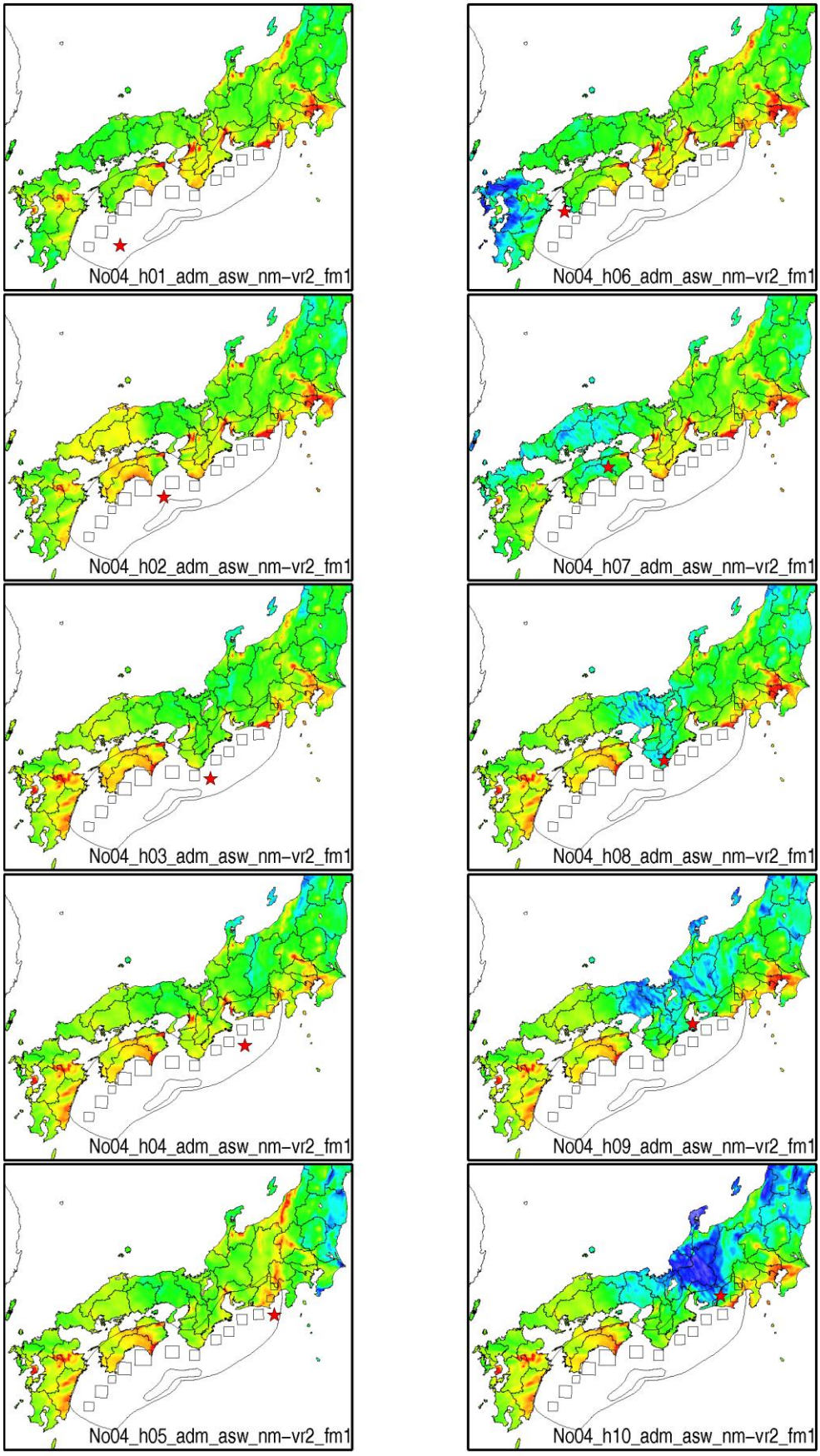


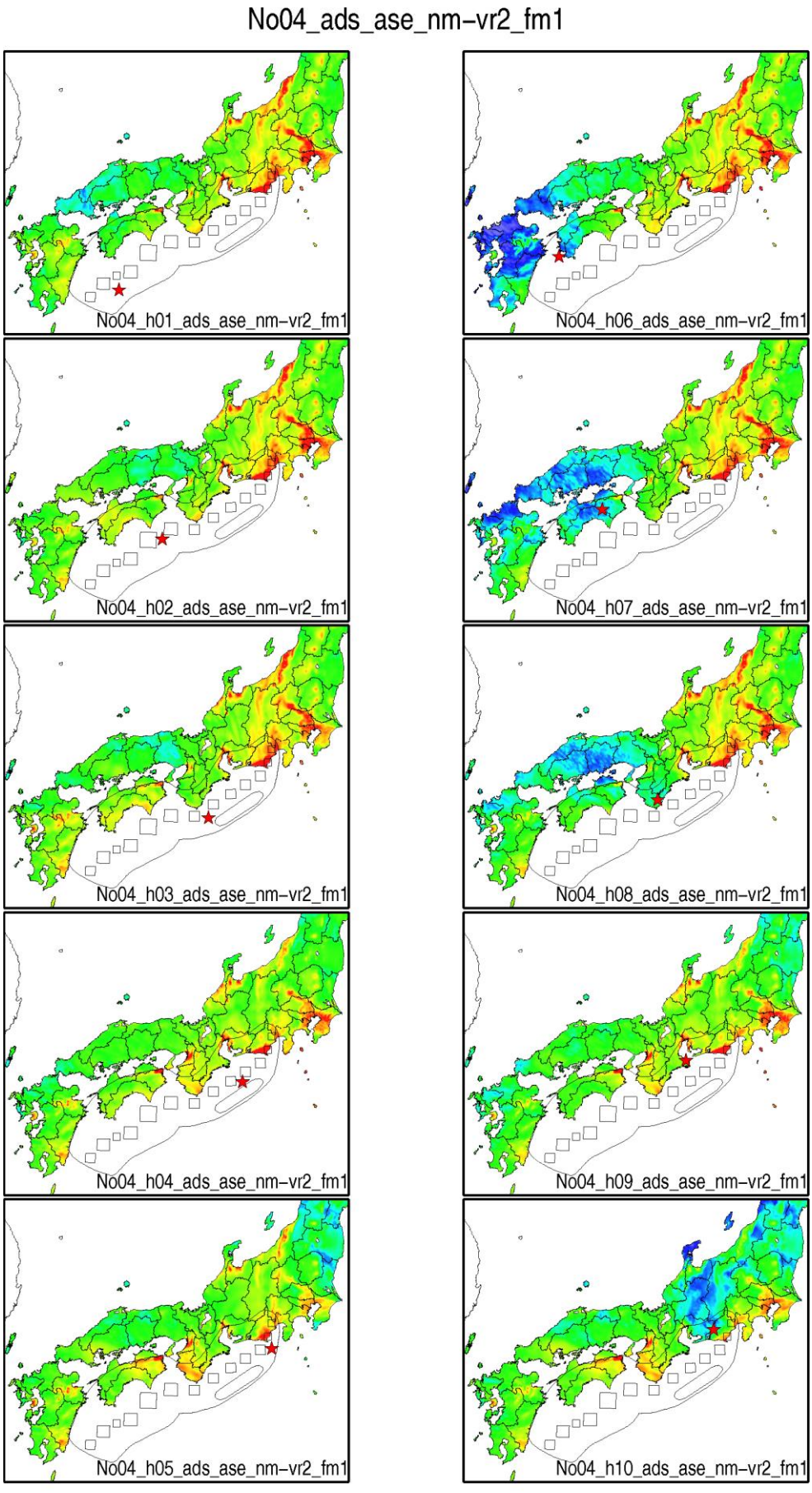

No04_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h01_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h06_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h02_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h07_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h03_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h08_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h04_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h09_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h05_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h10_add_ase_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s


No04_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h01_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h06_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h02_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h07_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h03_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h08_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h04_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h09_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h05_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h10_add_asw_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

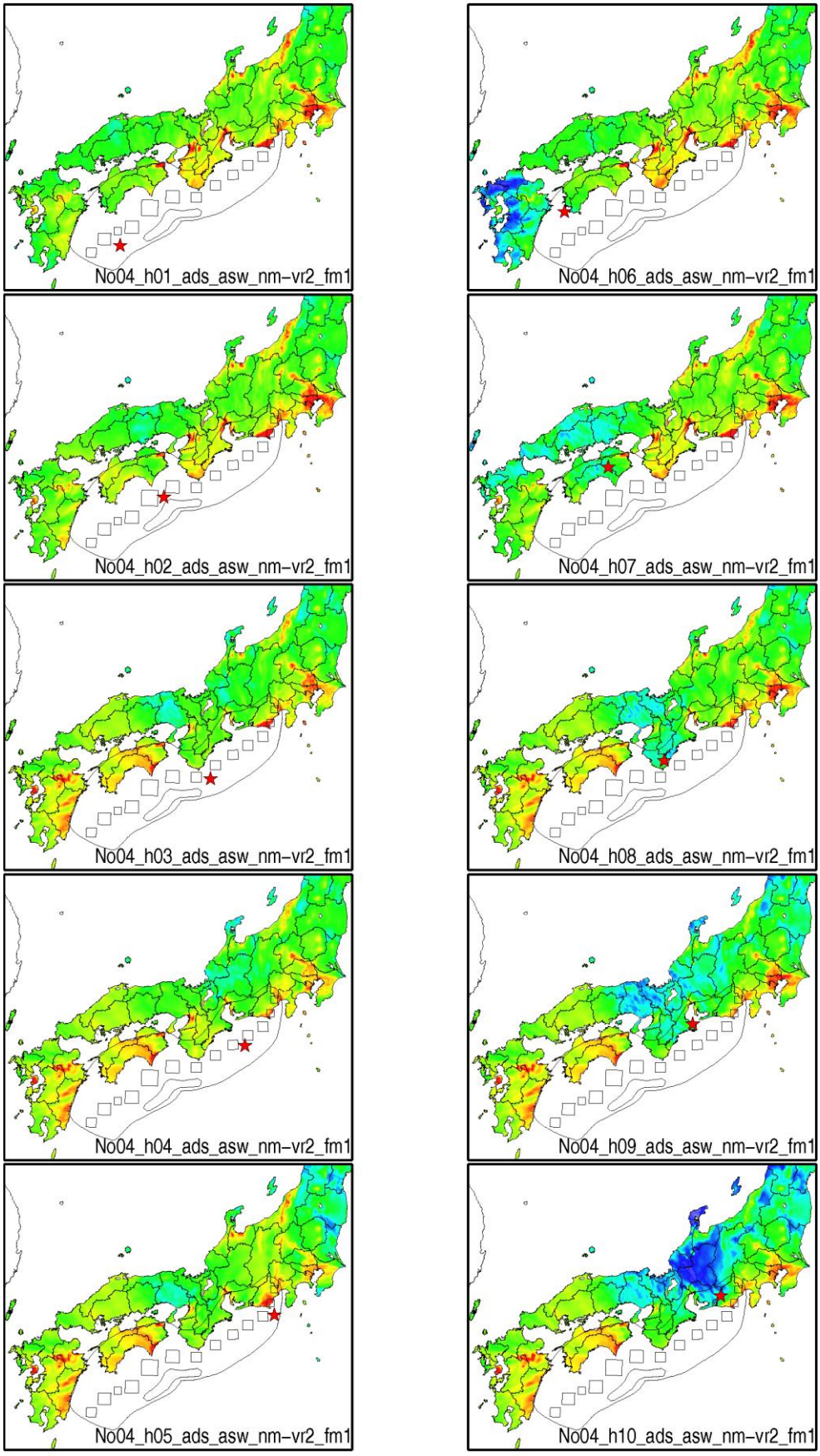

No04_adm_ase_nm-vr2_fm1
No04_h01_adm_ase_nm-vr2_fm1
No04_h02_adm_ase_nm-vr2_fm1
No04_h03_adm_ase_nm-vr2_fm1
No04_h04_adm_ase_nm-vr2_fm1
No04_h05_adm_ase_nm-vr2_fm1
No04_h06_adm_ase_nm-vr2_fm1
No04_h07_adm_ase_nm-vr2_fm1
No04_h08_adm_ase_nm-vr2_fm1
No04_h09_adm_ase_nm-vr2_fm1
No04_h10_adm_ase_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

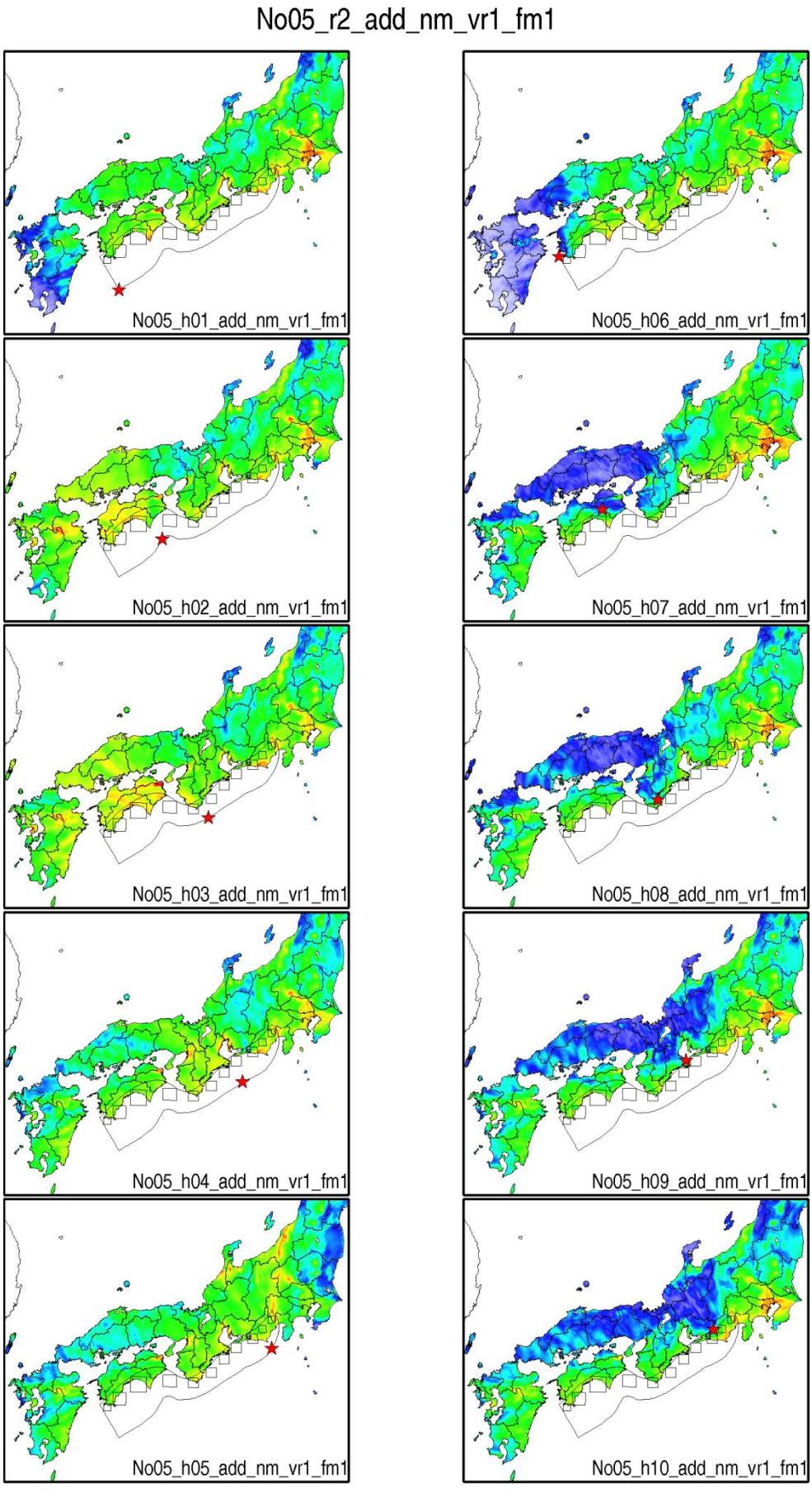
No04_adm_asw_nm-vr2_fm1



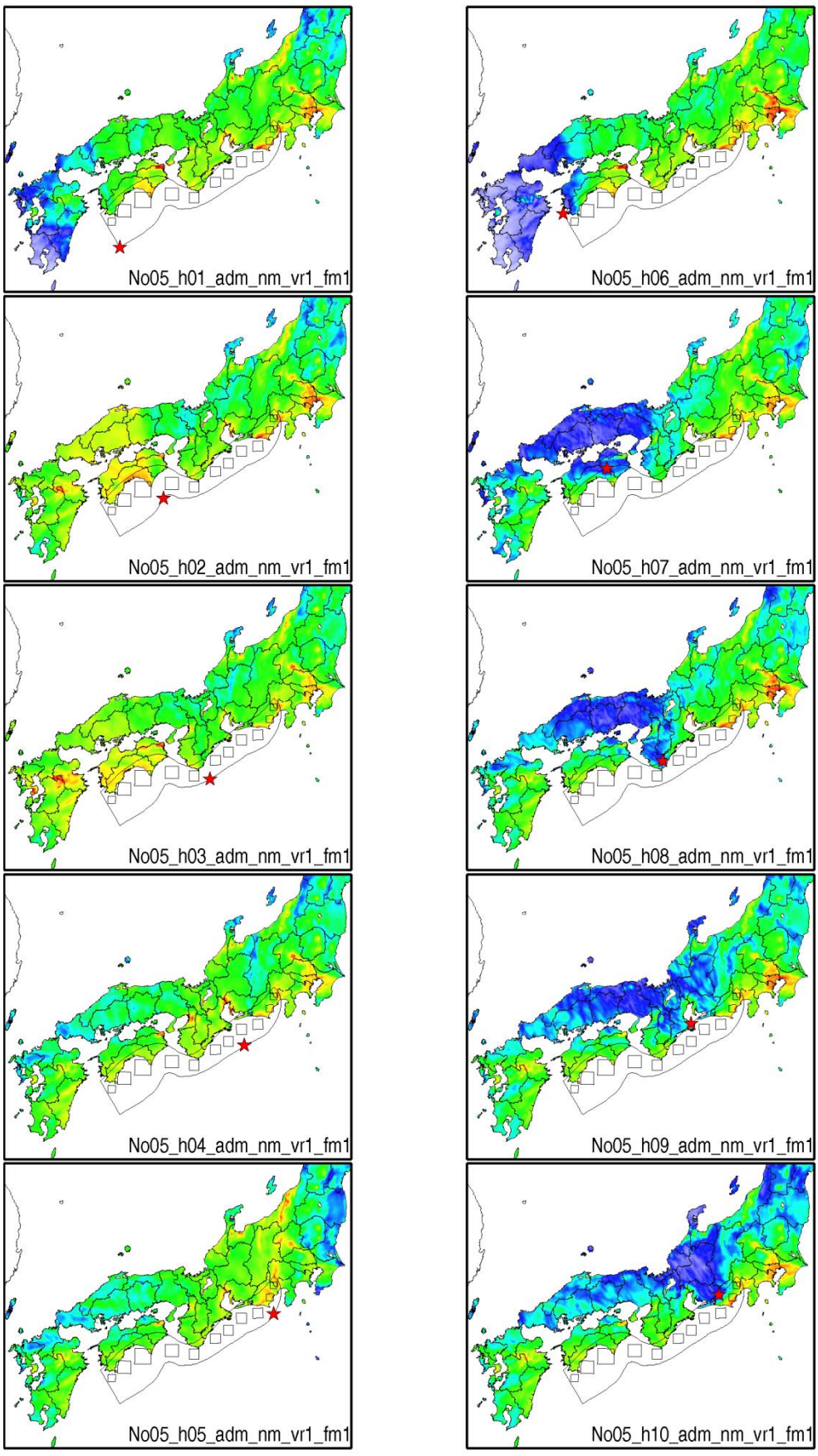

No04_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h01_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h06_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h02_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h07_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h03_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h08_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h04_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h09_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h05_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h10_ads_ase_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

No04_ads_asw_nm-vr2_fm1

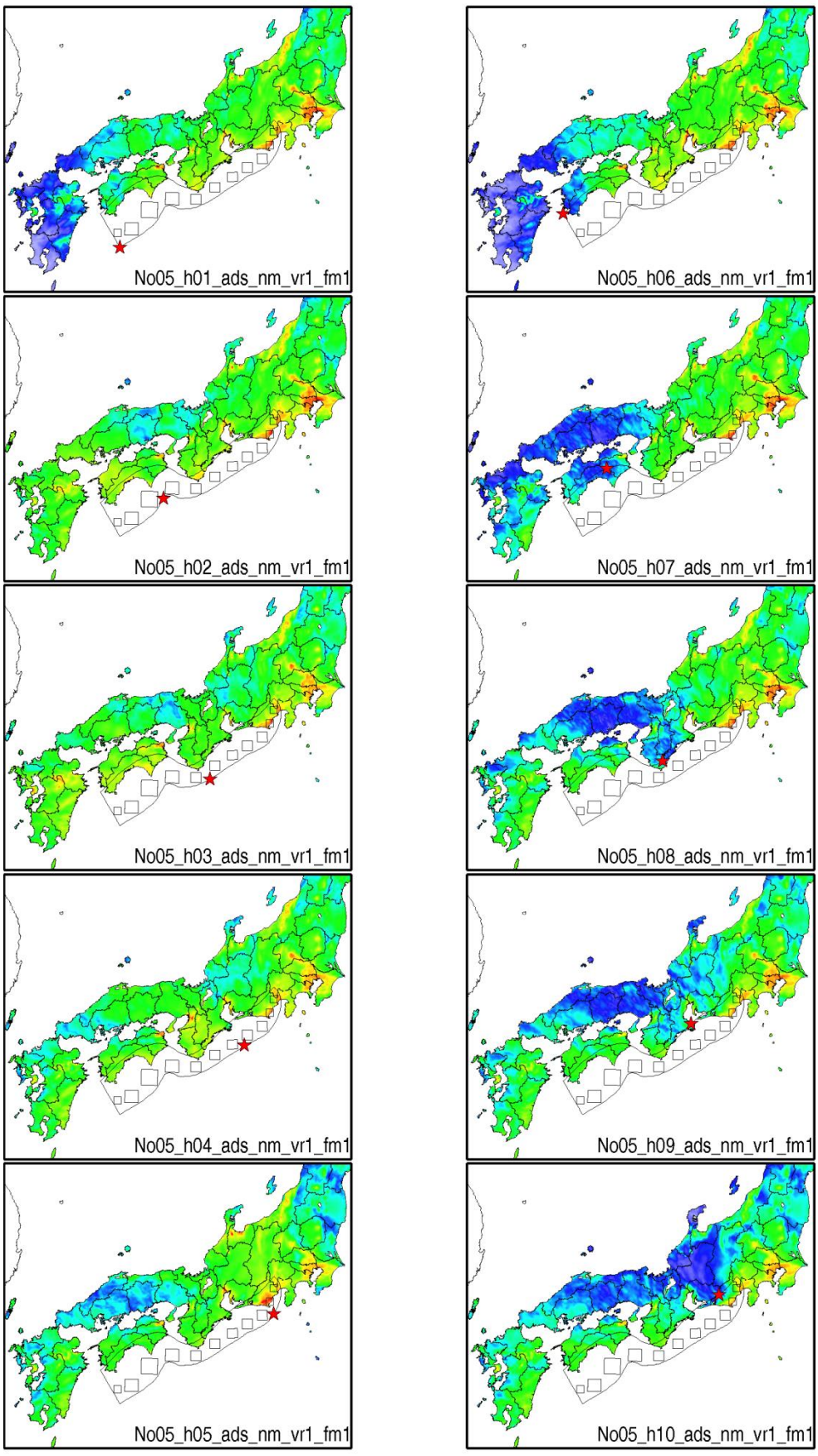



No05_r2_add_nm_vr1_fm1
No05_h01_add_nm_vr1_fm1
No05_h06_add_nm_vr1_fm1
No05_h02_add_nm_vr1_fm1
No05_h07_add_nm_vr1_fm1
No05_h03_add_nm_vr1_fm1
No05_h08_add_nm_vr1_fm1
No05_h04_add_nm_vr1_fm1
No05_h09_add_nm_vr1_fm1
No05_h05_add_nm_vr1_fm1
No05_h10_add_nm_vr1_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

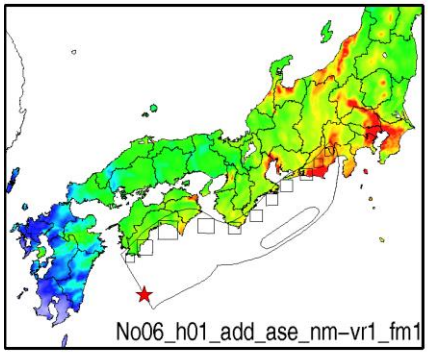
No05_r2_adm_nm_vr1_fm1

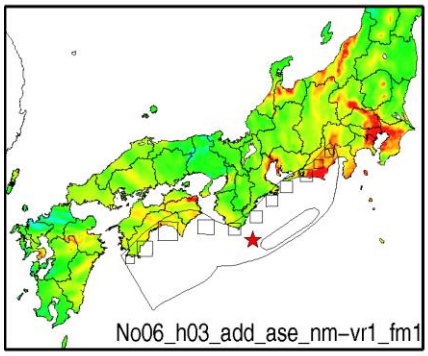


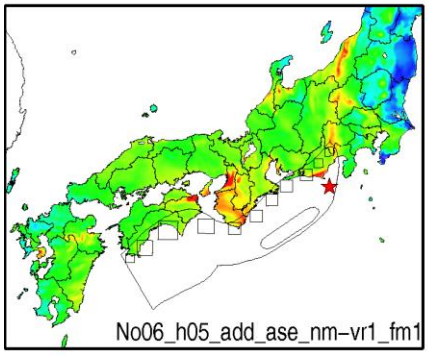
No05_r2_ads_nm_vr1_fm1

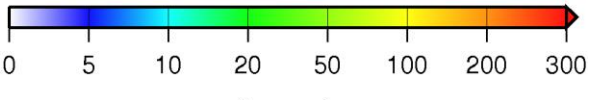


No06_add_ase_nm-vr1_fm1

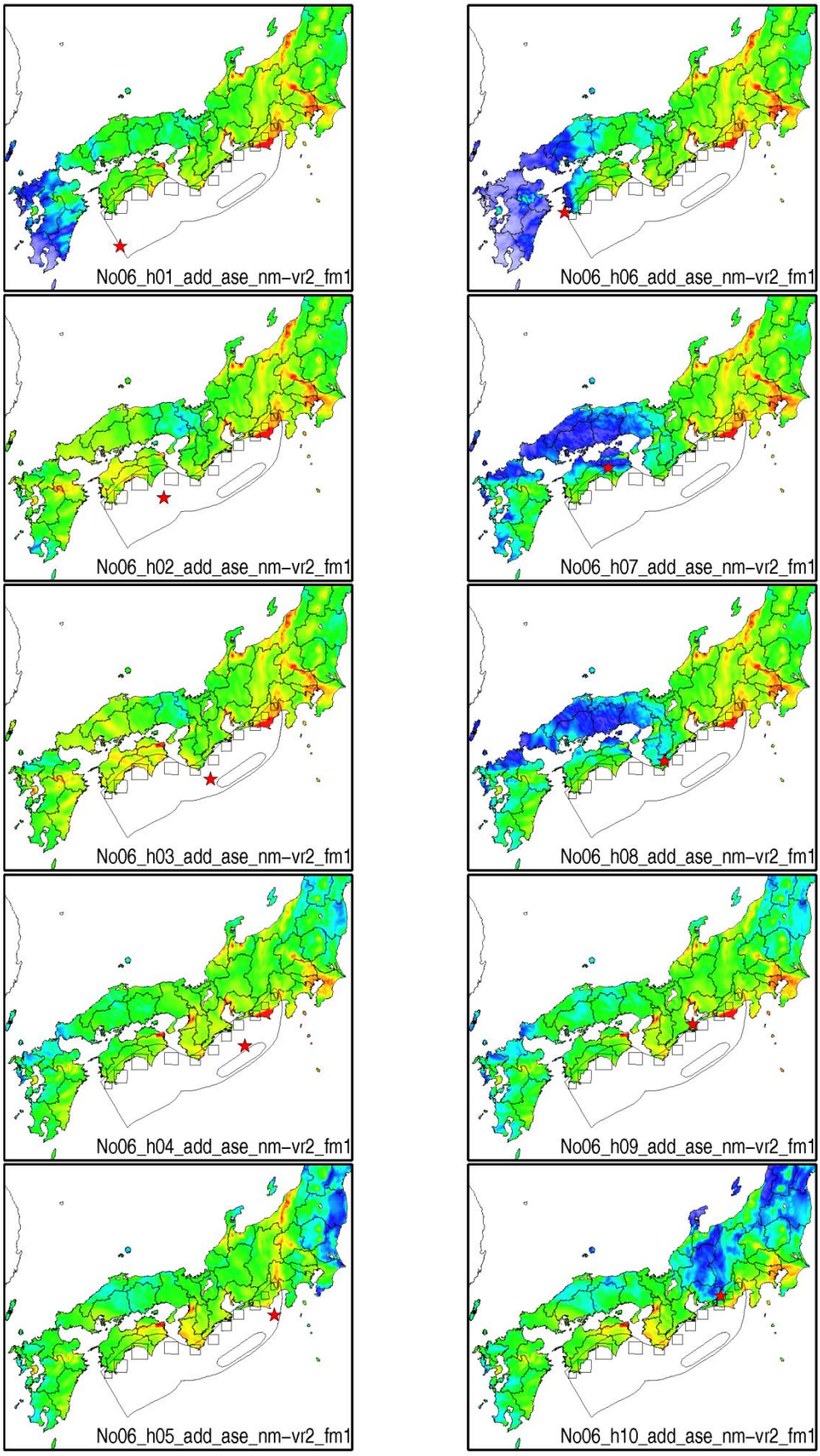




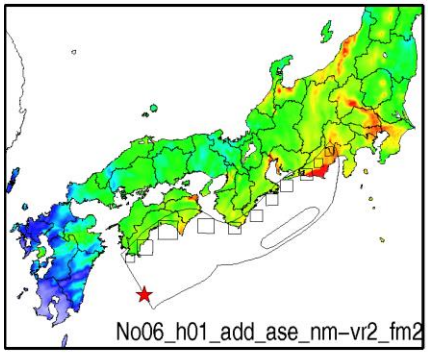


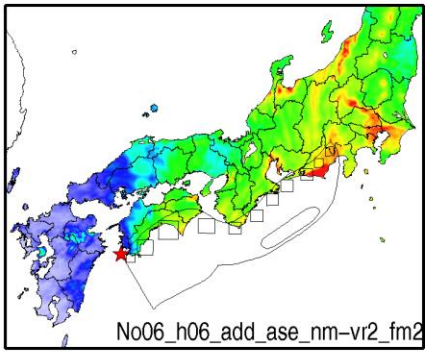


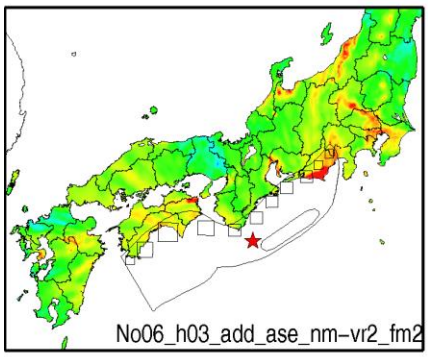
No06_add_ase_nm-vr2_fm1

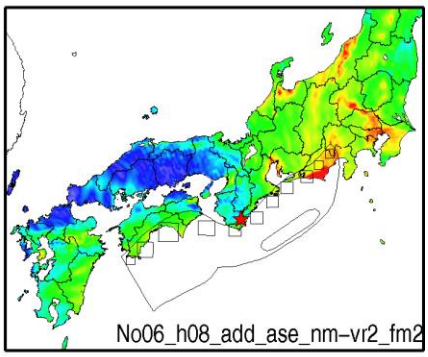


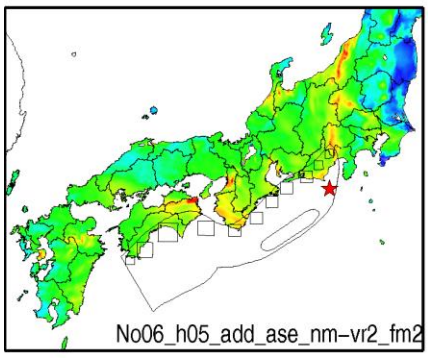
No06_add_ase_nm-vr2_fm2

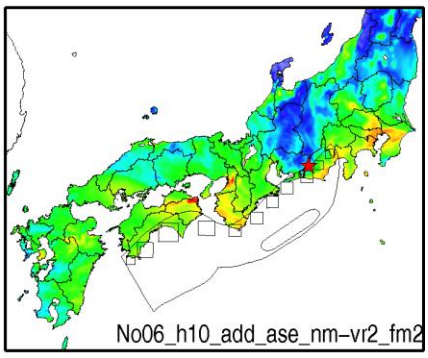


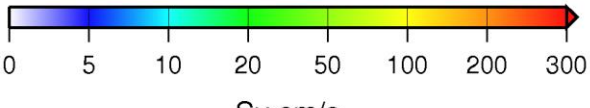




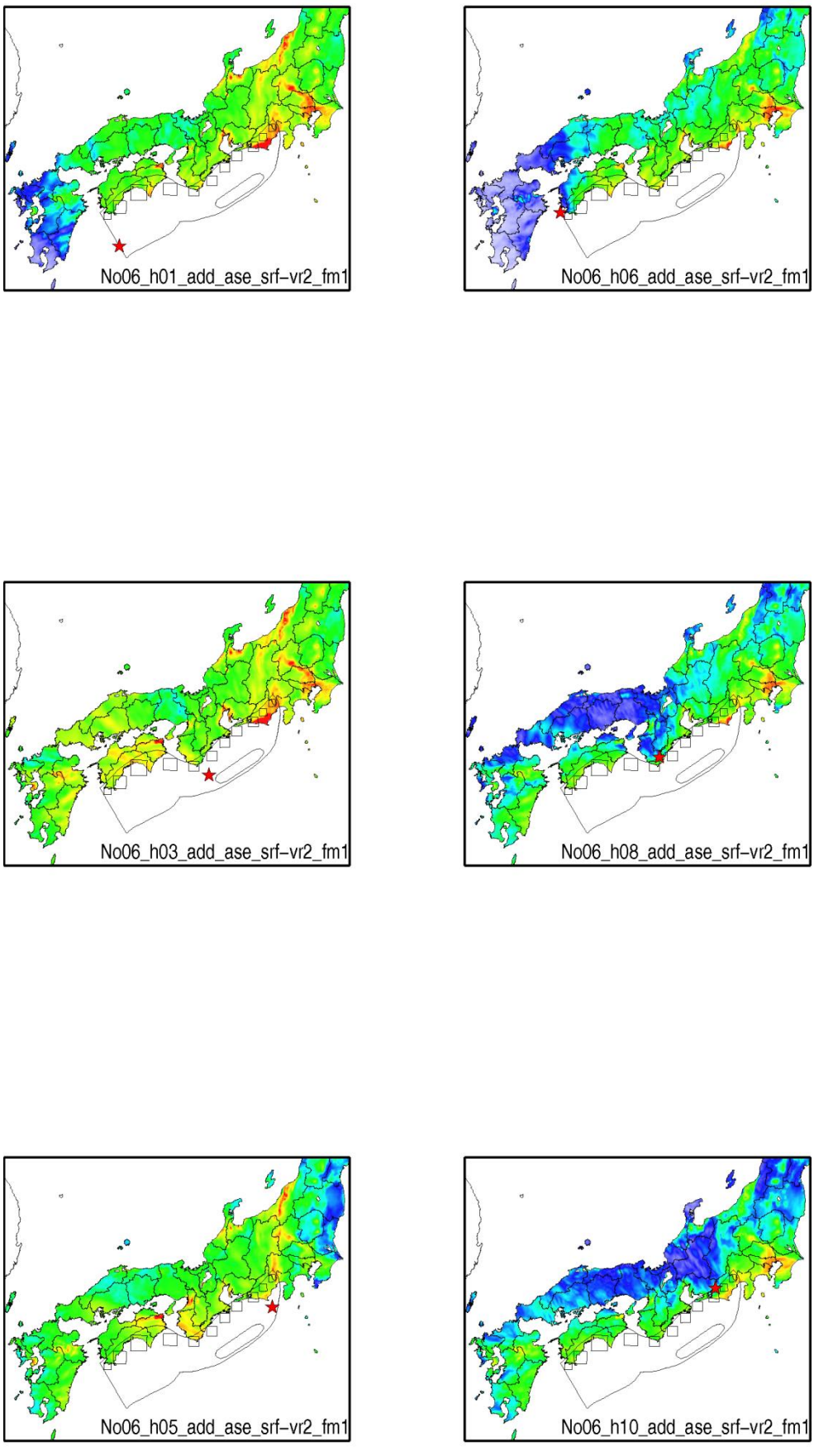




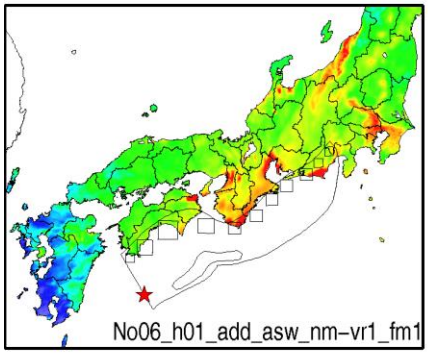


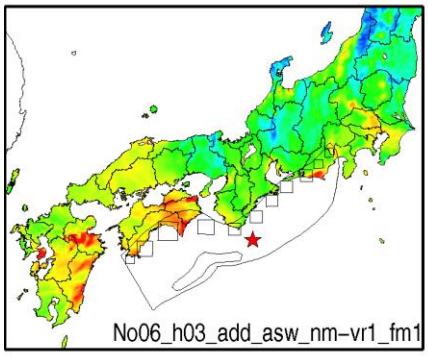


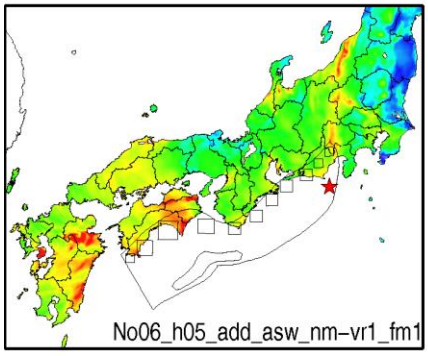
No06_add_ase_srf-vr2_fm1

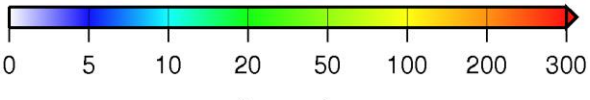


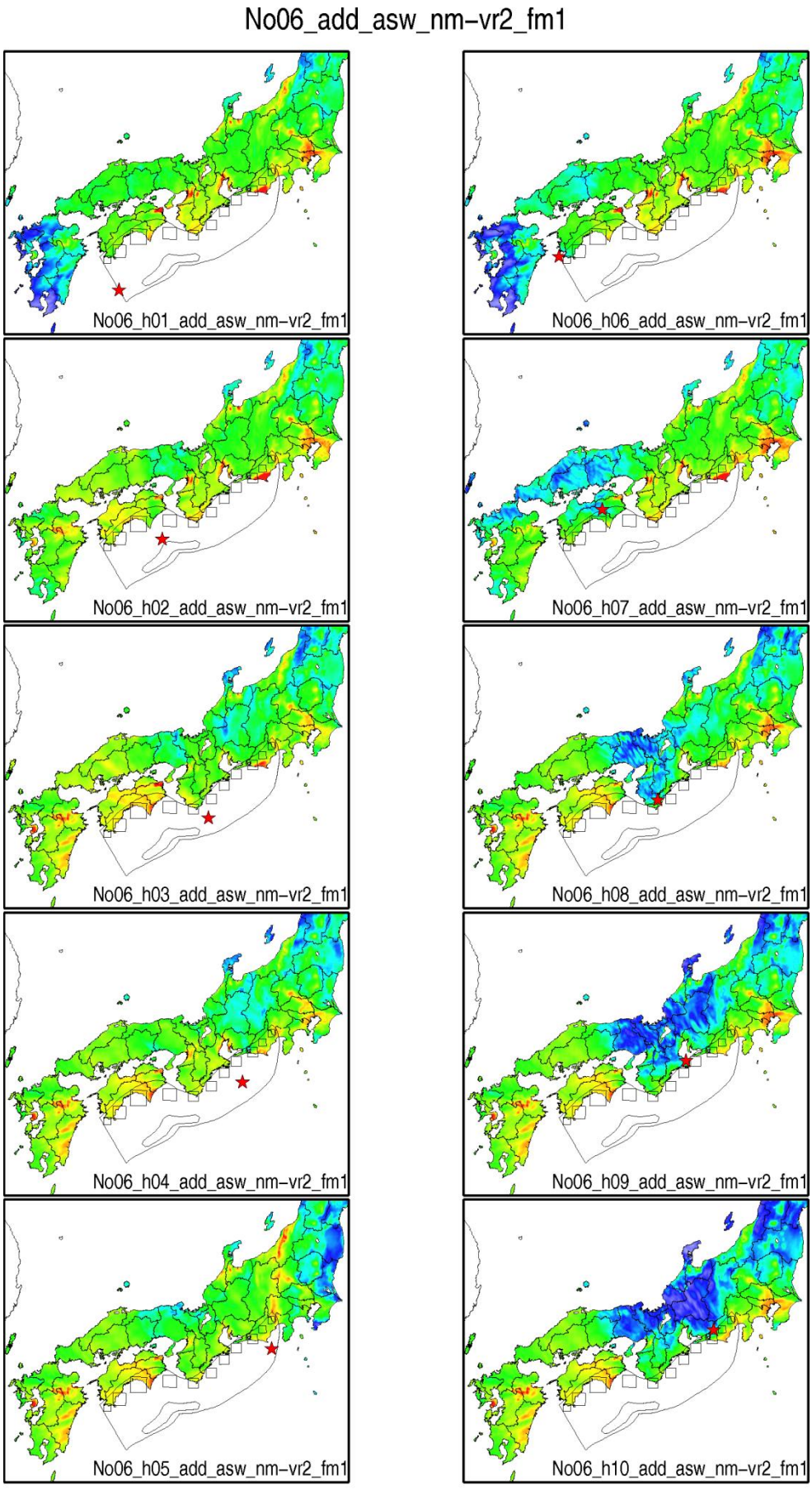
No06_add_asw_nm-vr1_fm1



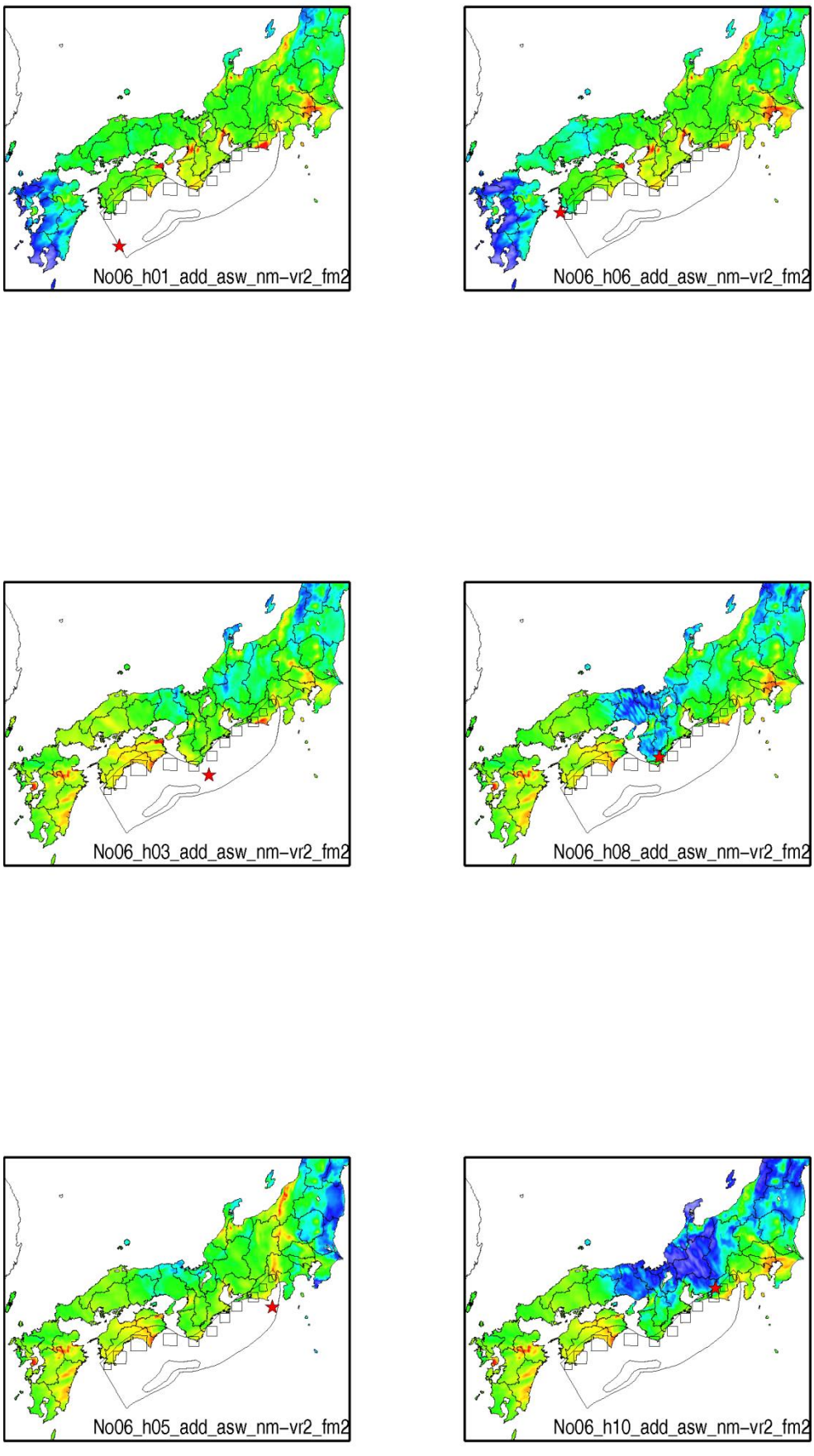




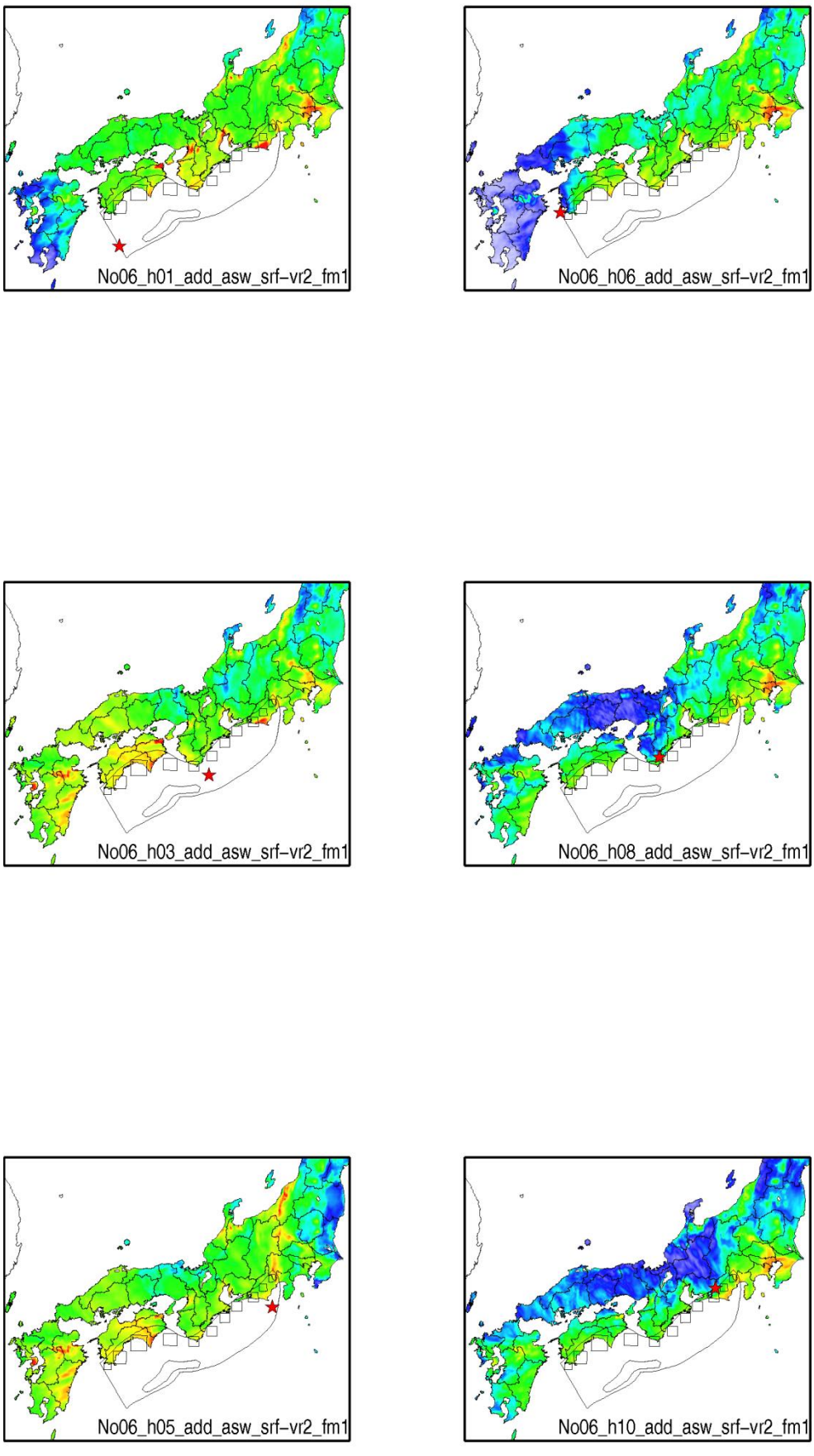



No06_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h01_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h06_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h02_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h07_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h03_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h08_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h04_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h09_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h05_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h10_add_asw_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

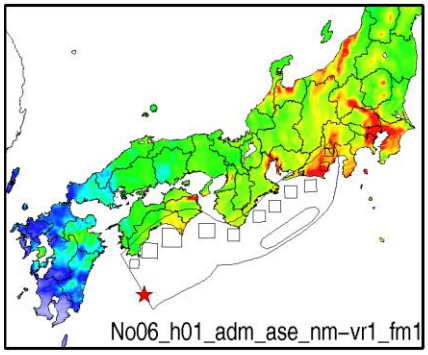
No06_add_asw_nm-vr2_fm2

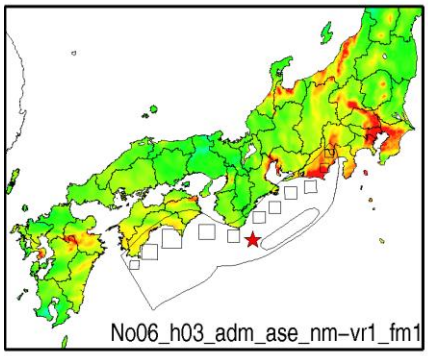


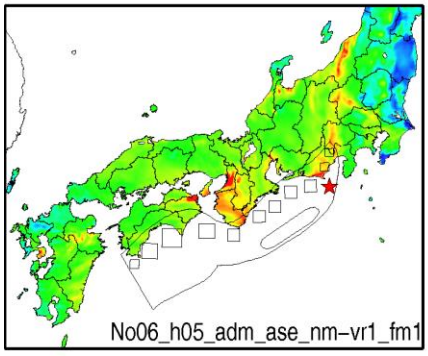
No06_add_asw_srf-vr2_fm1

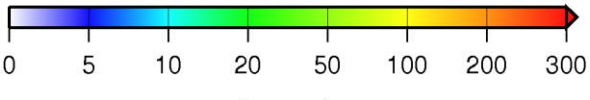


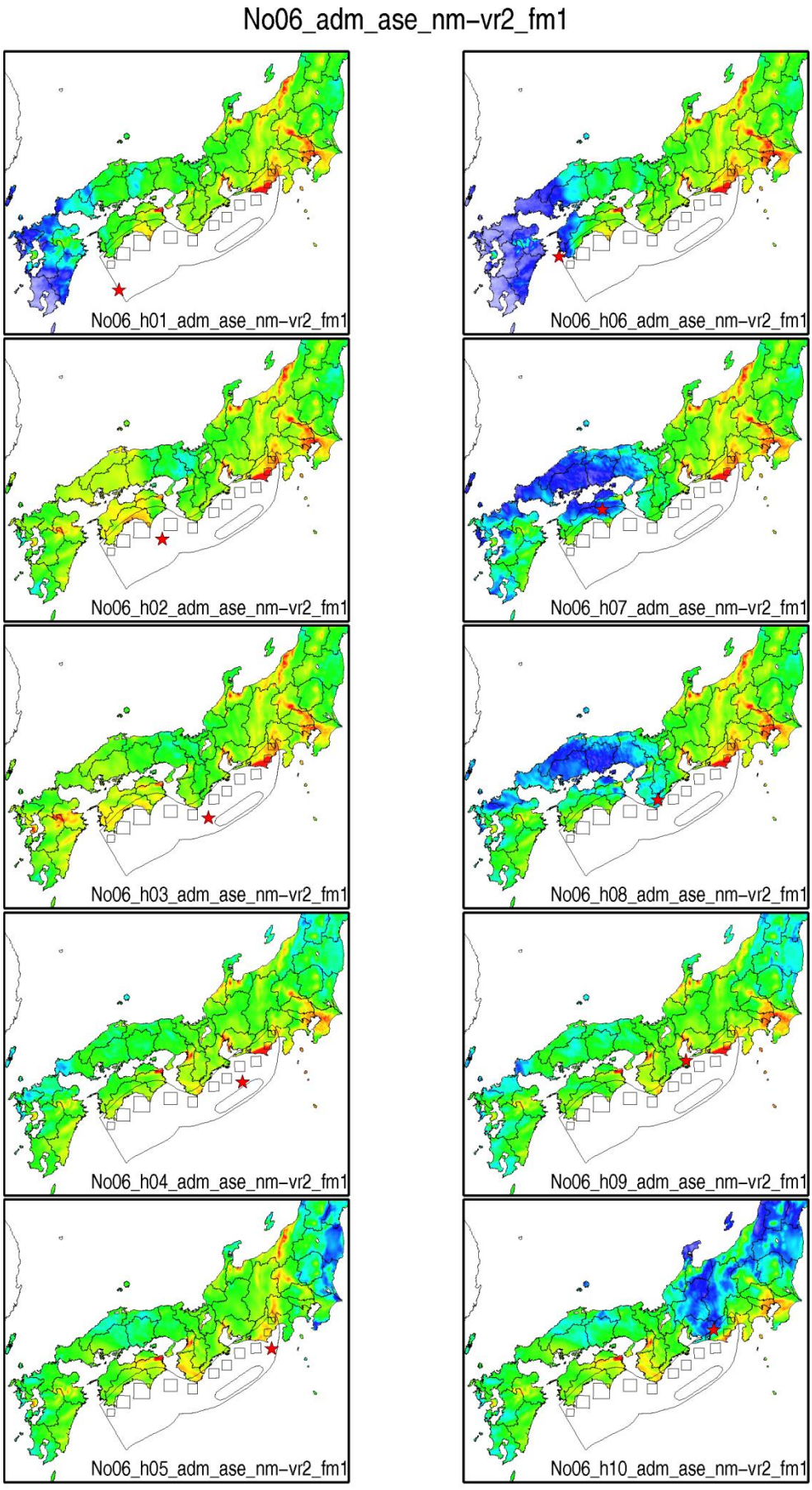
No06_adm_ase_nm-vr1_fm1



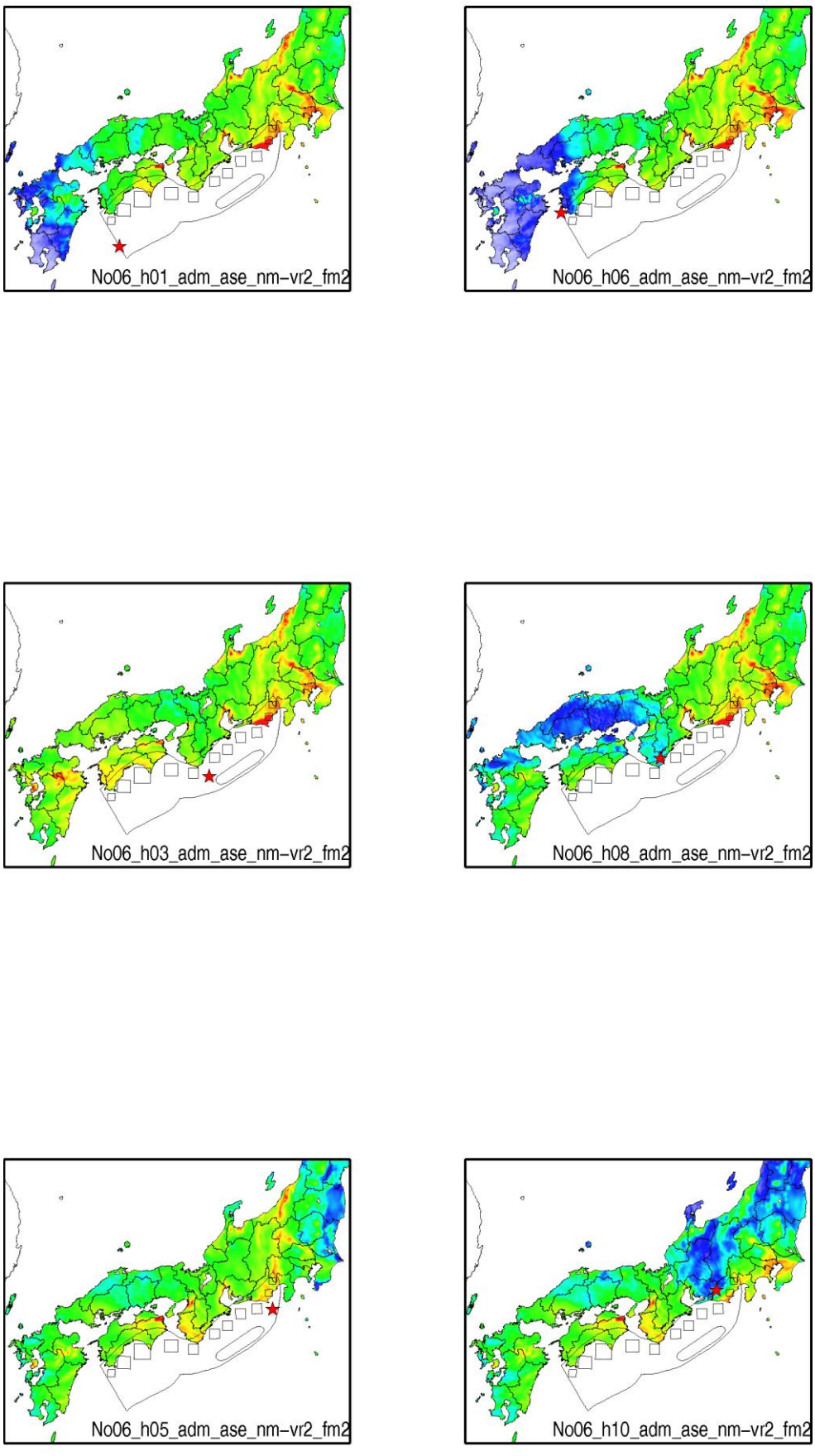




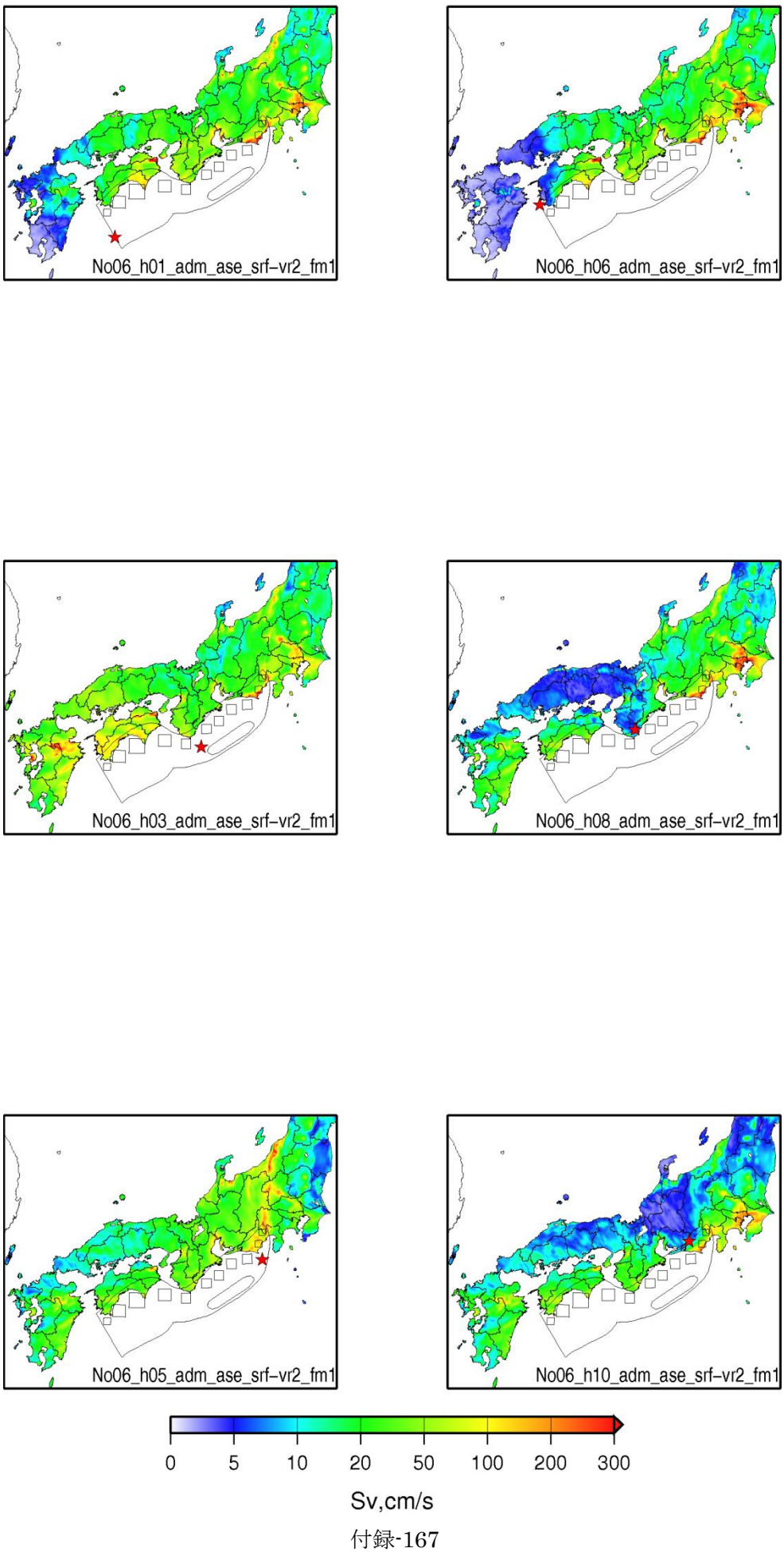



No06_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h01_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h06_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h02_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h07_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h03_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h08_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h04_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h09_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h05_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h10_adm_ase_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

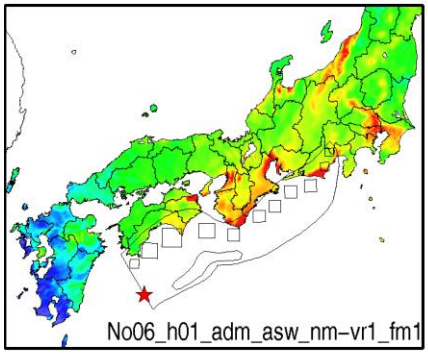
No06_adm_ase_nm-vr2_fm2

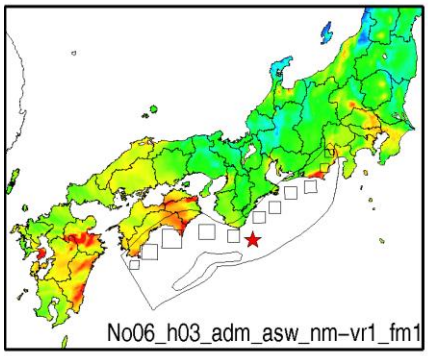


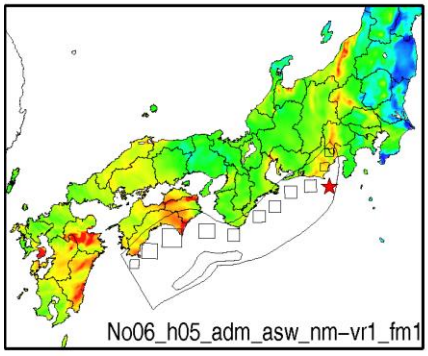
No06_adm_ase_srf-vr2_fm1

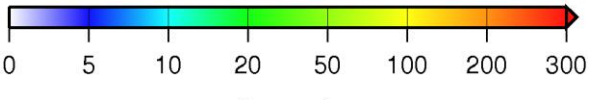


No06_adm_asw_nm-vr1_fm1

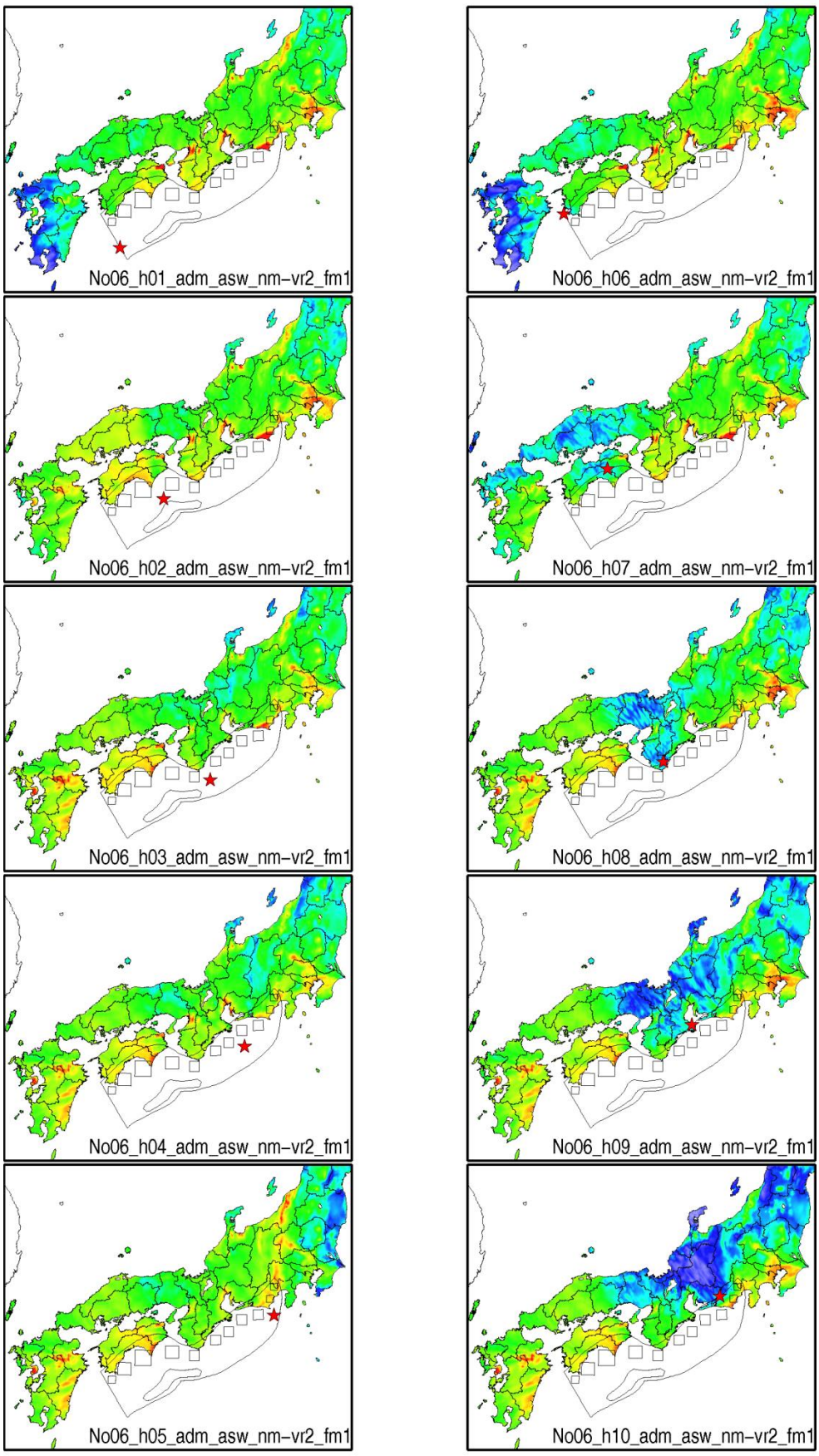




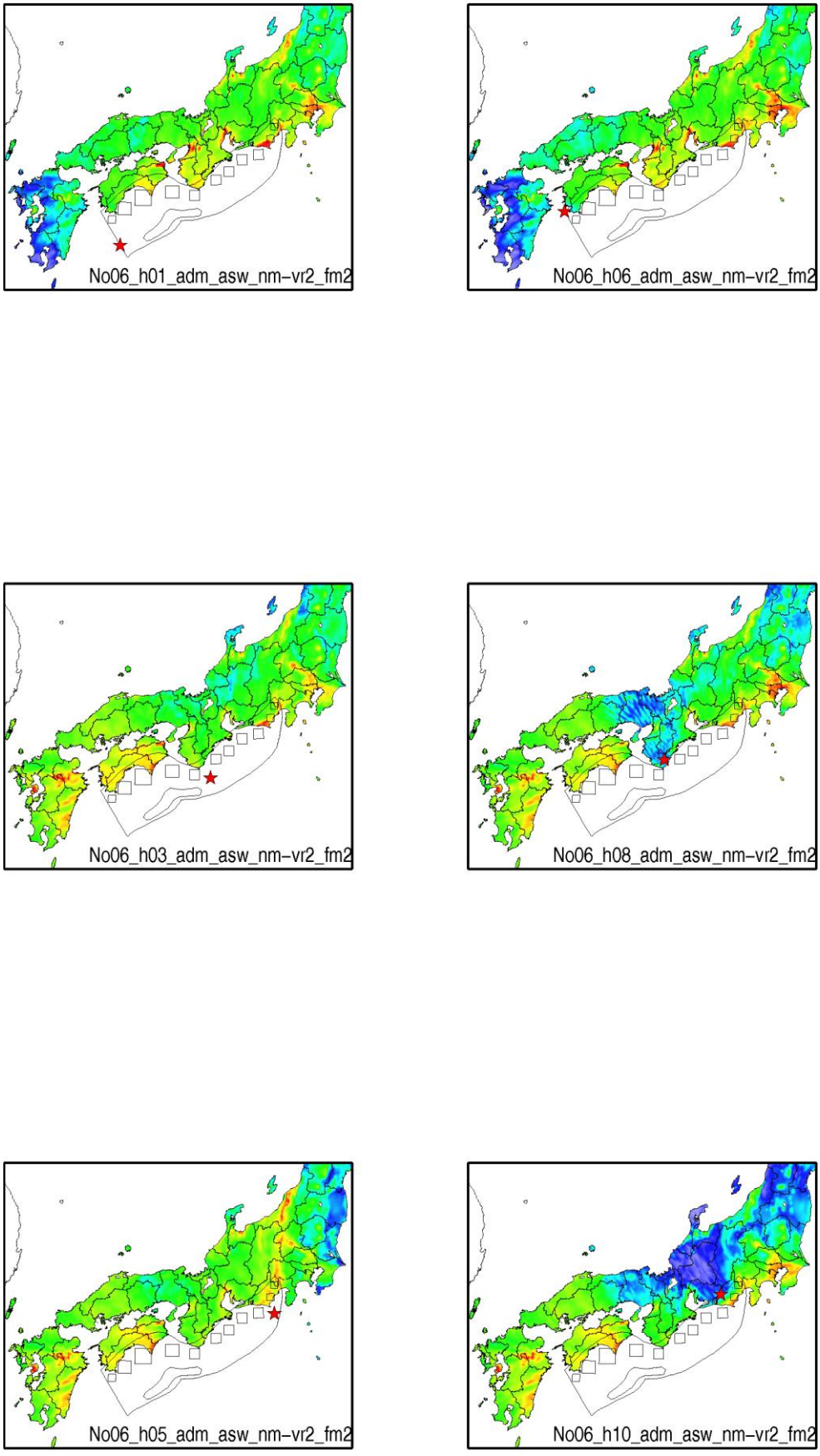




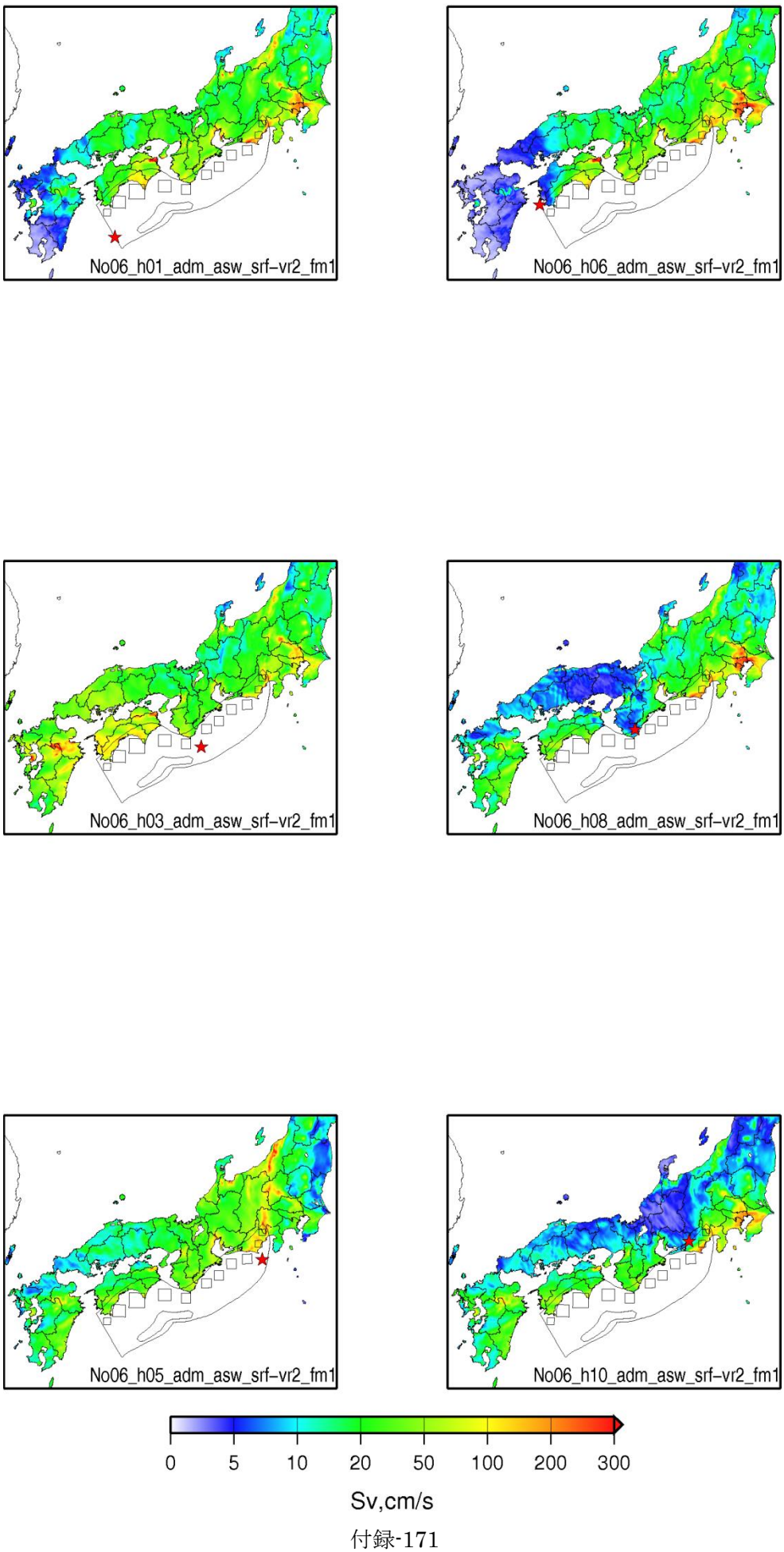
No06_adm_asw_nm-vr2_fm1



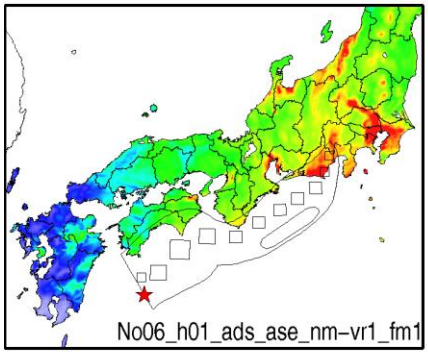
No06_adm_asw_nm-vr2_fm2

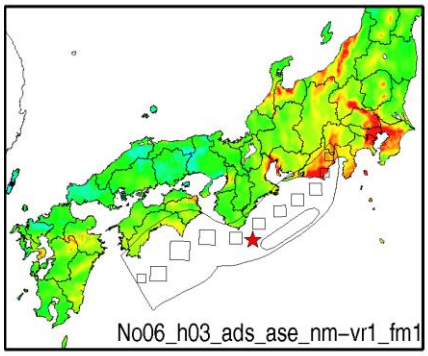


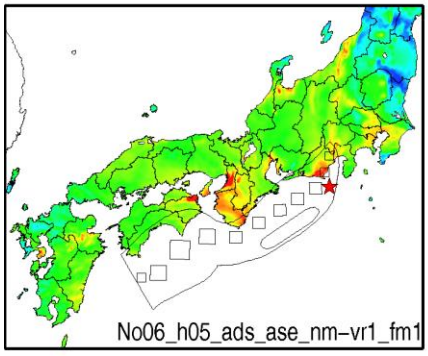
No06_adm_asw_srf-vr2_fm1

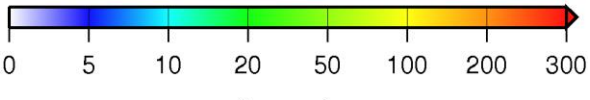


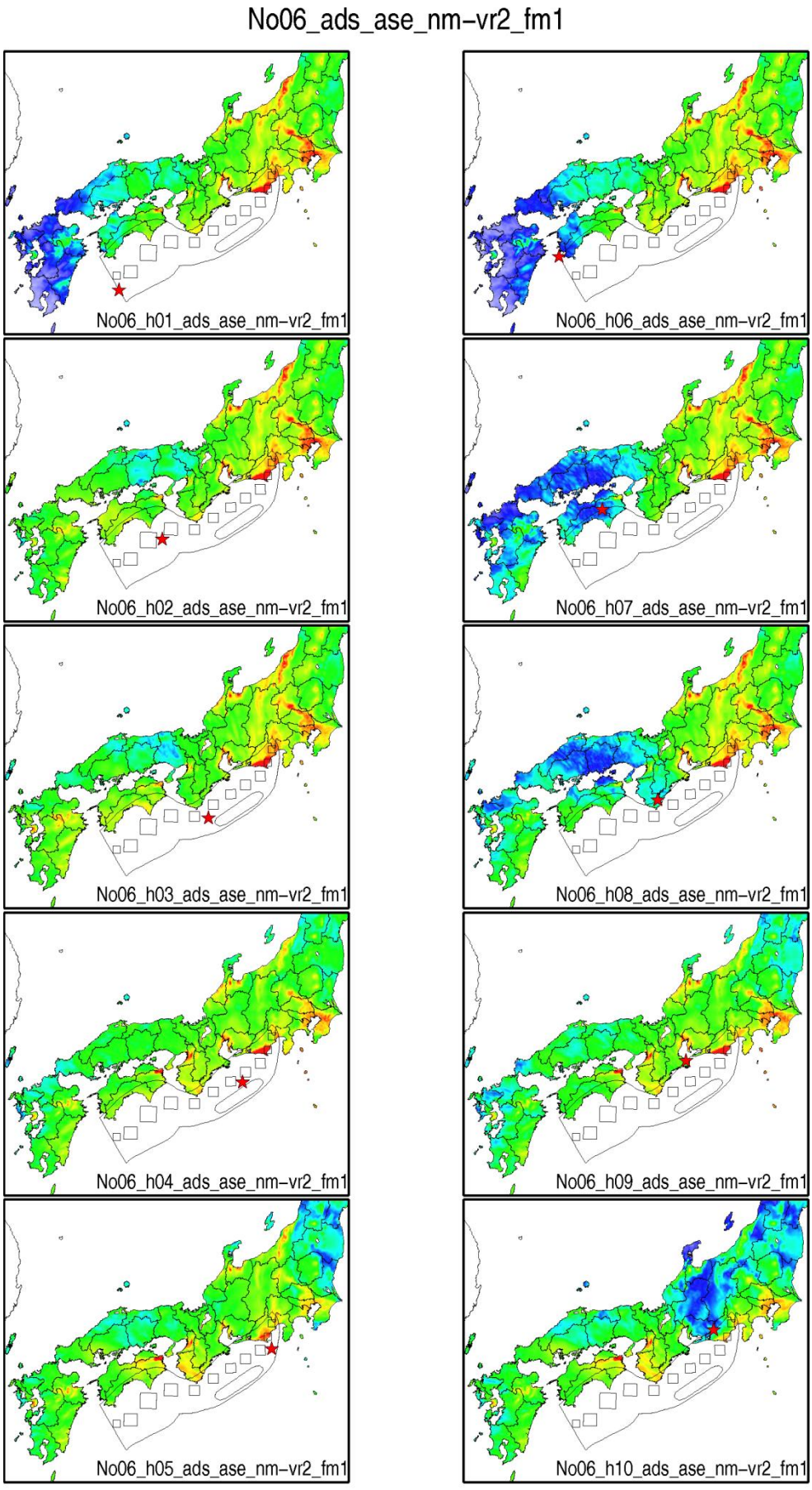
No06_ads_ase_nm-vr1_fm1



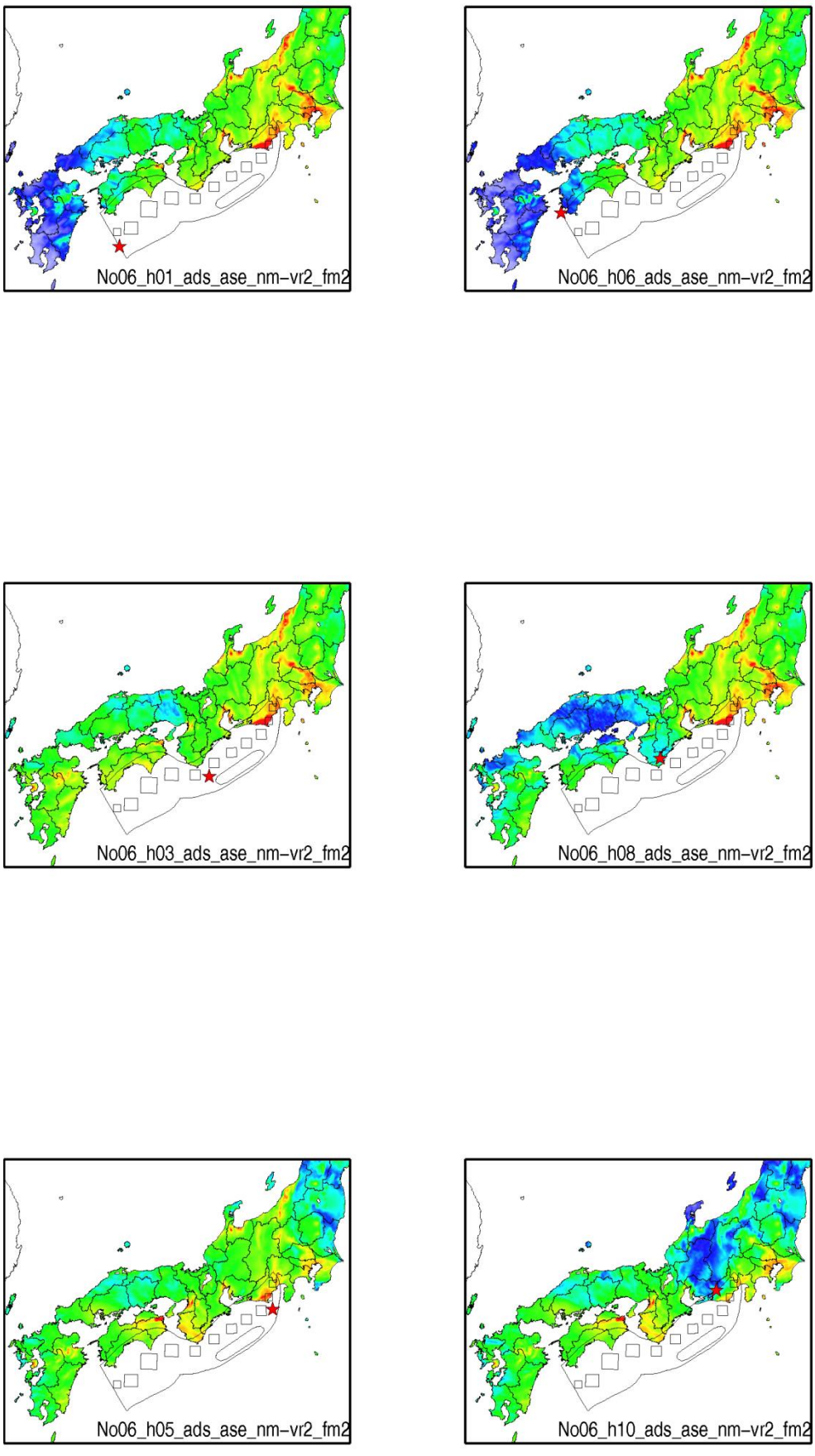




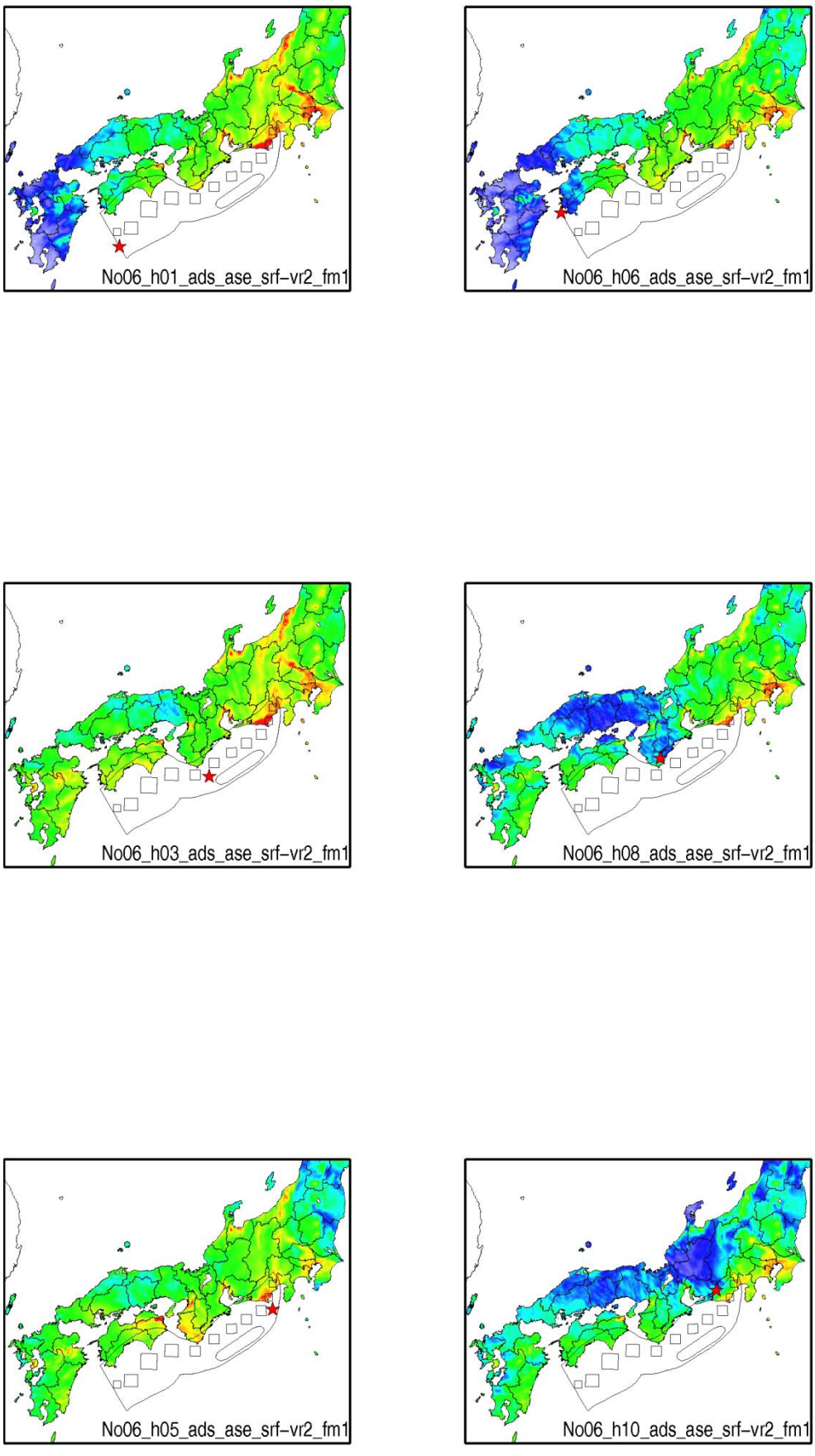



No06_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h01_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h06_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h02_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h07_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h03_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h08_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h04_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h09_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h05_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h10_ads_ase_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

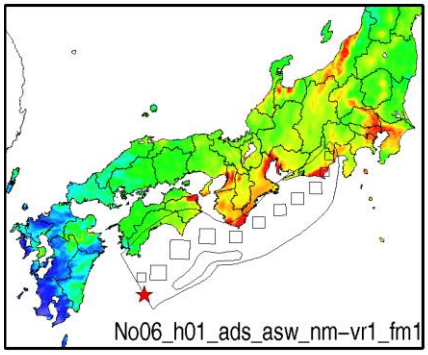
No06_ads_ase_nm-vr2_fm2

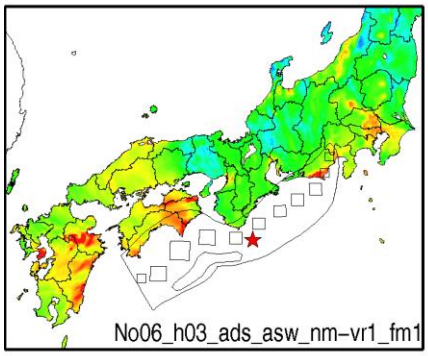


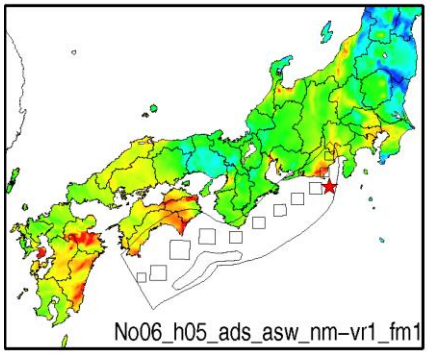
No06_ads_ase_srf-vr2_fm1

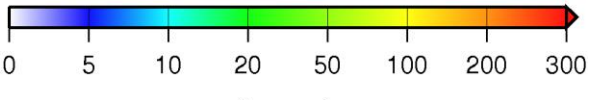


No06_ads_asw_nm-vr1_fm1

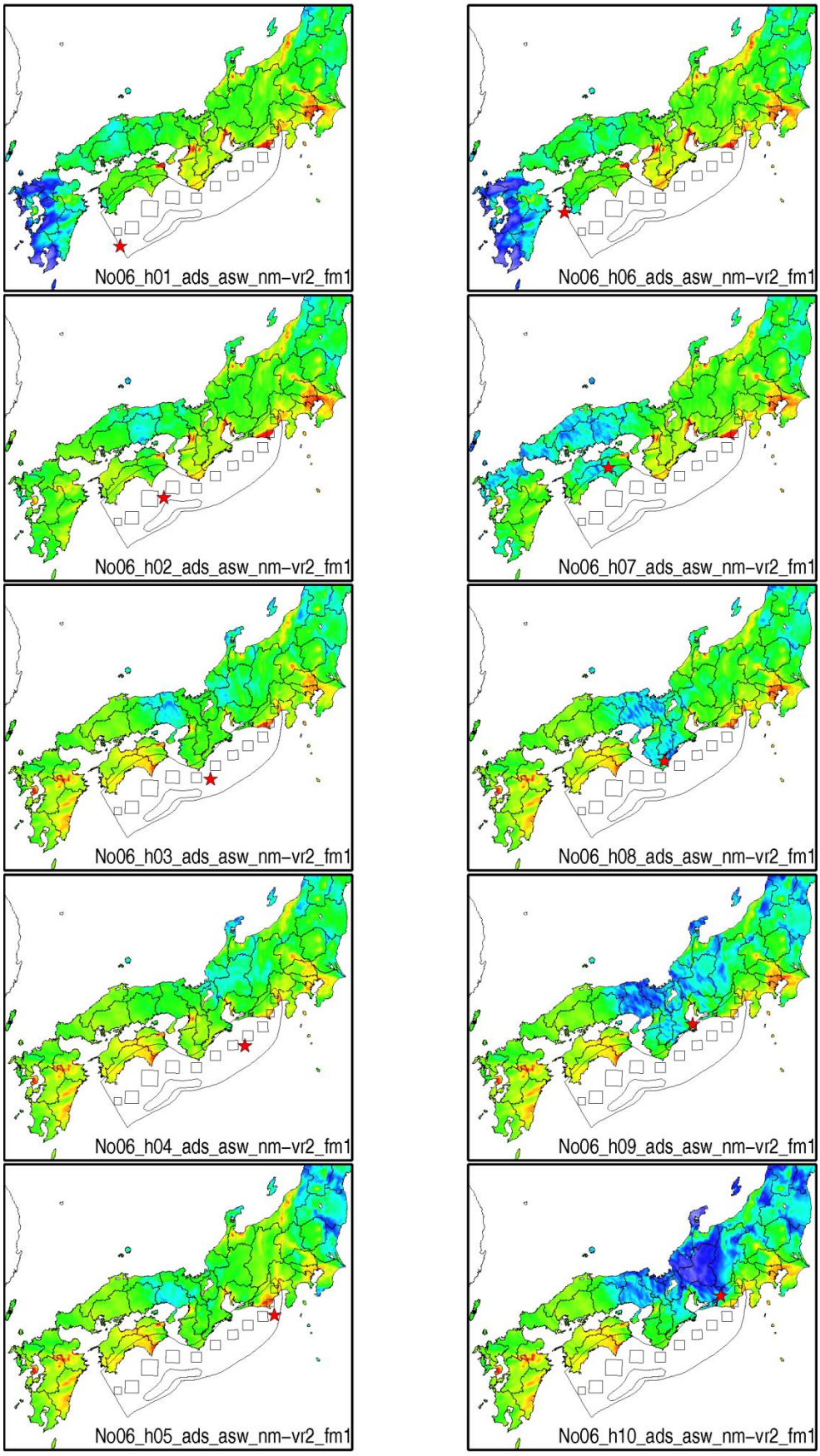




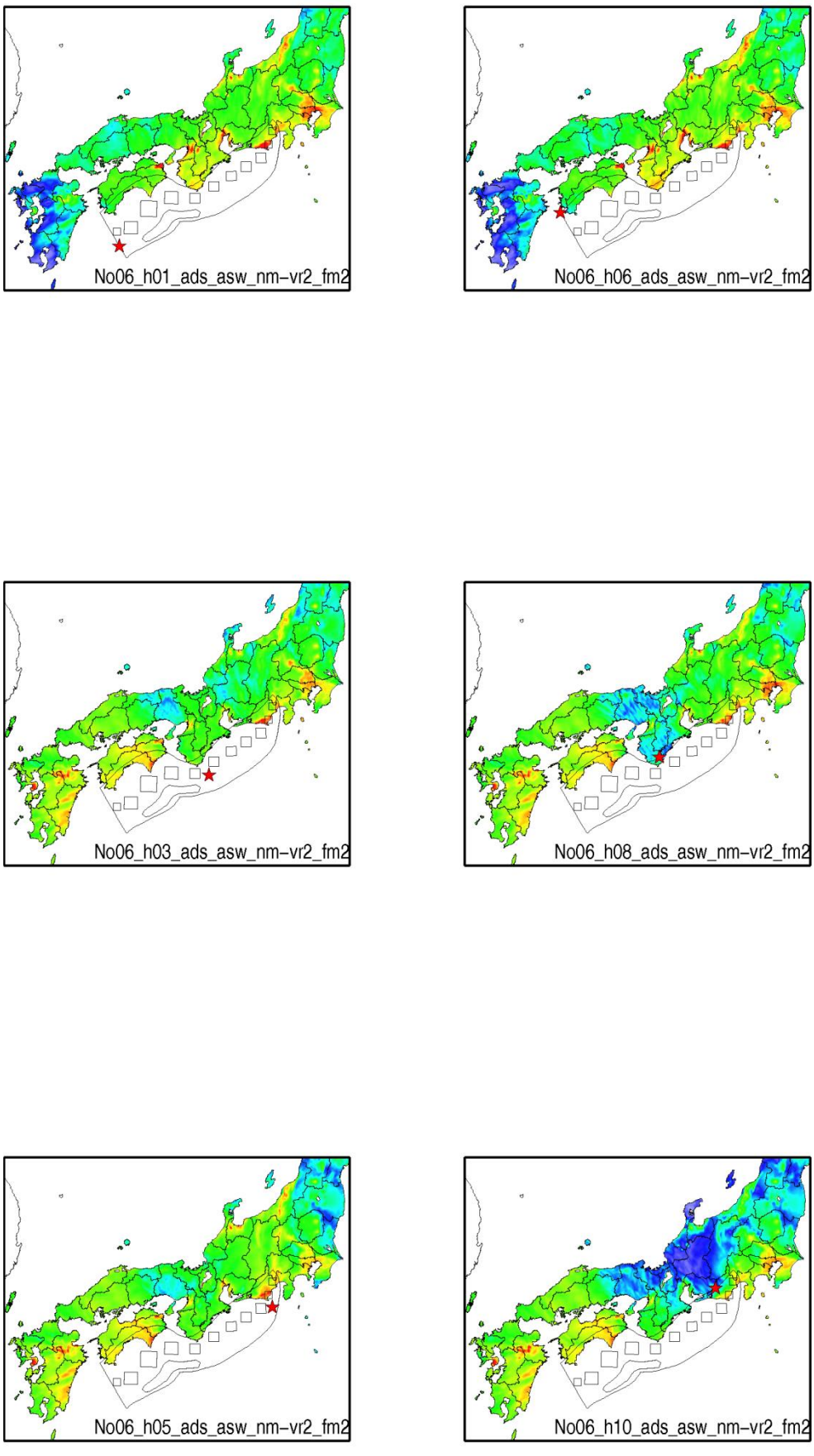




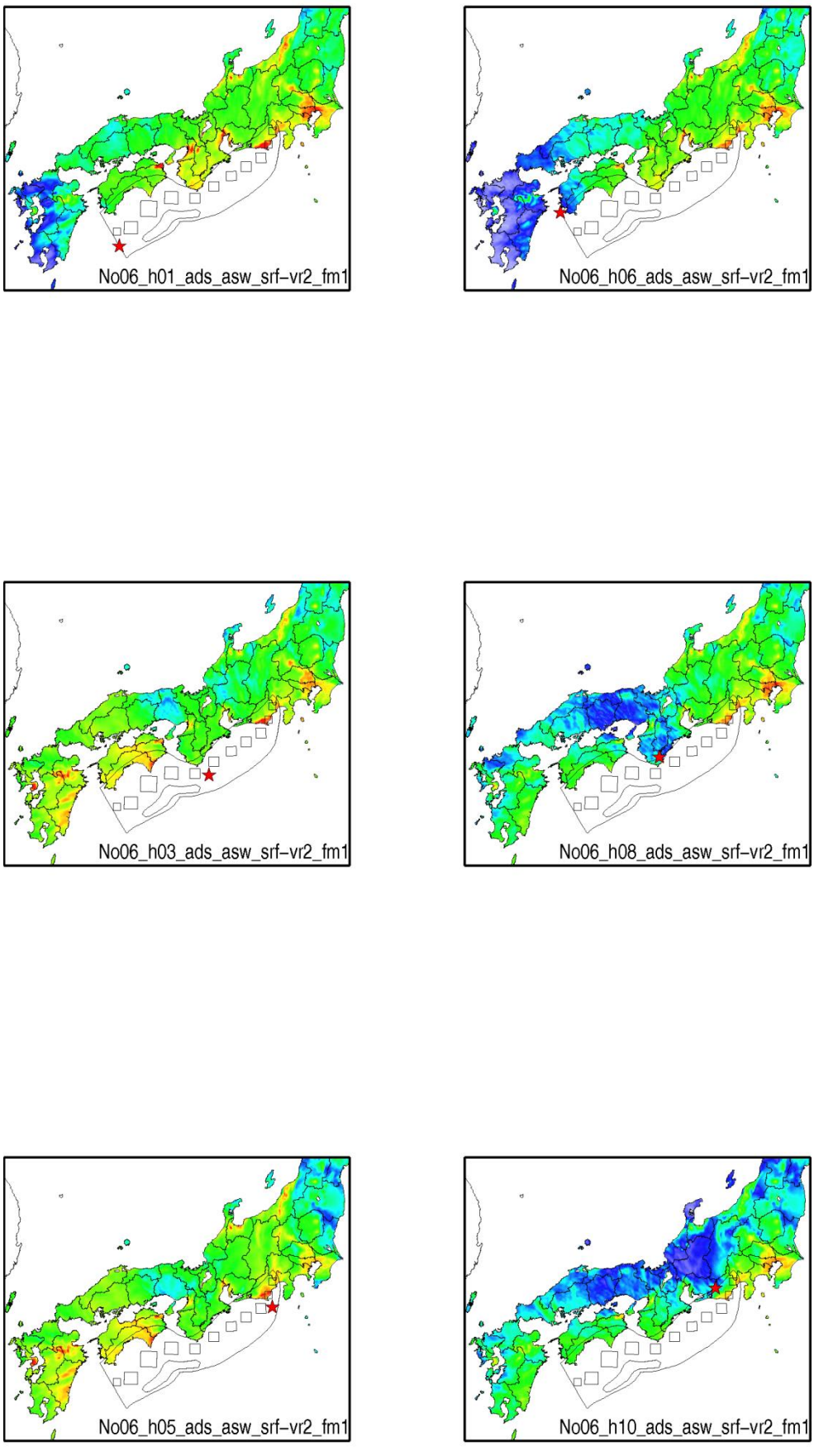
No06_ads_asw_nm-vr2_fm1



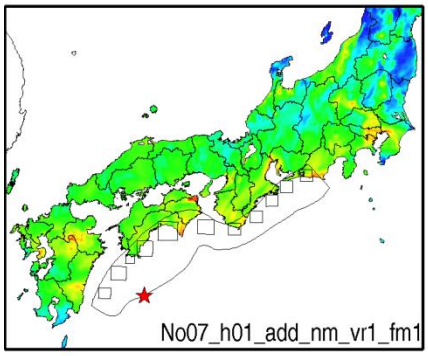
No06_ads_asw_nm-vr2_fm2

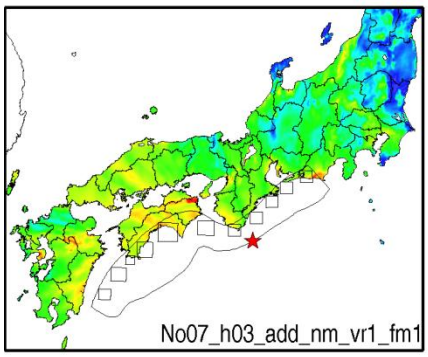


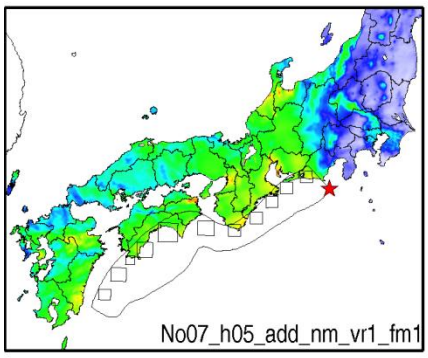
No06_ads_asw_srf-vr2_fm1

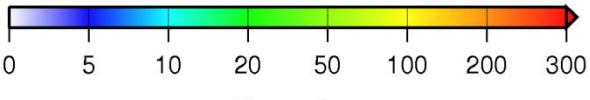


No07_r2_add_nm_vr1_fm1

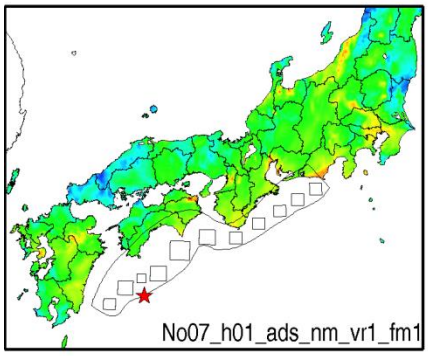


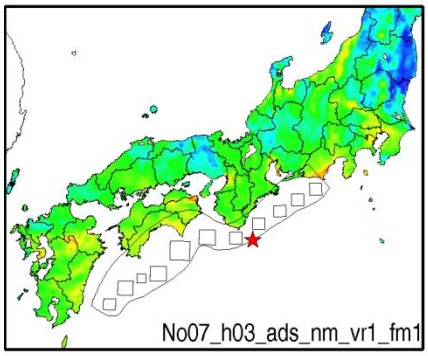


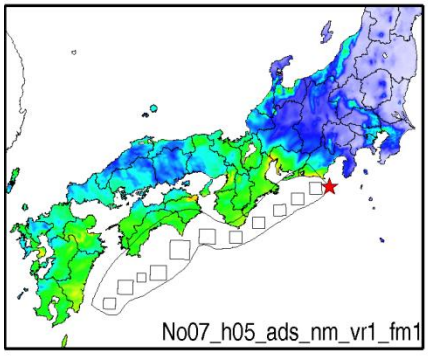


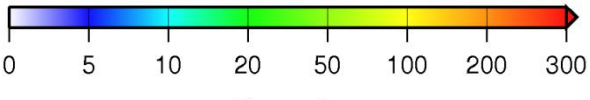


No07_r2_ads_nm_vr1_fm1

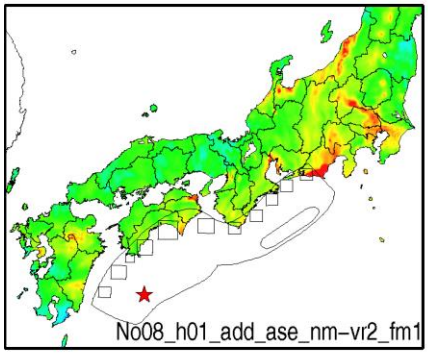


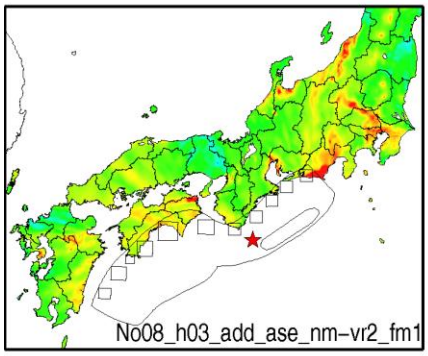


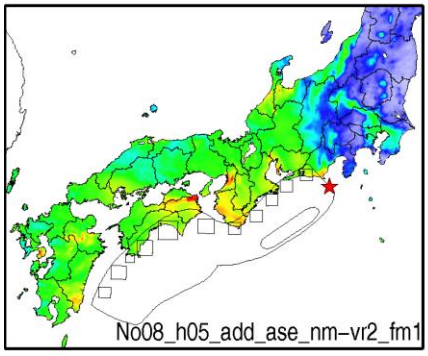


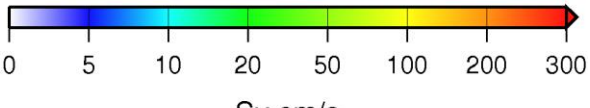


No08_add_ase_nm-vr2_fm1

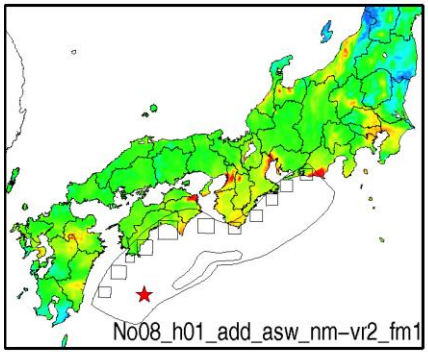


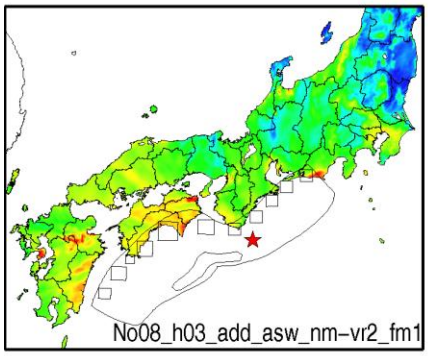


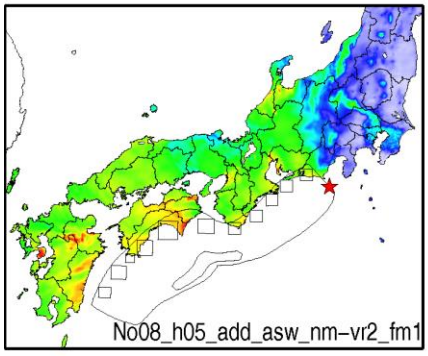


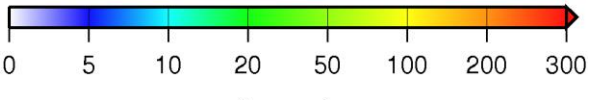


No08_add_asw_nm-vr2_fm1

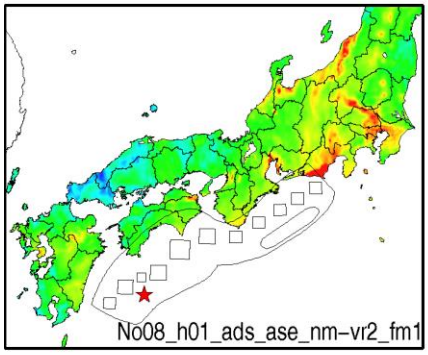


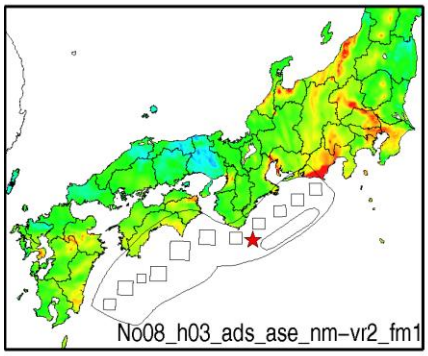


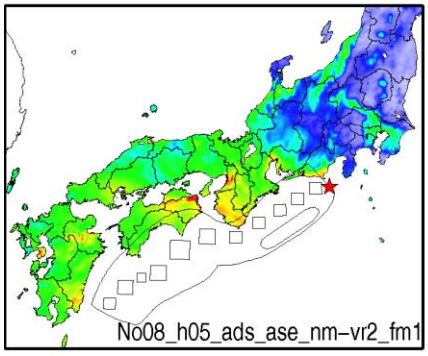


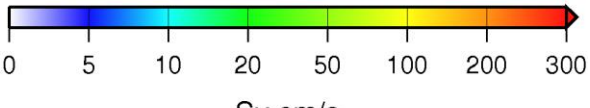


No08_ads_ase_nm-vr2_fm1

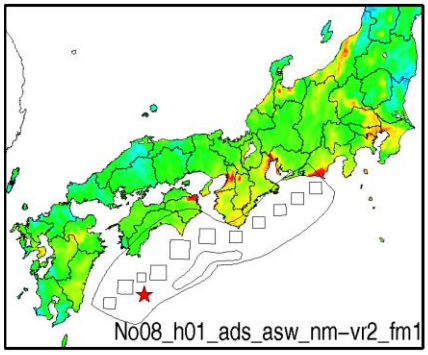


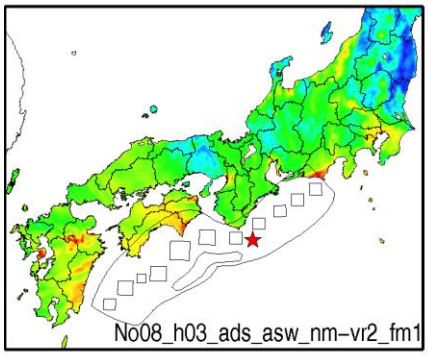


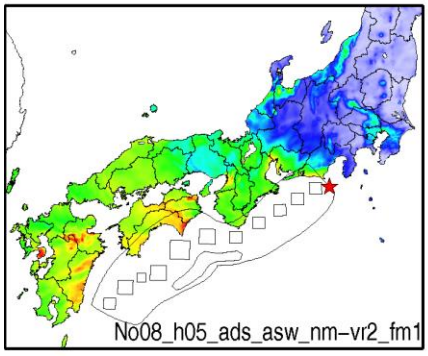


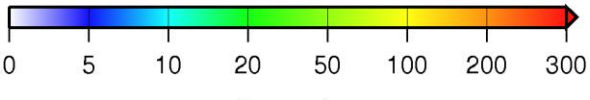


No08_ads_asw_nm-vr2_fm1

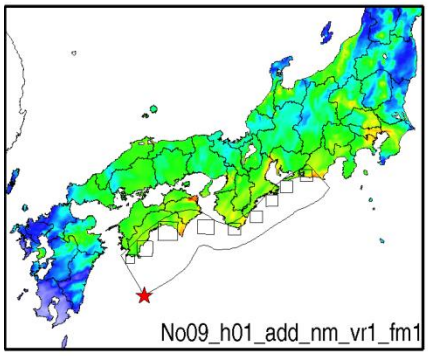


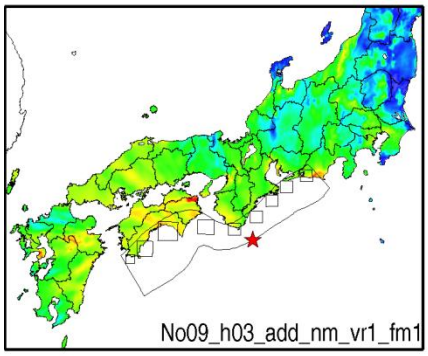


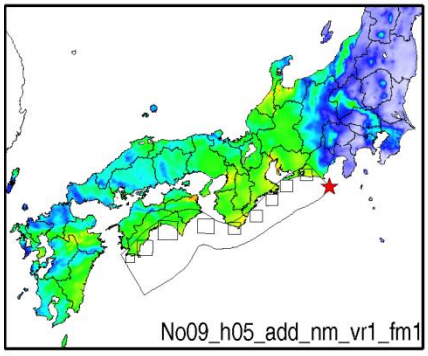


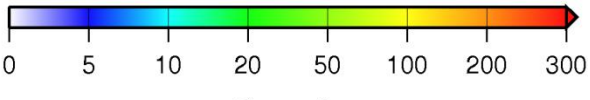


No09_r2_add_nm_vr1_fm1

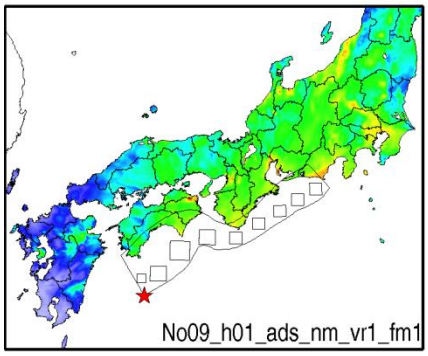


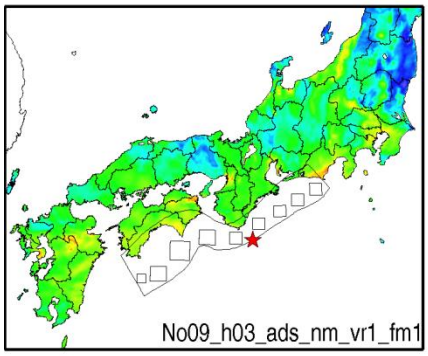


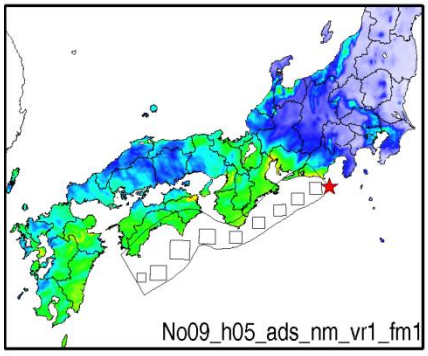


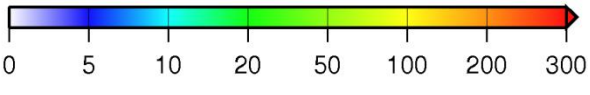


No09_r2_ads_nm_vr1_fm1

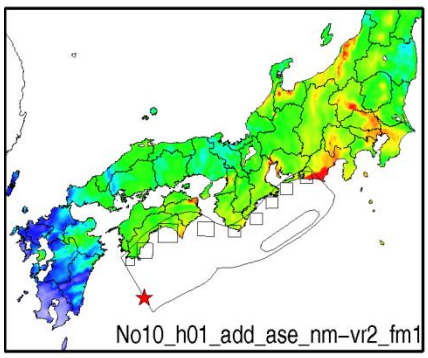


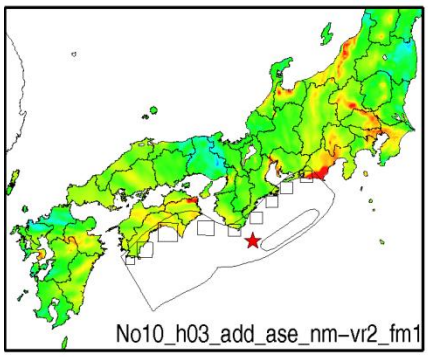


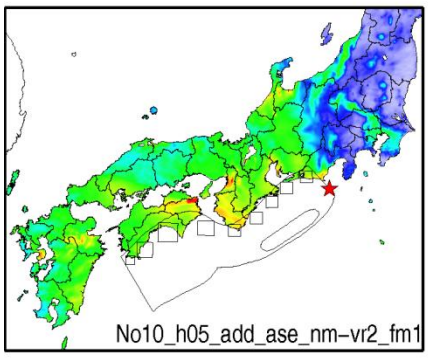


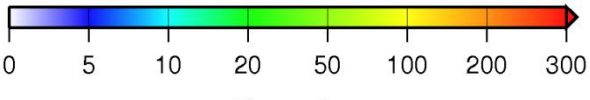


No10_add_ase_nm-vr2_fm1

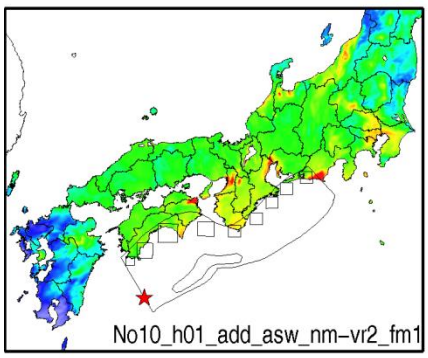


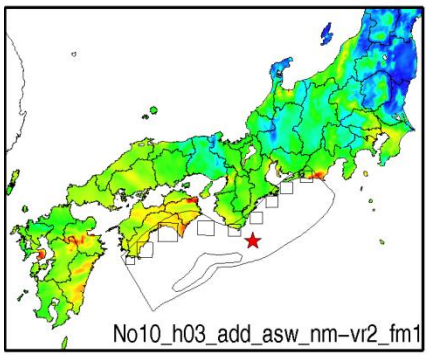


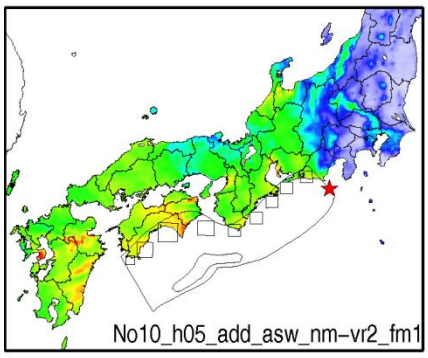


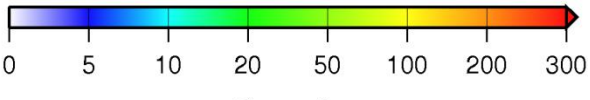


No10_add_asw_nm-vr2_fm1

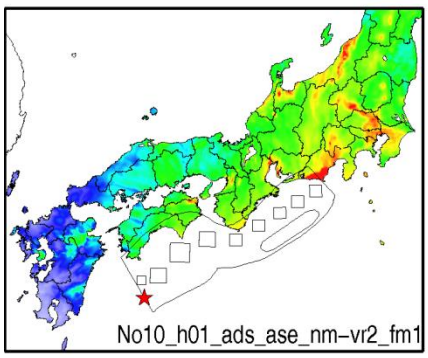


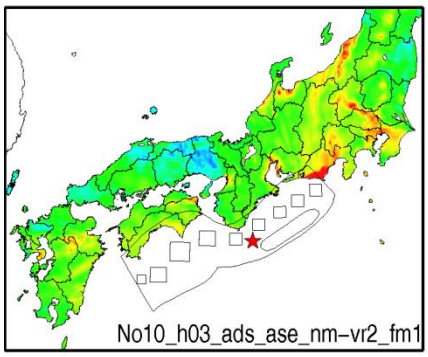


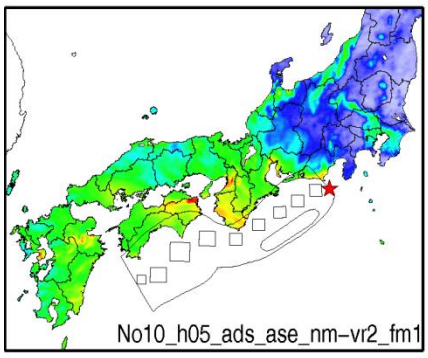


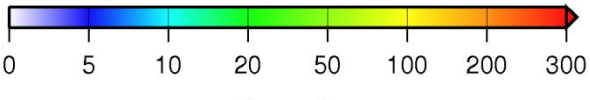


No10_ads_ase_nm-vr2_fm1

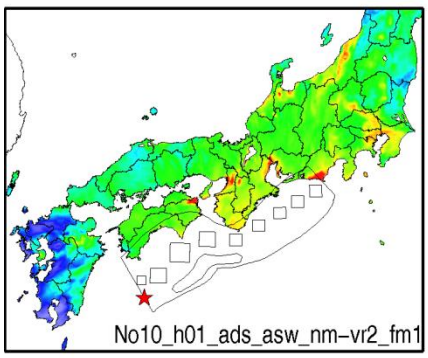


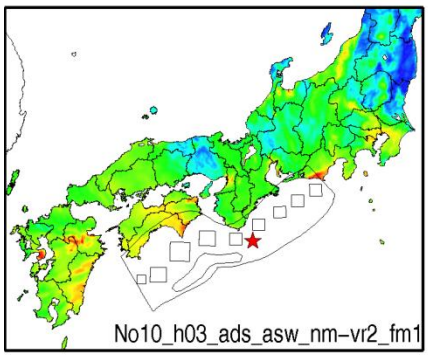


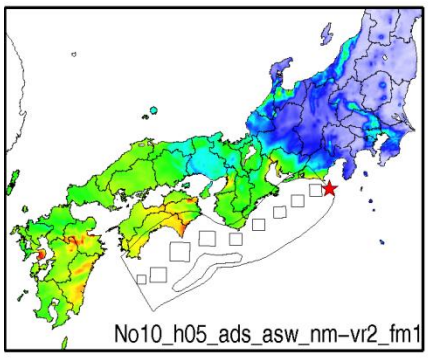


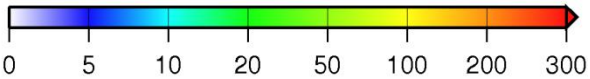


No10_ads_asw_nm-vr2_fm1



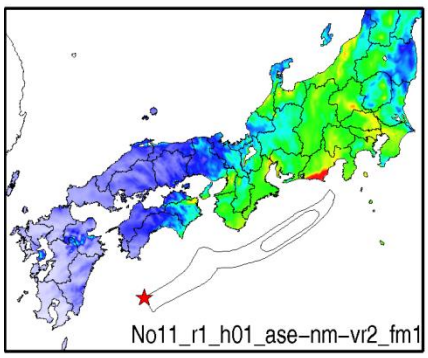


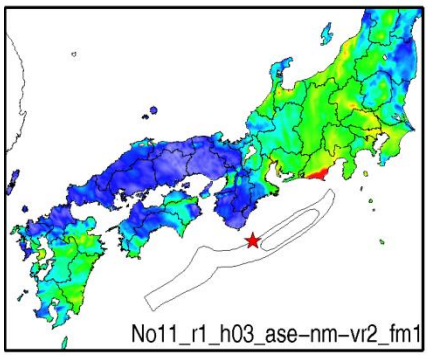


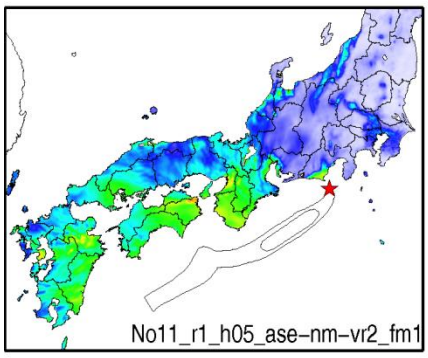


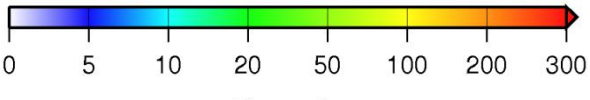
Sv,cm/s

No11_r1_ase-nm-vr2_fm1

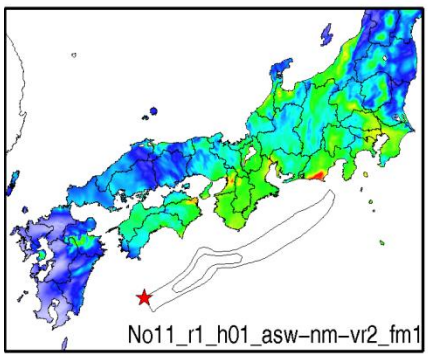


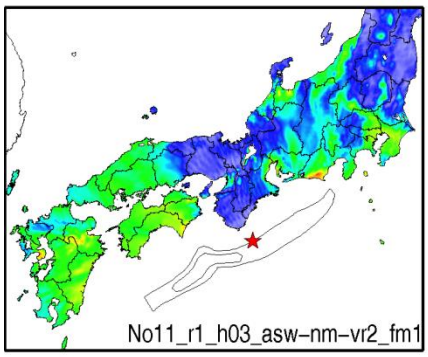


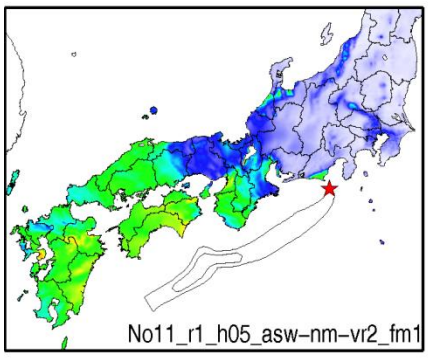


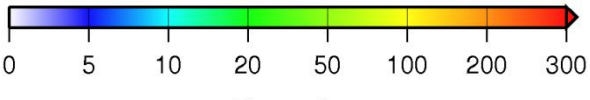


No11_r1_asw-nm-vr2_fm1

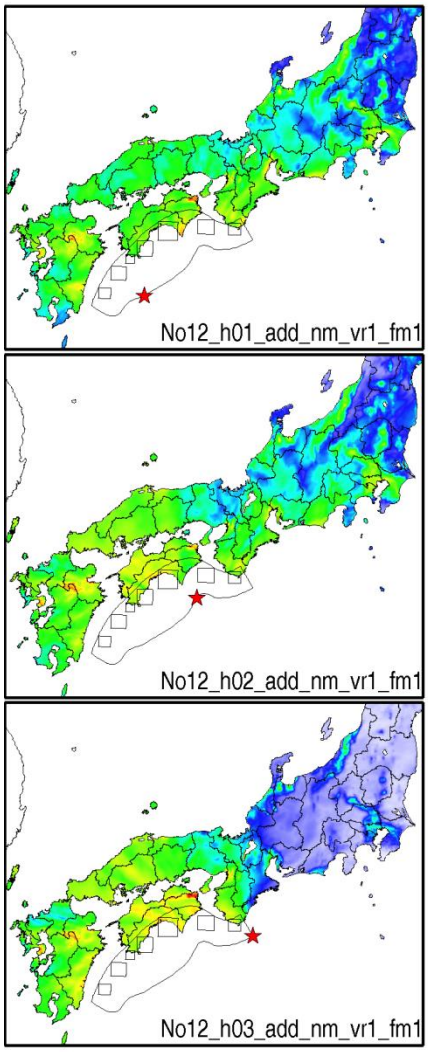


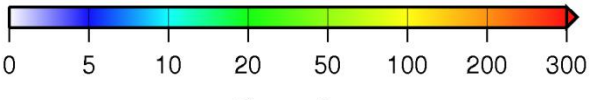




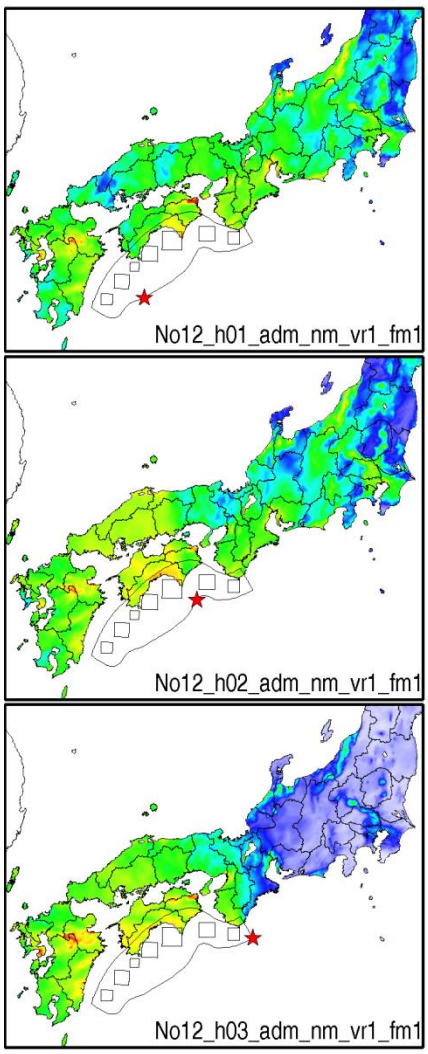


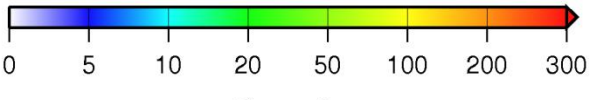
No12_r2_add_nm_vr1_fm1



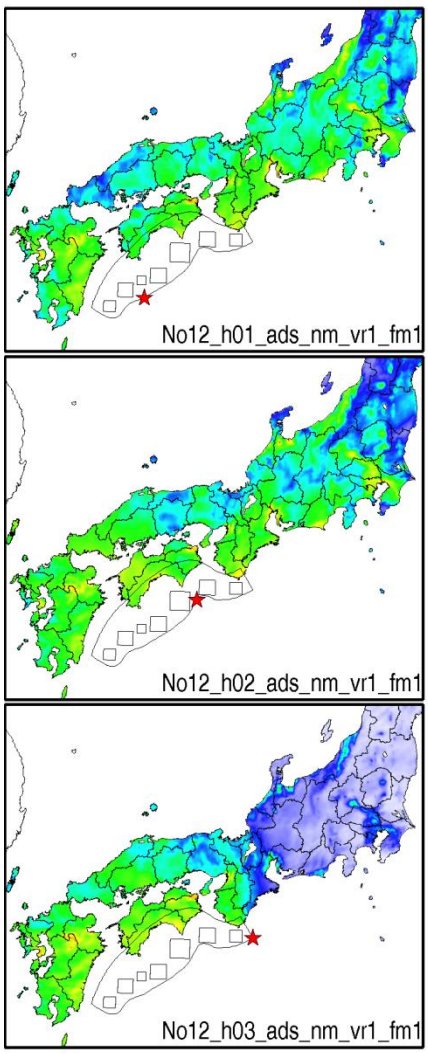


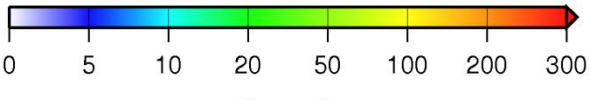
No12_r2_adm_nm_vr1_fm1



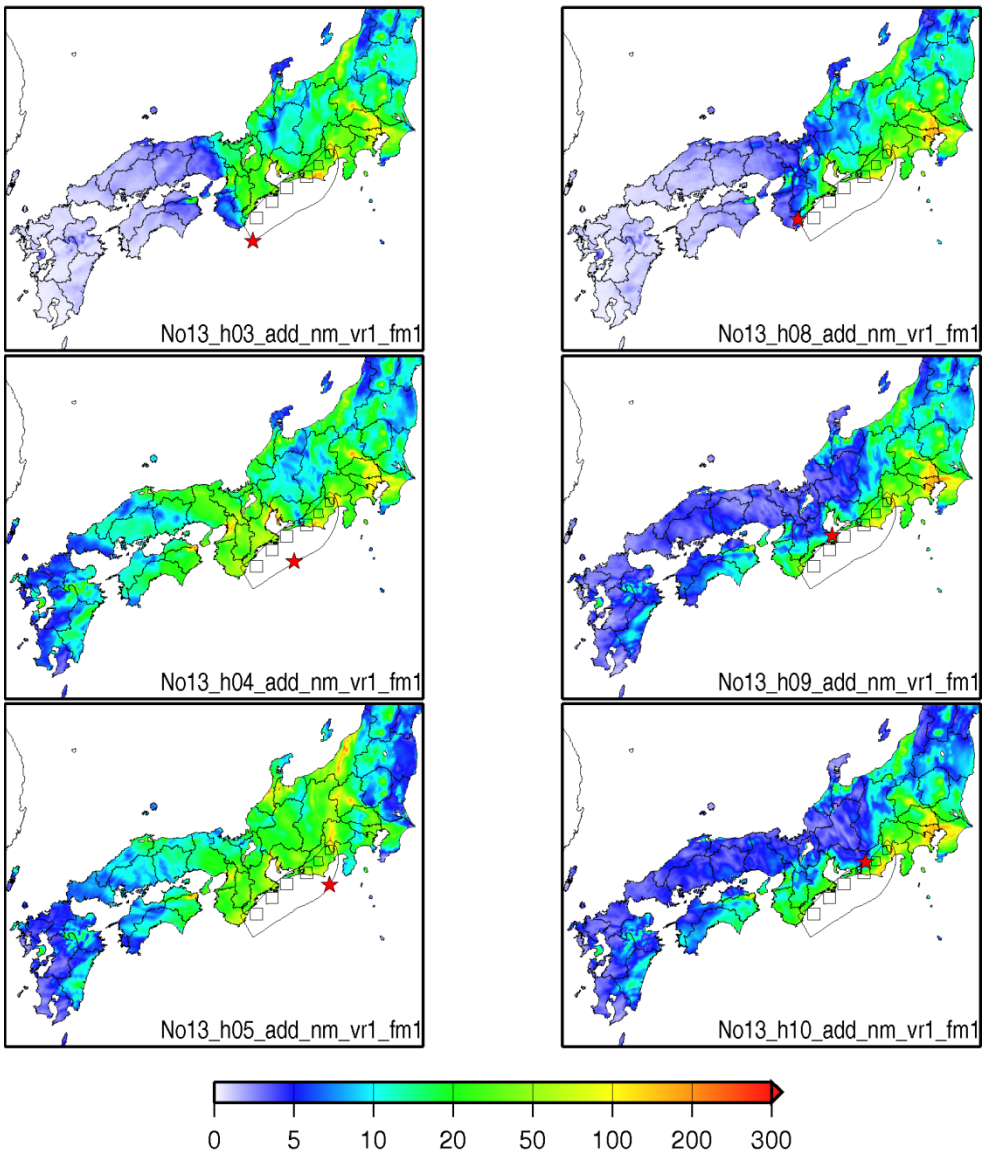


No12_r2_ads_nm_vr1_fm1

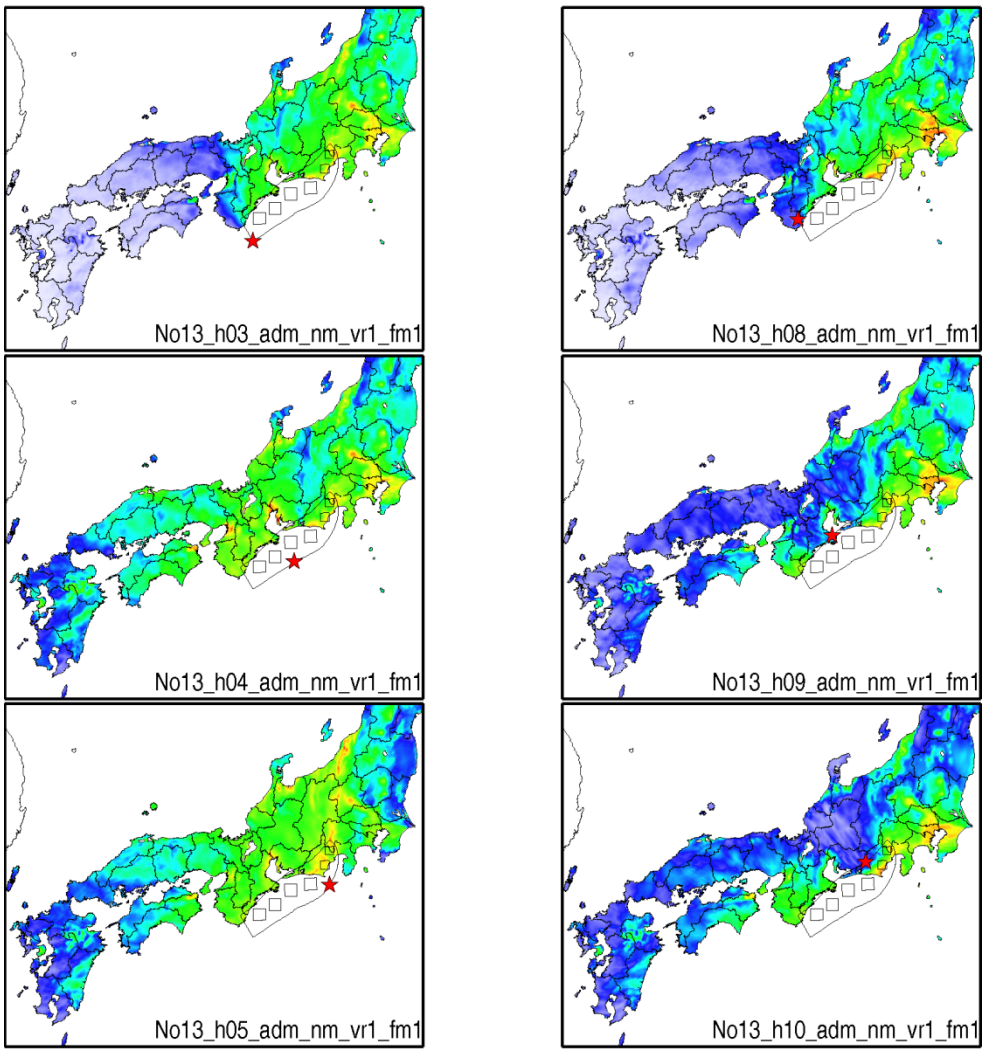




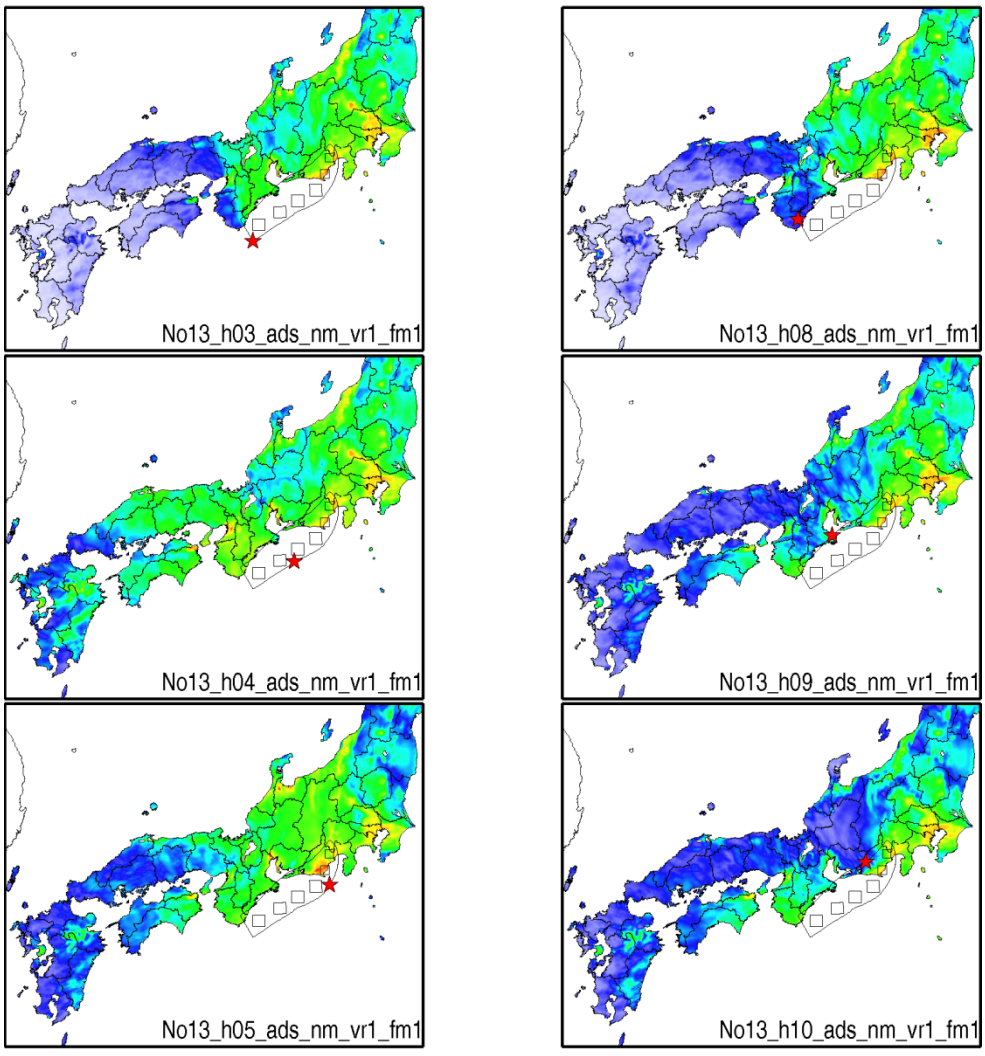
No13_r2_add_nm_vr1_fm1



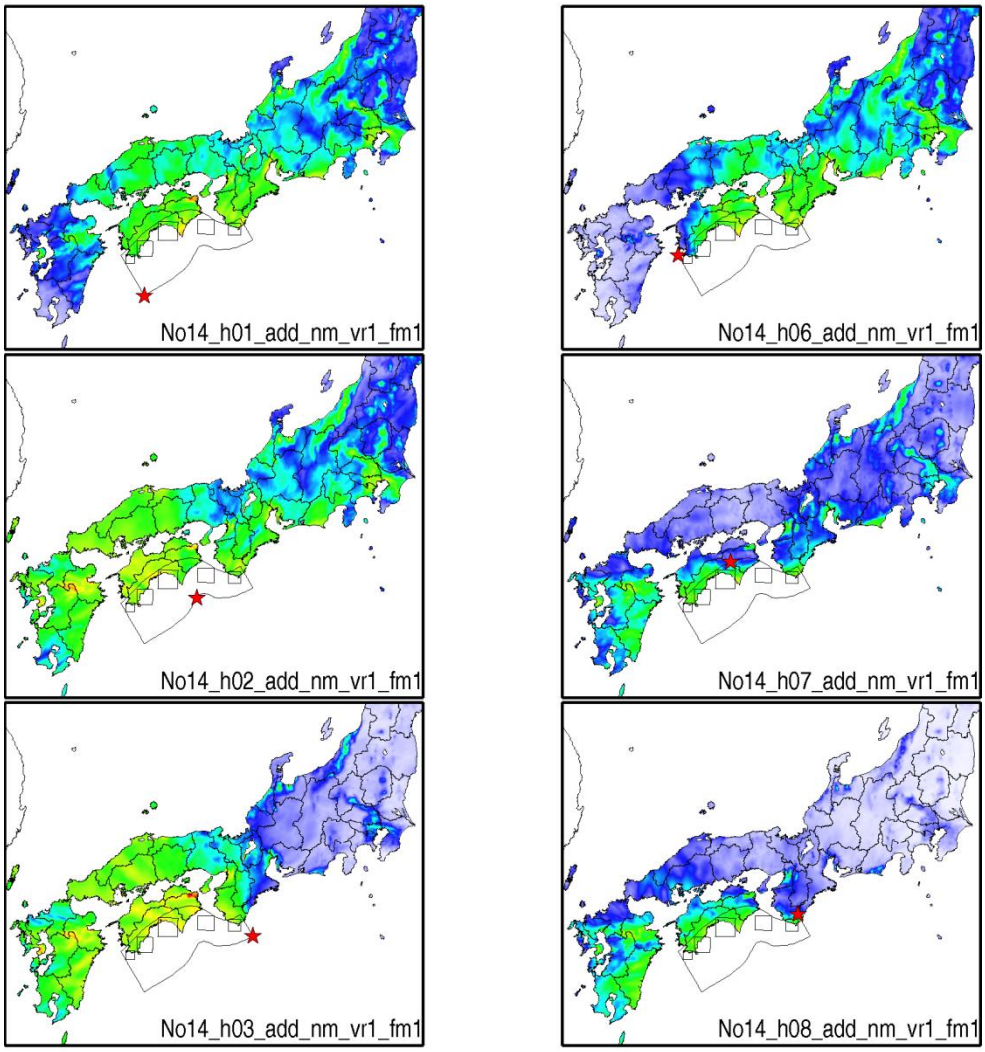
No13_r2_adm_nm_vr1_fm1

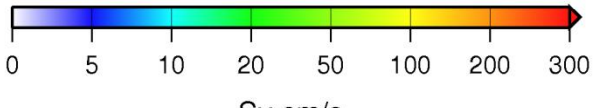


No13_r2_ads_nm_vr1_fm1



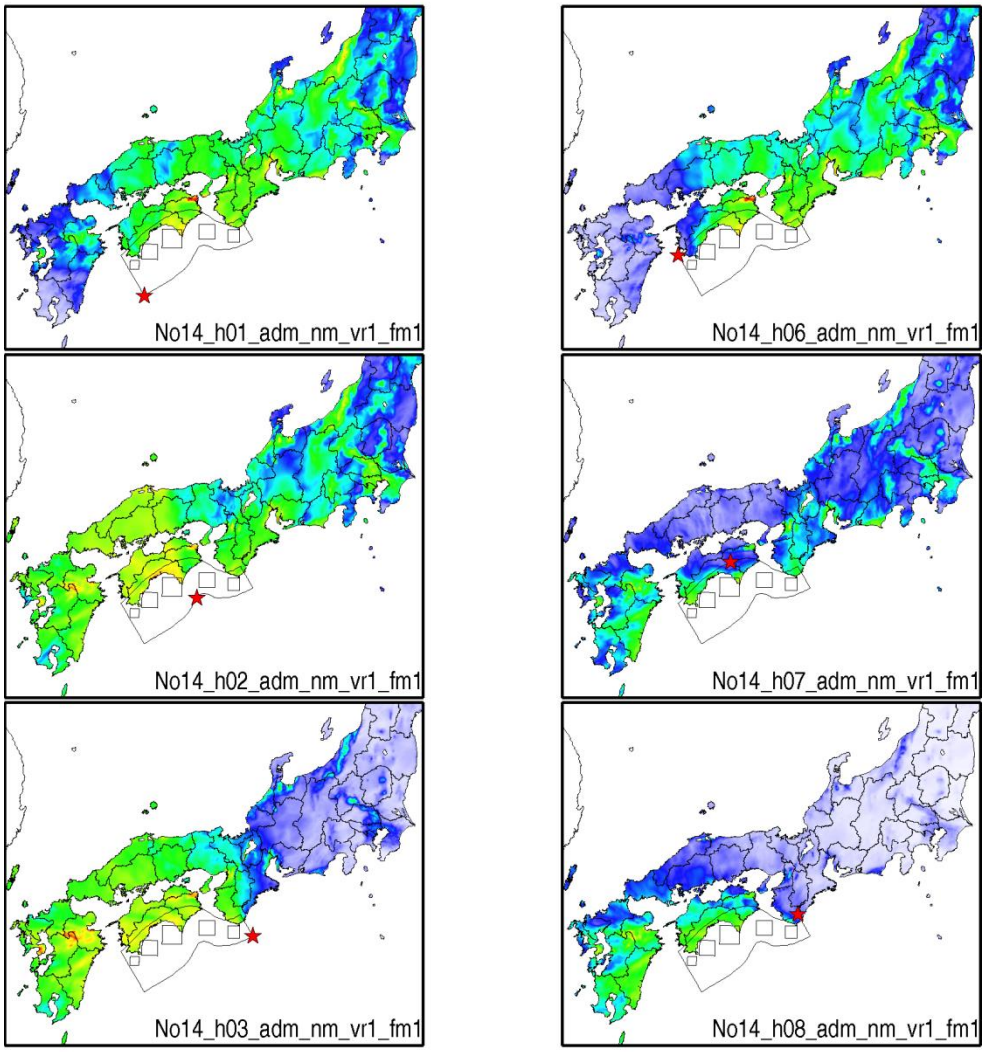
No14_r2_add_nm_vr1_fm1

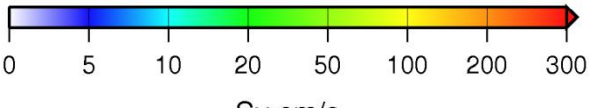




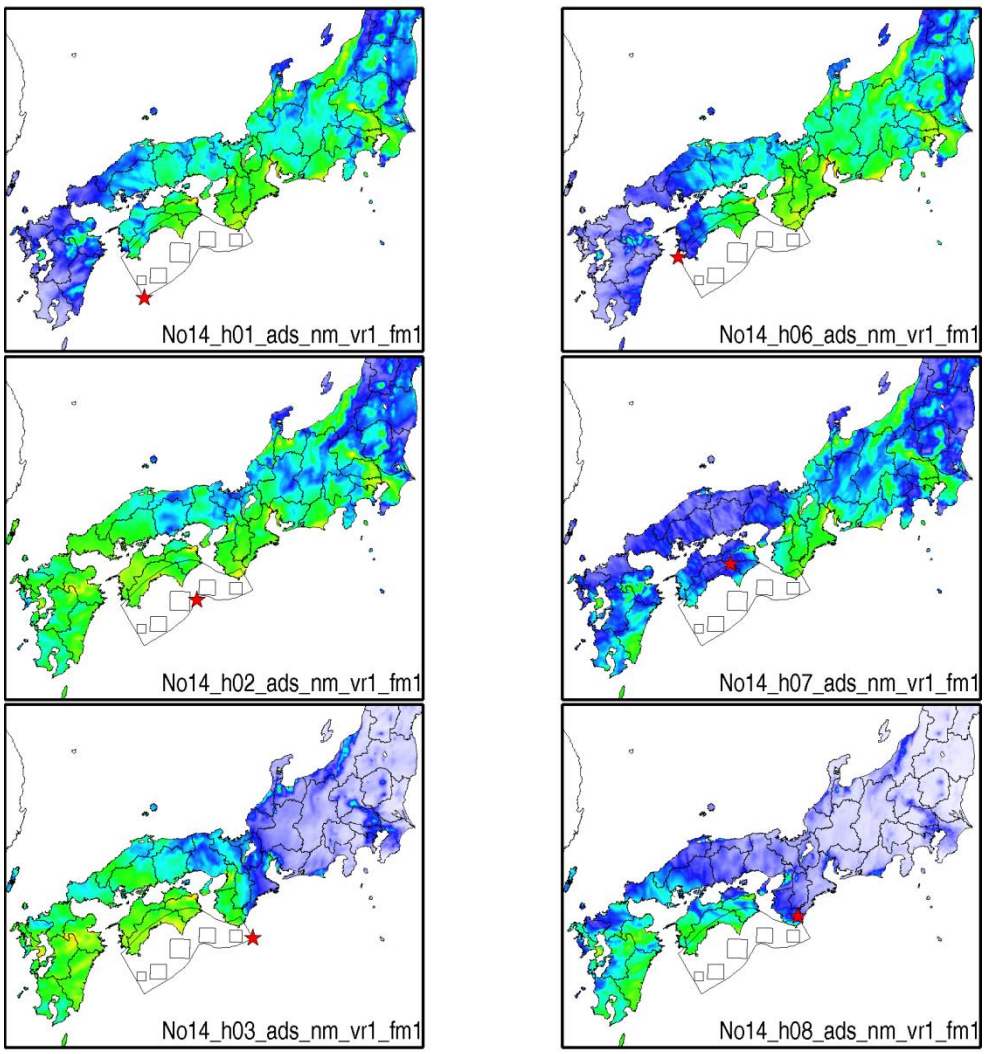
Sv,cm/s

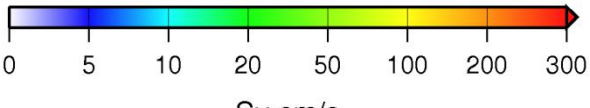
No14_r2_adm_nm_vr1_fm1



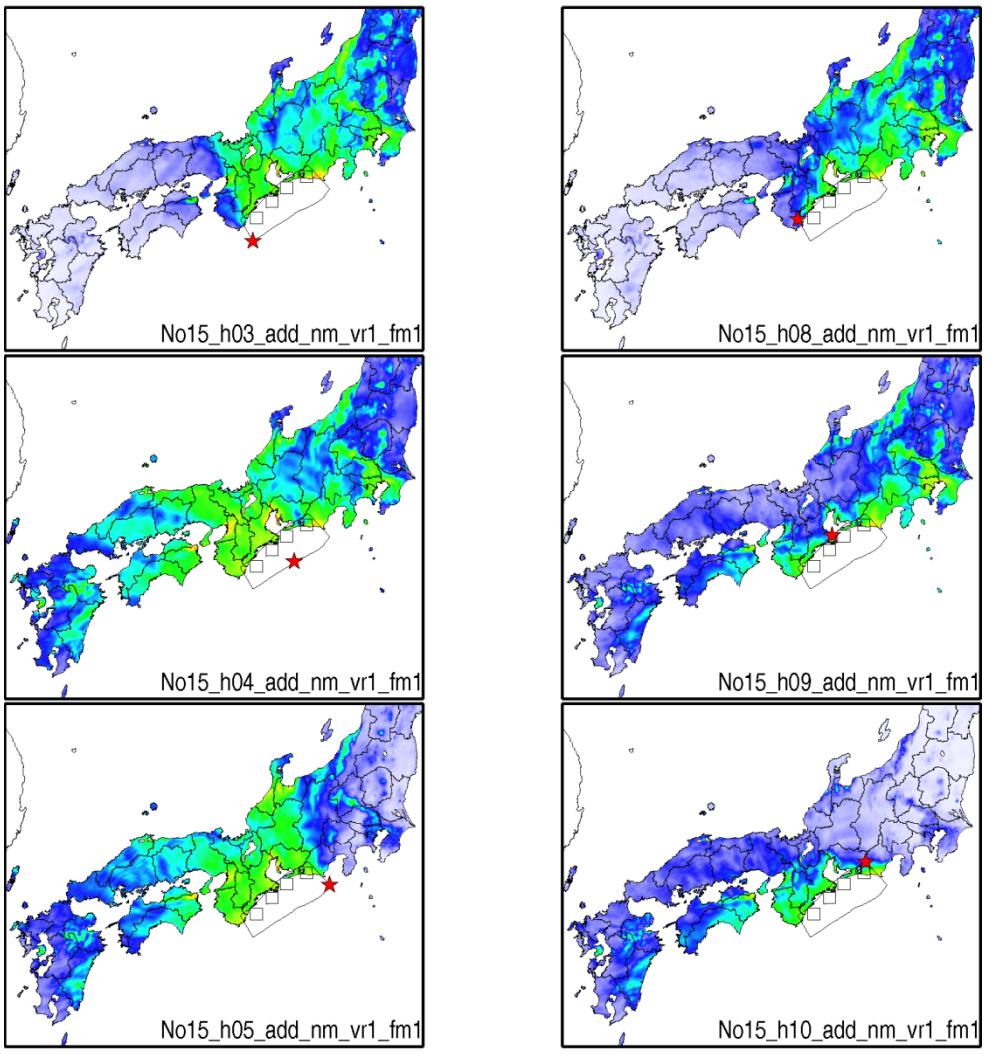


No14_r2_ads_nm_vr1_fm1

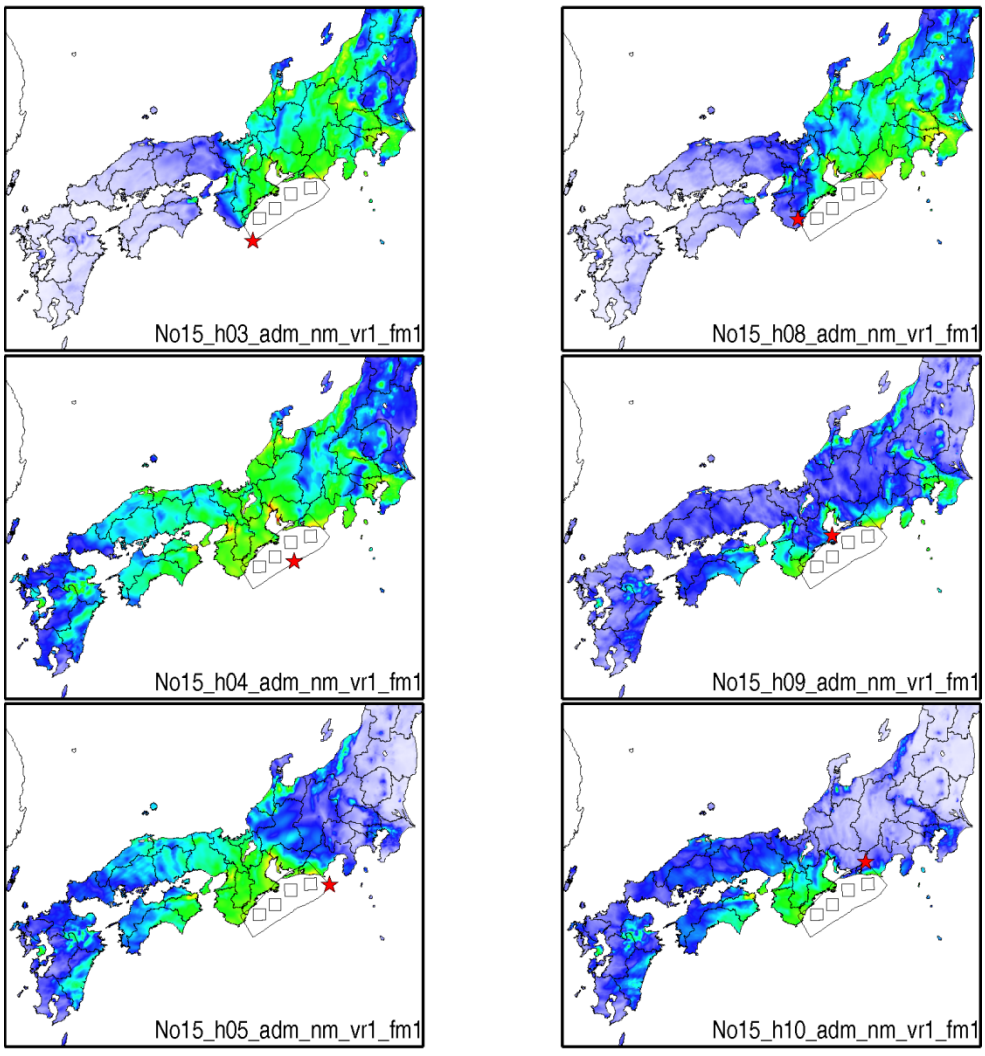




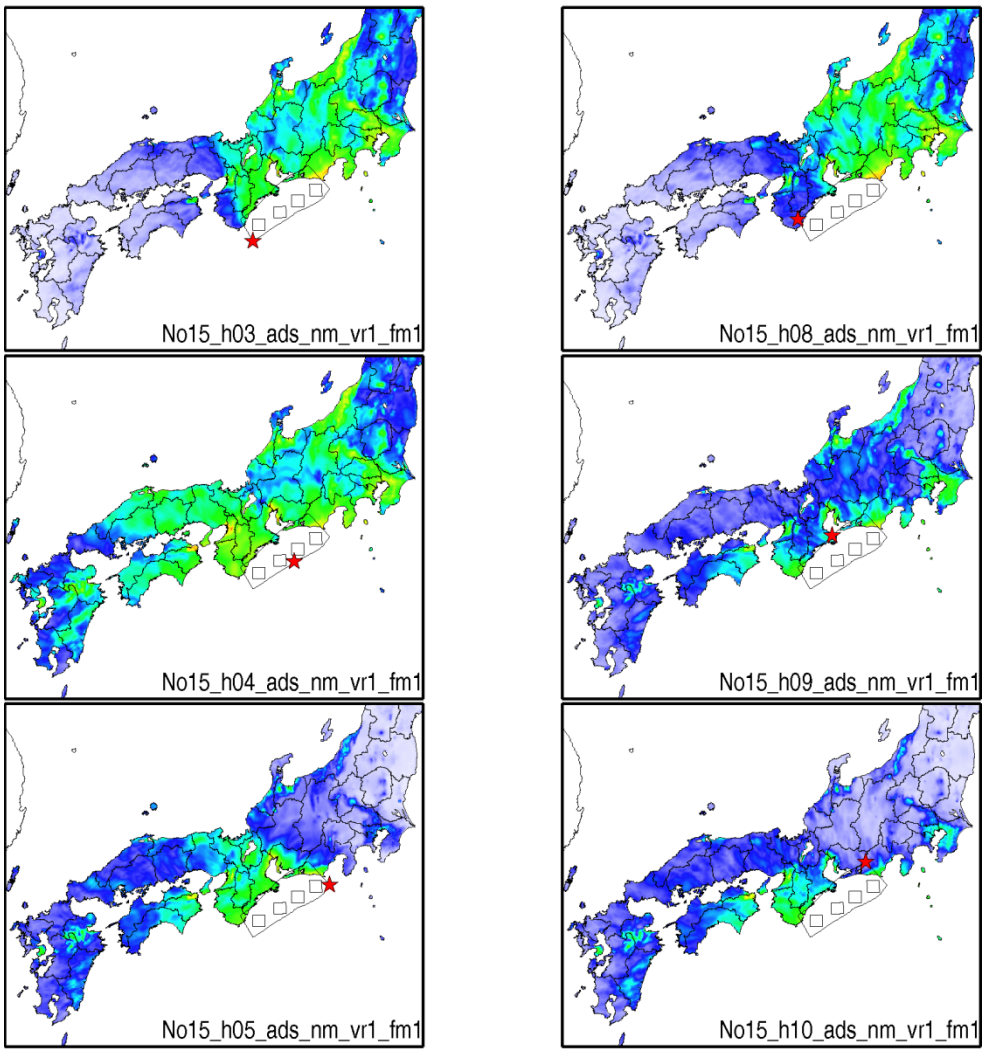
No15_r2_add_nm_vr1_fm1



No15_r2_adm_nm_vr1_fm1

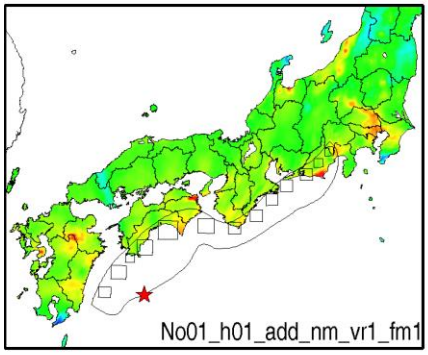


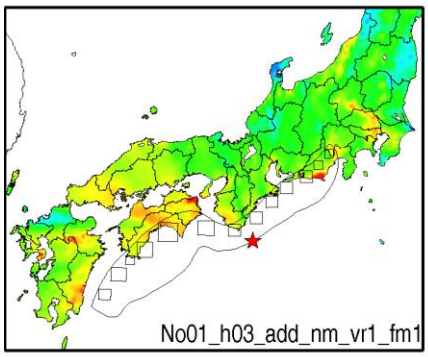
No15_r2_ads_nm_vr1_fm1

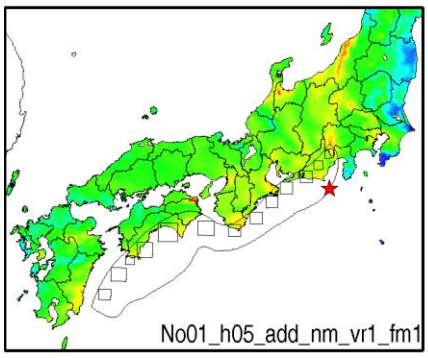


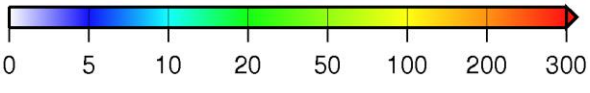
速度応答値(Sv:減衰定数5%、周期10秒)の空間分布

No01_r2_add_nm_vr1_fm1

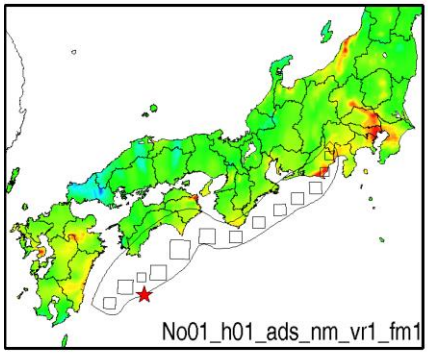


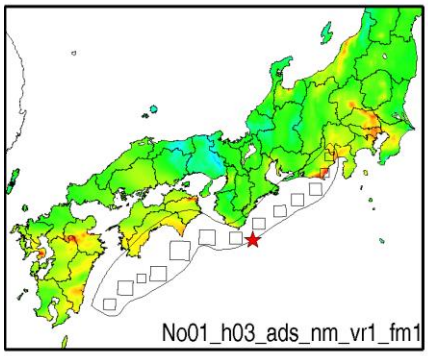


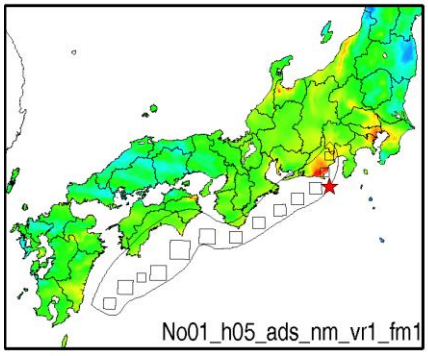


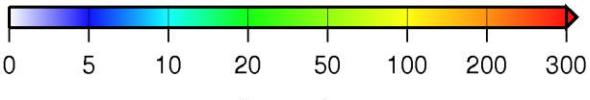


No01_r2_ads_nm_vr1_fm1

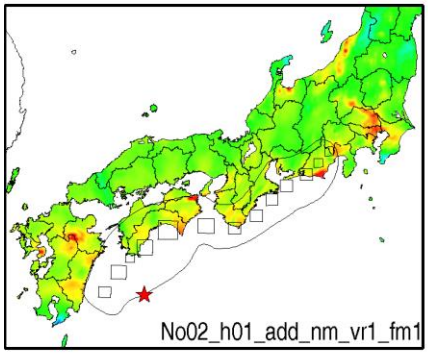


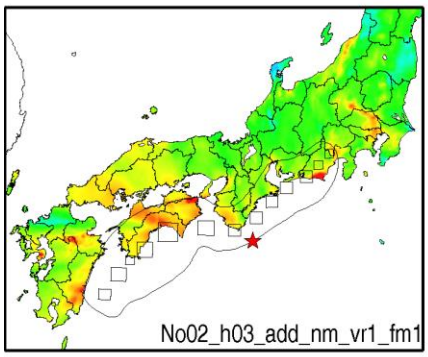


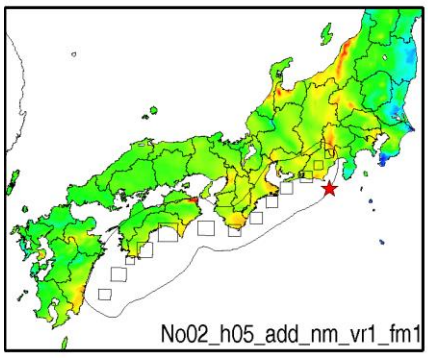


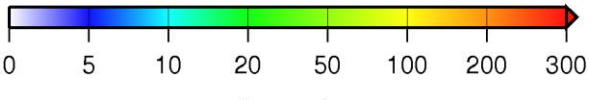


No02_r2_add_nm_vr1_fm1

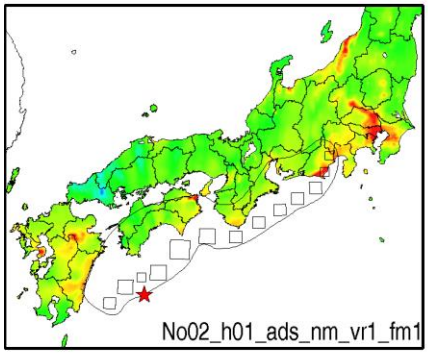


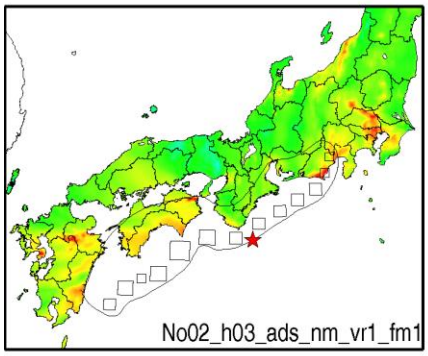


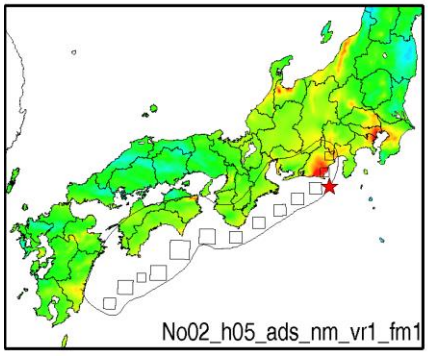


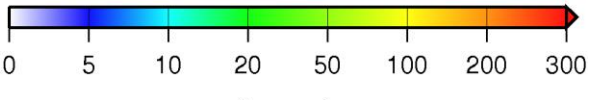


No02_r2_ads_nm_vr1_fm1

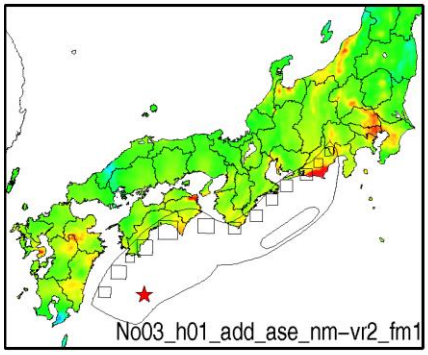


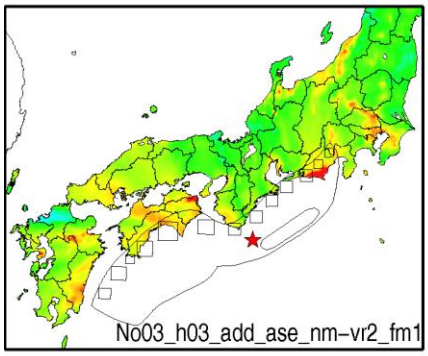


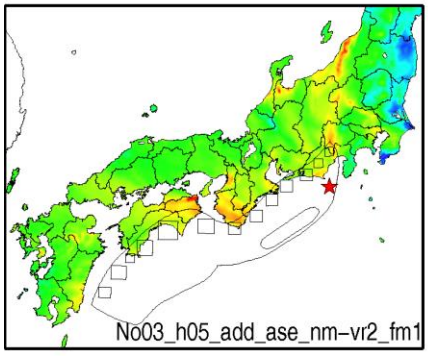


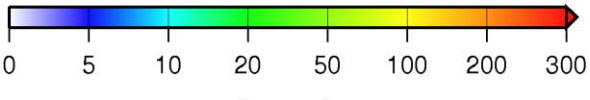


No03_add_ase_nm-vr2_fm1

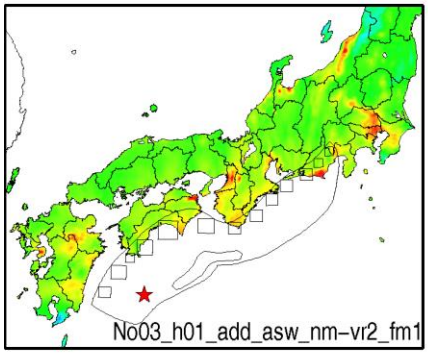


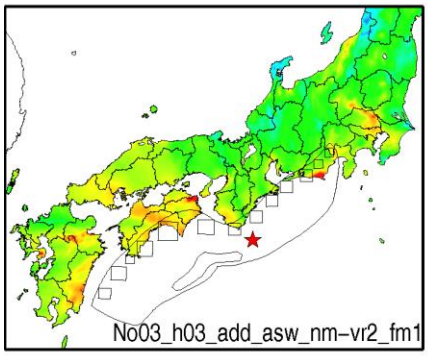


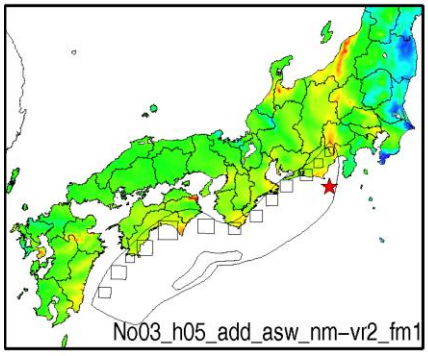


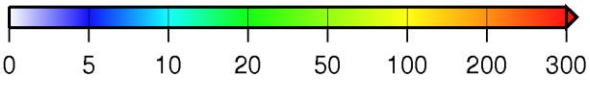


No03_add_asw_nm-vr2_fm1

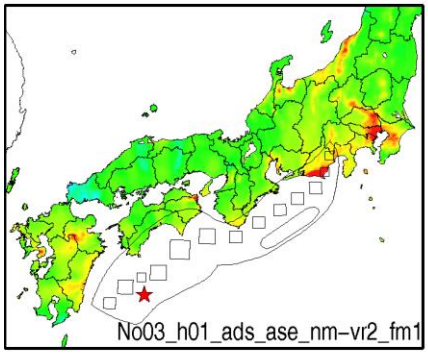


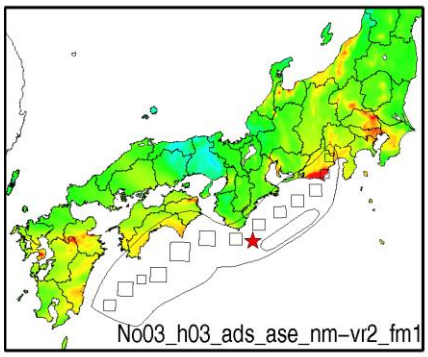


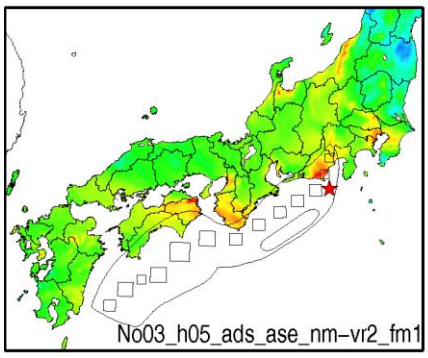


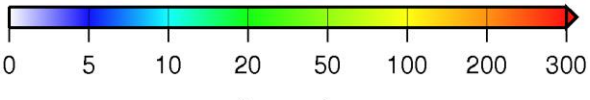


No03_ads_ase_nm-vr2_fm1

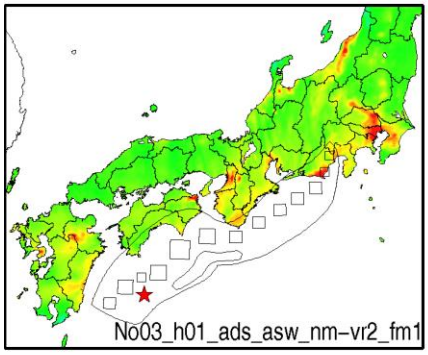


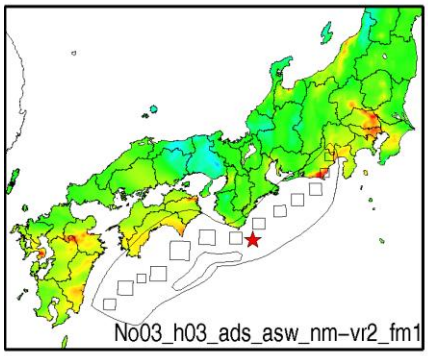


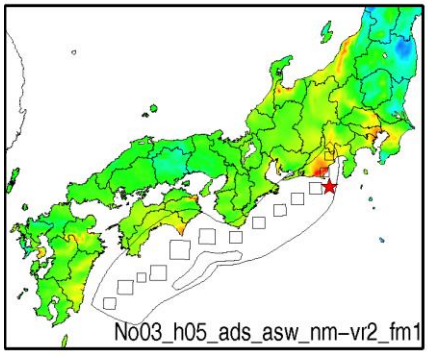


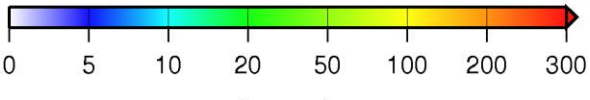


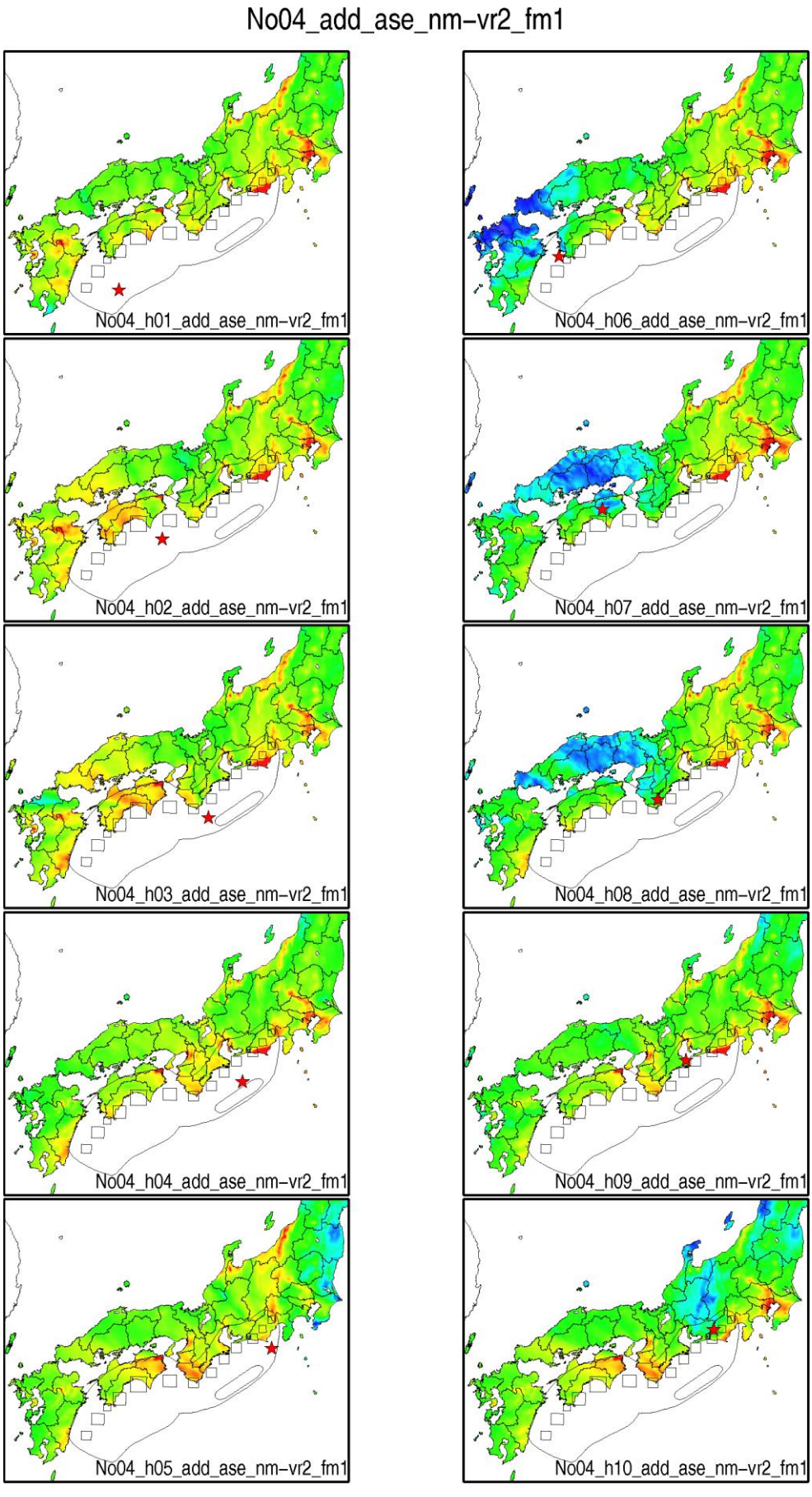
No03_ads_asw_nm-vr2_fm1

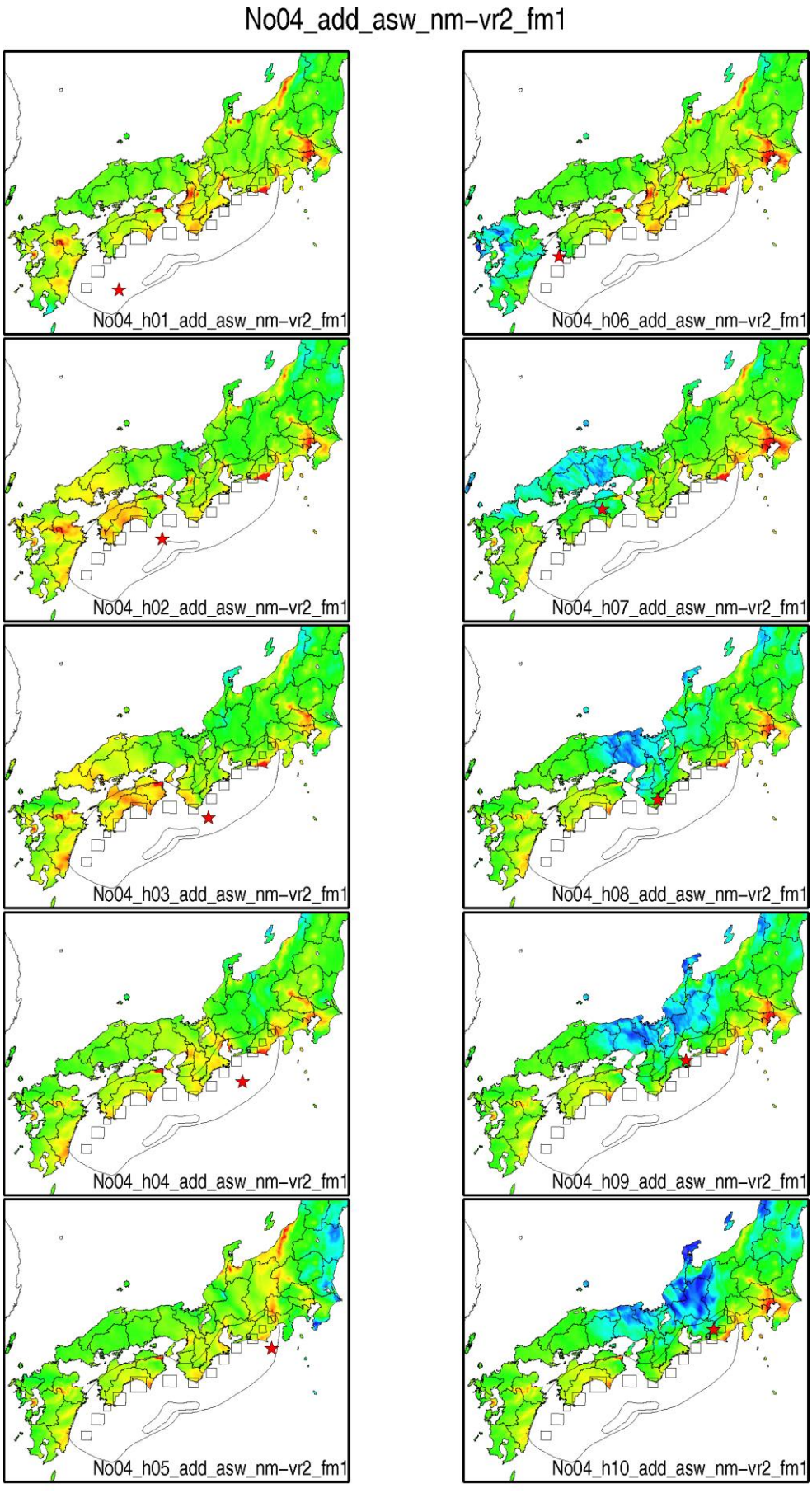


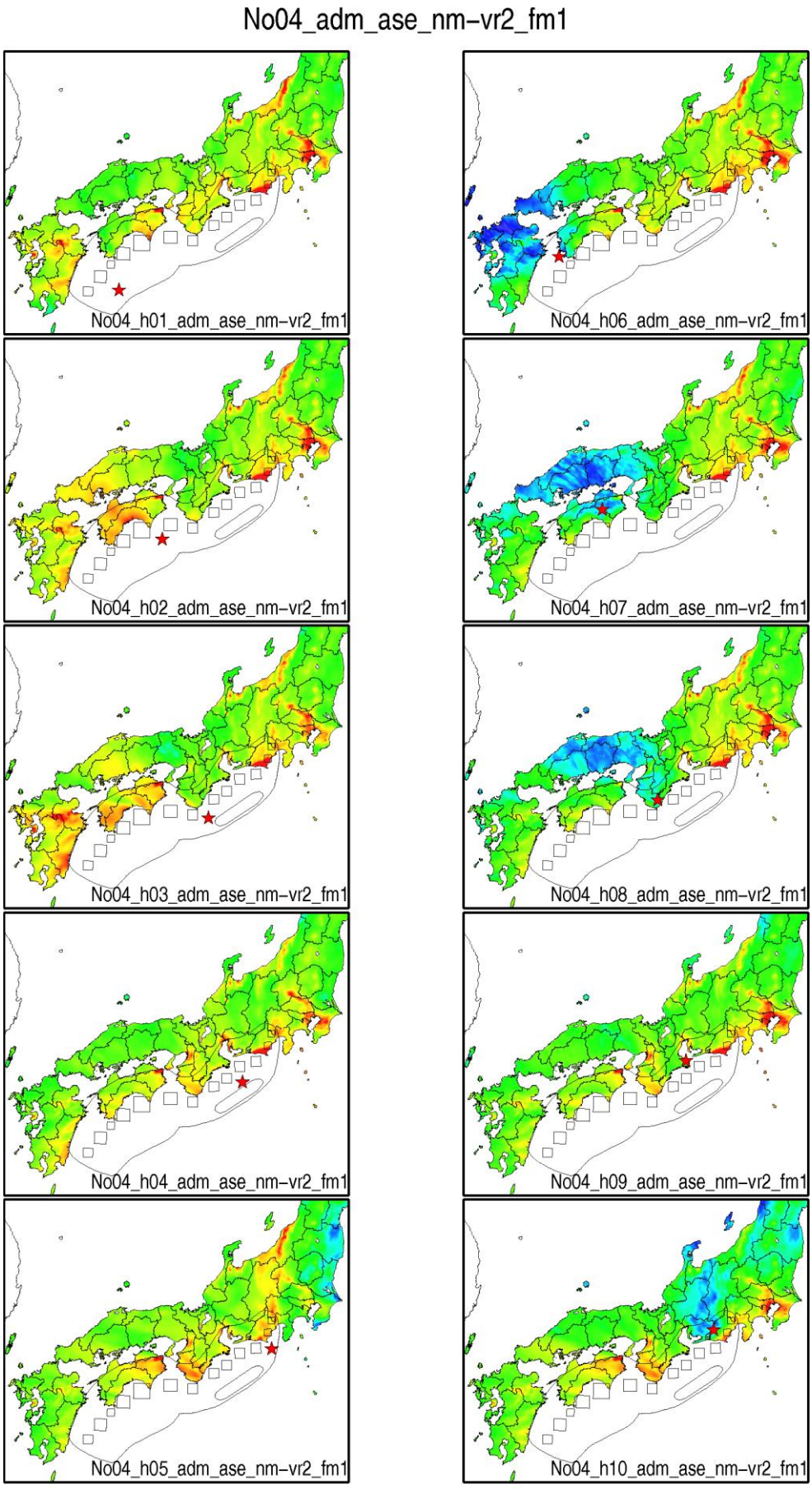




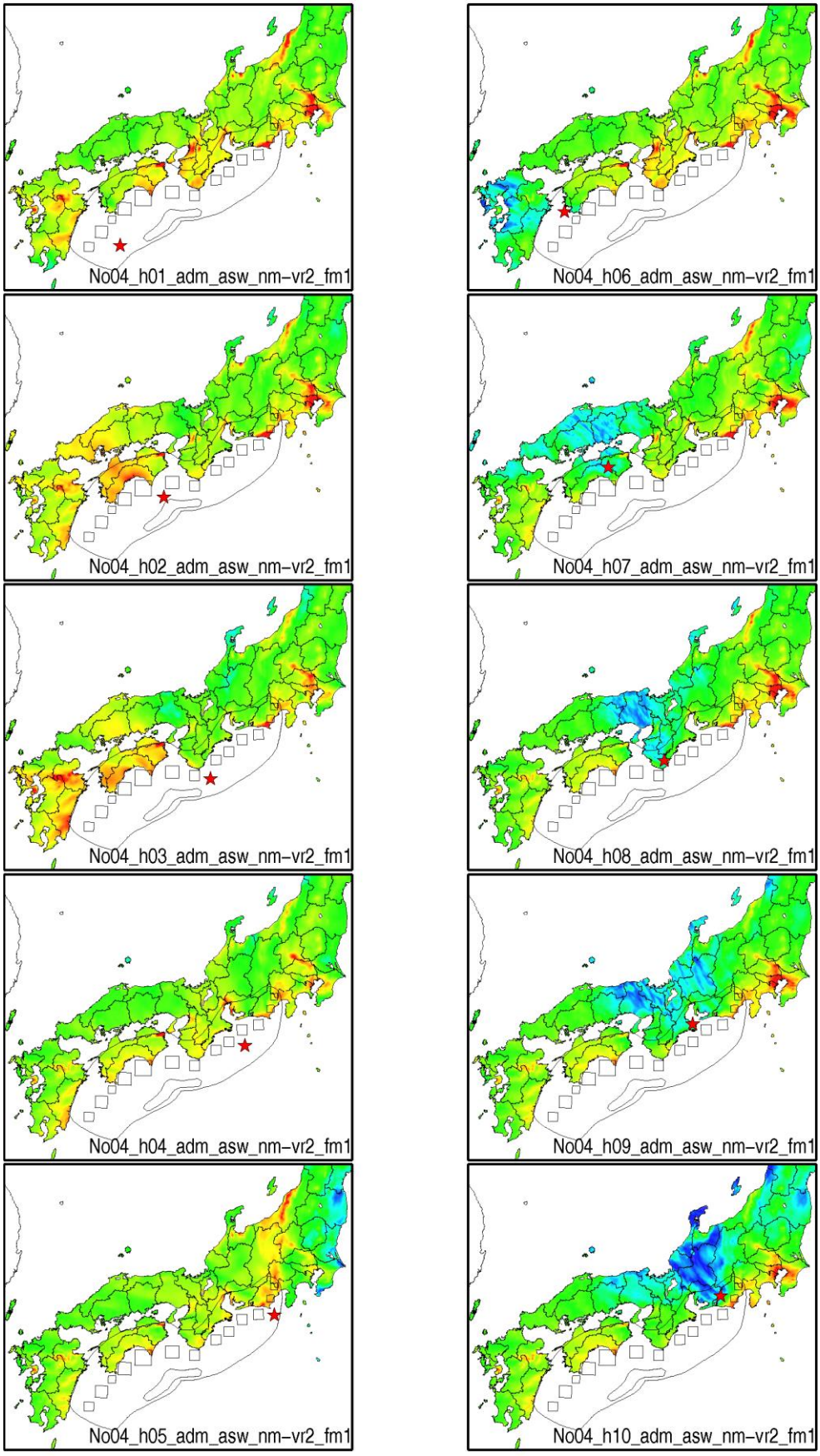


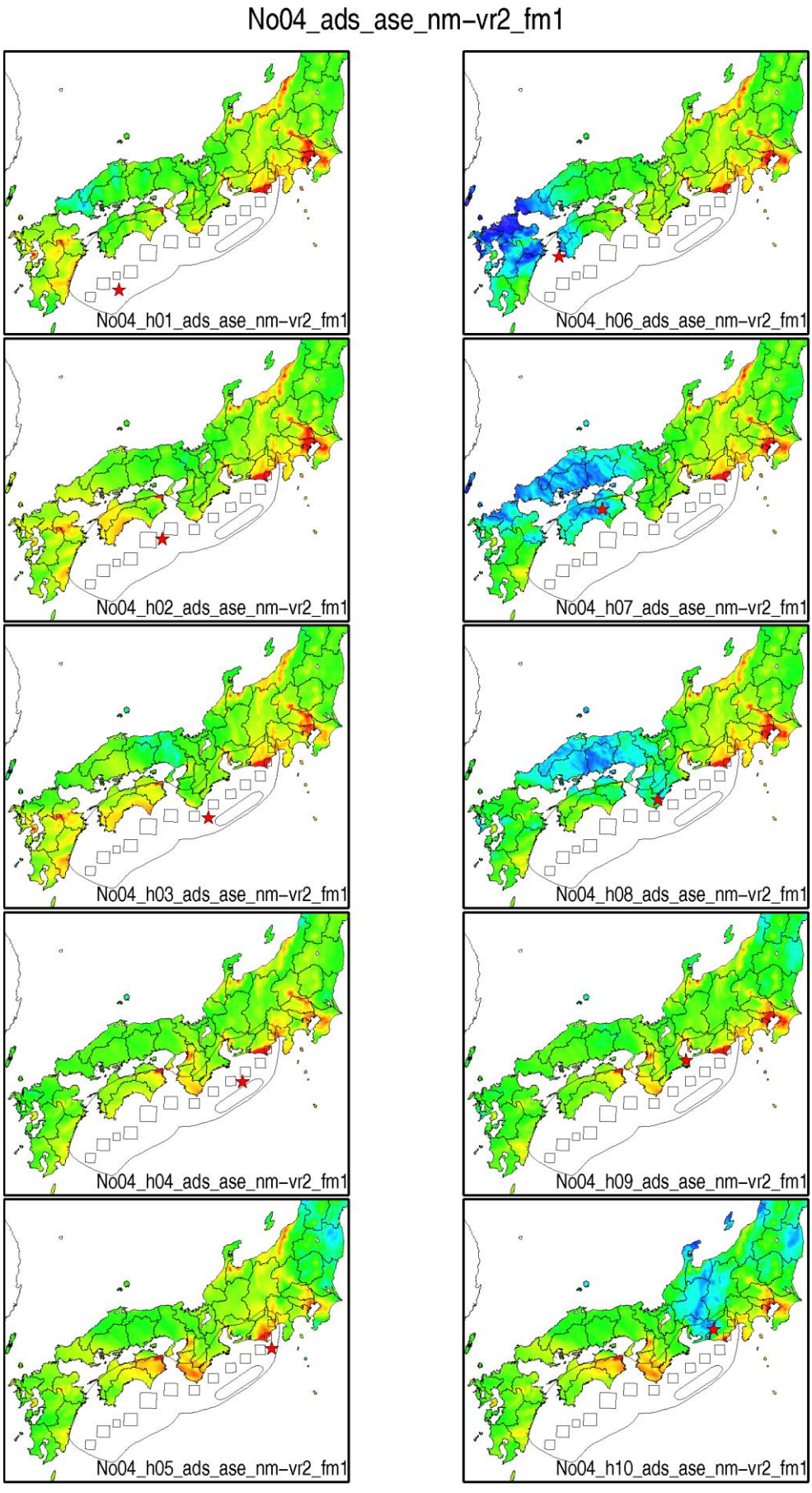

No04_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h01_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h06_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h02_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h07_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h03_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h08_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h04_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h09_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h05_add_ase_nm-vr2_fm1
No04_h10_add_ase_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

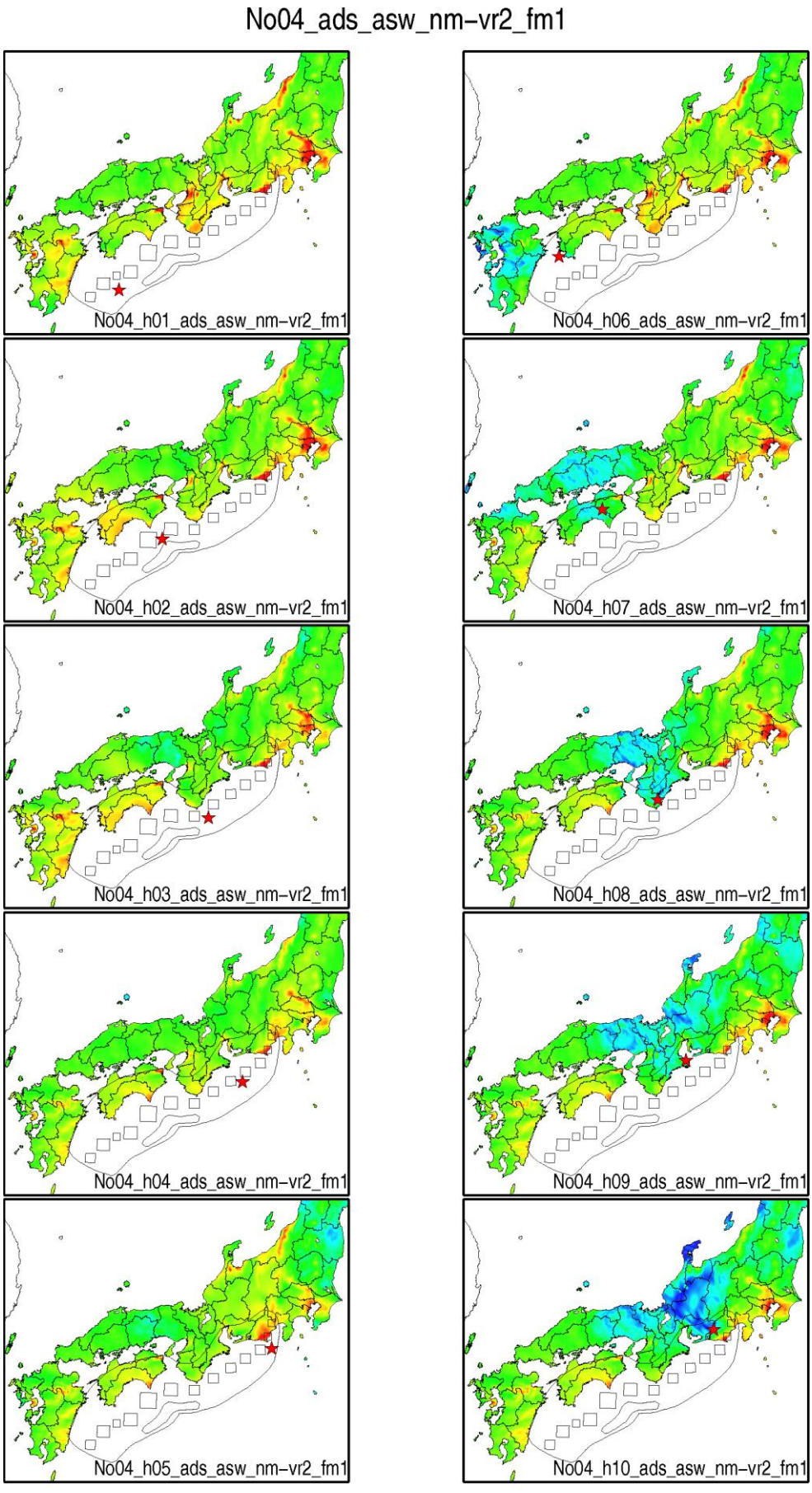

No04_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h01_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h06_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h02_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h07_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h03_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h08_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h04_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h09_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h05_add_asw_nm-vr2_fm1
No04_h10_add_asw_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s


No04_adm_ase_nm-vr2_fm1
No04_h01_adm_ase_nm-vr2_fm1
No04_h02_adm_ase_nm-vr2_fm1
No04_h03_adm_ase_nm-vr2_fm1
No04_h04_adm_ase_nm-vr2_fm1
No04_h05_adm_ase_nm-vr2_fm1
No04_h06_adm_ase_nm-vr2_fm1
No04_h07_adm_ase_nm-vr2_fm1
No04_h08_adm_ase_nm-vr2_fm1
No04_h09_adm_ase_nm-vr2_fm1
No04_h10_adm_ase_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

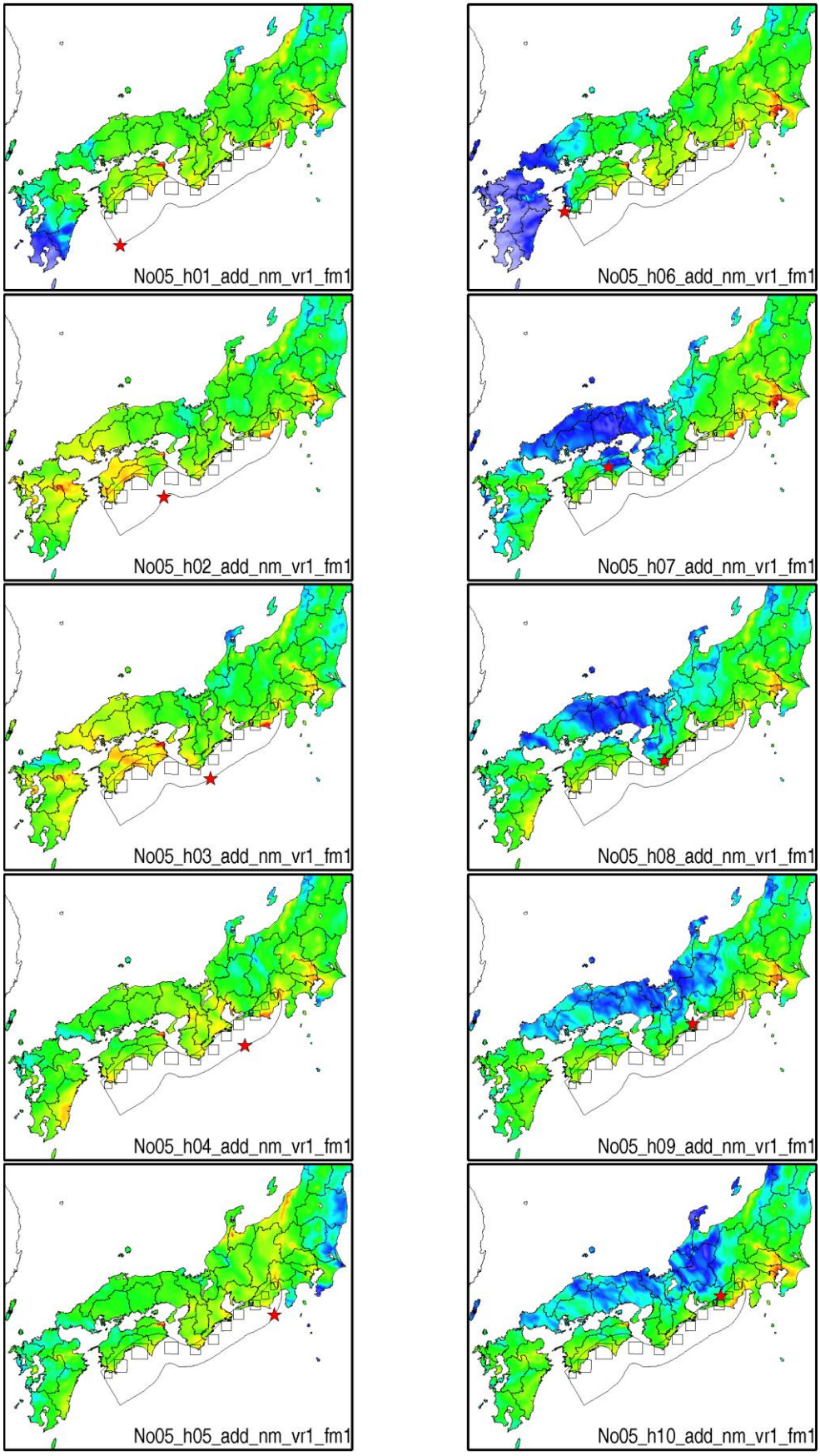
No04_adm_asw_nm-vr2_fm1



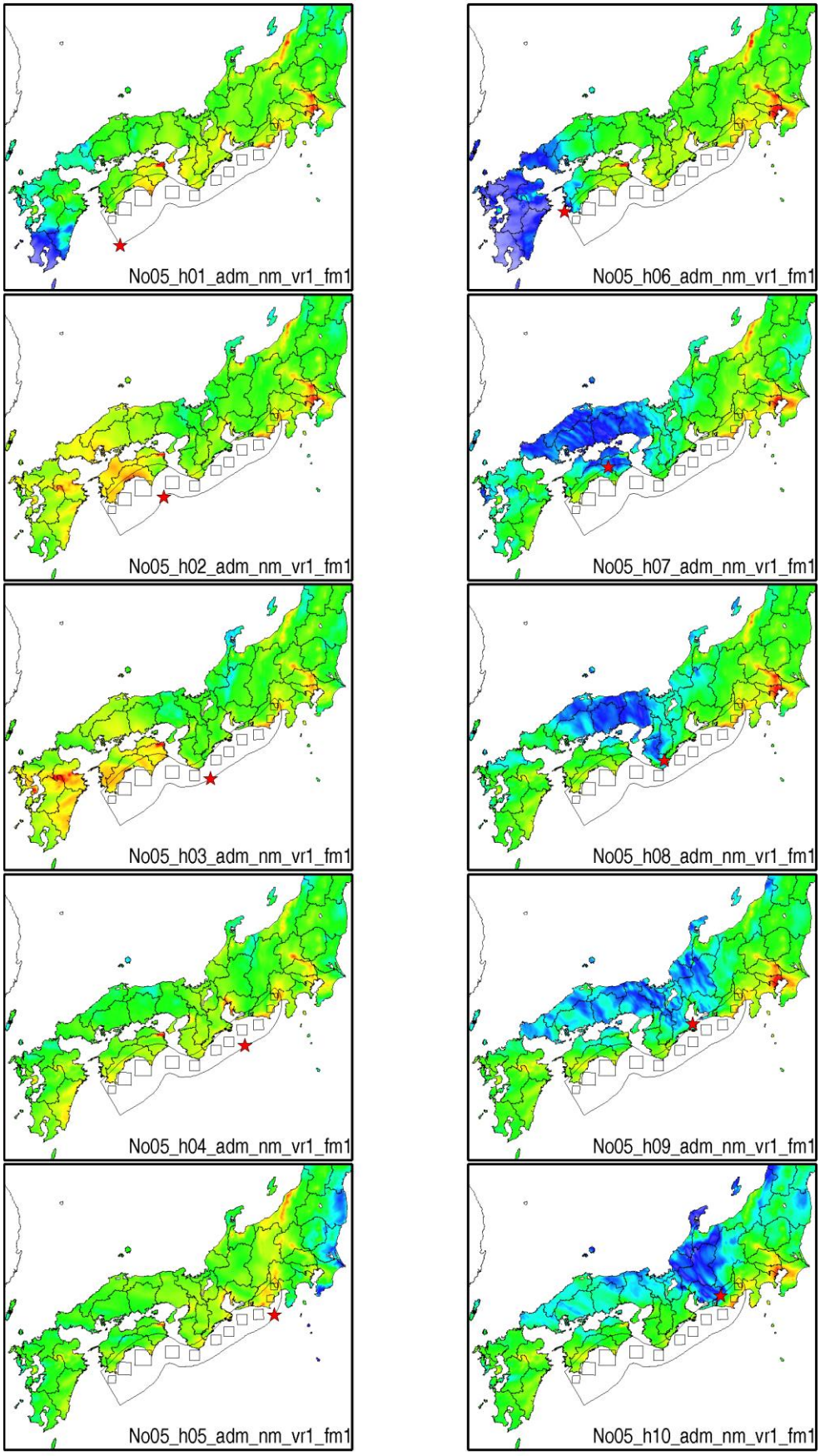

No04_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h01_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h06_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h02_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h07_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h03_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h08_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h04_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h09_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h05_ads_ase_nm-vr2_fm1
No04_h10_ads_ase_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s


No04_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h01_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h06_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h02_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h07_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h03_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h08_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h04_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h09_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h05_ads_asw_nm-vr2_fm1
No04_h10_ads_asw_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

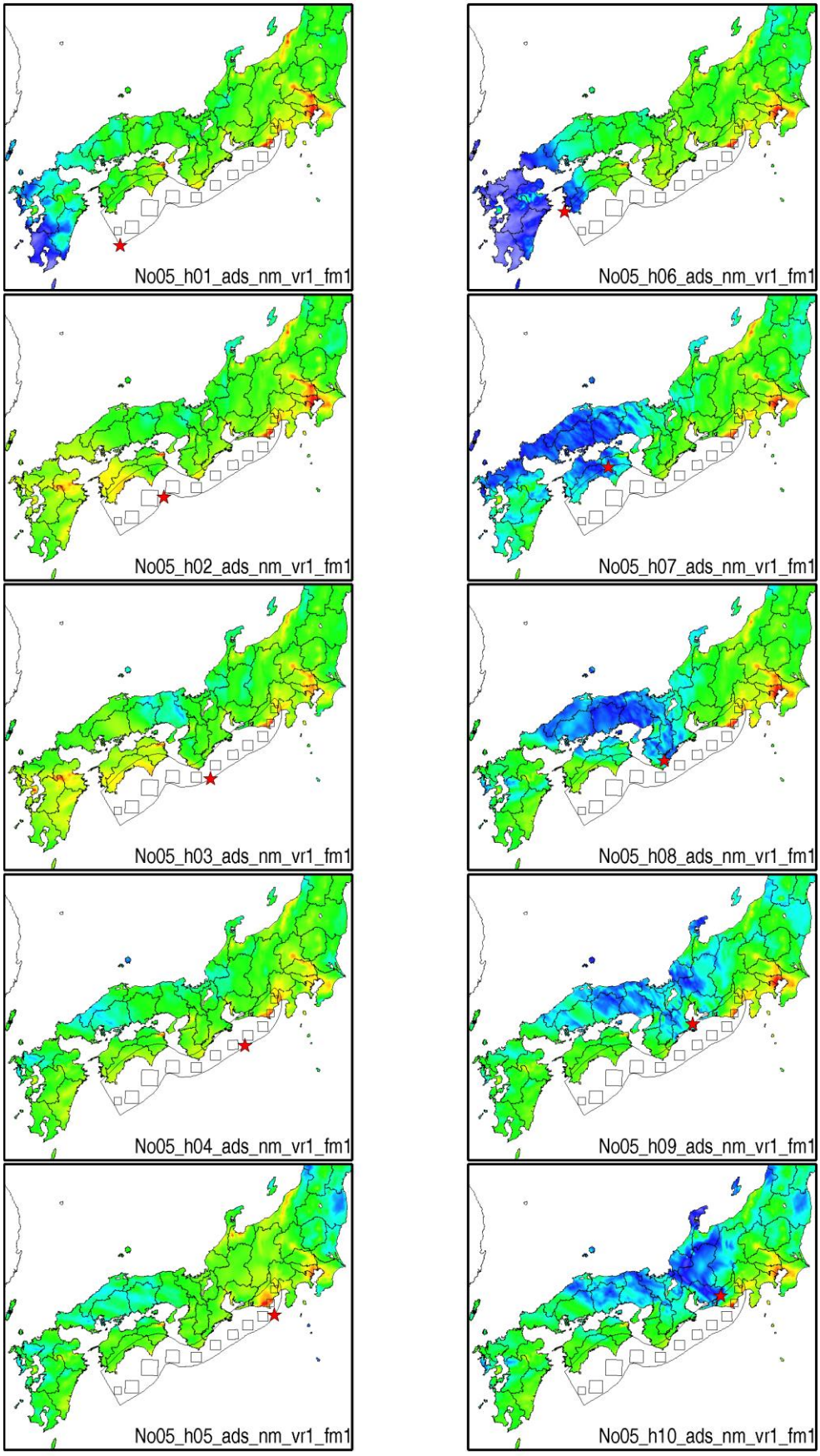
No05_r2_add_nm_vr1_fm1



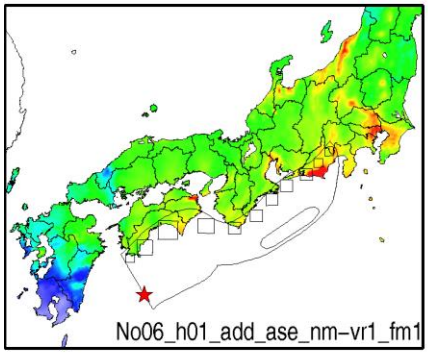
No05_r2_adm_nm_vr1_fm1

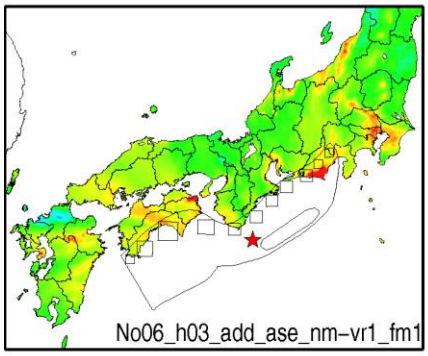


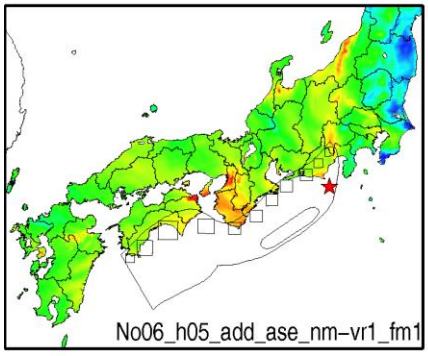
No05_r2_ads_nm_vr1_fm1

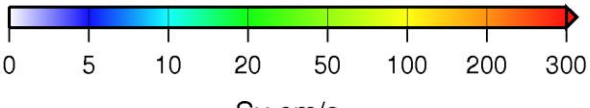


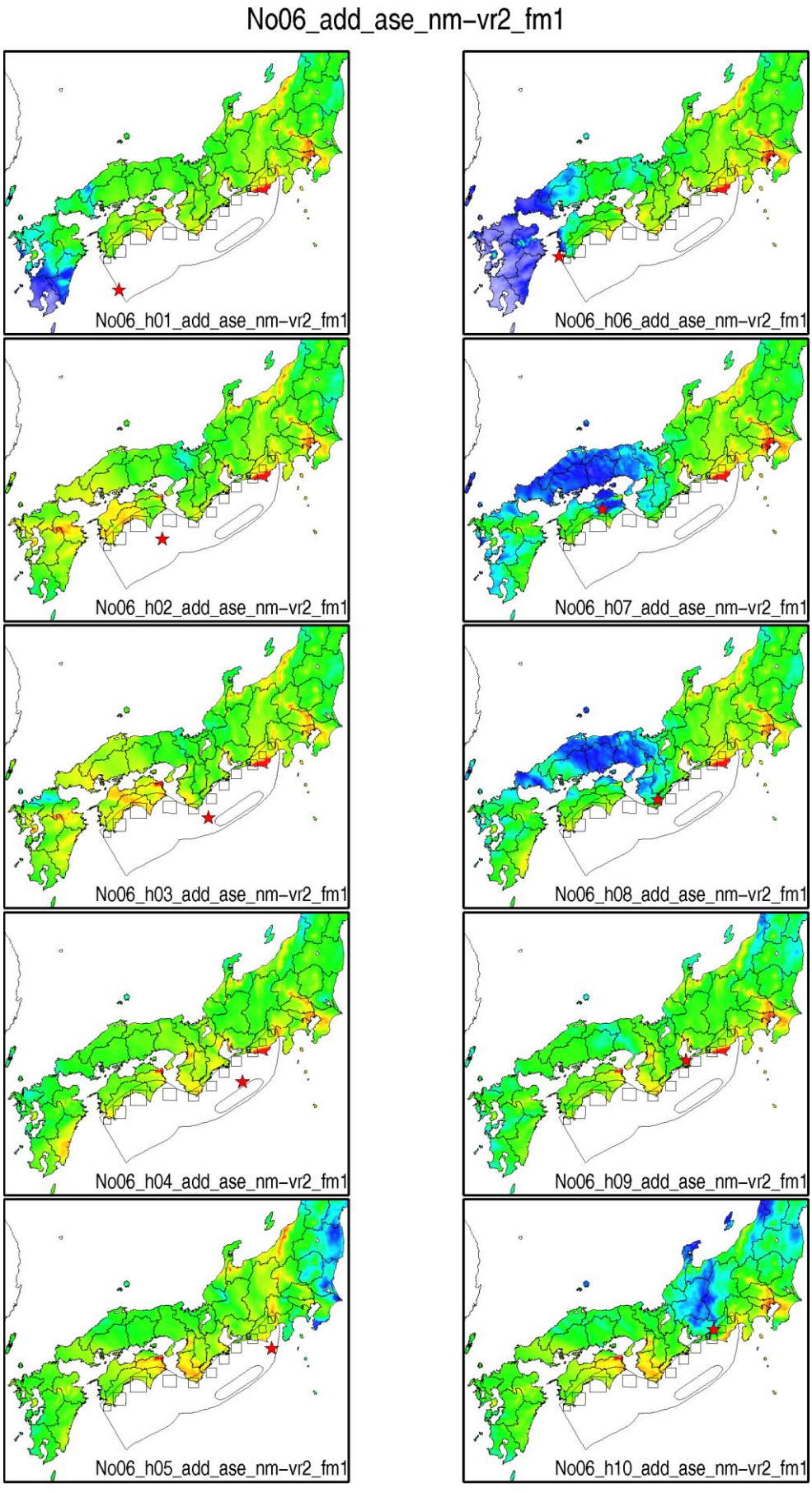
No06_add_ase_nm-vr1_fm1



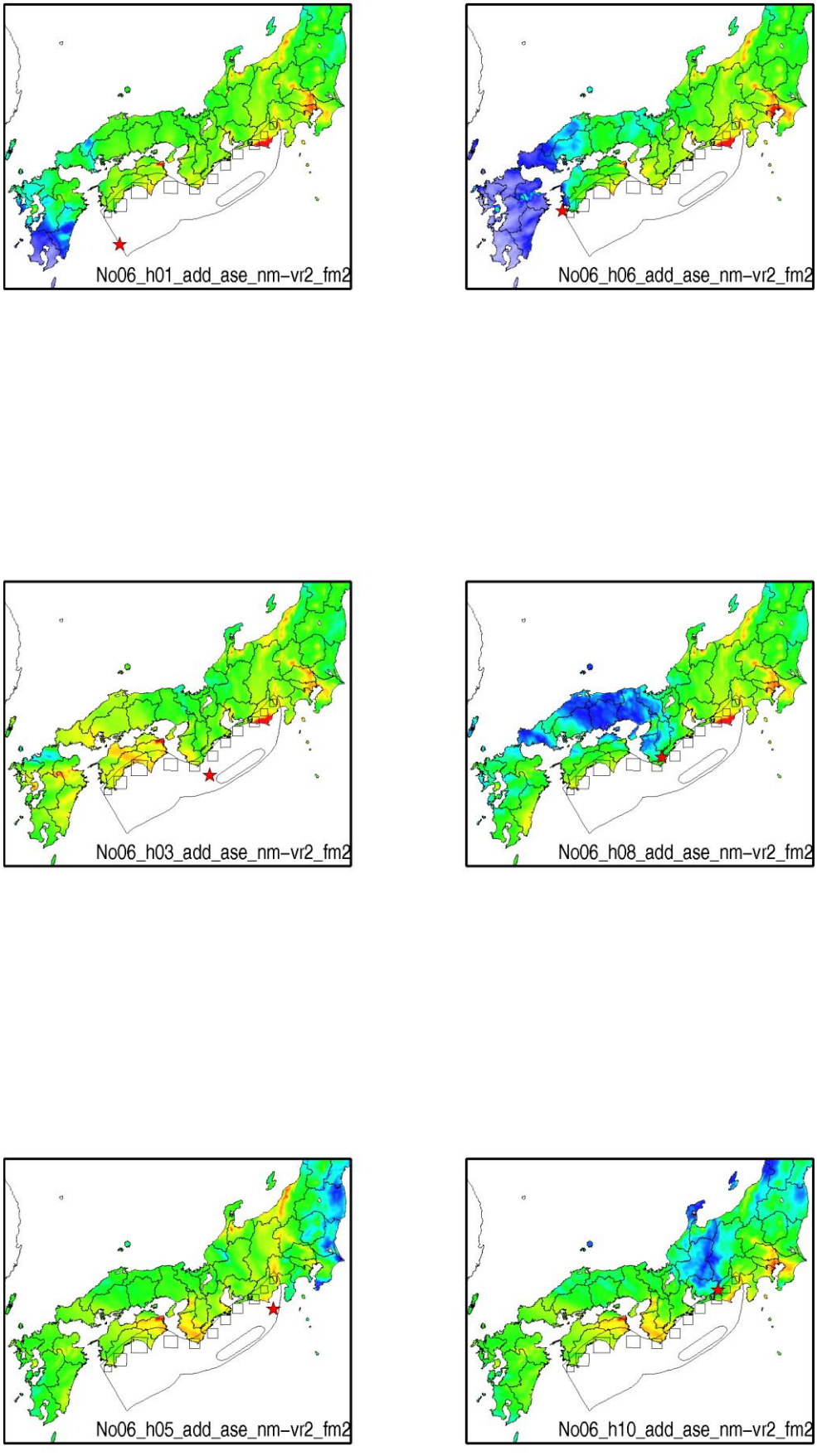




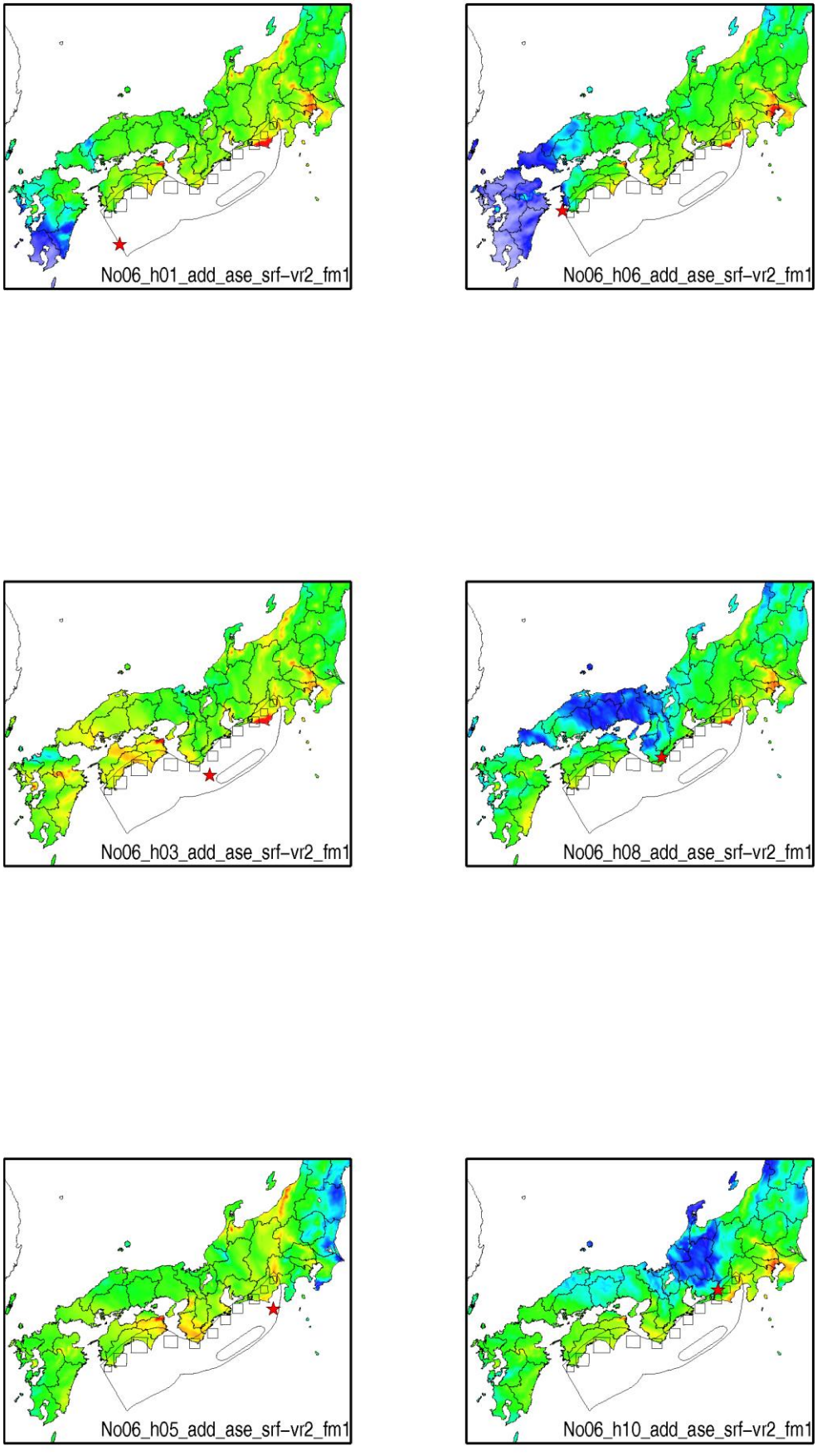



No06_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h01_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h06_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h02_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h07_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h03_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h08_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h04_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h09_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h05_add_ase_nm-vr2_fm1
No06_h10_add_ase_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

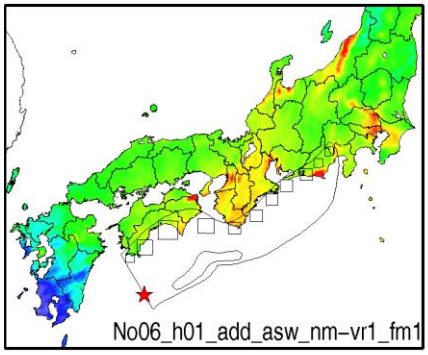
No06_add_ase_nm-vr2_fm2

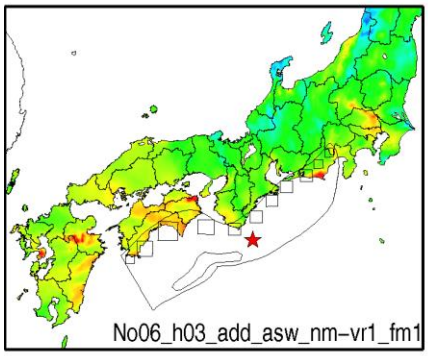


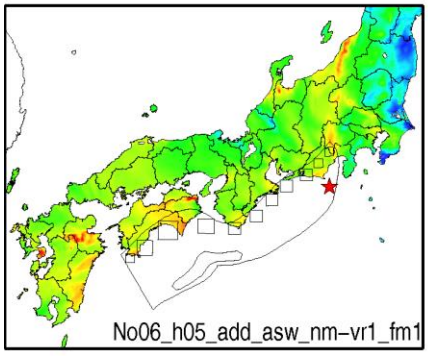
No06_add_ase_srf-vr2_fm1

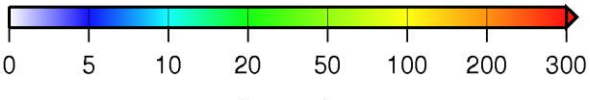


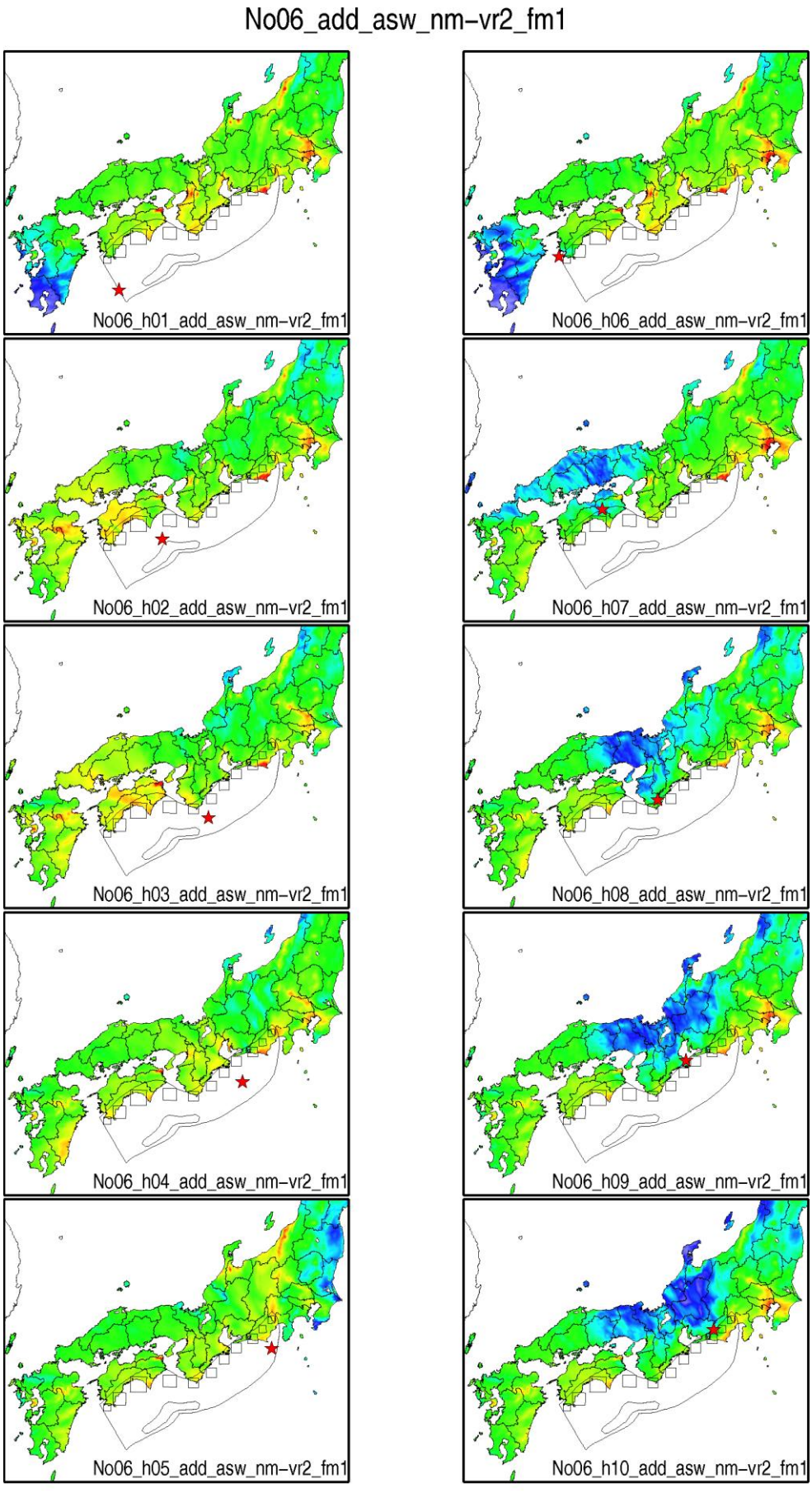
No06_add_asw_nm-vr1_fm1



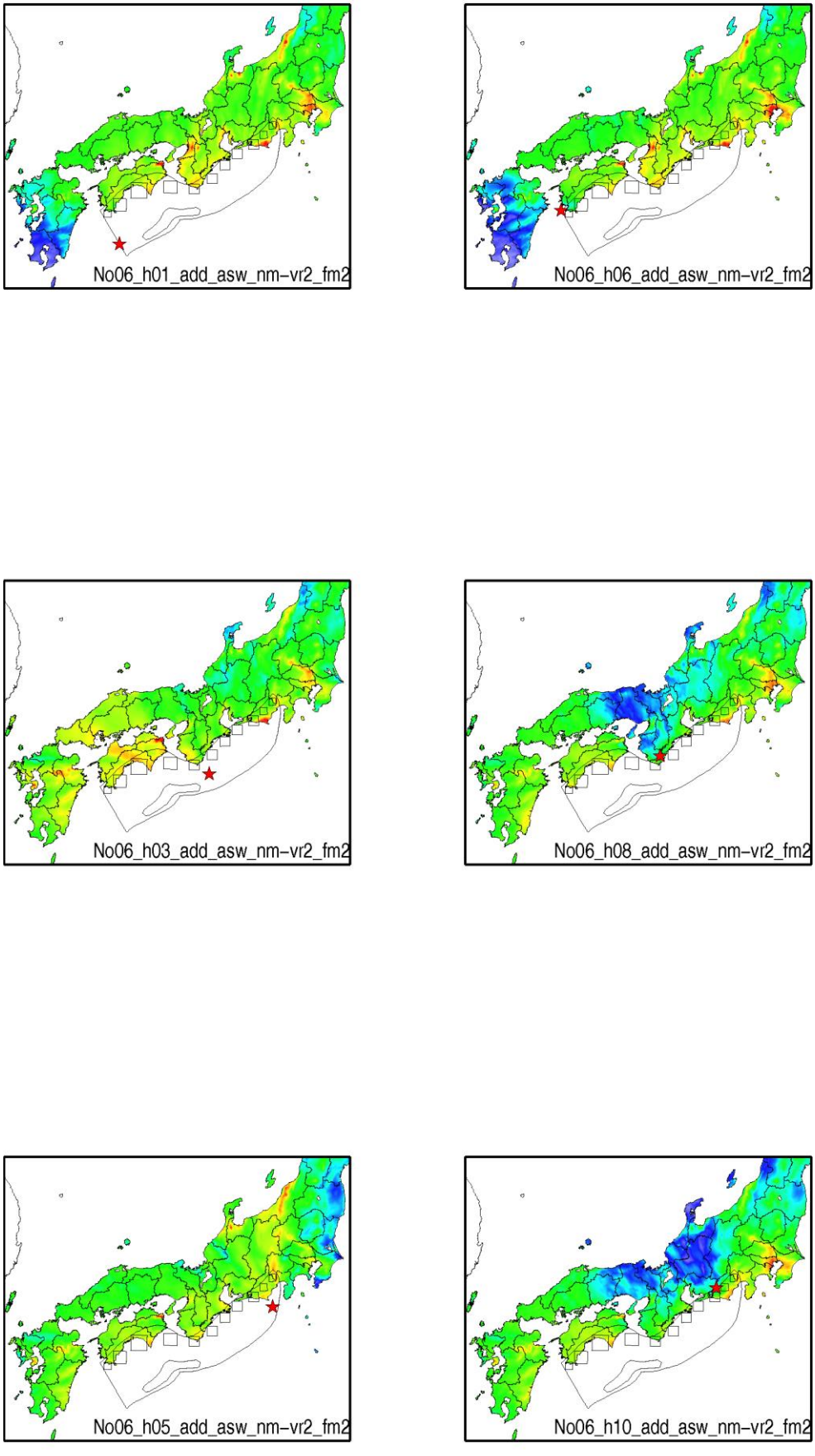




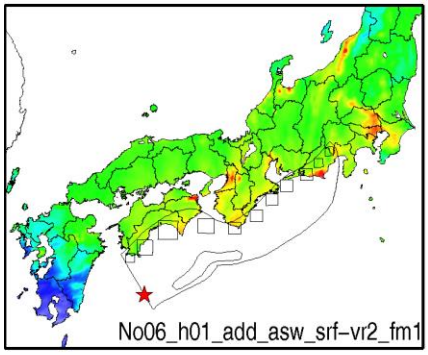


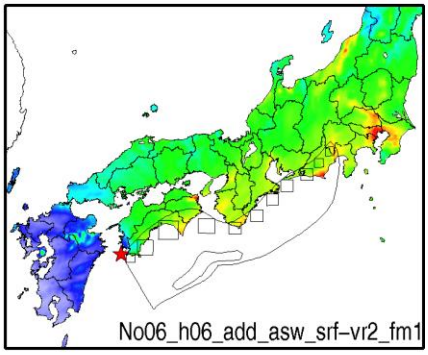

No06_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h01_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h06_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h02_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h07_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h03_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h08_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h04_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h09_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h05_add_asw_nm-vr2_fm1
No06_h10_add_asw_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

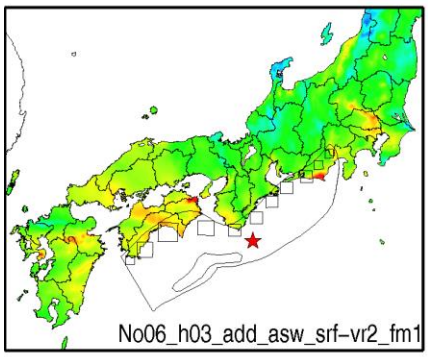
No06_add_asw_nm-vr2_fm2

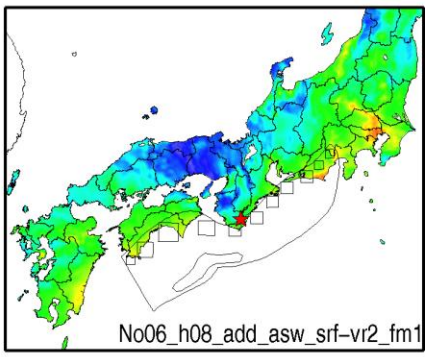


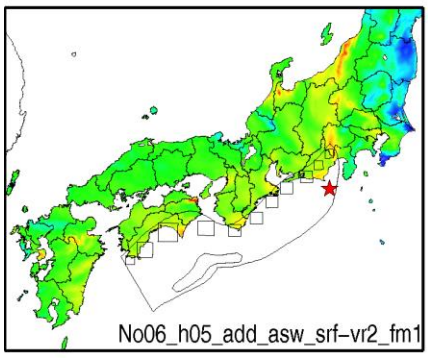
No06_add_asw_srf-vr2_fm1

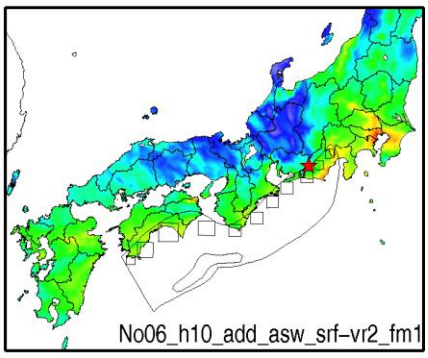


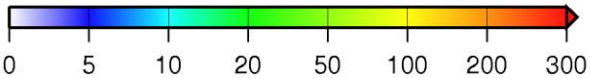






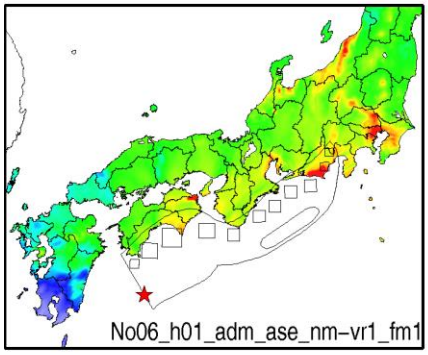


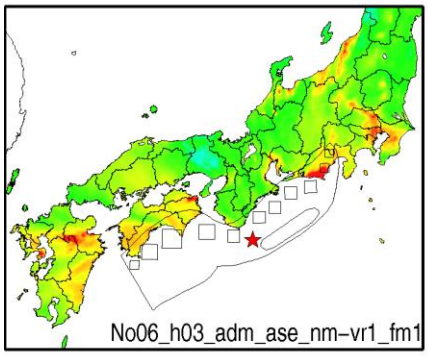


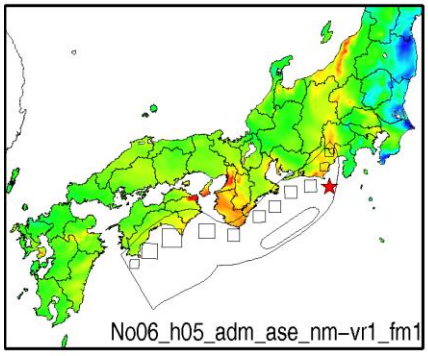


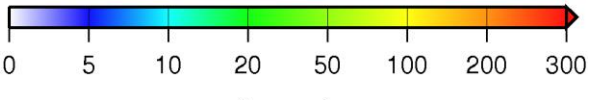
Sv,cm/s

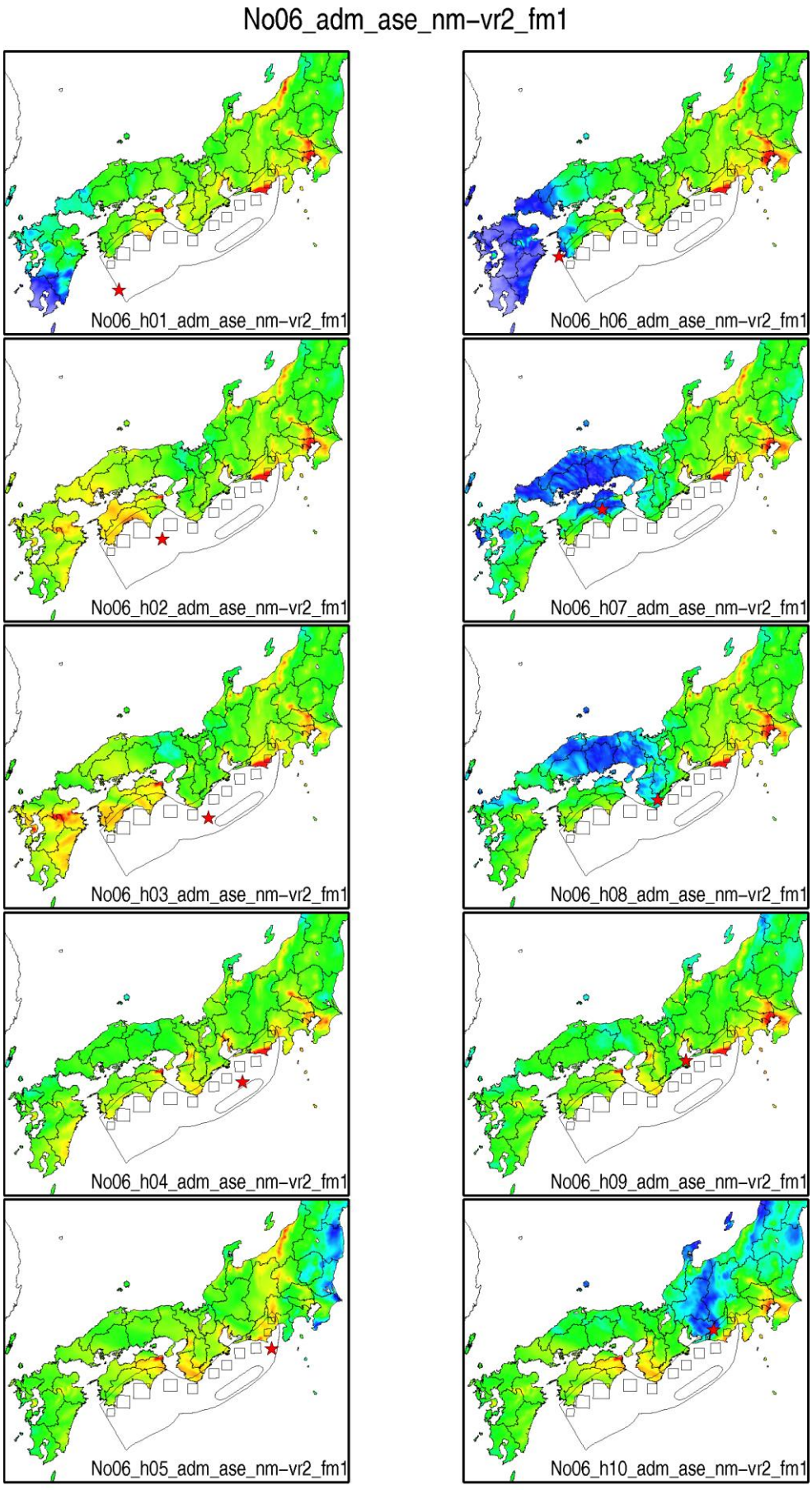
No06_adm_ase_nm-vr1_fm1



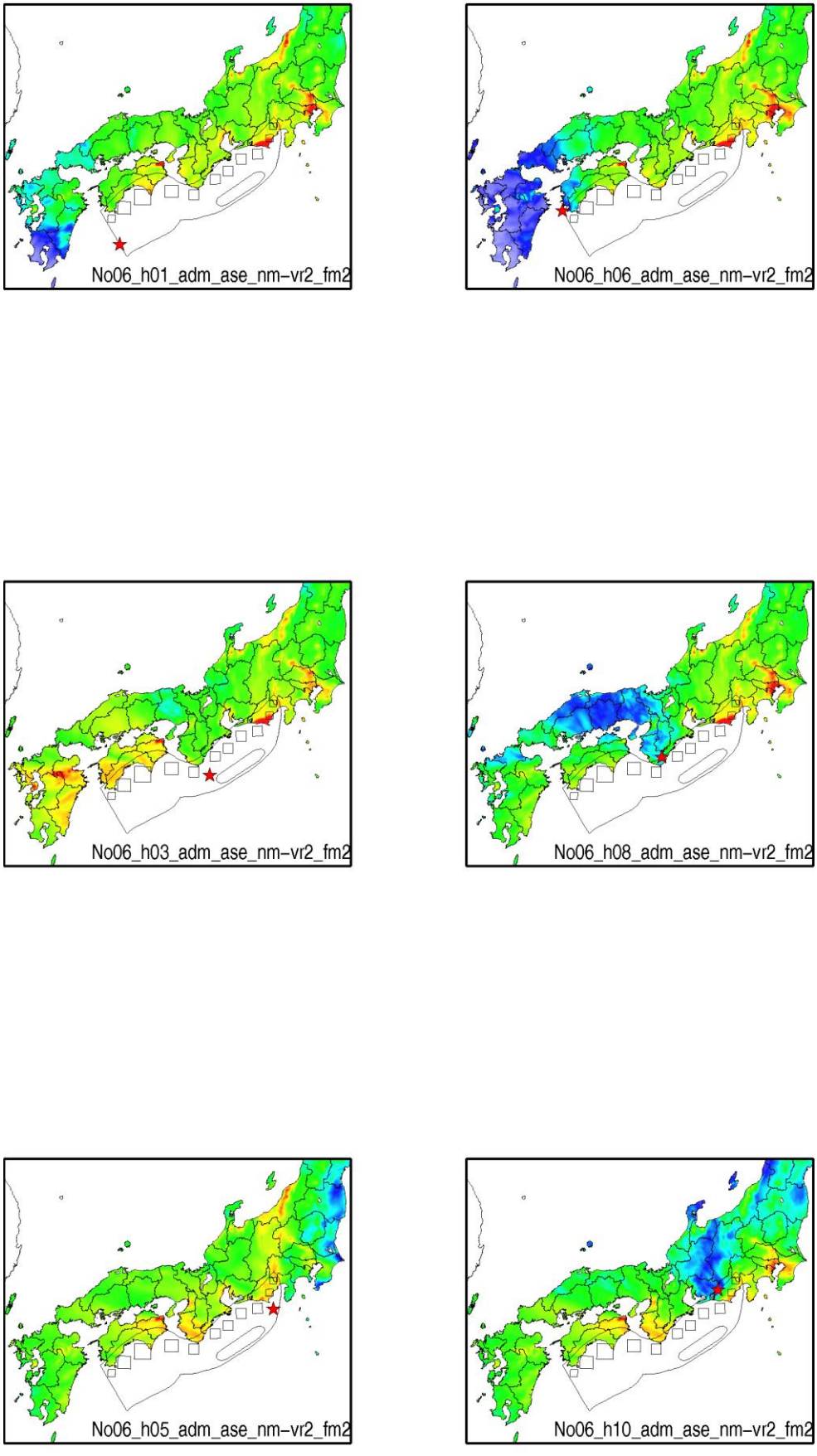




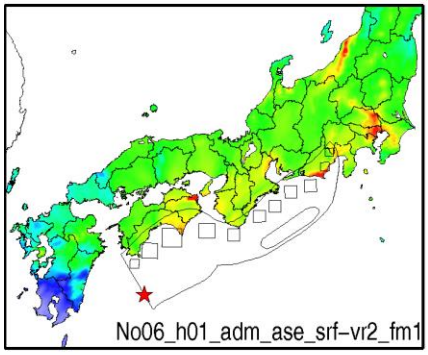


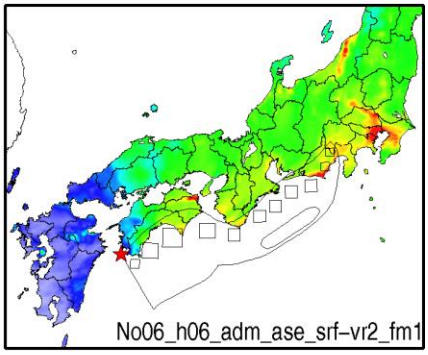

No06_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h01_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h06_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h02_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h07_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h03_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h08_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h04_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h09_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h05_adm_ase_nm-vr2_fm1
No06_h10_adm_ase_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

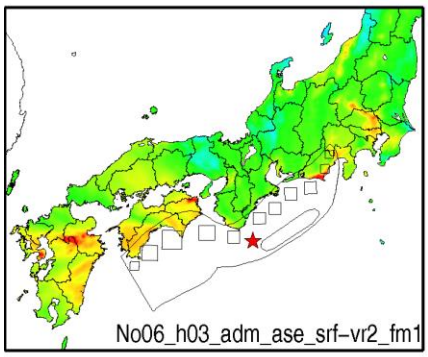
No06_adm_ase_nm-vr2_fm2

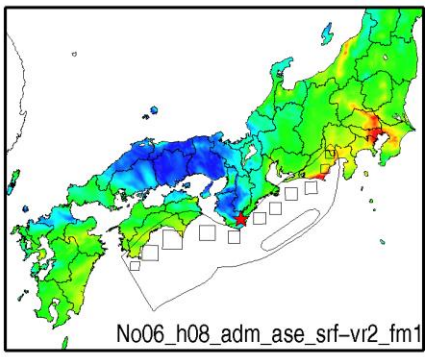


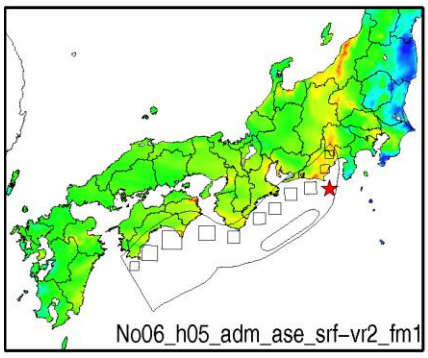
No06_adm_ase_srf-vr2_fm1

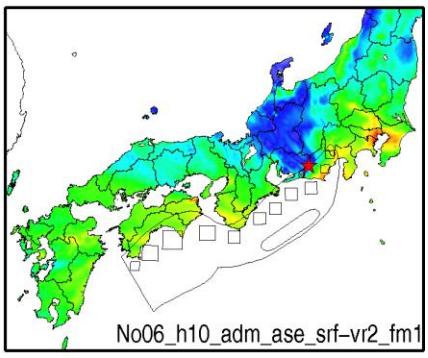


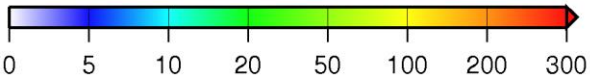






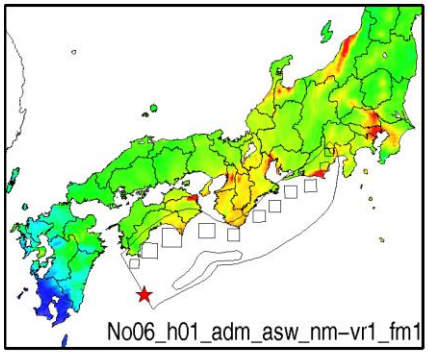


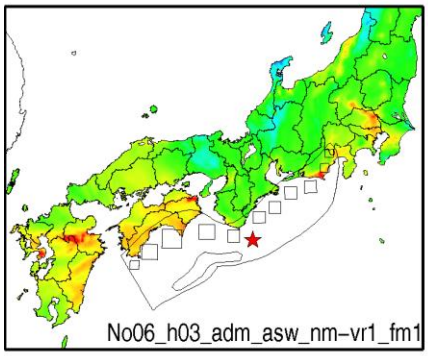


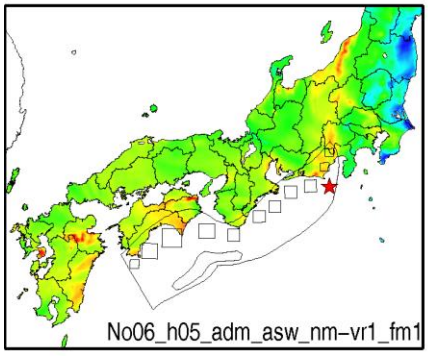


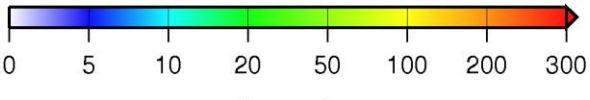
Sv,cm/s

No06_adm_asw_nm-vr1_fm1

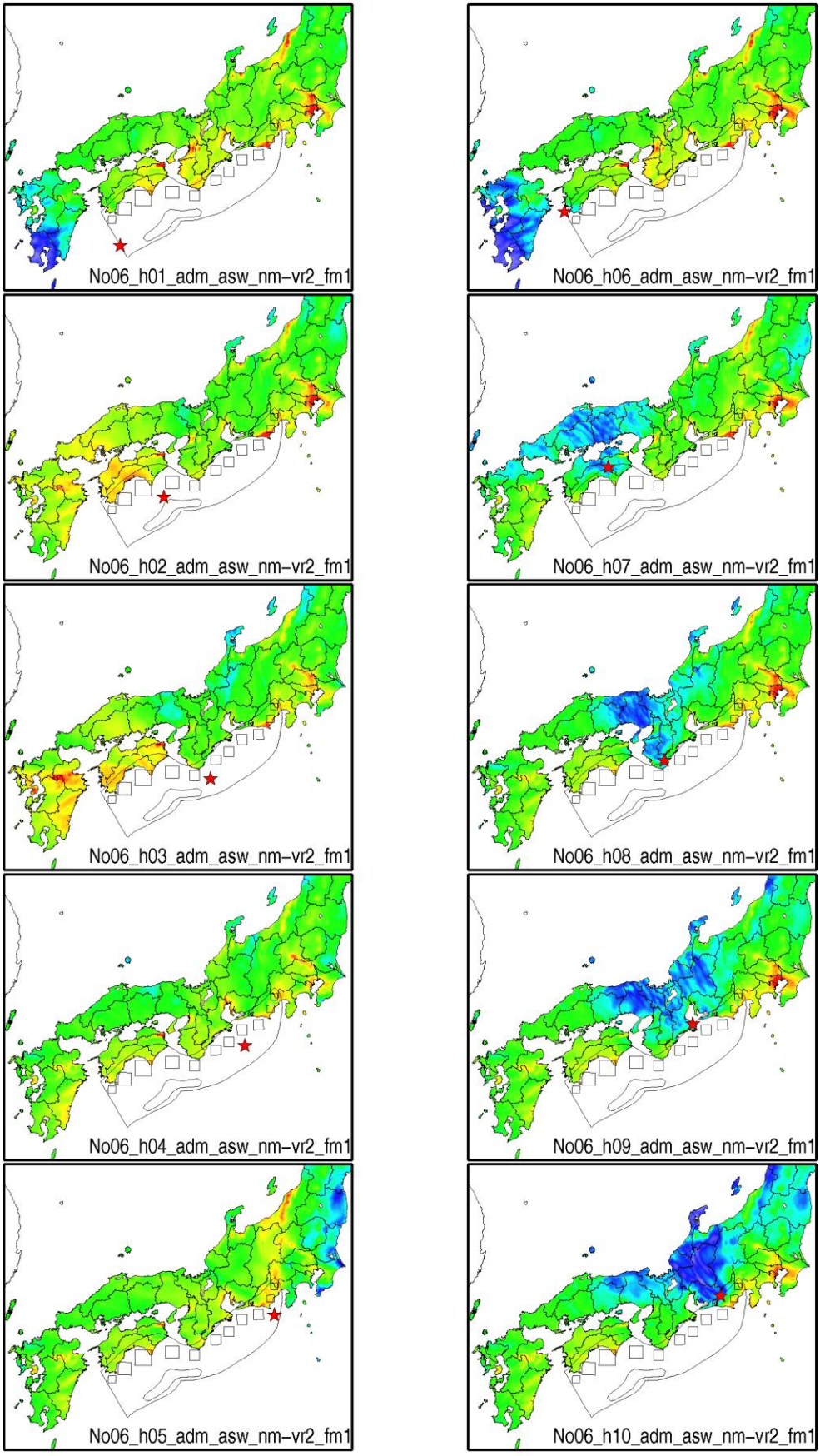




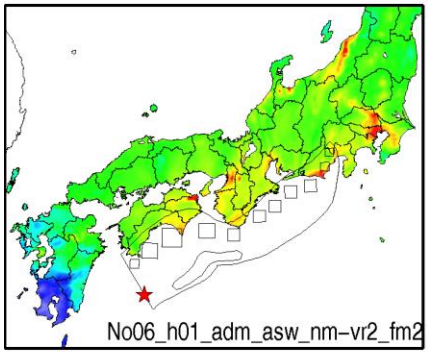


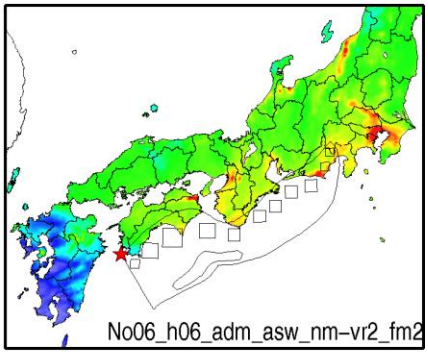


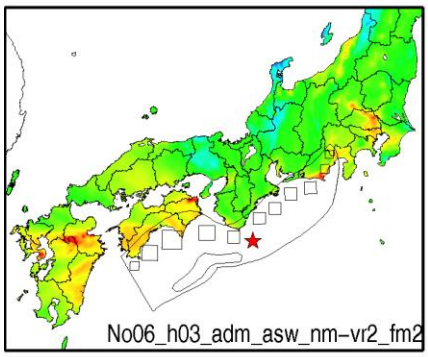
No06_adm_asw_nm-vr2_fm1

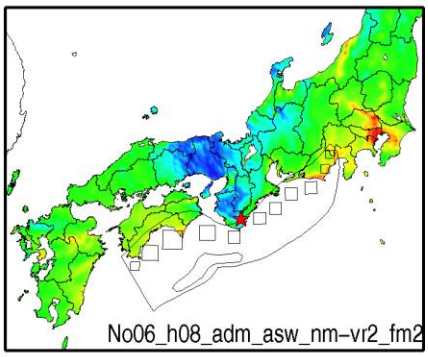


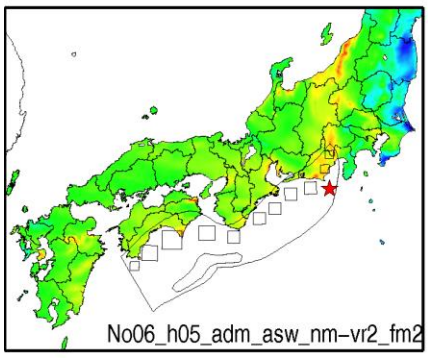
No06_adm_asw_nm-vr2_fm2

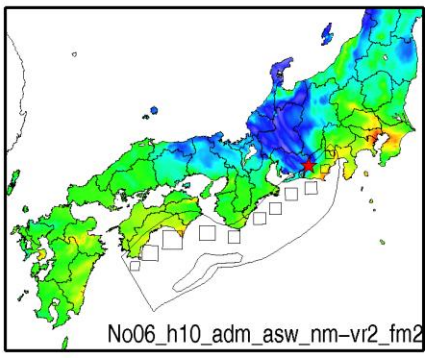


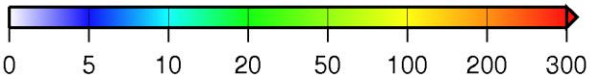






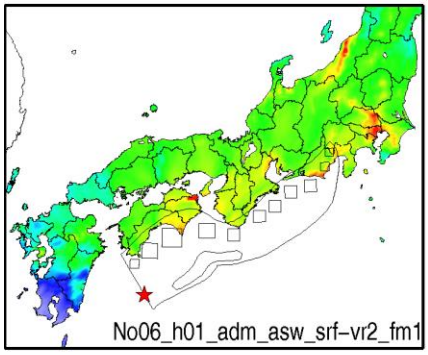


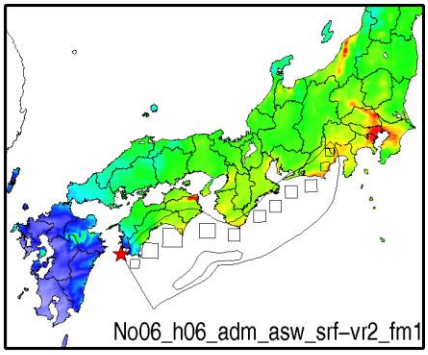


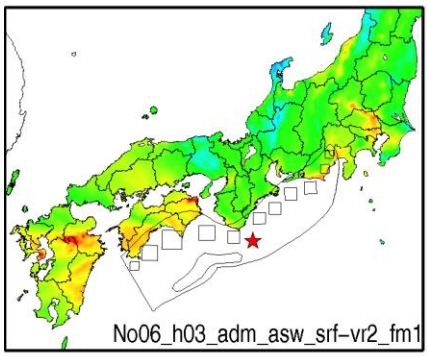


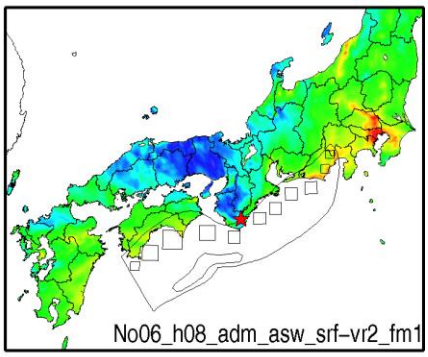
Sv,cm/s

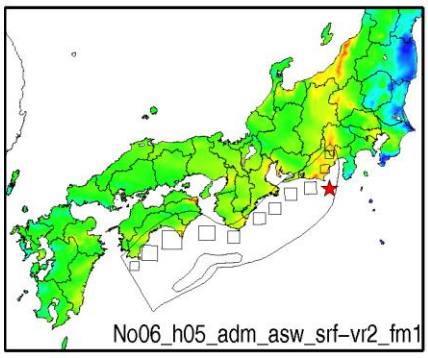
No06_adm_asw_srf-vr2_fm1

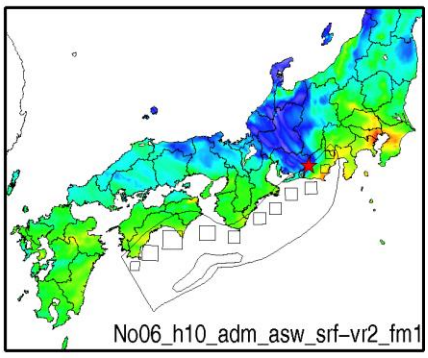


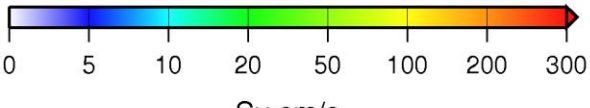




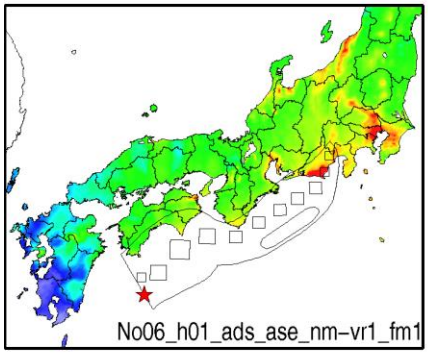


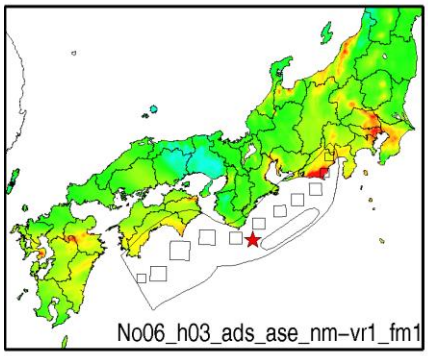


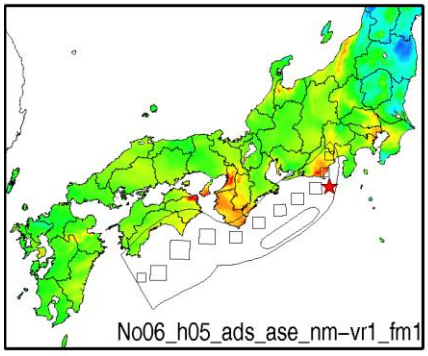


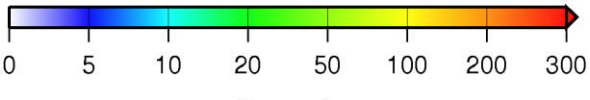


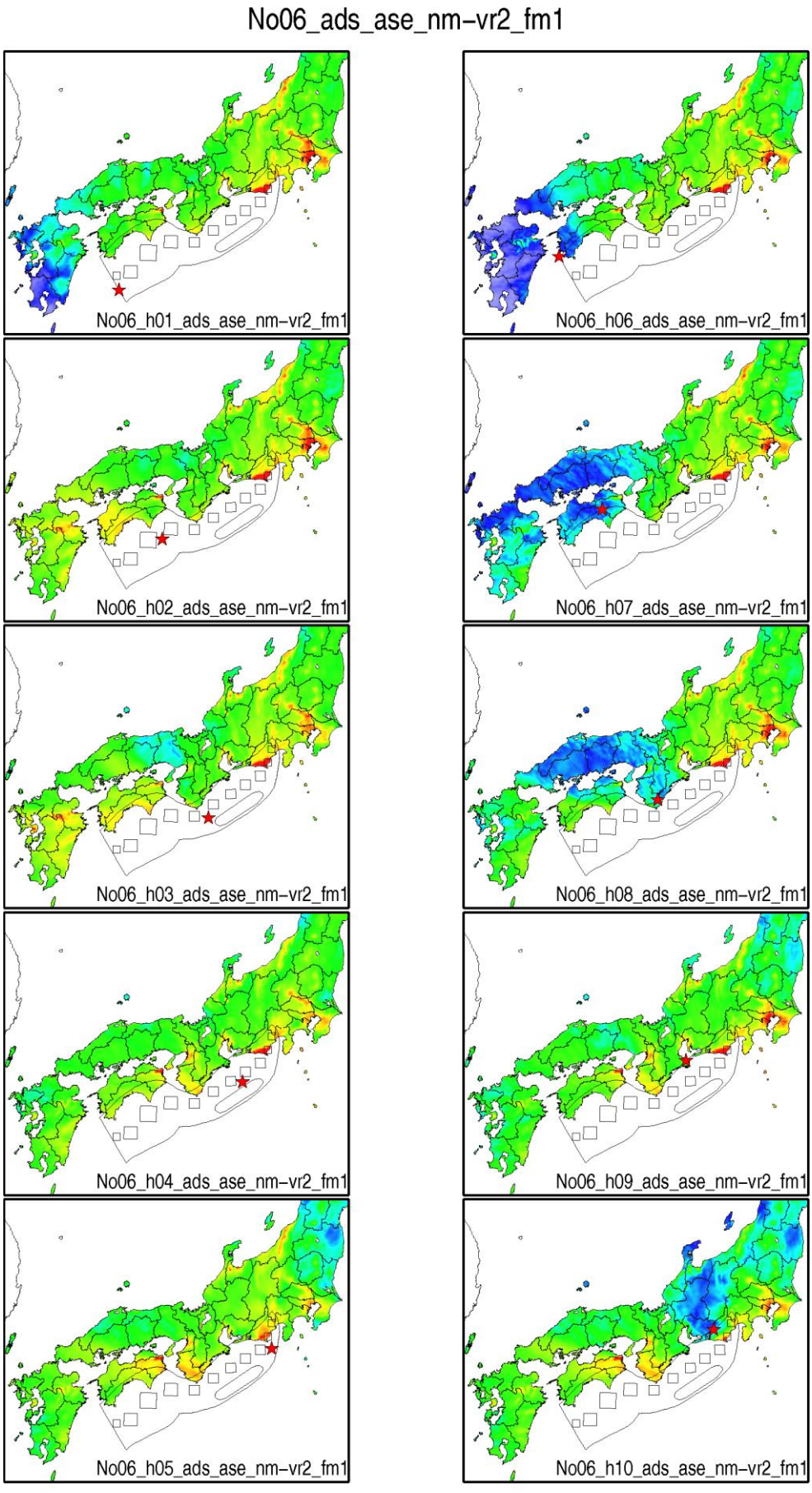
No06_ads_ase_nm-vr1_fm1



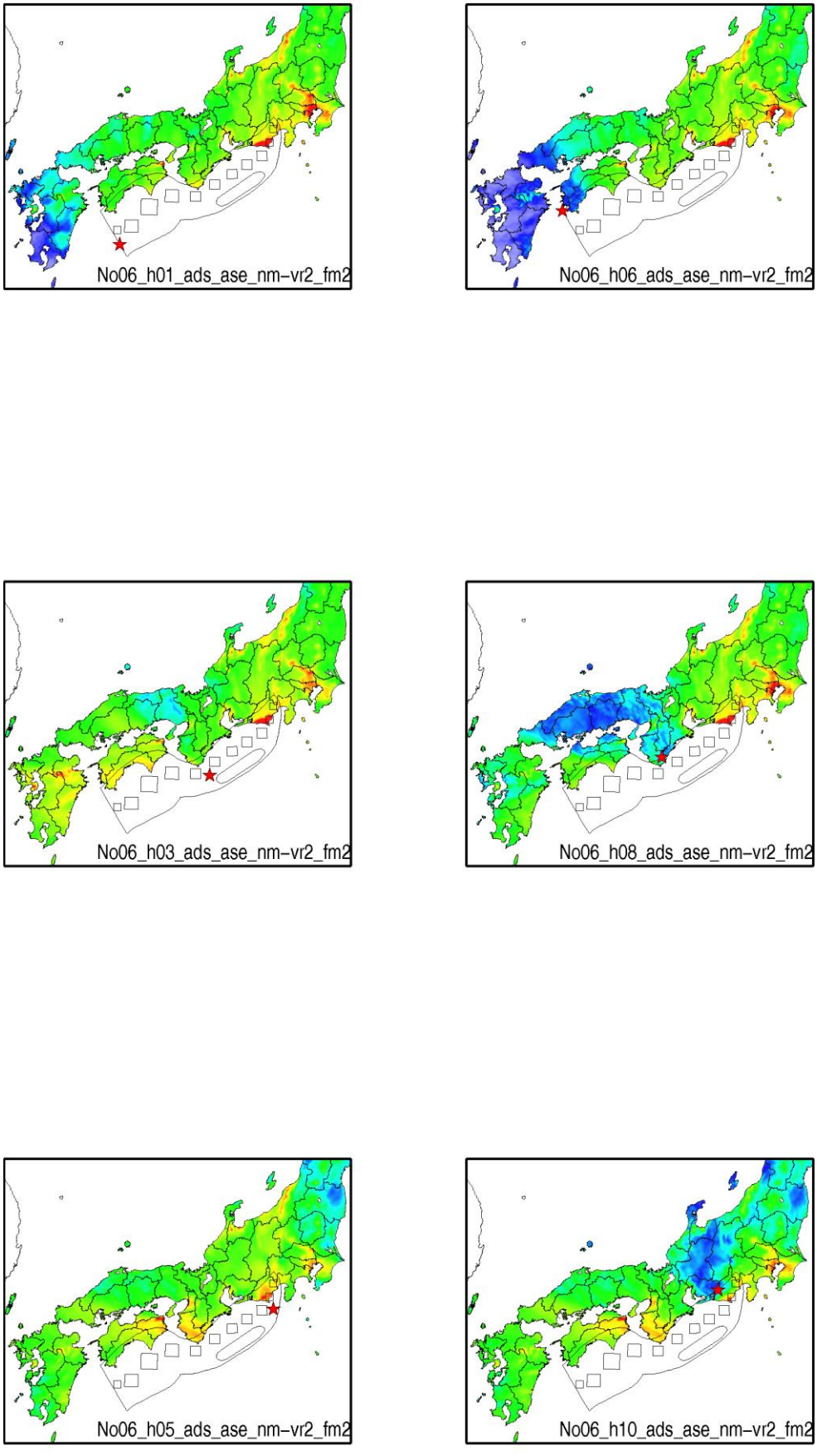




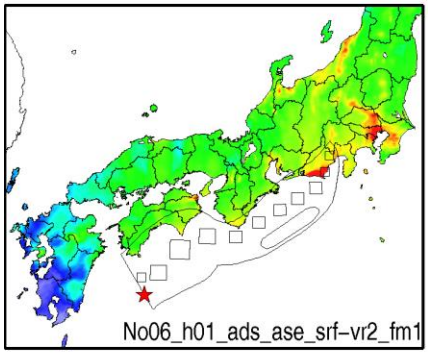


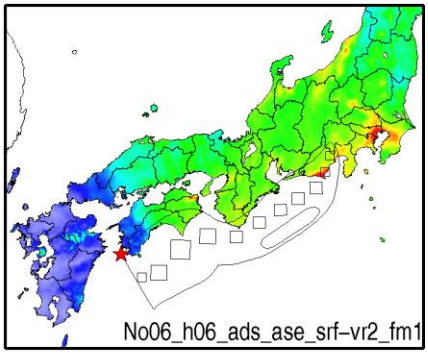

No06_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h01_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h06_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h02_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h07_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h03_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h08_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h04_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h09_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h05_ads_ase_nm-vr2_fm1
No06_h10_ads_ase_nm-vr2_fm1
0
5
10
20
50
100
200
300
Sv,cm/s

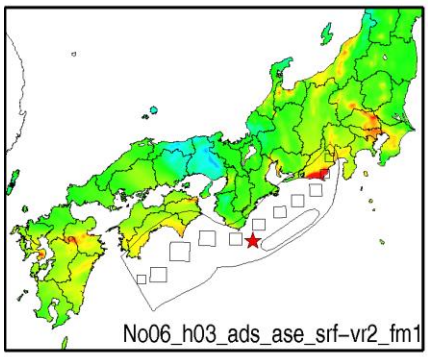
No06_ads_ase_nm-vr2_fm2

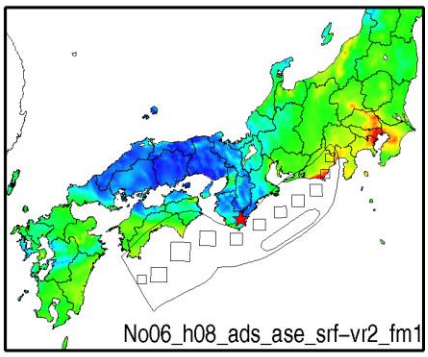


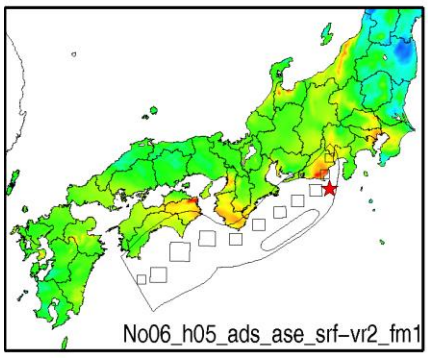
No06_ads_ase_srf-vr2_fm1

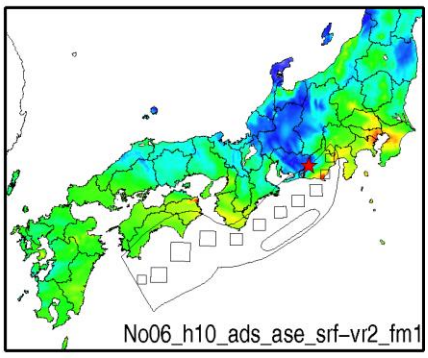


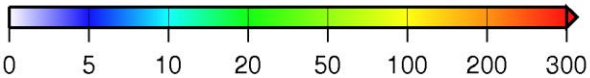






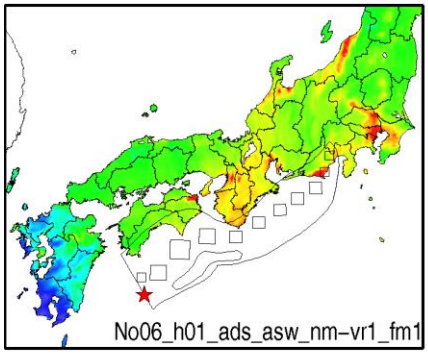


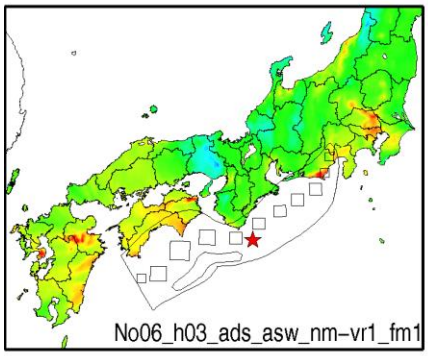


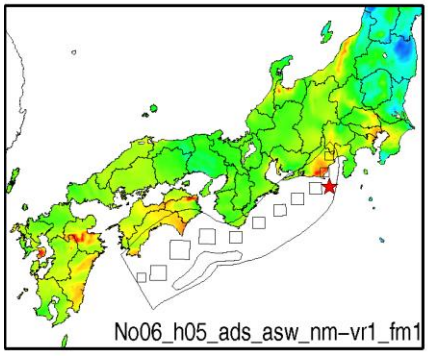


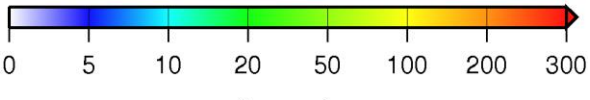
Sv,cm/s

No06_ads_asw_nm-vr1_fm1

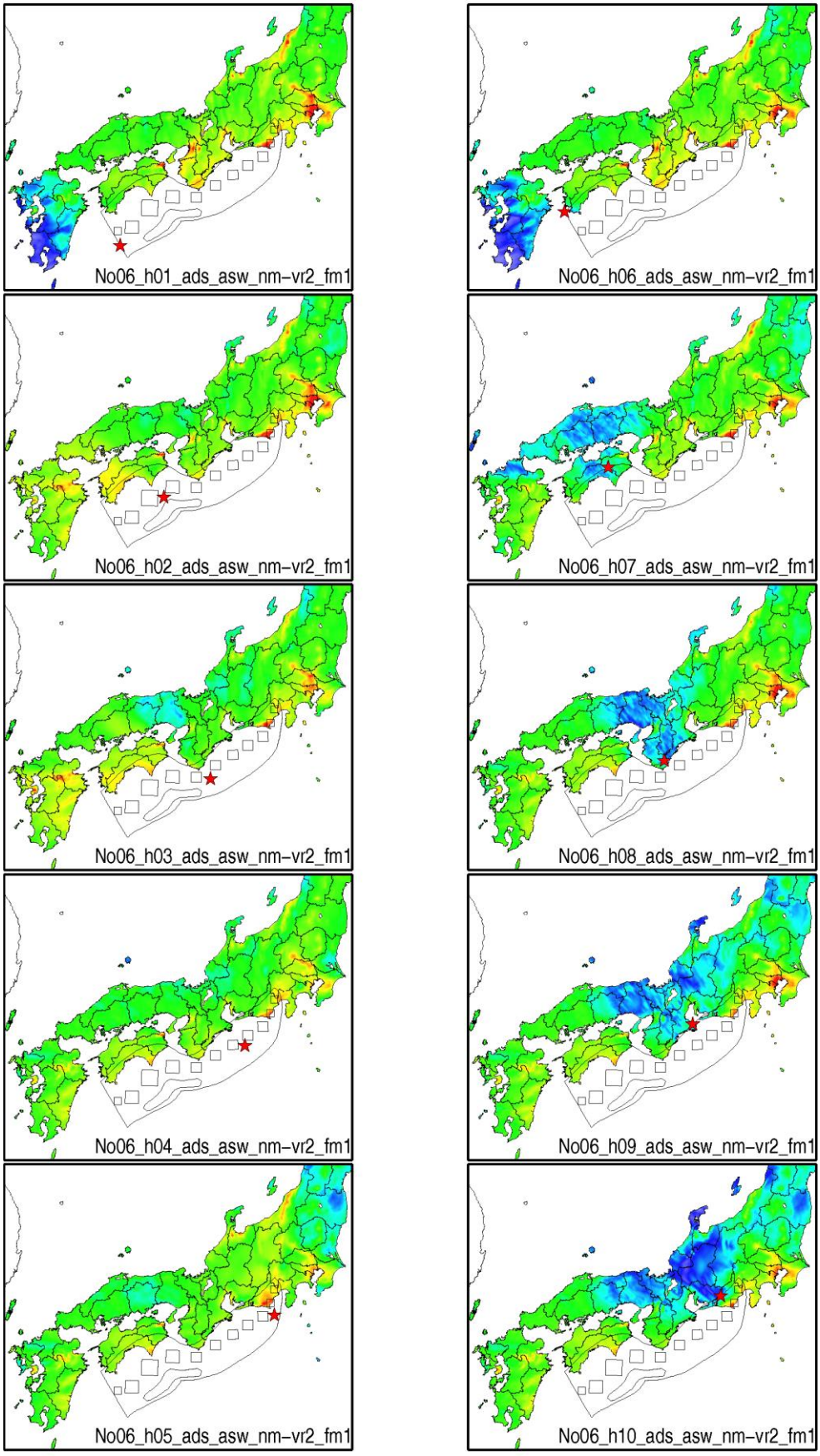




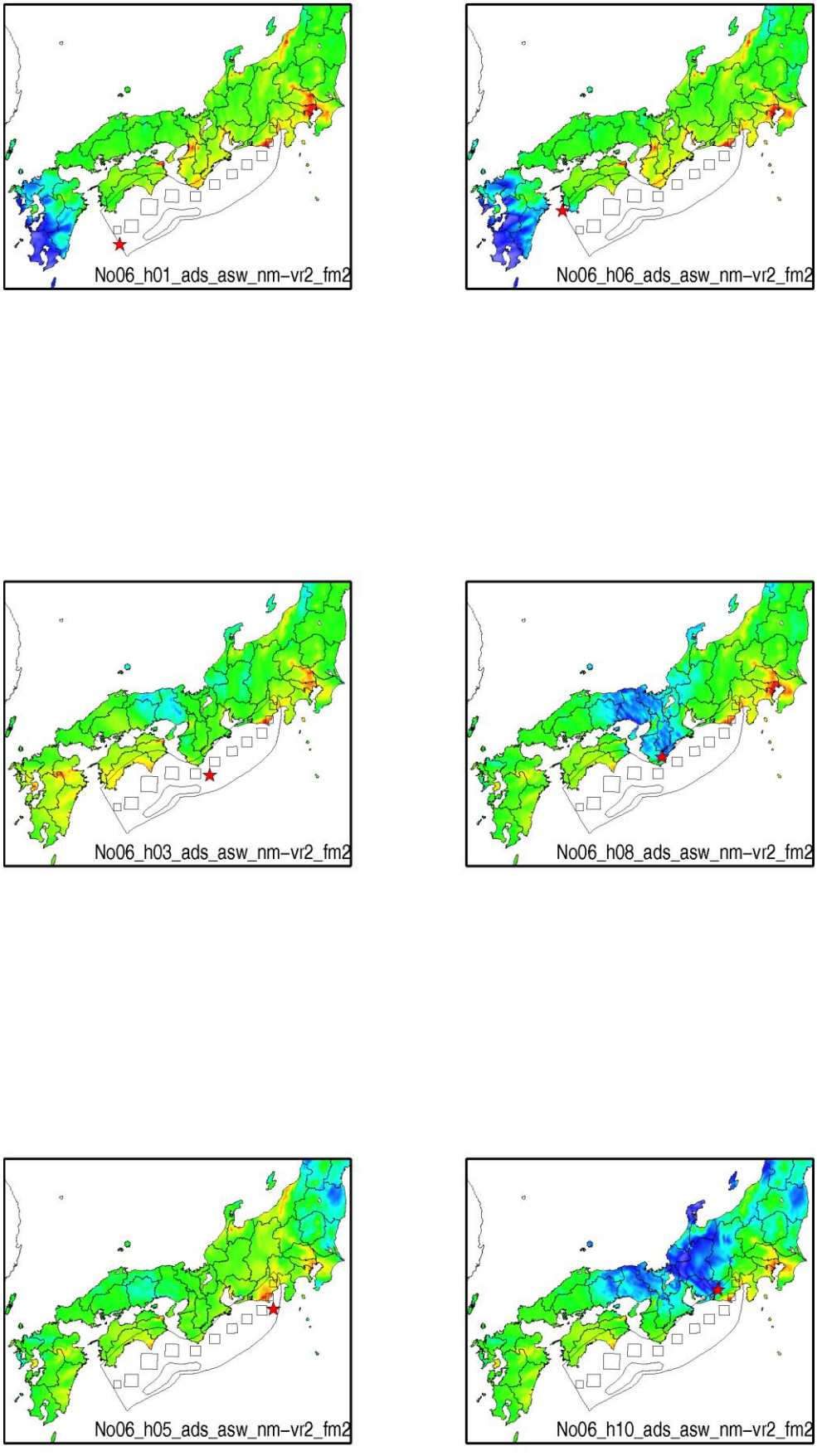




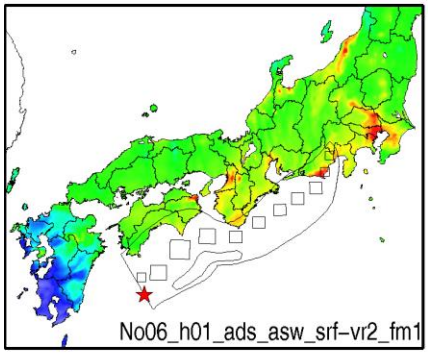
No06_ads_asw_nm-vr2_fm1

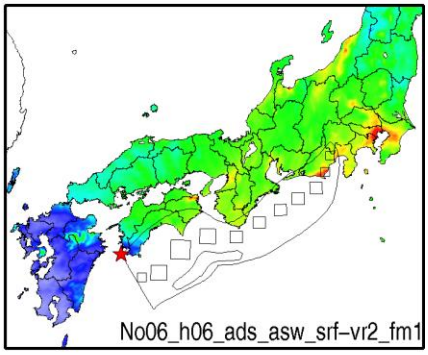


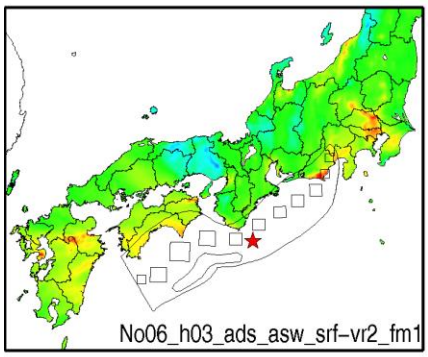
No06_ads_asw_nm-vr2_fm2

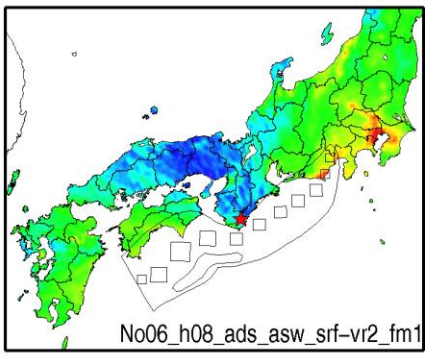


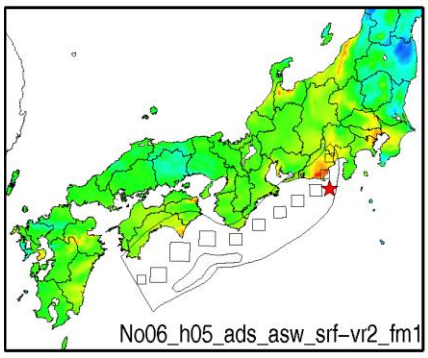
No06_ads_asw_srf-vr2_fm1

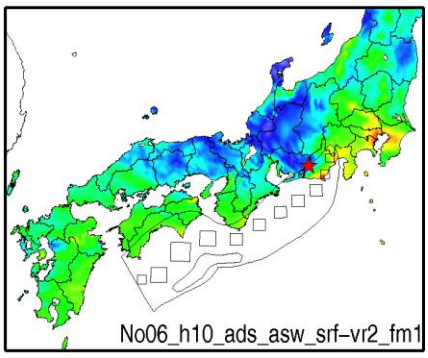


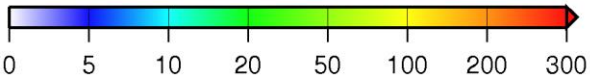






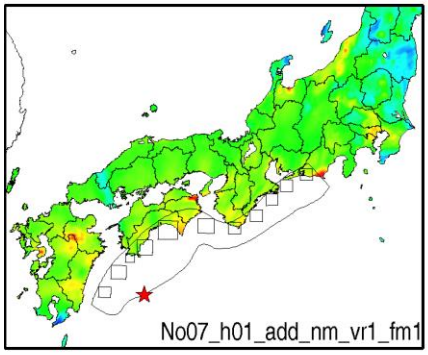


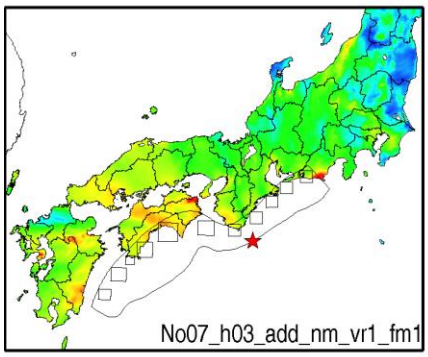


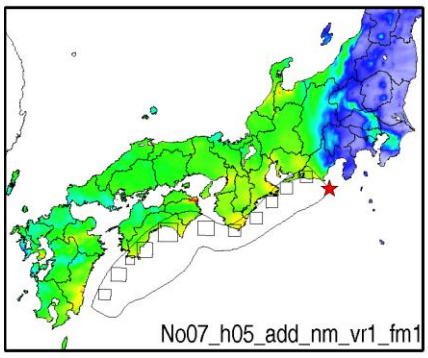


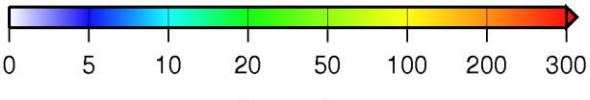
Sv,cm/s

No07_r2_add_nm_vr1_fm1

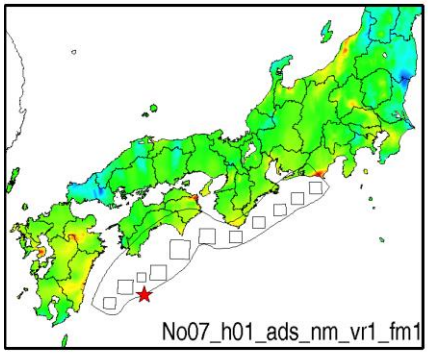


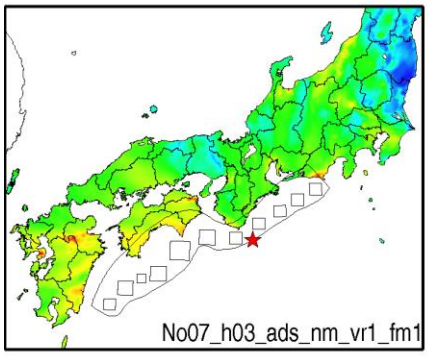


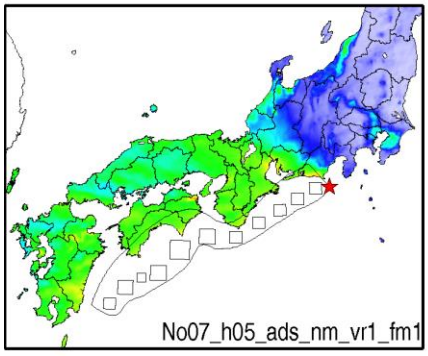


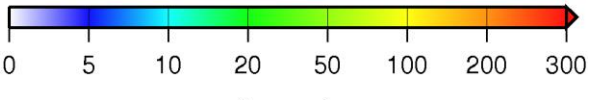


No07_r2_ads_nm_vr1_fm1

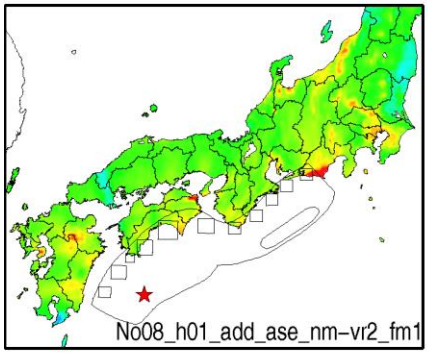


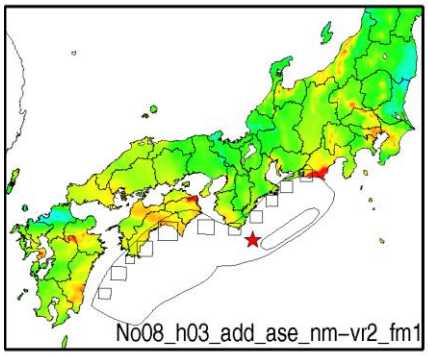


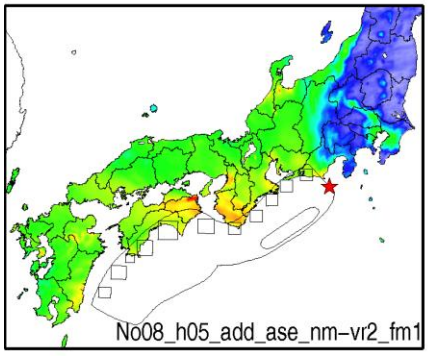


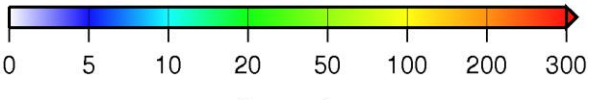


No08_add_ase_nm-vr2_fm1

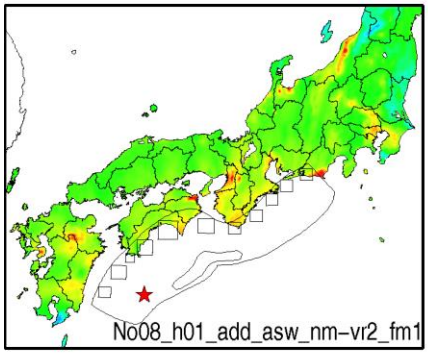


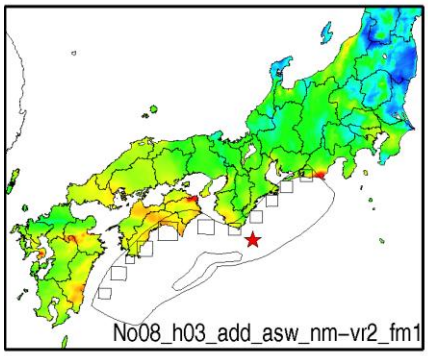


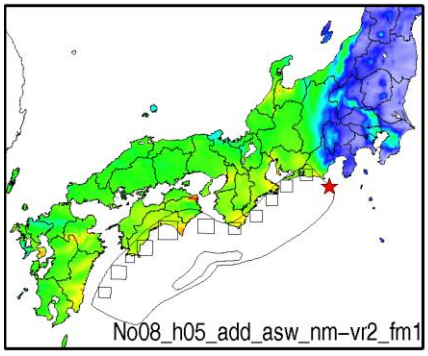


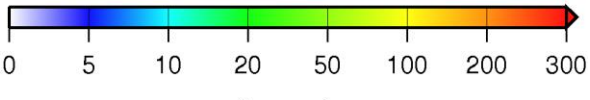


No08_add_asw_nm-vr2_fm1

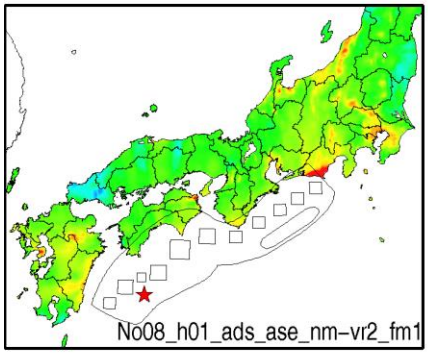


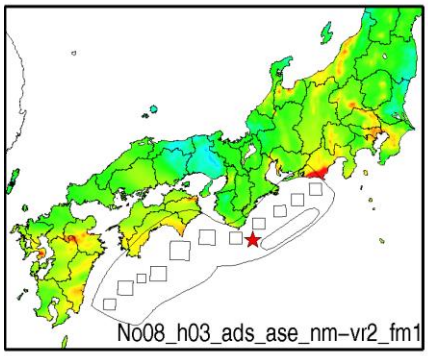


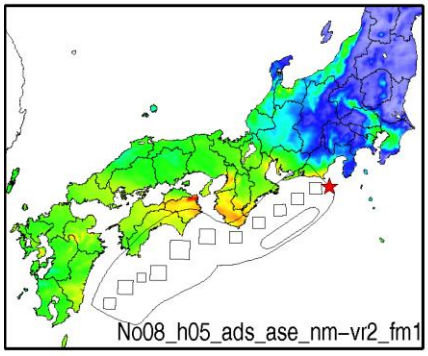


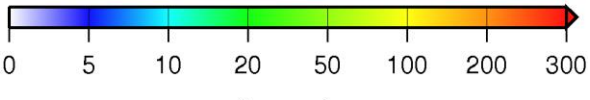


No08_ads_ase_nm-vr2_fm1

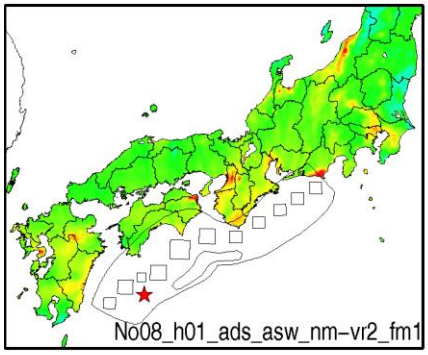


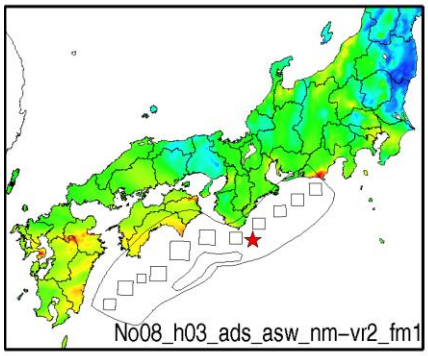


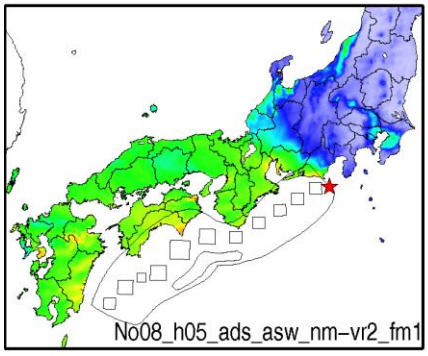


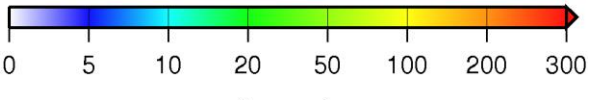


No08_ads_asw_nm-vr2_fm1

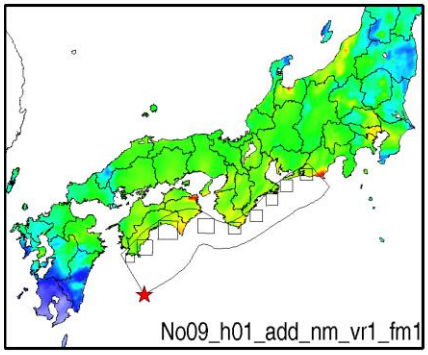


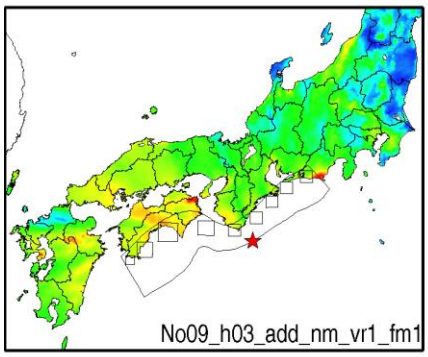


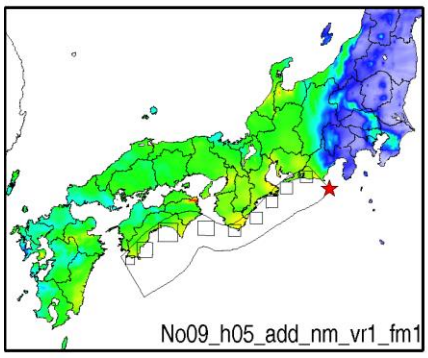


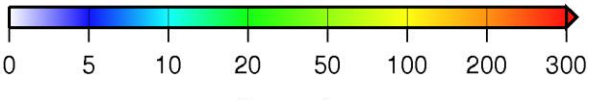


No09_r2_add_nm_vr1_fm1

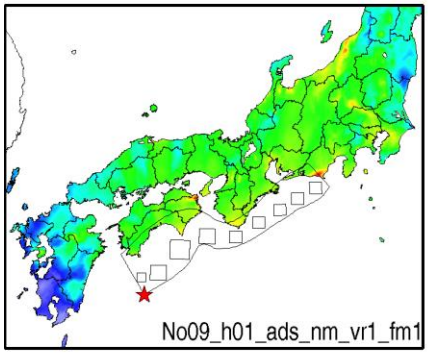


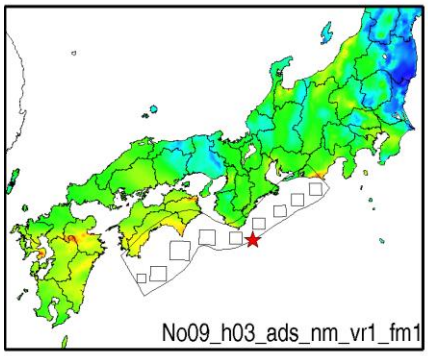


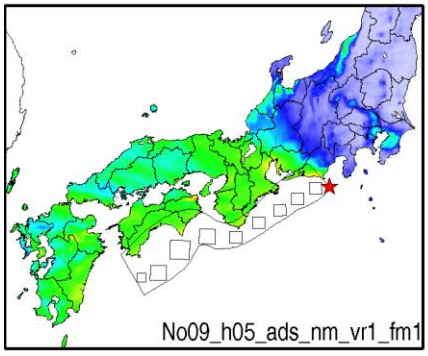


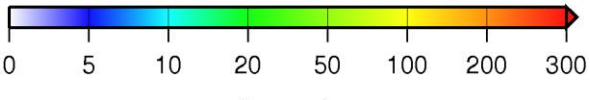


No09_r2_ads_nm_vr1_fm1

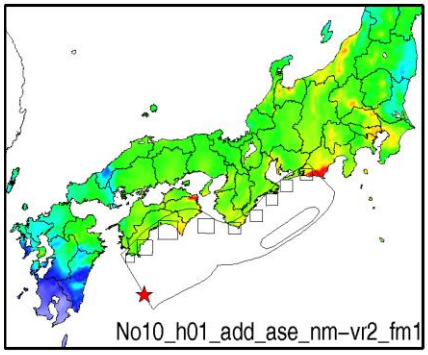


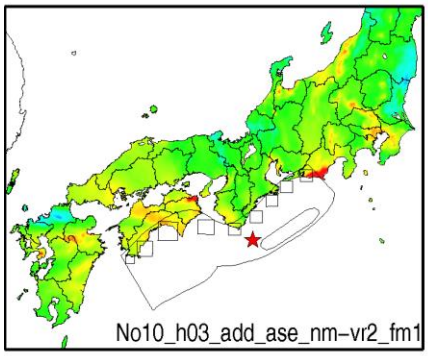


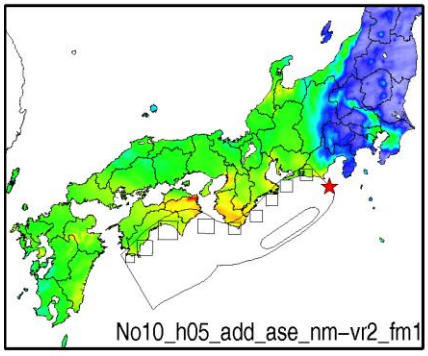


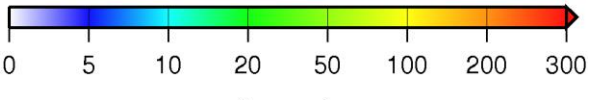


No10_add_ase_nm-vr2_fm1

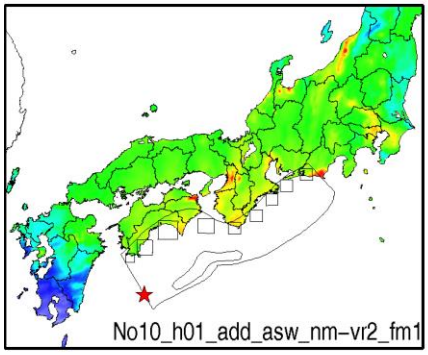


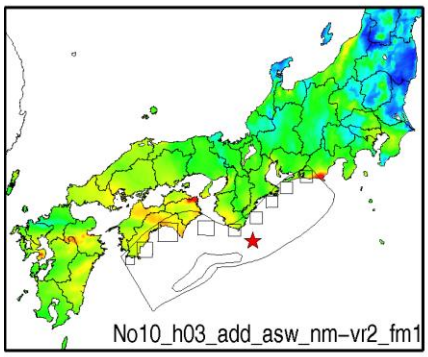


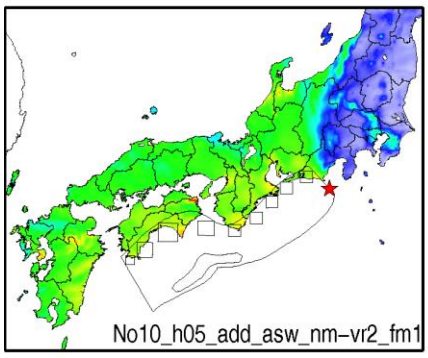


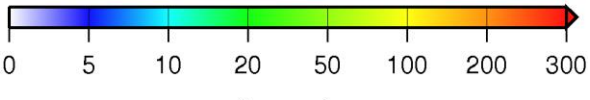


No10_add_asw_nm-vr2_fm1

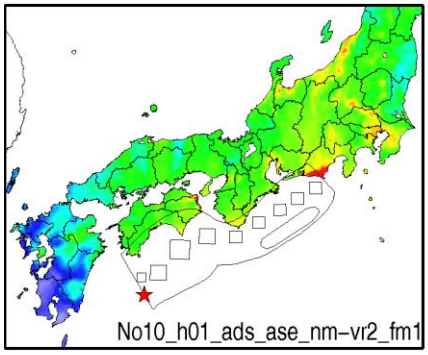


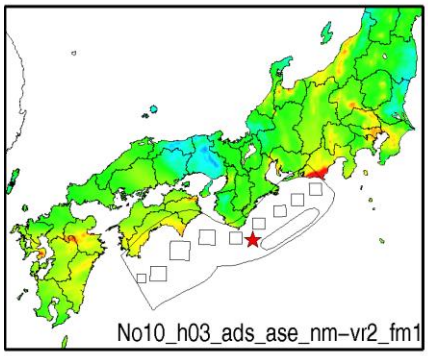


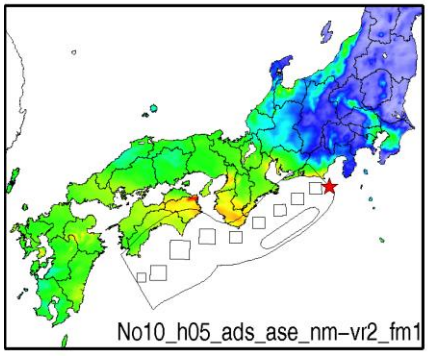


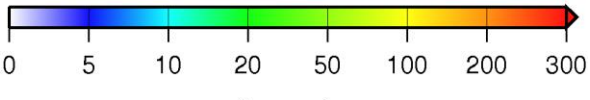


No10_ads_ase_nm-vr2_fm1

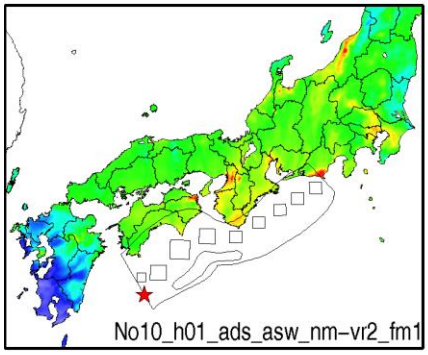


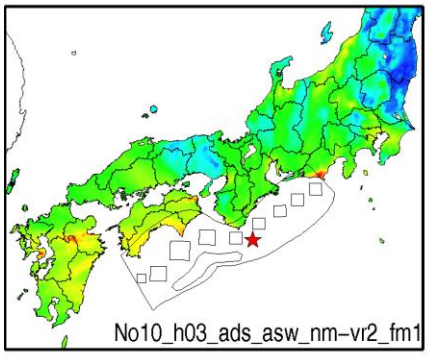


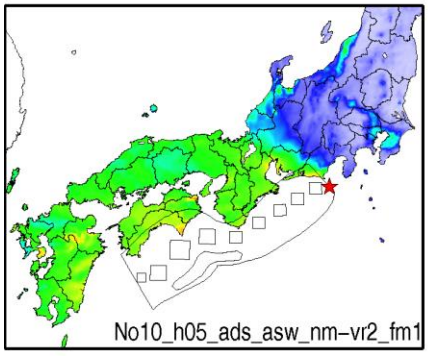


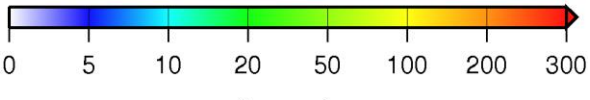


No10_ads_asw_nm-vr2_fm1

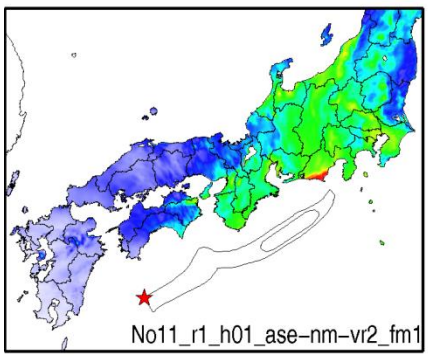


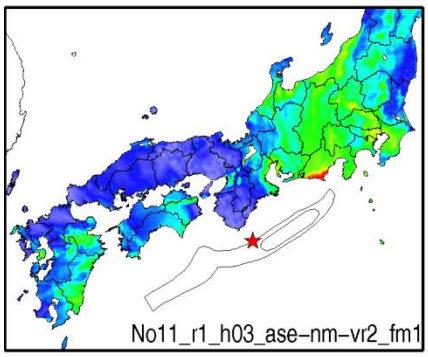


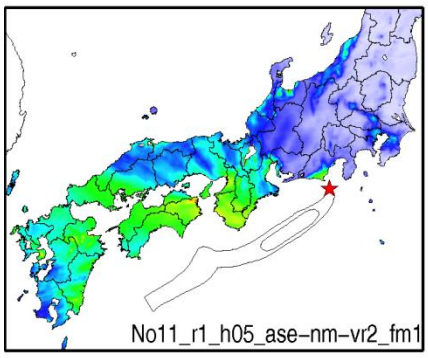


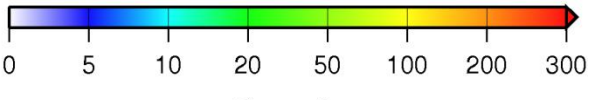


No11_r1_ase-nm-vr2_fm1

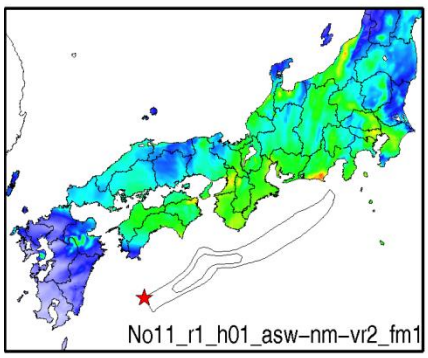


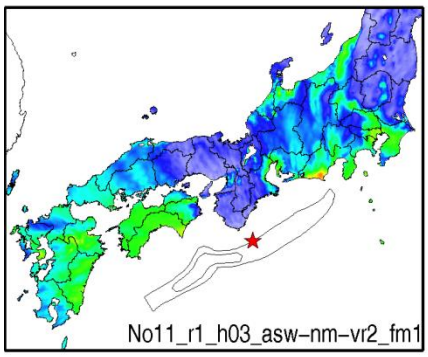


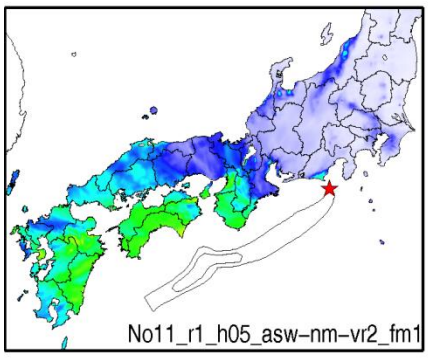


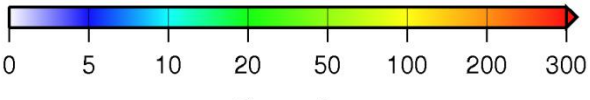


No11_r1_asw-nm-vr2_fm1

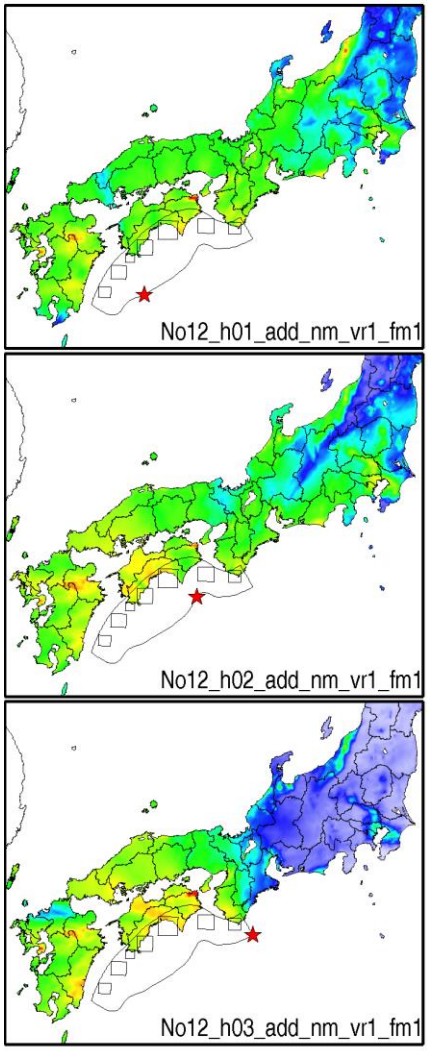


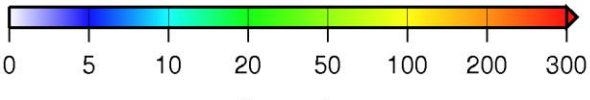




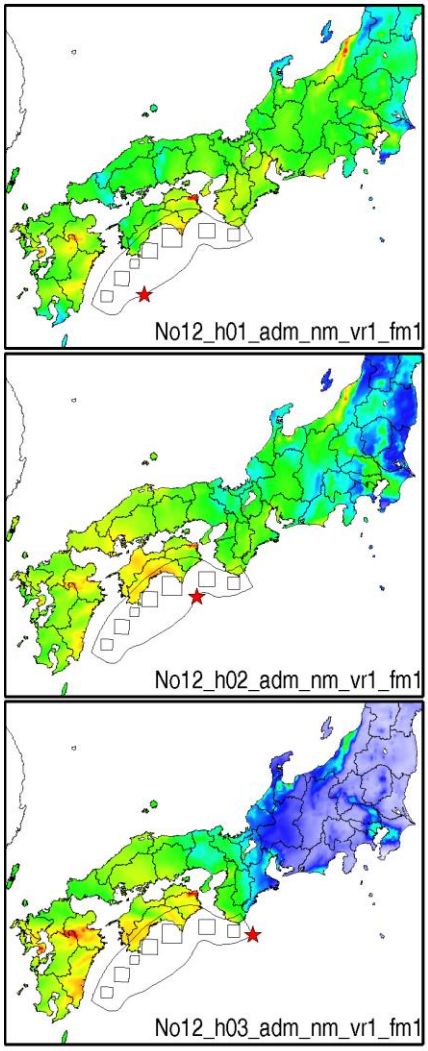


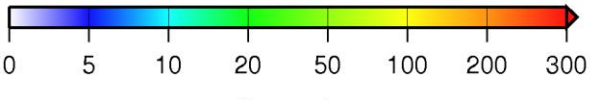
No12_r2_add_nm_vr1_fm1



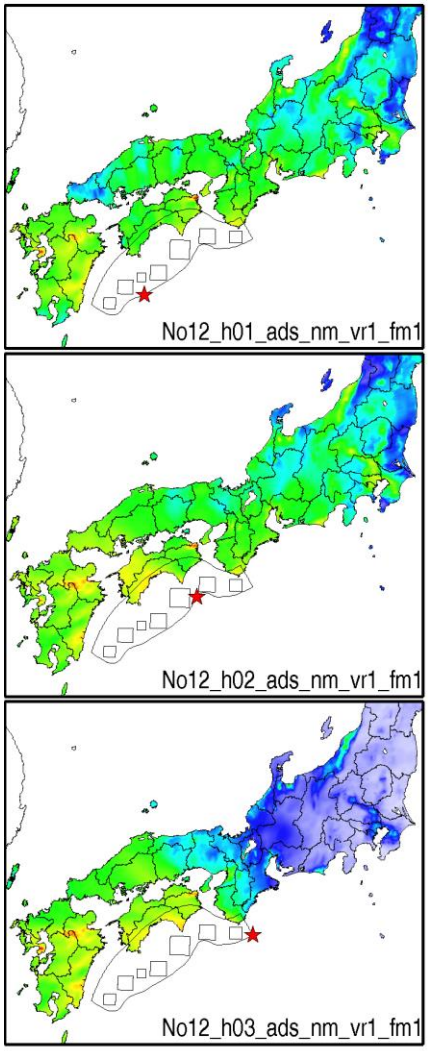


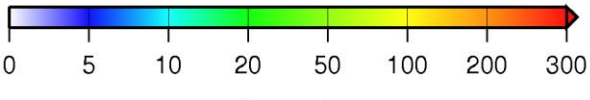
No12_r2_adm_nm_vr1_fm1



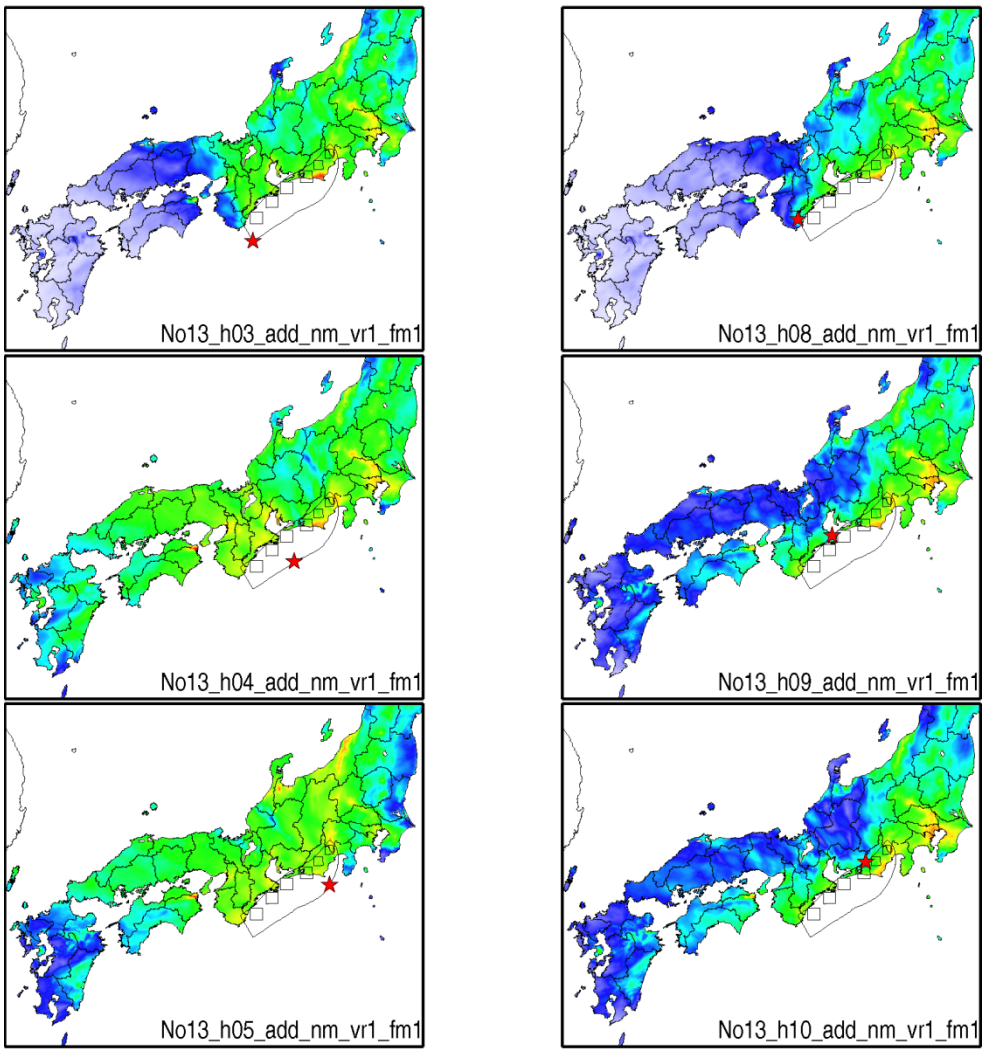


No12_r2_ads_nm_vr1_fm1

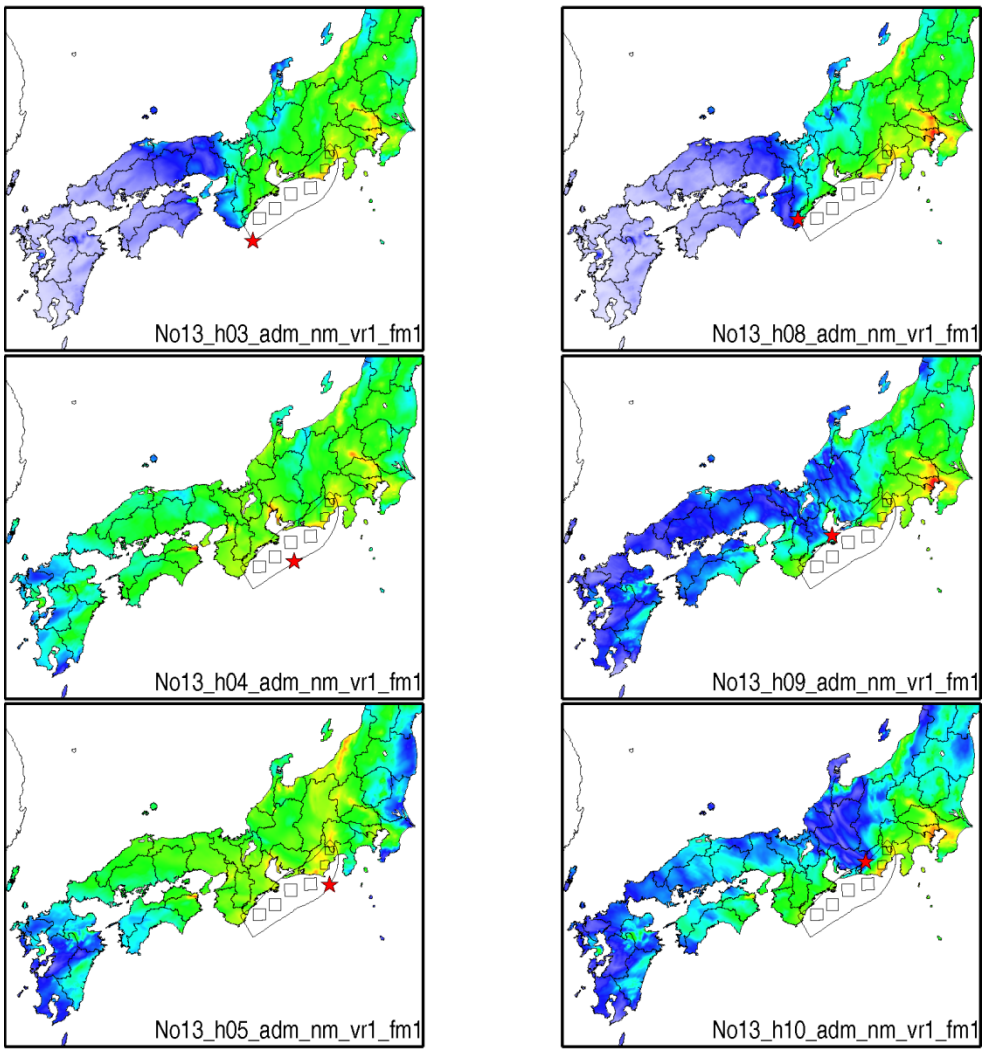




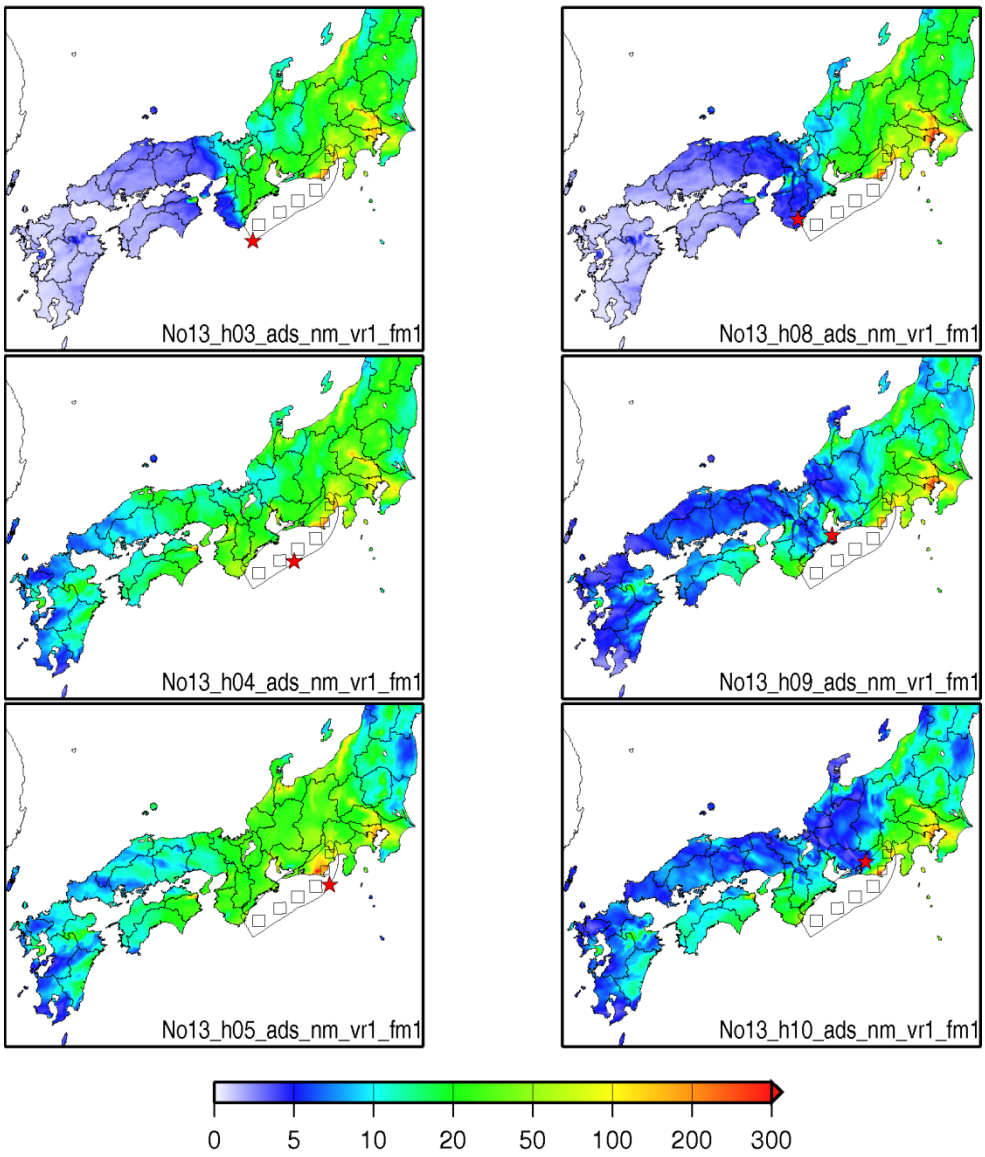
No13_r2_add_nm_vr1_fm1



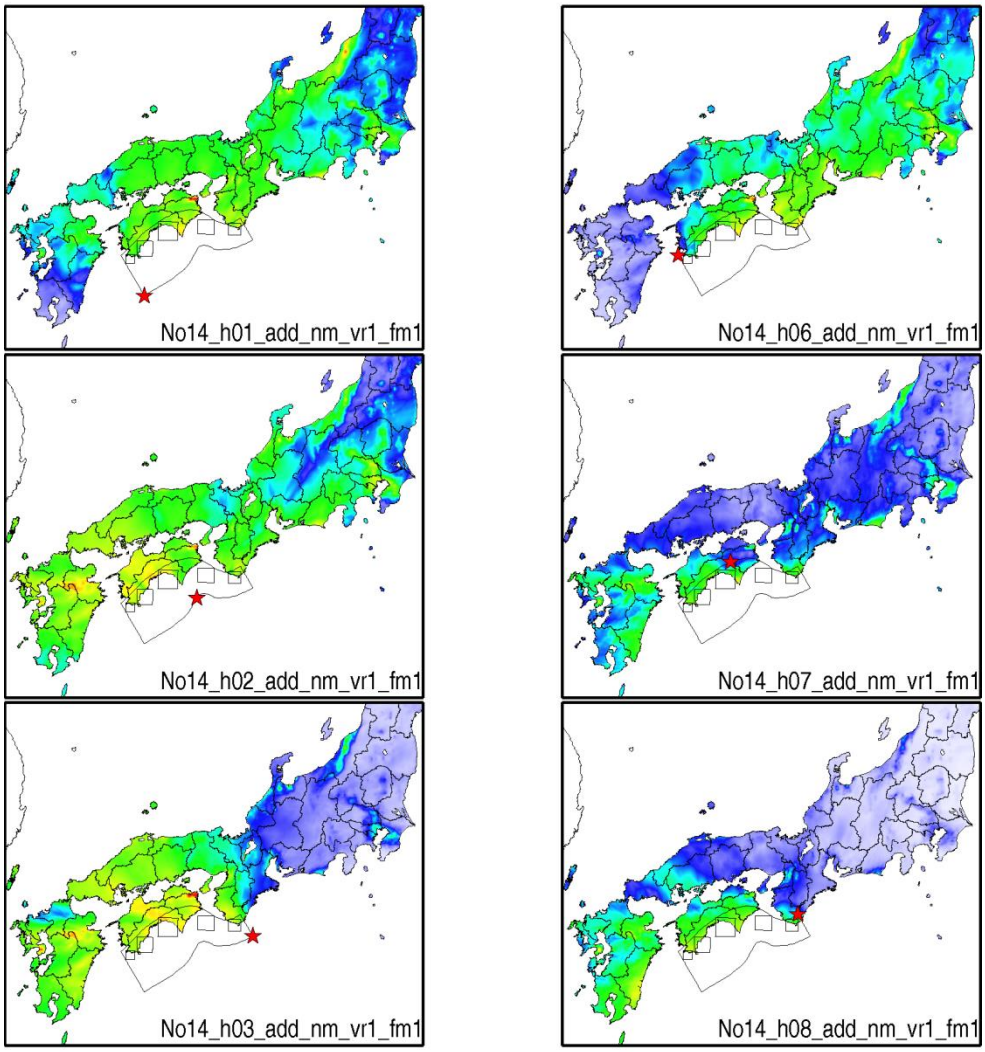
No13_r2_adm_nm_vr1_fm1

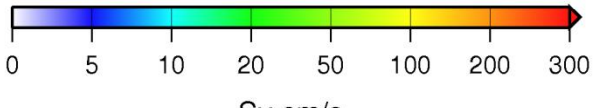


No13_r2_ads_nm_vr1_fm1

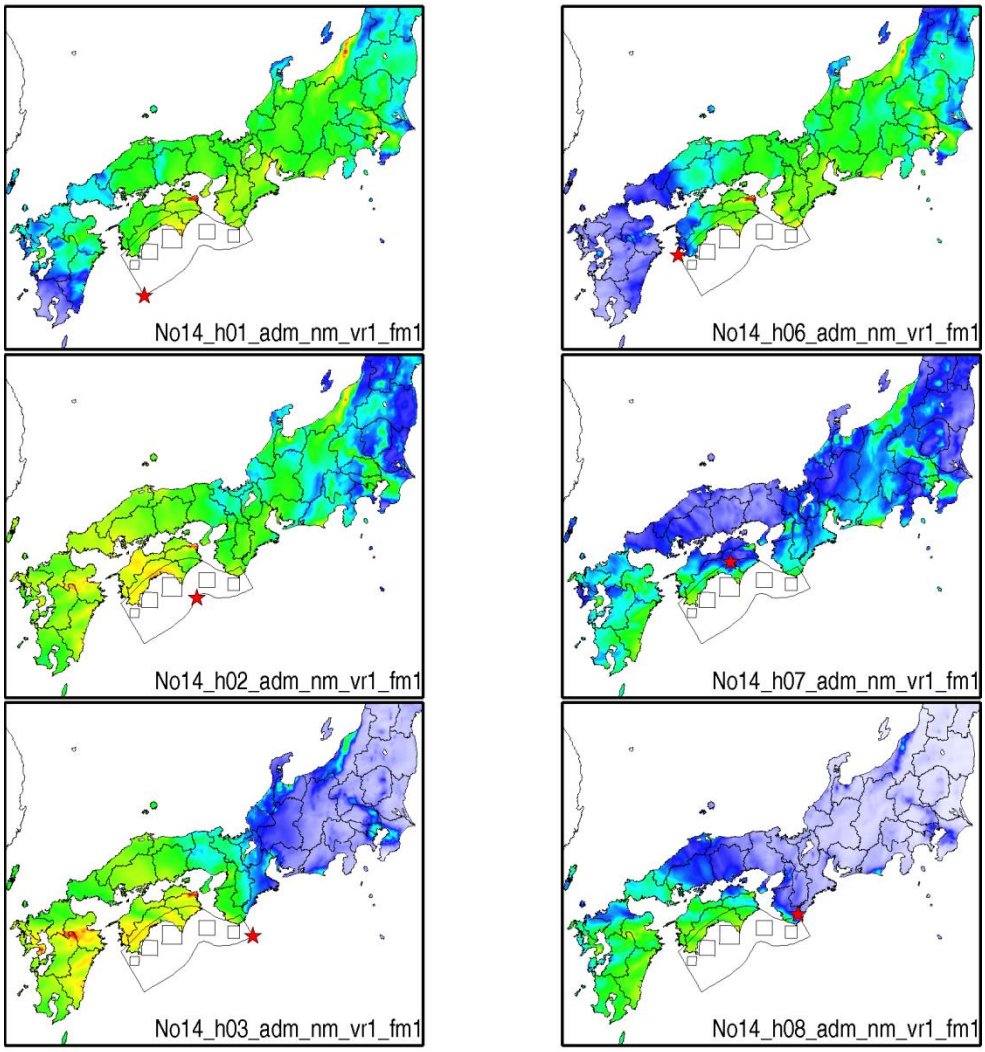


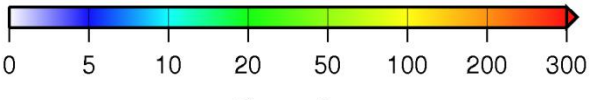
No14_r2_add_nm_vr1_fm1





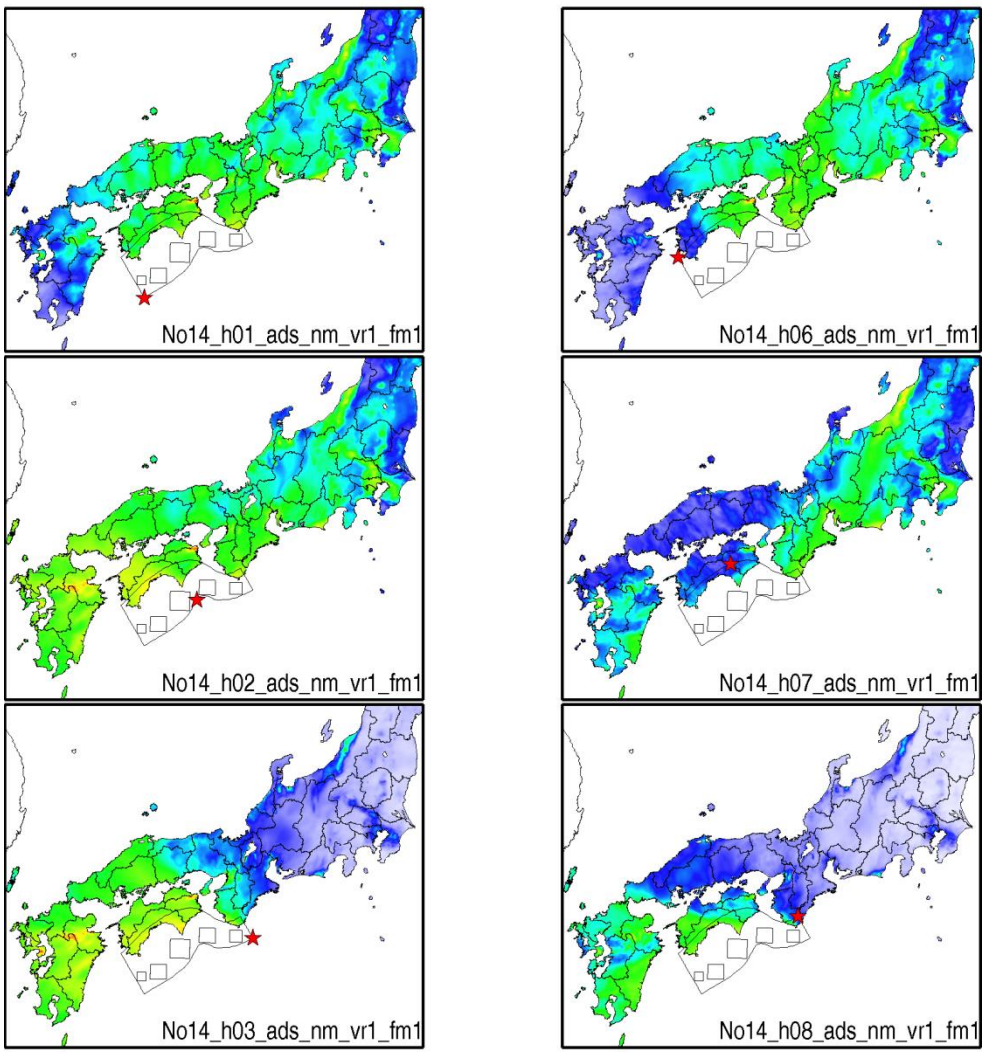
No14_r2_adm_nm_vr1_fm1

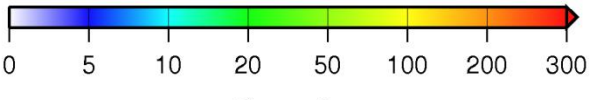




Sv,cm/s

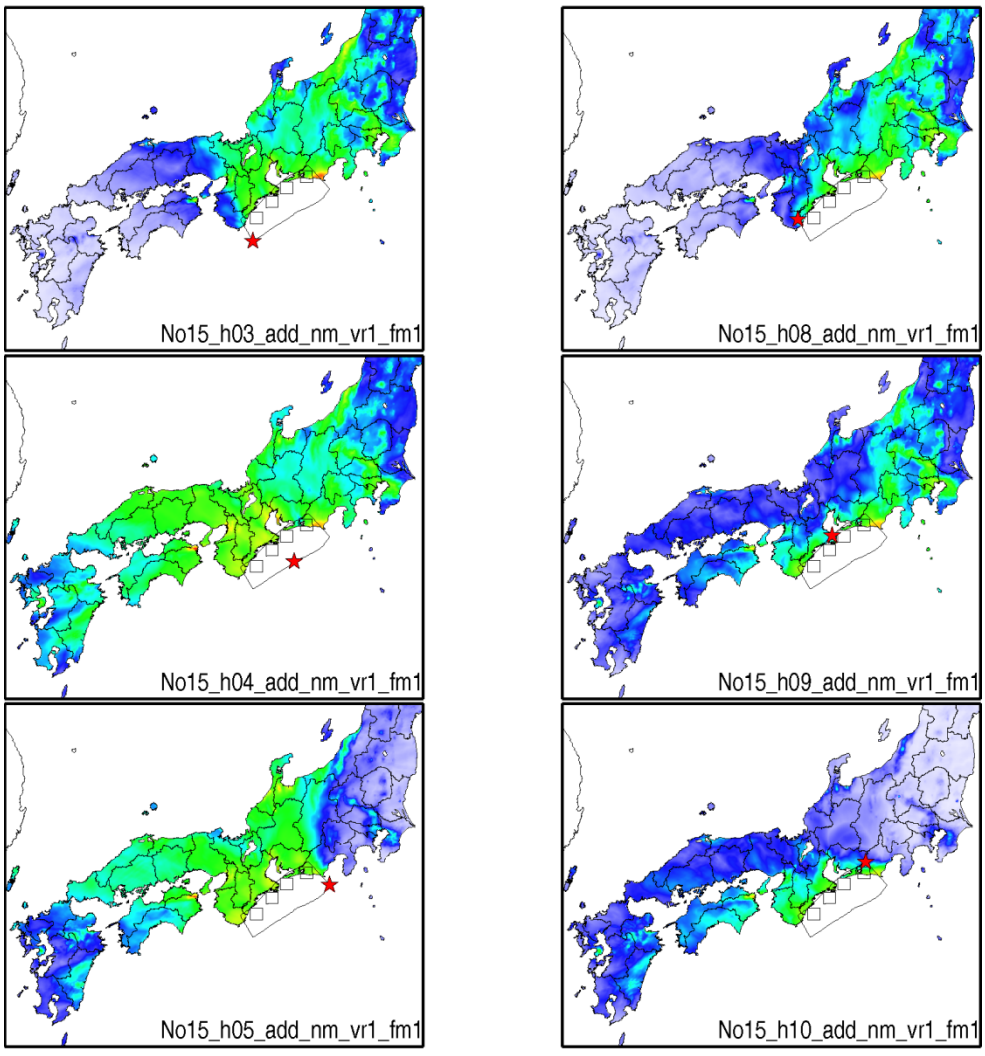
No14_r2_ads_nm_vr1_fm1



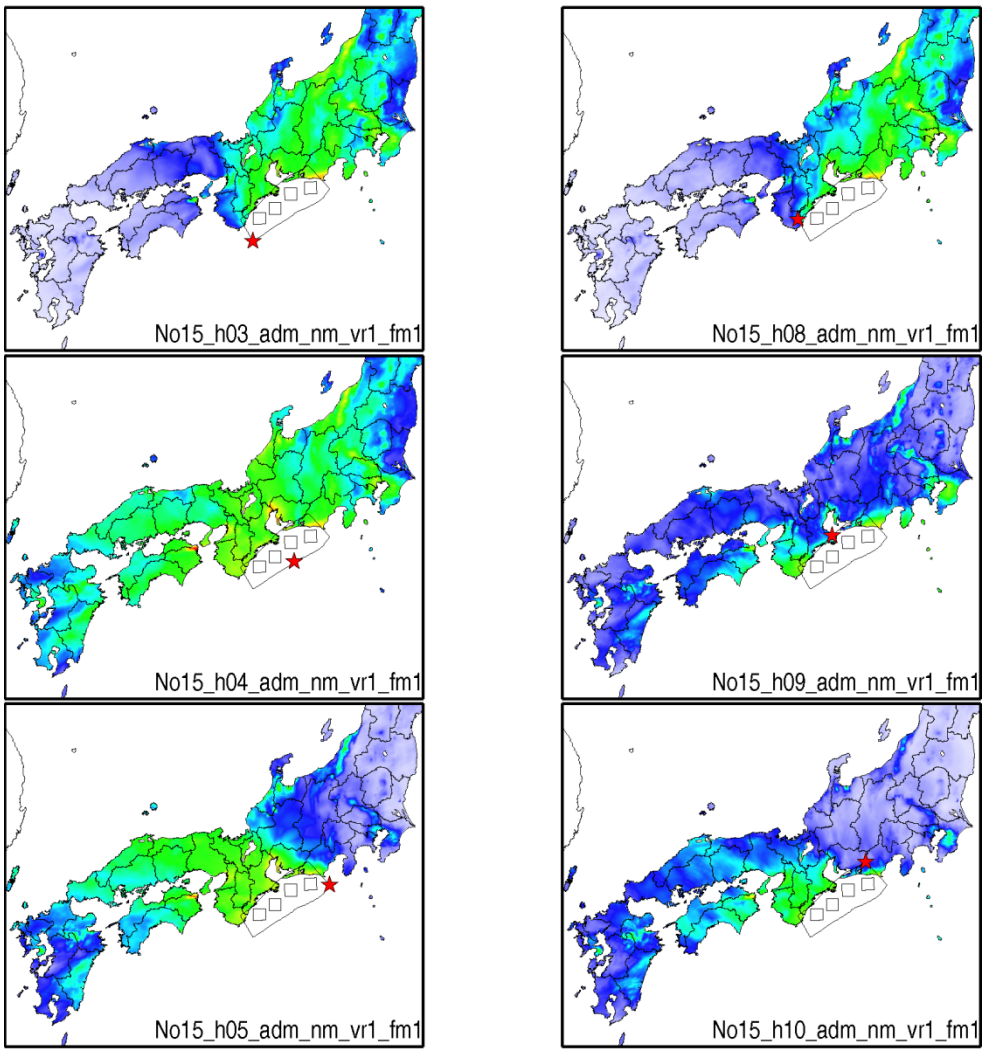


Sv,cm/s

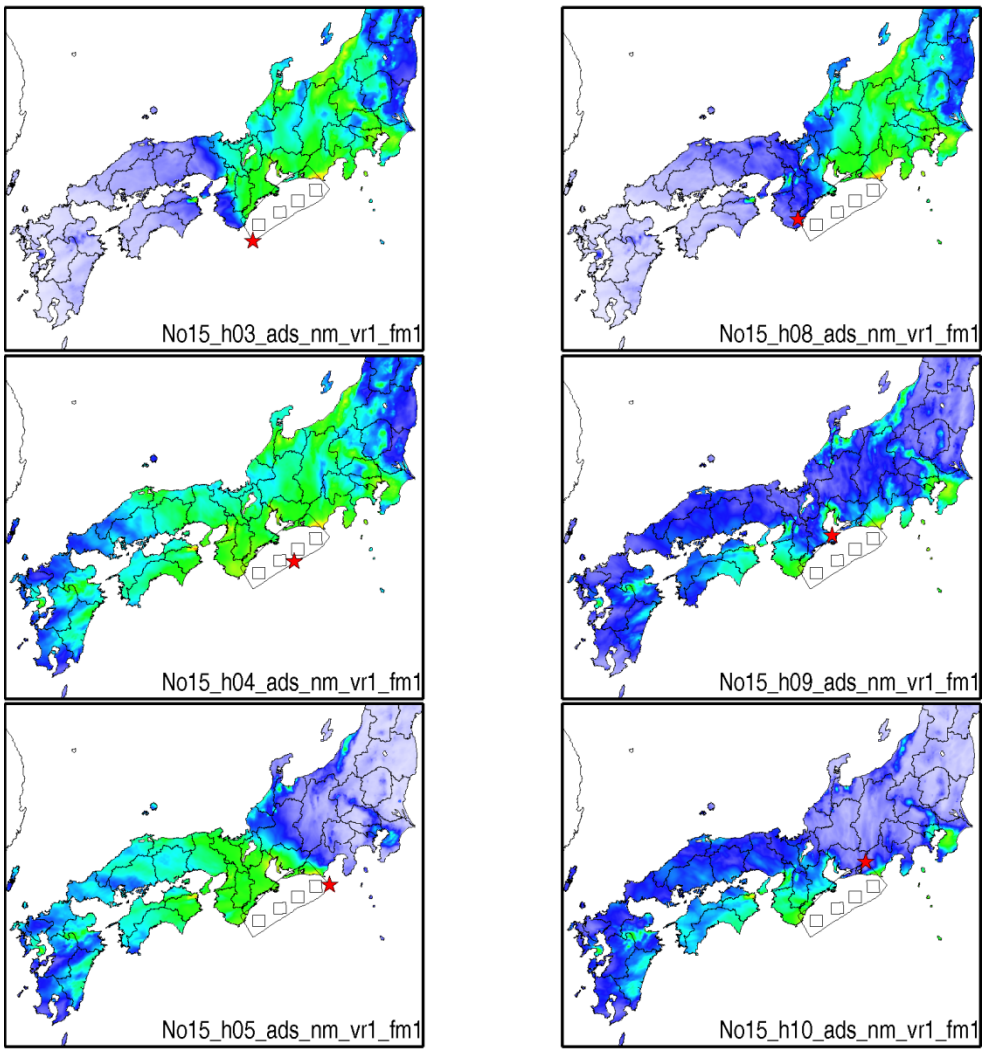
No15_r2_add_nm_vr1_fm1



No15_r2_adm_nm_vr1_fm1



No15_r2_ads_nm_vr1_fm1



付録 2. 相模トラフの地震を対象とした全シナリオの長周期地震動分布

本付録では、相模トラフの地震を対象とした長周期地震動ハザード評価において設定した全てのシナリオ（ケース）についての長周期地震動分布を示す。

【震源域描画】

外側枠線：震源域

内側枠線：アスペリティ

☆　　：破壊開始点

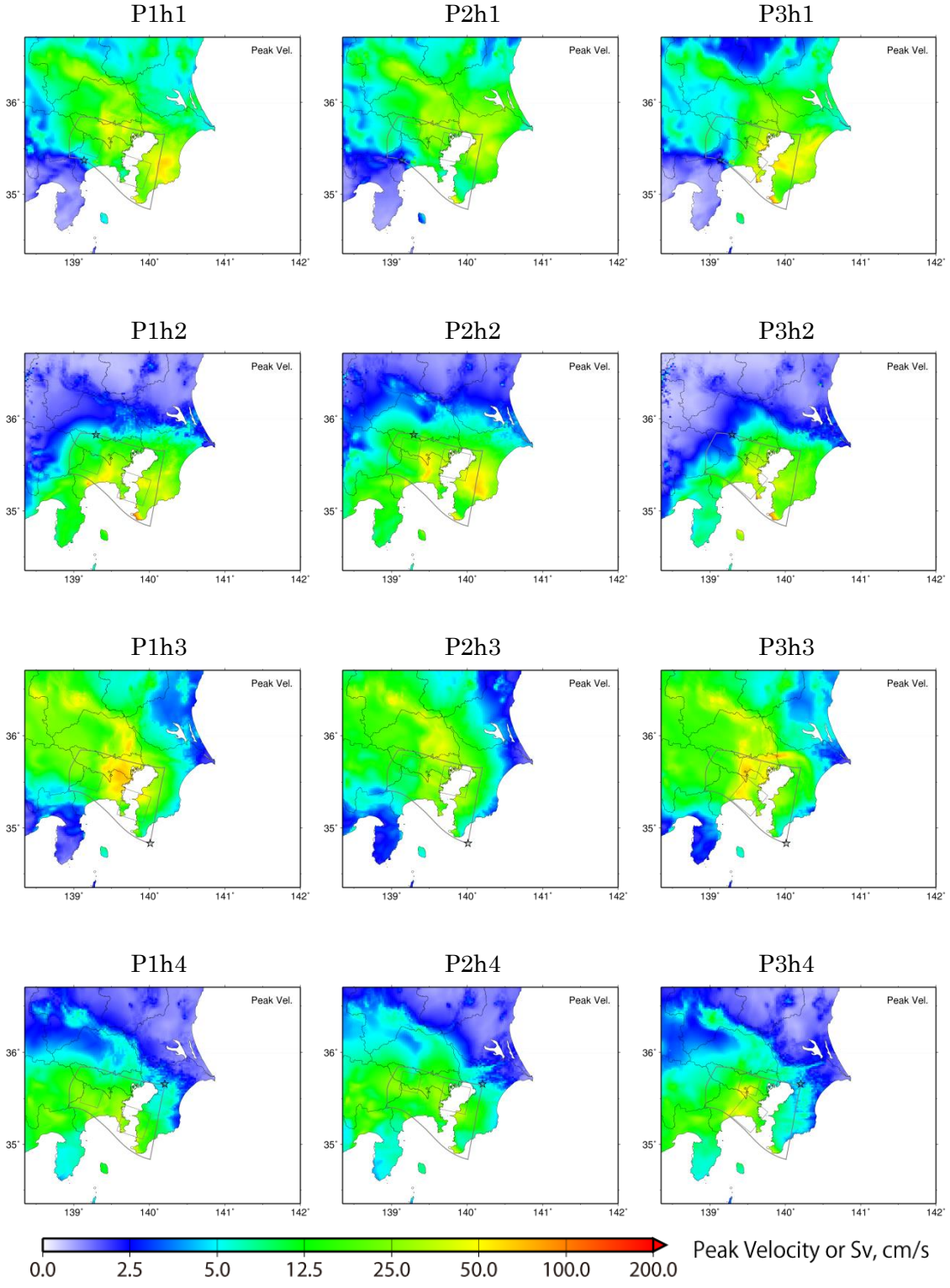
【ケース名称】　P?h?　または P?s?h?

P1～P5　：アスペリティ配置パターン（図 3.3-2 および図 3.3-4 参照）

s1, s2　：浅部大すべり域配置パターン（図 3.3-2 参照）

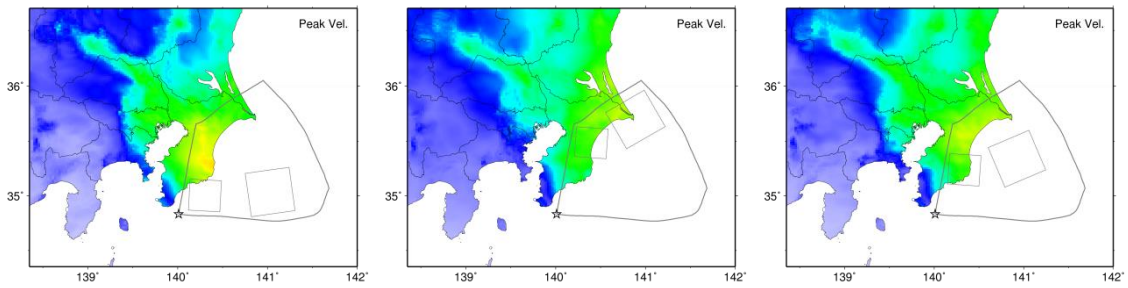
h1～h8　：破壊開始点（図 3.3-2 および図 3.3-4 参照）

【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.1】

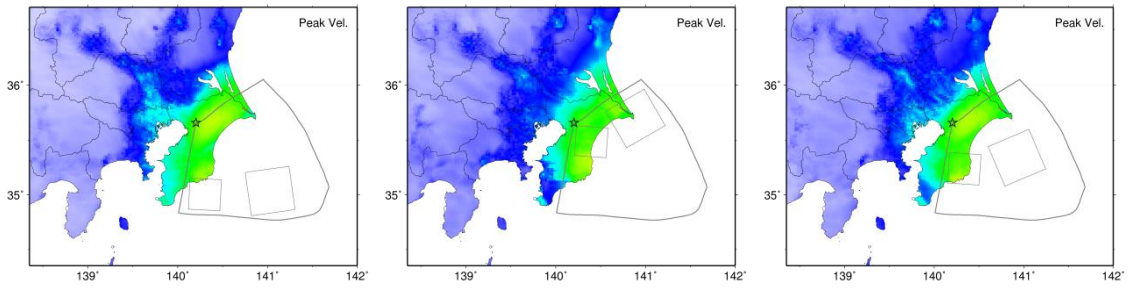


【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.2】

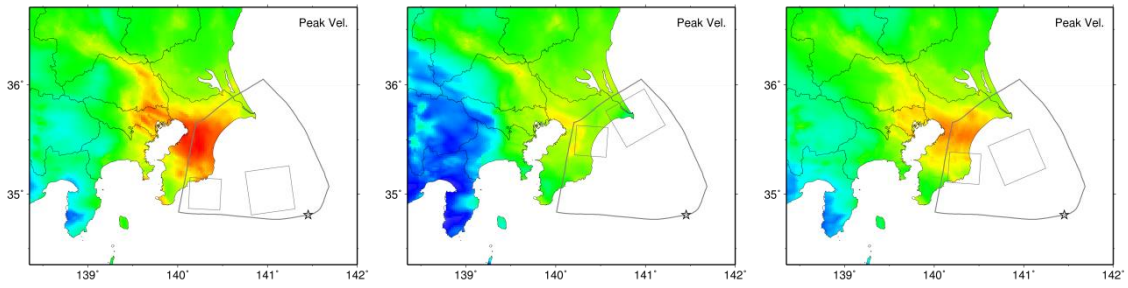
P1h3 P2h3 P3h3



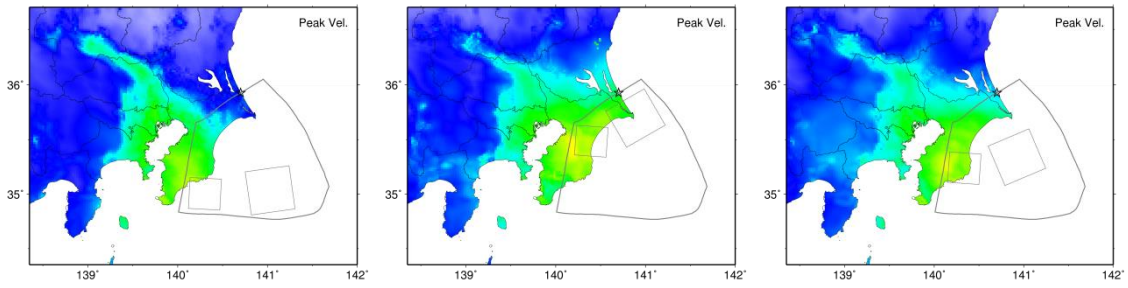
P1h4 P2h4 P3h4



P1h5 P2h5 P3h5

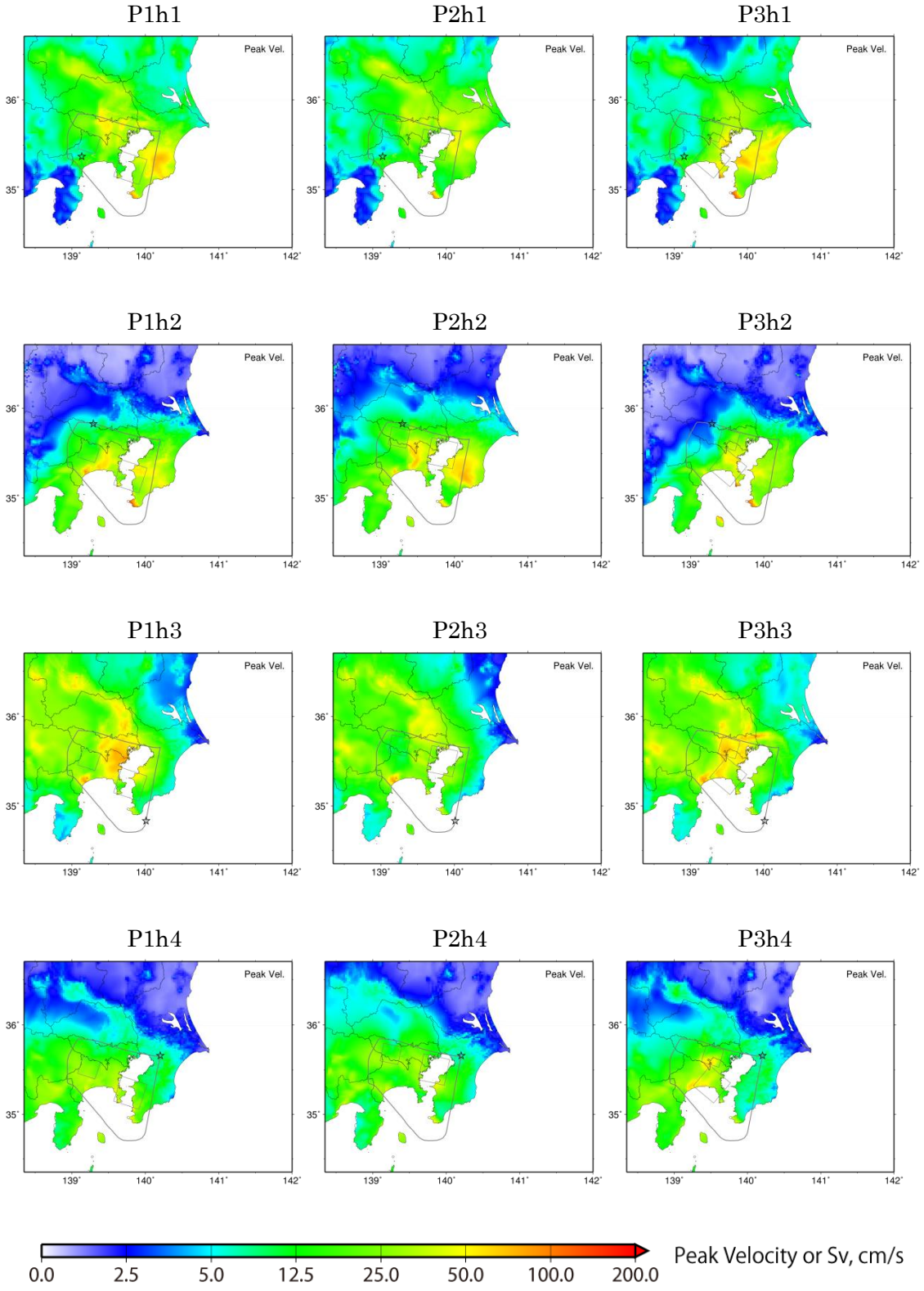


P1h6 P2h6 P3h6



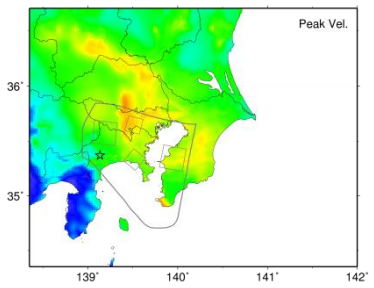


【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.3】

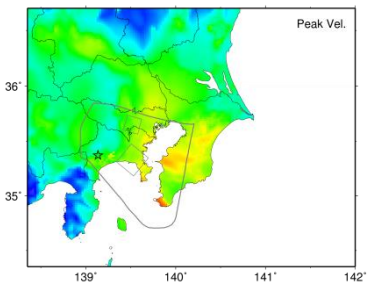


【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.3】

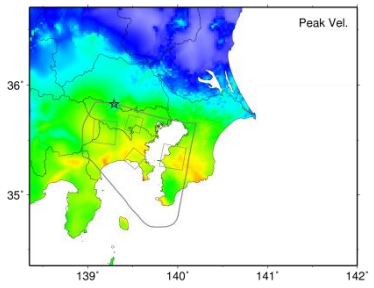
P4h1



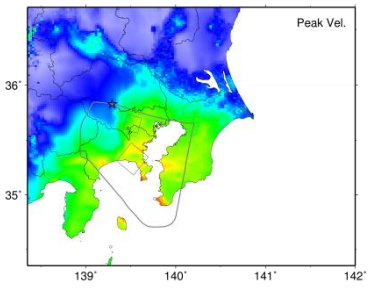
P5h1



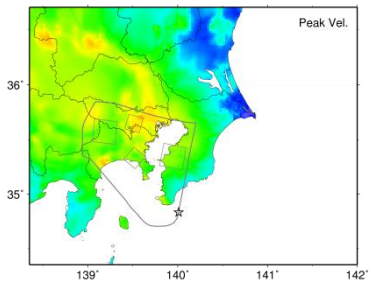
P4h2



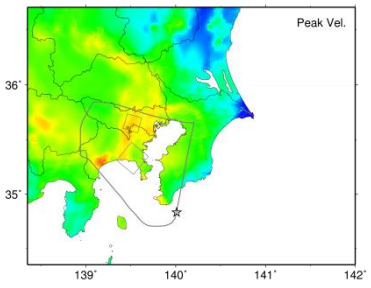
P5h2



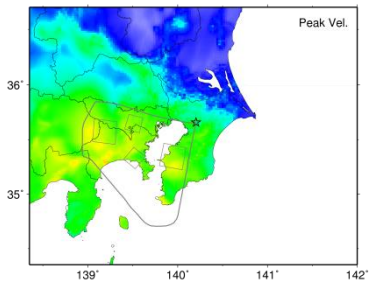
P4h3



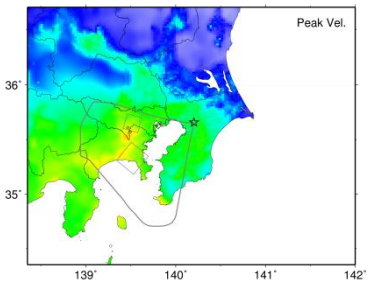
P5h3



P4h4



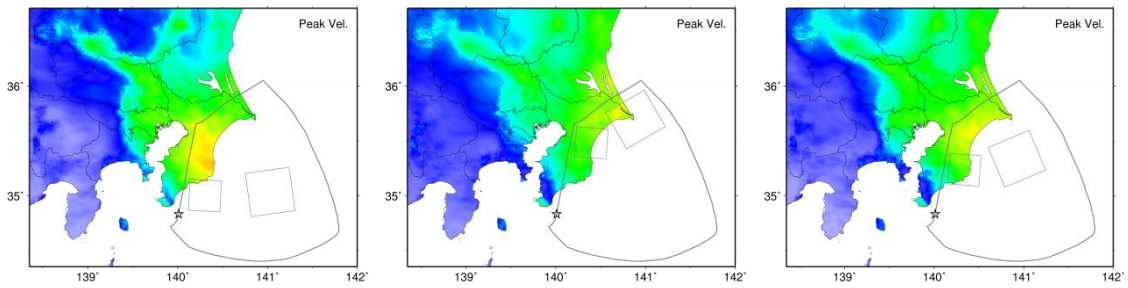
P5h4



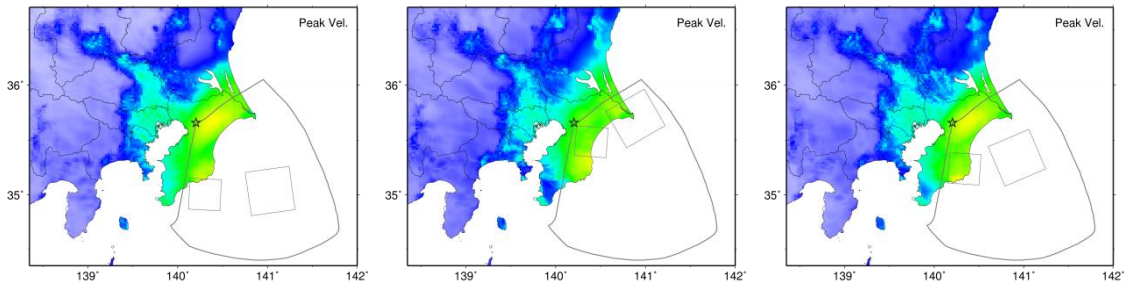


【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.4】

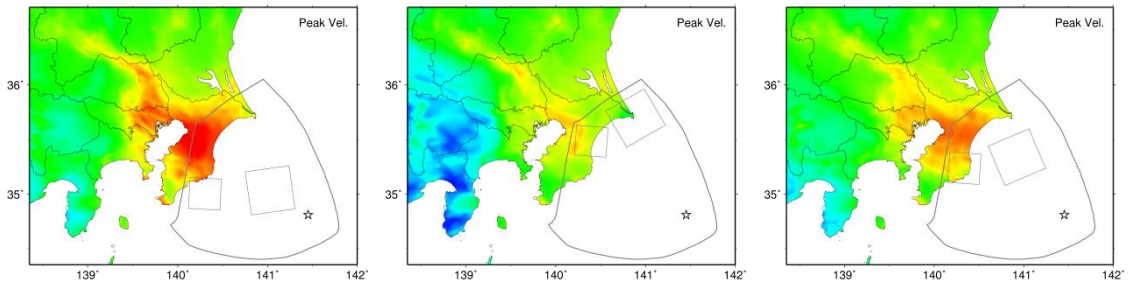
P1h3 P2h3 P3h3



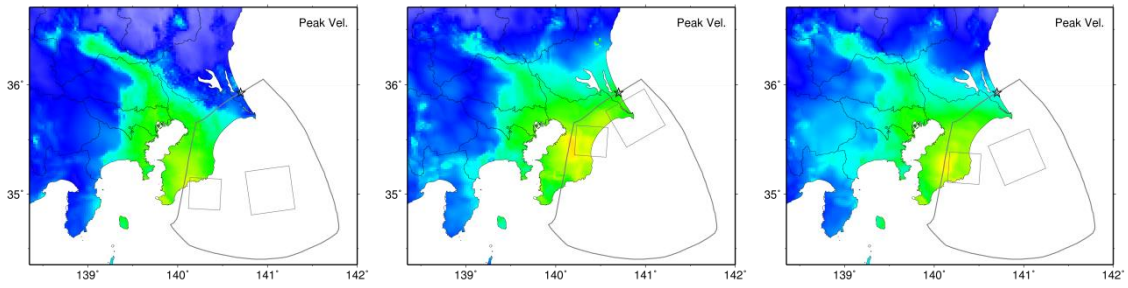
P1h4 P2h4 P3h4



P1h5 P2h5 P3h5



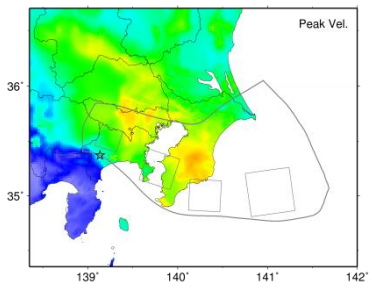
P1h6 P2h6 P3h6



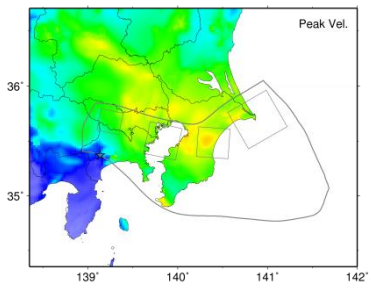


【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.5】

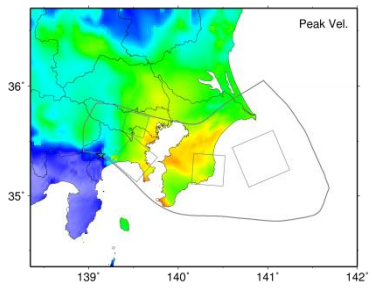
P1h1



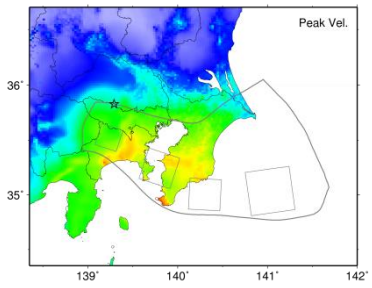
P2h1



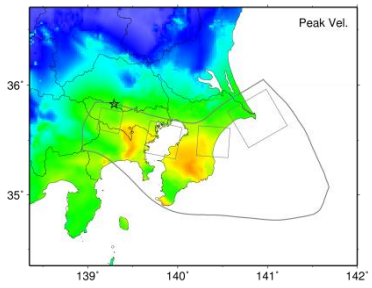
P3h1



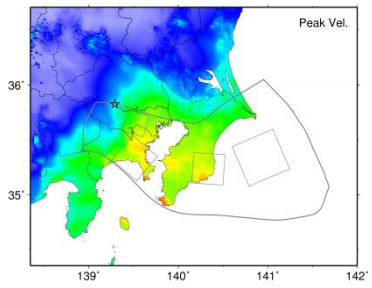
P1h2



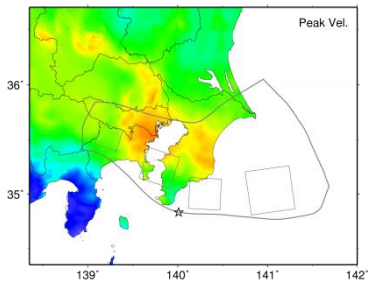
P2h2



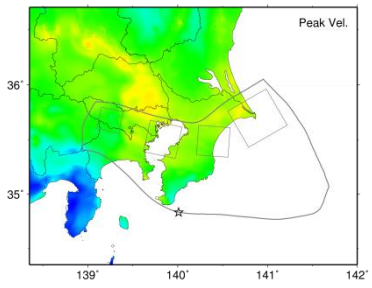
P3h2



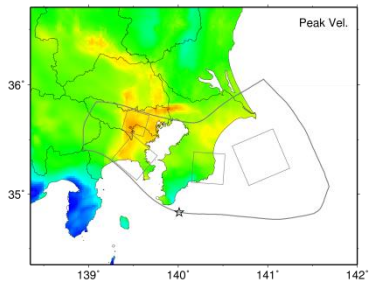
P1h3



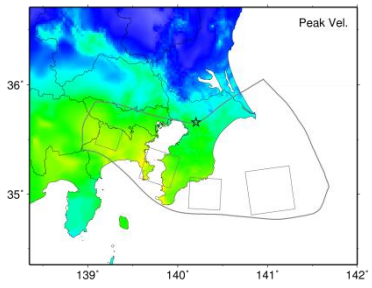
P2h3



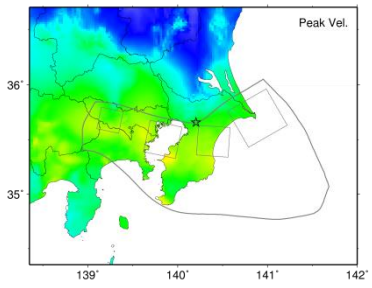
P3h3



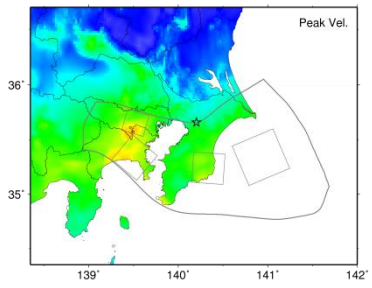
P1h4



P2h4



P3h4



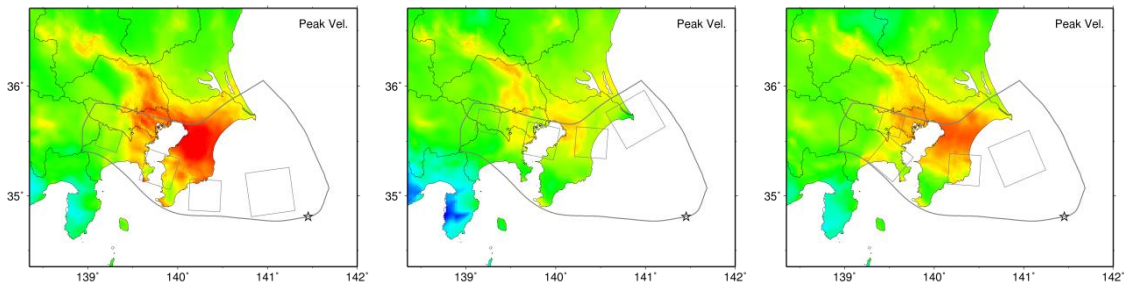


【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.5】

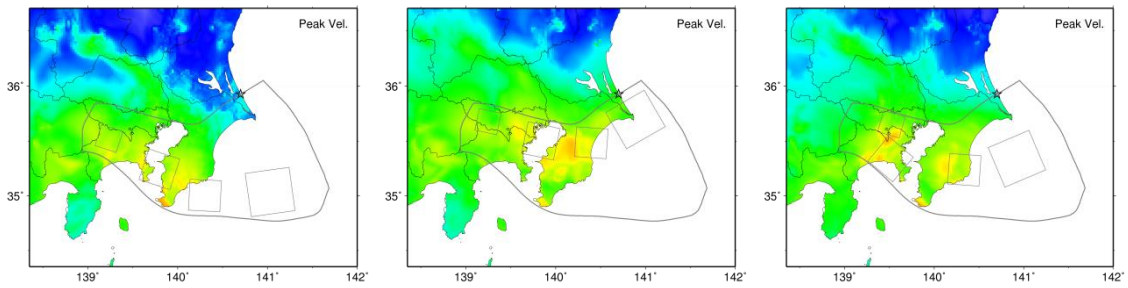
P1h5

P2h5

P3h5

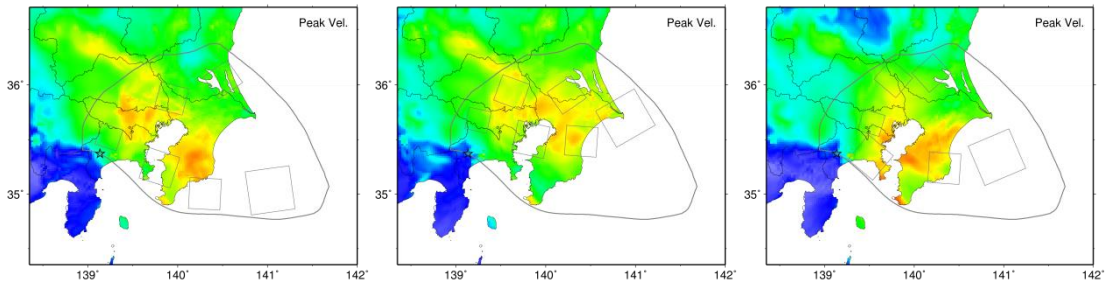


P1h6　　P2h6　　P3h6

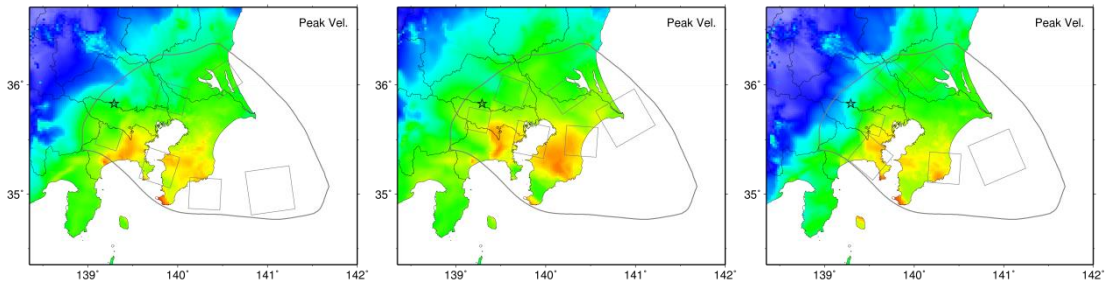


【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.7】

P1h1　　P2h1　　P3h1



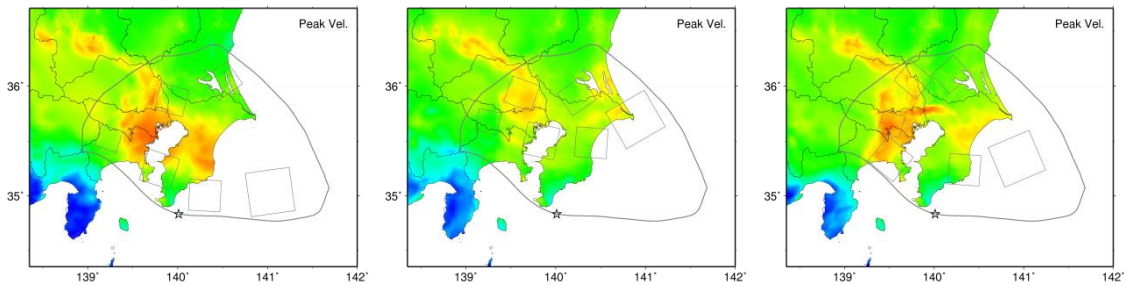
P1h2　　P2h2　　P3h2



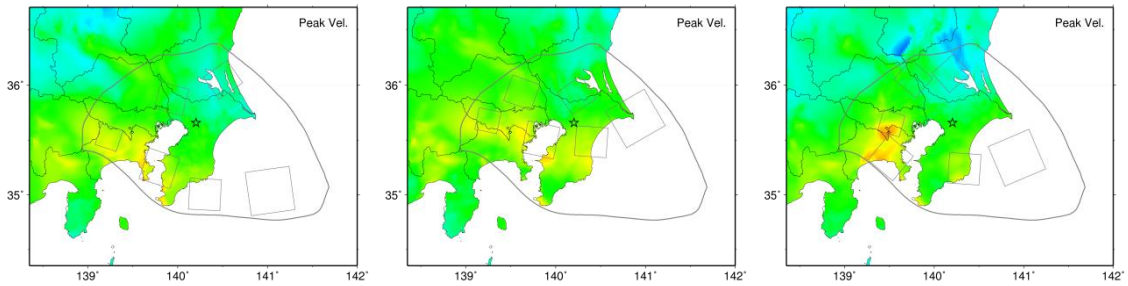


【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.7】

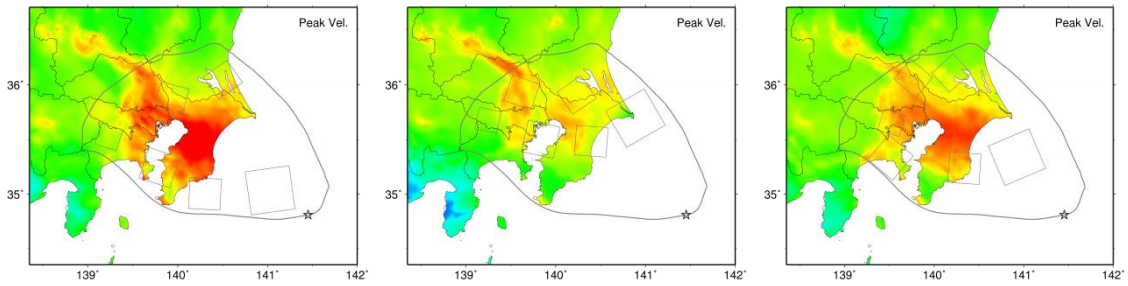
P1h3 P2h3 P3h3



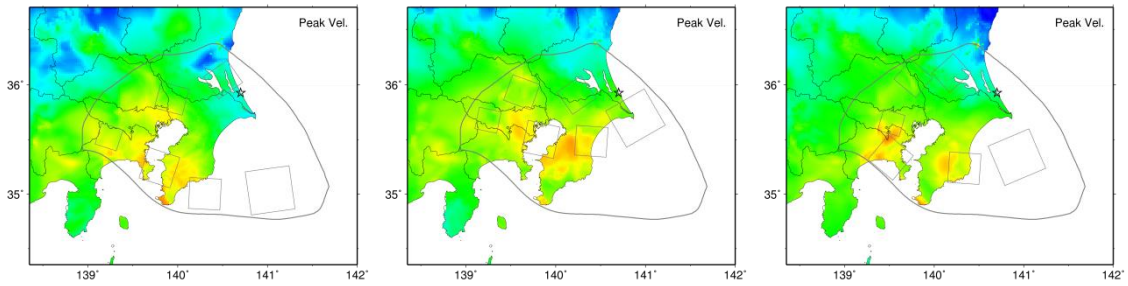
P1h4 P2h4 P3h4



P1h5 P2h5 P3h5



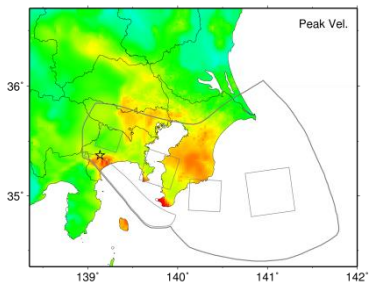
P1h6 P2h6 P3h6



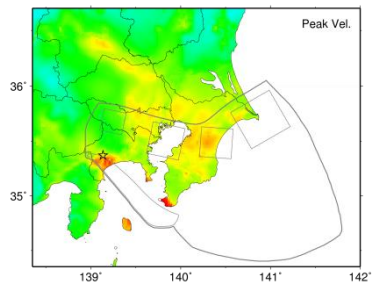


【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.6（中村・宮武 ＆ Vr=2.7km/s）】

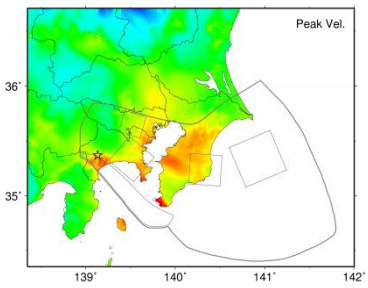
P1s1h1



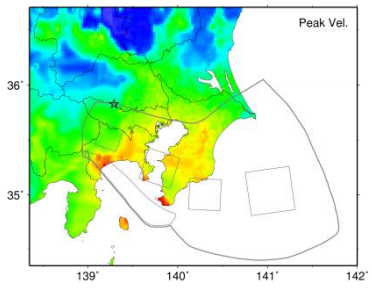
P2s1h1



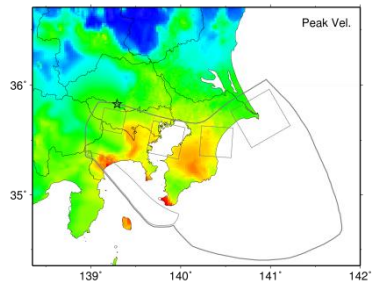
P3s1h1



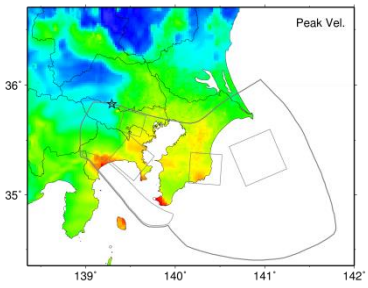
P1s1h2



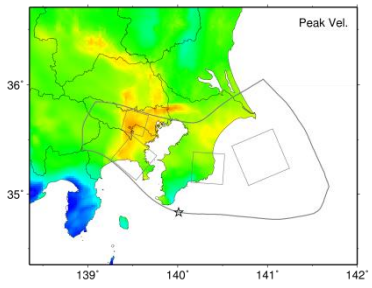
P2s1h2



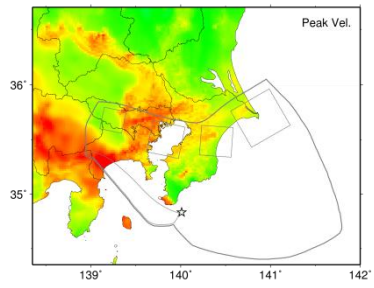
P3s1h2



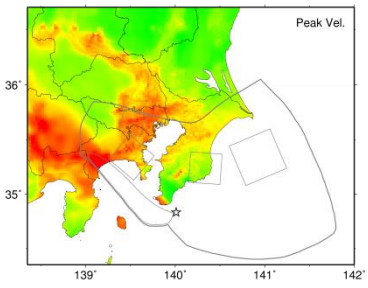
P1s1h3



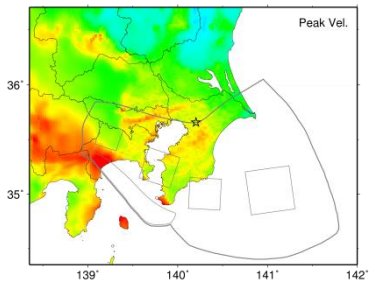
P2s1h3



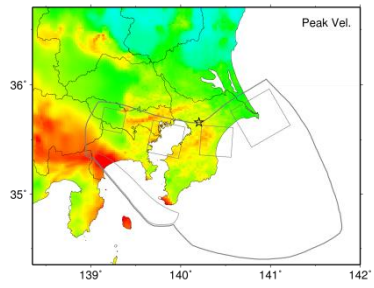
P3s1h3



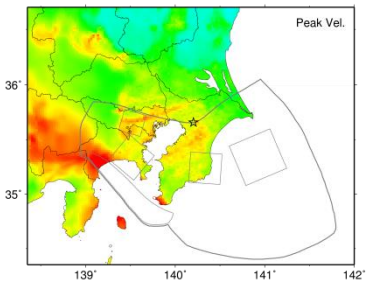
P1s1h4



P2s1h4



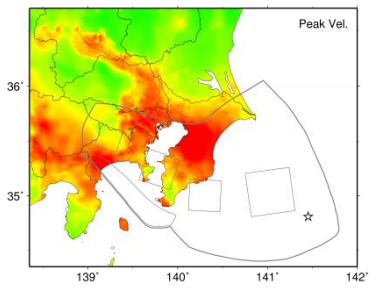
P3s1h4



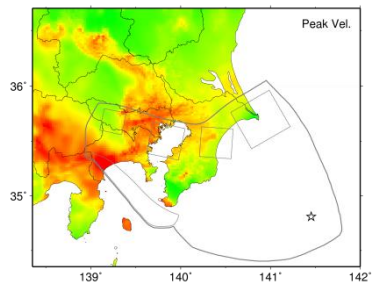


【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.6（基本モデル）】

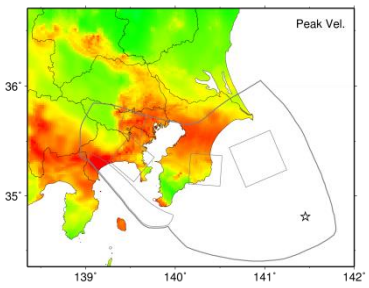
P1s1h5



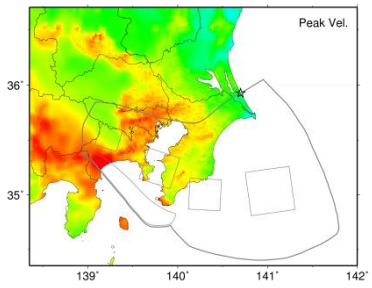
P2s1h5



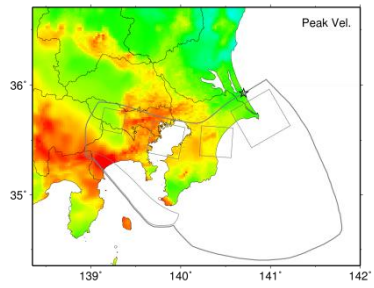
P3s1h5



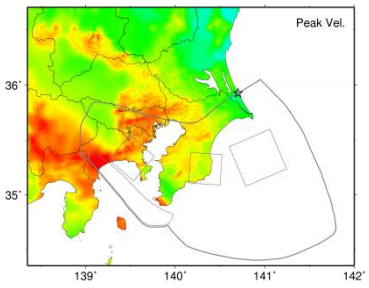
P1s1h6



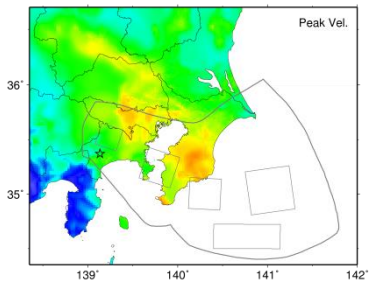
P2s1h6



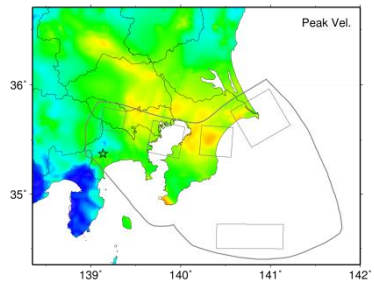
P3s1h6



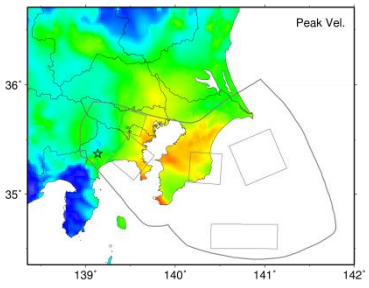
P1s2h1



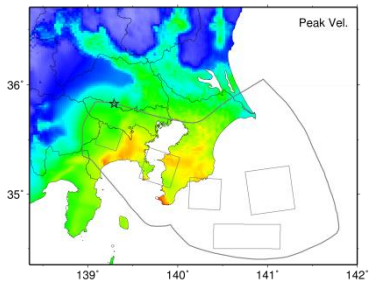
P2s2h1



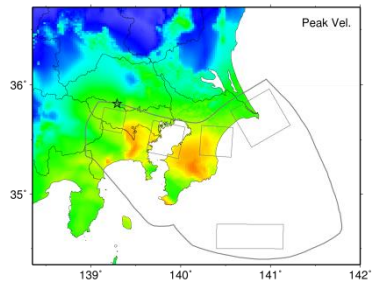
P3s2h1



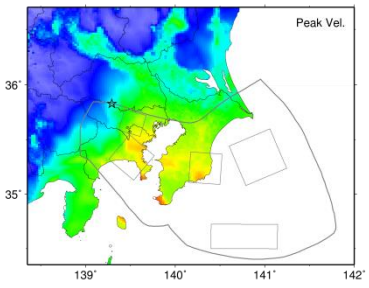
P1s2h2



P2s2h2



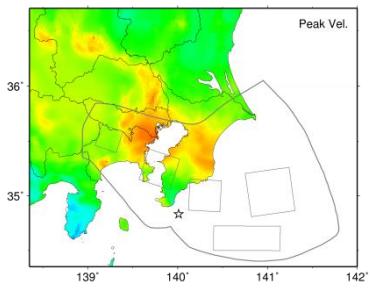
P3s2h2



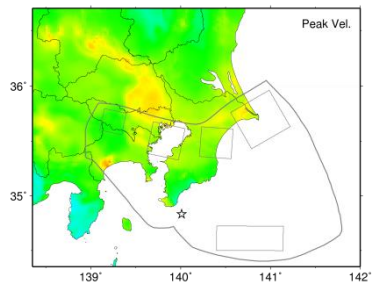


【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.6（基本モデル）】

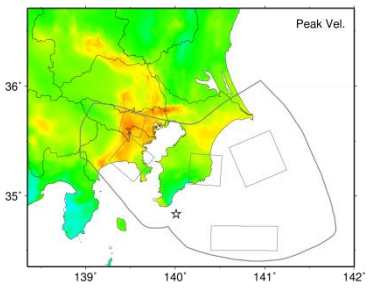
P1s2h3



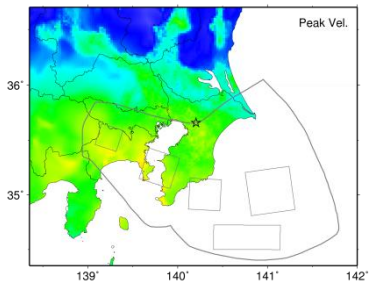
P2s2h3



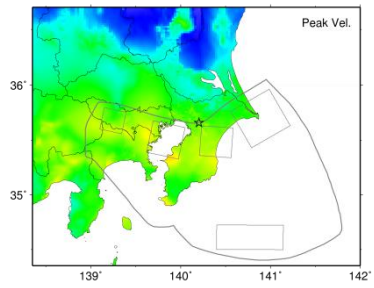
P3s2h3



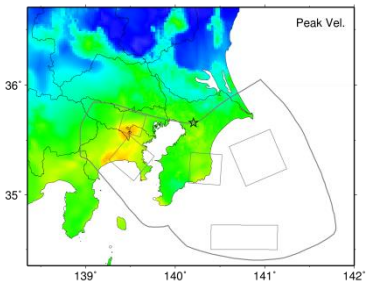
P1s2h4



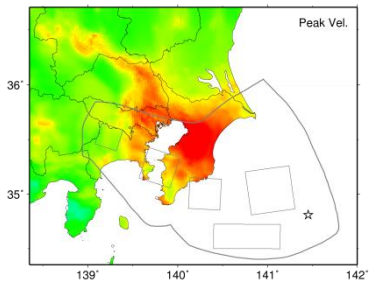
P2s2h4



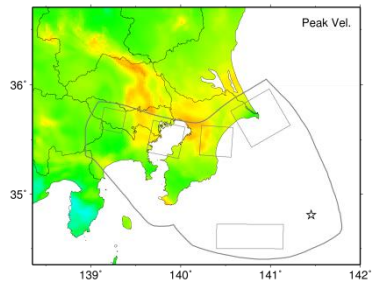
P3s2h4



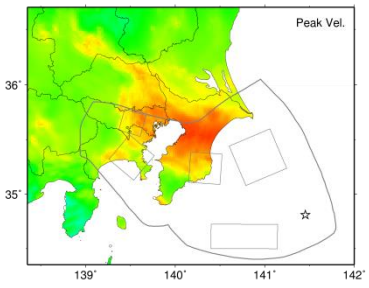
P1s2h5



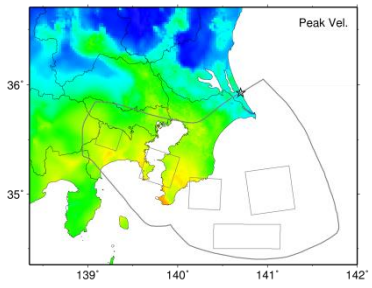
P2s2h5



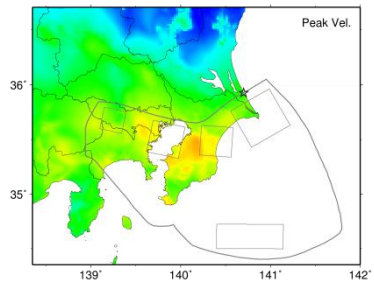
P3s2h5



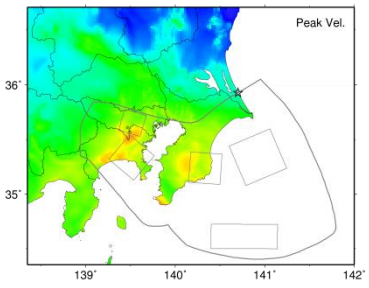
P1s2h6



P2s2h6



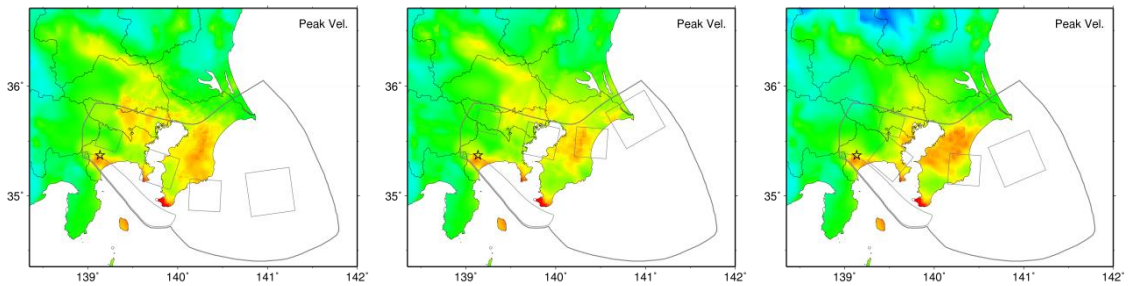
P3s2h6



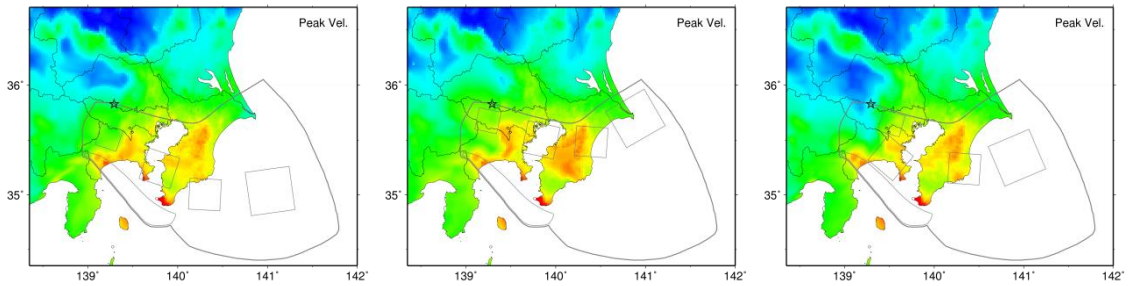


【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.6（smoothed ramp）】

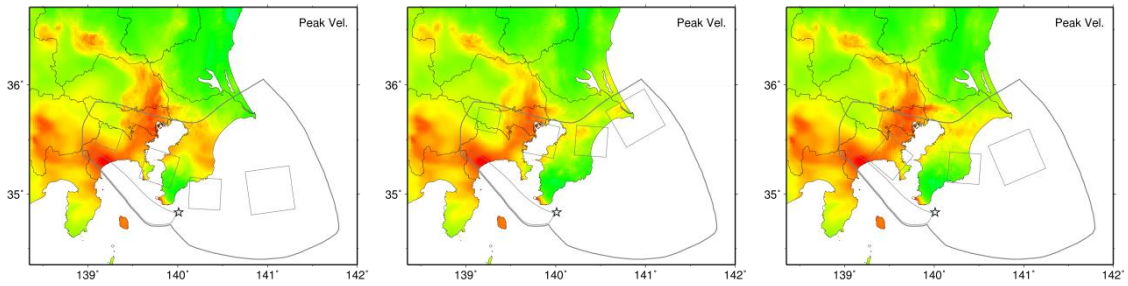
P1s1h1 P2s1h1 P3s1h1



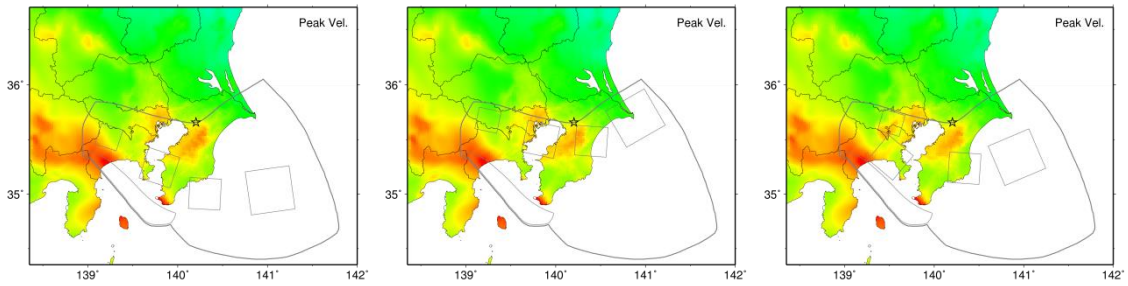
P1s1h2 P2s1h2 P3s1h2



P1s1h3 P2s1h3 P3s1h3



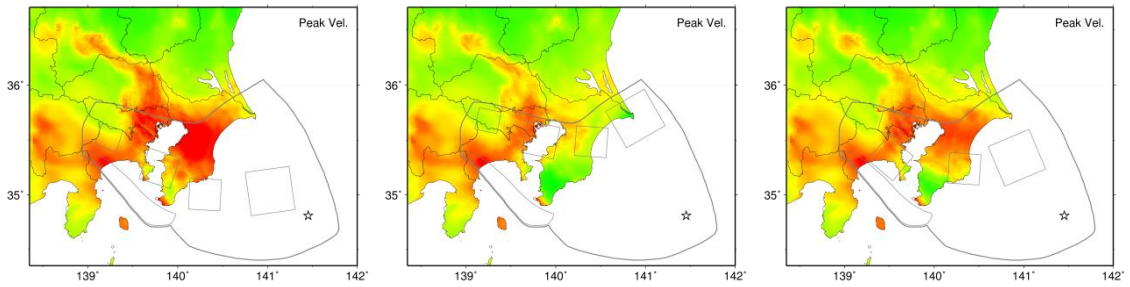
P1s1h4 P2s1h4 P3s1h4



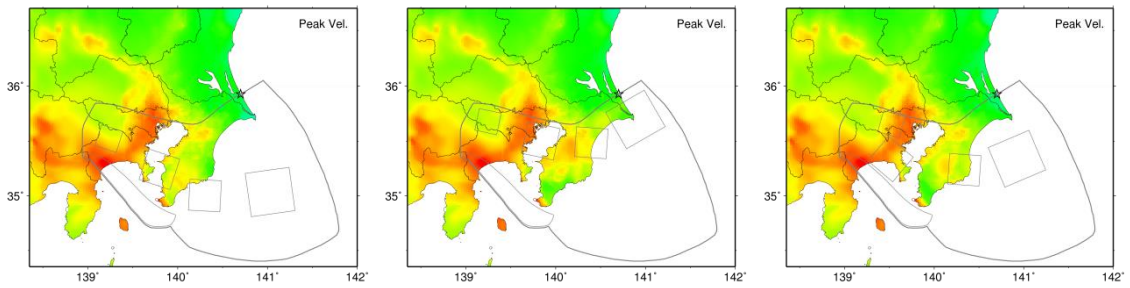


【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.6（smoothed ramp）】

P1s1h5 P2s1h5 P3s1h5

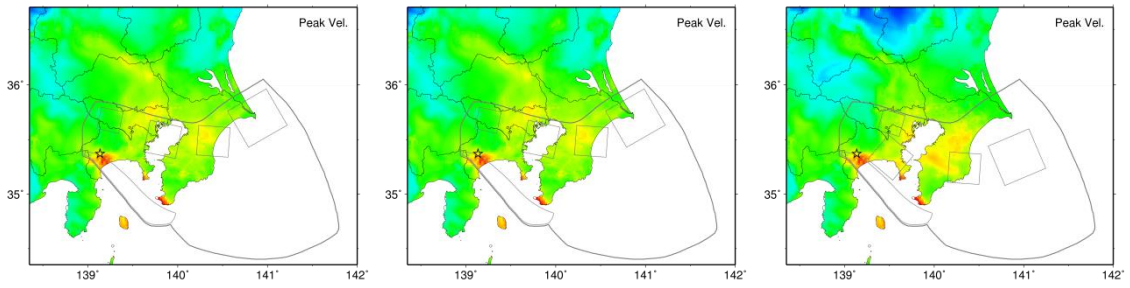


P1s1h6　　P2s1h6　　P3s1h6

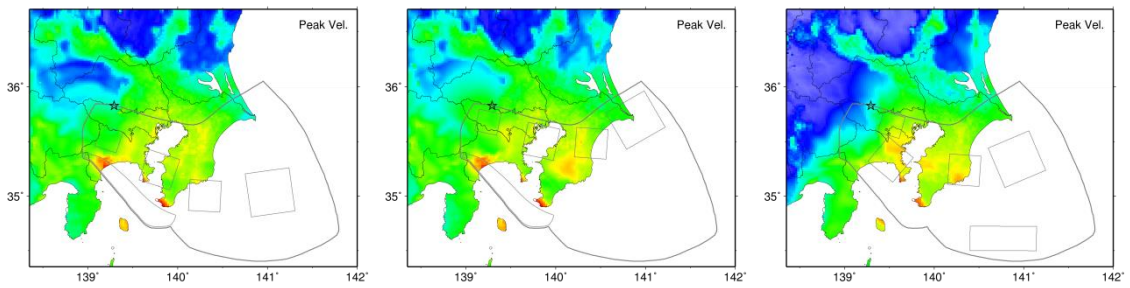


【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.6（Vr=2.3km/s）】

P1s1h1　　P2s1h1　　P3s1h1



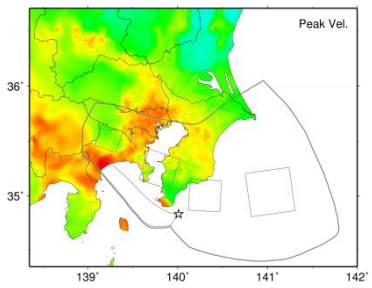
P1s1h2　　P2s1h2　　P3s1h2



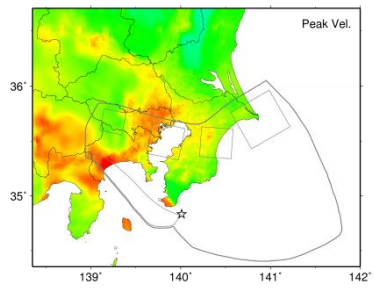


【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.6（Vr=2.3km/s）】

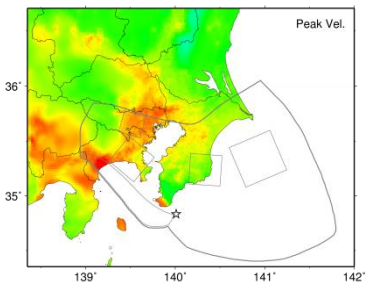
P1s1h3



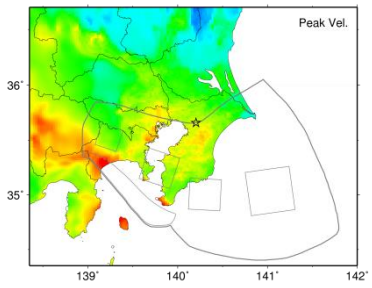
P2s1h3



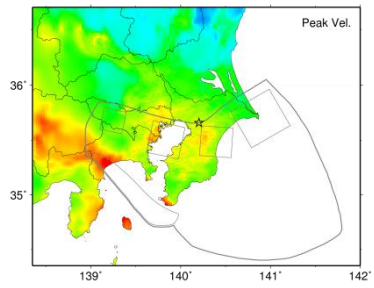
P3s1h3



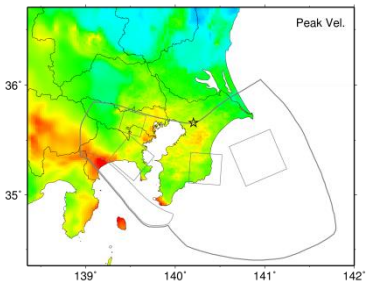
P1s1h4



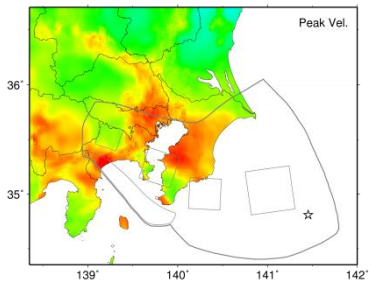
P2s1h4



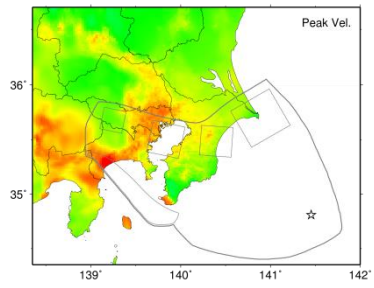
P3s1h4



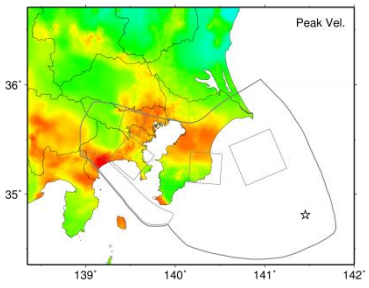
P1s1h5



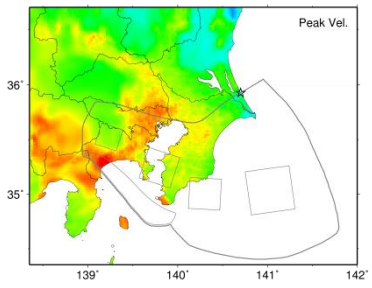
P2s1h5



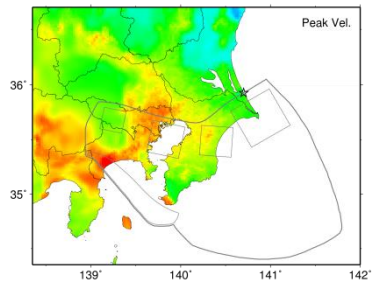
P3s1h5



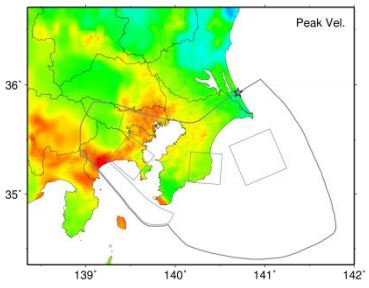
P1s1h6



P2s1h6



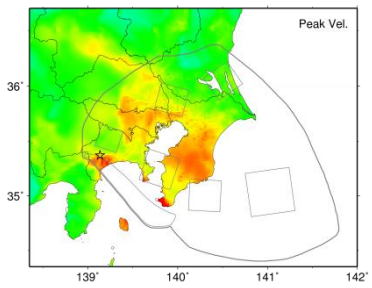
P3s1h6



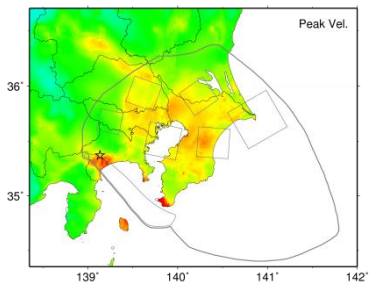


【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.8（基本モデル）】

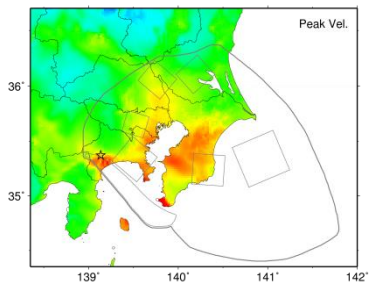
P1s1h1



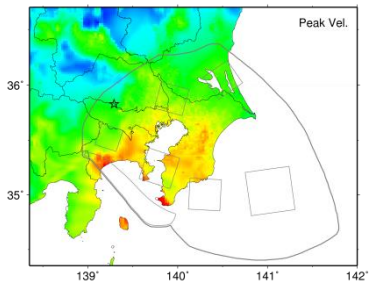
P2s1h1



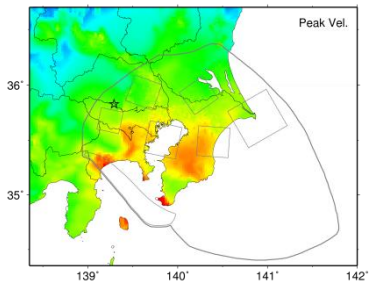
P3s1h1



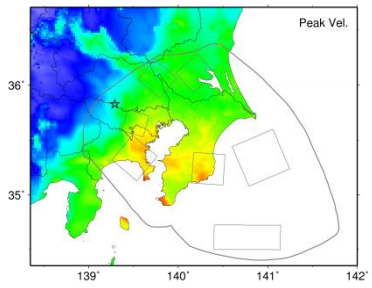
P1s1h2



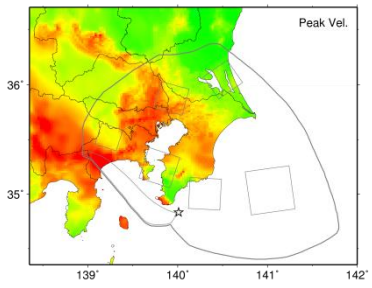
P2s1h2



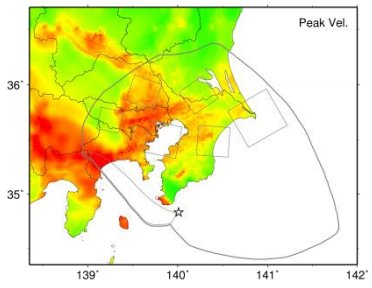
P3s1h2



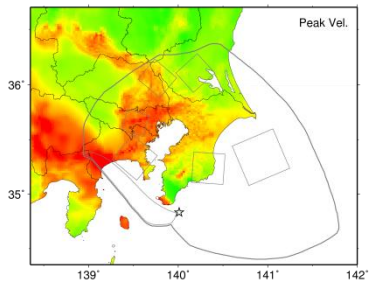
P1s1h3



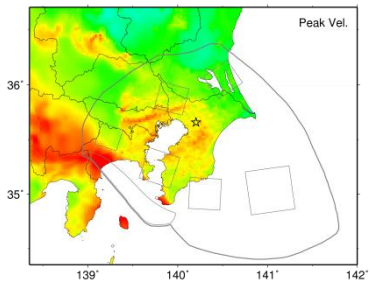
P2s1h3



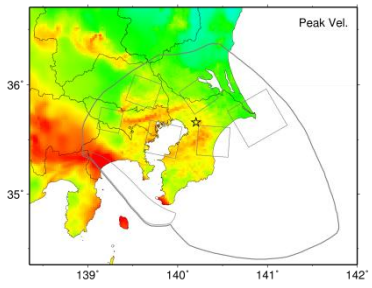
P3s1h3



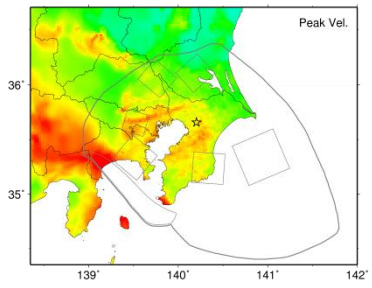
P1s1h4



P2s1h4



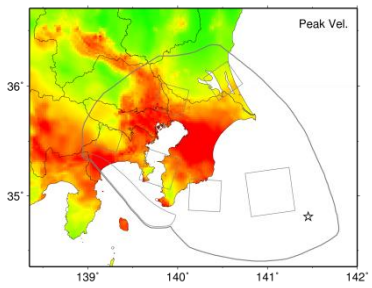
P3s1h4



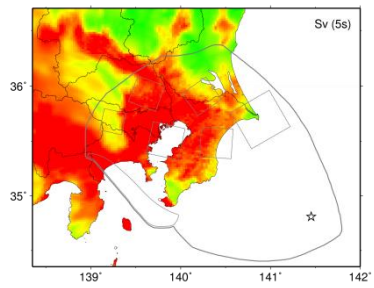


【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.8（基本モデル）】

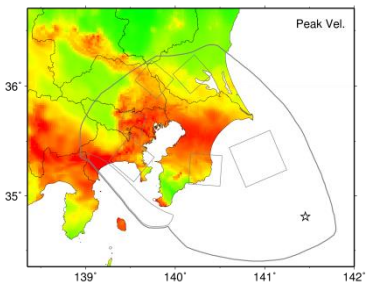
P1s1h5



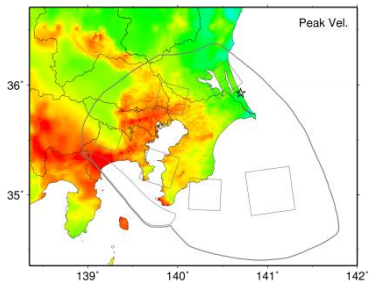
P2s1h5



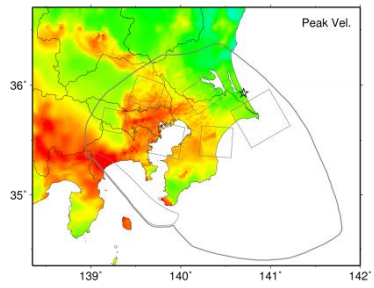
P3s1h5



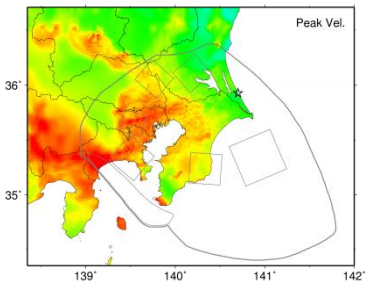
P1s1h6



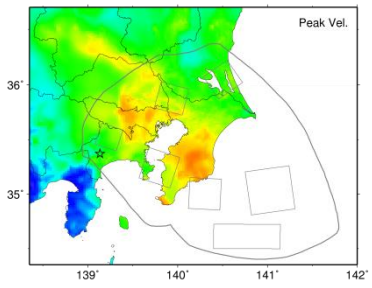
P2s1h6



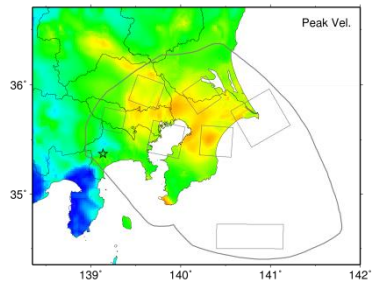
P3s1h6



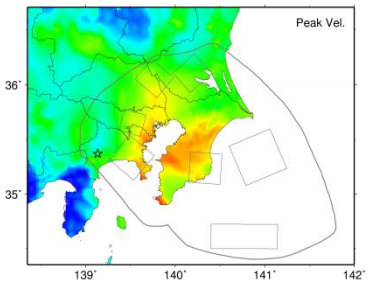
P1s2h1



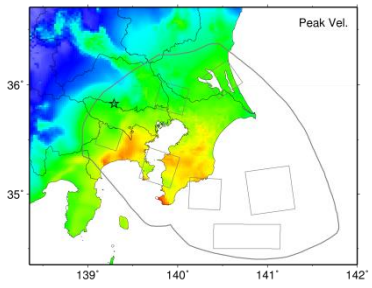
P2s2h1



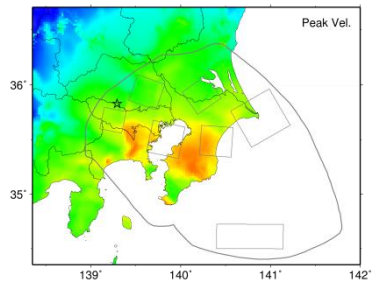
P3s2h1



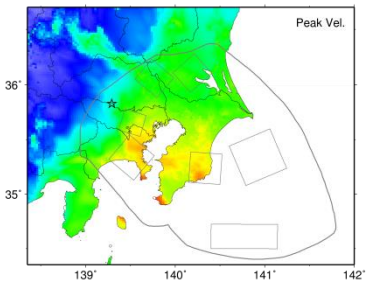
P1s2h2



P2s2h2



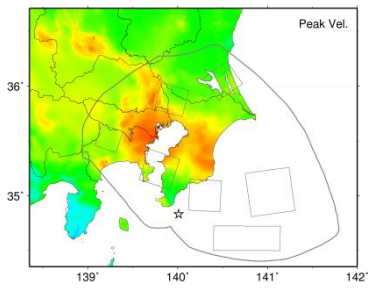
P3s2h2



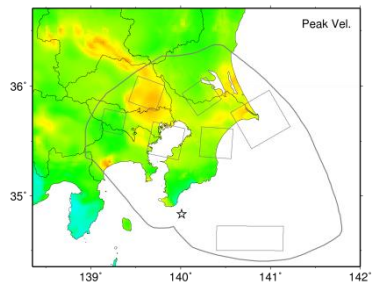


【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.8（基本モデル）】

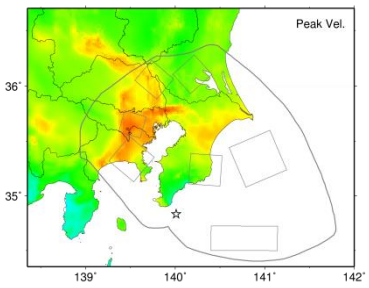
P1s2h3



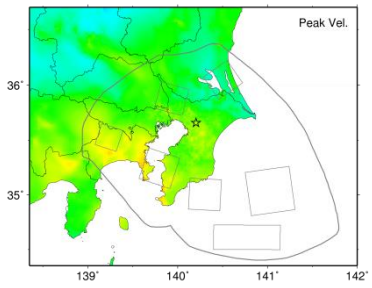
P2s2h3



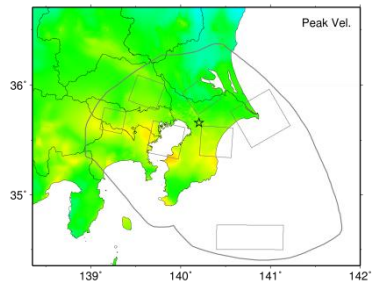
P3s2h3



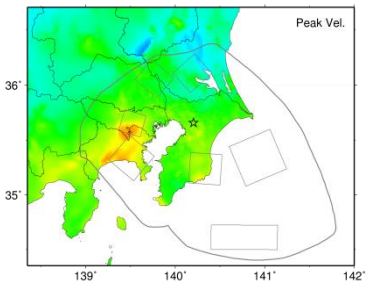
P1s2h4



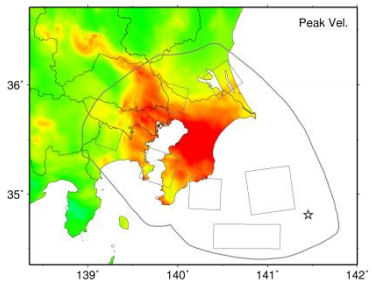
P2s2h4



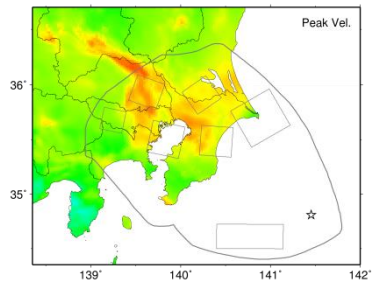
P3s2h4



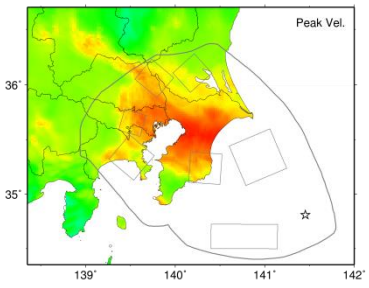
P1s2h5



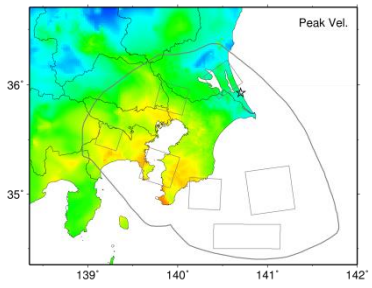
P2s2h5



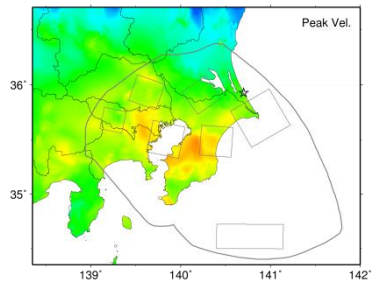
P3s2h5



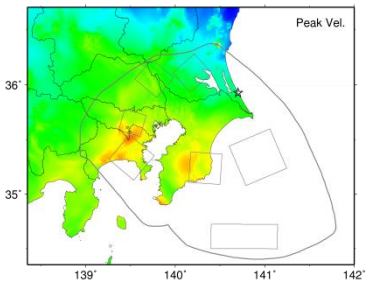
P1s2h6



P2s2h6



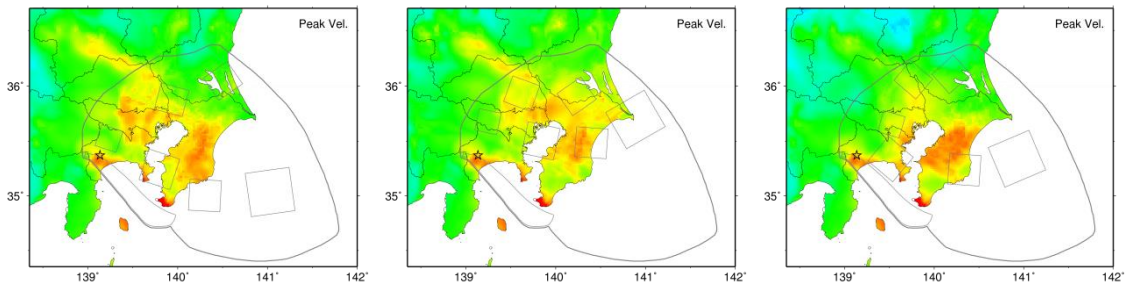
P3s2h6



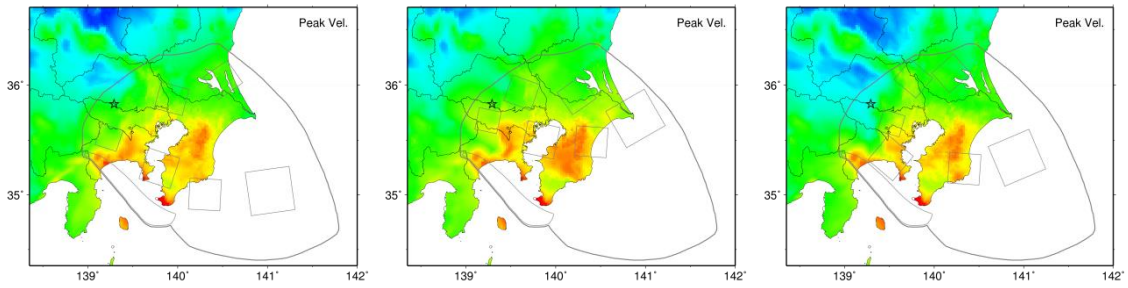


【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.8（smoothed ramp）】

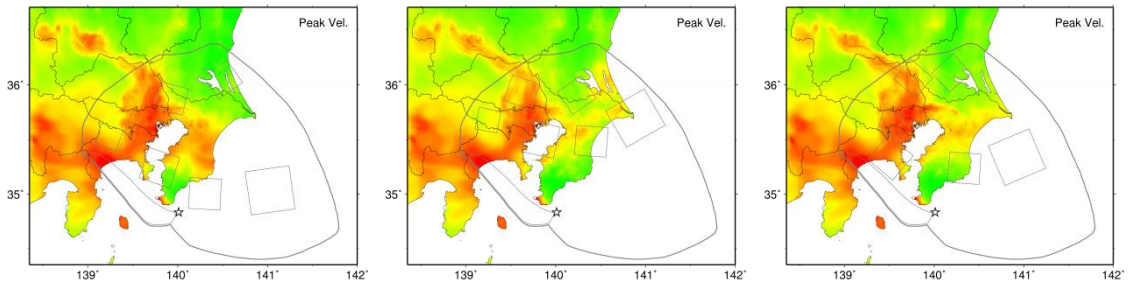
P1s1h1 P2s1h1 P3s1h1



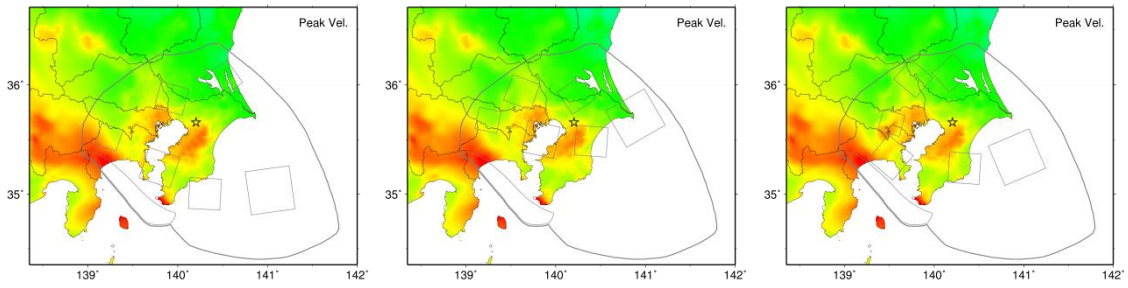
P1s1h2 P2s1h2 P3s1h2



P1s1h3 P2s1h3 P3s1h3



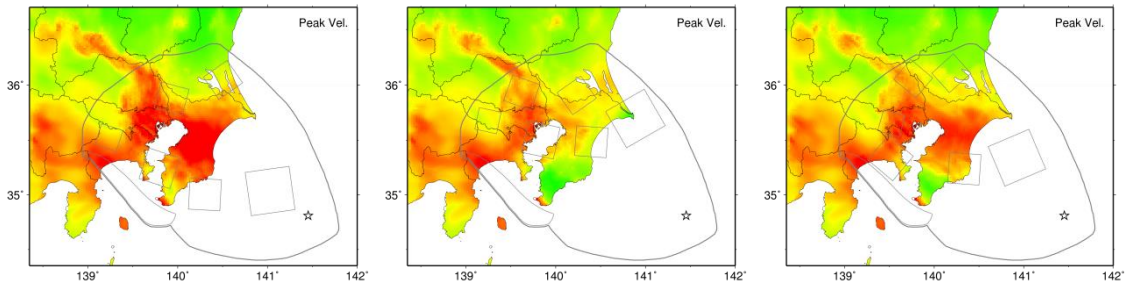
P1s1h4 P2s1h4 P3s1h4



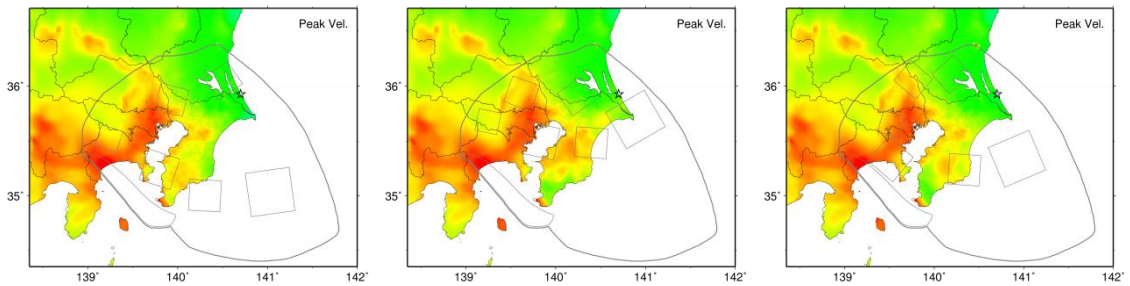


【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.8（smoothed ramp）】

P1s1h5 P2s1h5 P3s1h5

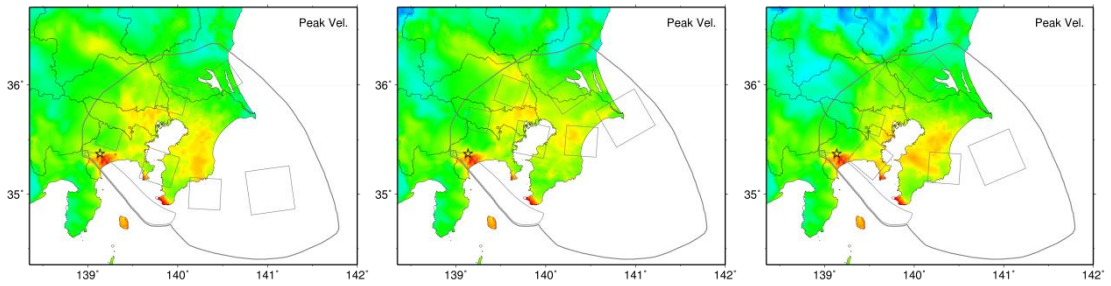


P1s1h6　　P2s1h6　　P3s1h6

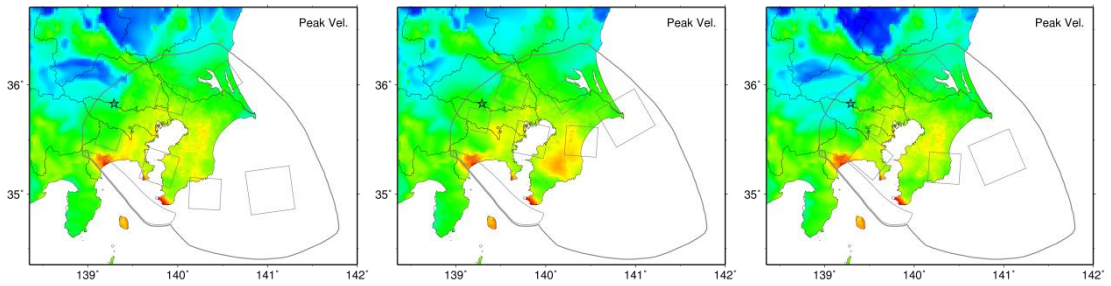


【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.8（Vr=2.3km/s）】

P1s1h1　　P2s1h1　　P3s1h1



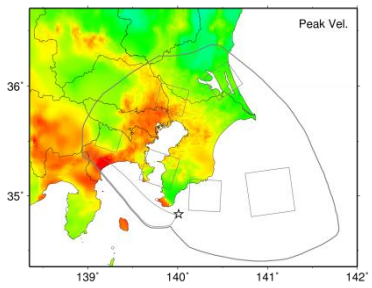
P1s1h2　　P2s1h2　　P3s1h2



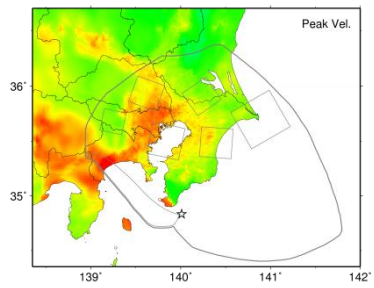


【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.8（Vr=2.3km/s）】

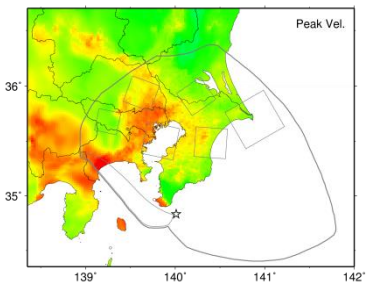
P1s1h3



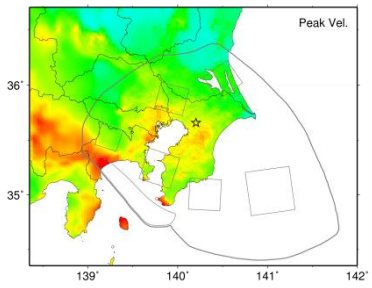
P2s1h3



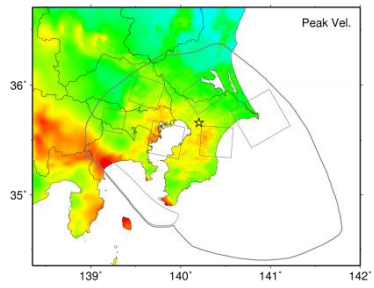
P3s1h3



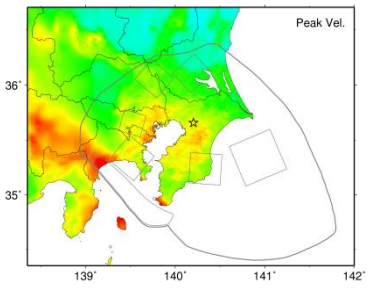
P1s1h4



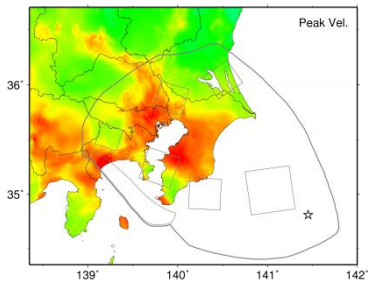
P2s1h4



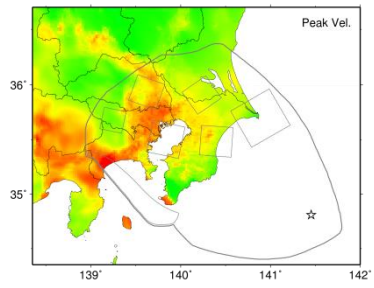
P3s1h4



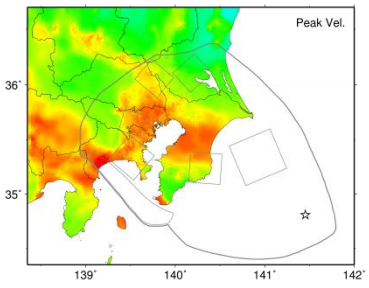
P1s1h5



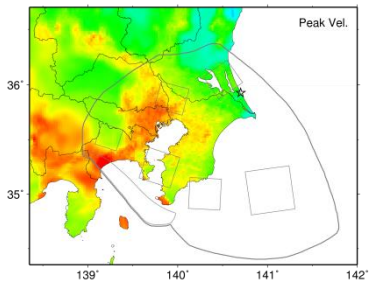
P2s1h5



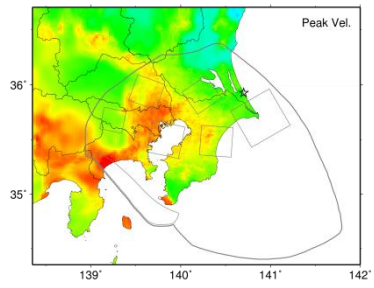
P3s1h5



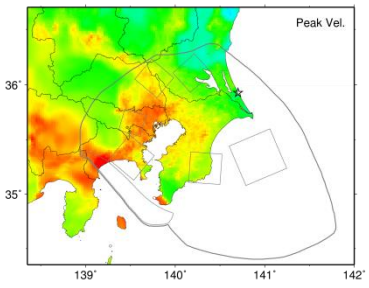
P1s1h6



P2s1h6



P3s1h6

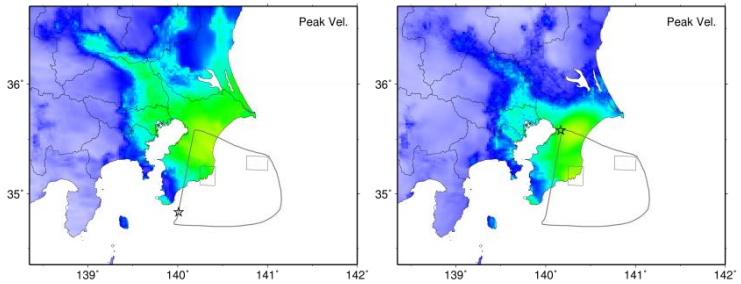




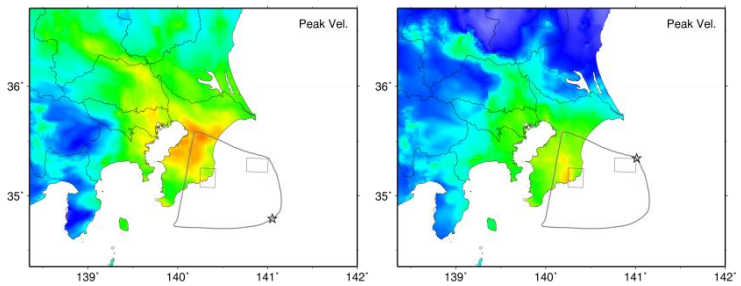
【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.9】

P0h3

P0h4

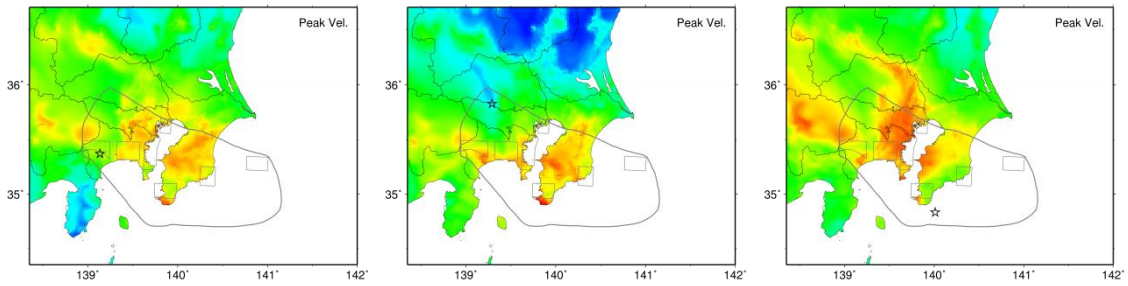


P0h7　　P0h8

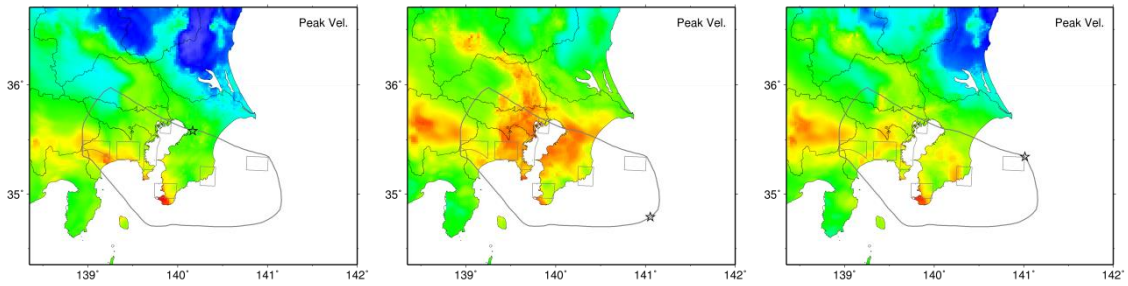


【工学的基盤上の最大速度：震源域 No.10】

P0h1　　P0h2　　P0h3

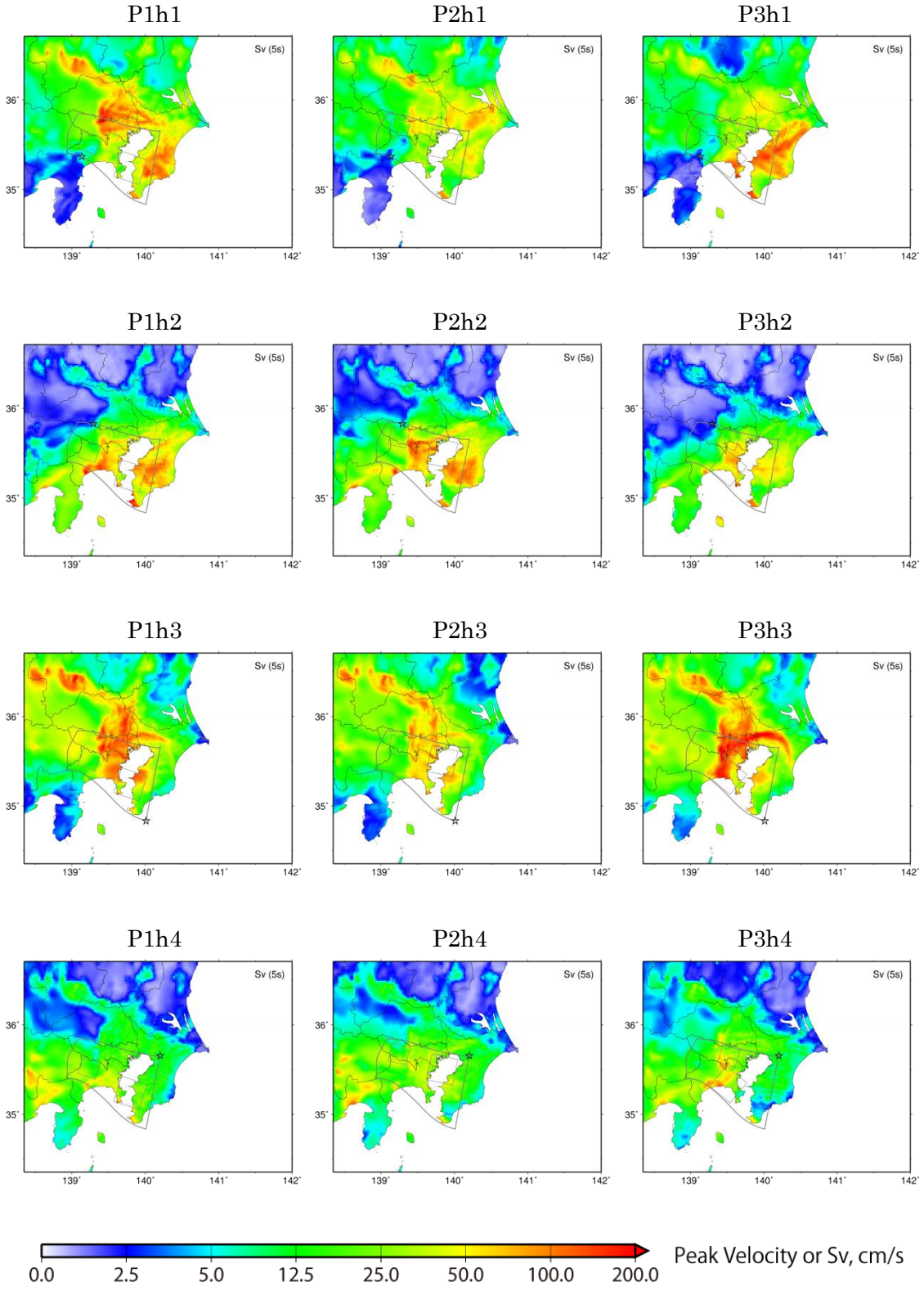


P0h4　　P0h7　　P0h8



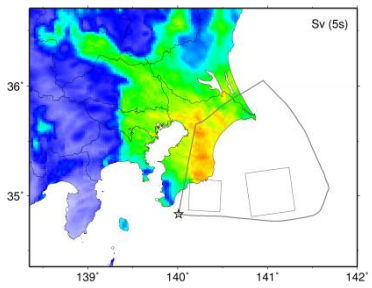


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 5 秒）：震源域 No.1】

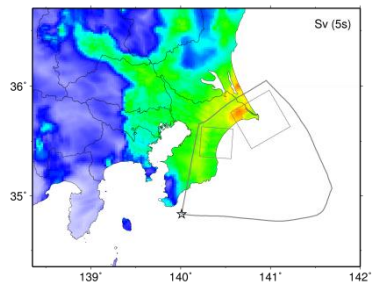


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 5 秒）：震源域 No.2】

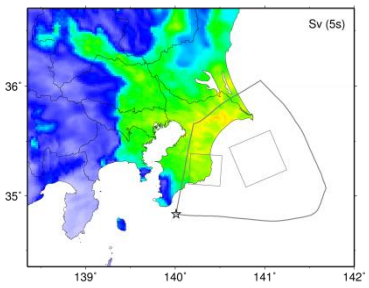
P1h3



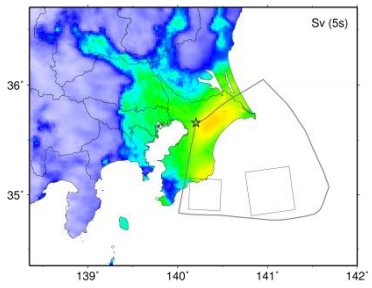
P2h3



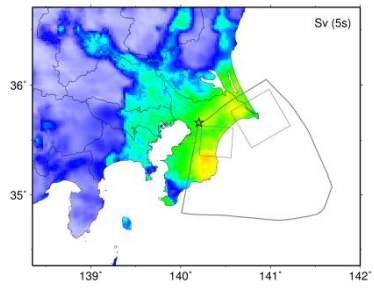
P3h3



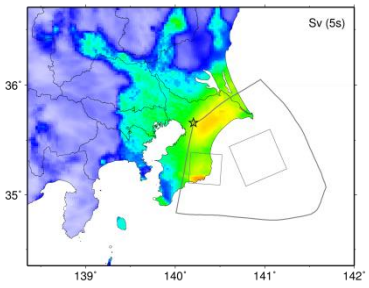
P1h4



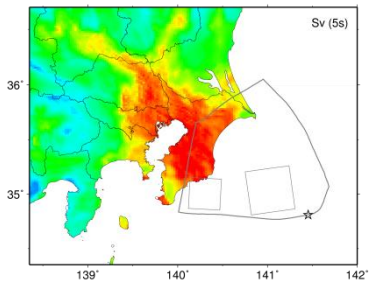
P2h4



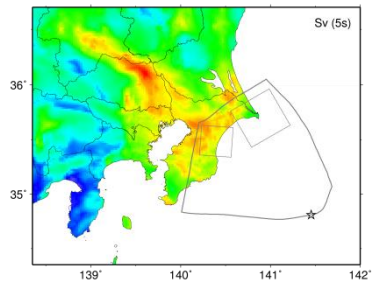
P3h4



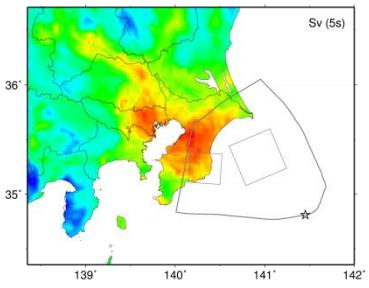
P1h5



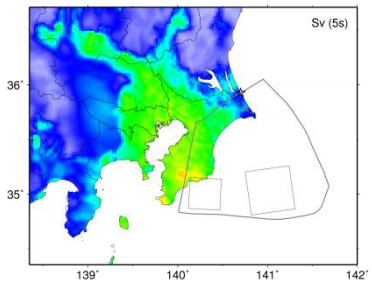
P2h5



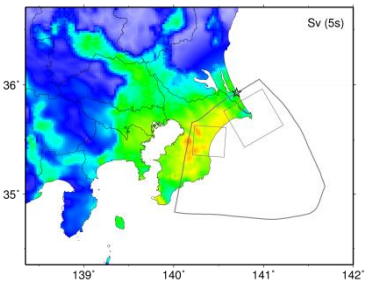
P3h5



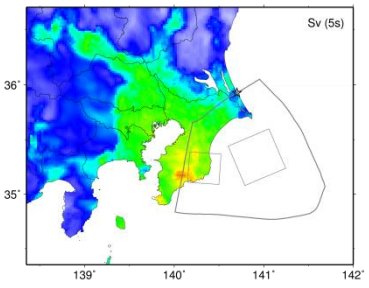
P1h6



P2h6

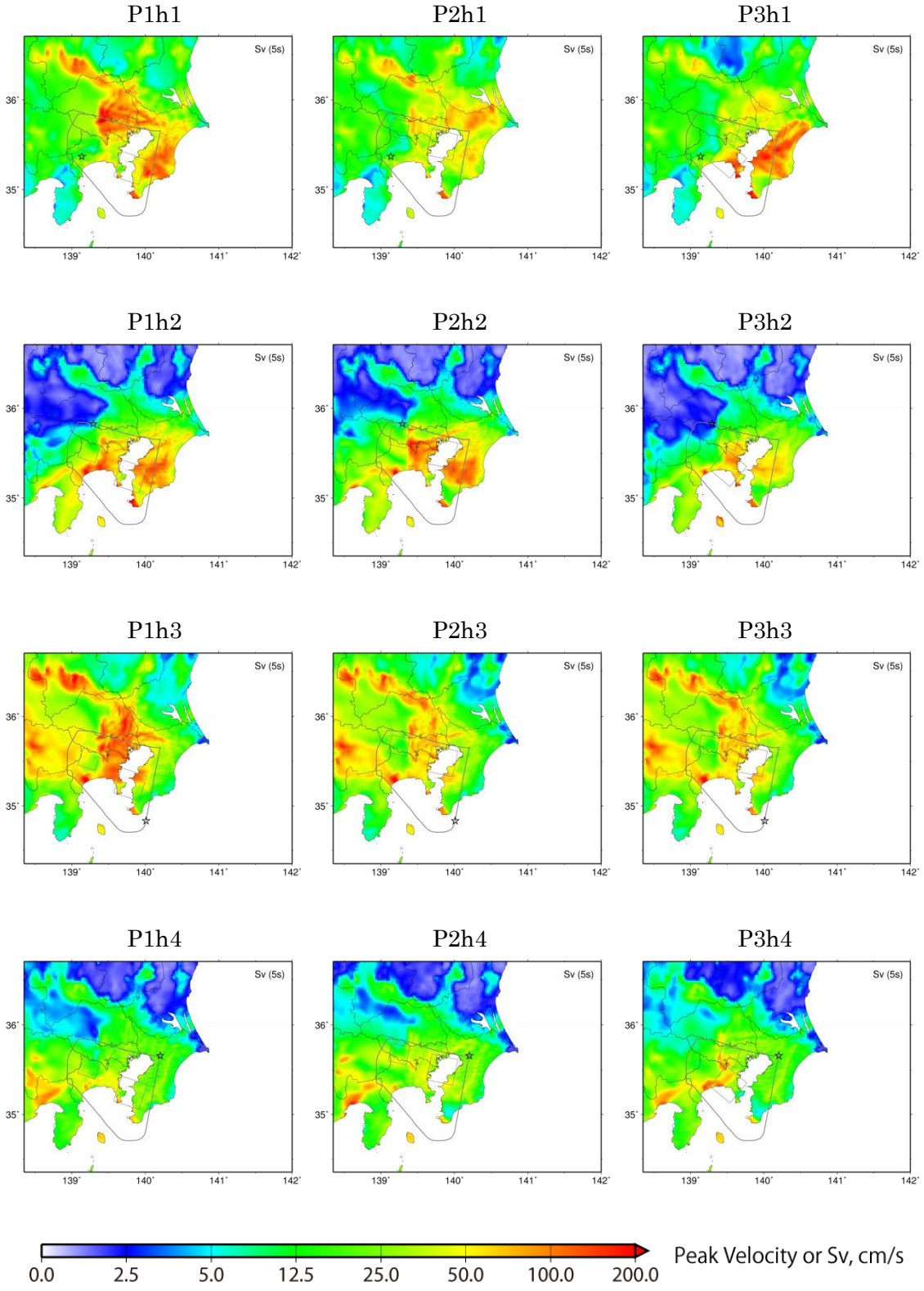


P3h6



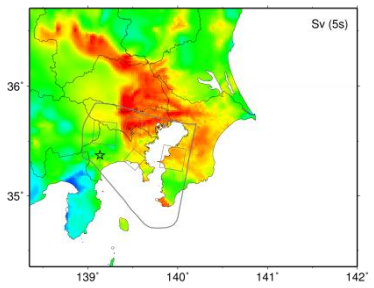


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 5 秒）：震源域 No.3】

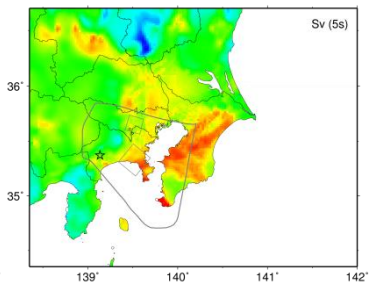


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 5 秒）：震源域 No.3】

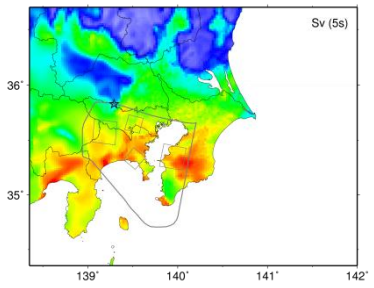
P4h1



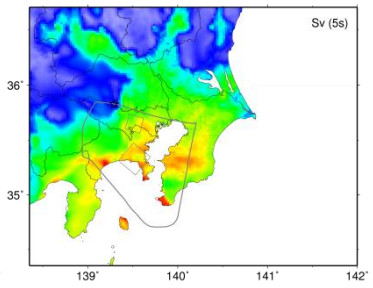
P5h1



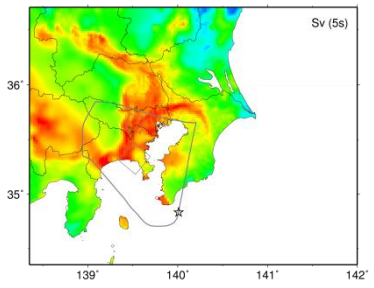
P4h2



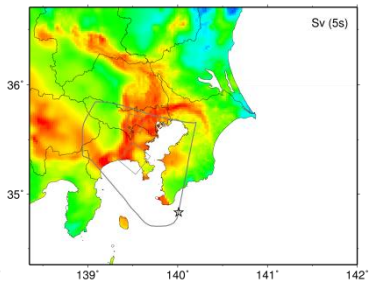
P5h2



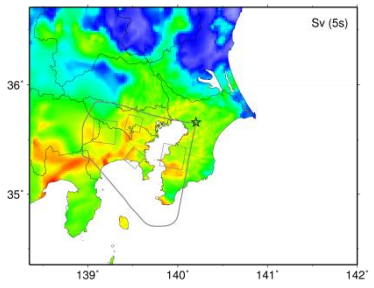
P4h3



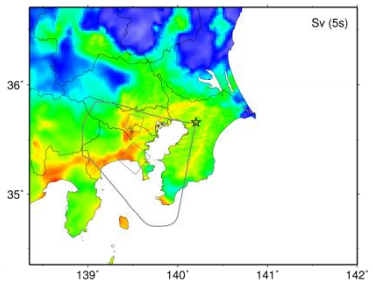
P5h3

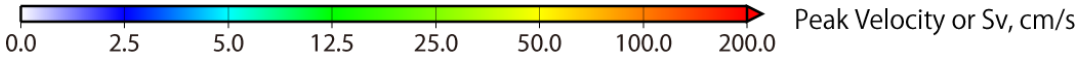


P4h4



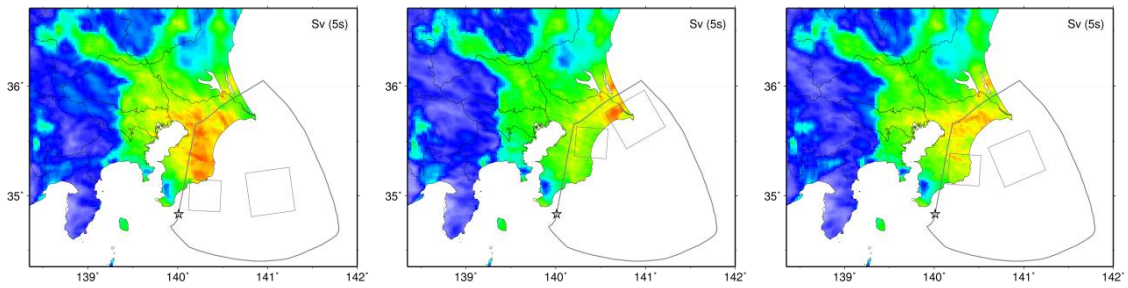
P5h4



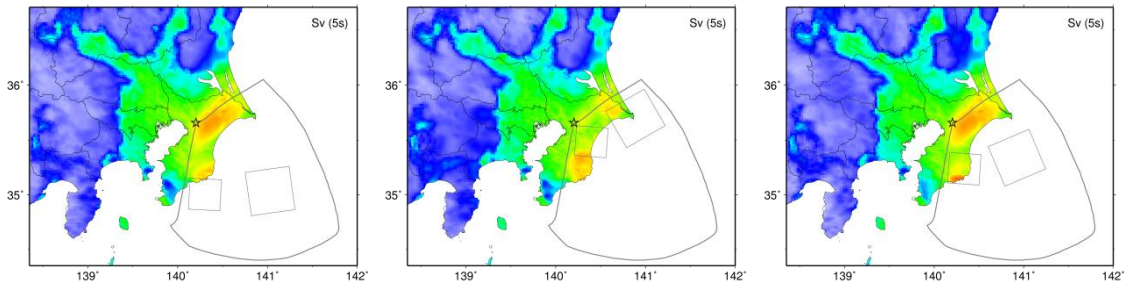


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 5 秒）：震源域 No.4】

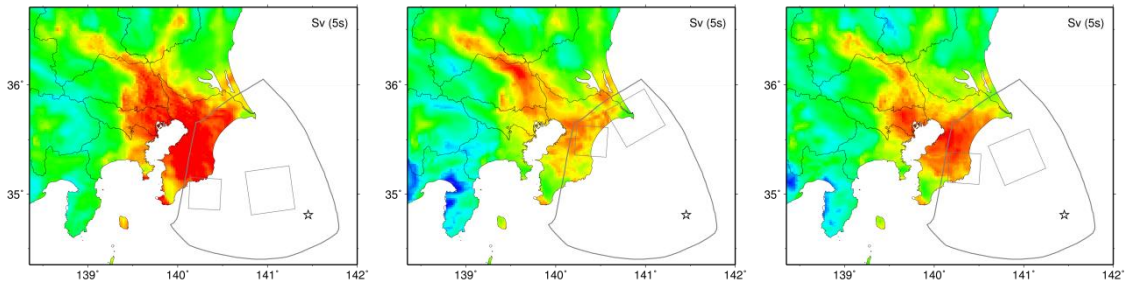
P1h3 P2h3 P3h3



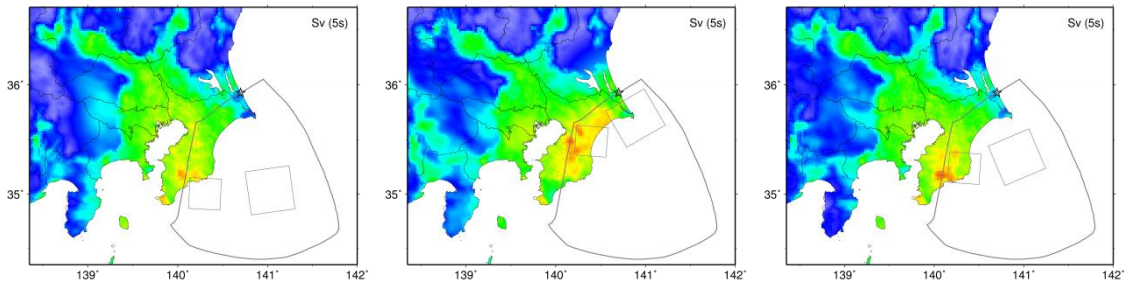
P1h4 P2h4 P3h4



P1h5 P2h5 P3h5



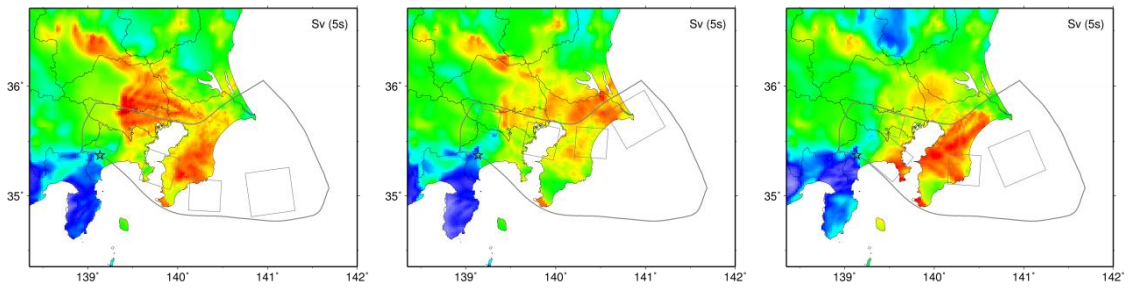
P1h6 P2h6 P3h6



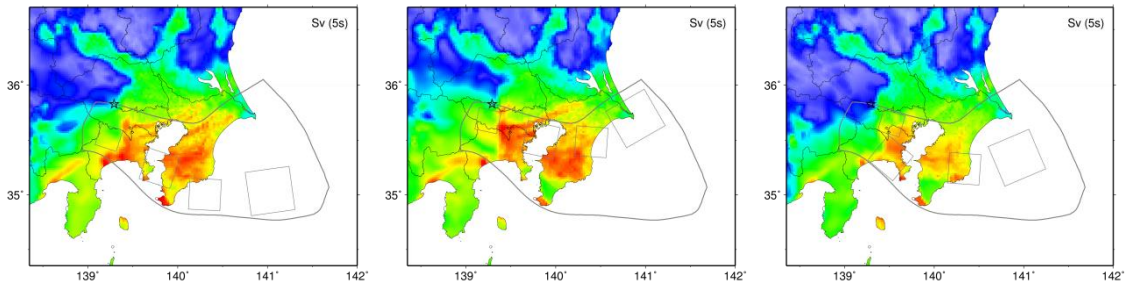


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 5 秒）：震源域 No.5】

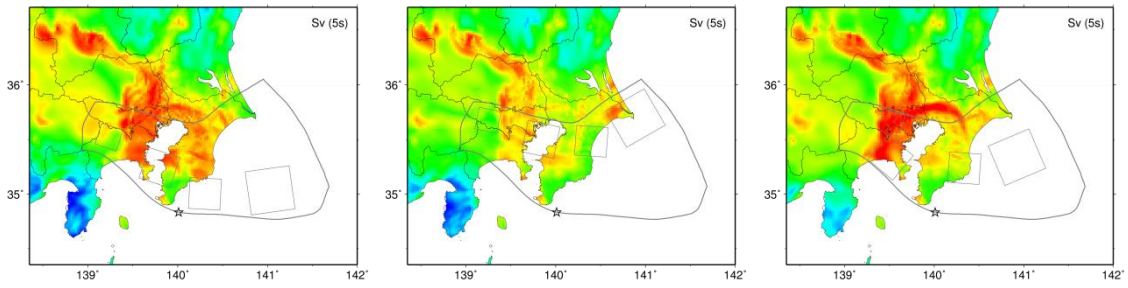
P1h1 P2h1 P3h1



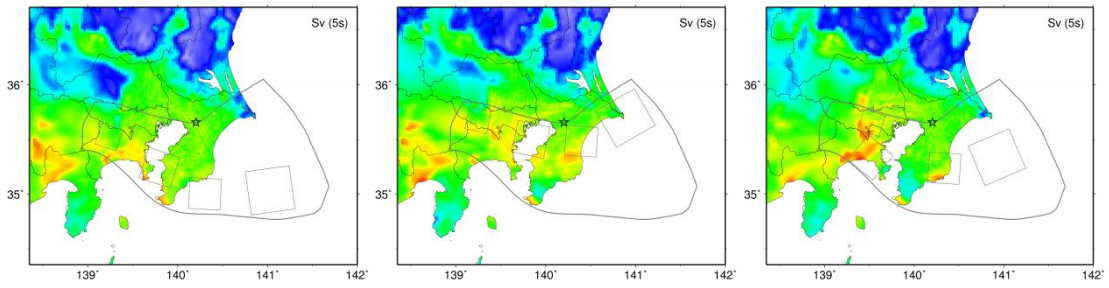
P1h2 P2h2 P3h2



P1h3 P2h3 P3h3



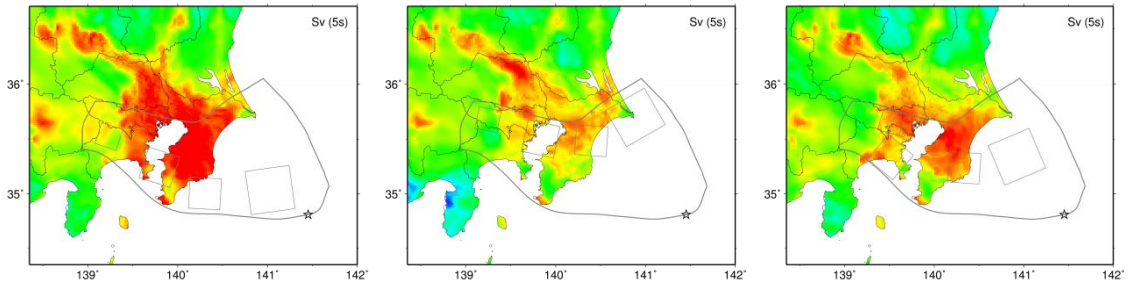
P1h4 P2h4 P3h4



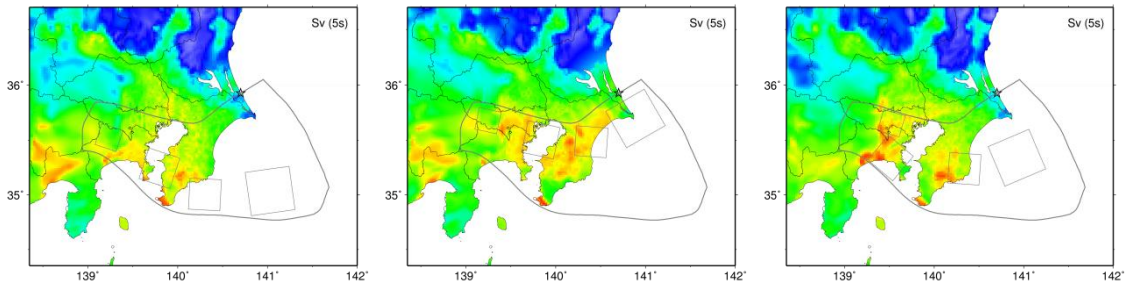


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 5 秒）：震源域 No.5】

P1h5 P2h5 P3h5

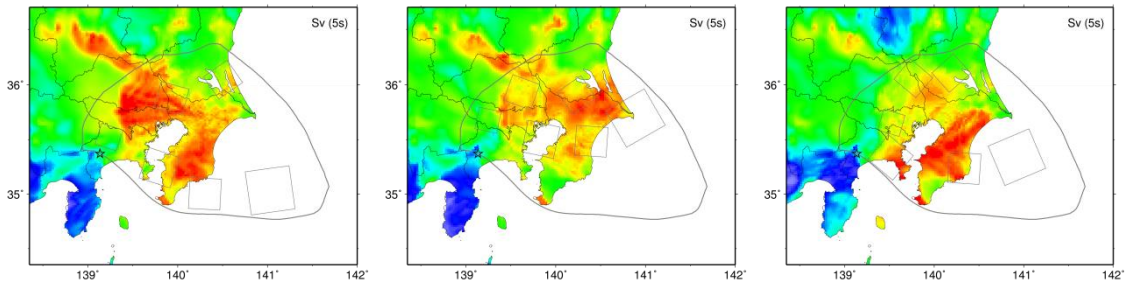


P1h6　　P2h6　　P3h6

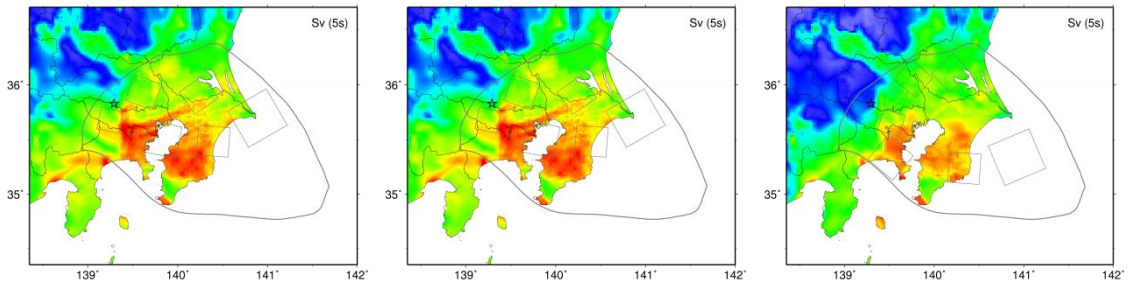


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 5 秒）：震源域 No.7】

P1h1　　P2h1　　P3h1



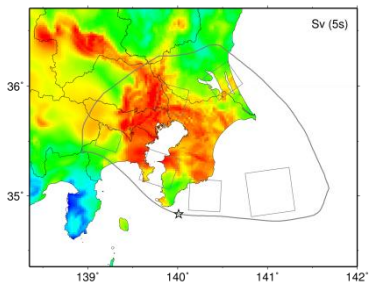
P1h2　　P2h2　　P3h2



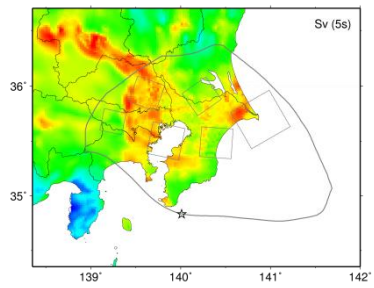


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 5 秒）：震源域 No.7】

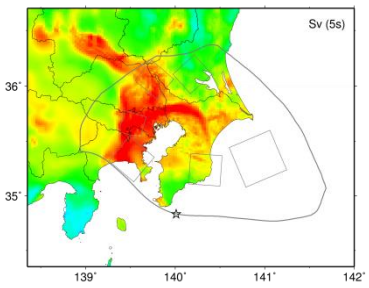
P1h3



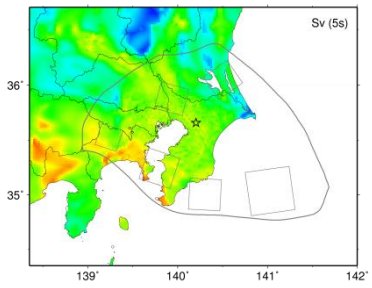
P2h3



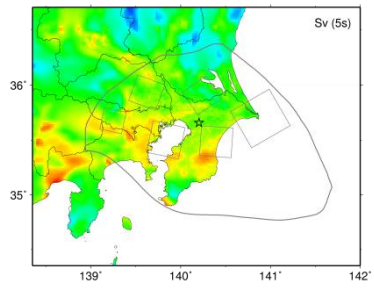
P3h3



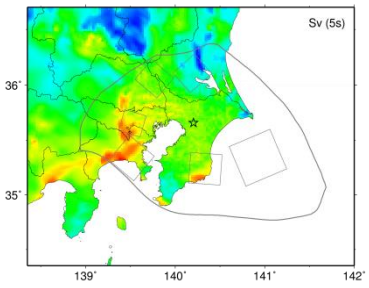
P1h4



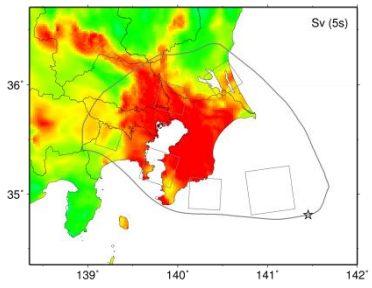
P2h4



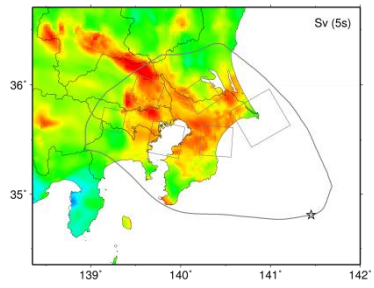
P3h4



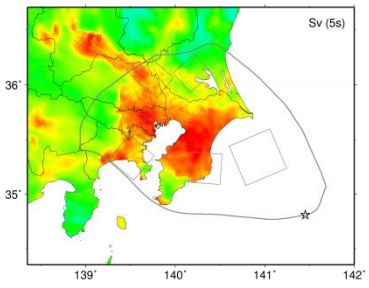
P1h5



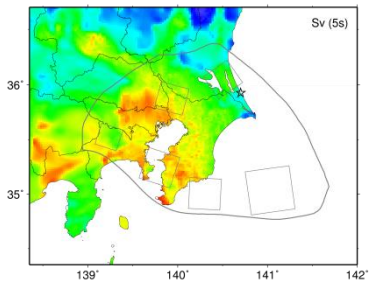
P2h5



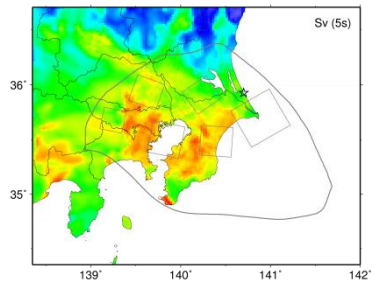
P3h5



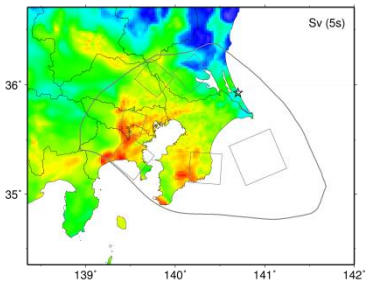
P1h6



P2h6



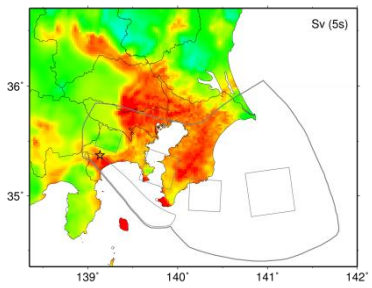
P3h6



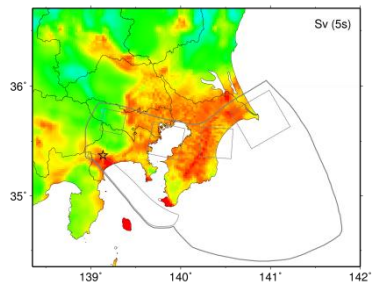


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 5 秒）：震源域 No.6（基本モデル）】

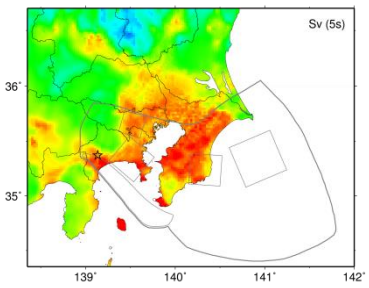
P1s1h1



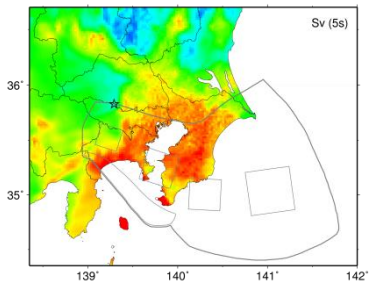
P2s1h1



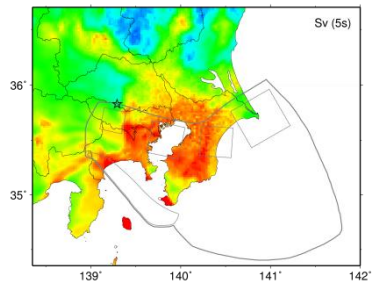
P3s1h1



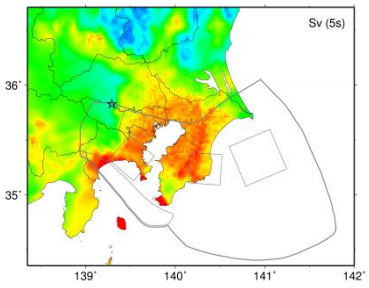
P1s1h2



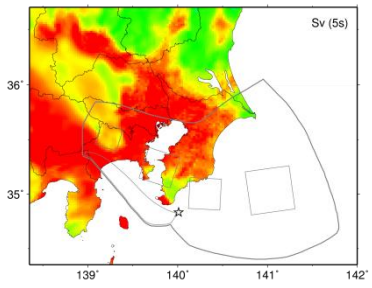
P2s1h2



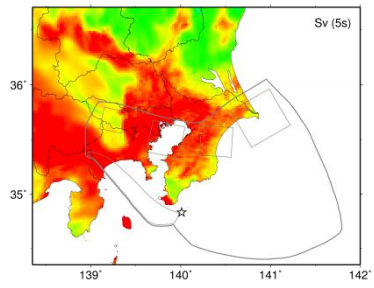
P3s1h2



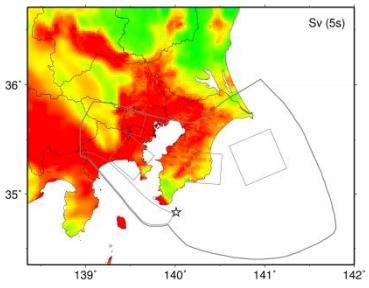
P1s1h3



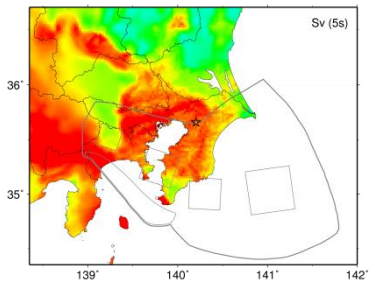
P2s1h3



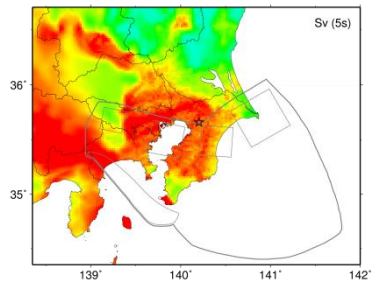
P3s1h3



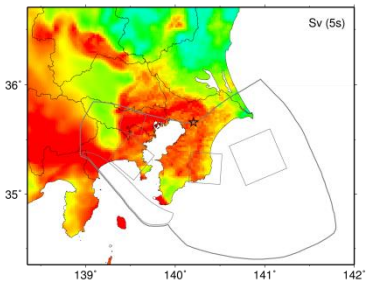
P1s1h4



P2s1h4



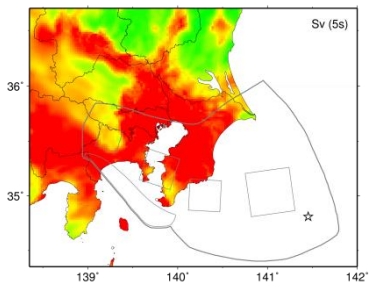
P3s1h4



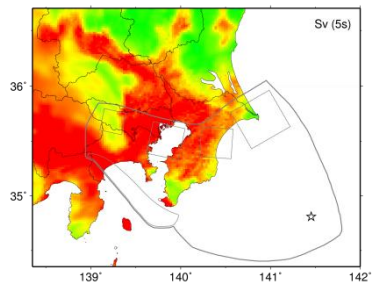


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 5 秒）：震源域 No.6（基本モデル）】

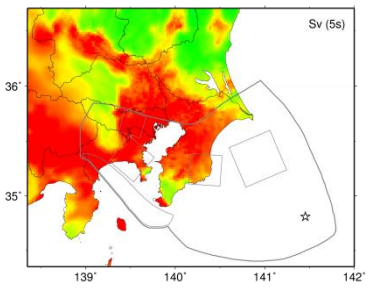
P1s1h5



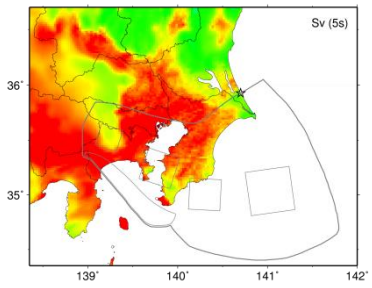
P2s1h5



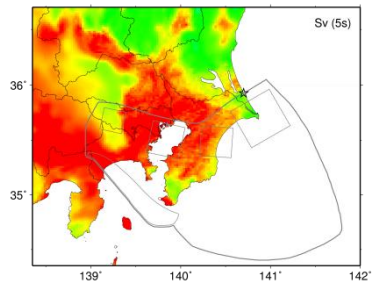
P3s1h5



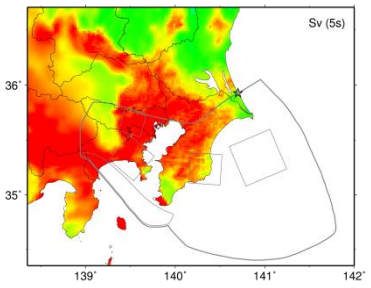
P1s1h6



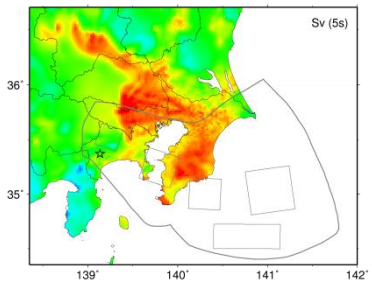
P2s1h6



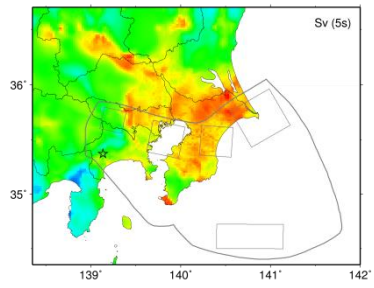
P3s1h6



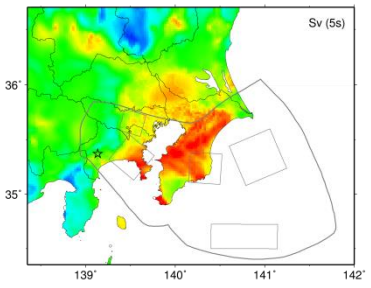
P1s2h1



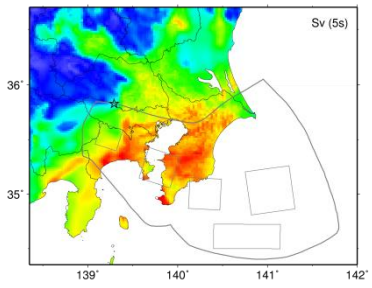
P2s2h1



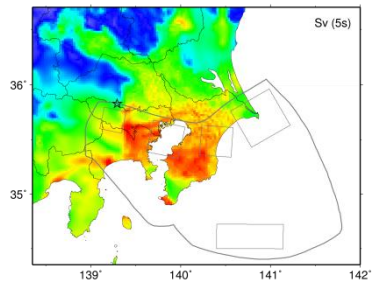
P3s2h1



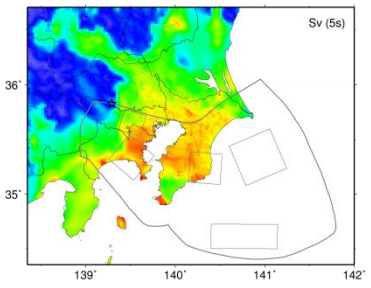
P1s2h2



P2s2h2



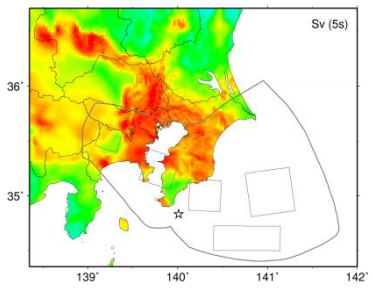
P3s2h2



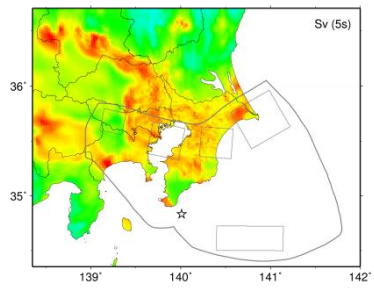


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 5 秒）：震源域 No.6（基本モデル）】

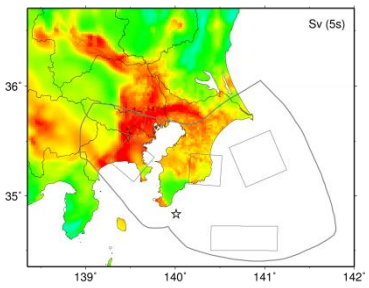
P1s2h3



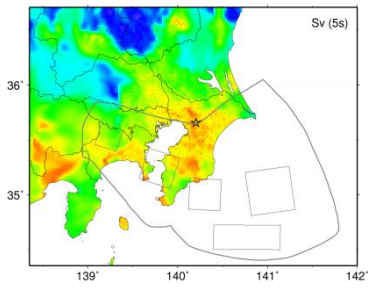
P2s2h3



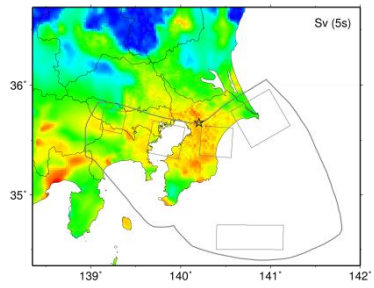
P3s2h3



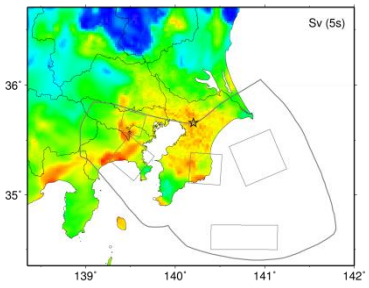
P1s2h4



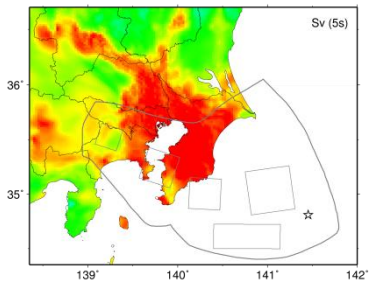
P2s2h4



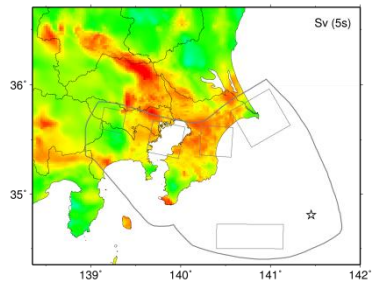
P3s2h4



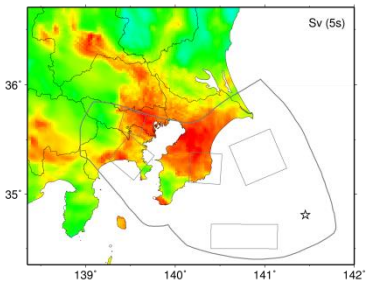
P1s2h5



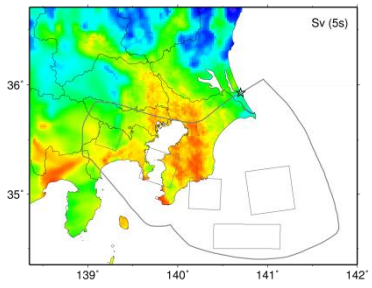
P2s2h5



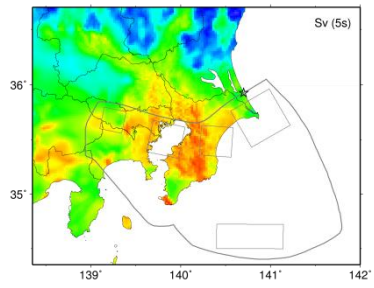
P3s2h5



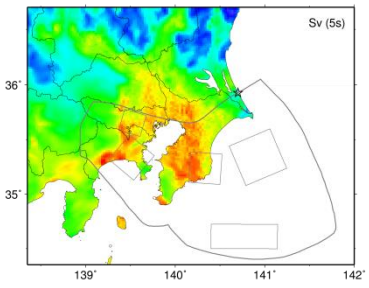
P1s2h6



P2s2h6



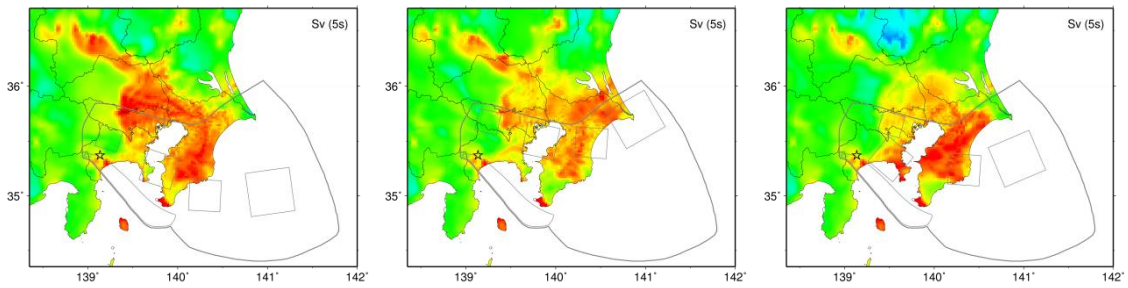
P3s2h6



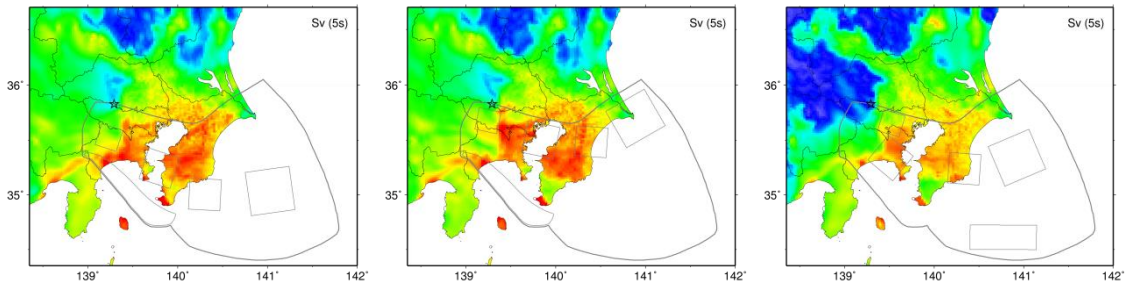


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5% ; 周期 5 秒）: 震源域 No.6（smoothed ramp）】

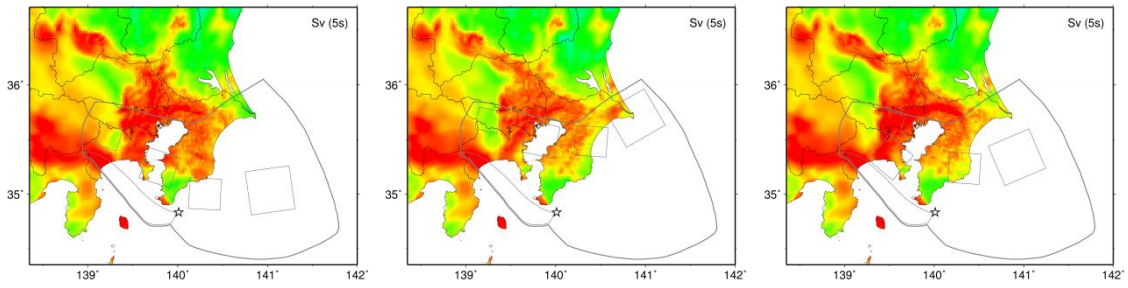
P1s1h1 P2s1h1 P3s1h1



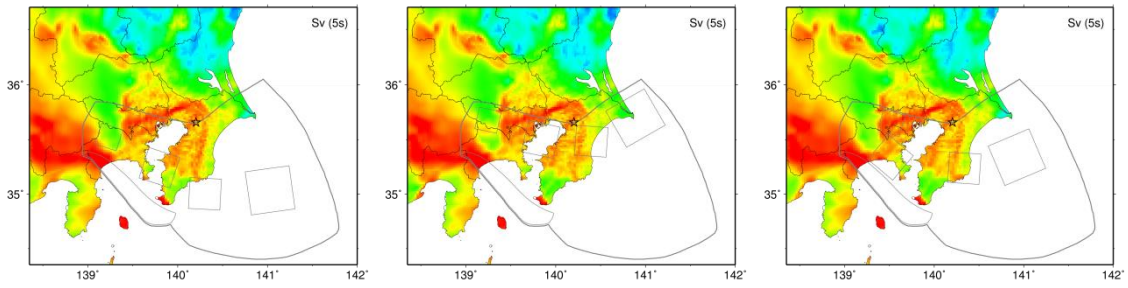
P1s1h2 P2s1h2 P3s1h2



P1s1h3 P2s1h3 P3s1h3



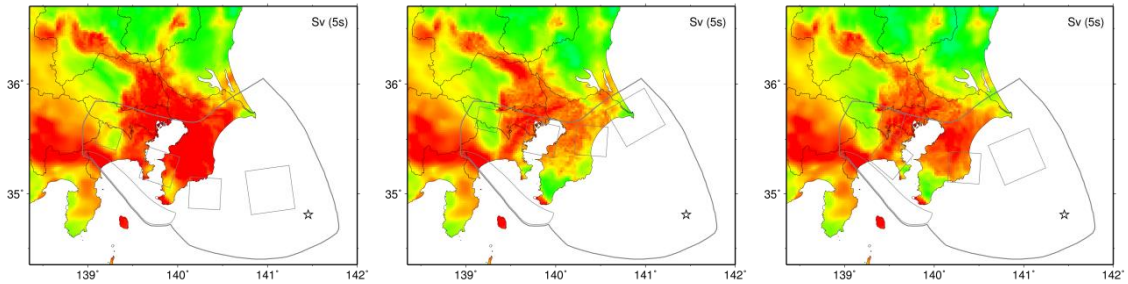
P1s1h4 P2s1h4 P3s1h4



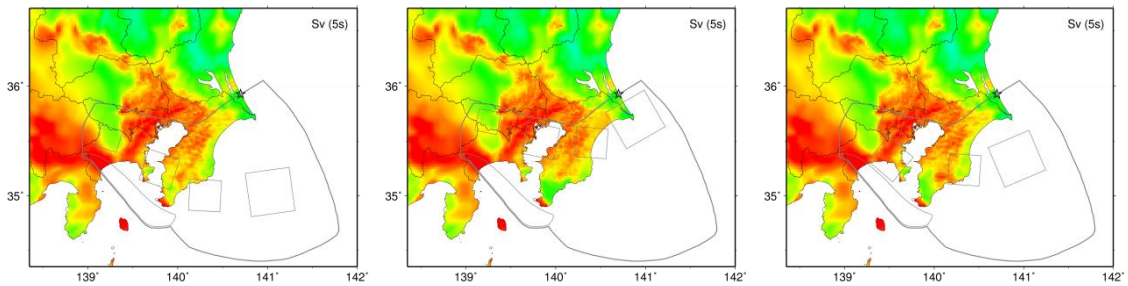


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5% ; 周期 5 秒）: 震源域 No.6（smoothed ramp）】

P1s1h5 P2s1h5 P3s1h5

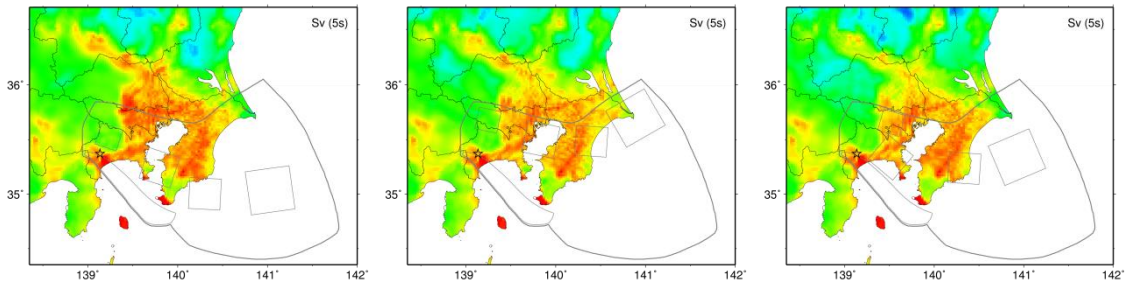


P1s1h6　　P2s1h6　　P3s1h6

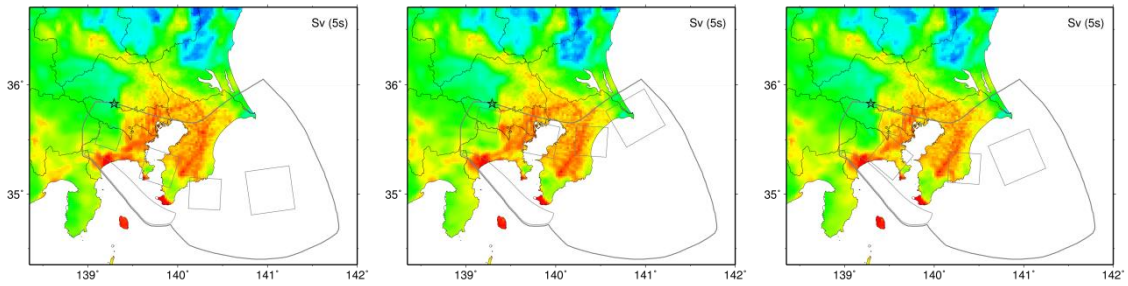


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 5 秒）：震源域 No.6（Vr=2.3km/s）】

P1s1h1　　P2s1h1　　P3s1h1



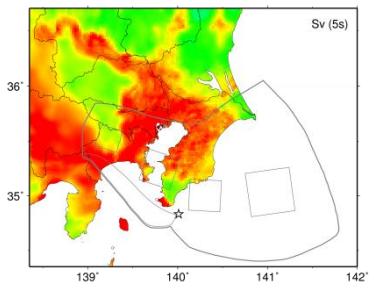
P1s1h2　　P2s1h2　　P3s1h2



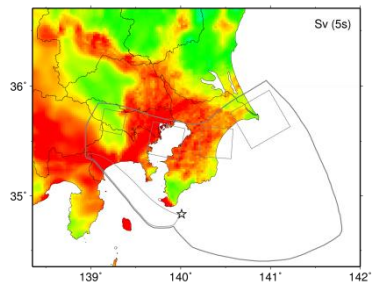


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 5 秒）：震源域 No.6（Vr=2.3km/s）】

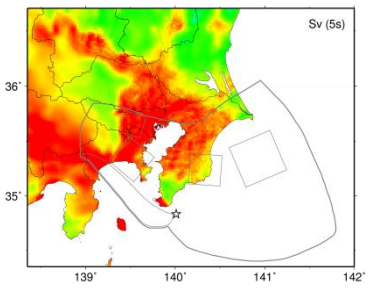
P1s1h3



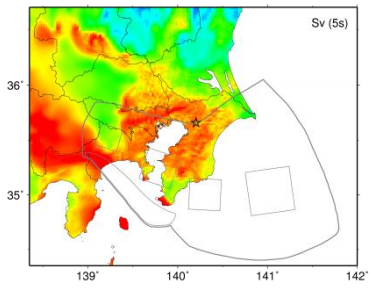
P2s1h3



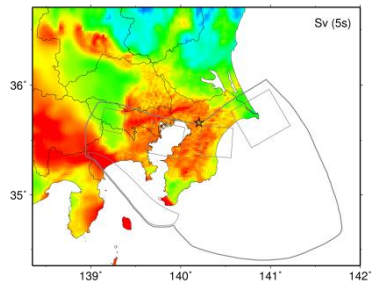
P3s1h3



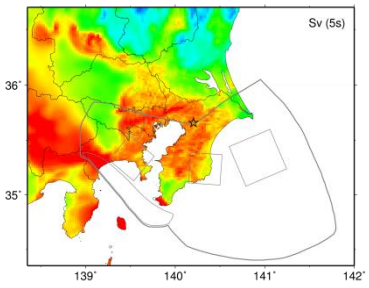
P1s1h4



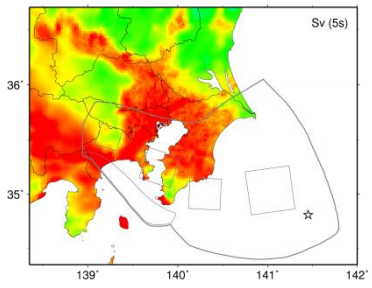
P2s1h4



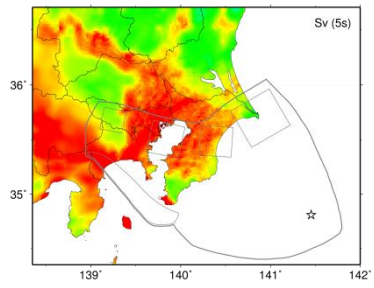
P3s1h4



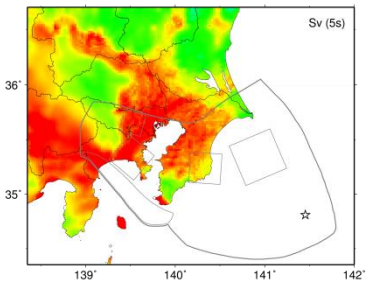
P1s1h5



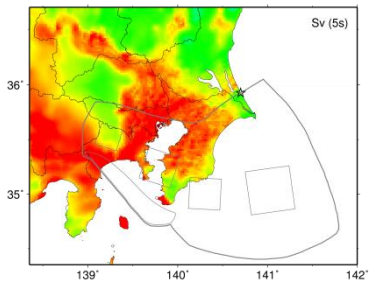
P2s1h5



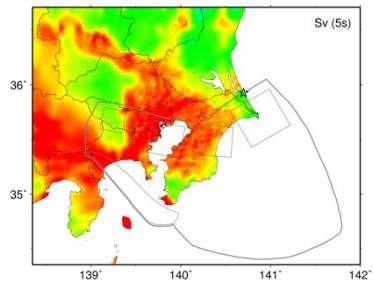
P3s1h5



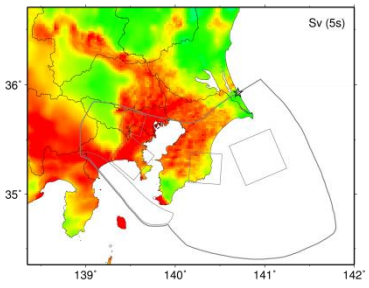
P1s1h6



P2s1h6



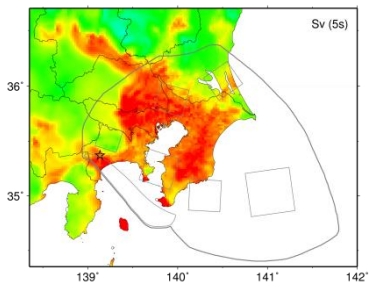
P3s1h6



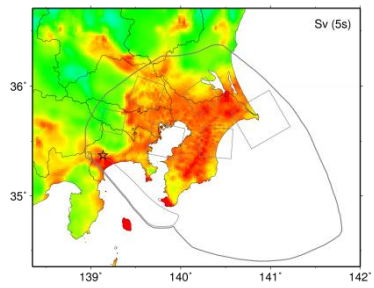


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 5 秒）：震源域 No.8（基本モデル）】

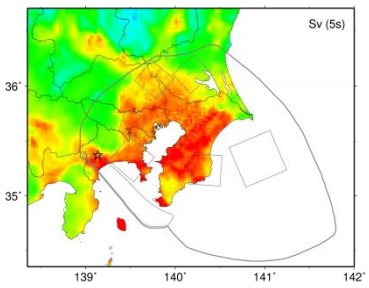
P1s1h1



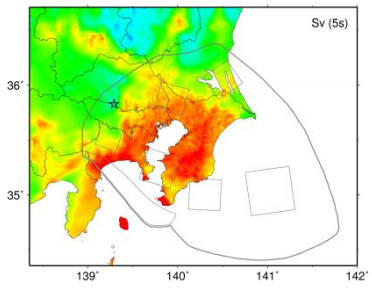
P2s1h1



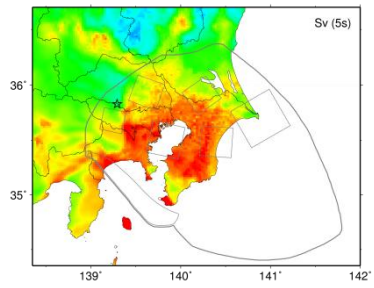
P3s1h1



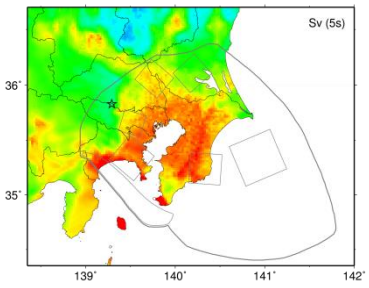
P1s1h2



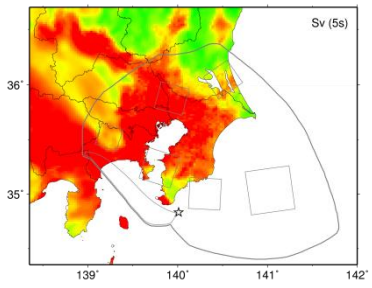
P2s1h2



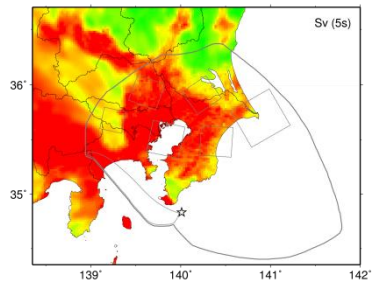
P3s1h2



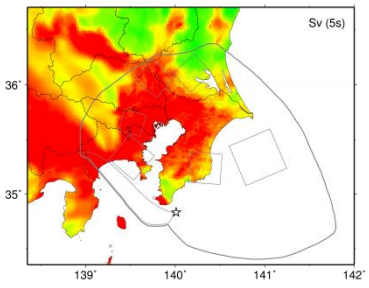
P1s1h3



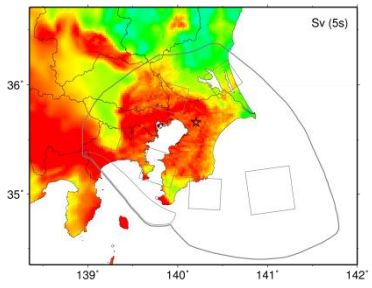
P2s1h3



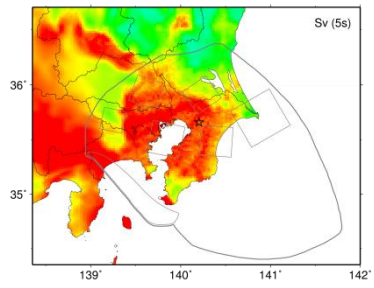
P3s1h3



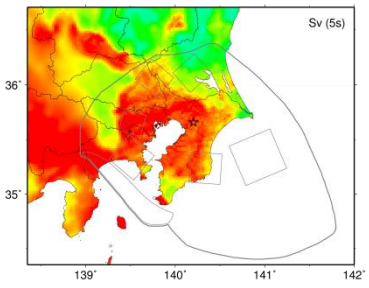
P1s1h4



P2s1h4



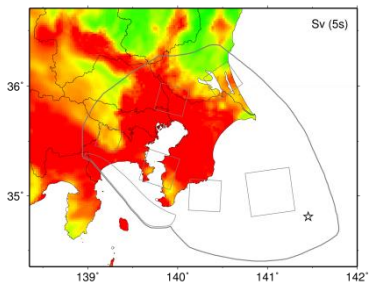
P3s1h4



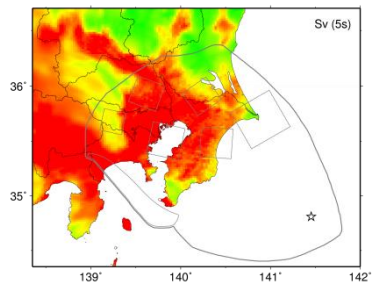


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 5 秒）：震源域 No.8（基本モデル）】

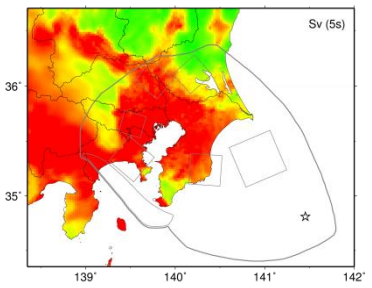
P1s1h5



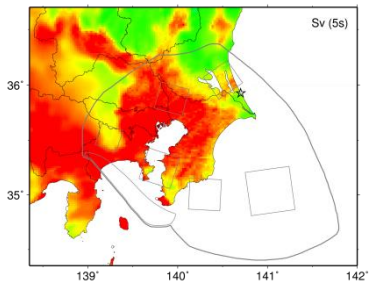
P2s1h5



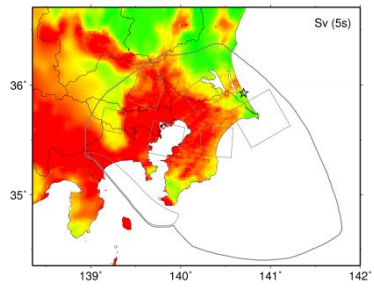
P3s1h5



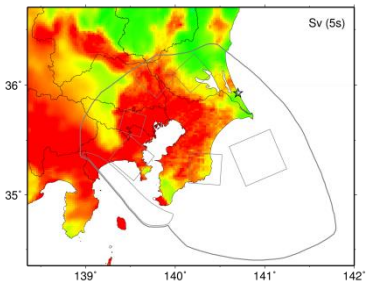
P1s1h6



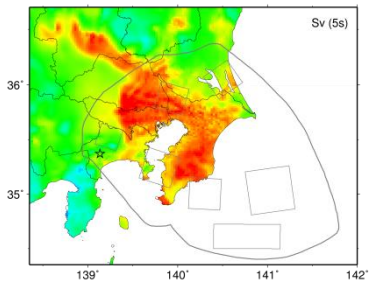
P2s1h6



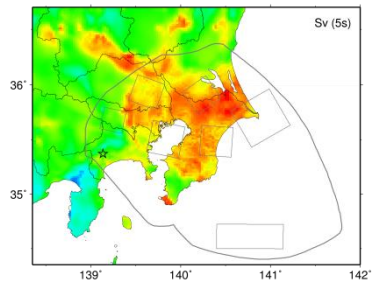
P3s1h6



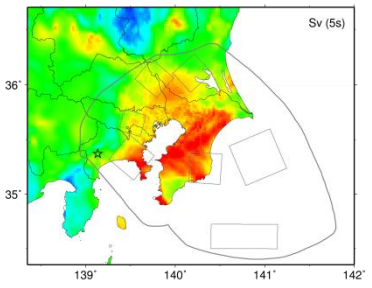
P1s2h1



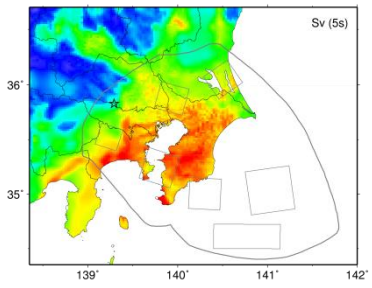
P2s2h1



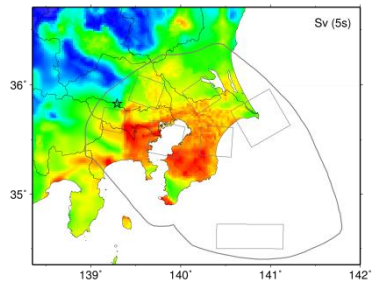
P3s2h1



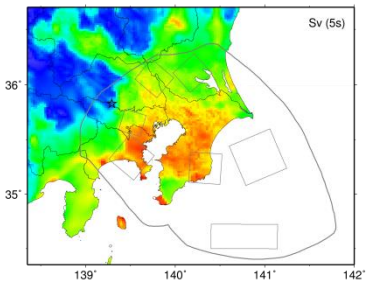
P1s2h2



P2s2h2



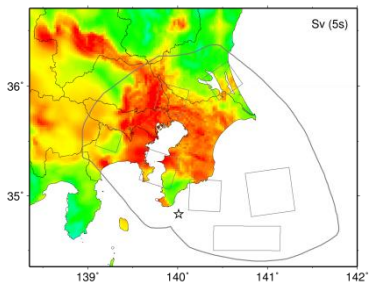
P3s2h2



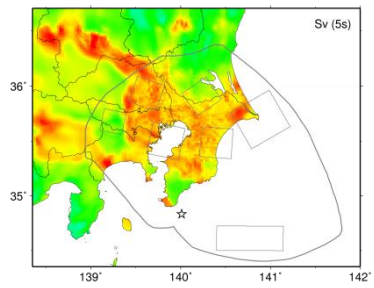


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 5 秒）：震源域 No.8（基本モデル）】

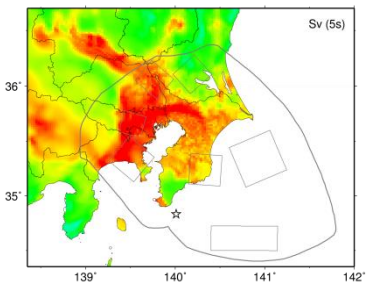
P1s2h3



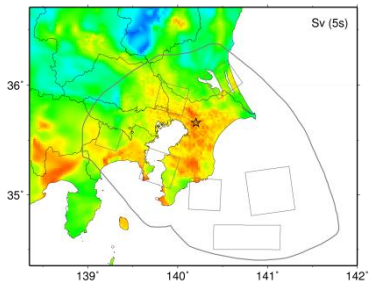
P2s2h3



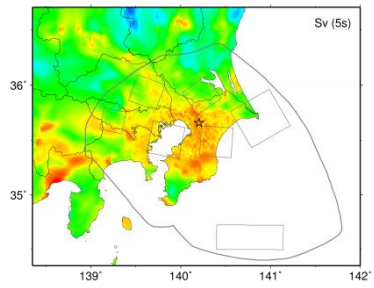
P3s2h3



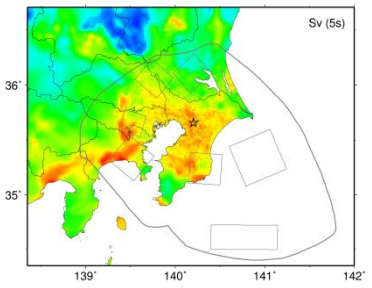
P1s2h4



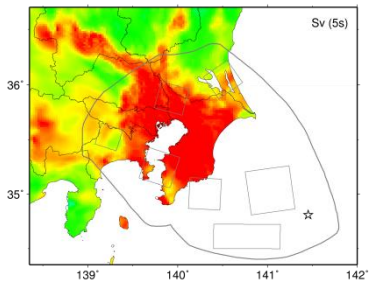
P2s2h4



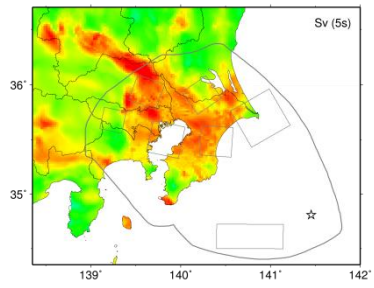
P3s2h4



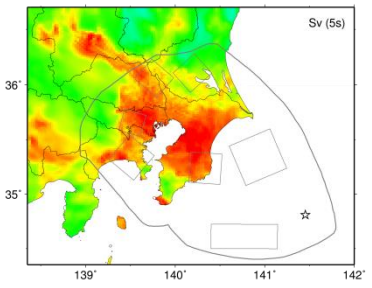
P1s2h5



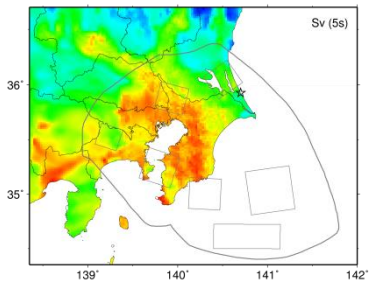
P2s2h5



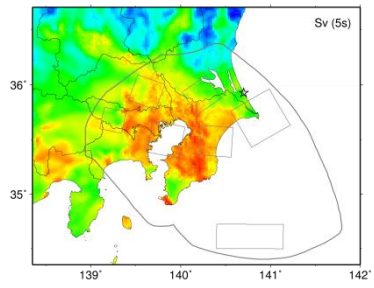
P3s2h5



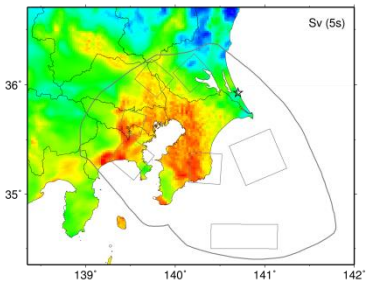
P1s2h6



P2s2h6



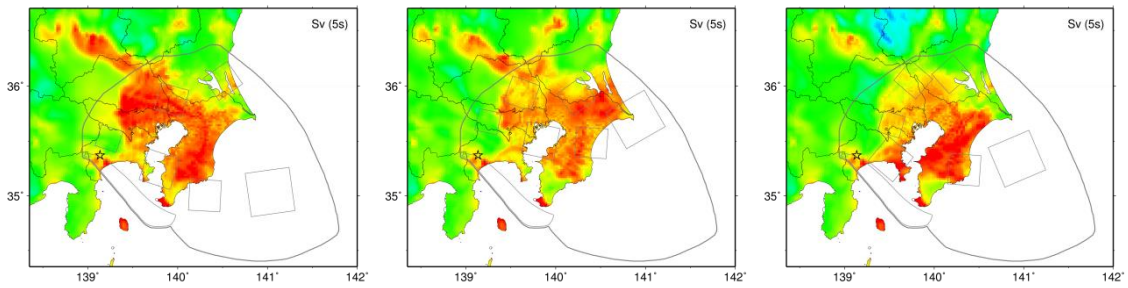
P3s2h6



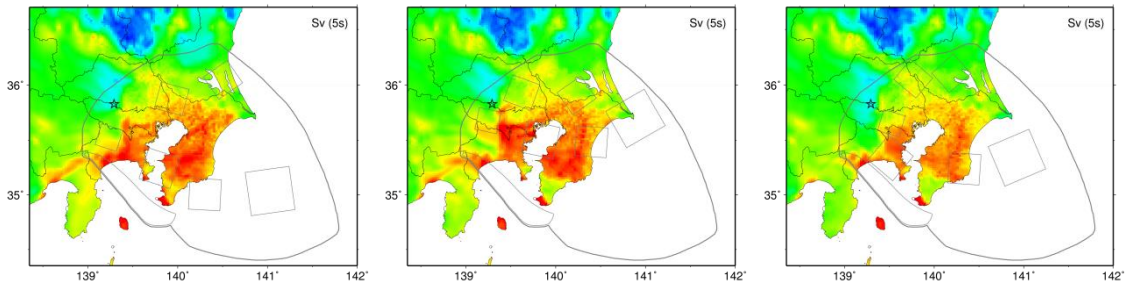


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5% ; 周期 5 秒）: 震源域 No.8（smoothed ramp）】

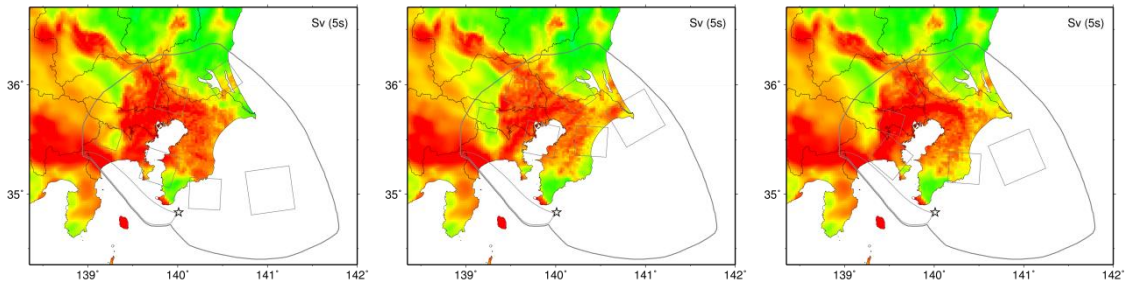
P1s1h1 P2s1h1 P3s1h1



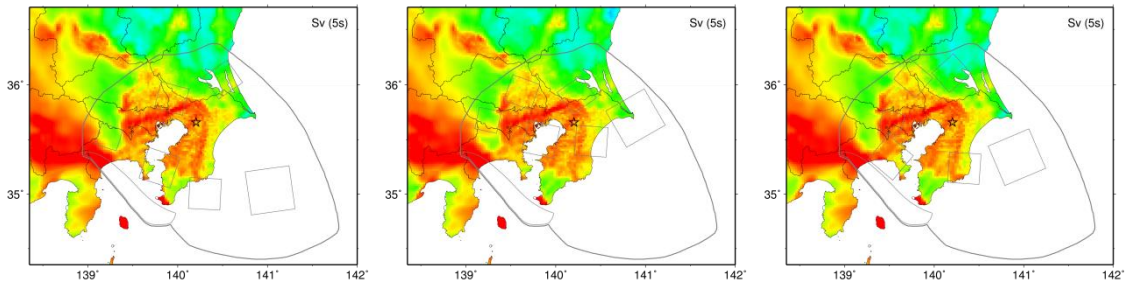
P1s1h2 P2s1h2 P3s1h2



P1s1h3 P2s1h3 P3s1h3



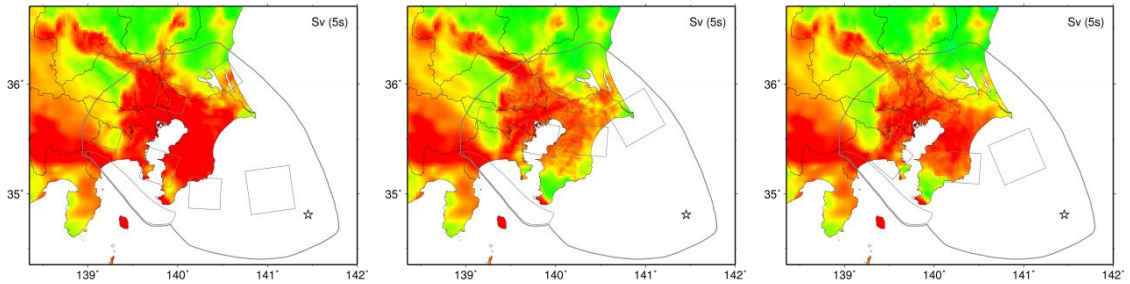
P1s1h4 P2s1h4 P3s1h4



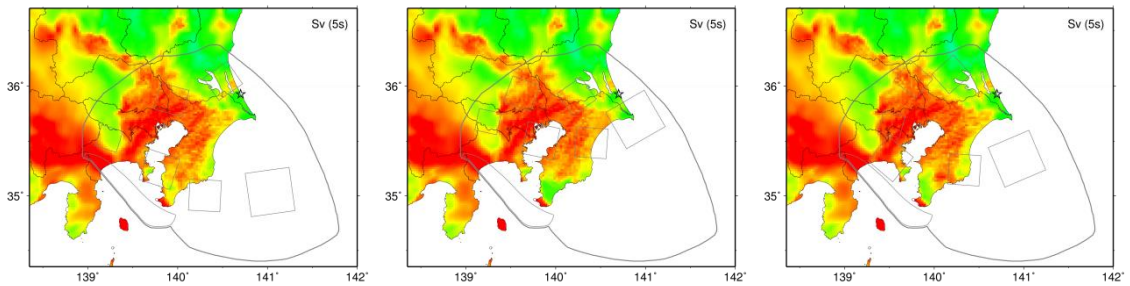


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5% ; 周期 5 秒）: 震源域 No.8（smoothed ramp）】

P1s1h5 P2s1h5 P3s1h5

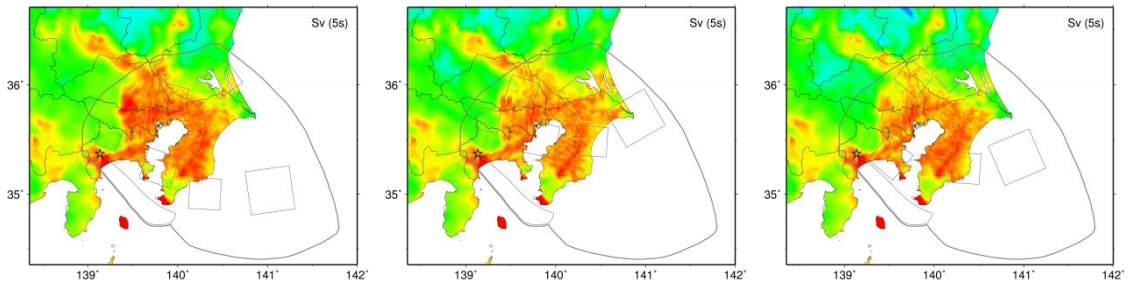


P1s1h6　　P2s1h6　　P3s1h6

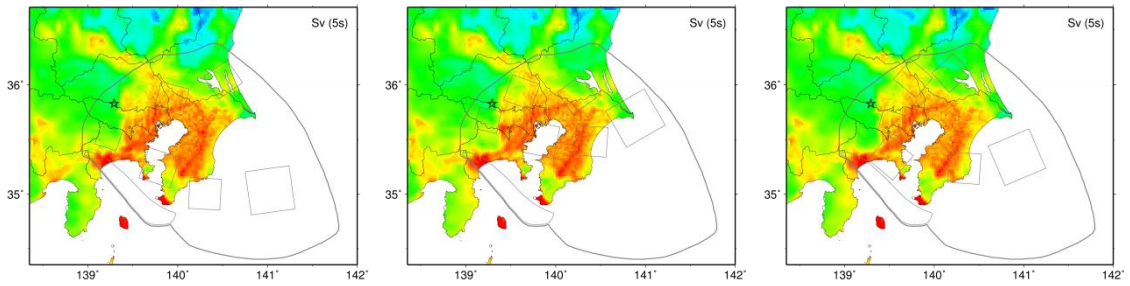


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 5 秒）：震源域 No.8（Vr=2.3km/s）】

P1s1h1　　P2s1h1　　P3s1h1



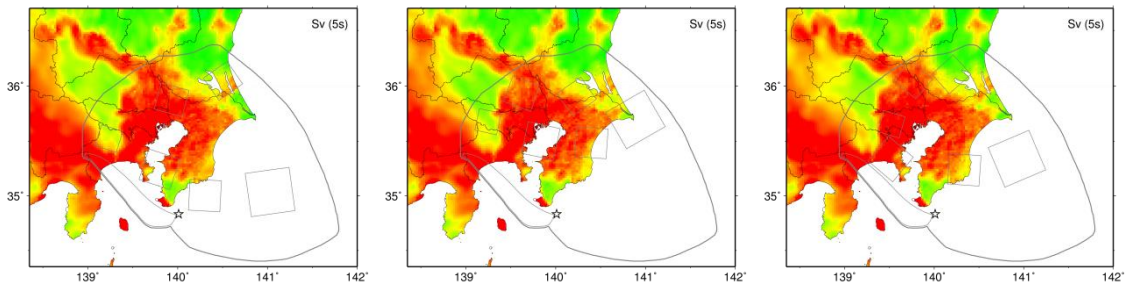
P1s1h2　　P2s1h2　　P3s1h2



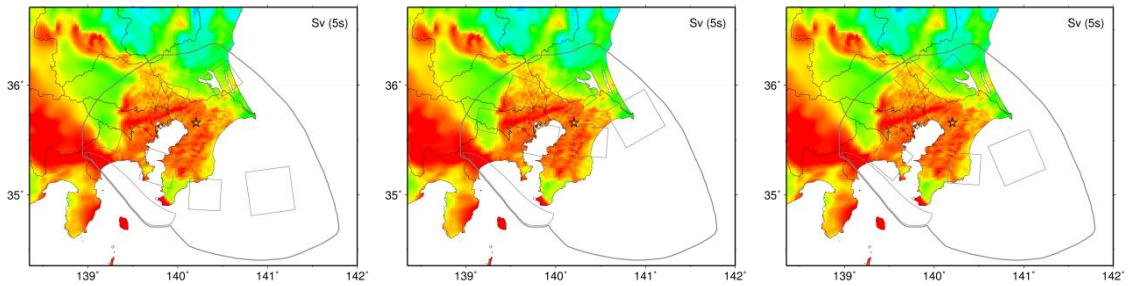


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 5 秒）：震源域 No.8（Vr=2.3km/s）】

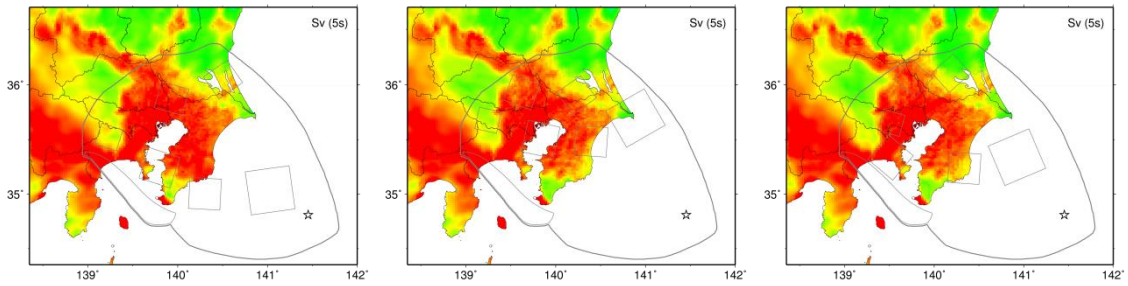
P1s1h3 P2s1h3 P3s1h3



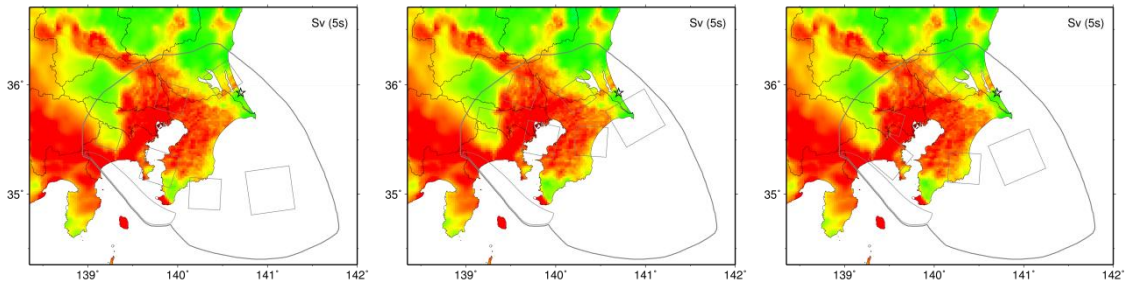
P1s1h4 P2s1h4 P3s1h4



P1s1h5 P2s1h5 P3s1h5



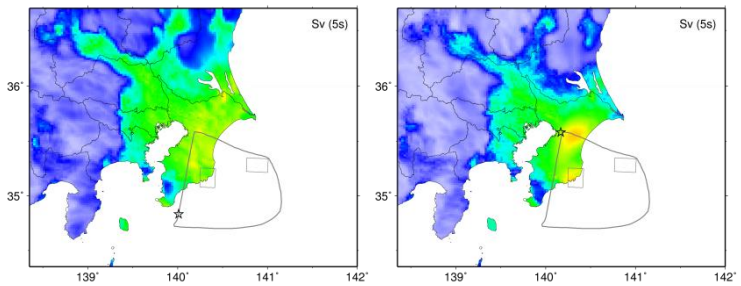
P1s1h6 P2s1h6 P3s1h6



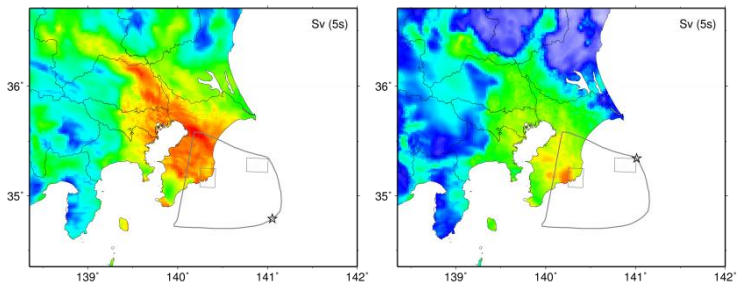


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 5 秒）：震源域 No.9】

P0h3 P0h4

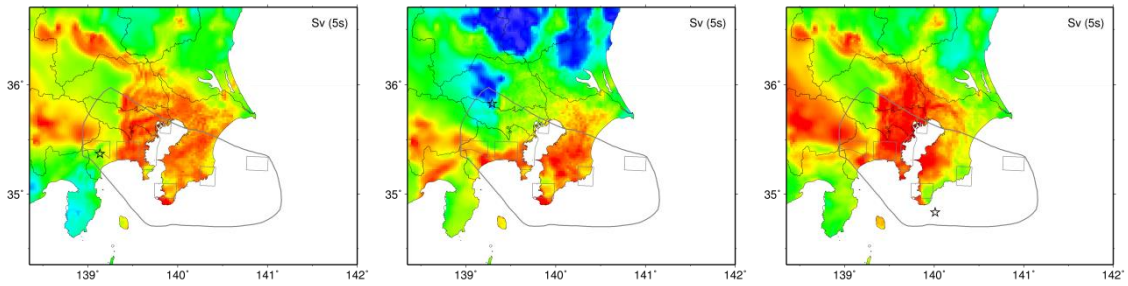


P0h7　　P0h8

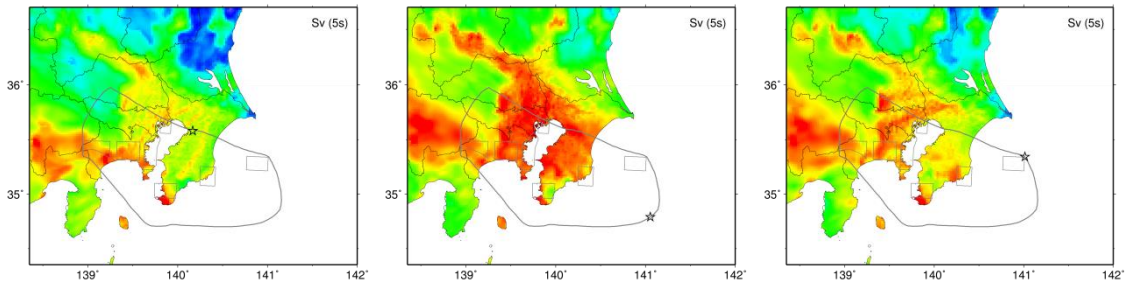


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 5 秒）：震源域 No.10】

P0h1　　P0h2　　P0h3

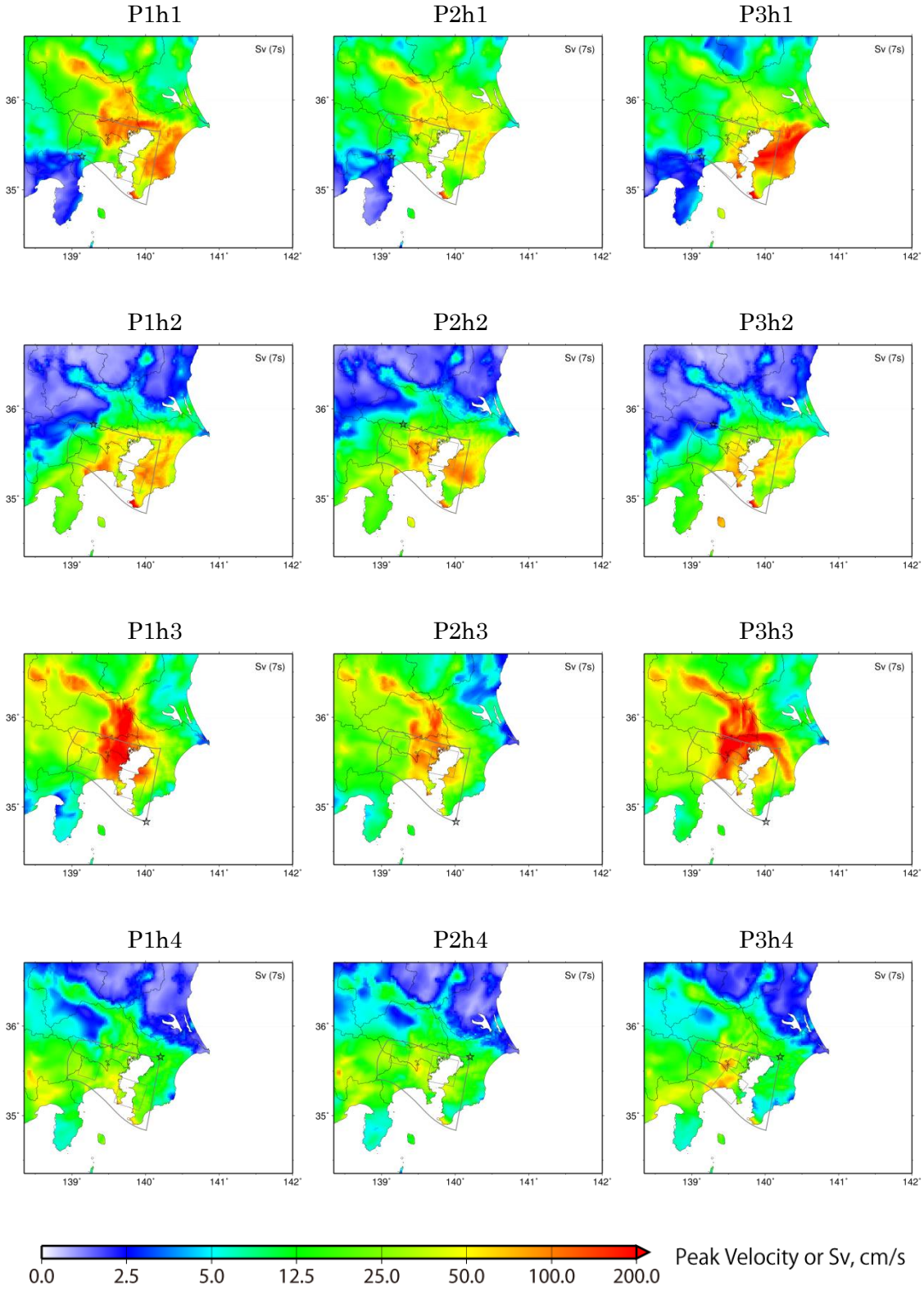


P0h4　　P0h7　　P0h8



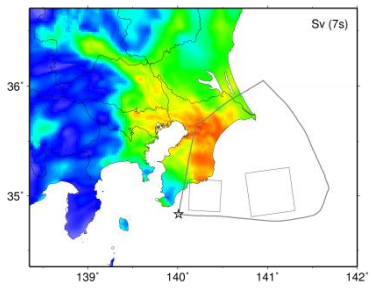


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 7 秒）：震源域 No.1】

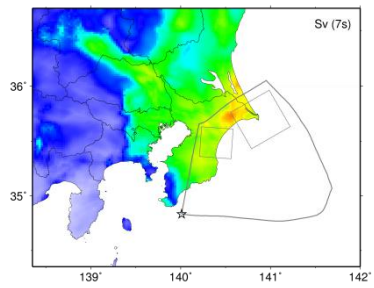


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 7 秒）：震源域 No.2】

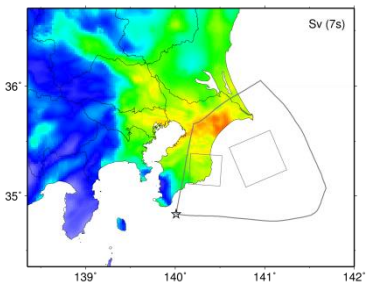
P1h3



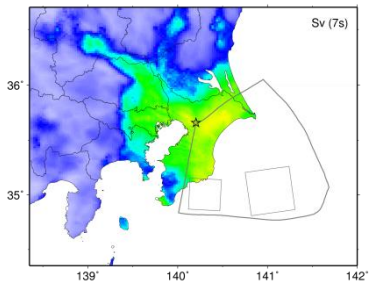
P2h3



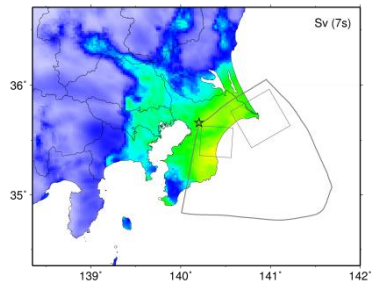
P3h3



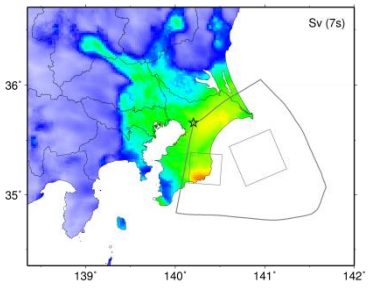
P1h4



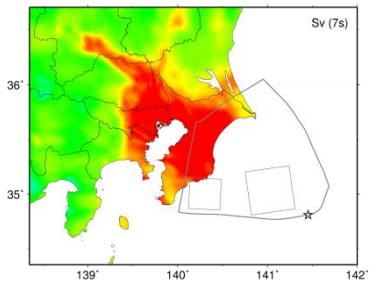
P2h4



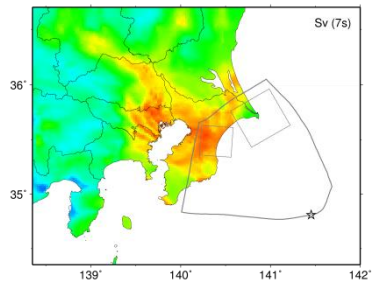
P3h4



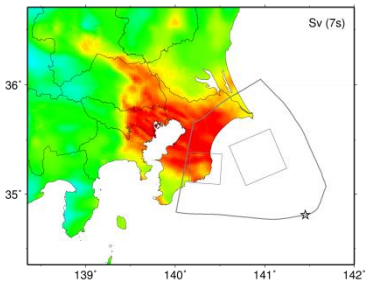
P1h5



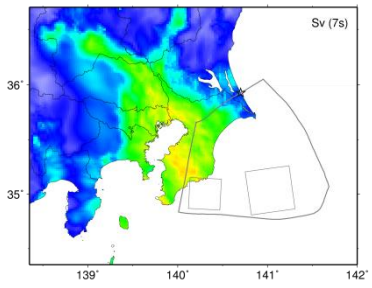
P2h5



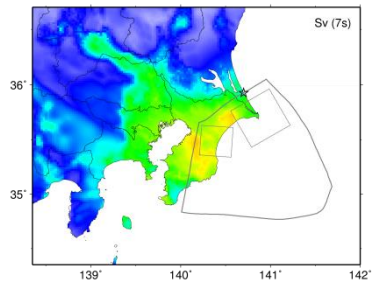
P3h5



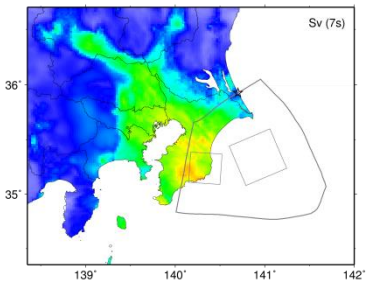
P1h6



P2h6

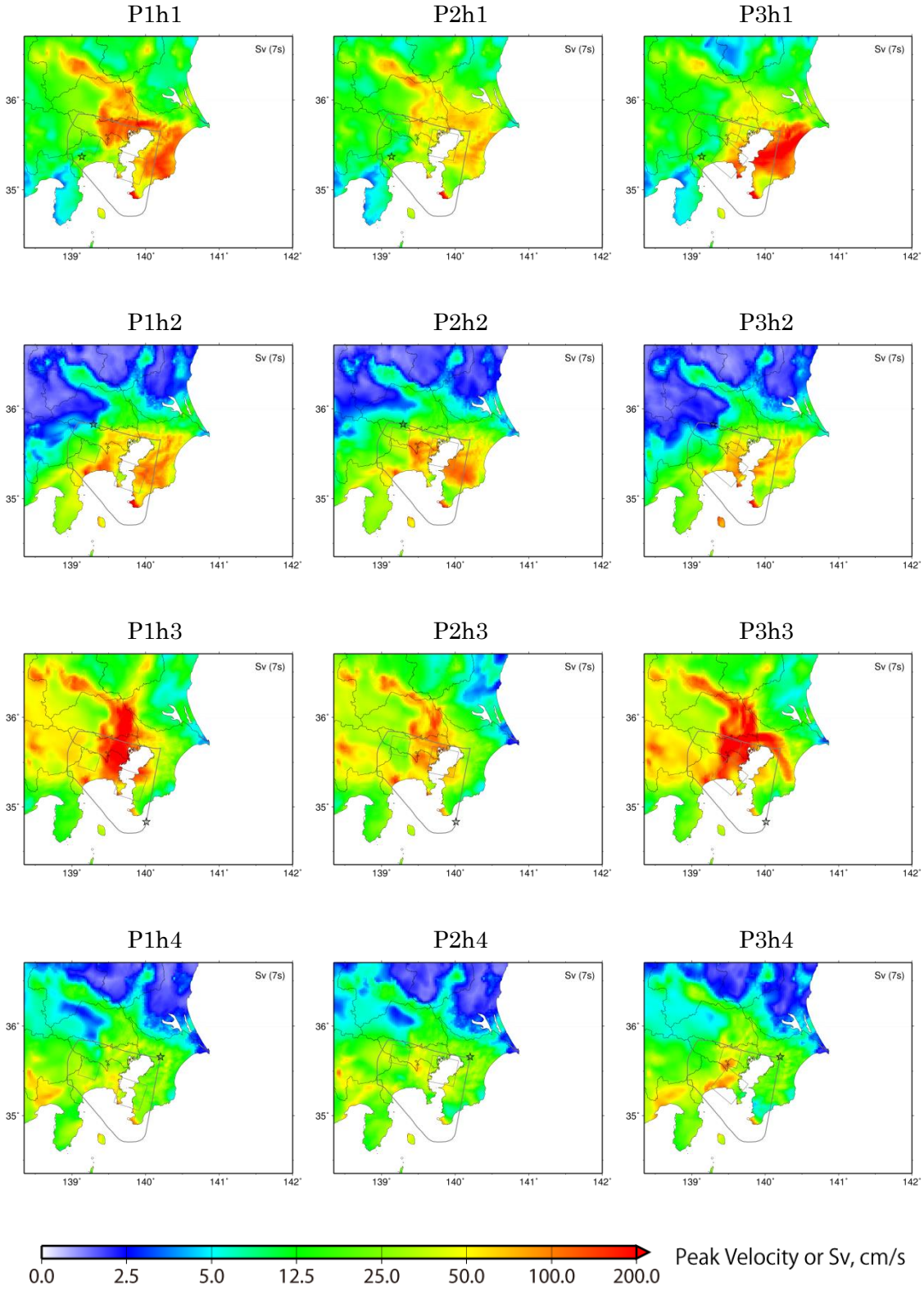


P3h6



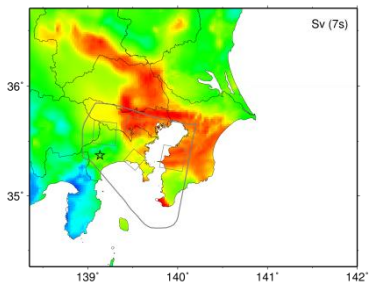


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 7 秒）：震源域 No.3】

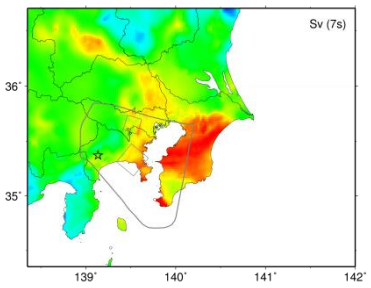


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 7 秒）：震源域 No.3】

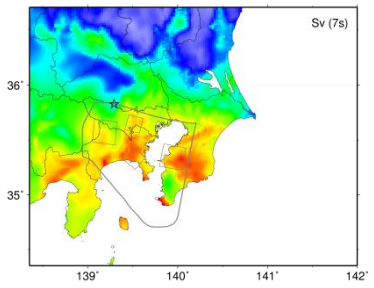
P4h1



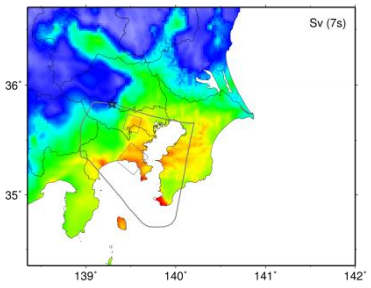
P5h1



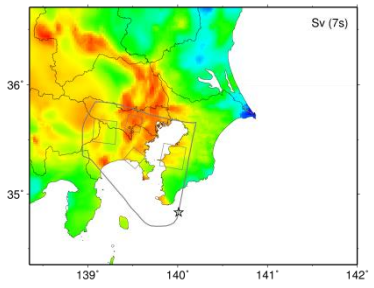
P4h2



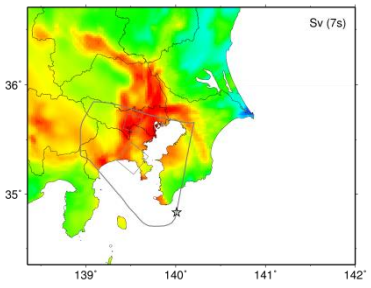
P5h2



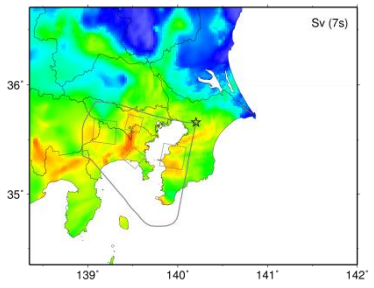
P4h3



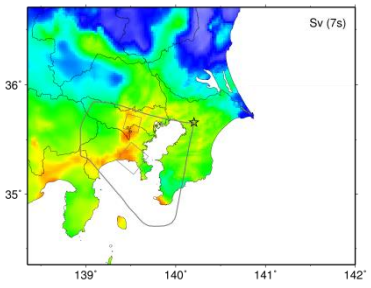
P5h3



P4h4

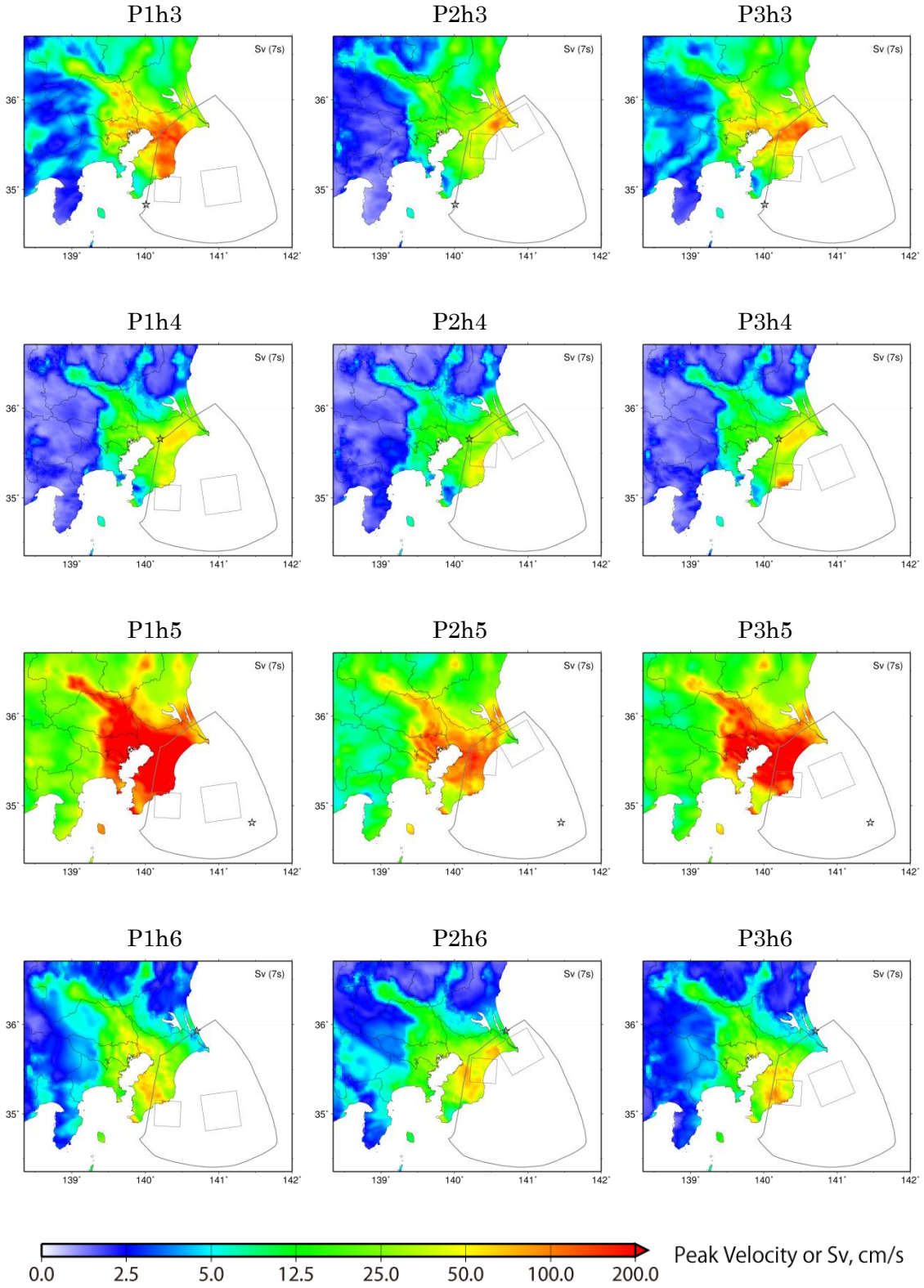


P5h4



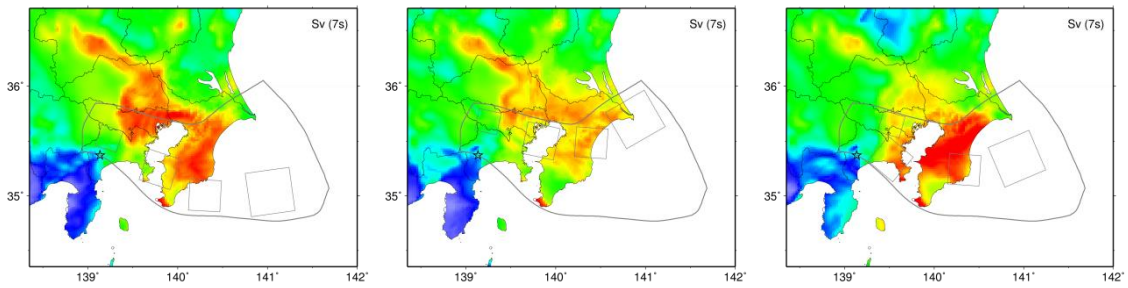


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 7 秒）：震源域 No.4】

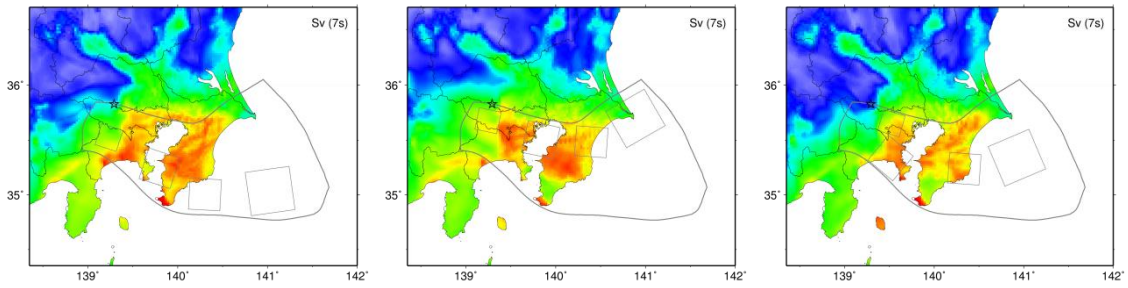


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 7 秒）：震源域 No.5】

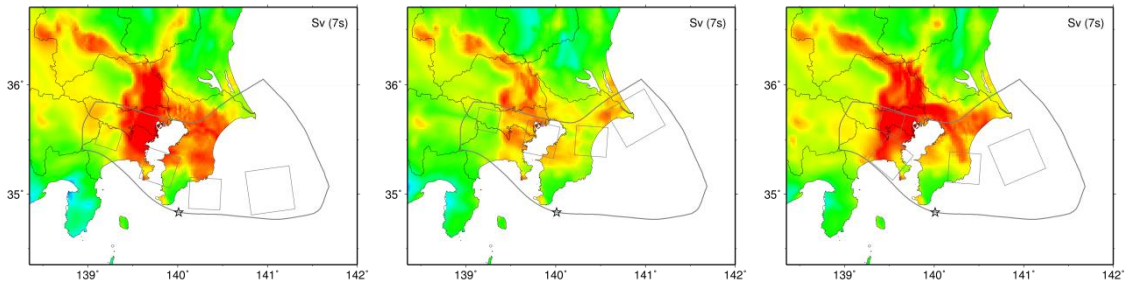
P1h1 P2h1 P3h1



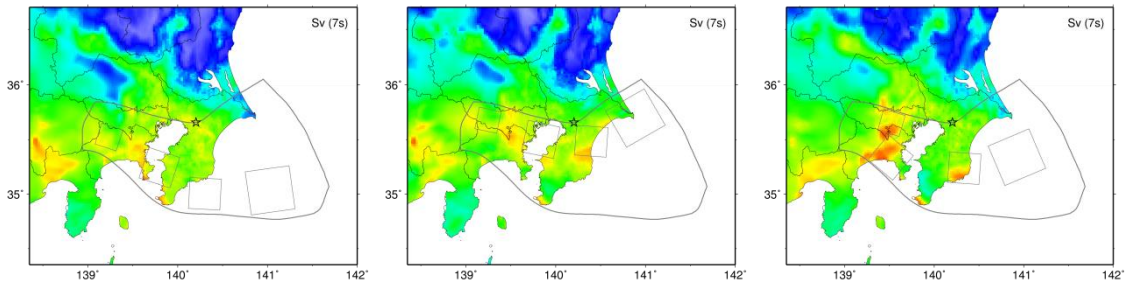
P1h2 P2h2 P3h2



P1h3 P2h3 P3h3



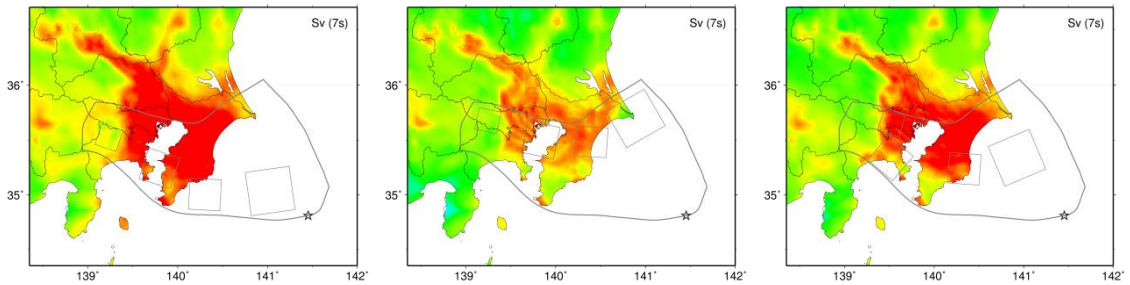
P1h4 P2h4 P3h4



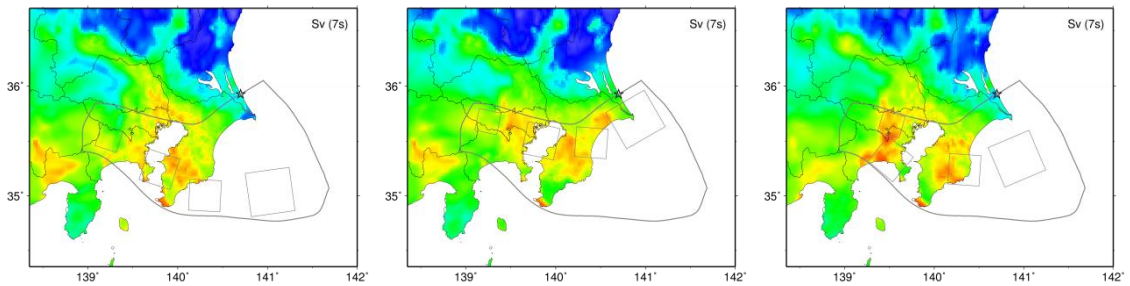


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 7 秒）：震源域 No.5】

P1h5 P2h5 P3h5

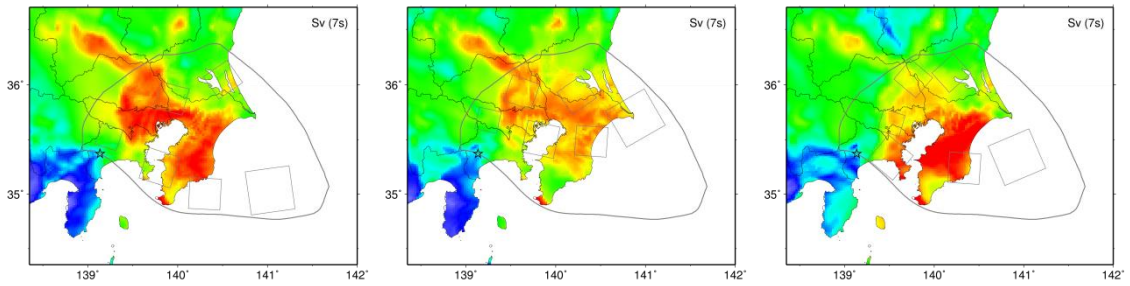


P1h6　　P2h6　　P3h6

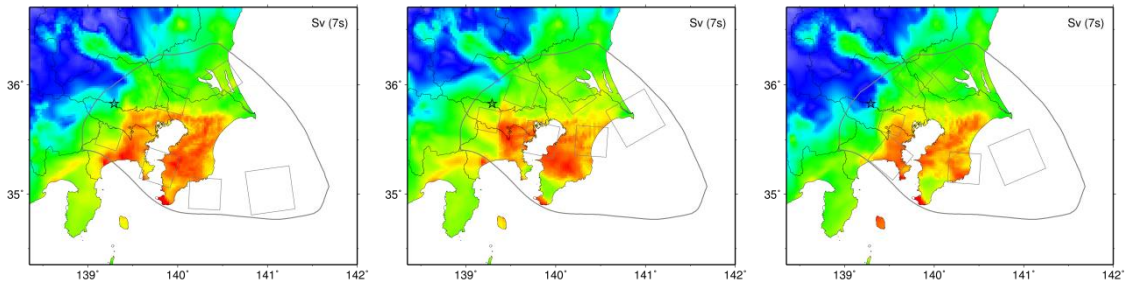


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 7 秒）：震源域 No.7】

P1h1　　P2h1　　P3h1

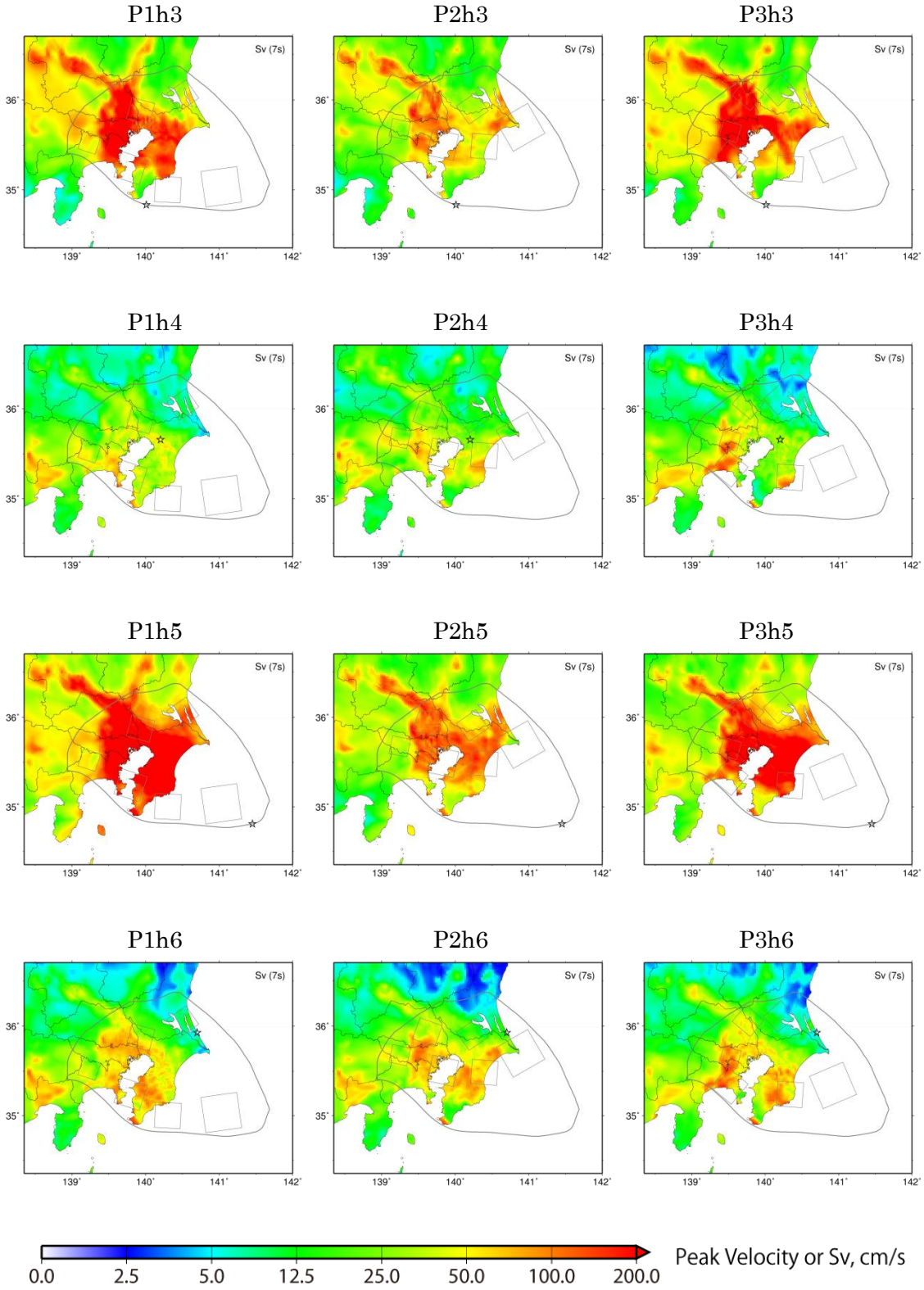


P1h2　　P2h2　　P3h2



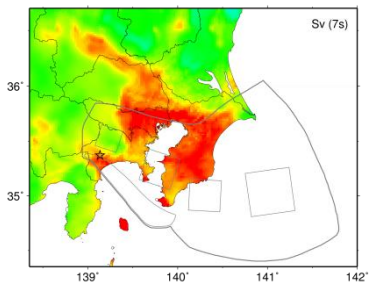


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 7 秒）：震源域 No.7】

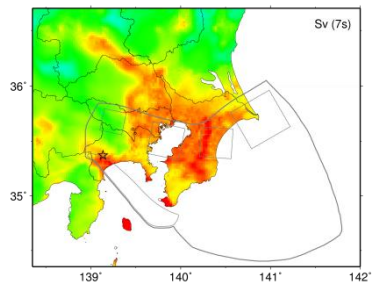


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 7 秒）：震源域 No.6（基本モデル）】

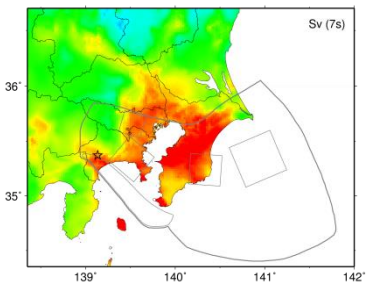
P1s1h1



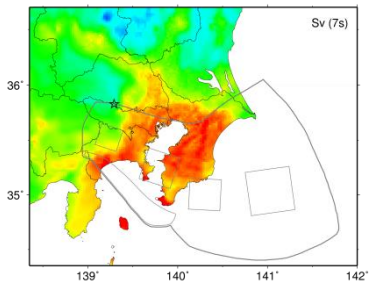
P2s1h1



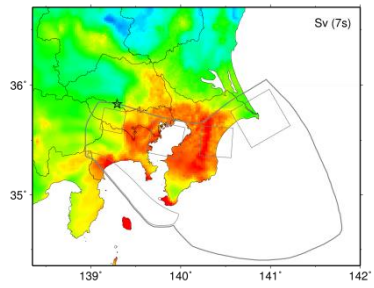
P3s1h1



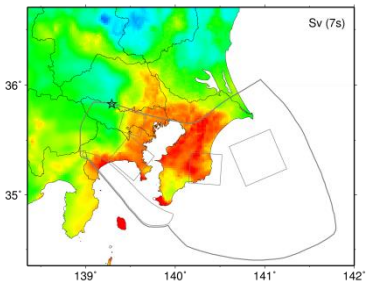
P1s1h2



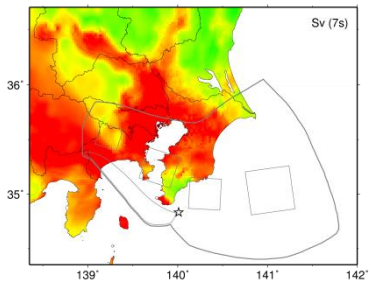
P2s1h2



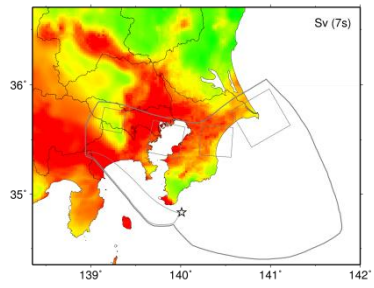
P3s1h2



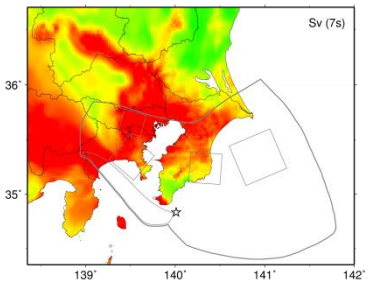
P1s1h3



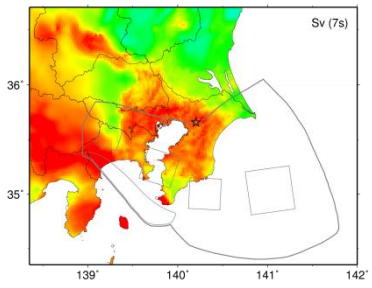
P2s1h3



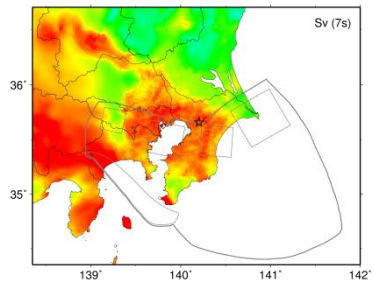
P3s1h3



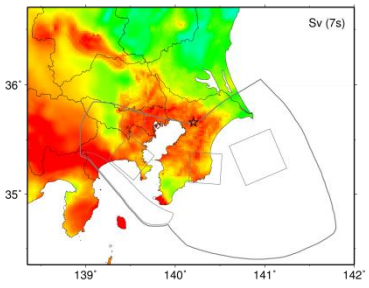
P1s1h4



P2s1h4



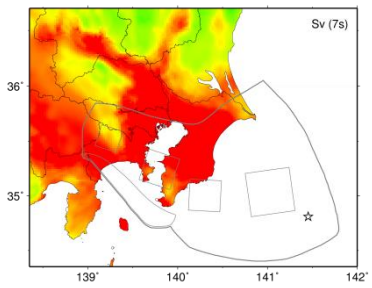
P3s1h4



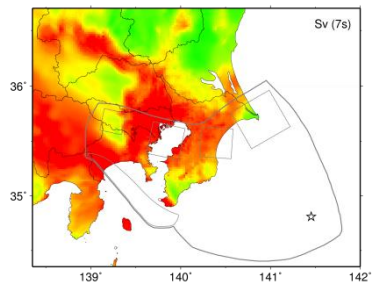


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 7 秒）：震源域 No.6（基本モデル）】

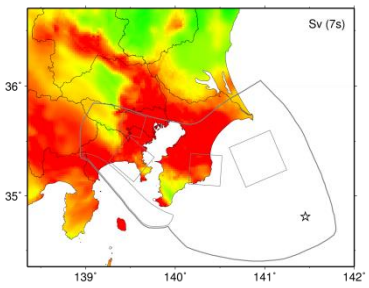
P1s1h5



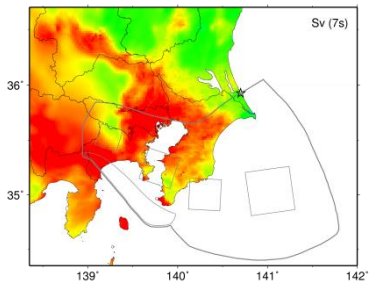
P2s1h5



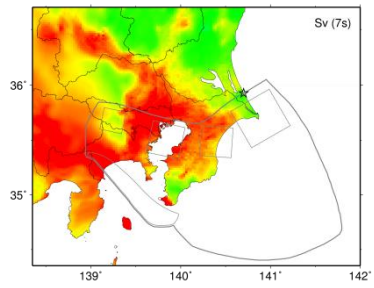
P3s1h5



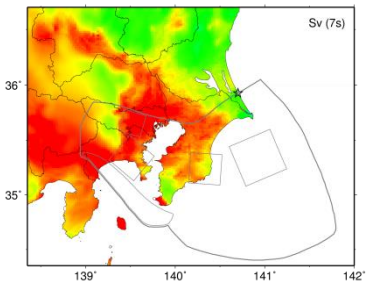
P1s1h6



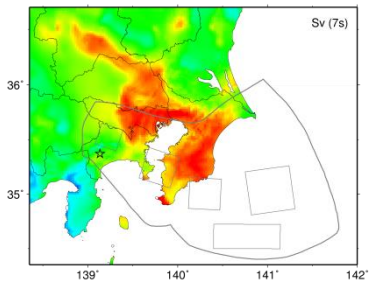
P2s1h6



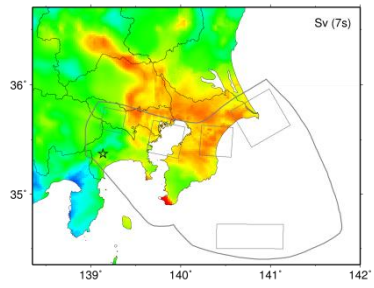
P3s1h6



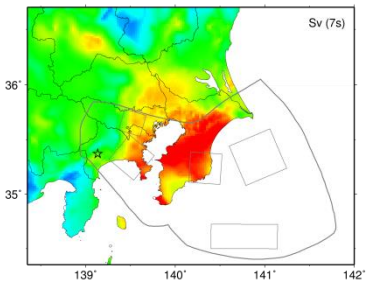
P1s2h1



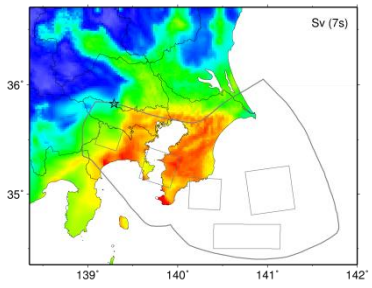
P2s2h1



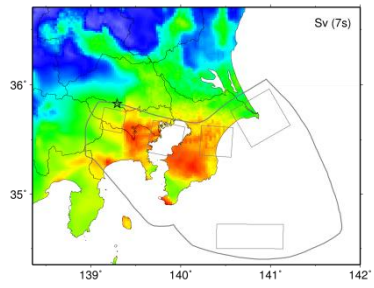
P3s2h1



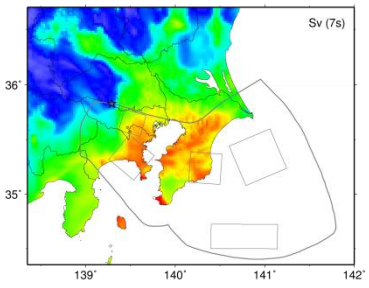
P1s2h2



P2s2h2



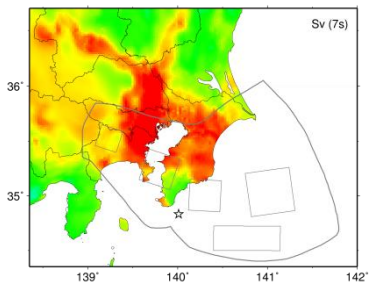
P3s2h2



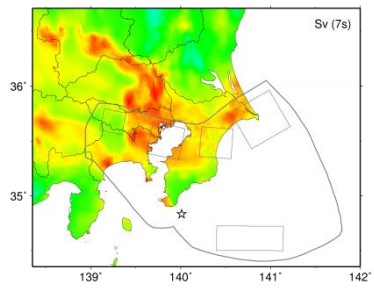


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 7 秒）：震源域 No.6（基本モデル）】

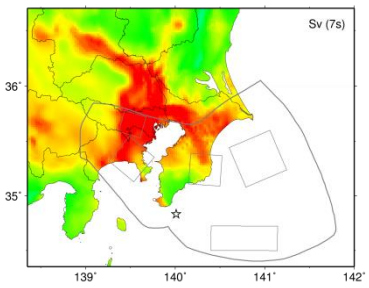
P1s2h3



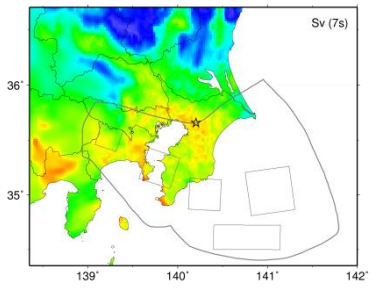
P2s2h3



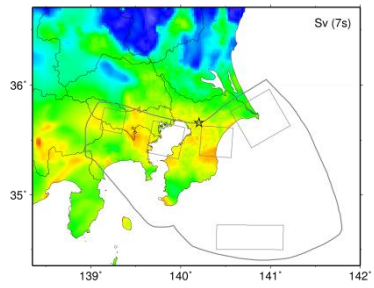
P3s2h3



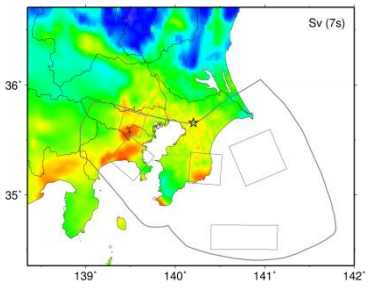
P1s2h4



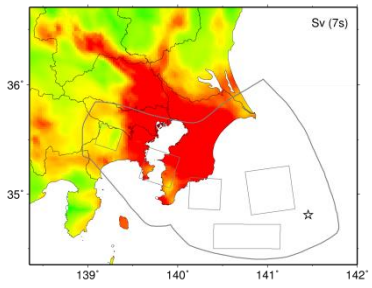
P2s2h4



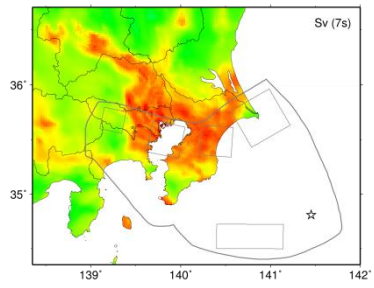
P3s2h4



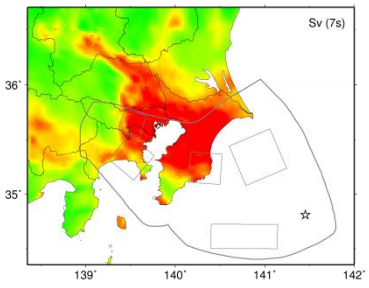
P1s2h5



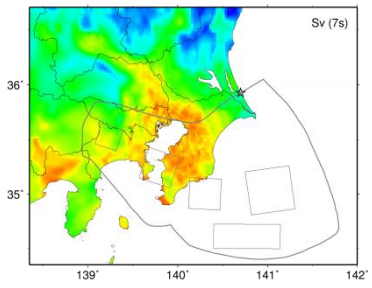
P2s2h5



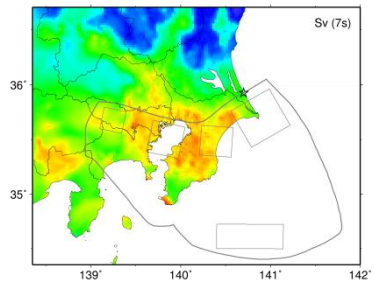
P3s2h5



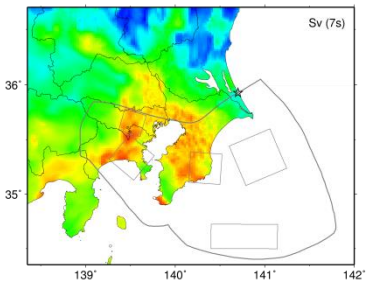
P1s2h6



P2s2h6



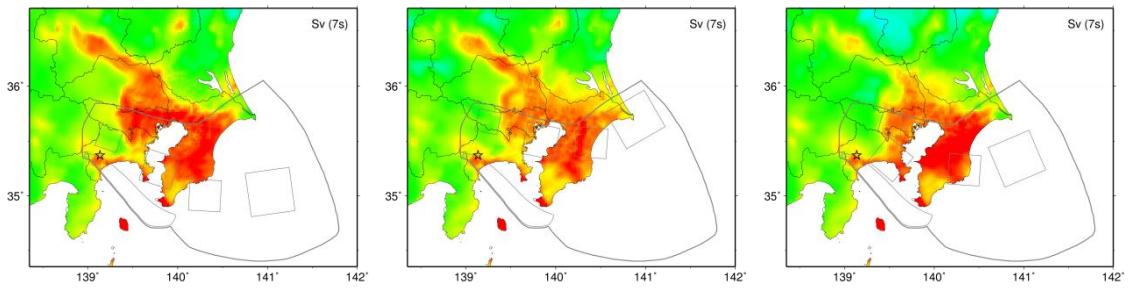
P3s2h6



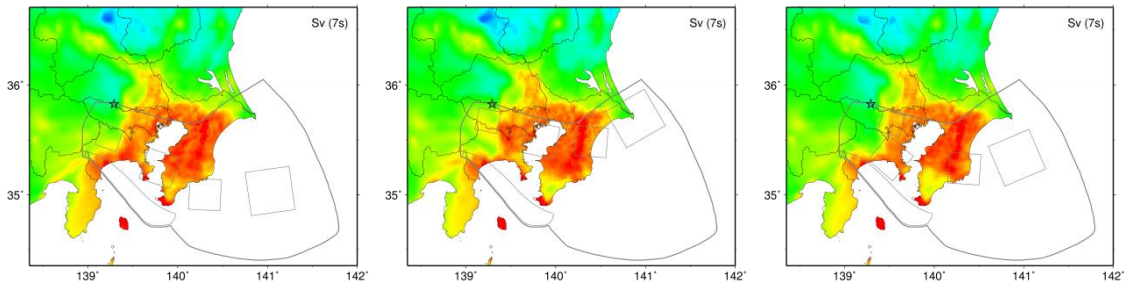


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5% ; 周期 7 秒）: 震源域 No.6（smoothed ramp）】

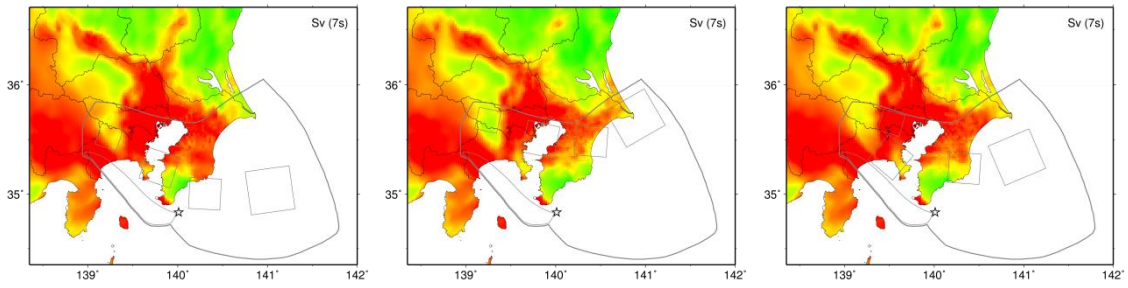
P1s1h1 P2s1h1 P3s1h1



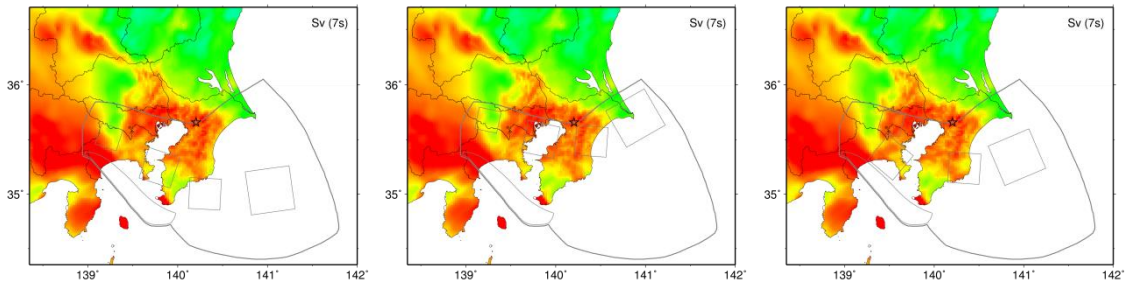
P1s1h2 P2s1h2 P3s1h2



P1s1h3 P2s1h3 P3s1h3



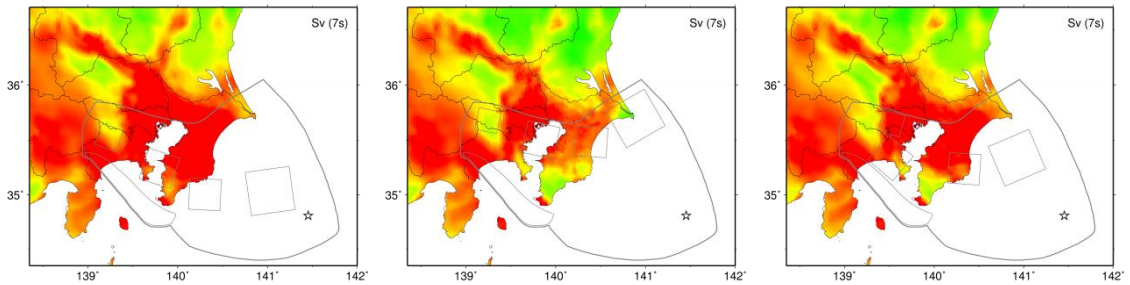
P1s1h4 P2s1h4 P3s1h4



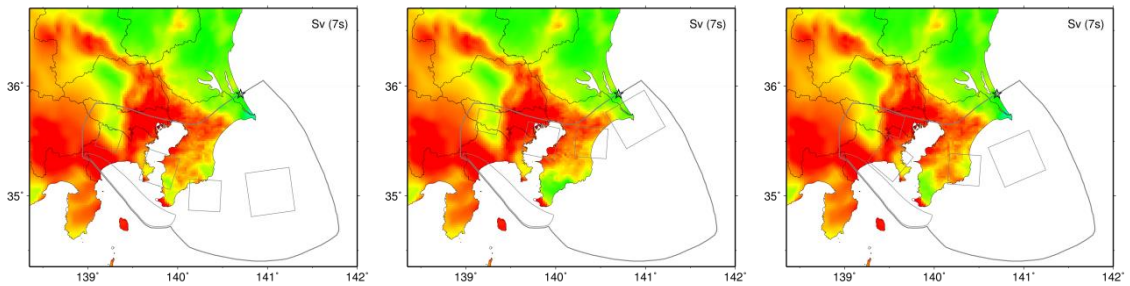


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5% ; 周期 7 秒）: 震源域 No.6（smoothed ramp）】

P1s1h5 P2s1h5 P3s1h5

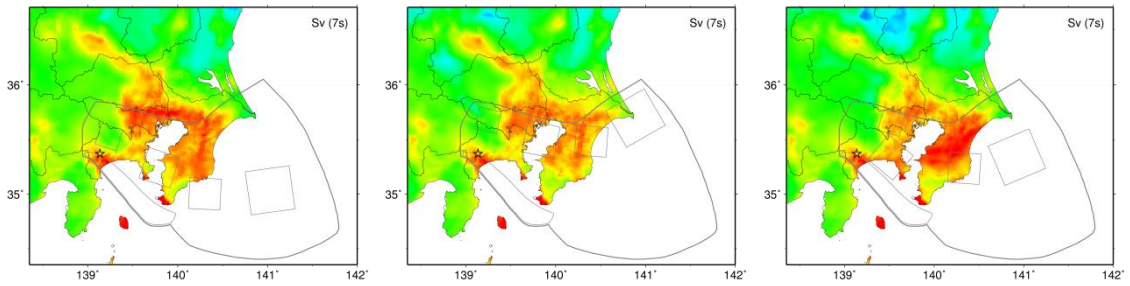


P1s1h6　　P2s1h6　　P3s1h6

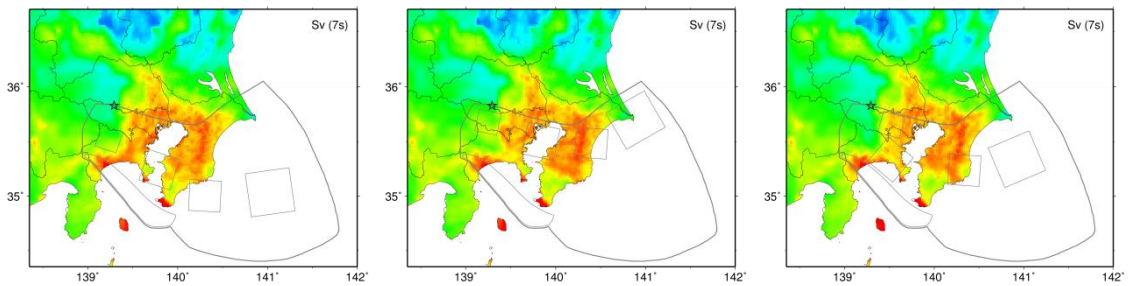


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 7 秒）：震源域 No.6（Vr=2.3km/s）】

P1s1h1　　P2s1h1　　P3s1h1



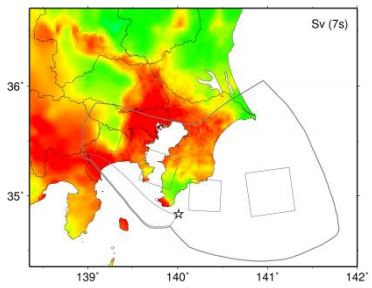
P1s1h2　　P2s1h2　　P3s1h2



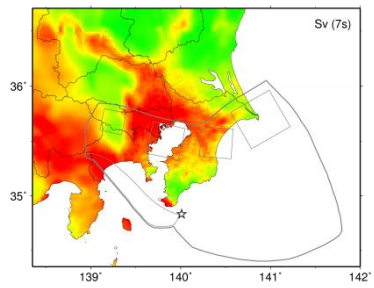


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 7 秒）：震源域 No.6（Vr=2.3km/s）】

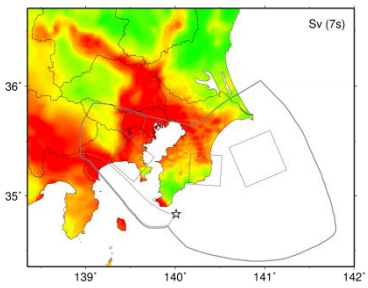
P1s1h3



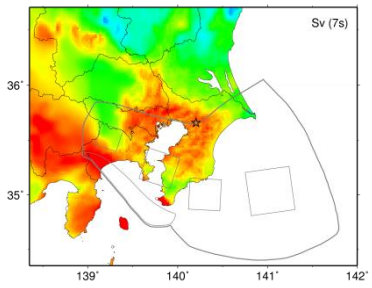
P2s1h3



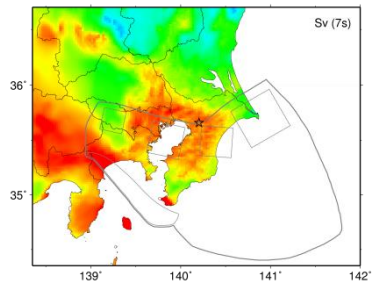
P3s1h3



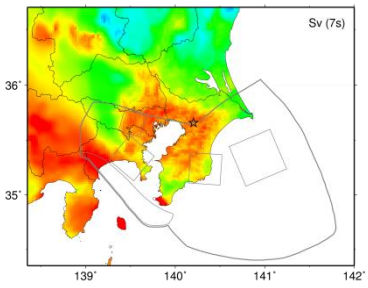
P1s1h4



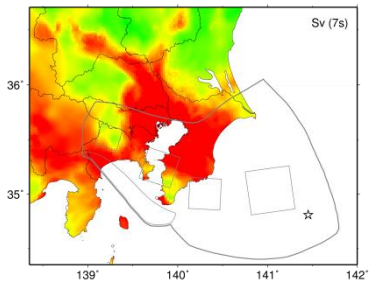
P2s1h4



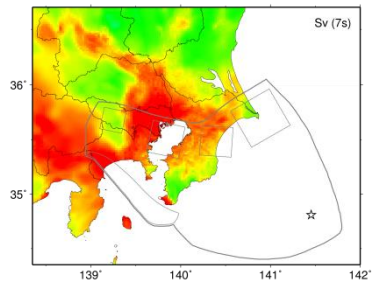
P3s1h4



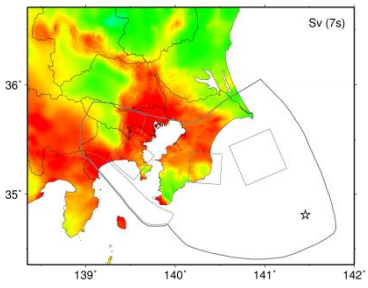
P1s1h5



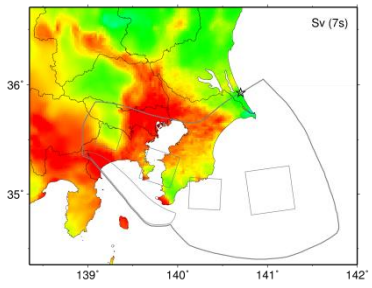
P2s1h5



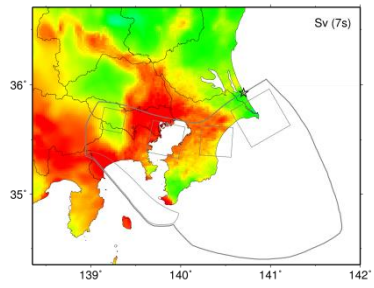
P3s1h5



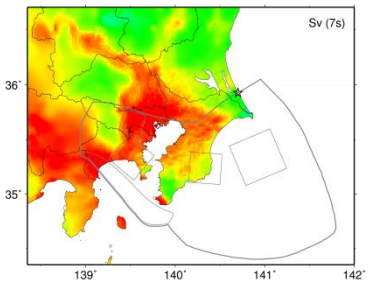
P1s1h6



P2s1h6



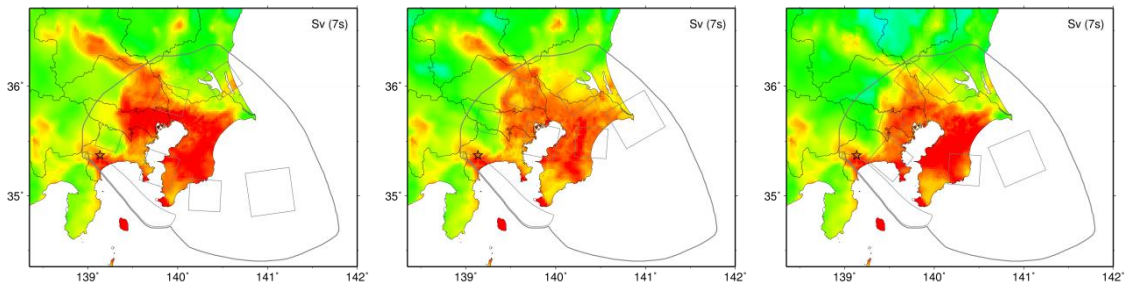
P3s1h6



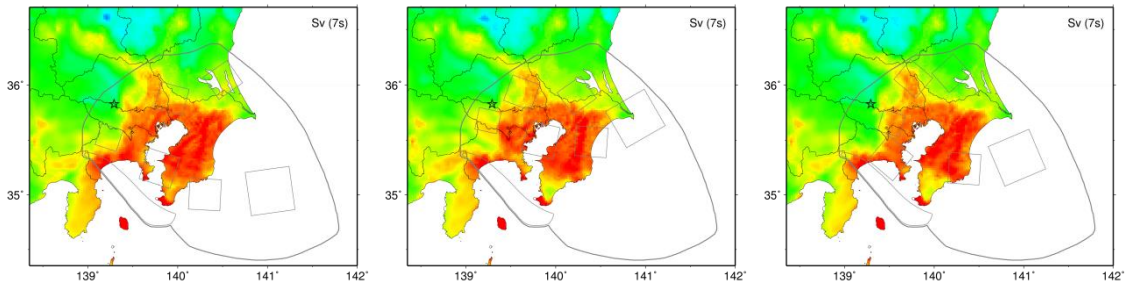


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 7 秒）：震源域 No.8（基本モデル）】

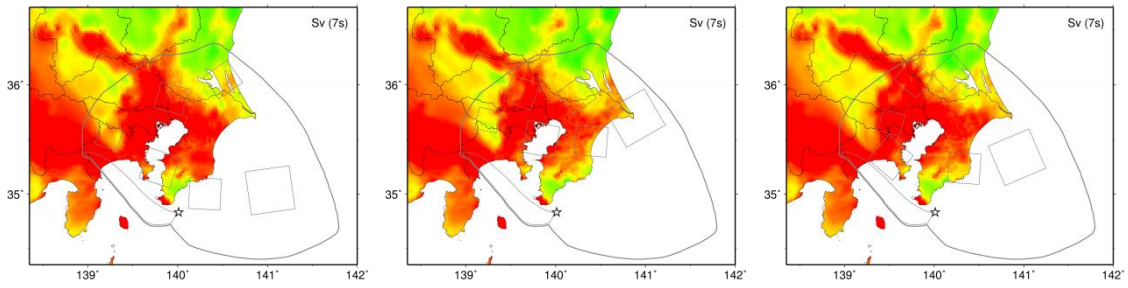
P1s1h1 P2s1h1 P3s1h1



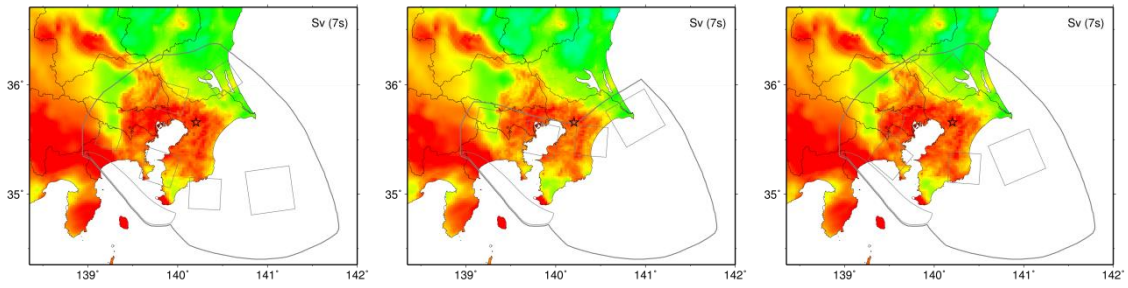
P1s1h2 P2s1h2 P3s1h2



P1s1h3 P2s1h3 P3s1h3



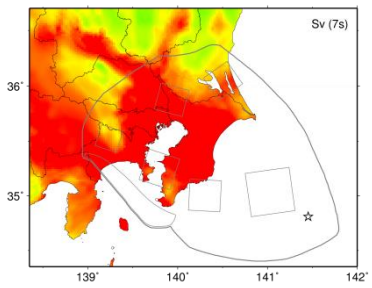
P1s1h4 P2s1h4 P3s1h4



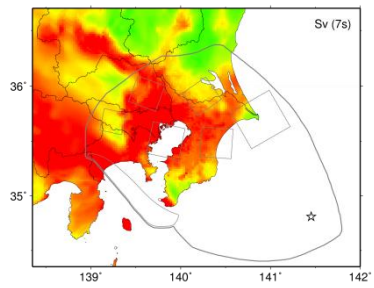


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 7 秒）：震源域 No.8（基本モデル）】

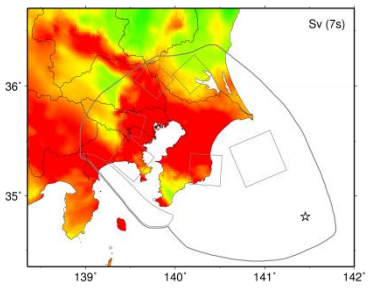
P1s1h5



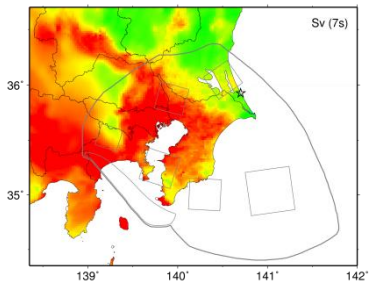
P2s1h5



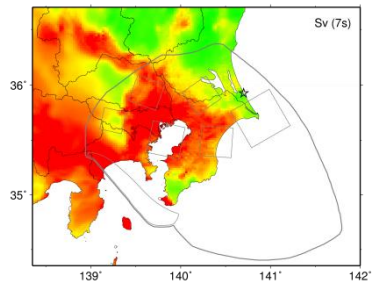
P3s1h5



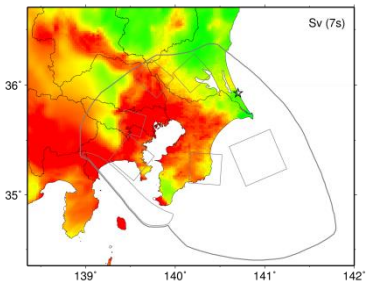
P1s1h6



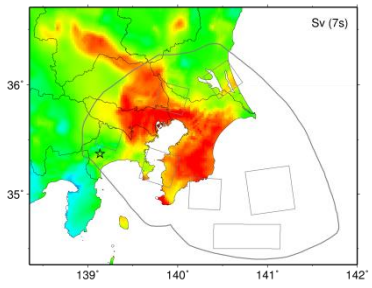
P2s1h6



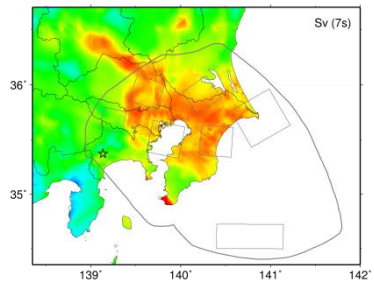
P3s1h6



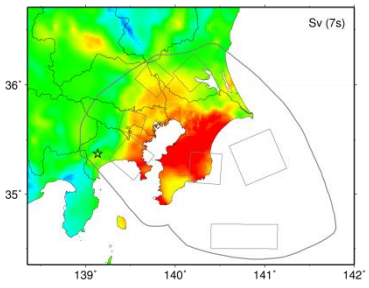
P1s2h1



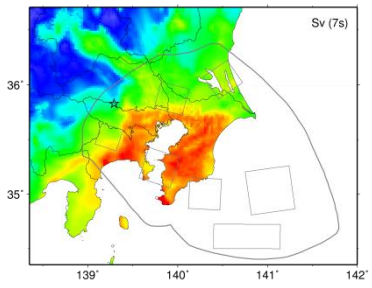
P2s2h1



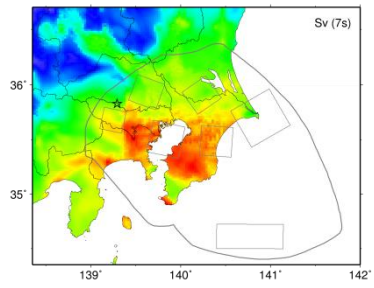
P3s2h1



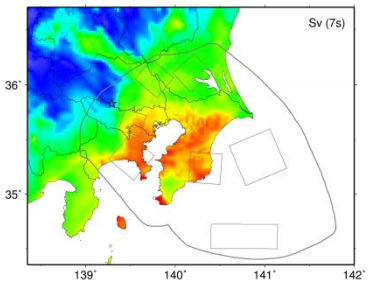
P1s2h2



P2s2h2



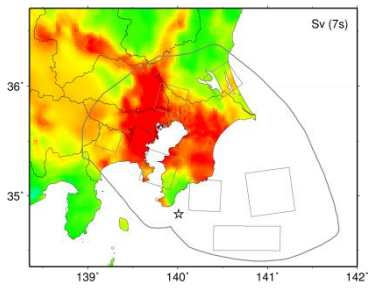
P3s2h2



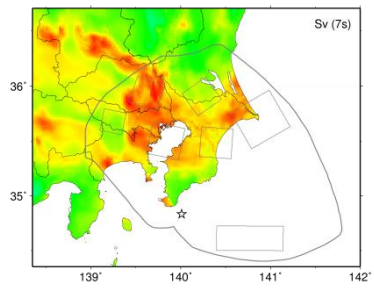


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 7 秒）：震源域 No.8（基本モデル）】

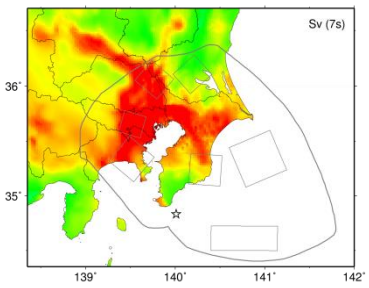
P1s2h3



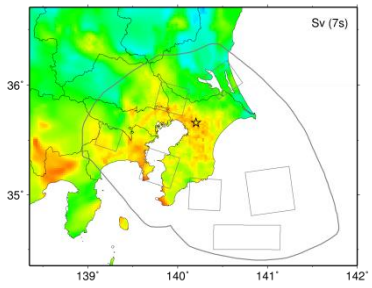
P2s2h3



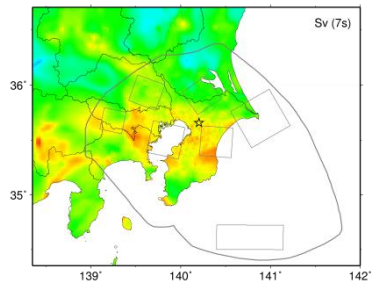
P3s2h3



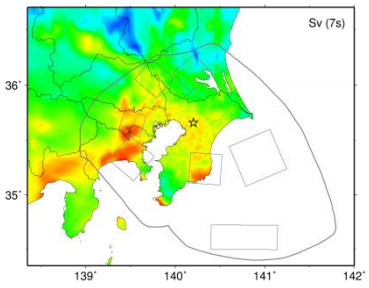
P1s2h4



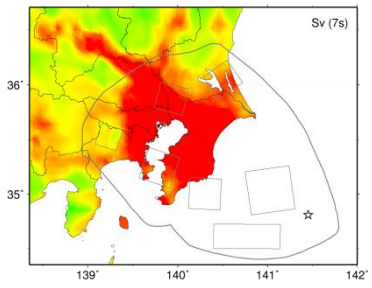
P2s2h4



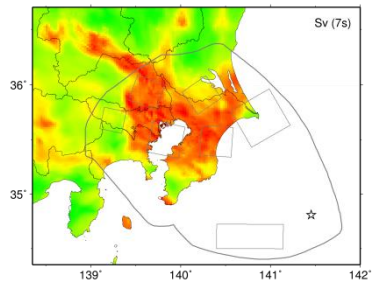
P3s2h4



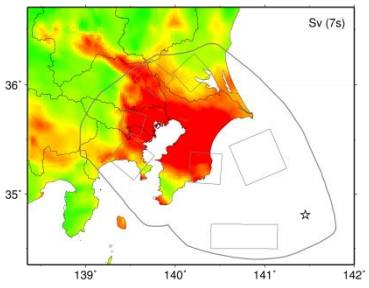
P1s2h5



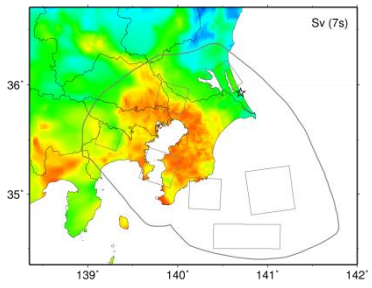
P2s2h5



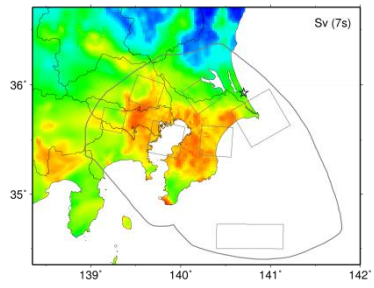
P3s2h5



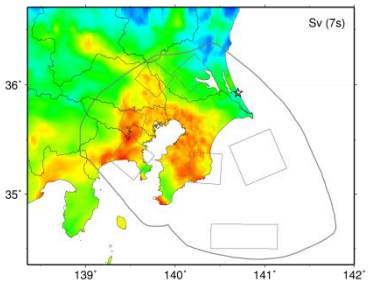
P1s2h6



P2s2h6



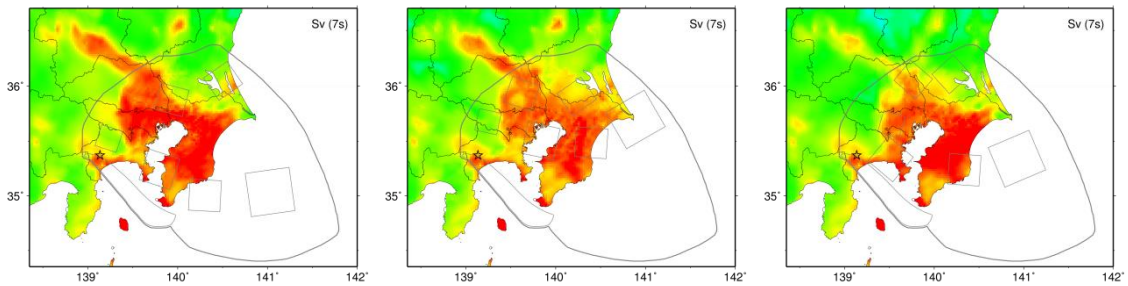
P3s2h6



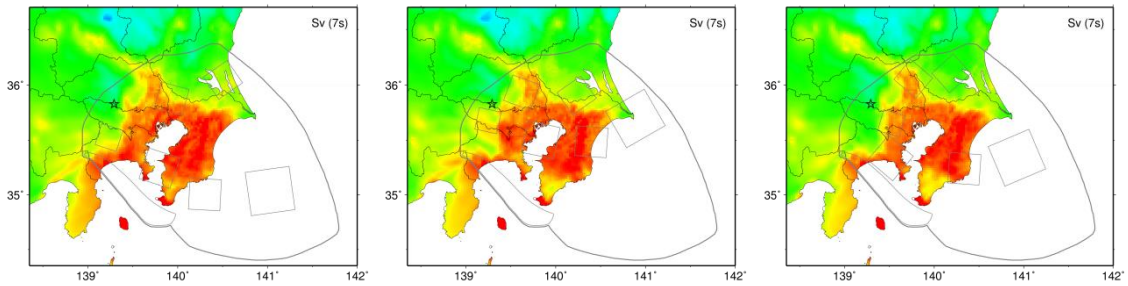


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5% ; 周期 7 秒）: 震源域 No.8（smoothed ramp）】

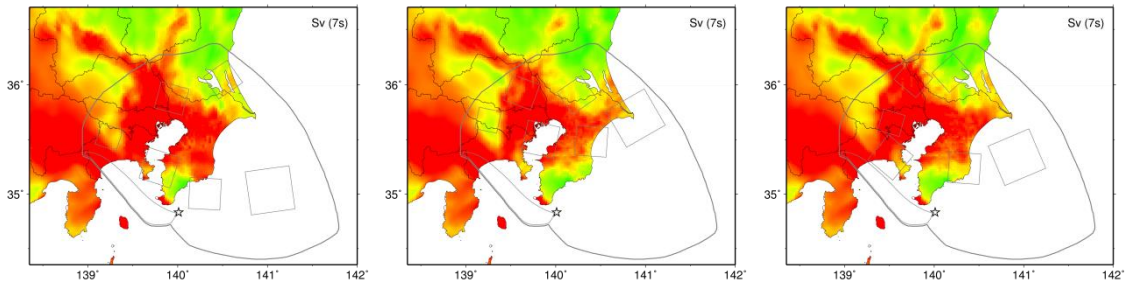
P1s1h1 P2s1h1 P3s1h1



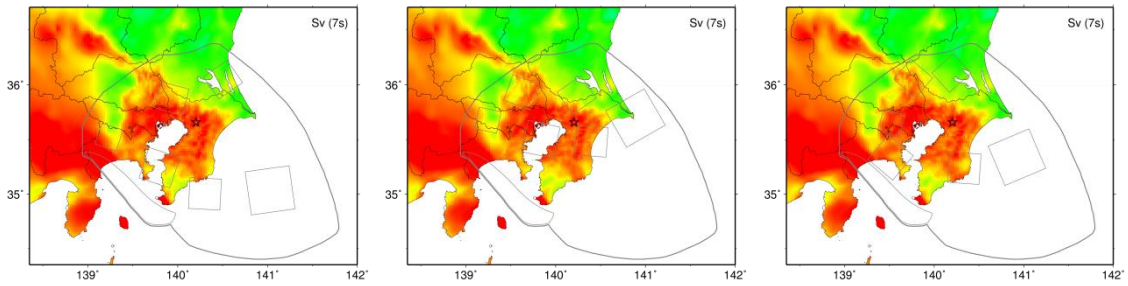
P1s1h2 P2s1h2 P3s1h2



P1s1h3 P2s1h3 P3s1h3



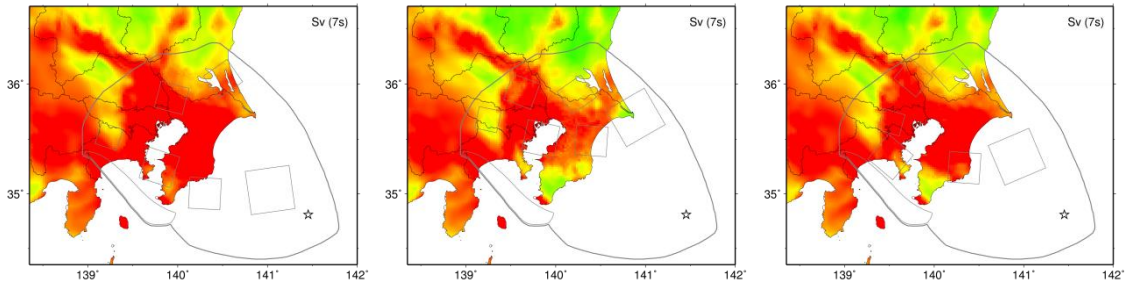
P1s1h4 P2s1h4 P3s1h4



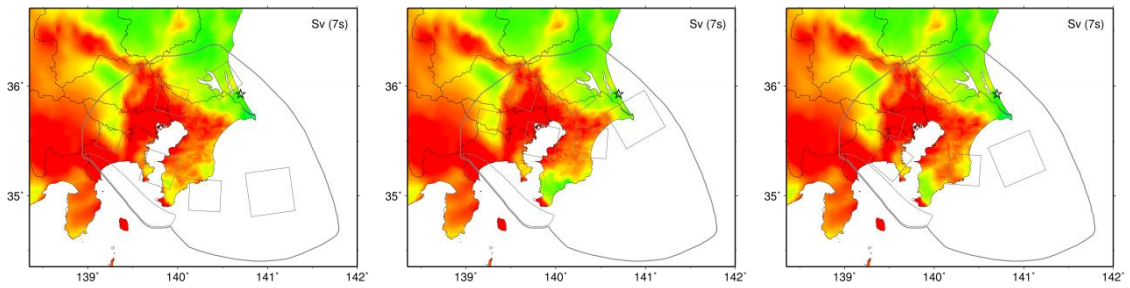


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5% ; 周期 7 秒）: 震源域 No.8（smoothed ramp）】

P1s1h5 P2s1h5 P3s1h5

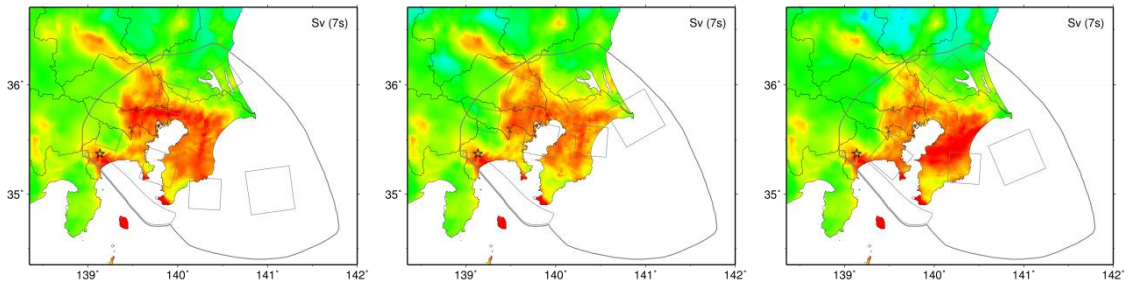


P1s1h6　　P2s1h6　　P3s1h6

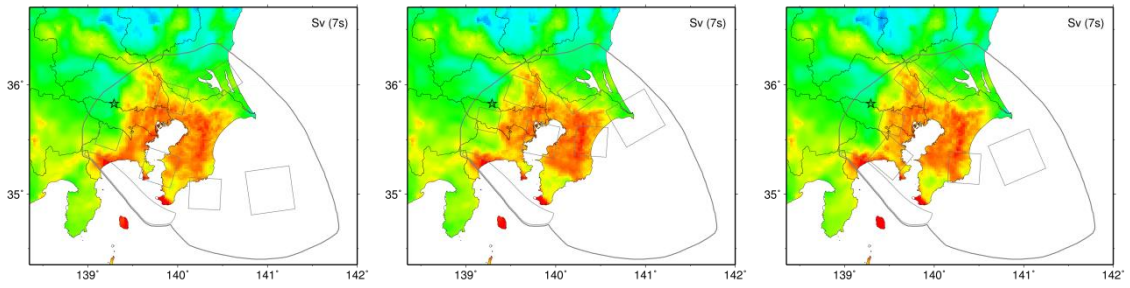


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 7 秒）：震源域 No.8（Vr=2.3km/s）】

P1s1h1　　P2s1h1　　P3s1h1



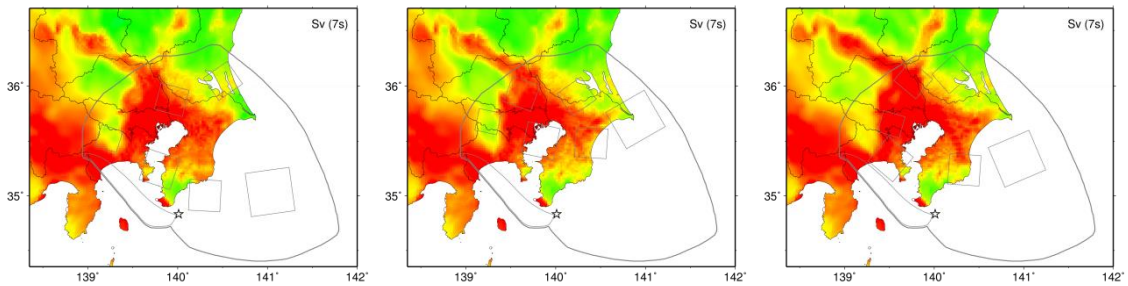
P1s1h2　　P2s1h2　　P3s1h2



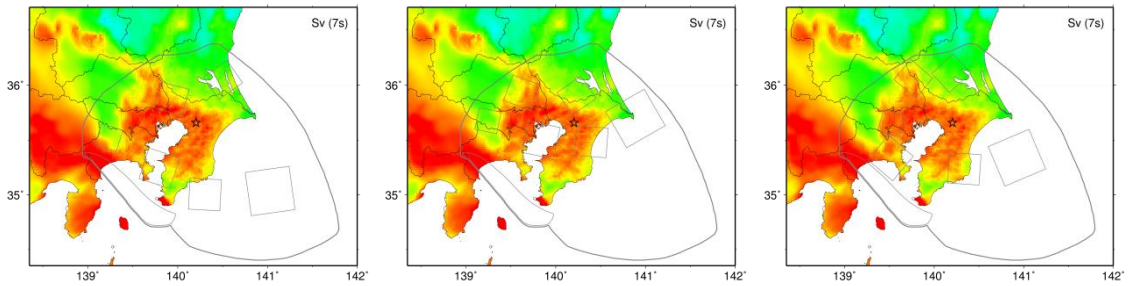


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 7 秒）：震源域 No.8（Vr=2.3km/s）】

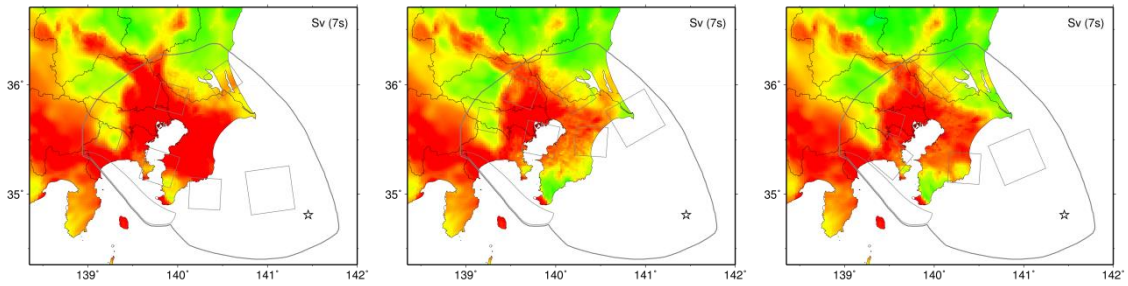
P1s1h3 P2s1h3 P3s1h3



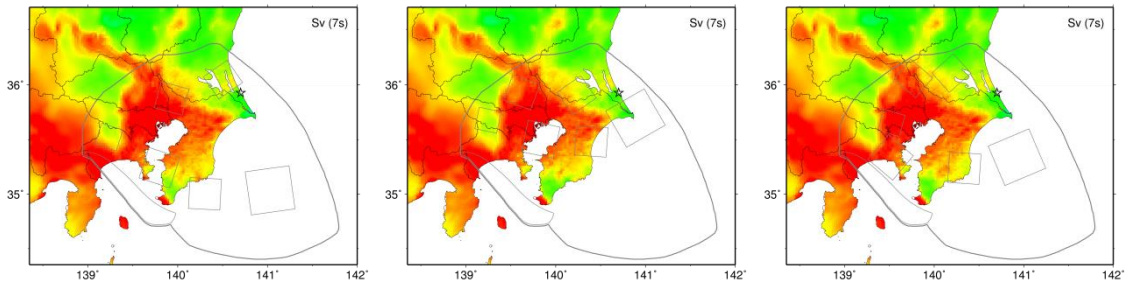
P1s1h4 P2s1h4 P3s1h4



P1s1h5 P2s1h5 P3s1h5



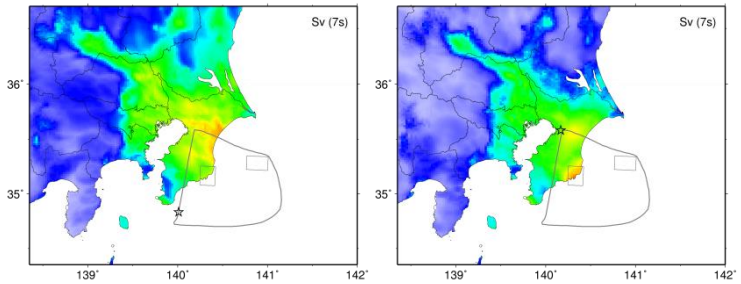
P1s1h6 P2s1h6 P3s1h6



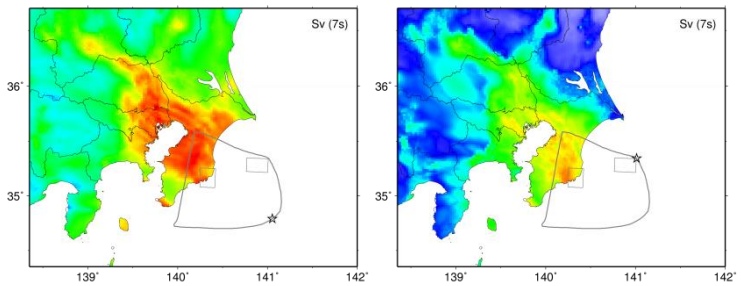


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 7 秒）：震源域 No.9】

P0h3 P0h4

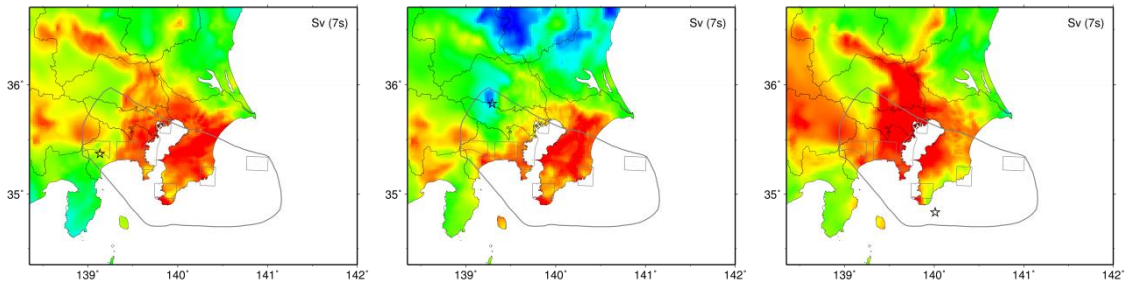


P0h7　　P0h8

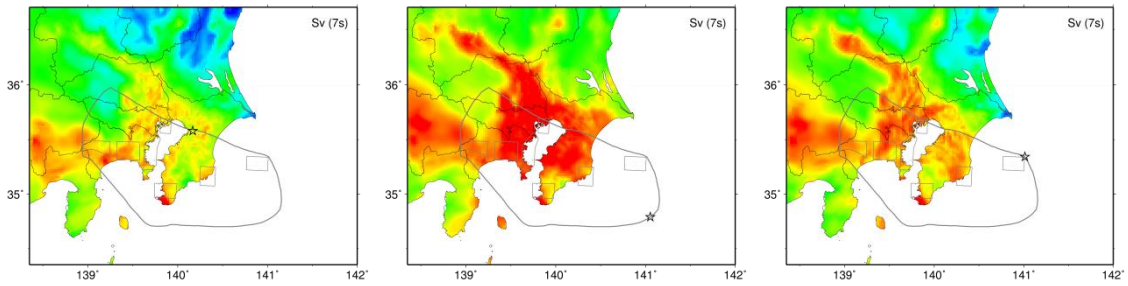


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 7 秒）：震源域 No.10】

P0h1　　P0h2　　P0h3

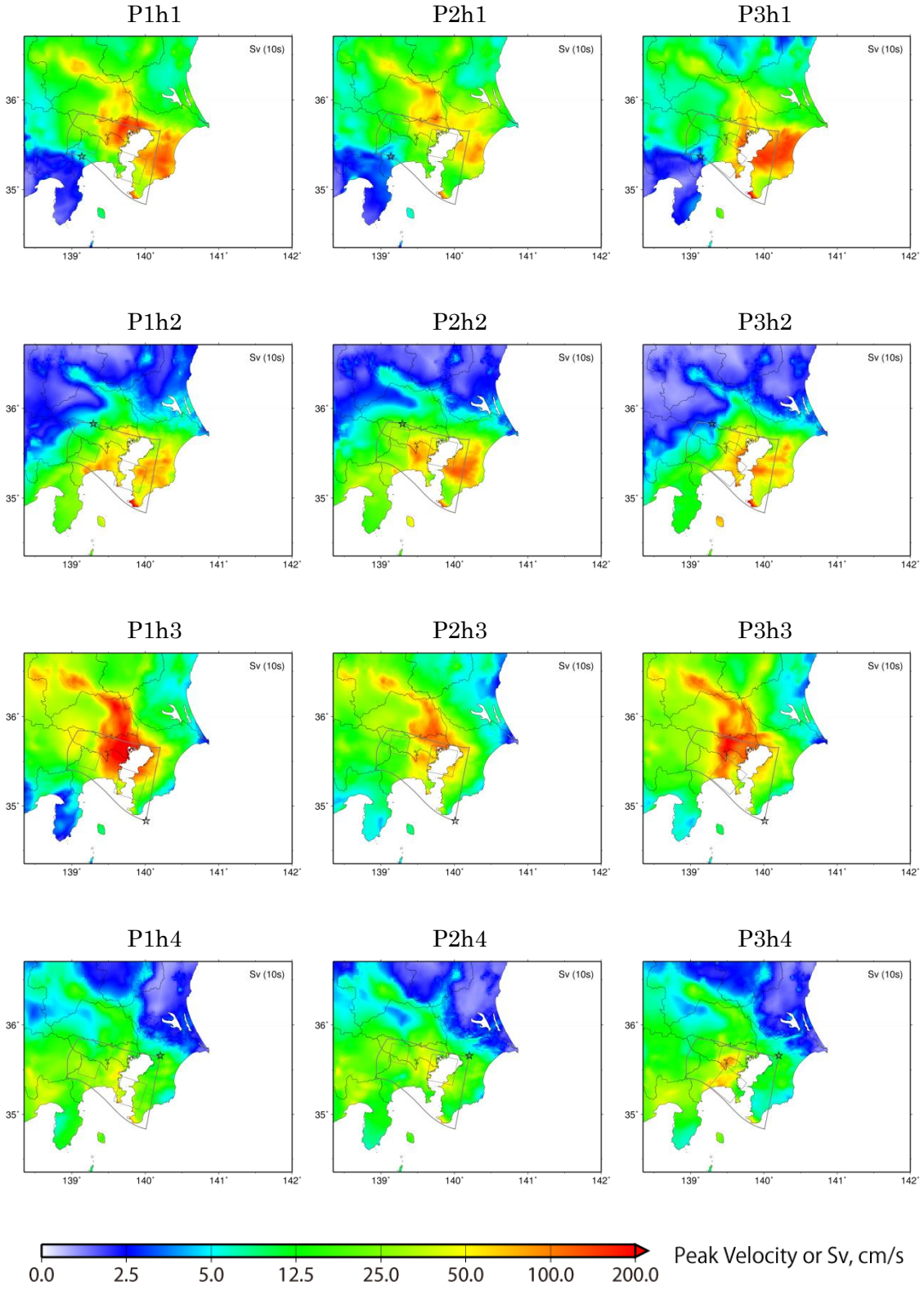


P0h4　　P0h7　　P0h8



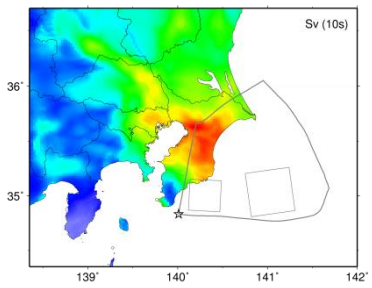


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.1】

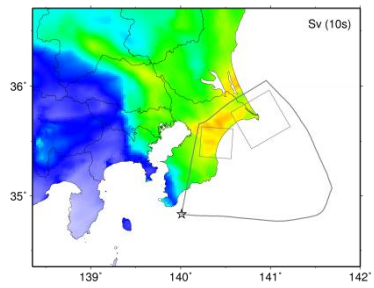


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.2】

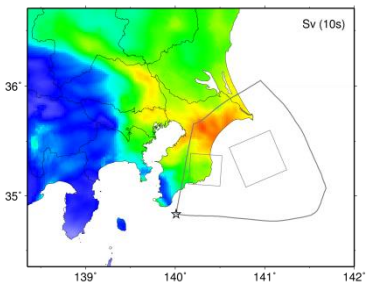
P1h3



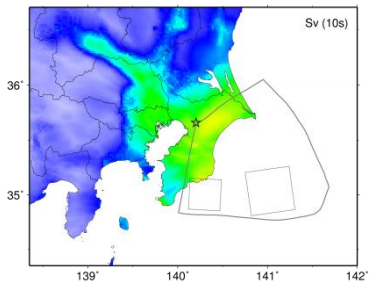
P2h3



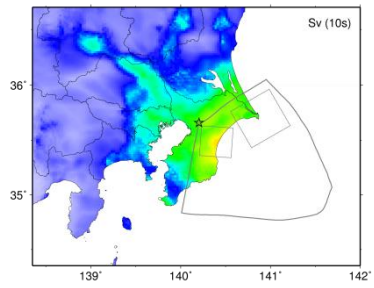
P3h3



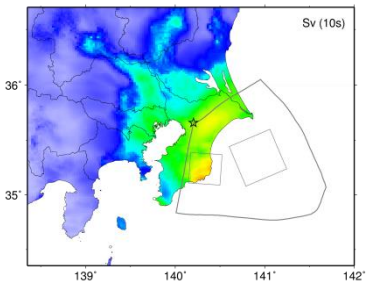
P1h4



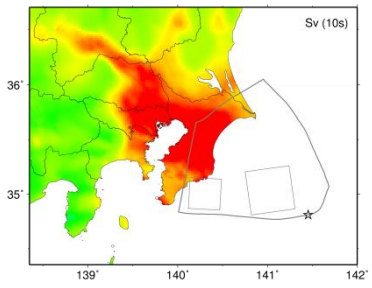
P2h4



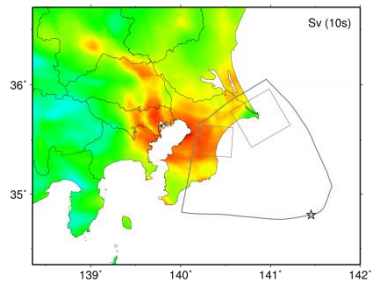
P3h4



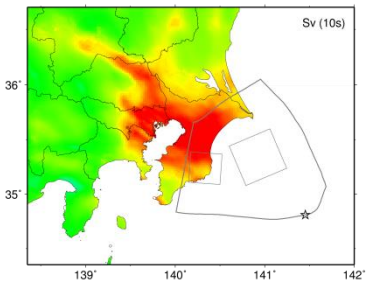
P1h5



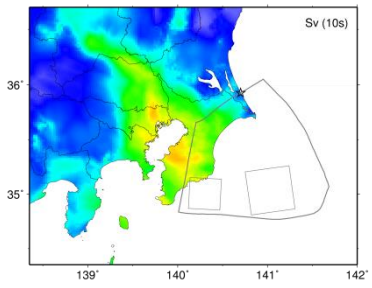
P2h5



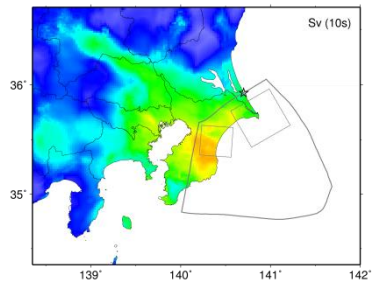
P3h5



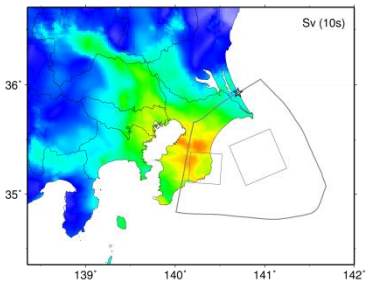
P1h6



P2h6

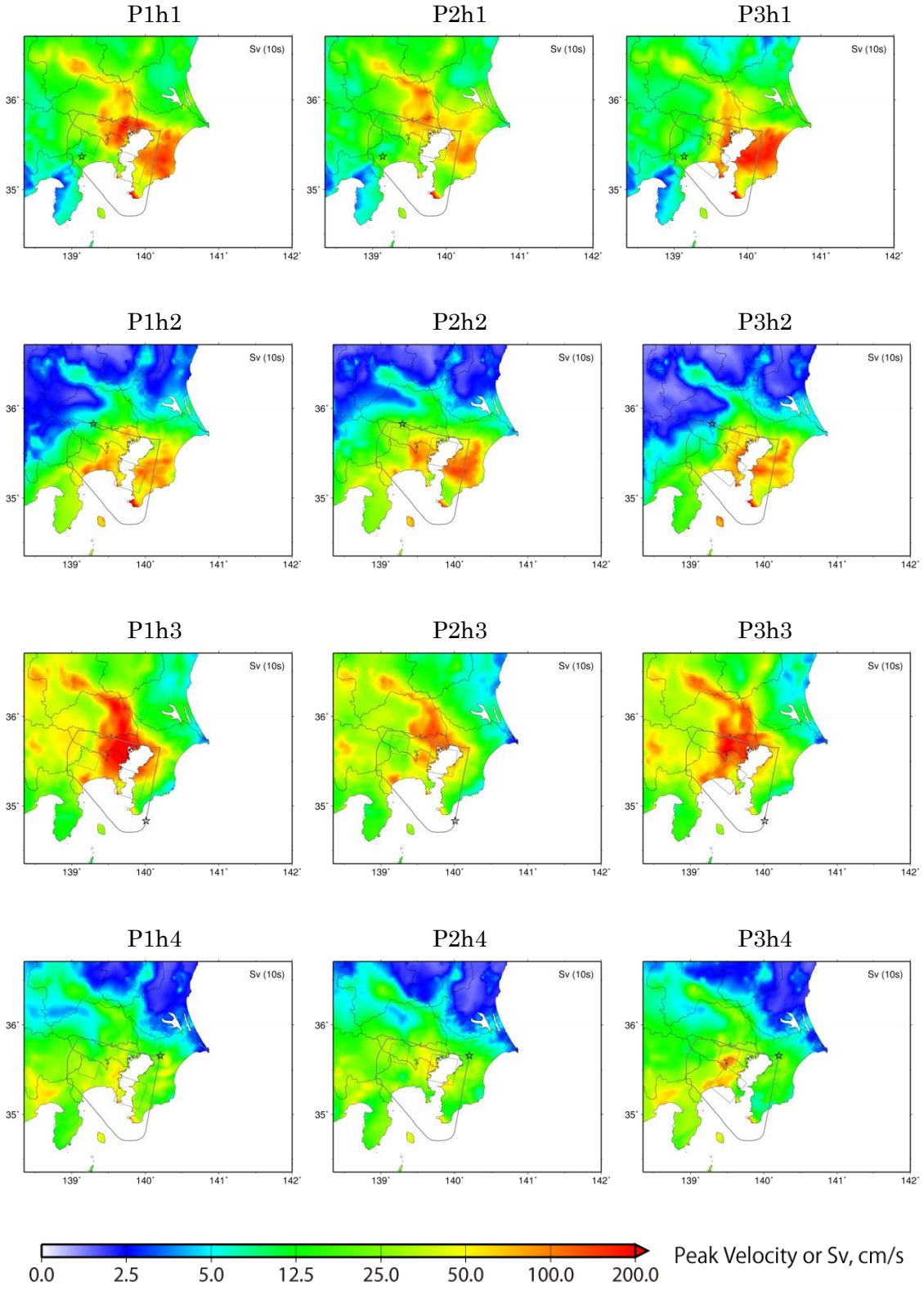


P3h6



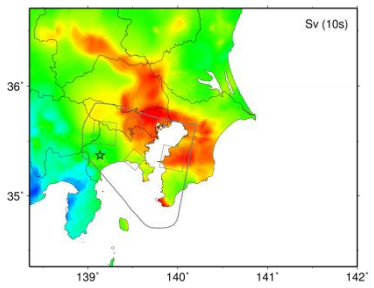


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.3】

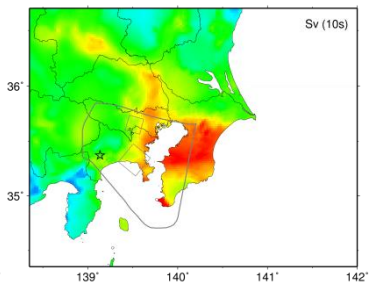


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.3】

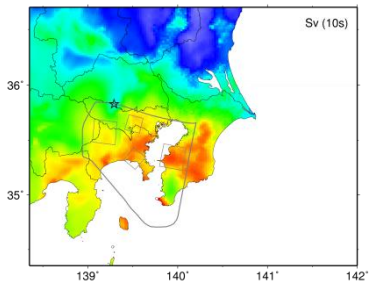
P4h1



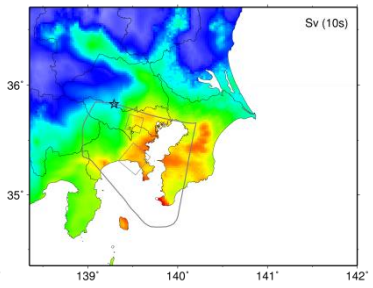
P5h1



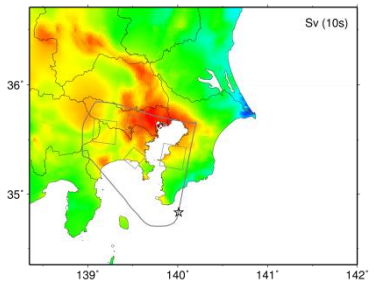
P4h2



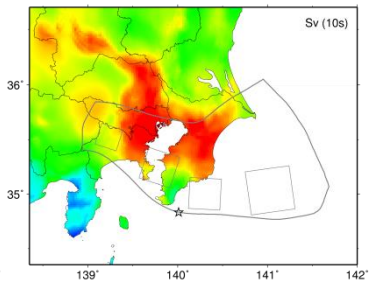
P5h2



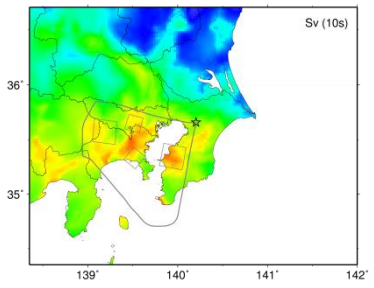
P4h3



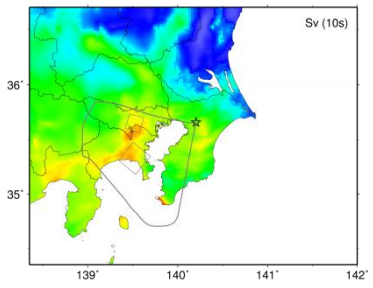
P5h3



P4h4



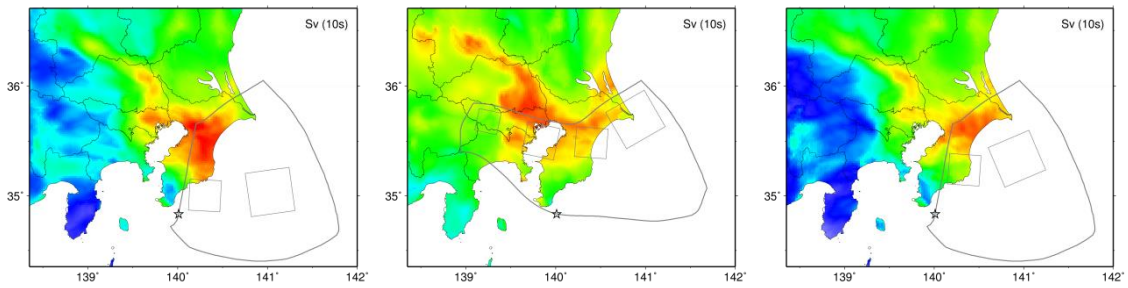
P5h4



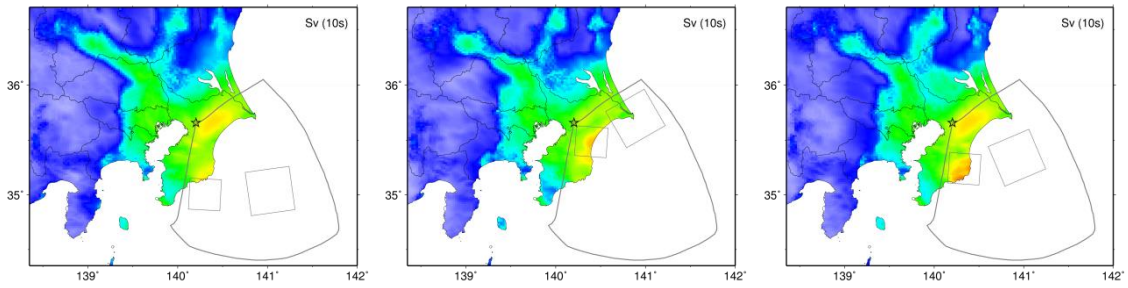


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.4】

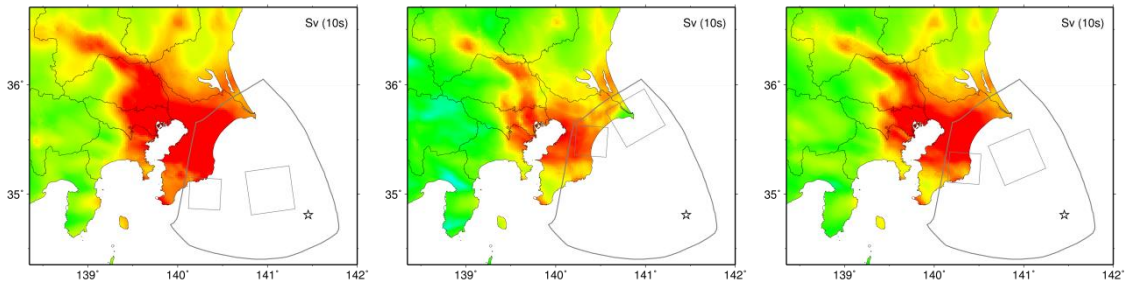
P1h3 P2h3 P3h3



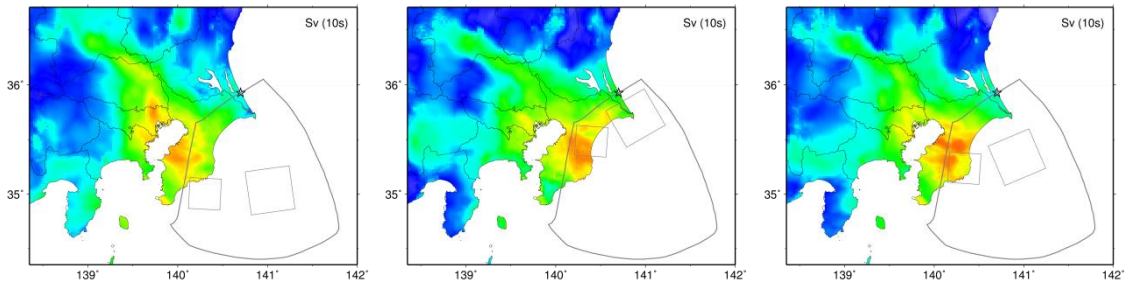
P1h4 P2h4 P3h4



P1h5 P2h5 P3h5



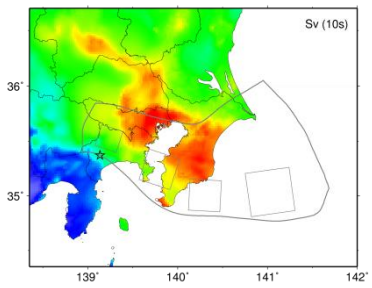
P1h6 P2h6 P3h6



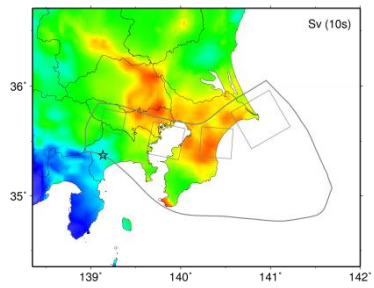


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.5】

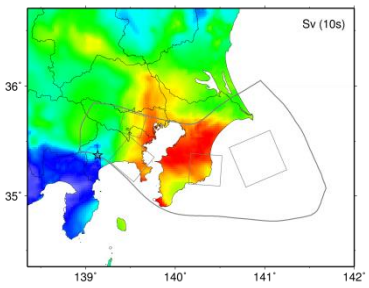
P1h1



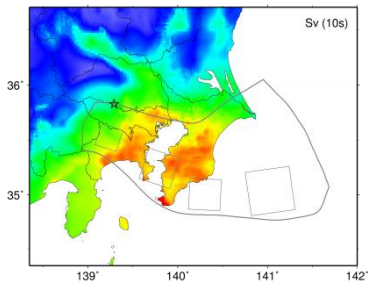
P2h1



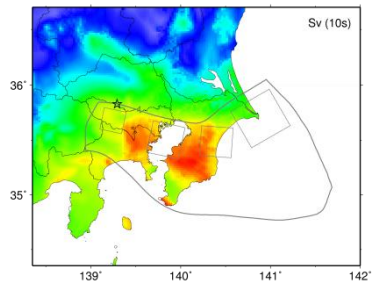
P3h1



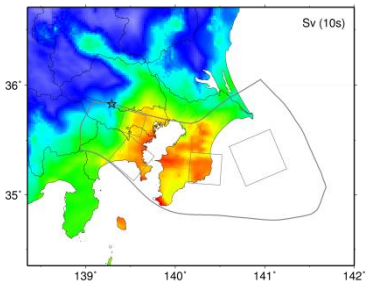
P1h2



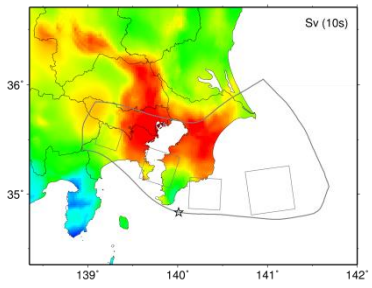
P2h2



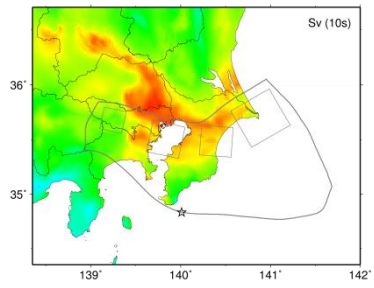
P3h2



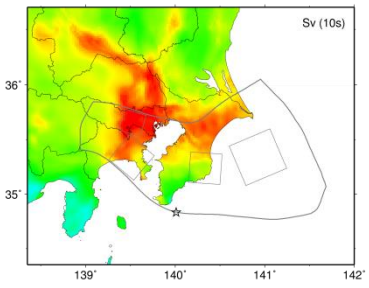
P1h3



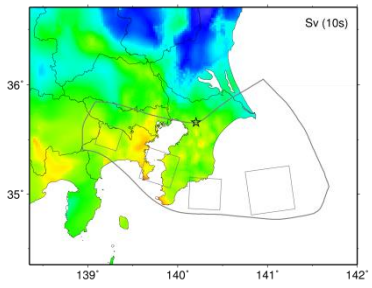
P2h3



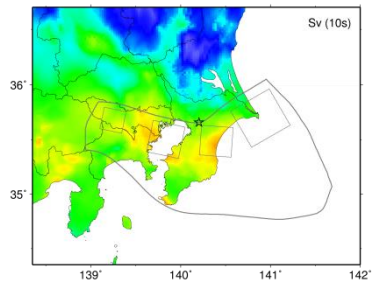
P3h3



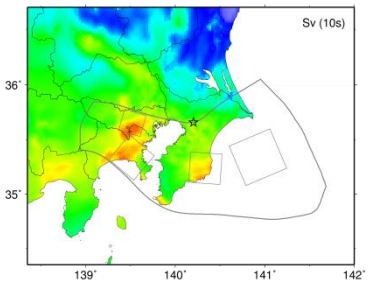
P1h4



P2h4



P3h4



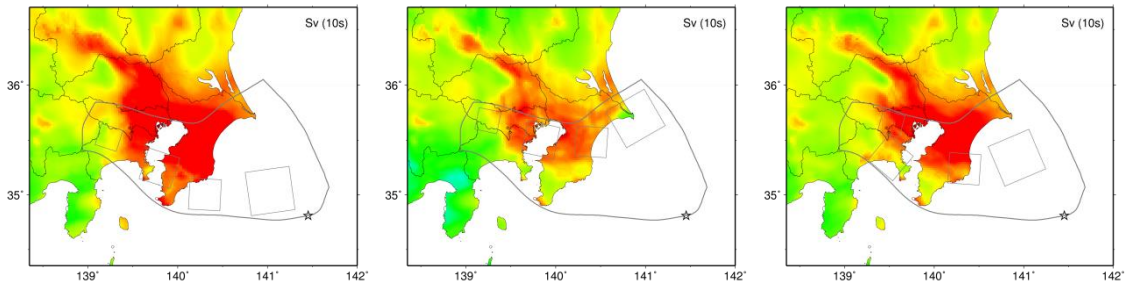


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.5】

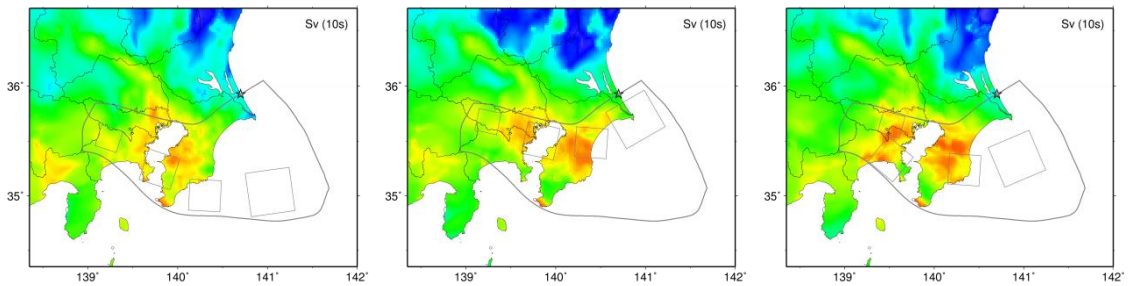
P1h5

P2h5

P3h5

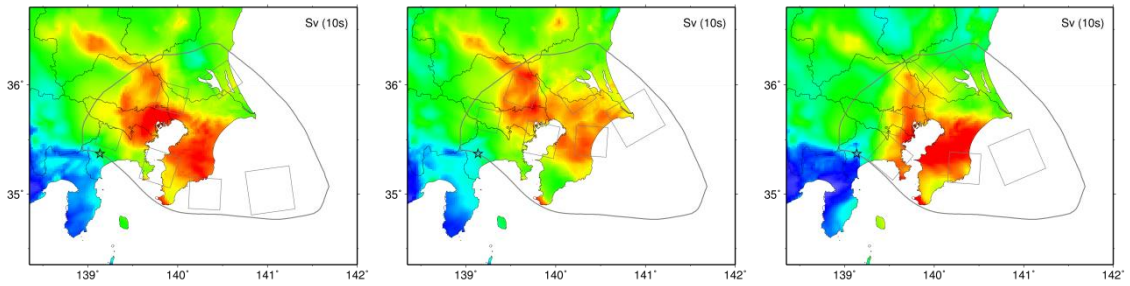


P1h6　　P2h6　　P3h6

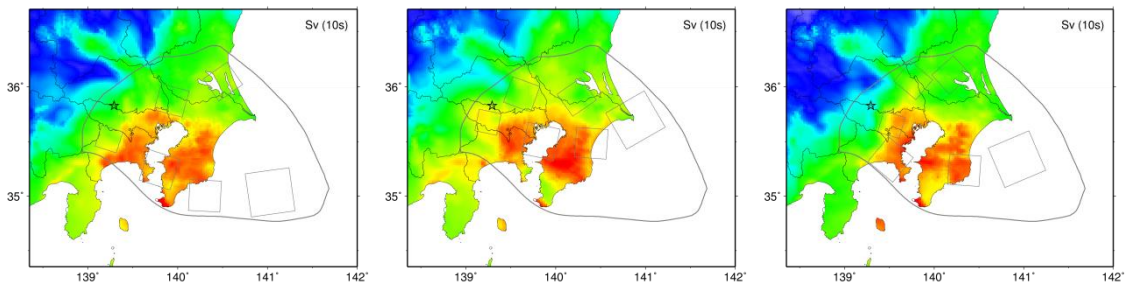


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.7】

P1h1　　P2h1　　P3h1

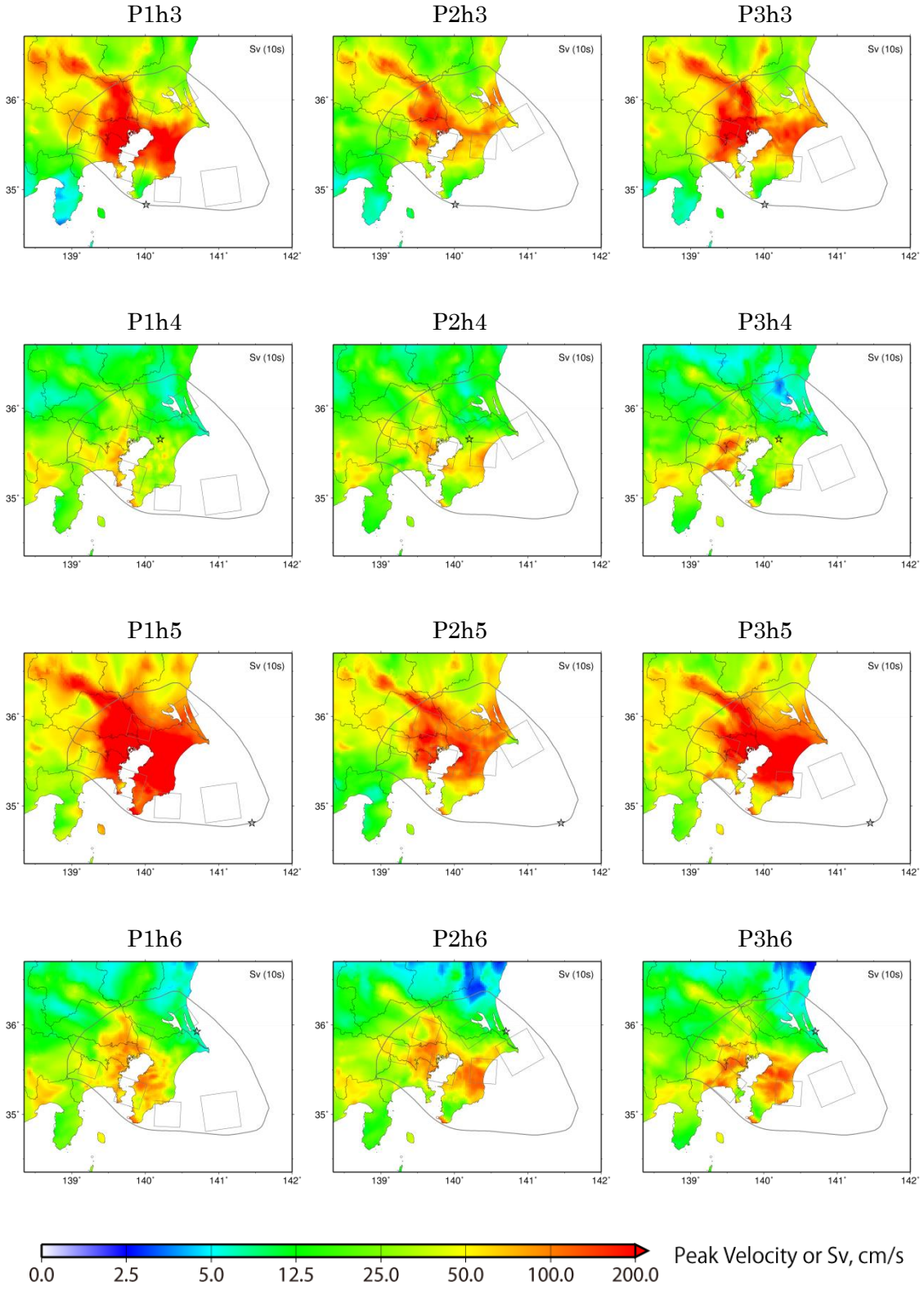


P1h2　　P2h2　　P3h2



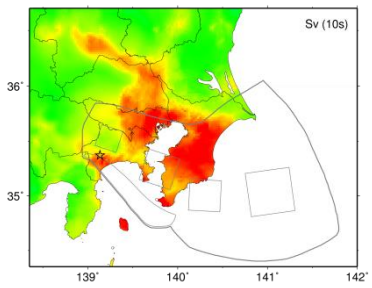


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.7】

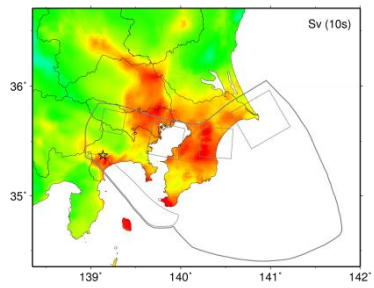


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.6（基本モデル）】

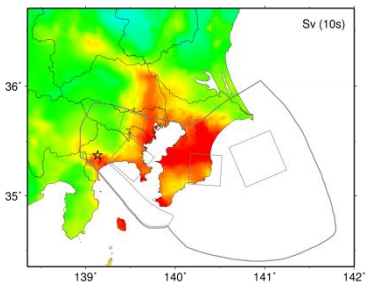
P1s1h1



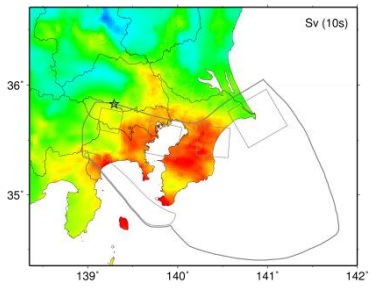
P2s1h1



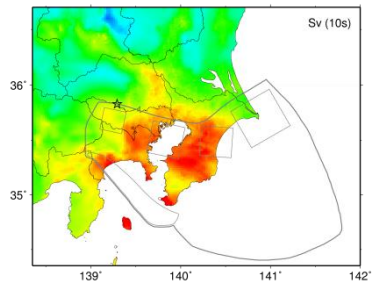
P3s1h1



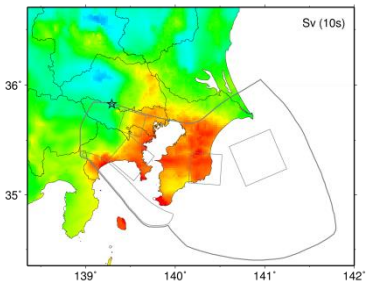
P1s1h2



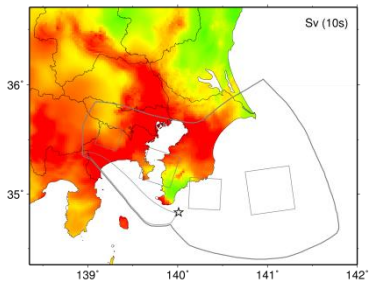
P2s1h2



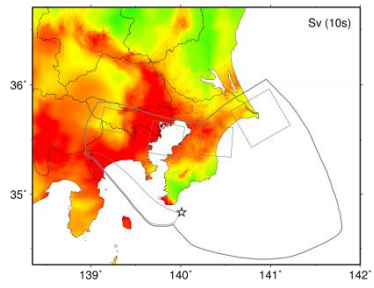
P3s1h2



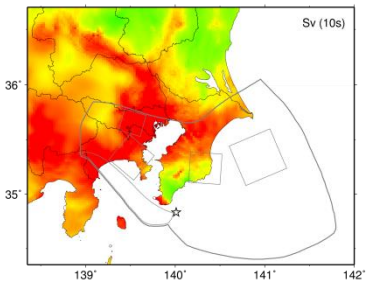
P1s1h3



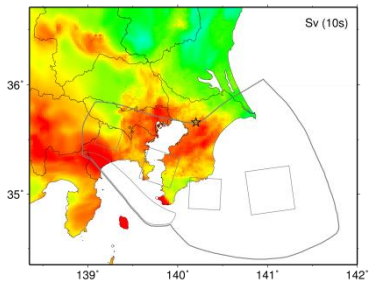
P2s1h3



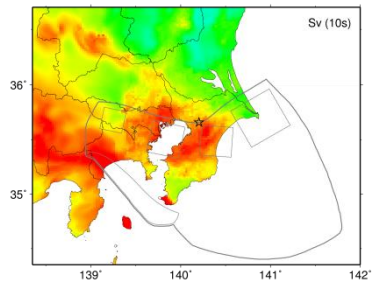
P3s1h3



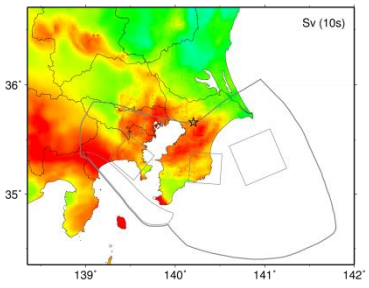
P1s1h4



P2s1h4



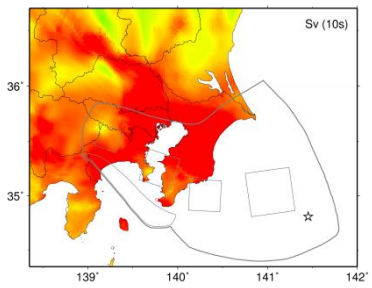
P3s1h4



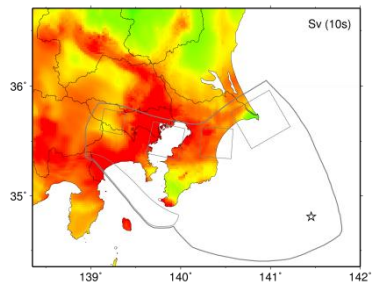


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.6（基本モデル）】

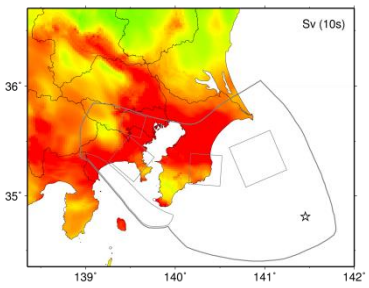
P1s1h5



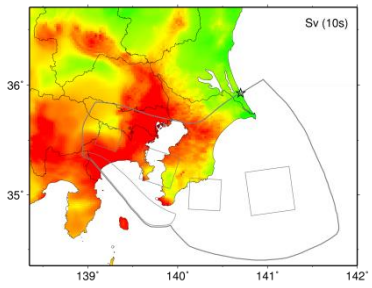
P2s1h5



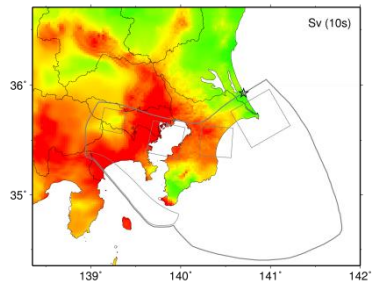
P3s1h5



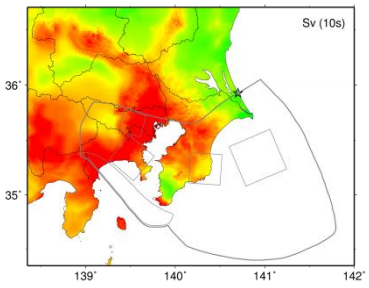
P1s1h6



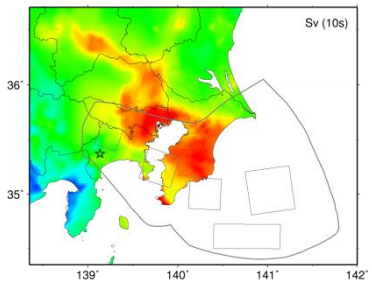
P2s1h6



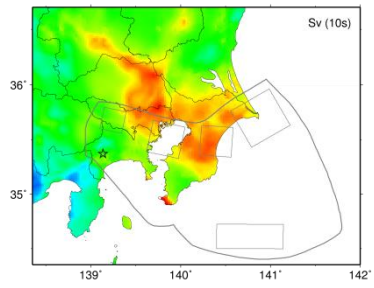
P3s1h6



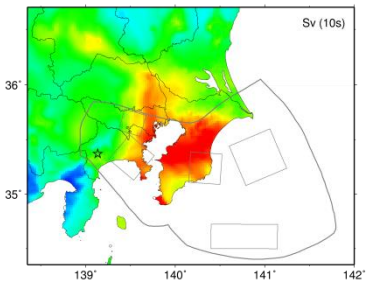
P1s2h1



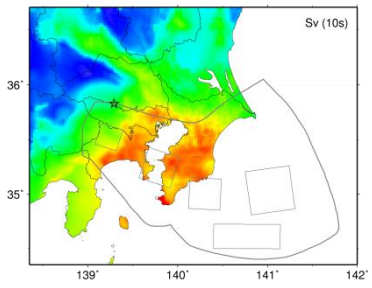
P2s2h1



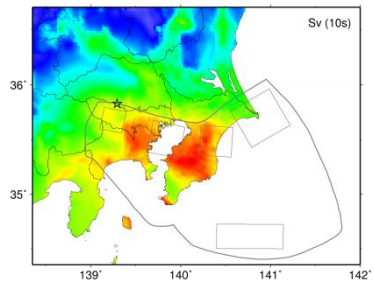
P3s2h1



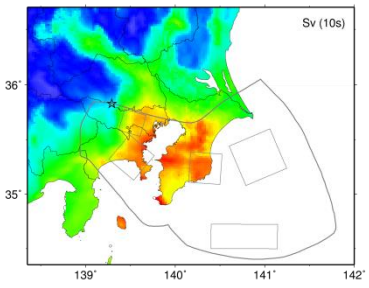
P1s2h2



P2s2h2



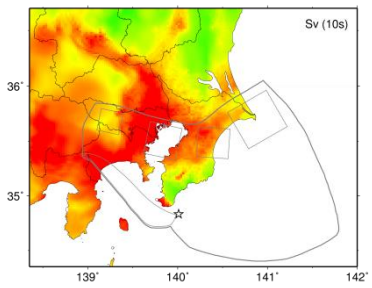
P3s2h2



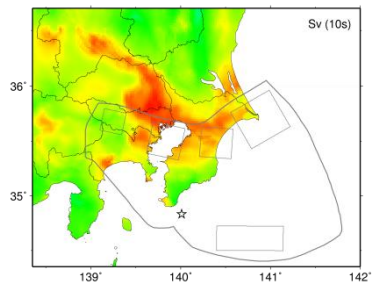


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.6（基本モデル）】

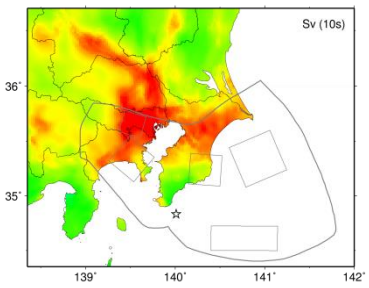
P1s2h3



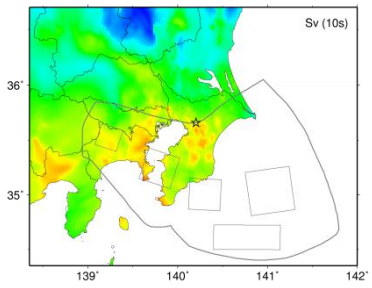
P2s2h3



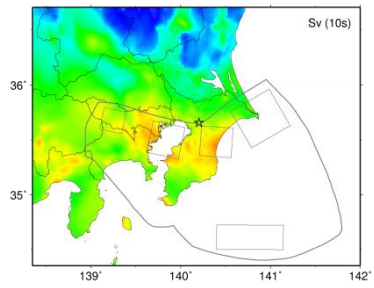
P3s2h3



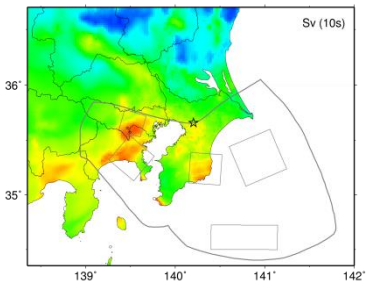
P1s2h4



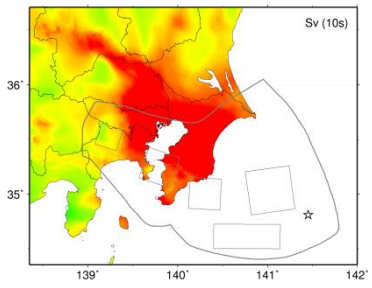
P2s2h4



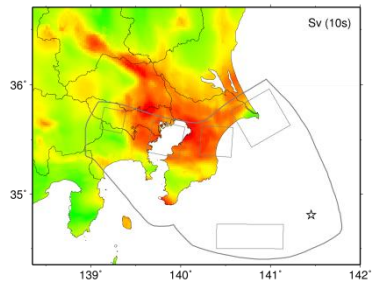
P3s2h4



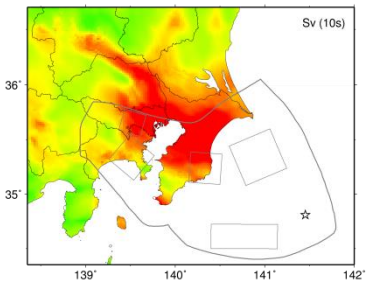
P1s2h5



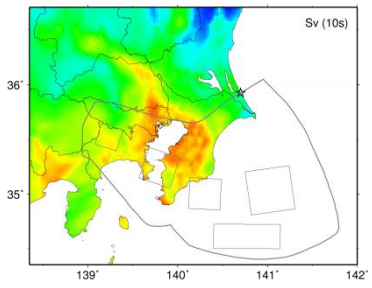
P2s2h5



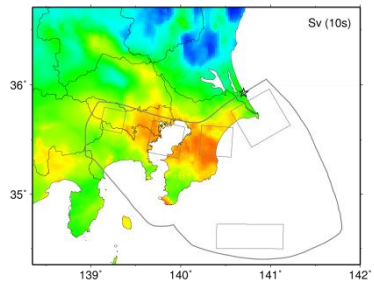
P3s2h5



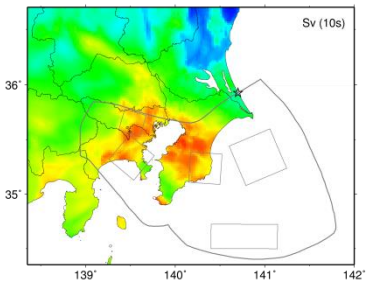
P1s2h6



P2s2h6



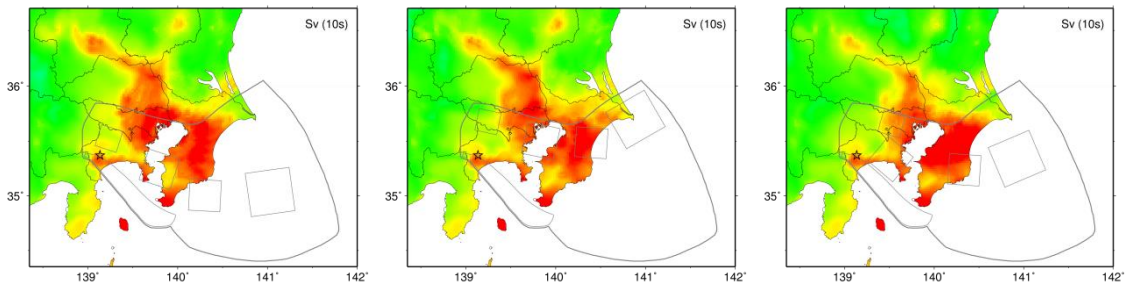
P3s2h6



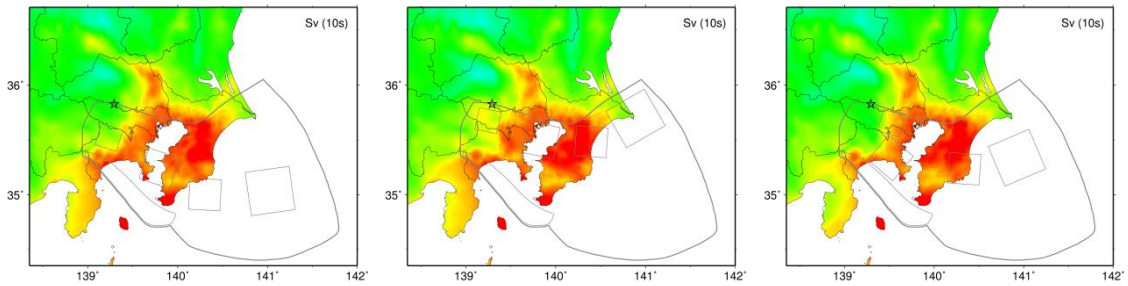


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.6（smoothed ramp）】

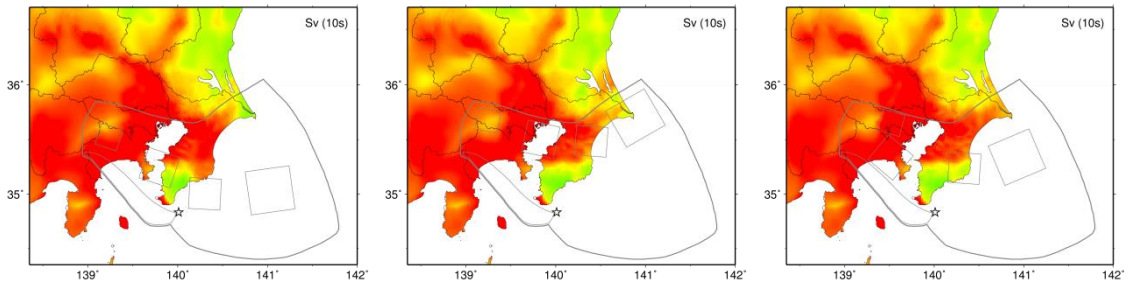
P1s1h1 P2s1h1 P3s1h1



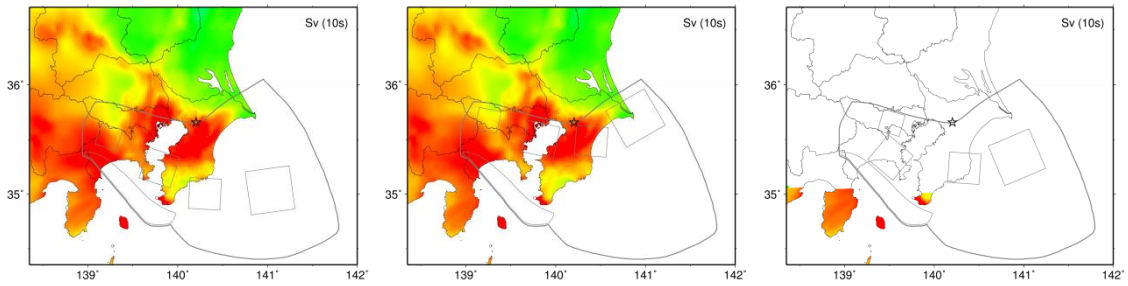
P1s1h2 P2s1h2 P3s1h2



P1s1h3 P2s1h3 P3s1h3



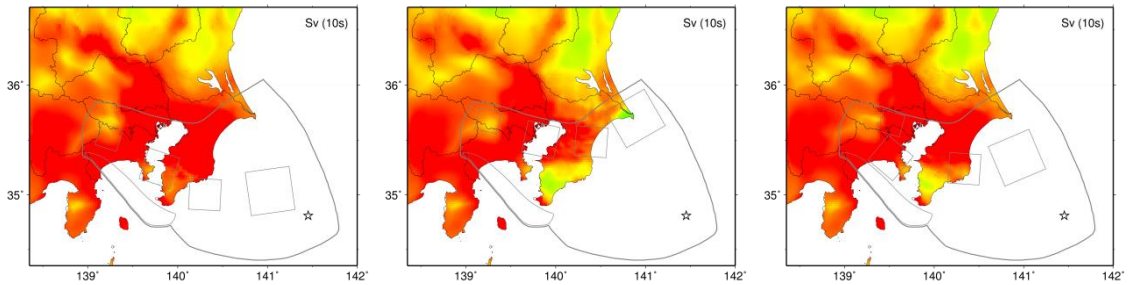
P1s1h4 P2s1h4 P3s1h4



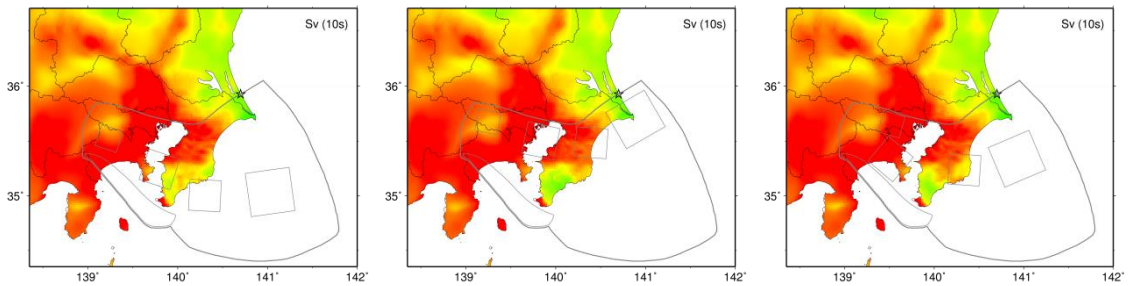


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.6（smoothed ramp）】

P1s1h5 P2s1h5 P3s1h5

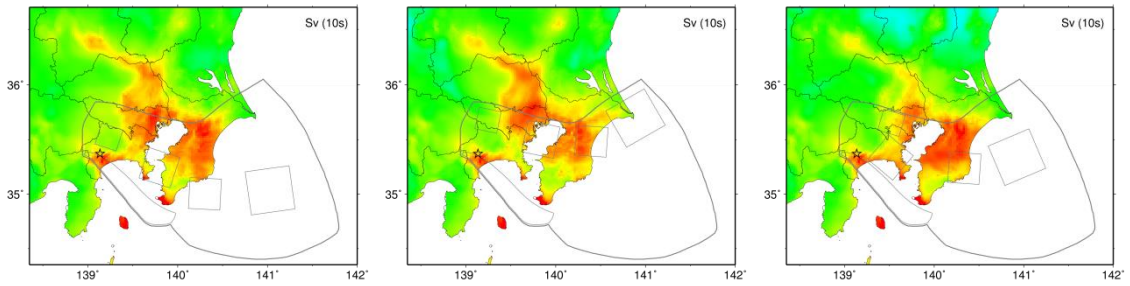


P1s1h6　　P2s1h6　　P3s1h6

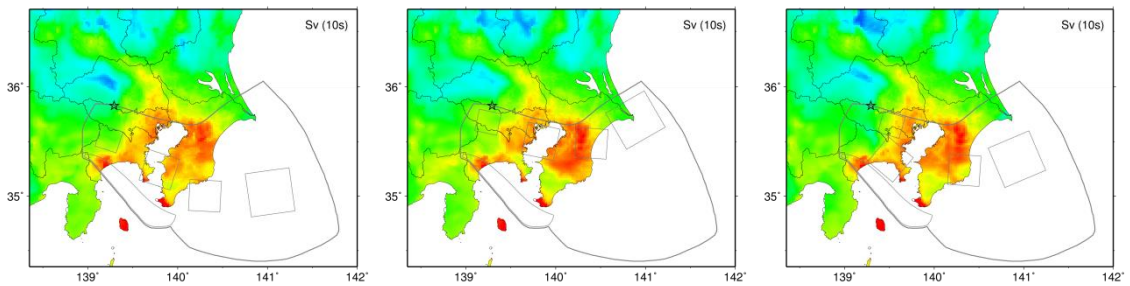


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.6（Vr=2.3km/s）】

P1s1h1　　P2s1h1　　P3s1h1



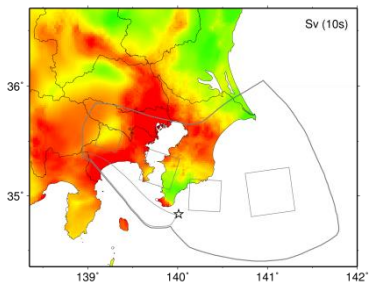
P1s1h2　　P2s1h2　　P3s1h2



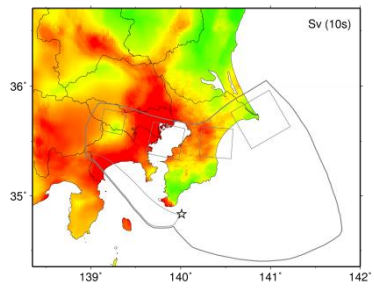


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.6（Vr=2.3km/s）】

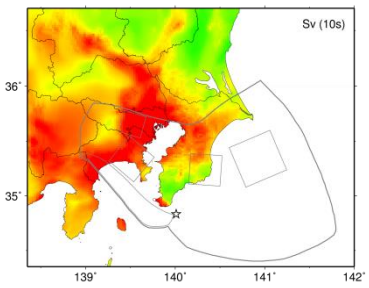
P1s1h3



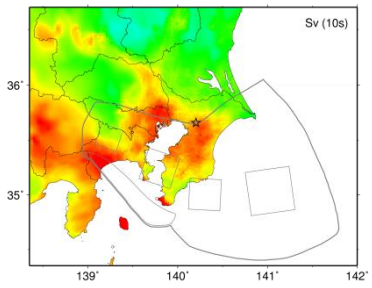
P2s1h3



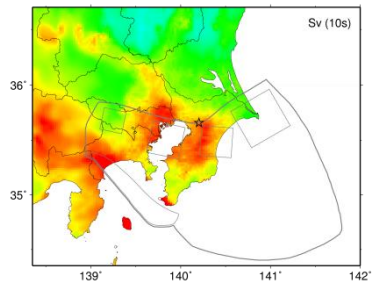
P3s1h3



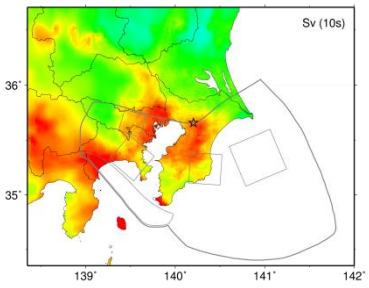
P1s1h4



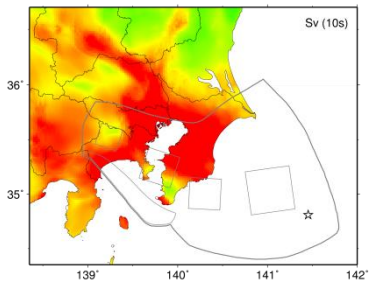
P2s1h4



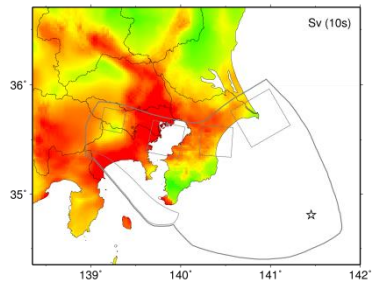
P3s1h4



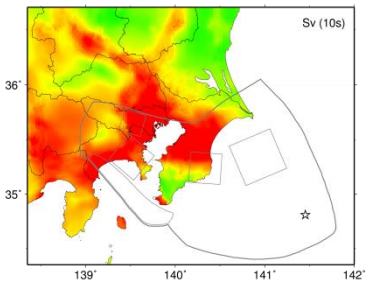
P1s1h5



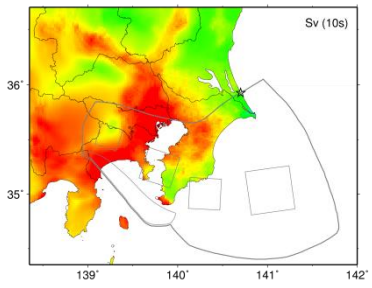
P2s1h5



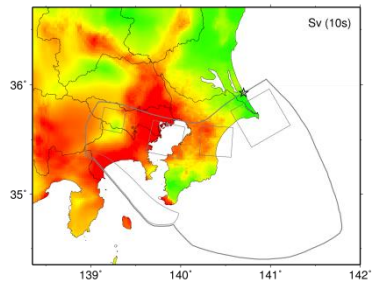
P3s1h5



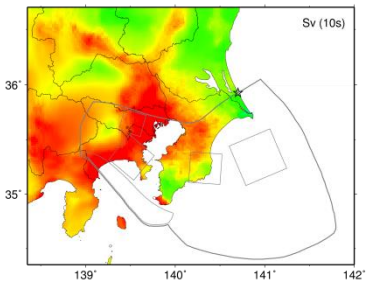
P1s1h6



P2s1h6



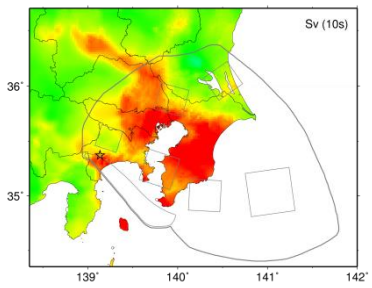
P3s1h6



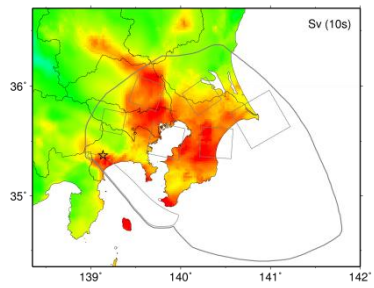


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.8（基本モデル）】

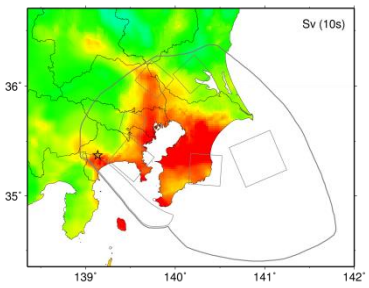
P1s1h1



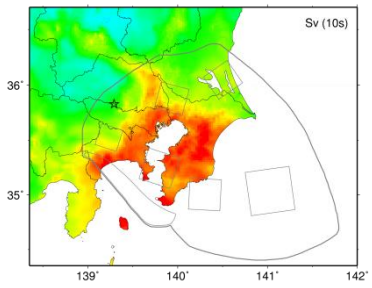
P2s1h1



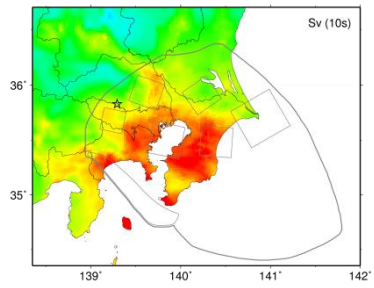
P3s1h1



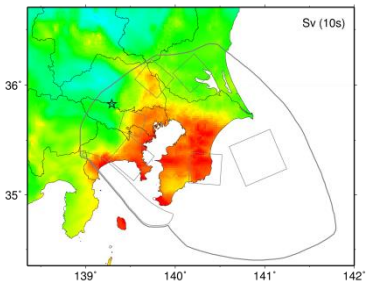
P1s1h2



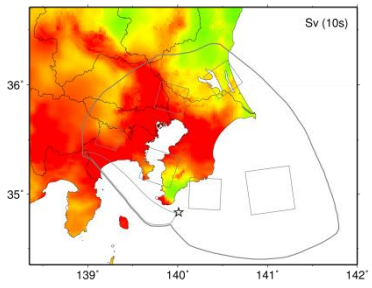
P2s1h2



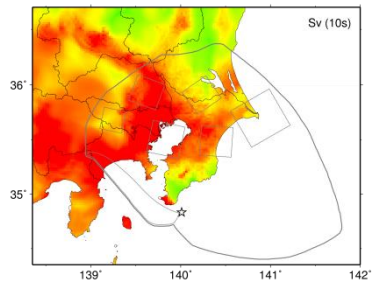
P3s1h2



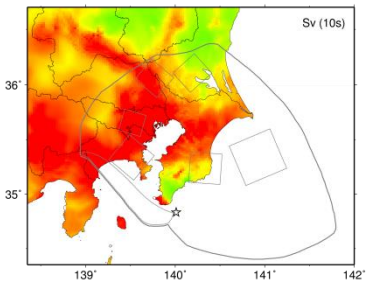
P1s1h3



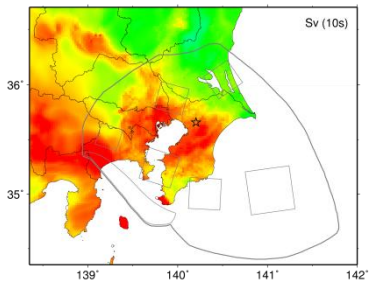
P2s1h3



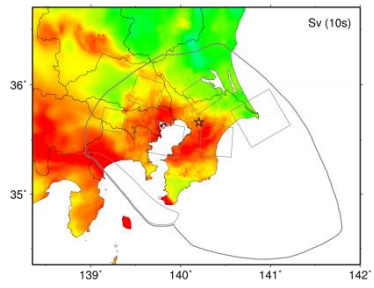
P3s1h3



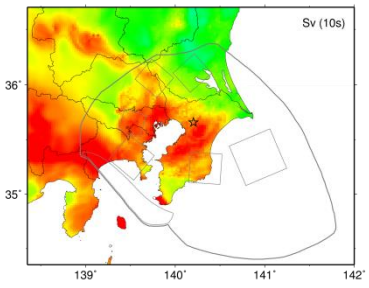
P1s1h4



P2s1h4



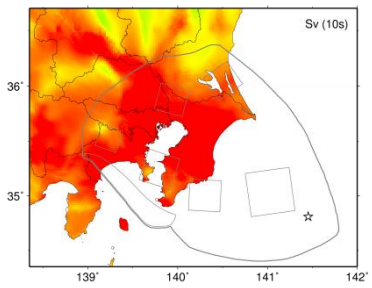
P3s1h4



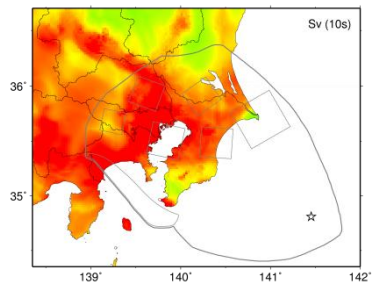


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.8（基本モデル）】

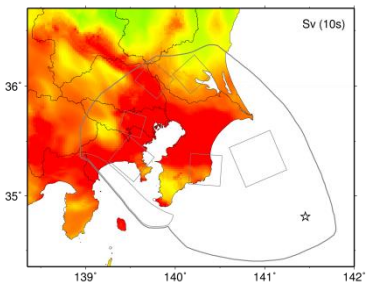
P1s1h5



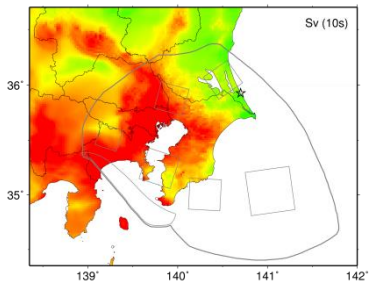
P2s1h5



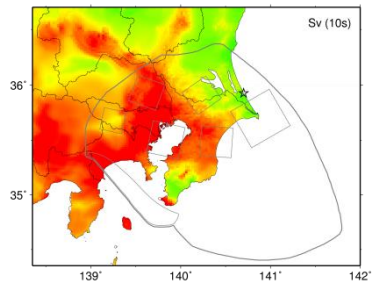
P3s1h5



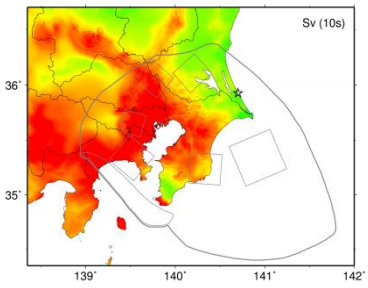
P1s1h6



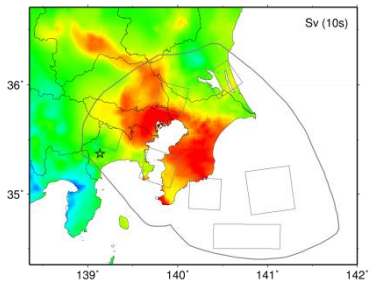
P2s1h6



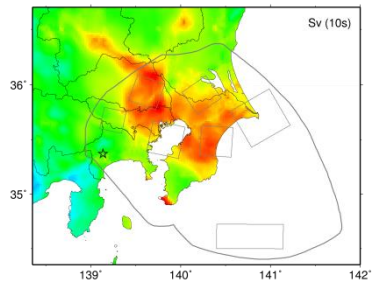
P3s1h6



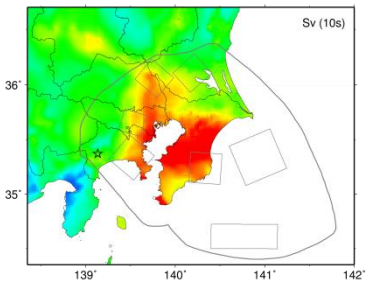
P1s2h1



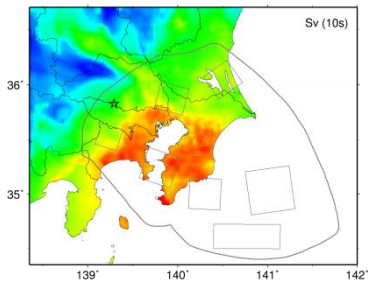
P2s2h1



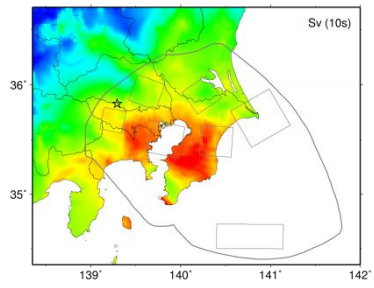
P3s2h1



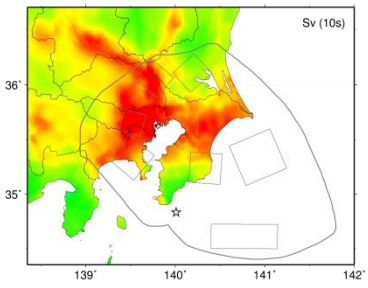
P1s2h2



P2s2h2



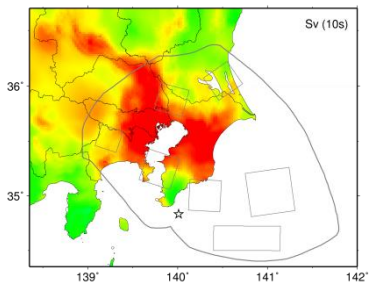
P3s2h2



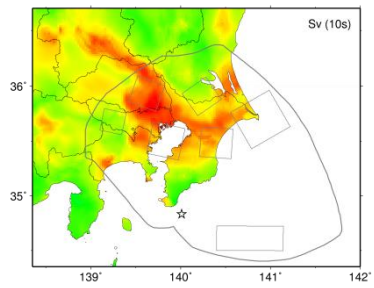


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.8（基本モデル）】

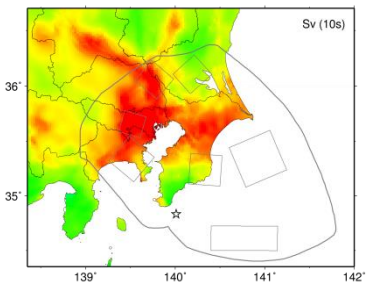
P1s2h3



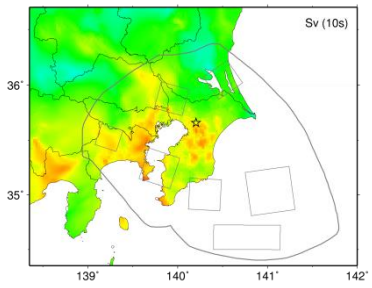
P2s2h3



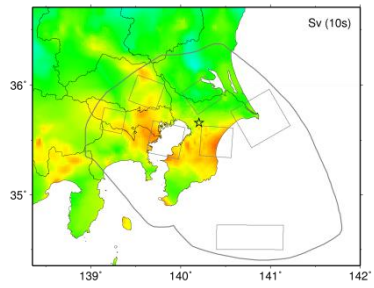
P3s2h3



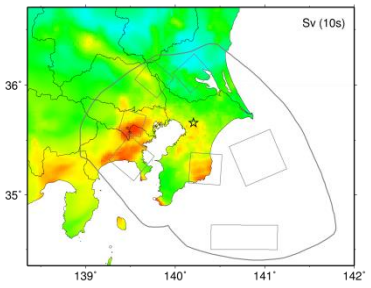
P1s2h4



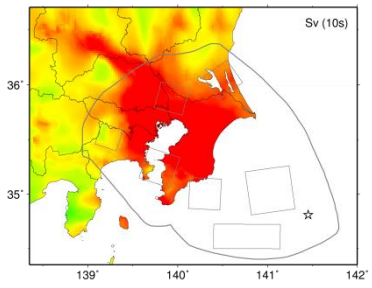
P2s2h4



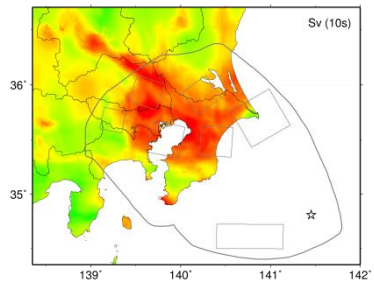
P3s2h4



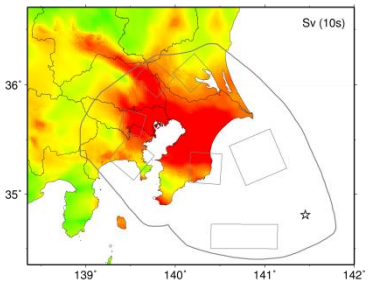
P1s2h5



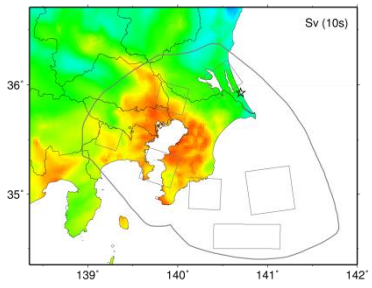
P2s2h5



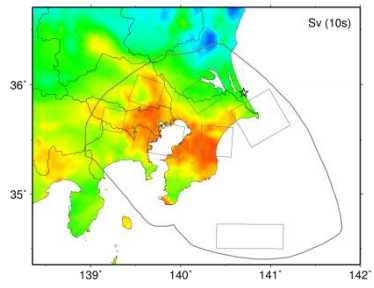
P3s2h5



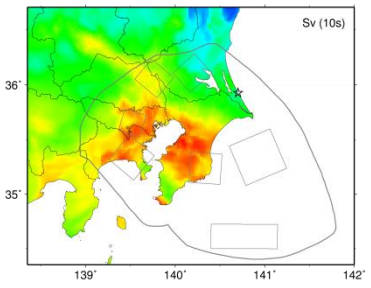
P1s2h6



P2s2h6



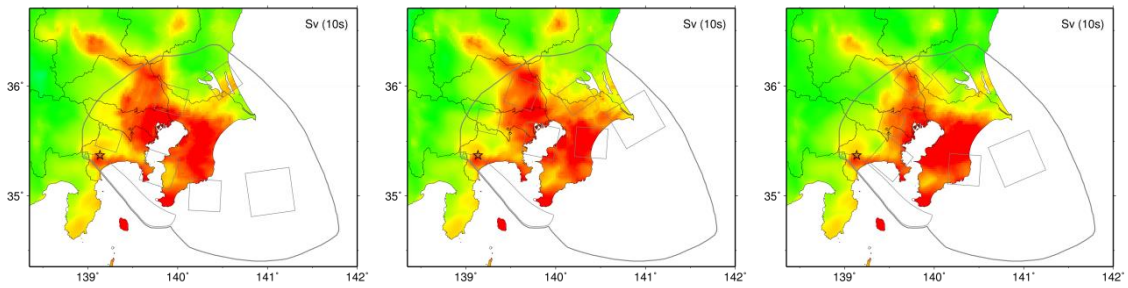
P3s2h6



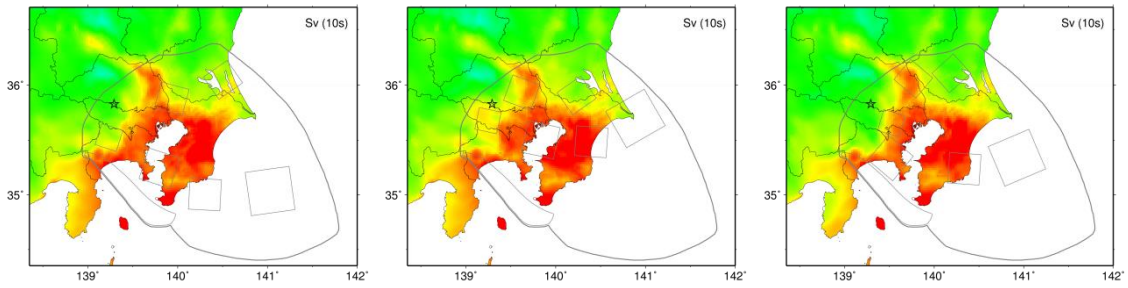


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.8（smoothed ramp）】

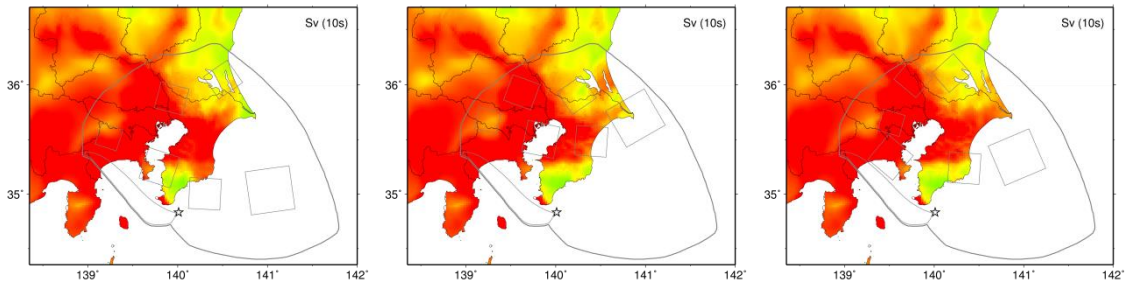
P1s1h1 P2s1h1 P3s1h1



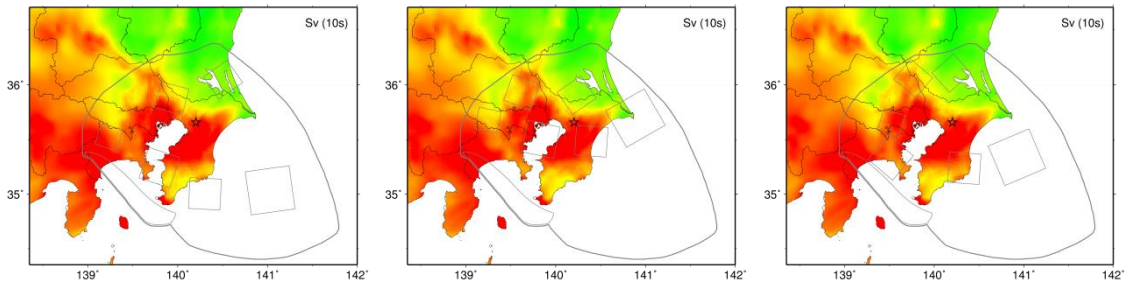
P1s1h2 P2s1h2 P3s1h2



P1s1h3 P2s1h3 P3s1h3



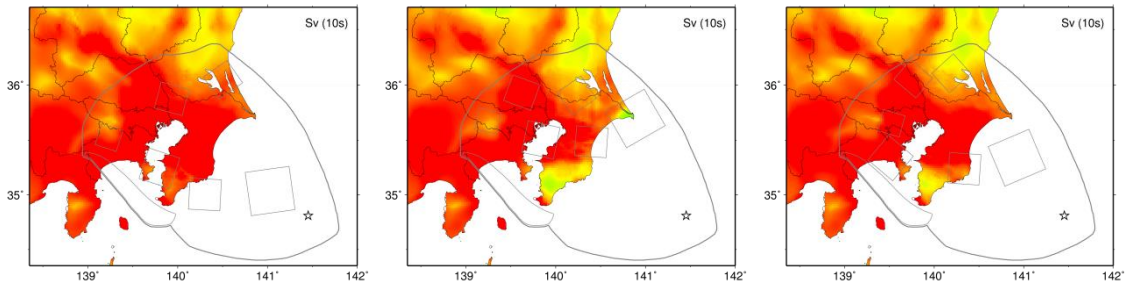
P1s1h4 P2s1h4 P3s1h4



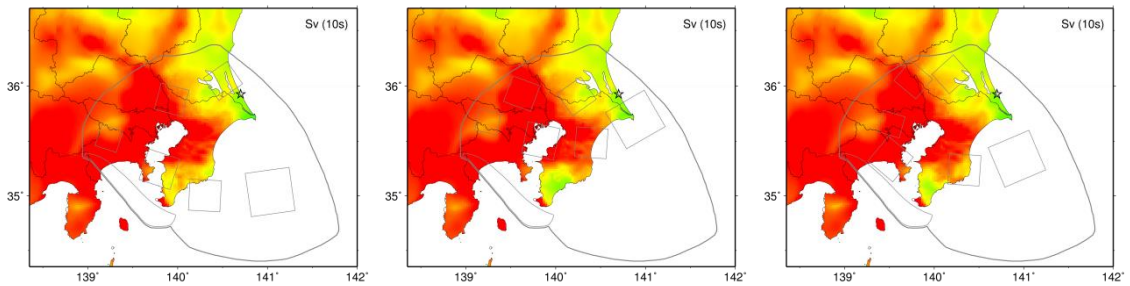


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.8（smoothed ramp）】

P1s1h5 P2s1h5 P3s1h5

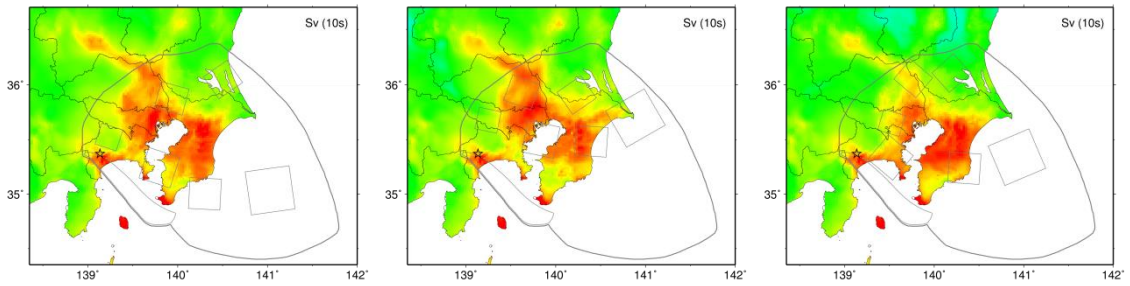


P1s1h6　　P2s1h6　　P3s1h6

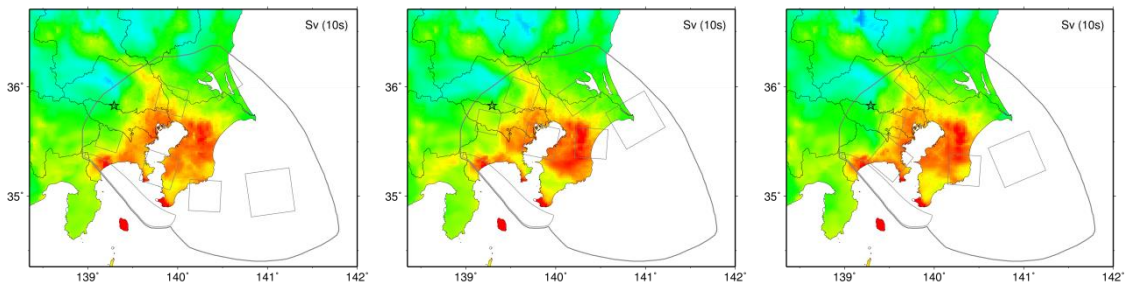


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.8（Vr=2.3km/s）】

P1s1h1　　P2s1h1　　P3s1h1



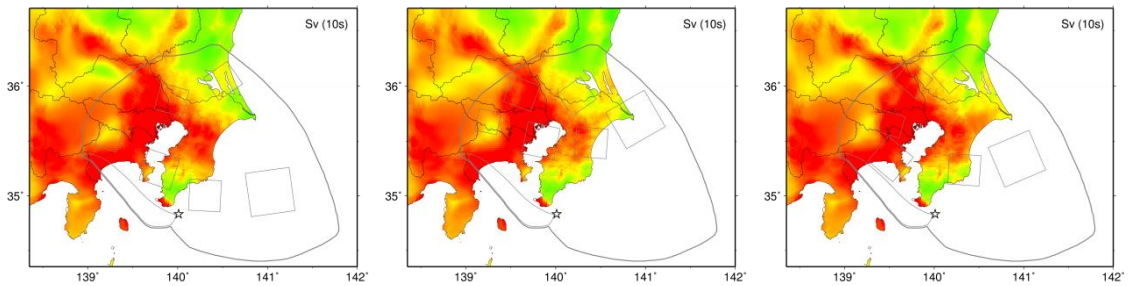
P1s1h2　　P2s1h2　　P3s1h2



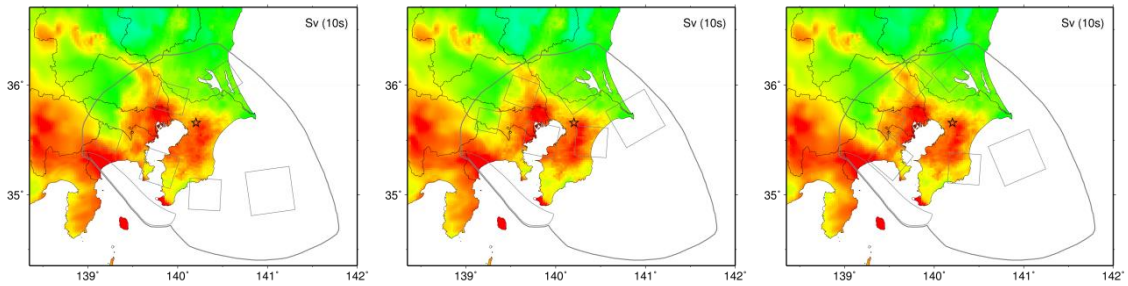


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.8（Vr=2.3km/s）】

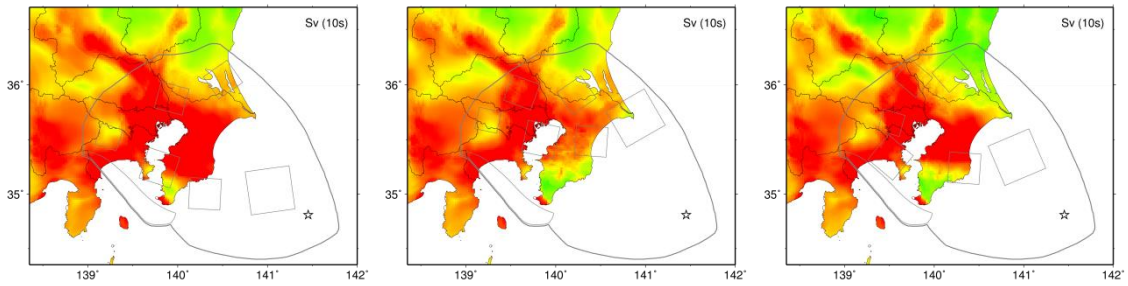
P1s1h3 P2s1h3 P3s1h3



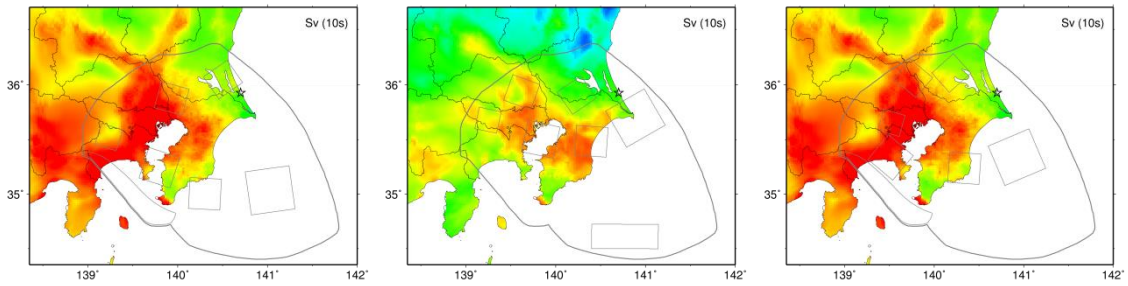
P1s1h4 P2s1h4 P3s1h4



P1s1h5 P2s1h5 P3s1h5



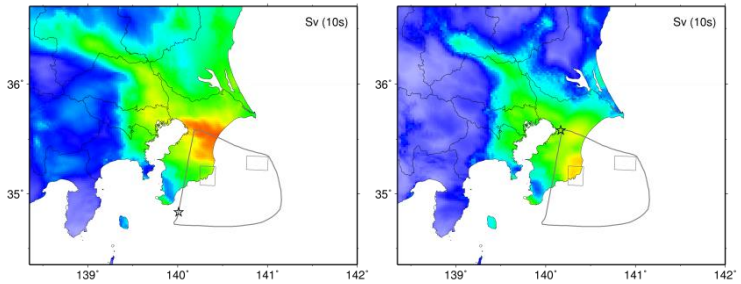
P1s1h6 P2s1h6 P3s1h6



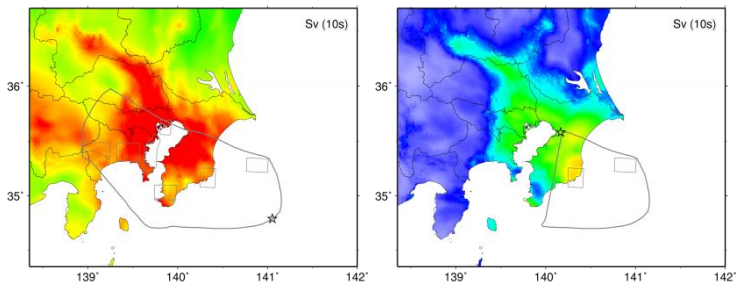


【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.9】

P0h3 P0h4

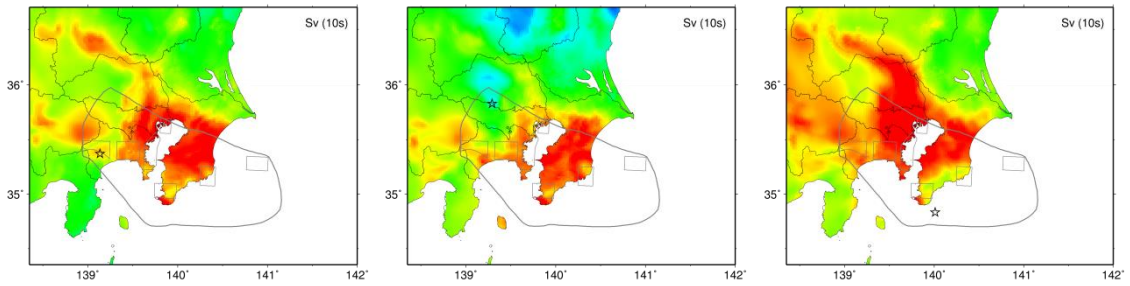


P0h7　　P0h8



【工学的基盤上の速度応答値（減衰定数 5%；周期 10 秒）：震源域 No.10】

P0h1　　P0h2　　P0h3



P0h4　　P0h7　　P0h8

