

東海・東南海・南海地震の
連動性評価研究プロジェクト

② 連動性を考慮した強震動・津波予測及び
地震・津波被害予測研究

(平成22年度)

成果報告書

平成23年5月

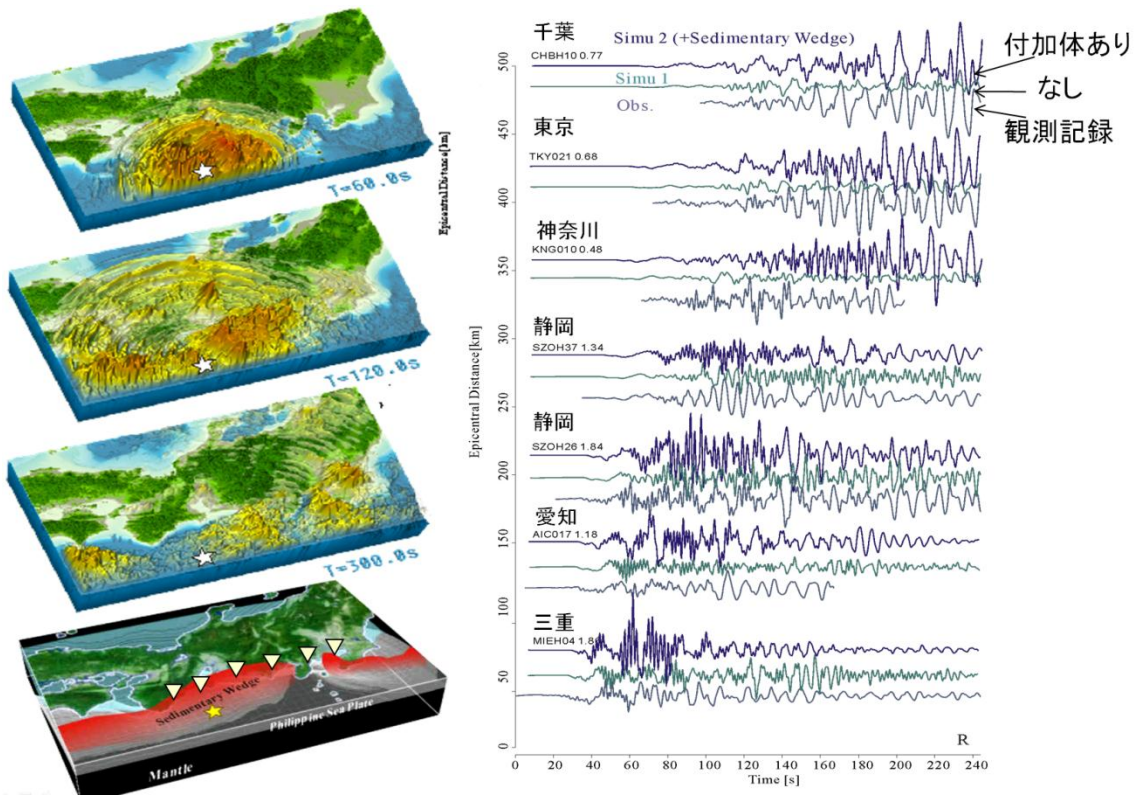
文部科学省 研究開発局

国立大学法人 東京大学大学院情報学環

本報告書は、文部科学省の委託業務として、国立大学法人東京大学大学院情報学環、国立大学法人東北大学大学院工学研究科、国立大学法人名古屋大学大学院環境学研究科、国立大学法人京都大学防災研究所、独立行政法人海洋研究開発機構が実施した平成21年度「東海・東南海・南海地震の連動性評価研究プロジェクト-②連動性を考慮した強震動・津波予測及び地震・津波被害予測研究」の成果をとりまとめたものです。

従って、本報告書の複製、転載、引用等には文部科学省の承認手続きが必要です。

1. 連動型巨大地震による強震動の高精度予測 (3.1 参照)

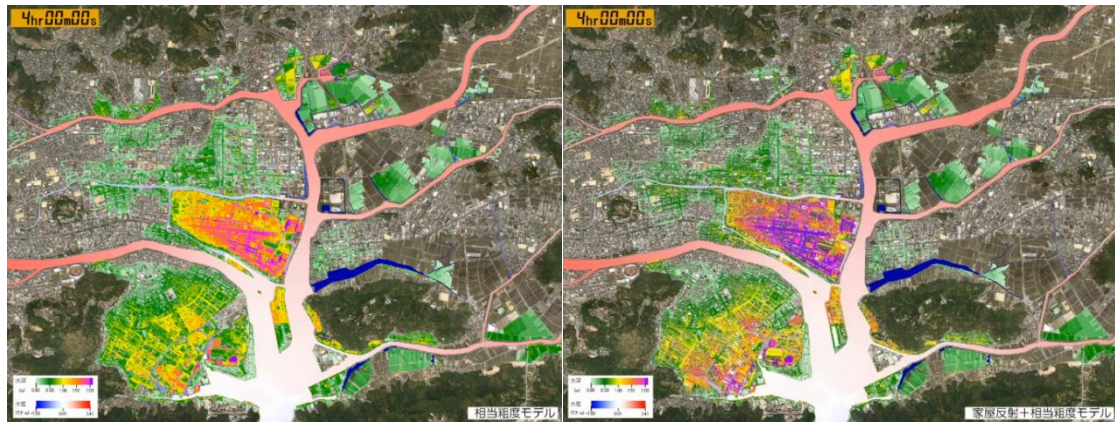


2004 年 紀伊半島南東沖の地震の地震波伝播シミュレーション。(左) 地震波伝播のスナップショット (60, 120, 300 秒後) と地下構造モデル。(右) 付加体あり、なしモデルによる地震波形と K-NET, KiK-net 強震波形記録の比較。

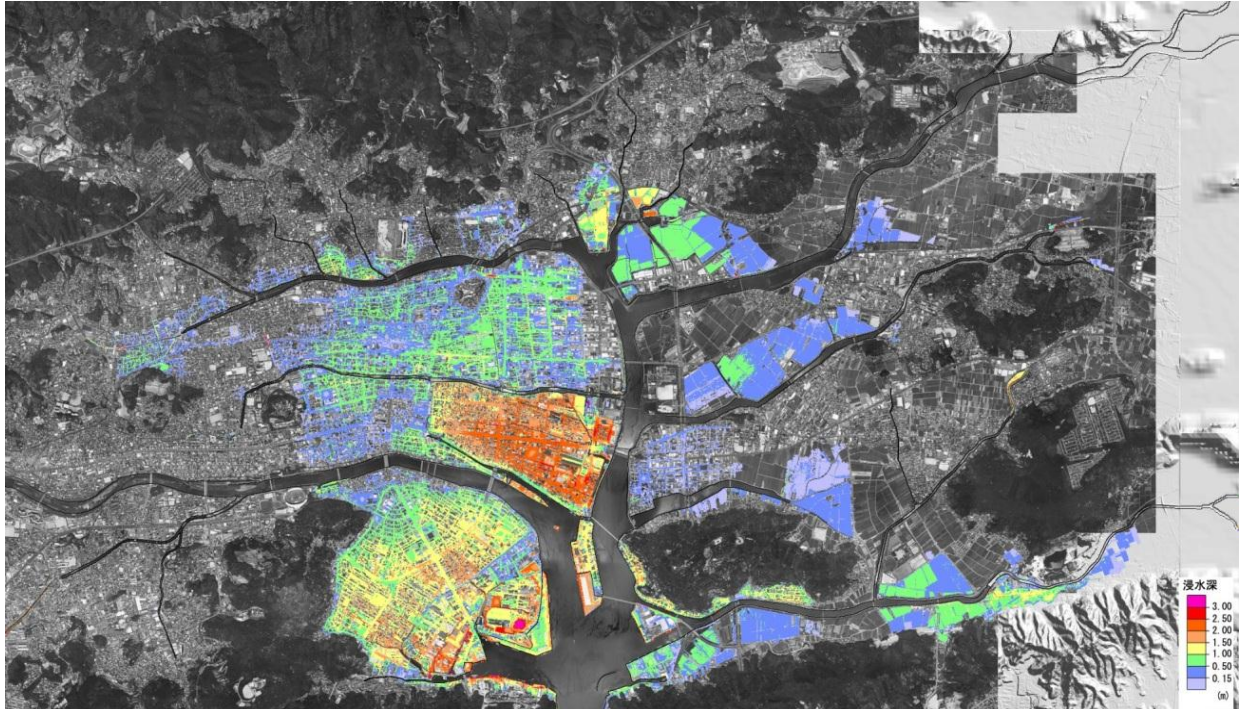


1707 年宝永地震の地震波伝播シミュレーション。地震発生から 172 秒後の地面の揺れの様子。

2. 津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定（3.2 参照）

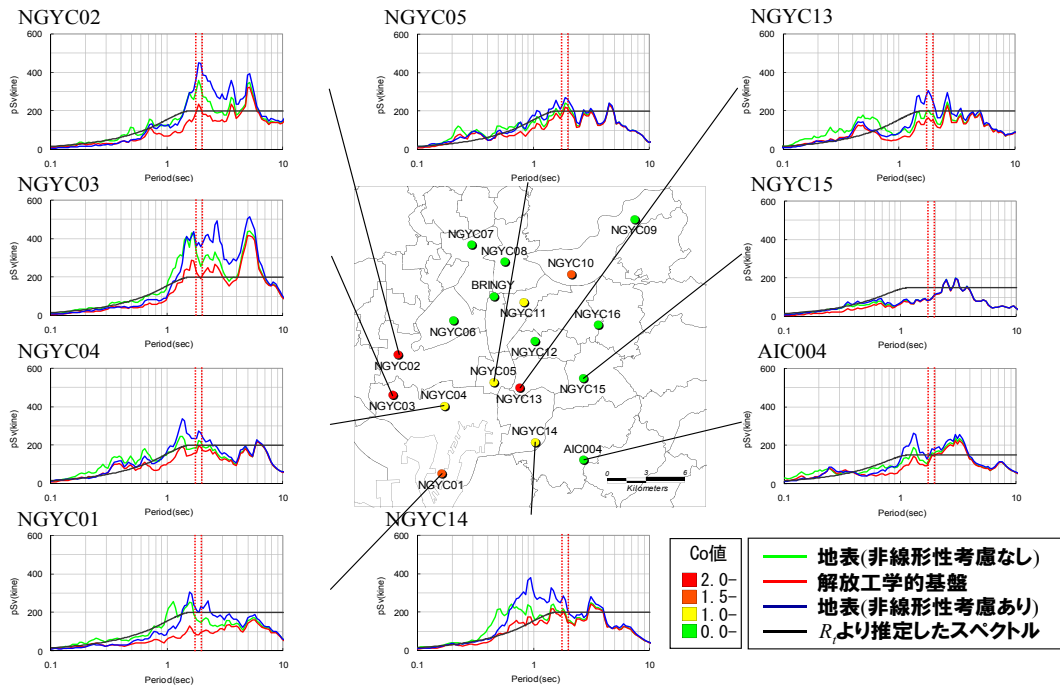


従来の相当粗度モデル（左）と、地盤標高に加えて構造物の高さを反映させた合成地形モデル（右）の高知県高知市における津波遡上シミュレーションスナップショット。構造物の高さを地形として扱うことにより、道路上を溢れる津波の複雑な挙動が再現できると期待される。スナップショットの比較からは、合成地形モデルにおいて特に密集市街地や道路沿いでの津波浸水深が高まっていることが確認できる。

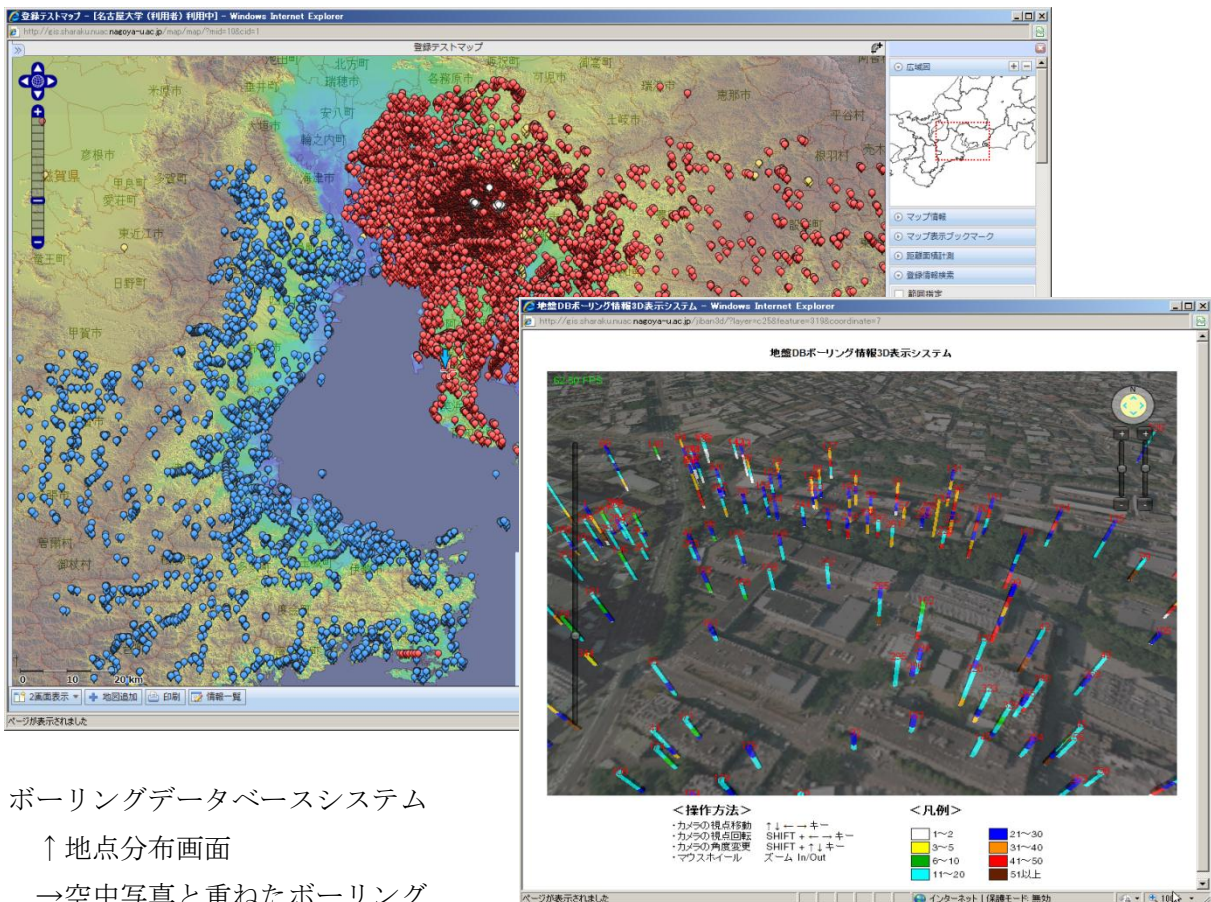


高知県高知市における津波遡上シミュレーションに基づく高知市市街地での最大浸水深の分布。合成地形モデルを用いたことにより、構造物からの津波の反射などが再現され、結果として浸水深が局所的に増加することが分かった。

3. 都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定 (3.3 参照)

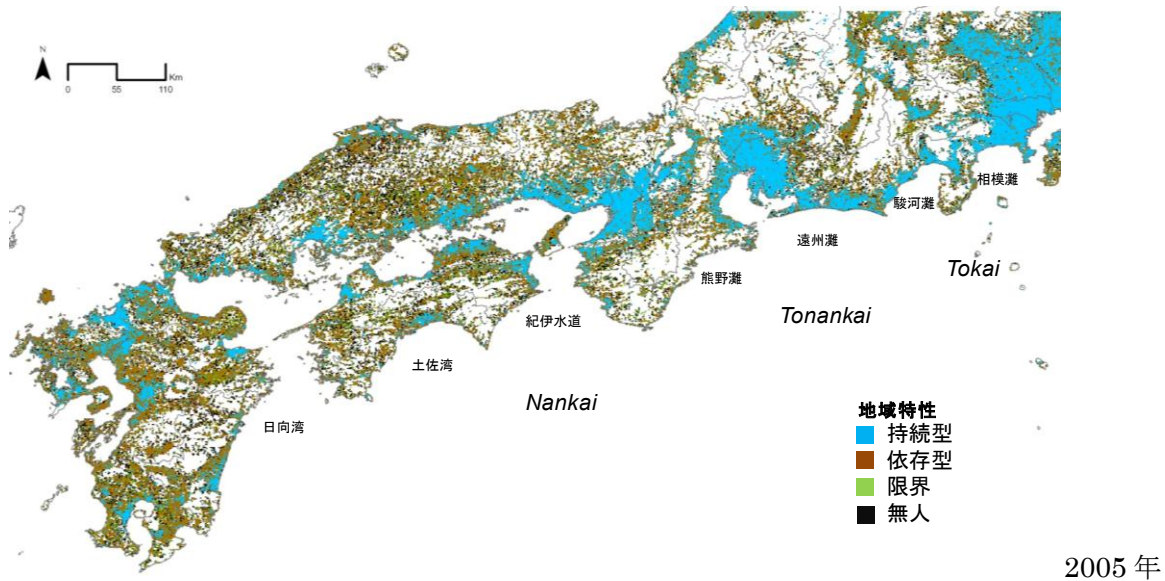


東海・東南海地震連動時の名古屋市南部の地震動予測結果の擬似速度応答スペクトルと14階建物（固有周期1.8秒）の標準層せん断力係数 C_0 の分布

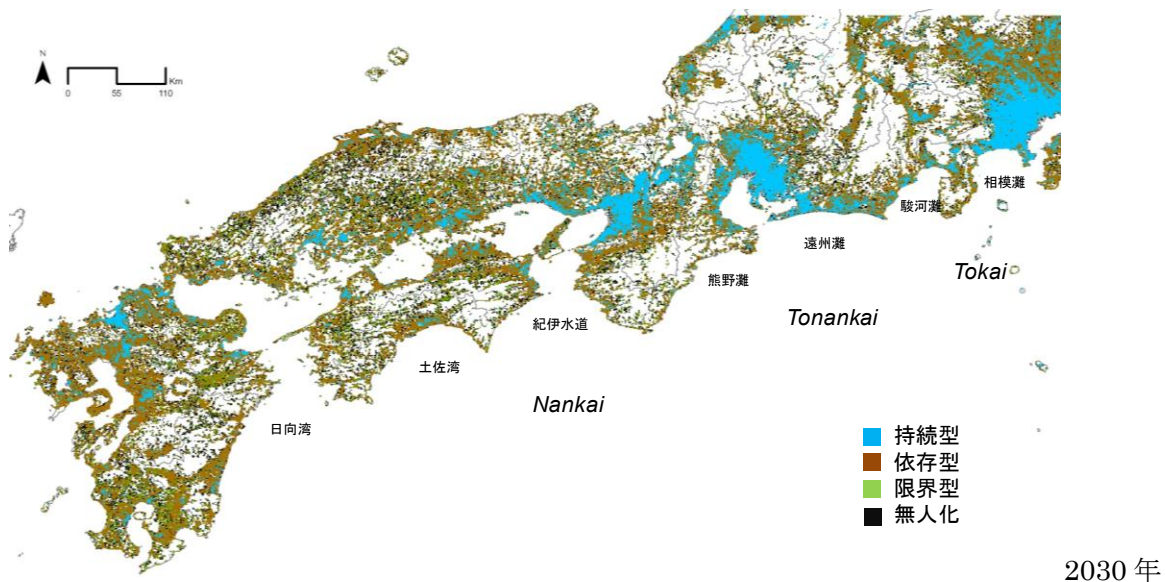


ボーリングデータベースシステム
 ↑ 地点分布画面
 → 空中写真と重ねたボーリングデータの立体表示画面

4. 将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定（3.4 参照）

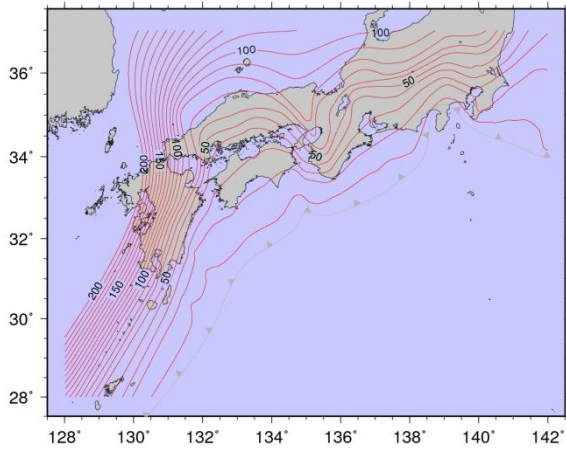


2005 年の国勢調査結果を基に東海・東南海・南海地震の影響を受ける地域を対象に地域類型を実施。大都市圏においては持続型の地域が中心であるが、中国地方・紀伊半島・四国の中山間地で限界型、無人となっている地域が存在する。また、地方中心都市（コミュニティークラスシティー）においても中心部は持続型の人口構成を持っている。

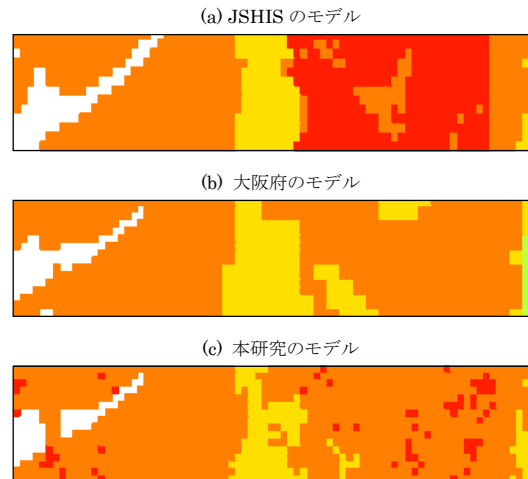


2030 年には、持続型の地域が減少し、さらに中山間地域において限界型・無地化する地域が多く現れる。

5. サブプロジェクト①の研究成果の活用及び地域研究会の開催 (3.5 参照)



サブプロジェクト1の結果を基に構築した
西南日本のプレート境界モデル



大阪の特定地域の地盤モデルの高精度化

地域研究会のラインナップ

高知市地域研究会: 長期浸水

地震発生後の高知市における
海拔ゼロメートル地域の分布

高知市、高知県、徳島県、
四国の次期
防災行動計画
への反映

紀州分科会: 津波

津波シミュレーション

紀伊半島沿
岸域における
津波防災計画
への反映-
津波防災の
高度化

大阪市地域研究会: 地震動評価

高精度地盤モデルの作成

大阪圏の今
後の地震動
予測、被害
想定の高
度化への反映

名古屋市地域研究会: 複合災害

長周期地震動予測
地図(推本, 2009)

名古屋圏の複
合災害の想定
の高度化

各地域研究会における検討課題の例

まえがき

東海・東南海・南海地震の連動発生の条件と可能性を探り、そして連動発生による強震動と津波の生成とこれによる被害を的確に予測して、地震直後の応急対応と速やかな復興・復旧に向けた防災情報を提供して、災害を軽減に資することを目的とする本プロジェクト「東海・東南海・南海地震の連動性評価プロジェクト」が平成 20 年度から 5 年の計画で開始されました。

本連動性評価プロジェクトは、上記の目的を達成するために理工学研究の連携と社会学研究の参画による

- ① 東海・東南海・南海地震の連動性評価のための調査観測・研究
- ② 連動性を考慮した強震動・津波予測及び地震・津波被害予測研究

の 2 つのサブプロジェクトにより行われ、サブプロジェクト内の研究の連携はもちろんのこと、サブプロジェクト間での密接な連携を図りながら研究が進められています。

本サブプロジェクト②では、東海・東南海・南海地震の連動発生による強震動と津波被害の全貌を明らかにし、これに対応した防災・減災対策等の検討に必要な災害情報を提供することを目的に、次の 5 つのサブテーマを定めて研究を進めています：

(1) 「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」

連動型巨大地震により生まれる強震動、地殻変動、そして津波をスーパーコンピュータを用いて高精度に予測することにより、連動発生による地震と津波のリスクを的確に把握します。

(2) 「津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定」

上記のシミュレーション結果をもとに、津波の河川遡上や沿岸部での波高と浸水等を高精度に予測して、津波被害軽減に有効なハザードマップ等を作成し、また、これを有効に活用した人的被害の軽減戦略プログラムを提案します。

(3) 「都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定」

地震観測に基づく平野部での強震動の評価や、構造物の地震応答解析等に基づき大型の現代構造物や埋立地における大規模構造物の耐震性の評価を行います。応急対応、復興・復旧の鍵となる地域の災害対応力を調査し、そしてボトルネックとなる重要課題を明確化します。

(4) 「将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定」

連動型巨大地震による強震動と地殻変動、そして津波が引き起こす複合災害の全貌を明らかにし、重要施設の被災による直接及び間接的な社会影響を評価します。そして、10 年、20 年、あるいは 30 年後の被災地の社会状況の変化を見据えた災害対応と復興プロセスを明確化します。

(5) 「サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催」

サブプロジェクト①の地下構造調査結果等を用いて、強震動及び津波シミュレーションの高度化に必要となる地下構造モデルや濃尾平野及び大阪平野等の主要平野の地盤モデルを整備します。また、本プロジェクトを地域自治体の防災担当者やライフライン企業等と意見交換を図りながら計画的に進めるための地域検討会を運営します。

各サブテーマにおける、平成 22 年度の成果概要は次のとおりです：

- (1) 「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」では、サブプロジェクト①の「(1)稠密海底地震観測」等から得られた、最新の地下構造探査の成果を取り入れた高分解能（0.5km 程度以下）の陸域・海域地下構造モデルを再構築しました。本モデルを用いて宝永地震等の過去の南海トラフ地震の強震動・津波シミュレーションを実施し、津波波高分布、検潮記録、強震波形記録との比較検証を行ないました。また、最近の南海トラフ地震の K-NET、KiK-net 高密度強震観測、および海底津波計記録等との津波波形記録の比較から、地下構造モデルの妥当性の検討と、物性値（特に S 波速度、減衰定数 Q_s ）の調整を進めて、強震動予測シミュレーションモデルの信頼度を高めるとともに、次世代スパコン等の高性能計算機の利用を視野にいれた、高精度並列計算コードの整備を進めました。
- (2) 「津波伝播津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定」では、本プロジェクトで検討した津波発生伝播シナリオを入力として、沿岸の津波波高、陸域での浸水や河川への遡上を高精度に予測するための計算コードおよびデータ引き渡しインターフェースを整備しました。沿岸津波予測の内容は、到達時間や浸水範囲など従来の津波予測情報に加えて、最大流速、最大流体力、さらに、時系列の海面変化とし、これらを津波ハザード情報として活用できるようにしました。1944 年東南海地震、1946 年南海地震、および、1707 年宝永地震の津波遡上シミュレーションを実施し、津波高や浸水高等の観測データとの比較から予測モデルの有効性の検証を行いました。また、海底地滑りなどの可能性が高い場所について、強震動による海底斜面の崩壊に伴う、津波発生メカニズムを取り入れた津波予測を進めました。
- (3) 「都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定」では、埋立地などの軟弱地盤の地表地震動を、地盤の非線形性や液状化を考慮して高精度に予測するための計算モデル、地盤の非線形応答の効果を考慮した、大規模群杭支持構造物の応答解析法、集合住宅の耐震的余力や動的相互作用を考慮した地震応答解析モデルの開発を行いました。また、実際の建物が持つ減衰性能を把握し構造物の被害予測計算の入力データとするために、高層建物などの長周期構造物の地震観測記録の分析を進めたほか、「首都直下地震研究」等で得られた最新の高層建物の振動台実験結果の成果に基づいて、高層建物の層の復元力モデルを整備しました。そして、これら検討に利活用するために、名古屋市内周辺での災害発生後の対応力の調査とデータ収集・整理を前年度に引き続き行ないました。
- (4) 「将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定」では、平成 21 年度までに構築した社会状況 GIS データベース、および地域研究会での各地の社会対応力に関する議論に基づいて、将来の社会状況シミュレーションに必要となるデータを整備しました。これをもとに、東南海・南海地震の被災地域における将来の社会状況を明確化するためのシミュレーションを実施し、リージョナルクラス都市を対象として復旧・復興シナリオを検討しました。また、将来の地域類型を踏まえた社会影響の総合評価を行いました。
- (5) 「サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催」では、平成 21 年度までに構築した海域地下構造モデルを、南海地震の震源域および日向灘地震の震源域の周辺まで拡大し、強震動・津波シミュレーションと被害予測のための、高精度陸海統合地下構造モデルを完成させました。加えて、都市部のボーリングデータに基づく表層地盤増幅と、周辺地域の地形

分類に基づく経験的な表層増幅率を結合した、広域の表層地盤増幅モデルを作成し、これを用いて強震動シミュレーション結果の地盤増幅補正と、面的な震度分布の作成に活用しました。また、本サブプロジェクトの検討結果を受けて、連動型巨大地震発生前、発生時、発生後それぞれのフェーズに対して地域社会が取り組むべき優先事項を、時間を追ったシナリオに整理した、防災・復興復旧方策を地域研究会に提示して議論を深めました。

以上のとおり、本プロジェクトの3年目にあたる平成22年度は、5カ年事業計画に沿ってほぼ順調に目標を達成することができたと考えております。

目 次

グラビア	i
1. 連動型巨大地震による強震動の高精度予測 (3.1 参照)	i
2. 津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定 (3.2 参照)	ii
3. 都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定 (3.3 参照)	iii
4. 将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定 (3.4 参照)	iv
5. サブプロジェクト①の研究成果の活用及び地域研究会の開催 (3.5 参照)	v
まえがき	vii
目 次	x
1. プロジェクトの概要	1
2. 研究機関および研究者リスト	5
3. 研究報告	7
3.1. 連動型巨大地震による強震動の高精度予測	7
(1) 業務の内容	8
(2) 平成 22 年度の成果	10
(3) 平成 23 年度業務計画案	37
3.2. 津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定 (3.2 参照)	38
(1) 業務の内容	39
(2) 平成 22 年度の成果	41
(3) 平成 23 年度業務計画案	81
3.3. 都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定	82
(1)業務の内容	83
(2) 平成 22 年度の成果	85
(3) 平成 23 年度業務計画案	107
3.4. 将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定	108
(1) 業務の内容	109
(2) 平成 22 年度の成果	111
(3) 平成 22 年度業務計画案	125
3.5. サブプロジェクト(1)の研究成果の活用および地域研究会の開催	126
(1) 業務の内容	127
(2) 平成 22 年度の成果	129
(3) 平成 23 年度業務計画案	148
4. 活動報告	149
4.1. 会議録	149
4.1.1. 第 4 回大阪市地域研究会	149
4.1.2. 第 5 回高知市地域研究会	150
4.1.3. 第 4 回名古屋市地域研究会	150

4.1.4. 地震防災セミナー(地域研究会紀州分科会).....	152
4.1.5. 第5回大阪市地域研究会	153
4.1.6. 第5回名古屋市地域研究会.....	154
4.1.7. 第6回高知市地域研究会	155
「南海トラフ巨大地震連動性評価研究」推進委員会規則	157
「南海トラフ巨大地震連動性評価研究」研究推進委員会② 構成.....	159
4.2. 対外発表.....	160
4.2.1. 連動型巨大地震による強震動の高精度予測	160
4.2.2. 津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定	162
4.2.3. 都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定.....	163
4.2.4. 将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定.....	164
4.2.5. サブプロジェクト1の研究成果の活用および地域研究会の開催	165
5. むすび.....	167

1. プロジェクトの概要

本プロジェクト（サブプロジェクト②：連動性を考慮した強震動・津波予測及び地震・津波被害予測研究）では、5つのサブテーマ「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」「津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定」「都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定」「将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定」「サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催」を設定した。具体的には、それぞれ以下の業務を行う。

連動型巨大地震による強震動の高精度予測

連動型巨大地震による強震動の高精度予測のために、周期0.3～20秒の広帯域強震動及び地殻変動、そして津波発生・伝播を連成して評価できる広帯域強震動・津波計算シミュレーションコードを開発し、地球シミュレータ等を用いた計算により、過去の南海トラフ地震（宝永地震、安政東海・南海地震、昭和南海・東南海地震）について、強震動と津波波高資料との相互評価から断層破壊様式を明らかにする。また、サブプロジェクト①の成果に基づく地震発生シナリオに対応した、全国の地震動分布と、震源域および大阪、名古屋地域での強震動と地殻変動の高精度評価を行う。さらに、多様な地震発生様式を想定するとともに、南海トラフ震源域直上への海底ケーブル地震計の設置によって、緊急地震速報における震源位置と地震規模推定精度の向上と警報の発信時間の短縮、及び強震動到来までの時間猶予を評価する。

津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定

本サブテーマでは、地震動サブテーマの強震動・津波シミュレーションから得られた地震・津波シナリオをもとに、河川を含む沿岸域での津波の遡上過程と浸水を高精度に予測する。ここでは、詳細な地形特性、陸上での土地利用、潮汐、地球温暖化による海面変動など、現在および将来に予想される現実的な環境下での津波遡上を検討する。これらの結果を利用して、津波被害の予測と人的被害の軽減のための情報を作成し、被害形態も考慮した沿岸部でのハザードマップ作成の検討を行う。ここで作成するハザードマップでは、大地震の強震動による被害、大津波の到来、そして内陸部への浸水が起きる過程に対して時間を追って示すとともに、津波遡上と浸水を高分解能な航空写真に重ねて可視化することや、GISを用いるなどの工夫により、大地震による津波の脅威を良く理解できるようリアルなアニメーションの作成を目指す。以上の結果を基盤とした、ハザード・リスクや復旧・復興のための情報マップを活用した人的被害軽減戦略の作成プログラムを提案する。

都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定

地震発生のシナリオに対応した都市域の高解像度地震動予測と各種構造物の地震応答・被害予測を行う。平野で生成する強震動を地震観測データと地震応答解析から高精度に評価し、学校・集合住宅などの鉄筋コンクリート（RC）系の建物の被害を予測するとともに、超高層ビルなどの長周期構造物や、埋立地の大規模建築物の応答性状を評価する。また、緊急地震速報を活用した構造物の被害軽減・早期機能復旧のための方策、例えば、各種安全装置の自動起動やエレベータの停止等の方策について

調査する。さらには、地域社会が有する災害対応力を建築の立場から調査し、復旧・復興に向けた課題を明らかにする。

将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定

人口減少社会を踏まえた防災対策、災害対応、復旧対策のあり方の検討を行うために、被災地域の社会状況についてのシミュレーションを実施し、シミュレーション結果に基づき災害対応、復旧・復興プロセスの明確化、重要社会基盤施設が被災した際の「影響評価」手法を開発する。加えて、復旧・復興時に発生する大きな余震に備えた、緊急地震速報の利用方策を提案する。また、地震地殻変動による紀伊半島や四国の海岸線の沈降や、大阪での河川の津波遡上により引き起こされる複合災害の影響を評価する。

サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催

地震津波シミュレーションの高度化のために、サブプロジェクト①「東海・東南海・南海地震の連動性評価のための調査観測・研究」と連携して海陸統合地下構造探査モデルを用いて、地震・津波シミュレーションのための高精度3次元差分計算用地下構造モデルを作成する。加えて、強震記録に基づく浅層軟弱地盤による増幅率の面的なモデル化を行う。南海トラフの巨大地震の連動性の啓蒙を図るとともに、広域な災害発生に対して地域社会が有する減災・復旧復興への対応力とその実力を認識・共有するために、自治体、ライフライン事業者、建設業者、ボランティア団体から構成される地域検討会を設置・運営する。

平成21年度においては、前年度の成果を踏まえて、それぞれの成果を連携し、強震動と津波の予測から人的・物的被害の予測、復興・復旧戦略の策定をシームレスにつないだ研究を開始した。以下に各サブテーマの研究成果の概要を示す。

連動型巨大地震による強震動の高精度予測

海洋研究開発機構の地球シミュレータを用いて、過去の南海トラフ地震（1707年宝永地震、1854年安政東海・南海地震、1944年昭和東南海地震、1946年南海地震）の断層破壊シナリオに基づく地震動・津波シミュレーションを実施し、東海・東南海・東南海地震の単独発生および連動発生による強震動と津波の増大の可能性を検討した。計算結果と過去の南海トラフ地震の津波波高と震度分布史料の比較を行い、南海トラフ地震の断層破壊様式の不均質特性（地震規模、破壊開始点・破壊進行方向・速度）が強震動と津波に与える影響について評価した。その結果、連動発生による影響は震源域の拡大に伴う強震域や大津波域の拡大に限られ、単独発生による強震動と津波高を上回るものはないこと、ただし断層破壊開始点と破壊伝播方向が長周期地震動のディレクティブティ効果を作り出し、破壊伝播方向で振幅が大きくなる可能性を示した。また、津波については、破壊伝播速度が非常に遅い（ $V_r < 500 \sim 1000 \text{m/s}$ ）場合に限り、ディレクティブティ効果が発生して津波高が増大することを示した。

次に、サブプロジェクト①「(1)稠密海底地震・津波・海底地殻変動観測」において H20 年度に報告された大分県の津波湖と津波堆積物調査と日向灘周辺での反射法構造探査の成果を受けて、1707 年宝永地震の震源域の西端が従来考えられてきた足摺岬から日向灘まで 100 km 以上も伸びた新しい震源モデルを提唱した。そして、従来の震源モデルでは説明できなかった足摺岬～日向灘の津波高分布と、大分県の地震地殻変動及び津波湖の生成過程の説明に成功した。また、足摺岬～日向灘の高い津波高と龍神池の津波浸水を考えるために、土佐湾以西の南海トラフ地震セグメントの断層破壊速度が、通常の数分の一程度であった可能性について検討した。

本研究より得られた宝永地震の震源破壊様式の新しい知見を、サブプロジェクト①「(2)物理モデル構築及び地震発生シミュレーション研究」に渡し、地震発生サイクルシミュレーションの高度化に向けた研究協力を進めるとともに、新しい宝永地震モデルを用いて計算した地震地殻変動と外洋津波の計算結果を、本サブプロジェクト「(2)津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定」における河川の遡上と浸水による被害の高精度推定シミュレーションの前提条件として活用するなど、サブプロジェクト間及びサブプロジェクト内の研究連携を図った。

津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定

より詳細な津波の挙動を再現するために高知市市街地を対象とした 50/9m メッシュ高精度地形モデルによる津波遡上シミュレーションを実施した。津波・地殻変動観測さらには現地沿岸地形及び沿岸構造調査から得られた詳細な計測結果を用い、解析に必要なデータを作成した。1707 年宝永地震相当の断層セグメントと破壊時間差を考慮した 3 つのケースを想定し地震津波を評価した。これを地震津波発生シナリオとして定め、沿岸・市街地の津波波高・浸水、さらには河川への遡上などの比較結果を得た。震源域の広がりや連動条件の違いに起因する波高上昇への影響や、連続・繰返す津波による市街地への影響を評価出来た。高知県沖の断層セグメントが低速で破壊すると仮定したケースでは、ディレクティブティ効果で津波の波高は大きくなり、高知市内における氾濫浸水深・流速も増加することを示した。また、津波解析の初期条件となる海面レベルについて、潮汐や地球温暖化による海面上昇などによる偏差の影響を評価した。

都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定

深部・浅部地盤の詳細な情報に基づいて小地震の観測記録を補間し、これを用いて任意地点の経験的グリーン関数法による強震動予測を行う手法（擬似経験的グリーン関数法）を開発し、名古屋市域の代表地点における東南海地震の強震動予測を行い、過去の東南海地震における推定震度分布との比較等により有効性を検証した。学校などの鉄筋コンクリート造建物群について、耐震診断や地震被害調査に基づき、基礎浮き上がりや雑壁の影響も考慮したモデル化により実被害を説明できる耐震性能評価法を構築するとともに、対象建物群の耐震余裕度を評価した。軟弱地盤上の建物について、大規模群杭をグループ化して集約する手法を検討し、根入を含む動的相互作用効果を考慮した応答解析法を構築した。災害発生時の地域社会対応力の評価に向けて、基礎的な情報の蓄積と WebGIS や Google Map による効果的な表示法の検討を行った。また以上の検討の基礎資料として地域の建物・地盤における強震観測と記録の整理を継続し、平成 21 年 8 月 11 日駿河湾地震などの記録を収集した。

将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定

南海トラフ地震の推定被災地域の地域類型を行うための手法として国勢調査メッシュ統計の人口データを用い「持続型」「依存型」「限界型」という3つのタイプに地域を類型する手法の開発を行った。次に、2004年新潟県中越沖地震の復旧・復興過程の分析から、集落を離れる割合は復興施策の方針（地域に留まる、地域を離れる）に関わらず一定であり、中山間地域の復旧・復興戦略としては災害前に各集落をどのようにするのかという事について検討しておくことが重要である事を明らかにした。また、震度6弱以上の揺れを被る発電施設の機能停止が長期にわたる場合、夏期の電力需要期の総発電量が不足する可能性があることを明らかにした。さらに、高知市において研究者・行政職員が参画するワークショップを開催し、長期湛水被害による社会的影響ならびに災害対応・復旧・復興戦略に関する基礎的な検討を行った。

サブプロジェクト①の研究成果の活用および地域研究会の開催

東南海地震の震源域周辺における海域を中心に、解像度25m-100mメッシュのシービーム探査による海底地形データをコンパイルした。沿岸部を除く沖合の海域について、現在公開されている海底地形データより分解能が高く、地震動及び津波のより高精度な波動伝播シミュレーションへの適用を目的とした海底地形モデルを構築した。構築した海底地形モデルを用いて、東南海地震の震源域周辺における斜度を計算し、地震時に海底地滑りを引き起こす可能性の高い海底急傾斜地のマッピングを行った。また、既往の研究論文から大津波発生の可能性の高い分岐断層を抽出し、地震動及び津波シミュレーションに必要な情報をまとめた。大阪平野、濃尾平野、それぞれを含む領域に対して、昨年度収集した強震記録に基づき、地震動の短周期成分の増幅率の評価を実施した。大阪平野に関しては、上町台地周辺や人工島など地盤特性が特徴的な地域を選定して、関西圏地盤情報データベースを用いた詳細な浅層地盤モデルの構築を行った。

プロジェクトに関わる研究者と研究対象地域の防災関係者（自治体・ライフライン事業者・建設業者・大学・研究者等）が一堂に会する地域研究会を高知市で2回、大阪市で1回、名古屋市で1回、それぞれ開催した。地震調査研究ならびに地域研究会に対する意見・要望を抽出するために、参加者を絞り込んだ分科会を、高知市で1回、大阪で2回、名古屋で1回、それぞれ開催した。この他、津波災害が共通して懸念される三重県南部と和歌山県南部の防災関係者との情報交換と議論を深めるために、紀州分科会と紀州講演会を開催した。

2. 研究機関および研究者リスト

所属機関	役職	氏名	担当課題
東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター	教授	古村 孝志	3.1
東京大学地震研究所	教授	佐竹 健治	
東京大学地震研究所	教授	瀨瀬 一起	
東京大学地震研究所	助教	三宅 弘恵	
東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター	特任研究員	今井 健太郎	
東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター	特任研究員	前田 拓人	
東北大学大学院工学研究科 附属災害制御研究センター	教授	今村 文彦	3.2
東北大学大学院工学研究科 附属災害制御研究センター	准教授	越村 俊一	
名古屋大学大学院環境学研究科 都市環境学専攻	教授	福和 伸夫	3.3
名古屋大学大学院環境学研究科 附属地震火山・防災研究センター	准教授	飛田 潤	
名古屋大学大学院環境学研究科 都市環境学専攻	准教授	護 雅史	
京都大学防災研究所	准教授	牧 紀男	3.4
京都大学防災研究所	助教	鈴木 進吾	
岐阜大学工学部社会基盤工学科	教授	能島 暢呂	
立命館大学文学部	准教授	中谷 友樹	
長岡造形大学造形学部 建築環境デザイン学科	准教授	澤田 雅浩	
宇都宮大学大学院工学研究科	助教	佐藤 栄治	
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	プロジェクトリーダー	金田 義行	3.5
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	技術研究副主幹	高橋 成実	
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	技術研究主任	大堀 道広	
独立行政法人海洋研究開発機構	技術研究副	中村 武史	

地震津波・防災研究プロジェクト 独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト 独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	主任 特任技術研究副主任 技術副主任	チタク セクチン 馬場 俊孝	
---	--------------------------	-----------------------	--

3. 研究報告

3.1. 連動型巨大地震による強震動の高精度予測

目次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5ヵ年の年次実施計画
- (e) 平成22年度業務目的

(2) 平成22年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
 - 1) 南海トラフで発生した地震を用いた地下構造モデルのQ値の検証
 - 2) 高分解能の陸海統合地下構造モデルを用いた
強震動・津波シミュレーションとモデル検証
 - 3) 連動発生及び時間差発生に伴う強震動と津波変化
 - 4) 次世代スパコンのための大規模強震動津波シミュレーションコードの開発
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成23年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

連動型巨大地震による強震動の高精度予測

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター	教授	古村 孝志	furumura@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	教授	佐竹 健治	
東京大学地震研究所	教授	額 額 一起	
東京大学地震研究所	助教	三宅 弘恵	
東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター	特任研究員	今井 健太郎	
東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター	特任研究員	前田 拓人	

(c) 業務の目的

連動型巨大地震による強震動の高精度予測のために、短周期～長周期強震動と地殻変動、そして津波を同時に評価できる広帯域地震津波計算コードを開発し、地球シミュレータ等を用いた計算により、過去の南海トラフ地震（宝永地震、安政東海・南海地震、昭和南海・東南海地震）について、強震動と津波波高資料との相互評価から断層破壊様式を明らかにする。また、サブプロジェクト①の成果に基づく地震発生シナリオに対応した、全国の地震動分布と、震源域および大阪、名古屋地域での強震動と地殻変動の高精度評価を行う。さらに、多様な地震発生様式を想定するとともに、南海トラフ震源域直上への海底ケーブル地震計の設置によって、緊急地震速報における震源位置と地震規模推定精度の向上と警報の発信時間の短縮、及び強震動到来までの時間猶予を評価する。

(d) 5カ年の年次実施計画（平成20年度・21年度については実施結果）

1) 平成20年度：

東海・東南海・南海地震の連動型巨大地震により発生する強震動と津波を高い解像度かつ信頼度で評価するために、1) 地震により発生する広帯域強震動、2) 地殻変動、3) 津波の発生と伝播、の3つを同時に評価することのできるシミュレーションモデルを整備した。「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」等によって整備された、陸域堆積平野構造と海域構造探査モデル、および海底地形モデルを結合し、1944年東南海地震の強震動－津波連成シミュレーションを、「地球シミュレータ（独）海洋研究開発機構」と「T2K オープンスパコン（東京大学情報基盤センター）」を用いて実施した。これらのスーパーコンピュータを用いた大規模シミュレーションにおいて、5,000CPU以上を用いた並列計算で並列化率 99.999%以上の高い効率を得ることができた。以上より、次年度以降に実施する、過去および将来の南海トラフの連動型巨大地震シミュレーションの高精度計算の

実用化の目処を得た。

2) 平成 21 年度 :

海洋研究開発機構の地球シミュレータを用いて、過去の南海トラフ地震（1707 年宝永地震、1854 年安政東海・南海地震、1944 年昭和東南海地震、1946 年昭和南海地震）の断層破壊シナリオに基づく地震動・津波シミュレーションを実施し、東海・東南海・南海地震の単独発生および連動発生による強震動と津波の増大の可能性を検討した。計算結果と過去の南海トラフ地震の津波波高と震度分布史料の比較を行い、南海トラフ地震の断層破壊様式の不均質特性（地震規模、破壊開始点・破壊進行方向・速度）が強震動と津波に与える影響について評価した。その結果、連動発生による影響は震源域の拡大に伴う強震域や大津波域の拡大に限られ、単独発生による強震動と津波高を上回るものはないこと、ただし断層破壊開始点と破壊伝播方向が長周期地震動のディレクティブティ効果を作り出し、破壊伝播方向で振幅が大きくなる可能性が明らかになった。また、津波については、破壊伝播速度が非常に遅い（ $V_r < 500 \sim 1000 \text{m/s}$ ）場合に限り、ディレクティブティ効果が発生して津波高が増大することが示された。

3) 平成 22 年度 :

上述の陸域・海域地下構造モデルに対して、サブプロジェクト①の「稠密海底地震観測」等から得られた、最新の地下構造探査結果を取り入れることにより、超高分解能（0.5km 以下）の陸域・海域地下構造モデルを構築する。本モデルを用いた 1944 年東南海、1946 年南海地震の強震動・津波シミュレーションを実施し、津波波高分布、検潮記録、強震波形記録との比較検証を行う。また、最近の南海トラフ地震（2004 年紀伊半島南東沖の地震など）の強震観測、地殻変動観測、および海底津波計記録と比較してモデルの妥当性を検証し予測シミュレーションモデルの信頼度を向上させる。

4) 平成 23 年度 :

サブプロジェクト①の「物理モデル構築及び地震発生シミュレーション研究」により得られる連動・単独発生シナリオに対する強震動と地殻変動、そして津波の高精度予測を行う。人口密集平野（大阪、名古屋、関東など）の強震動波形の特性（震動継続時間、周期特性と長周期地震動など）を詳しく調査し、海岸線の沈降・隆起を 3 次元地下構造モデルを用いて高精度に予測して「(2)津波高精度予測」での津波の遡上への影響を評価する。単独発生および連動発生による強震動が都市の多様な構造物に与える影響と、津波浸水の影響を多面的に評価する。

5) 平成 24 年度 :

連動型巨大地震による強震動の威力を社会に分かりやすい形で伝えるために、強震動と津波発生伝播シミュレーションの 3 次元可視化動画を作成する。過去の南海トラフ地震および、連動・単独発生シナリオによる強震動分布の違い、地震発生から強震動と津波の到達までの時間的猶予、地震後の平野の大きく長い揺れの特徴について直感的に理解できる効果的な可視化教材を作成する。

(e) 平成 22 年度業務目的

1944年東南海地震や1946年南海地震など、既に震源モデルが提案されている近年の地震について、「サブプロジェクト①の(1)稠密海底地震観測」等による最新の地下構造探査の成果と、本サブプロジェクトで収集する都市部のボーリングデータを取り入れた高分解能陸海統合地下構造モデルを用いた強震動・津波シミュレーションを実施し、その結果を歴史史料や現地調査による津波痕跡、検潮記録、強震記録や震度分布等のデータと比較することによって、シミュレーションに用いた地下構造モデルを検証する。2004年紀伊半島南東沖の地震や2009年駿河湾の地震などの近年南海トラフで発生した地震について、強震動シミュレーションを実施し、地震発生時にK-NETとKiK-netで観測された記録と比較することによって、地下構造モデルの減衰特性Q値を評価する。1707年宝永地震や1605年慶長地震などについて、東海・東南海・南海地震の連動発生による震源域の広がりや、これらの地震が時間差をもって発生した際の強震動と津波の増幅効果や継続時間の変化を詳しく評価する。これらの結果をもとに、3つの地震が同時発生した場合や数分～数時間の時間差をもって発生した場合等から、連動発生による強震動・津波による被害の「最悪シナリオ」を明確化し、個別研究テーマ(2)及び(4)での津波遡上・被害予測、地域毎の災害対応や復興・復旧施策の検討を実施する際の検討条件として引き継ぐ。次世代スパコン等を活用した大規模並列シミュレーションの実用化を目指し、強震動・津波予測シミュレーションコードの高度化を前年度に引き続いて行う。サンフランシスコにて開催予定の米国地球物理学連合(AGU)2010年大会の強震動、津波、計算科学の3つのセッションにおいて、これまでの研究成果を世界に向けて発信するとともに、今後の研究方針の検討のために、当該分野の最新の研究動向調査を行う。

(2) 平成22年度の成果

(a) 業務の要約

1944年東南海地震や1946年南海地震など、既に震源モデルが提案されている近年の地震について、「サブプロジェクト①の(1)稠密海底地震観測」等による最新の地下構造探査の成果と、本サブプロジェクトで海洋研究開発機構との協同により収集した都市部のボーリングデータを取り入れた高分解能の陸海統合地下構造モデルを用いた強震動・津波シミュレーションを実施し、その結果を歴史史料や現地調査による津波痕跡、検潮記録、強震記録や震度分布等のデータと比較することによって、シミュレーションに用いた地下構造モデルを検証した。

2004年紀伊半島南東沖の地震や2009年駿河湾の地震などの近年南海トラフで発生した地震について、強震動シミュレーションを実施し、地震発生時にK-NETとKiK-netで観測された記録と比較することによって、地下構造モデルの減衰特性Q値を評価した。

加えて、1707年宝永地震や1605年慶長地震などについて、東海・東南海・南海地震の連動発生による震源域の広がりや、これらの地震が時間差をもって発生した際の強震動と津波の増幅効果や継続時間の変化を詳しく評価した。これらの結果をもとに、3つの地震が同時発生した場合や、数分～数時間の時間差をもって発生した場合等から、連動発生による強震動・津波による被害の「最悪シナリオ」を明確化して、個別研究テーマ(2)及び(4)の津波遡上・被害予測、地域毎の災害対応や復興・復旧施策の検討を実施する際の検討条件への引き継ぎを行った。

次世代スパコン等を活用した大規模並列シミュレーションの実用化を目指し、強震動・津波予測シ

ミュレーションコードの高度化を前年度に引き続いて行なった。

以上の成果を、サンフランシスコにて開催予定の米国地球物理学連合(AGU)2010年大会の強震動、津波、計算科学の3つのセッションにおいて世界に向けて発信するとともに、今後の研究方針の検討のために、当該分野の最新の研究動向調査を行なった。

(b) 業務の成果

1) 南海トラフで発生した地震を用いた地下構造モデルのQ値の検証

フィリピン海プレートが西南日本に沈み込む南海トラフはプレート上面に柔らかい堆積層(付加体)が厚く覆い、高速度のプレートや低速度の海水等と強い速度コントラストを作って複雑な地下構造を構成している。このような構造が地震波の伝播、特に表面波として海底面や地表を伝播する長周期地震動の生成に大きく寄与することが考えられることから、構造モデルの評価と地震動シミュレーションと観測との比較によるモデル検証が必要である。そこで、2004年紀伊半島南東沖の地震や2009年駿河湾の地震などの近年南海トラフで発生した地震を用いて強震動シミュレーションを実施して、K-NETとKiK-netで観測された記録との比較から南海トラフの地下構造モデルとその減衰特性(Q値)の評価・検証を進めた。

a) 地震波の減衰構造モデル

南海トラフで起きる地震では、宮城県沖の地震と比べて長周期地震動の励起が大きいことがこれまで議論されてきた。たとえば、2005年宮城県沖地震(M7.2)の地震波形を東北から関東にかけて並べると、周期1秒以下の短周期地震動成分は強いが、周期2秒以上の長周期地震動成分がほとんど見られないことがわかる。このような長周期地震動の伝播特性は、長周期地震動が伝播経路と関東平野で強く発達した2004年新潟県中越地震や2004年紀伊半島南東沖地震のものとは大きく異なっている(図1)。特に、紀伊半島南東沖地震では、地震波が関東平野に到着する以前に伝播経路において既に長い波群へと成長しており、これが関東平野の堆積層でさらに強く増幅したことにより強い長周期地震動が生成したことが確認できる(図1)。

このような長周期地震動の伝播と生成の特性の違いは、日本海溝と南海トラフのプレート沈み込み構造の違いにより議論することができる。日本海溝では、太平洋プレートの急角度(10~30度)の沈み込みに伴い、海洋堆積物がプレート間にくさび状に巻き込まれる造構性浸食作用が起きている。一方、南海トラフでは十数度以下の緩やかな角度で沈み込むフィリピン海プレート上面に、数キロメートルの厚さで堆積層が覆う付加体が形成されており(図2)日本海溝と南海トラフでは低速度層の堆積構造が明らかに異なっている。また、堆積構造の位置にも大きな違いがあり、日本海溝付近に厚く堆積した海洋堆積物は、陸寄りで発生するプレート境界地震の地震波伝播にはほとんど影響しないことが考えられる。これに対して、南海トラフで発生する地震では、付加体がちょうど地震波の通り道となることから、ここで表面波が強く励起され、そして西南日本~中部日本の太平洋岸に沿って長周期地震動を誘導する効果が大きいことがわかる。また、付加体は、長周期地震動に対しては、見かけ減衰を小さくする(Q値を大きくする)効果がある。一方、周期1秒以下の短周期地震動に対しては、低速度の物性や不均質構造による散乱により、大きく減衰させる(Q値が小さい)と考えられる。

b) 減衰構造モデルの検証

このような、付加体の強い周波数依存性を持つ減衰特性を確認するために、海陸統合地下構造モデルを用いて、2004年紀伊半島南東沖の地震の地震動シミュレーションを行った。計算領域には紀伊半島から関東平野にかけての496km*800kmの範囲を選び、0.4km*0.4km*0.2kmの細かな格子間隔で離散化して地震波伝播を計算した。モホ面の深度は領木(1999)のモデルに基づいて与え、最上部マントル($V_s=4.2\text{km/s}$, $V_p=7.8\text{km/s}$, $Q_s=500$)、下部地殻($V_s=3.7\text{km/s}$, $V_p=6.6\text{km/s}$, $Q_s=400$)、上部地殻($V_s=3.6\text{km/s}$, $V_p=6.9\text{km/s}$, $Q_s=300$)をモデル化した。上部地殻/下部地殻境界(コンラッド面)は、モホ面深度の0.54倍の位置とした。フィリピン海プレートは、海洋性地殻第2層と海洋性地殻第3層、そして厚さ25kmの海洋性マントルによりモデル化し、表1に示す物性値を与えた。プレートは、地震波の速度が深度とともに急増するために、表1に示す回帰式を用いて地震波速度を深さの関数としてモデルに与えた。堆積層は3層構造(それぞれ、 $V_s=0.5, 0.9, 1.5\text{km/s}$, $V_p=1.85, 2.3, 3.3\text{km/s}$, $Q_s=60, 100, 140$)とし、基盤岩($V_s=3.4\text{km/s}$, $V_p=5.8\text{km/s}$, $Q_s=200$)とともにモデルに組み込んだ。さらに、表1に示す諸元を有する付加体も、モデルに含めた。

紀伊半島南東沖の地震の震源モデルには、遠地実体波の解析から求められた、山中(2004)¹⁾の解を用いた。60km*24kmの断層面を1km*1kmの細かな間隔でリサンプリングし、各小断層にパルス幅が1秒の滑り速度関数を与えて地震波を放射させた。

計算から求められた紀伊半島南東沖の地震の波動伝播のスナップショット(地震発生後60秒、120秒、300秒)と、震源域(和歌山)から関東にかけてのK-NET, KiK-net観測点の観測・計算波形を図3に比較する。スナップショットを見ると、プレート上面の付加体に沿って大振幅の地震波(表面波)が生成し、付加体に誘導されるように関東平野に向かって伝わっていく様子がわかる。震源に近い三重(MIEH04)と愛知(AIC017)でも長周期地震動(表面波)が生成され、それが南海トラフ~相模トラフにかけての伝播経路において大きく成長して、関東平野に達すると大振幅の表面波を励起する様子がわかる。付加体をモデル化した本シミュレーションにより再現された地震動は、S波実体波と表面波(長周期地震動)のどちらについても卓越周期や継続時間など観測波形の特性を良く再現できることが確認できた。

一方、付加体を取り除いたモデルでの計算結果は観測を良く説明できない。例えば、震源に近い三重では表面波が現れるが、伝播とともに直ぐに減衰し、観測に見られたような大振幅の長周期地震動の成長は起きない。また、短周期地震動に対しては距離減衰が小さく評価されているため、静岡においても短周期成分の強い振幅が残っている。このように、南海トラフ地震の地震波伝播の評価には、付加体の構造、および付加体のもつ低速度の伝播特性、並びに振動数に依存した減衰特性を正しくモデル化した地震動シミュレーションが必須であり、面的な海域地下構造調査と陸域の地下構造モデルとのスムーズな連結が必要であることが再確認された。

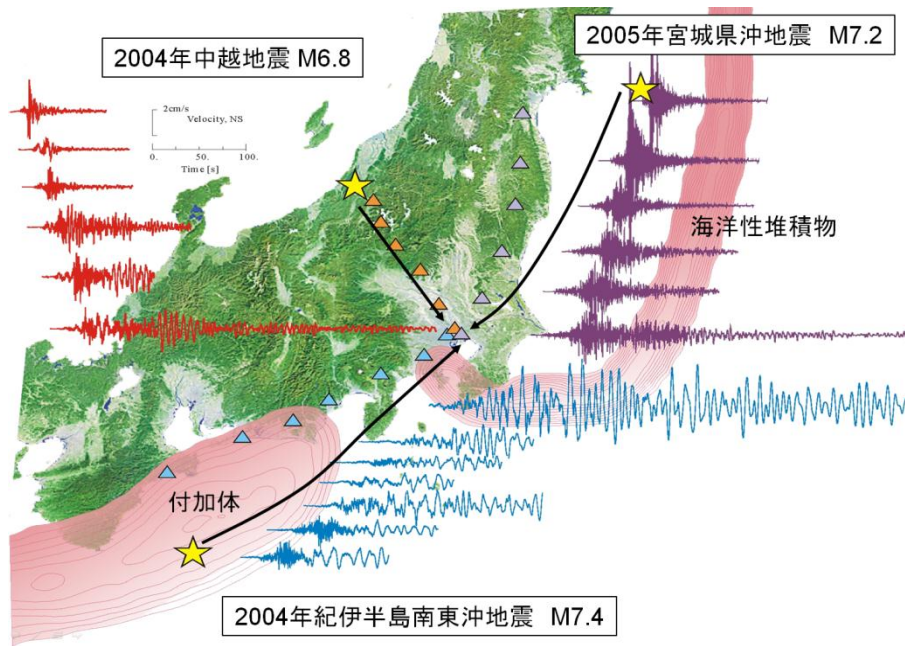
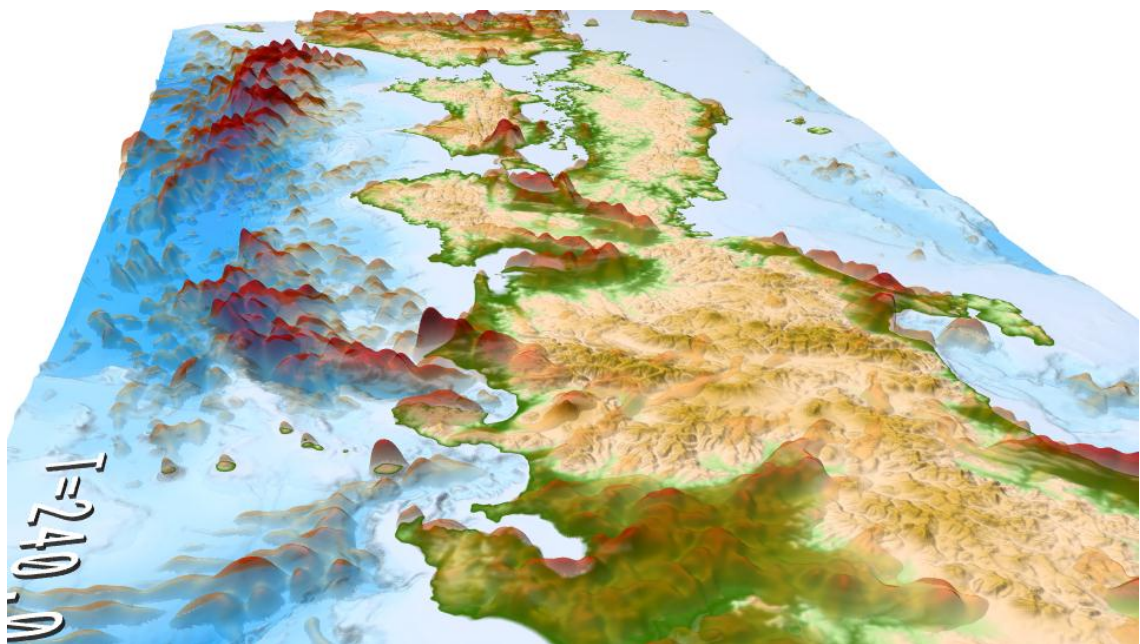
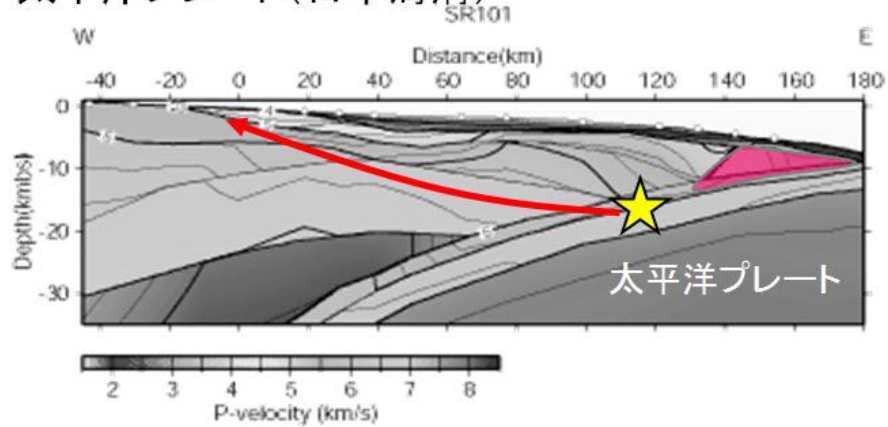


図1 震源から関東平野への地震波の伝播と長周期地震動の発達。2004年中越地震、2004年紀伊半島南東沖地震、2005年宮城県沖地震の比較。ピンク色の領域は付加体と海洋性堆積物が覆った領域を表す。

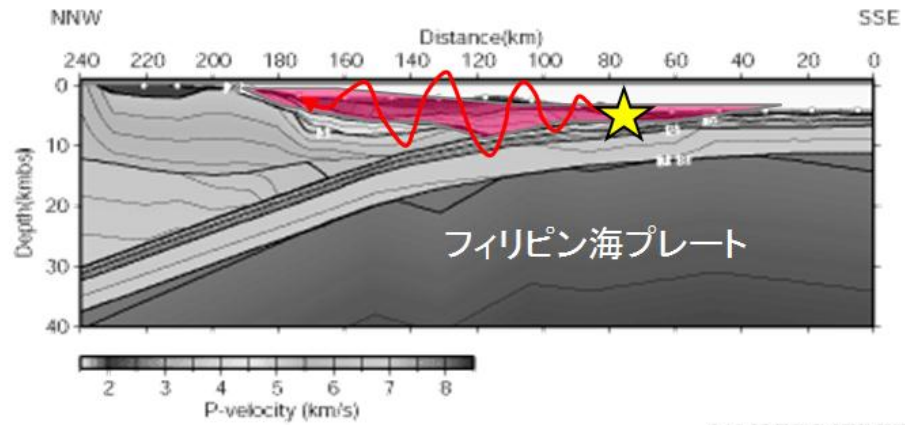


(a) 太平洋プレート(日本海溝)



JAMSTEC I/FREE

(b) フィリピン海プレート(南海トラフ)



JAMSTEC I/FREE

図2 沈み込み帯の断面と海洋性堆積物と付加体の堆積状況と地震波の伝播の模式図。(a)太平洋プレート(日本海溝)、(b)フィリピン海プレート(南海トラフ)。

表1 フィリピン海プレートおよび付加体での地震波伝播速度、Q値。

	Vp (km/s)	Vp/Vs	Qs	Qp/Qs
付加体	3.5	2.20	50	1.7
海洋性地殻第2層	$5.4+0.0055*z$	1.94	200	1.7
海洋性地殻第3層	$6.5+0.0055*z$	1.87	300	1.7
海洋性マントル	$8.1+0.0053*z$	1.76	500	1.7

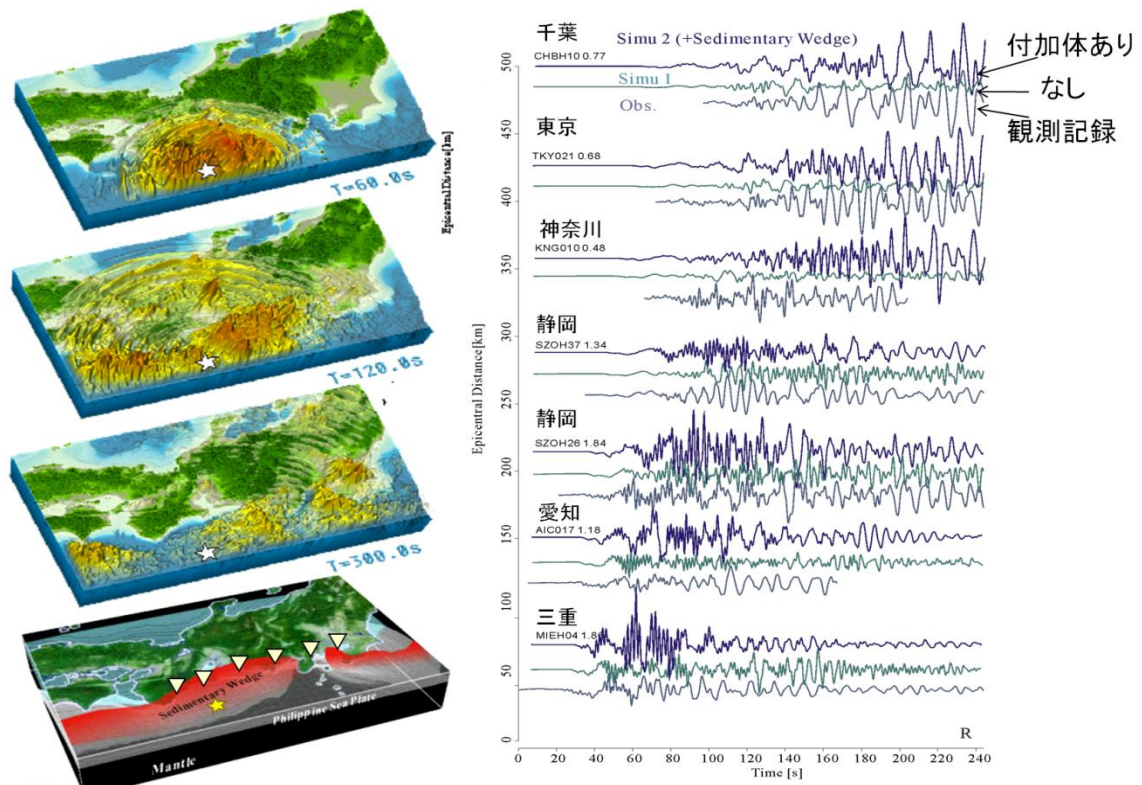


図3 2004年紀伊半島南東沖の地震の地震波伝播シミュレーション。(左)地震波伝播のスナップショット(60, 120, 300秒後)と地下構造モデル。赤い部分が付加体。(右)付加体あり、なしモデルによるシミュレーション地震波形とK-NET, KiK-net強震波形記録の比較。

2) 高分解能の陸海統合地下構造モデルを用いた強震動・津波シミュレーションとモデル検証

「サブプロジェクト①の(1)稠密海底地震観測」等による最新の地下構造探査の成果と、本サブプロジェクトにおいて海洋研究開発機構との協同により収集した都市部のボーリングデータを取り入れた高分解能の陸海統合地下構造モデルを用いて、1944年東南海地震や1946年南海地震、1707年宝永地震など、震源モデルが提案されている近年の地震について、強震動・津波シミュレーションを実施して、歴史史料や現地調査による津波痕跡、検潮記録、強震記録や震度分布等のデータと比較することによりシミュレーションに用いた地下構造モデルの確かさを検証した。

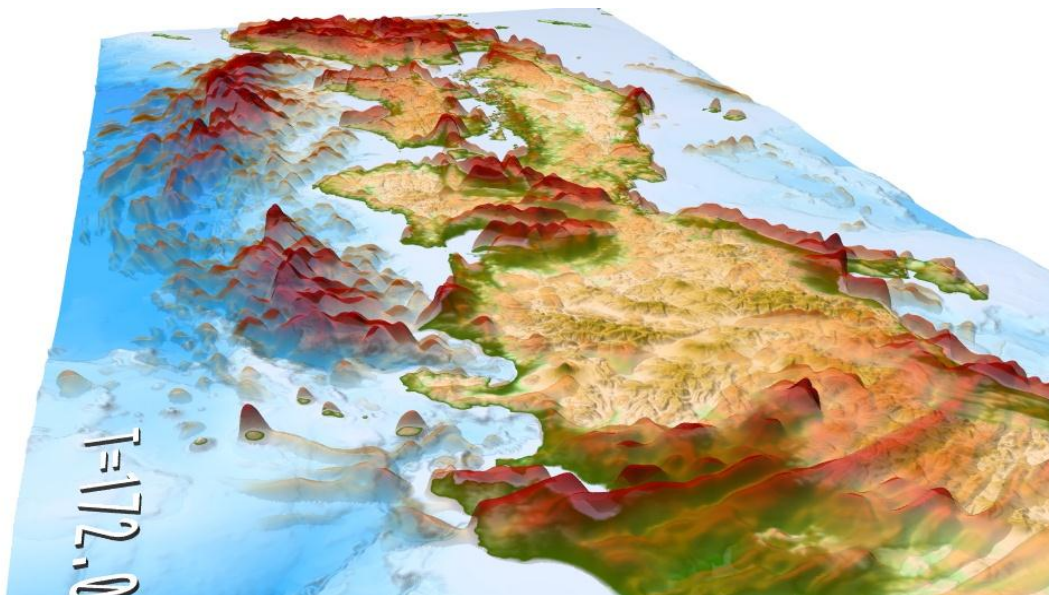
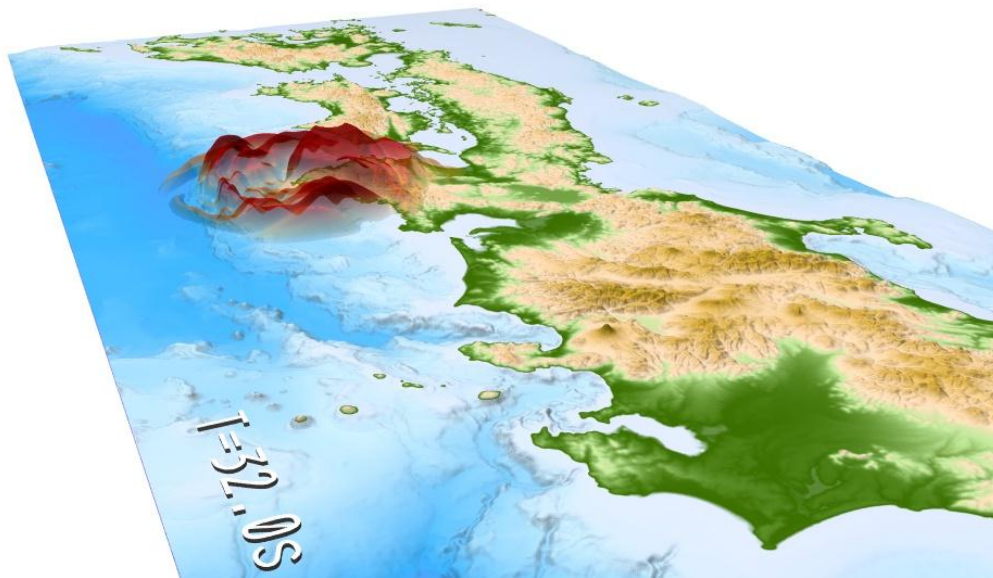
以下、1707年宝永地震の強震動と津波シミュレーションの結果を示す。宝永地震は、1944年東南海地震と1946年南海地震の震源域を包括する連動型巨大地震である。その際の九州～関東にかけての広範囲での地震動と津波の比較から、西日本～中部日本全域の地下構造モデルの検証を行った。また、宝永地震の震源モデルは、地震動シミュレーションについては中央防災会議(2003)²⁾のモデルを、また津波については本プロジェクトのサブプロジェクト①と②の連携によるH21年度成果として得られた修正された宝永地震モデル(Furumura et al., 2011)³⁾を用いて行った。

a) 宝永地震の強震動シミュレーション

1707年宝永地震の強震動を評価するために、本地震により震度4以上の強い揺れに見舞われた九州から北関東以北までの1200km*600kmの範囲を選び、400mの格子間隔で1500*3000格子に離散化して地

震動シミュレーションを行った。震源モデルは、中央防災会議(2003)²⁾のモデルを参考にして作成し、およそ700km*200kmの震源断層面を100m*100mの小断層に分割して、各小断層から中村・宮武(2000)⁴⁾による震源時間関数を用いて地震波を放射させた。断層破壊開始点(震源)を潮岬沖とし、ここから2.7 km/sの速度で震源断層破壊を徐々に進行させた。

地震動シミュレーションから得られた地震波伝播のスナップショットを図4に示す。潮岬から日向灘そして駿河湾にかけて南海トラフ沿いに断層破壊が進行し、約700 kmの震源域に沿った陸側に強い揺れが広がる。特に、大阪や名古屋、関東などの平野部では厚い堆積層において地震動が増幅され、そして揺れが平野内に閉じ込められて長時間揺れが継続する様子がわかる。



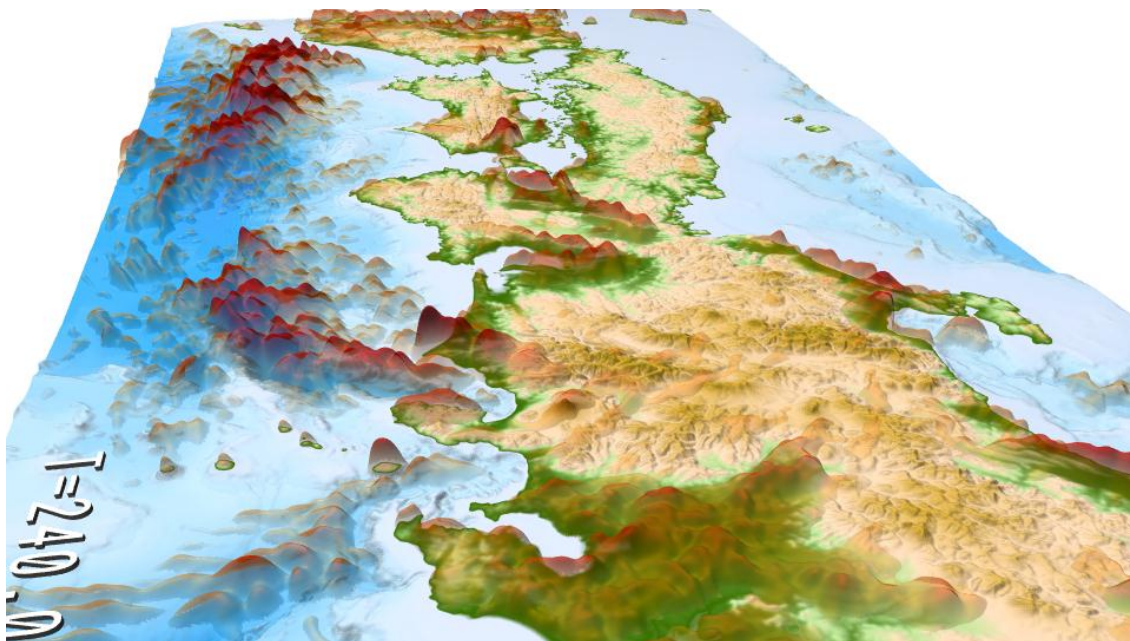


図4 1707年宝永地震の地震波伝播シミュレーション。地震発生から32秒、172秒、240秒後の地面の揺れの様子。

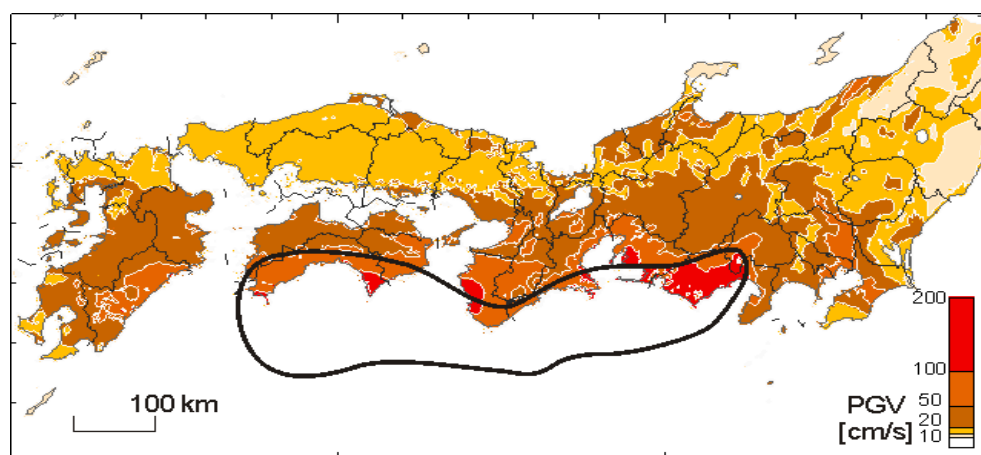


図5 1707年宝永地震シミュレーションの最大地動速度（PGV）分布。黒線は震源域の広がりを示す。

計算から求められた最大地動速度（PGV）を図5に示す。100cm/sを超える強い揺れが静岡県から高知県の広い範囲にわたって広がり、また50cm/sを超える大きな揺れが関東（千葉、埼玉、東京、神奈川）から九州（宮崎県）に至る、およそ1000 kmを超える範囲にまで広がるのがわかる。この範囲は、ちょうど宝永地震の震度6強および震度5弱の範囲（図6）に良く対応する。宝永地震では、震源域の北東側の岐阜県、長野県、富山県、および石川県付近に等震度線の伸びが現れており、また島根県や鳥取県には震度の飛び地が見られた。本計算から求められたPGV分布にも、これらの地域での大きな地震動が良く再現出来ていることがわかる。シミュレーション結果と震度分布の比較から、プレートの3次元形状と地殻構造の不均質性に伴う広域の地震波伝播特性や、平野部の堆積層や表層地盤による地震波の増幅特性を良く再現できることが確認できた。

一方、1707年宝永地震では、震源域の東側（関東平野）での震度は4程度以下と小さかったと想定されるが、シミュレーション結果のPGV分布では50cm/sを超える強い揺れの範囲が千葉、東京及び埼玉東部に現れている。同様に、震源域の西側の宮崎でも大きなPGVが現れている。その原因として、シミュレーションで仮定した表層地盤特性、震源の破壊・地震波放射特性などが考えられ、継続検討が必要である。

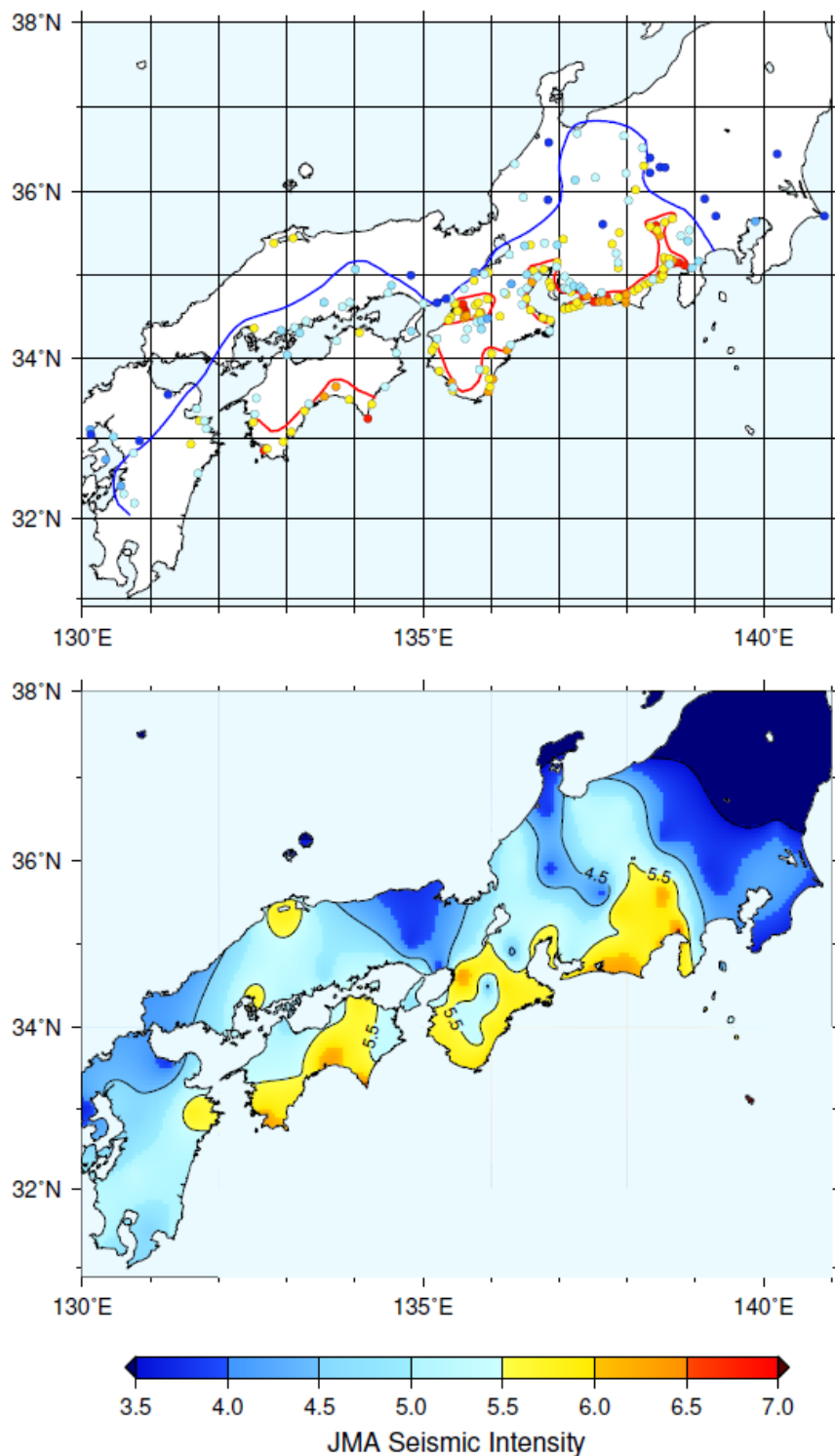
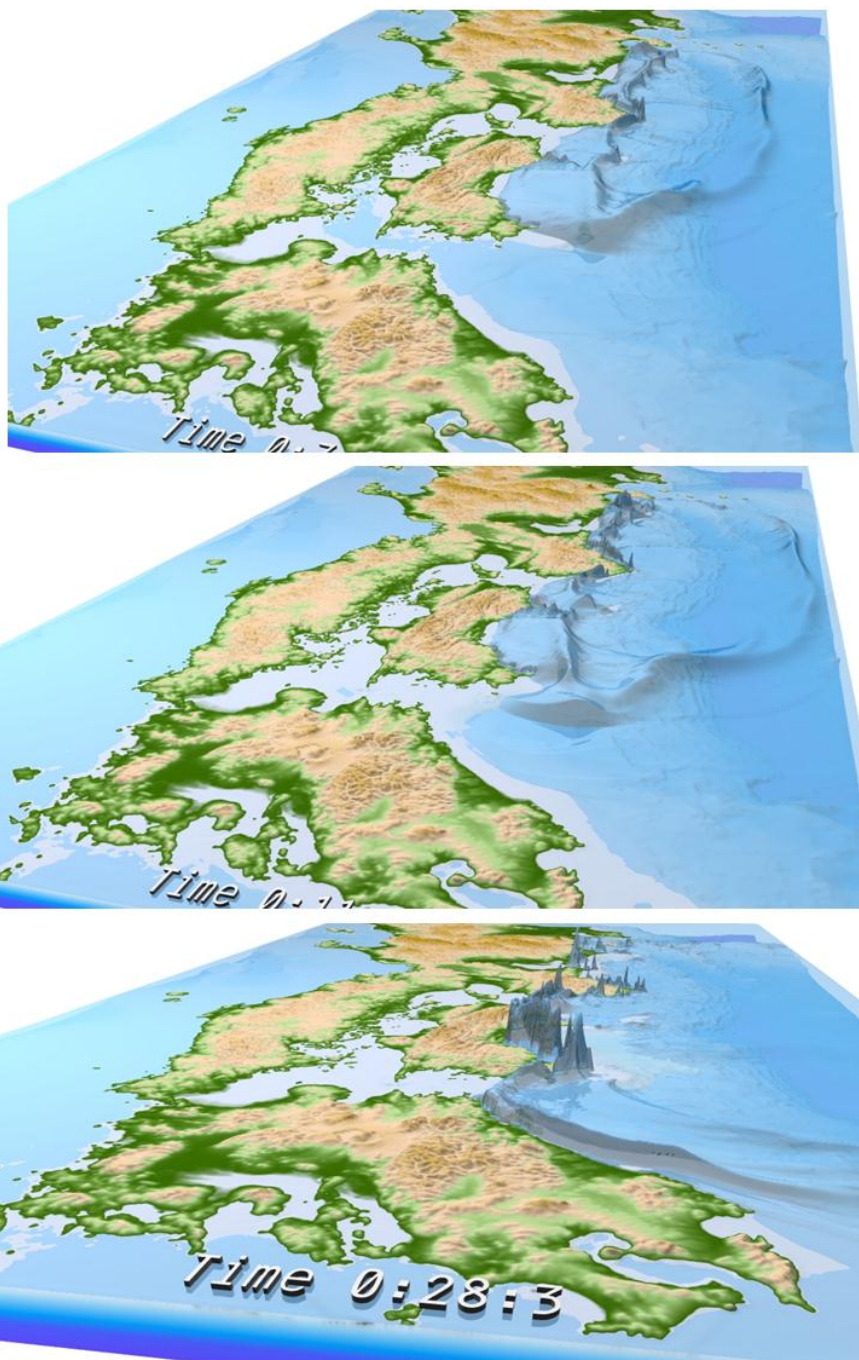


図6 1707年宝永地震の震度（上）とその面的補間（下）による震度分布の広がり。

b) 宝永地震の津波シミュレーション



次に、精密な海底地下構造モデルを用いて、宝永地震の津波シミュレーションを実施図7 1707年宝永地震に津波伝播シミュレーション（地震発生後3分、11分、28分後）。

した。

津波シミュレーションの範囲は地震動シミュレーションと等しく1200km*600kmとし、この範囲を400mの規則格子間隔で離散化して、海岸付近における津波遡上を考慮した非線形長波方程式により津波伝播を計算した。震源モデルは、昨年度（平成21年度）の本プロジェクト研究に

より求められた、修正宝永地震モデル（詳細は、Furumura et al., 2011 を参照）³⁾を用い、駿河湾から日向灘に至る約 800km*100km の断層面の破壊を考慮した。なお、ここで津波シミュレーションに用いた震源モデルは、前述の地震動シミュレーションで用いた震源モデル（たとえば、図 2 参照）とは異なり、駿河湾から日向灘にかけての宝永地震の震源域を 6 つの矩形断層で表現したものである。計算から求められた津波発生伝播のスナップショットを図 7 に、また太平洋岸での最大津波高を図 8 に示す。

計算から求められた津波高は、宝永地震の津波高（羽鳥、1980, 1985, 1988；村上、1996）⁵⁻⁸⁾と良い一致を示すことが再確認された。特に、日向灘セグメントの破壊により足摺岬から九州にかけての 8~10m 以上の津波高が良く再現できるようになり、地下構造モデルと震源モデルの高度化による津波の再現性が大きく向上した。

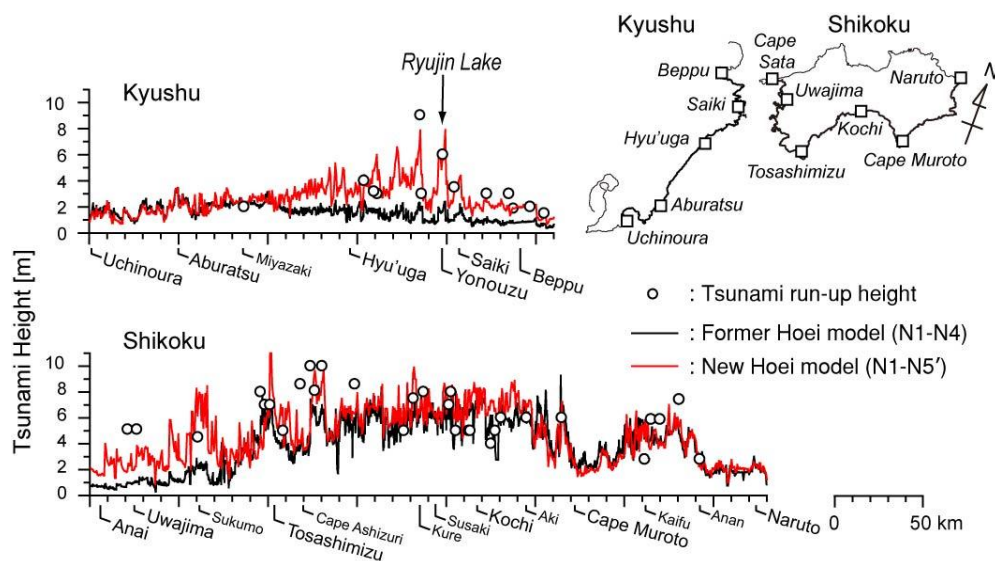


図 8 津波シミュレーションから求められた最大津波波高分布。

3) 連動発生および時間差発生に伴う強震動と津波変化

1707 年宝永地震や 1605 年慶長地震などの地震発生様式を想定して、東海・東南海・南海地震の連動発生による震源域の広がりの影響や、3つの地震が同時発生した場合と数分~数時間の時間差時間差をもって発生した場合について強震動と津波の増幅及び継続時間の変化を評価した。

a) 宝永地震の時間差発生による強震動と津波

1707 年宝永地震は、東海・東南海・南海地震がほぼ同時に発生した 3 連動地震であるとの考えが一般的であるが、東海地震（東南海地震を含む）と南海地震の発生に十数分~数十分の時間差があった可能性も議論されている（飯田、1980；宇佐美、2003；Imai, et al., 2010）⁹⁻¹¹⁾。ここでは、本プロジェクト研究において H20 年度に行った時間差発生の検討 (Imai et al., 2010)¹¹⁾ に引き続き、今年度は宝永地震が十数分の時間差発生を伴った可能性をより詳しく検討し、時間差発生による津波増幅への影響評価を行った。具体的には、(1) 史料を見直し、地震発生時刻に関する信頼性の高い史料のみを用いて発震時を再検討すること、(2) 当時の東西間の時差を考慮した再検討を行うこと、

(3)資料に現れる時刻に関する様々な表現を系統的に整理し、統一的に解釈すること、(4)集められた各地の発震時のバラツキから赤池の情報量規準 (AIC ; Akaike, 1974) ¹²⁾により最適な地震発生遅れ時間を求めること、(5)時間差発生による津波高を観測値と比較してその確からしさを検討すること、(6)時間差発生を考慮した津波シミュレーション結果と宝永地震の津波高を比較して波高の一致度を確認すること、を新たな検討材料と方針とした。なお、本研究では、宝永地震の時間差発生に関する既往研究 (飯田、1980 ; 宇佐美、2003 ; Imai, et al., 2010) ⁹⁻¹¹⁾ で用いられた、1983年以前に収集された史料 (図9 ; 赤+印) に加え、新たな史料 (黒+印) を加えて評価を行った。

まず、九州から東北地方において宝永地震の発生から30年以内に記録された史料を選び、また地震発生時の伝聞記録を注意深く除外して、地震発生時刻に関する信頼性の高い記述を145件選定した。当時の暦は、日の出から日没までの時間を6つの刻で分けた不定時報に基づくため、時間分解能は2時間であり、かつ地域によりその絶対時刻が異なる。そこで、各地の時刻を日本標準時に直して定時法化し、また地震発生時を上刻、中刻、下刻と分けた記載から、2時間以内の時間分解能と誤差を与えて、地震発生時の全国分布を求めた (図9)。たとえば「午下刻」の時刻は13時17分±20分となる。こうして求められた1707年宝永地震の発生時刻の記載の全国平均は13時47分±62分となった。

地震発生時刻の頻度分布を詳細に調べたところ平均時刻の前後に二つのピークがあることが確認でき、異なる時刻に二つの地震が起きた可能性がある。そこで、AICに基づいて、時間差をもって発生した二つの地震発生域の境界を推定した。その結果、東南海地震と東海地震の断層セグメントの境界付近を境にして地震の発生時刻が異なると考えるのが、もっとも適切であるとの見解を得た (図10)。また、推定された発生時刻の差は、東南海地震の発生から19分後に東海地震が遅れて発生するというものである。ただし、この検討で得られた時刻差は極めて小さく、一つ一つの資料の時刻精度の限界を大きく超えるものである。そのため、本検討結果は宝永地震の全体が同時に発生した可能性を排除するものではない。しかし、津波防災のための「最悪シナリオ」を検討する上では、僅かな時間差により生ずる津波の強めあい効果を考慮する必要があることが再確認された。

そこで、東南海地震に対する東海地震の発生時刻を0~80分の間で1分毎に遅らせながら、浜名湖~伊豆での津波高の変化を津波シミュレーションから評価した。宝永地震の駿河湾・遠州灘沿岸での津波痕跡の調査 (羽鳥、1977) から河川遡上高を除く純粋な津波高だけを選定してシミュレーション結果との比較 (幾何平均及び幾何標準偏差の組み合わせ) を行った。その結果 (図11)、前述の史料に基づく時間遅れの評価で議論した東海地震が東南海地震から19分後に発生した場合のシミュレーション結果が、観測を良く説明することが確認できた。

本プロジェクトにおいてH20年度に既に検討したように、十数分の時間差で東南海地震と東海地震が続いて発生した場合には、二つの地震の震源域に近い愛知県などでは強い揺れが2回発生し、かつ駿河湾の広い範囲では津波の重ねあわせが発生して波高が高まることが予想される。1707年宝永地震時の御前崎 (相良) や石廊崎 (湊、下田) での大きな津波高は、こうした津波の重ねあわせにより起きた可能性がある。

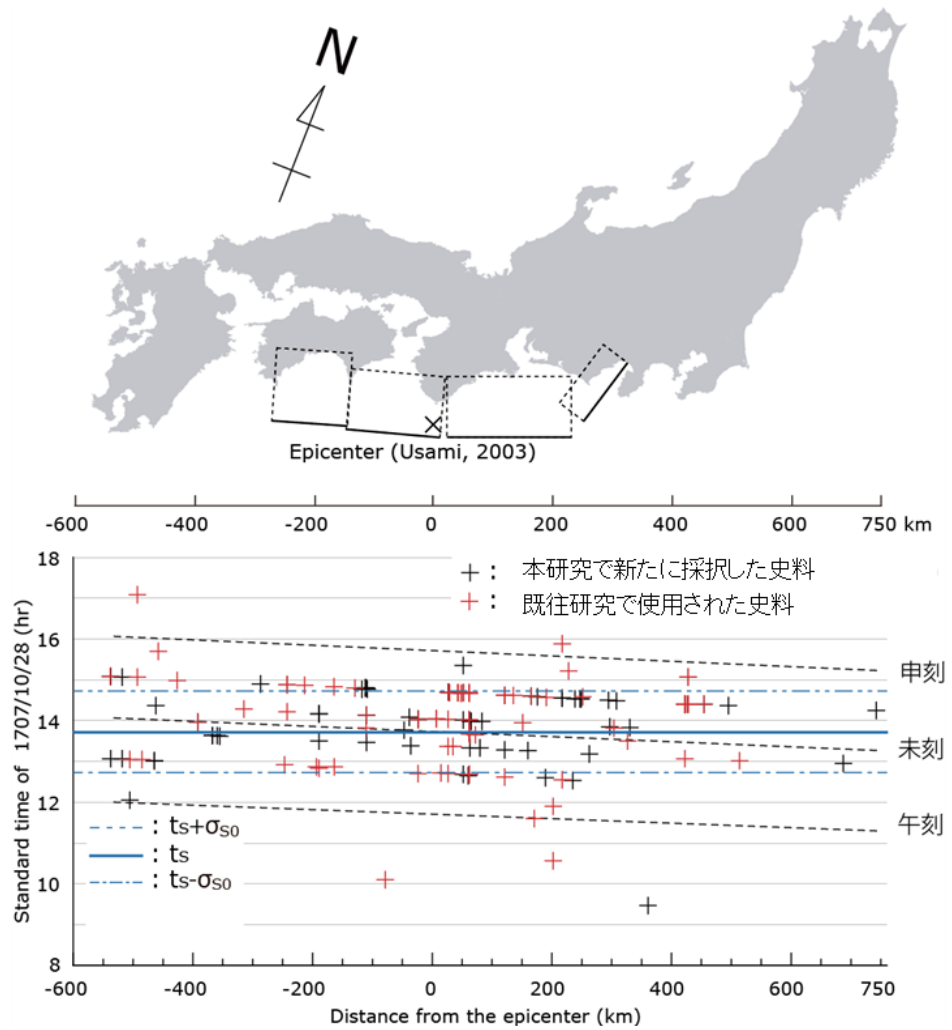


図9 史料から読み取られた、各地の宝永地震の発震時刻（横軸は潮岬の震源からの距離、縦軸は発震時を表す）。1983年以前に収集された史料（赤+印）と、本評価に新たに追加した史料（黒+）。

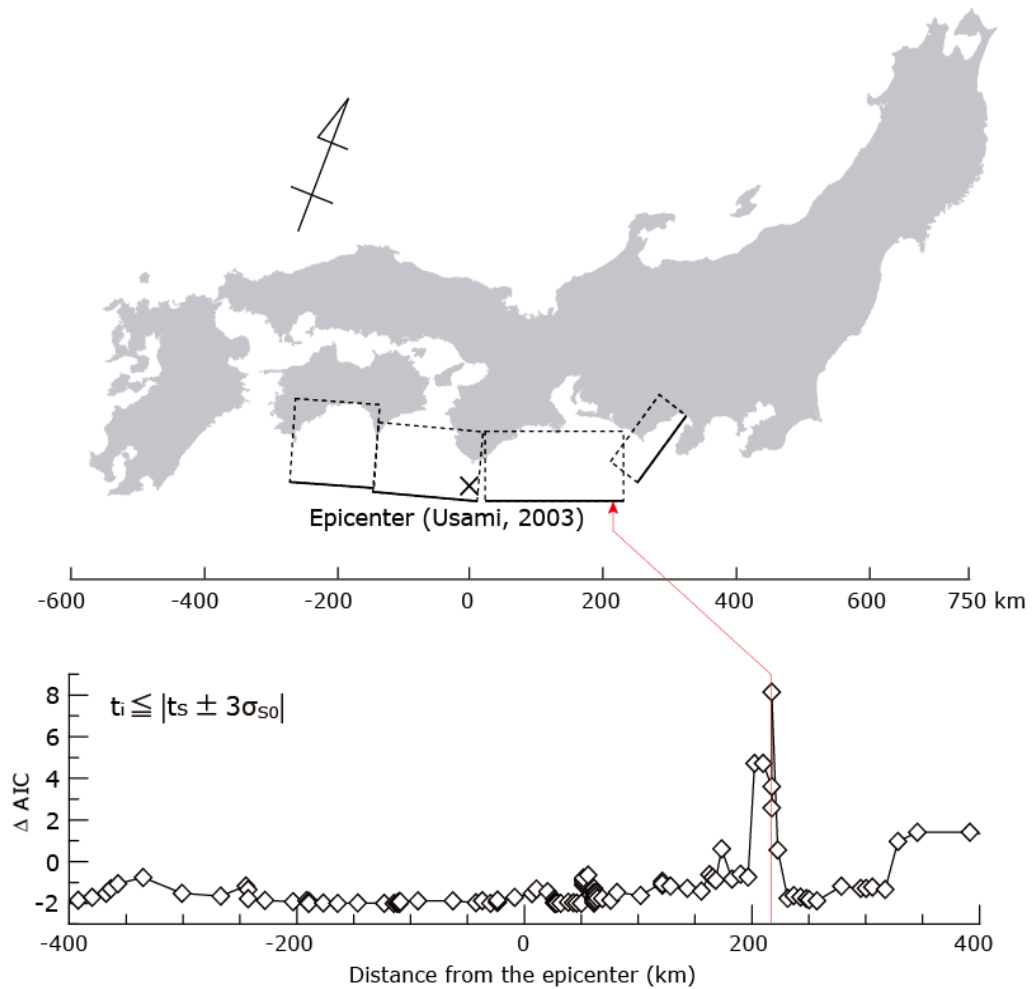


図 10 発震時の変化地点の優位性を考える AIC 指標の変動。震源から 220km 北東（東南海地震、東海地震セグメントの境界付近）で発震時が変化すると考えた場合に、AIC 指標が最大となる。

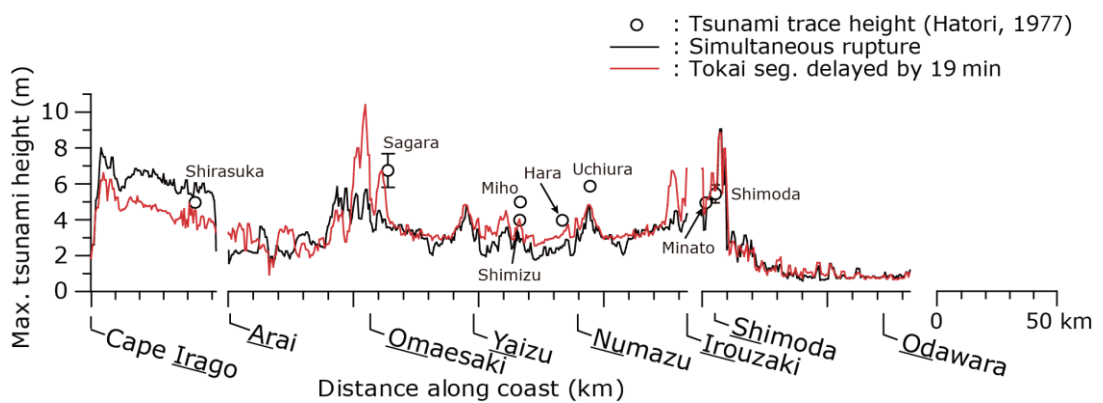


図 11 宝永地震における南海・東南海・東海地震同時発生の場合の津波高（黒）と、東海地震が 19 分遅れて発生した場合を想定した津波高（赤）。○は羽鳥（1977）による宝永地震の津波高を表す。

b) 慶長地震による強震動と津波

1605年慶長地震は、強い揺れを伴わずに大津波が突然押し寄せた「津波地震」であり、数メートルを超える津波が犬吠埼から九州の広い範囲に到来して数千人規模の大きな犠牲者が出た。津波の規模は宝永地震と同等に大きく、特に八丈島では1点の情報であるが10~20mの津波報告がある。地震の被害としては、淡路島の仏閣の諸堂の倒壊と仏像の飛散が記録されているほかは、たとえば京都の多くの史料において地震前後の詳細な記述に対して本地震の記載がないなど、無感であった可能性が高い。南海・東海地震の前後にしばしば観測される、井戸の水位変化や井戸涸れ、温泉の湧出などの事象の報告もなく、また地震地殻変動による海岸線の隆起沈降の記録がないなど、通常の南海トラフ地震とは現象が大きく異なっている。

同様の津波地震として1896年明治三陸地震があり、強い揺れを伴わずに突然大津波が襲ったことにより22,000名以上もの犠牲者が出た。このような、津波地震を東海・東南海・南海地震およびその連動発生の一つの「最悪シナリオ」として位置づけ、その発生メカニズムと地震動・津波の特性について地震動および津波シミュレーションをもとに検討した。

慶長地震の発生メカニズムとして、これまで、海溝付近での「低角のプレート境界のゆっくり滑り」が繰り返し議論されている(石橋、1983; Seno, 200) ¹³⁻¹⁵。南海トラフでは、地下10~30kmのやや深部プレート境界で地震が発生するが、普段は地震を起こさない浅部のプレート境界が、何らかの理由で単独、あるいは、やや深部滑りに連動して高速滑りを起すと大きな津波が発生する。これが津波地震の一つのメカニズムとして広く考えられている(谷岡・佐竹、2003) ¹⁵。

このような、海溝付近の浅部プレート境界滑りによる慶長地震の発生メカニズムの検討とこれによる地震動と津波の特性を評価するために、宝永地震の震源モデル(断層長さ800km、断層幅100km)をベースに、その震源域を海溝付近の浅部プレート境界に移動した場合の地震動と津波の変化を調査した。慶長地震の震源モデルの断層長は宝永地震モデルと等しくし、断層幅は45kmとして海底下2~10kmのプレート境界に置き、宝永地震と同量の7mの断層滑りを与えて地殻変動を計算し、宝永地震のシミュレーション結果と比較した。

計算からもとめられた地殻変動の断面図を図13に、面的分布を図14に示す。宝永地震タイプの深部プレート境界滑りでは、大部分の隆起が海域に集中し、陸は沈降する。一方、慶長地震タイプの浅部プレート境界滑りでは、隆起と沈降域が海域に集中し、陸域まで広がらない。なお、地殻変動量は宝永地震モデル、慶長地震モデルともに同程度に大きくなるのがわかる。慶長地震モデルの隆起・沈降域は、陸域から海に遠く離れた海溝付近に現れ、陸の地殻変動は極めて小さいことは、図14からもよくわかる。たとえば宝永地震で2mの沈降が起きた高知の地殻変動量は、慶長地震モデルではゼロとなる。次に、図15に示すように地下水位の変動に大きく影響すると考えられる体積歪みを比較すると、宝永地震モデルでは50 micro strain以上の大きな体積歪みが起きる陸域でも慶長地震モデルでは優位な変化が現れない。例えば、宝永地震の前後での温泉の変化が報告されている道後温泉や湯峰温泉においても、慶長地震では体積歪みの変化は5 micro strain程度以下と小さく、地下水位には変化が起きなかったと考えられる。

慶長地震の津波シミュレーション

慶長地震モデルから得られた地殻変動分布をもとに海面変動(初期津波)と海岸線の沈降を考慮して津波伝播シミュレーションを行い、房総半島から九州までの最大津波高を評価した結果を図16

に示す。求められた津波高は、宝永地震モデルのものと同程度に高くなり、土佐湾では最大 8m 前後、紀伊半島から遠州灘では 7~10m の津波高となることがわかる。宝永地震モデルでは、高知では緩やかな引き波、室戸では緩やかな押し波から始まる (図 16 矢印)。慶長地震モデルでは、こうした海溝型の地震で良く見られるような津波の始まりではなく、地震発生直後は海面変動がなく、数十分後に突然海面の低下や上昇が始まることもわかる (図 17 矢印)。図 13 に示した海底地殻変動の断面図からもわかるように、浅部プレート境界の滑りにより海底面は局所的に大きな隆起・沈降が発生するため、波長が短い大震幅の津波が発生することが考えられる。

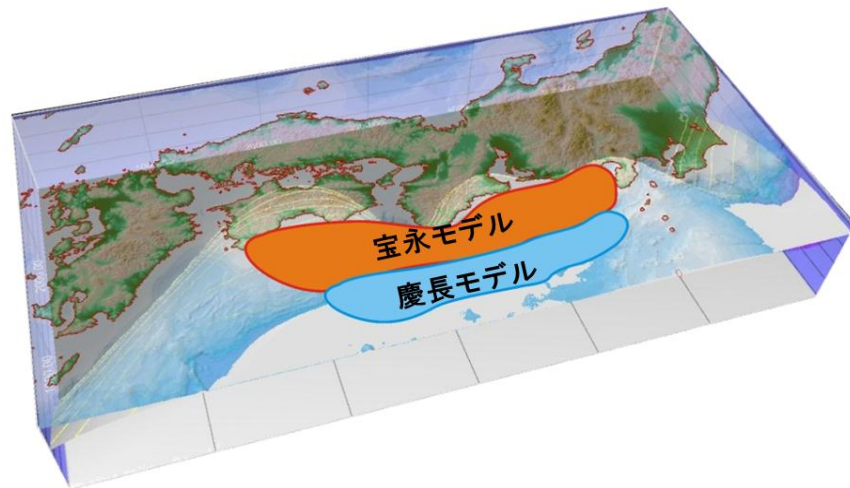


図 12 慶長地震 (赤) と宝永地震 (青) の震源モデル。

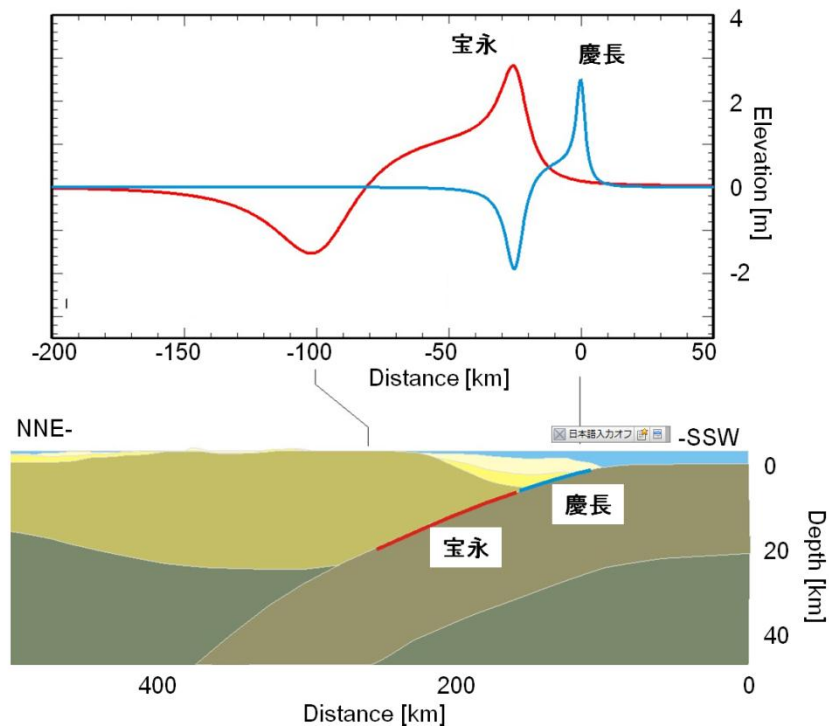


図 13 慶長地震 (A ; 青線) と宝永地震 (B ; 赤線) による海底地殻変動 (隆起・沈降) の様子。

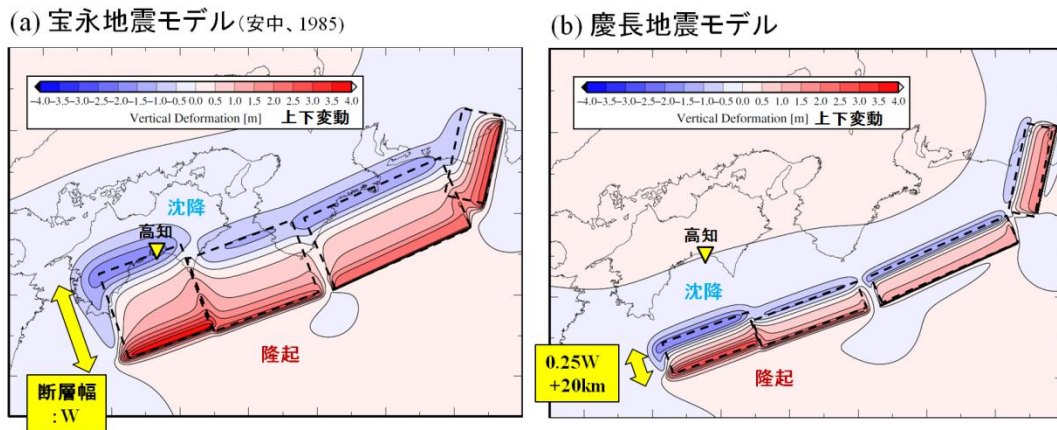


図 14 地震地殻変動の分布 (赤：隆起、青：沈降)。(a) 宝永地震モデル、(b)慶長地震モデル。

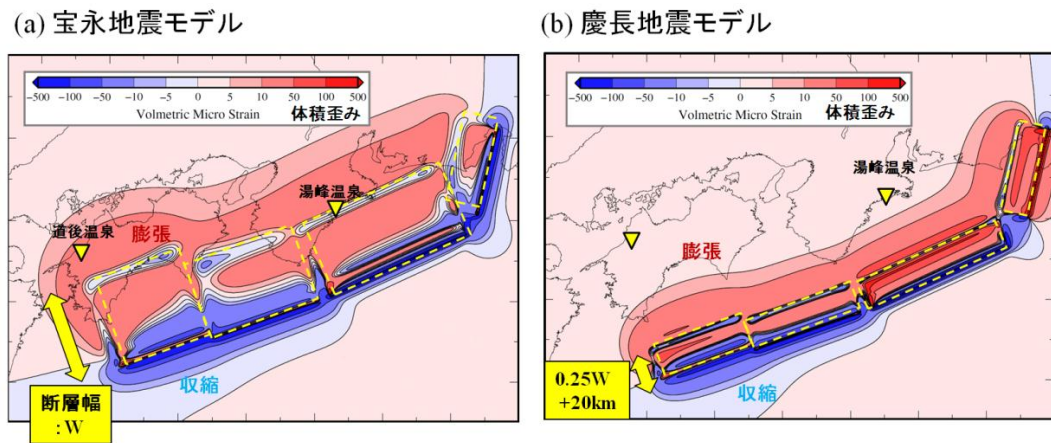


図 15 地震地殻変動による体積歪みの分布 (赤：膨張、青：収縮)。(a) 宝永地震モデル、(b)慶長地震モデル。

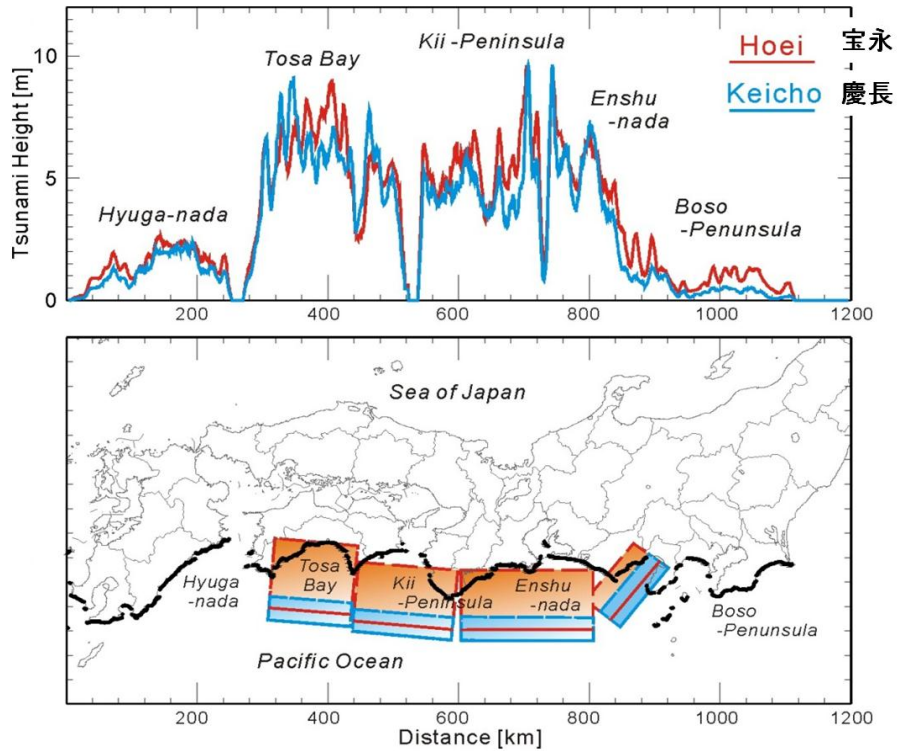


図 16 太平洋沿岸の津波高 (赤：宝永地震、青：慶長地震モデル)。評価地点は下図に黒丸で示す。

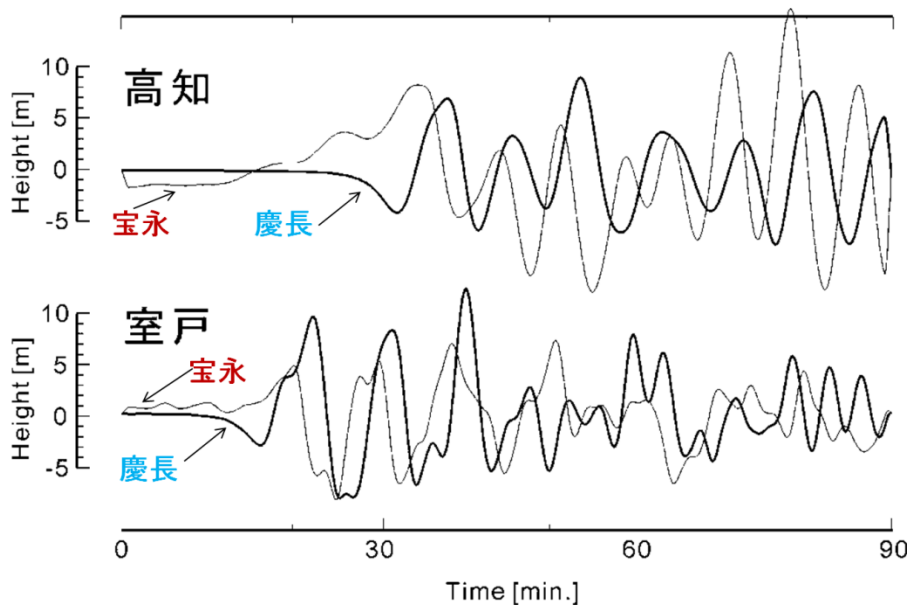


図 17 高知と室戸での津波波形 (細線：宝永地震モデル、太線：慶長地震モデル)。

慶長地震の地震動シミュレーション

次に、宝永地震モデルと慶長地震モデルによる地震動の分布の違いを地震動シミュレーションに基づき評価した。宝永地震モデルの震源については、中央防災会議の東海・東南海・南海地震モデル (中央防災会議、2003) ³⁾に基づき、アスペリティ領域及び背景領域の震源パラメータを定め、疑似動力学震源 (中村・宮武、2000) ⁴⁾による震源時間関数を仮定し、地震動の伝播を評価した。また、慶長地震

モデルの震源域は、宝永地震モデルの震源域を 75 km 海溝付近に移動し、断層面積は宝永地震モデルと同じとした。したがって、二つのモデルは大きさは等しいが、位置（深さ）が違っていると仮定した。

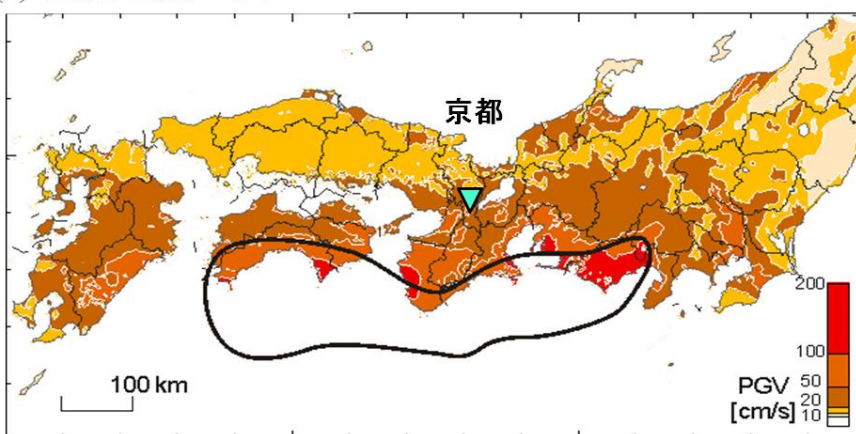
宝永地震モデルと慶長地震モデルにより求められた最大地動速度（PGV）分布を比較し、図 18 に示す。慶長地震モデルによる計算結果では、震源が 75km 陸から遠くなったことにより、各地点での震源距離が長くなり、PGV 値が 1/2 程度になった。それでも京都で 10cm/s を超える、また名古屋で 50 cm/s を超える強い揺れとなった。また、加速度波形振幅から計測震度を求めると、京都と名古屋で、それぞれ震度 4 と震度 5 弱になることから、慶長地震が起きた際に、京都や名古屋で無感であったことを裏付けることは難しい。

そこで、慶長地震は浅いプレート境界で発生するというを考慮して、地震による総モーメント量は変化させないものの、断層周囲の剛性率を 1/3 に、さらに地震による応力降下量を 1/2 とし、震源モデル（震源時間関数）を修正し、地震動シミュレーションを再度を行った。その結果、図 19 のとおり各地での地震動の震幅が大きく低減し、計測震度が京都で震度 2、名古屋で震度 4 程度となる結果を得た。したがって、慶長地震では、断層周囲の剛性率や応力降下量を修正した震源モデルを考慮すべきと考えられる。

震源域に近い和歌山では、震源モデルの修正により、震度 6 弱から震度 4 に低下する。また、図 20 の速度応答スペクトルに見られるように、周期 1 秒以下の短周期成分が小さいことから、宝永地震と比較し慶長地震の震度が小さかったことが裏付けられる。一方、慶長地震モデルによる和歌山での推定地震動は、周期 3～5 秒前後の長周期成分が大きい。すなわち、慶長地震タイプの海溝付近の浅いプレート境界の滑りに伴う地震では、揺れによる震害や体感は小さいが、地震動が長周期化する傾向にあり、それが及ぼす影響は少なくないと考えられる。また、慶長地震タイプの地震は、地震直前のプレスリップ等の前兆現象を陸地で検出することが困難であり、かつ地震発生時の揺れが小さいことから、突然大津波が押し寄せると感じると想定される。さらに、宝永地震のような東海・東南海・南海地震の連動発生に加えて、慶長地震タイプの地震が同時に起きた場合、大きな津波を誘導する可能性があるため、津波高とその影響を今後注意深く評価する必要がある。

上記の通り、プレート境界深部滑りによる宝永地震タイプとは別の、プレート境界浅部滑りによる慶長地震タイプの「最悪シナリオ」を考えることが重要である。よって、この最悪シナリオを、津波遡上や被害予測、地域毎の災害対応や復興・復旧施策に関する研究での今後の検討条件に加えることとした。

(a) 宝永地震モデル



(b) 慶長地震モデル(75km海溝側に移動)

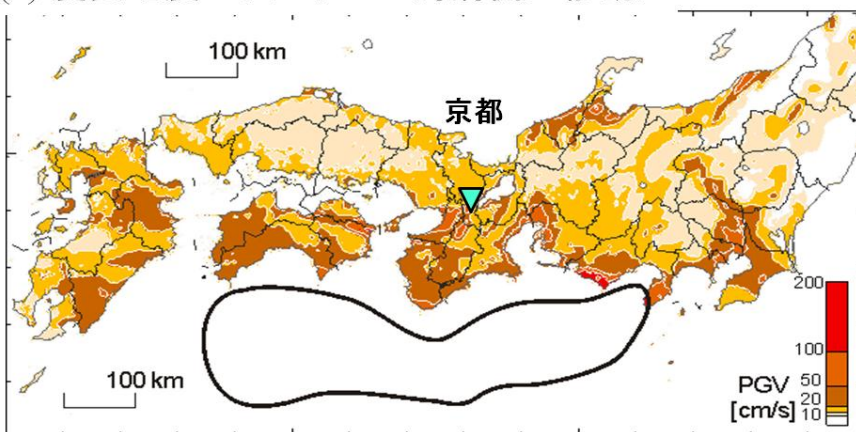


図 18 最大地動速度 (PGV) 分布。(a) 宝永地震モデル、(b)慶長地震モデル。

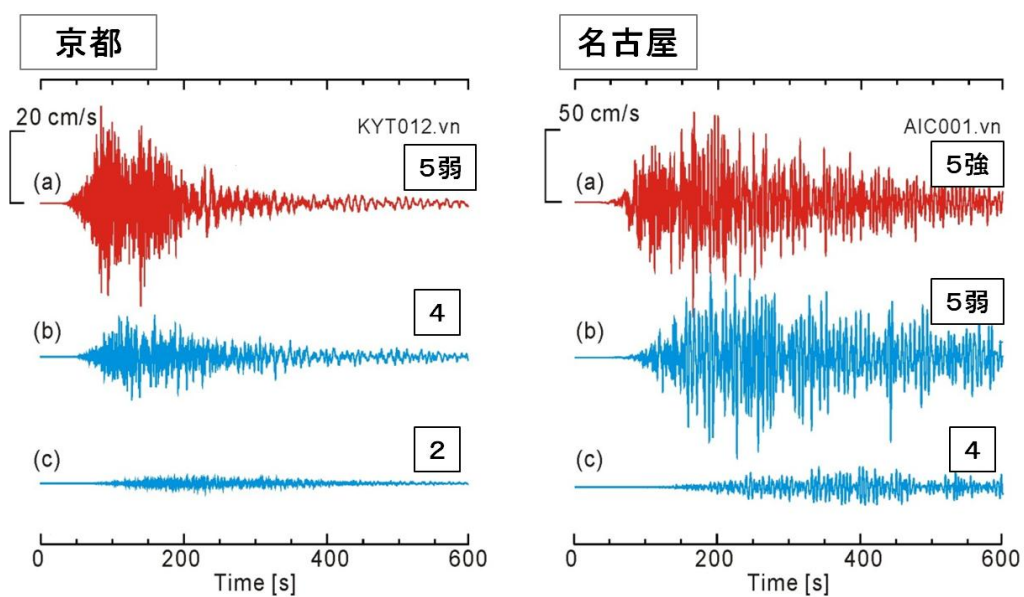


図 19 京都と名古屋地点での地震波形 (速度、NS 成分) と計測震度の比較。(a) 宝永地震モデル、(b) 慶長地震モデル、(c)修正慶長地震モデル。

速度応答スペクトル(h=5%)

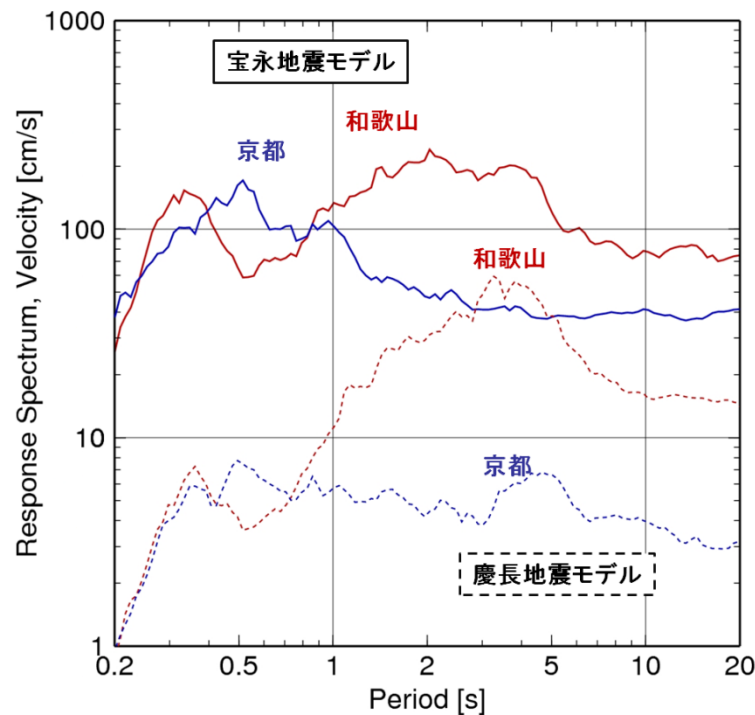


図 20 和歌山と京都での地震動の速度応答スペクトル（実線：宝永地震モデル、点線：慶長地震モデル）。

4) 次世代スパコンのための大規模強震動津波シミュレーションコードの開発

次世代スパコン（京コンピュータ）等を活用した大規模並列シミュレーションの実用化を目指し、強震動・津波予測シミュレーションコードの高度化を前年度（平成 21 年度）に引き続き継続実施した。

東海・東南海・南海地震の連動発生により、3つの地震の震源域の広がりには 700 km を超え、震度 6 強以上の強い揺れが起きる可能性の高い領域は九州から関東までの 1200 km*600 km 以上に広がることから、周期 1 秒程度以下の短周期地震動シミュレーションの実現には、最大数万 CPU 以上を用いた超並列計算コードの整備が不可欠である。

本研究で用いる地震波伝播の差分法計算コード（Seism3D）は、3次元運動方程式を空間 4 次精度、時間 2 次精度のスタガード格子差分法により陽的に計算する。運動方程式中には 18 個の空間微分が現れ、これらを差分法にて計算に要する時間が計算全体の 40% を占める。次に、非弾性減衰（Q 値）特性を考慮するために、応力一歪みの構成方程式に時間遅れを持たせるメモリ変数の更新に要する時間が 20% 程度と大きい。

これらの負荷の大きな計算に対して、高いメモリバンド幅（4Byte/FLOP）と長いベクトル長の演算機構を用いる地球シミュレータ（ES）等のベクトル型計算機では、効率良く高速に進めることができ、Seism3D の実効性能は ES（8GFLOPS/CPU）の 50% 程度を得ることができた。これに対して、2009 年 3 月に更新された地球シミュレータ（ES2）はメモリバンド幅（2.5Byte/FLOP）が狭く、高い実効性能を実現することが難しくなった。このような問題は、京コンピュータ等のスカラ

一型計算機 (1Byte/FLOP 程度) ではより影響が大きいと考えられる。

そこで、本研究では ES2 において、将来の京コンピュータの利用を想定した Seism3D の性能チューニングを進め、1) バンクコンフリクトの回避、2) メモリロード回数の節約、3) キャッシュメモリ (ADB) の活用、4) MPI 通信の高速化、を進めた。その結果、実効性能をチューニング前の 22.7% から 31.3% に高めることができた。また、並列化率もチューニング前の 99.9472% から 99.9959% に改善させることができ、演算速度が 1.36 倍高速化させることに成功した (図 21)。

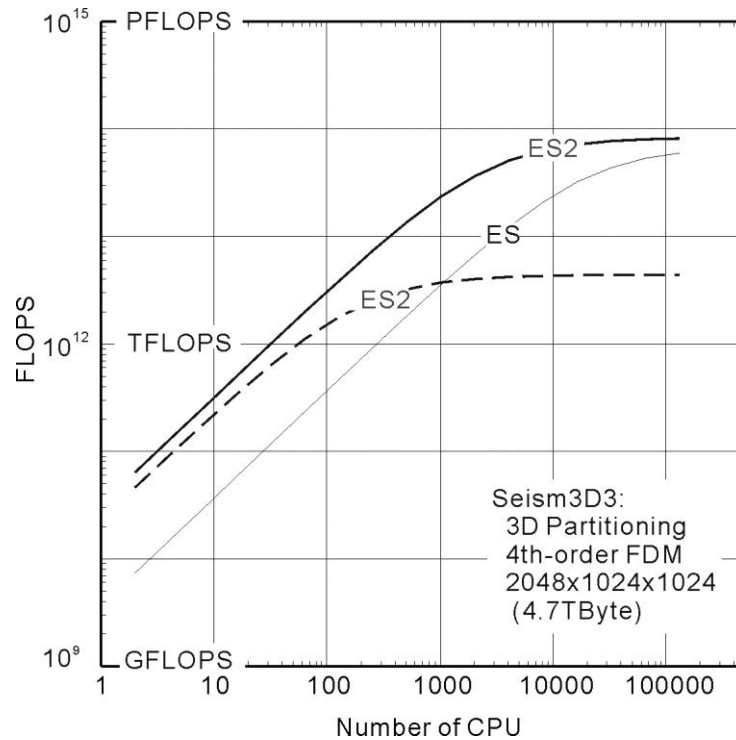


図 21 地震動シミュレーションコード (Seism3D) の並列計算性能。ES および ES2 の性能を比較。点線はコードチューニング前、実線はチューニング後を表す。

(c) 結論ならびに今後の課題

今年度は、最新の地下構造探査の知見を取り入れた地震動・津波シミュレーションを実施し、過去の東海・東南海・南海地震の再現と将来の地震津波の予測見込みを得るとともに、長周期地震動の生成に寄与する付加体等の減衰 (Q 値) 特性を、近年の地震の高密度地震観測データの解析から評価して、南海トラフの地下構造モデルを完成させた。そして、本モデルを用いて連動発生における時間差発生や、津波地震の発生による「最悪シナリオ」を評価し、これによる津波被害や災害対応、復興・復旧施策の検討に引き渡す連携研究を進めた。主要な研究成果は以下のとおりである。

(1) 最新の地下構造探査結果と都市部のボーリングデータを取り入れた高分解能の陸海統合地下構造モデルを用いて、これまで発生した東海・東南海・南海地震の強震動と津波シミュレーションを実施し、史料や津波痕跡、検潮記録、強震記録や震度分布等のデータと比較することによって、シミ

ュレーションモデルの有効性を示すことができ、将来発生が予想されるシナリオ地震の強震動・津波シミュレーション実施の目処を得た。

(2) 2004年紀伊半島南東沖の地震や2009年駿河湾の地震など、近年南海トラフで発生した地震の強震観測(K-NETとKiK-net)記録の解析と地震動シミュレーションから、南海トラフに広がる低速度の付加体が周期1秒以上の長周期地震動の生成と誘導に大きな働きを持つこと、一方、付加体は周期1秒以下の短周期地震動を減衰させる特性を持つことなど、宮城県沖で発生する地震や内陸で発生する地震とは地震波の伝播特性が大きく異なっており、これが東海・東南海・南海地震の地震波伝播と被害の特徴を作り出す可能性を示した。

(3) 連動発生による「最悪シナリオ」として、従来考えてきた東海・東南海・南海地震の連動発生による震源域の広がりだけでなく、これらの地震が数分～数十分の時間差をもって発生した場合の津波の増幅効果等の影響がより重要であることを再確認した。また、史料の再解析と津波高の評価から、宝永地震において東南海地震の発生から十数分遅れて東海地震が発生した可能性を強化した。

(4) もうひとつの「最悪シナリオ」として津波地震である1605年慶長地震を考え、その発生メカニズムと地震動と津波の生成、そして津波地震の防災上の問題点を検討した。

(5) 次世代スパコン等を活用した大規模並列シミュレーションの実用化を目指し、強震動・津波予測シミュレーションコードの高度化を前年度に引き続いて行ない、2009年3月に更新された地球シミュレータ上で30%を超える実効性能と99.9959%の高い並列化率を達成するなど、数万CPU以上の大規模並列シミュレーションの実現の目処を得た。

以上、本研究により得られた成果をサブプロジェクト①に渡し、連動発生条件を議論する「物理モデル構築及び地震発生シミュレーション研究」の今後の方向性に関して意見交換を進めるとともに、本サブプロジェクト②内では明確化された複数の「最悪シナリオ」を共有して、津波遡上・被害予測、地域毎の災害対応や復興・復旧施策の検討に関する研究を連携して進めた。

(d) 引用文献

- 1) 領木邦浩：西南日本の3次元深部構造と高重力異常，地震2, 52, 51-63, 1999.
- 2) 中央防災会議：東南海・南海地震等に関する専門調査会，
http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/index_nankai.html, 2003.
- 3) Furumura, T., K. Imai, and T. Maeda, A revised tsunami source model for the 1707 Hōei earthquake and simulation of tsunami inundation of Ryujin Lake, Kyushu, Japan, J. Geophys. Res., 116, B02308, doi:10.1029/2010JB007918, 2011.
- 4) 中村洋光・宮武隆：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, pp.1-9, 2000.
- 5) 羽鳥徳太郎：宝永・安政津波の現地調査による波高の検討，海洋科学, 12(7), pp.495-503, 1980.
- 6) 羽鳥徳太郎：九州東部沿岸における歴史津波の現地調査—1662年寛文・1769年明和日向灘および1707年宝永・1854年安政南海道津波—，東京大学地震研彙報, 60, pp.439-459, 1985.
- 7) 羽鳥徳太郎：瀬戸内海・豊後水道沿岸における宝永(1707)・安政(1854)・昭和(1946)南海道津波の挙動，歴史地震, 4, pp.37-46, 1988.
- 8) 村上仁士・島田富美男・伊藤禎彦・山本尚明・石塚淳一：四国における歴史津波(1605 慶長・

- 1707 宝永・1854 安政) の津波高の再検討, 自然災害科学, pp.15-1, pp.39-52, 1996.
- 9) 飯田汲事 (編): 四大地震 (明応・宝永・安政東海・東南海) の調査と比較, 東海地方の地震被害調査研究グループ, 1980.
- 10) 宇佐美龍夫: 最新版 日本被害地震総覧, 東京大学出版, 2003.
- 11) Imai, K., K. Satake, and T. Furumura: Amplification of tsunami heights by delayed rupture of great earthquakes along the Nankai trough, Earth, Planets and Space, 62, pp.427-432, 2010.
- 12) Akaike, H.: A now look at the statistical identification model, IEEE Trans. Auto Control., 19, pp.716-723, 1974.
- 13) 石橋克彦: 1605 (慶長 9) 年東海・南海津波地震の地学的意義, 日本地震学会昭和 58 年度秋季大会講演予稿集, pp.96, 1983.
- 14) Seno, T.: Tsunami earthquake as transient phenomena, Geophys. Res. Lett., 29(10), doi:10.1029/2002GL014868, 2002.
- 15) 谷岡勇市郎・佐竹健治: 津波地震の発生メカニズム, 月刊地球, 25, pp.347-354, 2003.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

学会等における口頭・ポスター発表

題名	著者	発表先	発表年月日
南海・東南海・東海地震の連動発生による強震動と津波—3 連動発生による「最悪」シナリオ (口頭)	古村孝志	日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 千葉県	2010 年 5 月 24 日
史料に基づく 1707 年宝永地震の発生時刻の推定精度 (ポスター)	今井健太郎・ 西山昭仁・ 前田拓人・ 石辺岳男・ 佐竹健治・ 古村孝志・	日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 千葉県	2010 年 5 月 24 日
地震波・海中音波・津波の動的連星シミュレーションの試み (口頭)	前田拓人・ 古村孝志	日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 千葉県	2010 年 5 月 25 日
A Unified Dynamic Numerical Simulation of Seismic, Ocean Acoustics, and Tsunami Waves (口頭)	Takuto Maeda, Takashi Furumura	7 th ACES International Workshop, Otaru	2010 年 10 月 5 日
Tsunami simulation for the 1707 Hiei earthquake: A	Takashi Furumura Kentarō Imai,	7 th ACES International Workshop, Otaru	2010 年 10 月 7 日

revised source model and tsunami inundation to onshore lakes (口頭)	Takuto Maeda		
1605年慶長地震による大津波生成メカニズム (口頭)	古村孝志・ 前田拓人・ 今井健太郎	2010年日本地震学会秋季大会, 広島市	2010年10月29日
地震に伴う津波高と海中音波: 動的連成シミュレーションに基づく検討 (口頭)	前田拓人・ 古村孝志	2010年日本地震学会秋季大会, 広島市	2010年10月29日
宝永地震の際の東海震源域の破壊遅れ—駿河湾・遠州灘付近の津波痕跡高からの推定— (ポスター)	今井健太郎 西山昭仁・ 前田拓人・ 石辺岳男・ 佐竹健治・ 古村孝志	2010年日本地震学会秋季大会, 広島市	2010年10月29日
2010年チリ中部地震による関東・東海地方沿岸の津波痕跡調査	今井 健太郎・ 行谷 佑一・ 都司 嘉宣・ 藤井 雄士郎・ 安藤 亮輔・ 小松原 純子・ 小松原 琢・ 堀川 晴央・ 宮地 良典・ 松山 昌史・ 吉井 匠・ 石辺 岳男・ 佐竹 健治・ 西山 昭仁・ 原田 智也・ 鳴原 良典・ 鳴原 康子・ 藤間 功司	2010年海岸工学講演会, 京都	2010年11月
Tsunami simulation for the great 1707 Hōei, Japan, earthquake (ポスター)	Takashi Furumura, Kentaro Imai, Takuto Maeda	AGU Fall Meeting 2010	2010年12月13日

Delayed Segment Rupture during Great Earthquake along the Nankai Trough - Estimation from Historical Documents and Tsunami Trace Heights of the 1707 Hoen Earthquake - (ポスター)	Kentaro Imai, Akihito Nishiyama, Takuto Maeda, Takeo Ishibe, Kenji Satake, Takashi Furumura	AGU Fall Meeting 2010	2010年12月 13日
An integrated simulation of seismic and tsunami waves (ポスター)	Takuto Maeda, Takashi Furumura	AGU Fall Meeting 2010	2010年12月 13日

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 （雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
A revised tsunami source model for the 1707 Hoen earthquake and simulation of tsunami inundation of Ryujin Lake, Kyushu, Japan	Takashi Furumura,, Kentaro Imai, Takuto Maeda,	Journal of Geophysical Research, Vol. 116, B02308, doi:10.1029/2010JB007918	2011年2月	国際
2010年チリ中部地震による関東・東海地方沿岸の津波痕跡調査	今井 健太郎・ 行谷 佑一・ 都司 嘉宣・ 藤井 雄士郎・ 安藤 亮輔・ 小松原 純子・ 小松原 琢・ 堀川 晴央・ 宮地 良典・ 松山 昌史・ 吉井 匠・ 石辺 岳男・ 佐竹 健治・ 西山 昭仁・ 原田 智也・ 嶋原 良典・	土木学会論文集 B2 (海岸工学), 66, No.1 , 1351-1355	2010年	国内

	鳴原 康子・ 藤間 功司			
--	-----------------	--	--	--

マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果 (記事タイトル)	対応者氏名	報道・掲載機関 (新聞名・TV名)	発表時期	国際・国内の別
未知の地震動長周期地震動が都市を襲う	古村孝志	日本テレビ 世界一 受けたい授業	2010年7月10 日	国内
東海・東南海、南海地震 3連動発生	古村孝志	TBS NEWS23X TBS NEWS i	2010年9月1 日	国内
3連動地震の被害予測と 対策	古村孝志	フジテレビ 知りたがり!	2010年9月2 日	国内
防災最前線、東海・東南海・南海の3つの地震、 3連動地震の恐れは	古村孝志	SBS イブニング eye	2010年9月 29日	国内
400年前の大津波原因分析、揺れずに突然“大津波”が・・・	古村孝志・前 田拓人	NHK ニュースウオッチ9	2010年10月 8日	国内
東海地震～対策の歩みと 課題	古村孝志	NHK 静岡	2010年11月 6日	
日本沈没を引き起こす!?メガ津波の恐怖を 追え!	古村孝志	日本テレビ 不可 思議探偵団	2010年11月 29日	
'10 危機に生きる(7) 3地震連動も現実味	古村孝志	徳島新聞	2010年1月 26日	
時が経つほど「同時」現実味 3地震連動	古村孝志	中国新聞	2010年6月 1日	
小さな揺れで突然津波? 慶長地震の「謎」に注目	古村孝志	神戸新聞	2010年6月 21日	
東海・東南海・南海地震 同時に発生 最悪シナリオ 遅れる備え	古村孝志	日本経済新聞	2010年8月 27日	
巨大地震「連動」のリスク 揺れる防災対策	古村孝志	日本経済新聞	2010年8月 29日	
1605年慶長地震仕組み 解明	古村孝志・前 田拓人・今井	日本経済新聞	2010年10月 22日	

	健太郎			
1707年の宝永地震「3連動」「東海14～19分遅れか	古村孝志・今井健太郎	静岡新聞	2010年10月22日	
慶長地震：現在想定と別タイプ 400年前津波で死者多数	古村孝志・前田拓人・今井健太郎	毎日新聞	2010年10月25日	
南海トラフの地震、浅い震源・・・現行対策の想定外	古村孝志・前田拓人・今井健太郎	読売新聞	2010年10月31日	
地震、「東海・東南海」後に「南海」なら四国西岸津波被害大きく	古村孝志・今井健太郎	日本経済新聞	2010年11月29日	

(f) 特許出願, ソフトウェア開発, 仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成23年度業務計画案

連動発生シナリオに基づく強震動と地殻変動、そして津波の高精度予測を、地球シミュレータ等のスーパーコンピュータを用いて実施する。計算結果をもとに、強震動分布に加えて、人口密集平野（大阪、名古屋、関東など）の強震動波形の特性（震動継続時間、長周期地震動の生成など）について、単独発生と連動発生による違いを詳しく検討する。また、地震地殻変動による海岸線の沈降・隆起と津波発生に与える影響を把握するために、3次元地下構造モデルを用いた計算と、過去の南海トラフ地震の強震動と津波記録の現地調査結果を分析する。さらに、地震地殻変動解析・統合可視化ワークステーションWSを用いた評価と可視化を図るとともに、個別研究テーマ(2)での津波の遡上への影響評価に活用する。連動発生により生まれる強震動と地殻変動が、都市の多様な構造物に与える影響と、津波発生と伝播、そして沿岸部の浸水に与える影響について、個別研究テーマ(2)-(5)と連携して検討を行う。以上の成果の普及と関連分野の最新の知見の収集のために、国内外の学会等で研究発表を行う。

3.2. 津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定（3.2 参照）

目 次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5ヵ年の年次実施計画
- (e) 平成22年度業務目的

(2) 平成22年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
 - 1) 高精度地形モデルを用いた市街地における津波遡上シミュレーション
 - 2) 合成地形モデルによる津波氾濫流の流況変化に関する検討
 - 3) 海底地滑りによる津波の発生とその挙動に関する検討
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成23年度業務計画

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東北大学大学院工学 研究科附属災害制御 研究センター	教授	今村文彦	imamura@tsunami2.civil.tohoku.ac.jp
東北大学大学院工学 研究科附属災害制御 研究センター	准教授	越村俊一	

(c) 業務の目的

本サブテーマでは、「個別研究テーマ(1)連動型巨大地震による強震動の高精度予測」での強震動・津波シミュレーションから得られた地震・津波シナリオをもとに、河川を含む沿岸域での津波の遡上過程と浸水を高精度に予測する。ここでは、詳細な地形特性、陸上での土地利用、潮汐、地球温暖化による海面変動など、現在および将来に予想される現実的な環境下での津波遡上を検討する。これらの結果を利用して、津波被害の予測と人的被害の軽減のための情報を作成し、被害形態も考慮した沿岸部でのハザードマップ作成の検討を行う。ここで作成するハザードマップでは、大地震の強震動による被害、大津波の到来、そして内陸部への浸水が起きる過程に対して時間を追って示すとともに、津波遡上と浸水を、高分解能航空写真や重ねたりGISを用いるなどの工夫により、大地震による津波の脅威を良く理解できるようなリアルなアニメーションの作成を目指す。以上の結果を基盤とした、ハザード・リスクや復旧・復興のための情報マップを活用した人的被害軽減戦略の作成プログラムを提案する。

(d) 5カ年の年次実施計画（過去年度分は、成果の要約）

1) 平成20年度：中央防災会議などが整備したデータに加え、国土地理院のデータ、各自治体（尾鷲市、鳥羽市、高知市）での整備データを収集・整理し、連成計算コードの開発と計算条件データベースの整備を進めた。沿岸域を細かな（最小50m）メッシュにて計算できるデータの整備と計算コードを開発し、試計算を行った。

2) 平成21年度：「サブプロジェクト①(2)稠密海底地震観測」等から得られた、海底構造（地滑りポテンシャル情報）や海底地形についての詳細計測結果を用いて、局所的な津波への影響を評価し、解析に必要な空間分解能などについての基礎検討を行う。また、潮汐や地球温暖化による海面上昇などが、津波伝播過程に与える定量的な評価も実施する。特に、海水面の上昇による位置エネルギーの増加や、浅海域でのエネルギー減衰効果の低下に着目し、津波の影響や被害の評価をする。得られた結果は、シナリオ作成のための計算（初期、境界）条件の設定に用いられる。さらに、連動タイプの違

いによる、津波の波高重ね合わせによる波高の上昇や、連続して繰り返押し寄せる津波が沿岸に与える影響変化について検討する。

3) 平成22年度：サブテーマ「(1)連動型巨大地震による強震動の高精度予測」から得られた地震・津波シナリオをもとに、沿岸の津波波高、陸域での浸水や河川への遡上を高精度に予測する。予測内容は、到達時間や浸水範囲に加えて、最大流速、最大流体力、さらに、時系列の海面変化などの情報とし、ハザード情報としてアウトプットする。1944年東南海地震、1946年南海地震、および2004年紀伊半島南東沖地震などについての津波遡上シミュレーションと観測データとの比較から検証する。サブプロジェクト①の「稠密海底地震観測」の構造調査の結果を受け、海底地滑りなどの可能性が高い場所について、強震動による海底斜面の崩壊による津波発生機構も取り入れた津波予測を行う。

4) 平成23年度：得られた津波ハザード情報を基に、人的・物的・交通被害などの津波被害を予測する。季節や時間帯などの発生時間帯を考慮し、それぞれの地域で固有な被害パターンの有無を検討する。これらの情報は地形図・土地利用図・衛星画像などに重ね、ハザード・リスクマップ作成の基礎とする。以上の成果を利用して、従来のハザードマップ作成手順の中で、評価手法・浸水予測区域設定の基準、防災情報の内容・表示、マップの周知・利用・活用などの項目について、改善すべき内容を再検討する。

5) 平成24年度：新しいリスク手法に基づいた地域でのマップを作成し、対象地域での防災力・対応力などの情報を重ね、地震発生直後から復旧・復興期までの時間要素を取り入れた復旧・復興マップを作成する。社会一般に連動型巨大地震による津波の影響力を分かりやすく伝えるために、津波遡上と浸水を、高分解能航空写真やGIS地図に重ね書きした、リアルなアニメーションを作成する。最後に、ハザード・リスク・復旧復興のマップを活用した人的被害軽減戦略の作成プログラムを提案する。

(e) 平成22年度業務目的

サブテーマ「(1)連動型巨大地震による強震動の高精度予測」から得られた地震・津波シナリオをもとに、沿岸の津波高、陸域での浸水や河川への遡上を高精度に予測するための計算コード、およびデータ互換インターフェースを開発する。津波計算・データ解析サーバ、津波/データ作成パソコンを新規に整備して、「個別研究テーマ(1)連動型巨大地震による強震動の高精度予測」により得られた津波発生伝播シナリオに沿った、沿岸域における津波を評価する。

この時、到達時間や浸水範囲などの従来の津波予測情報に加えて、津波ハザード情報として活用するために、最大流速、最大流体力、時系列の海面変化をも評価する。1944年東南海地震、1946年南海地震及び1707年宝永地震等の歴史地震から評価対象とするイベントを選び、津波浸水・遡上シミュレーションを実施し、津波高や浸水高等について、シミュレーション結果と観測データの比較から、津波予測モデルを検証する。サブプロジェクト①の「稠密海底地震観測」の構造調査の結果を受け、海底地滑りなどの可能性が高い場所について、強震動による海底斜面の崩壊による津波発生機構も取り入れた津波予測を行う。

(2) 平成22年度の成果

(a) 業務の要約

南海トラフ沿いで発生した歴史地震のうち、既往最大と云われている1707年宝永地震について、高知市、尾鷲市、鳥羽市を対象とした高精度地形モデル（50mを9分割、約5.6mメッシュ）による津波遡上シミュレーションを実施した。仮定した震源は、Furumura et al.(2010)による宝永地震モデルとし、高知市、尾鷲市、鳥羽市においてシミュレーション結果と既往研究による津波痕跡高との比較を行い、その妥当性を確認した。

高知市については、家屋建物などの構造物を地形に反映した合成地形モデルを用いた津波数値シミュレーションを実施し、市街地を氾濫する津波の詳細な挙動について評価した。さらに、構造物を含む領域も相当粗度係数によって考慮する従来から用いられてきた方法による解析結果との比較を行った。また、時々刻々と変化する氾濫浸水深・流速の挙動に加えて、最大流体力を航空写真上に示す高精度な津波ハザードマップ（高知版）を試作した。沿岸・市街地の津波高・浸水、さらには河川への遡上などを解析し、継続して来襲する津波による市街地への影響を評価した。

加えて、巨大地震に伴って発生する海底地滑りによる津波の発生について、サブプロジェクト①の「稠密海底地震観測」の構造調査の結果に基づいた基礎検討を行った。この結果、断層破壊による地殻変動に伴った津波に比べて短周期の津波が発生することを確認し、また、地すべりに伴って発生する津波の影響評価やその程度について検討を行った。

(b) 業務の成果

1) 高精度地形モデルを用いた市街地における津波遡上シミュレーション

高知市、尾鷲市、鳥羽市について、高精度地形モデルを整備した。すなわち対象領域について、まず、中央防災会議などが整備したデータに加え、国土地理院のデータ、自治体（高知市、尾鷲市、鳥羽市）での整備データを収集・整理し、地形モデルの整備計算条件データベースの整備を進めた。また、対象領域を、空間格子サイズが津波氾濫の挙動を十分に表現できるようにしながら、空間格子間隔を1350mから50/9mグリッドまでの6段階に細分化した。さらに、最小グリッドについては、地形・土地利用データ、水際構造物（水門、樋門、陸こう）の有無や敷高の標高値について既存のデジタルデータとの比較を行い、整備資料に基づいた特性を有するようにした。また、各グリッドには、土地利用条件を底面摩擦に置き換える等価粗度にて土地利用形態を考慮した。なお、構造物は相当粗度係数にてモデル化することとし、このモデル化による場合を、2)で示す合成地形モデル（構造物などを起伏地形と相当粗度で表現）と対比する際には、相当粗度モデルという。

次に、作成した高精度地形モデルを用い、津波遡上シミュレーションを実施した。その際、南海トラフ沿い巨大地震のうち既往最大と云われている1707年宝永地震を想定し、Furumura et al., 2011)による宝永地震モデルによる震源域を考慮した。また、対象地域におけるシミュレーション結果と実測による津波痕跡高との比較からモデルの妥当性を検証した。なお、高知市については、本手法によるシミュレーション結果は、平成21年度業務成果報告書で示しており、次節にて、合成地形モデルによるシミュレーション解析と比較して示す。

以下、検討条件、検討方法、検討結果について詳述する。

i) 高精度地形モデルの作成

内閣府の中央防災会議専門調査会では日本の太平洋側の地形・粗度・堤防を 50 m グリッドではほぼ全域整備し、津波シミュレーションを実施している。本プロジェクトにおける平成 21 年度業務では、これらのデータを世界測地系に座標変換し、より詳細な (50/9 m) グリッドによるモデルを作成するとともに、津波防御施設 (水門・陸閘門等) 等の津波遡上シミュレーションに資する条件を整備した。

より現実的なシミュレーション結果を得るためには、さらなる地形モデルの高精度化や土地利用条件を正確に表現する必要がある。そこで、50/9 m グリッドの詳細領域における地形モデルデータ作成のために、各自治体等から資料収集を行っている。今年度は昨年度から収集を進めている高知市に加え、新たに尾鷲市と鳥羽市の空中写真を収集し、津波ハザード情報の基礎資料とした。

高知市市街地における詳細地形モデルを整備するために収集した資料を表 1 に示す。また、50/9 m グリッド詳細領域における空中写真を図 1、標高分布を図 2、土地利用区分を図 3、堤防天端高分布を図 4 に示す。土地利用区分については、図 1 から目視判読により評価した。

三重県尾鷲市・鳥羽市市街地における詳細地形モデルを整備するために収集した資料を表 2 に示す。また、尾鷲市における 50/9 m グリッド詳細領域における空中写真を図 5、標高分布を図 6、土地利用区分を図 7 に示す。鳥羽市における 50/9 m グリッド詳細領域における空中写真を図 8、標高分布を図 9、土地利用区分を図 10 に示す。

土地利用区分については、高知市街地においては図 1 から目視判読により評価した。尾鷲市、鳥羽市については、三重県防災危機管理部地震対策室により土地利用区分が行われており、それに対応する相当粗度の分布も公表されており、高精度地形モデル作成に当たっては、それらの電子成果の諸元をそのまま使用した。

表 1 収集資料（高知市）

対象地域	資料名	提供元
高知市	数値地図 5 m メッシュ (標高)	国土地理院
	平成 16 年度 危管 1 号 高知県津波防災アセスメント補完調査委託業務 報告書一式, 電子成果 2/6, 電子成果 5/6	高知県総務部危機管理課
	江の口川河川改良計画図	高知県地震防災課
	江の口川水門 更新全体図	〃
	新堀川水門 全体一般図	〃
	堀川水門 平面図	〃
	堀川水門 全体組立図	〃
	若松町護岸 標準断面図	〃
	中の島防潮堤 標準断面図	〃
	農人町護岸 標準断面図	〃
	竹島水門 平面図	〃
	竹島水門 全体図	〃
	西孕防潮堤 標準断面図	〃
	西孕護岸 標準断面図	〃
	介良川潮止堰 一般図	〃
	介良川潮止堰 平面図	〃
	介良川潮止堰魚道ゲート 一般図	〃
	本江田川 本川樋門全体図	〃
	本江田川水門 側面図	〃
	鏡川 縦断面図	〃
	久万川 縦断面図	〃
	国分川 縦断面図	〃
	舟入川 縦断面図	〃
	介良川 縦断面図	〃
	本江田川 縦断面図	〃
	本江田川 構内機器配置平面図	〃
	本江田川 排水機場縦断面図	〃
	下田川 縦断面図	〃
高知市空中写真 平成 21 年 4~5 月撮影	高知市総務部危機管理室	

表 2 収集資料（尾鷲市および鳥羽市）

対象地域	資料名	提供元
尾鷲市	尾鷲市国土基本図 2 千 5 百分の 1	尾鷲市防災危機管理室

	図面番号 4・5・8・9 修正平成 6 年 2 月 旧日本測地系平面直角座標第 6 系	
	尾鷲市防災マップ	〃
	尾鷲市海岸施設配置図	三重県防災危機管理部地 震対策室
	大曾根浦漁港海岸施設配置図	〃
	大曾根浦漁港台帳 平成 15 年 3 月	〃
	津波シミュレーション電子成果	〃
	尾鷲市空中写真 (承認番号: 三自治地第 150 号) 平成 19 年 1 月撮影	〃
鳥羽市	鳥羽市国土基本図 2 千 5 百分の 1 図面番号 C5・C6・C7・D5・D6・D7 修正平成 16 年 3 月 世界測地系平面直角座標第 6 系	鳥羽市総務課防災対策室
	鳥羽市海岸施設配置図	三重県防災危機管理部地 震対策室
	坂手漁港平面図 1 千分の 1	〃
	坂手漁港海岸施設配置図	〃
	坂手漁港台帳 平成 19 年 3 月	〃
	津波シミュレーション電子成果	〃
	鳥羽市空中写真 (承認番号: 三自治地第 150 号) 平成 19 年 1 月撮影	〃

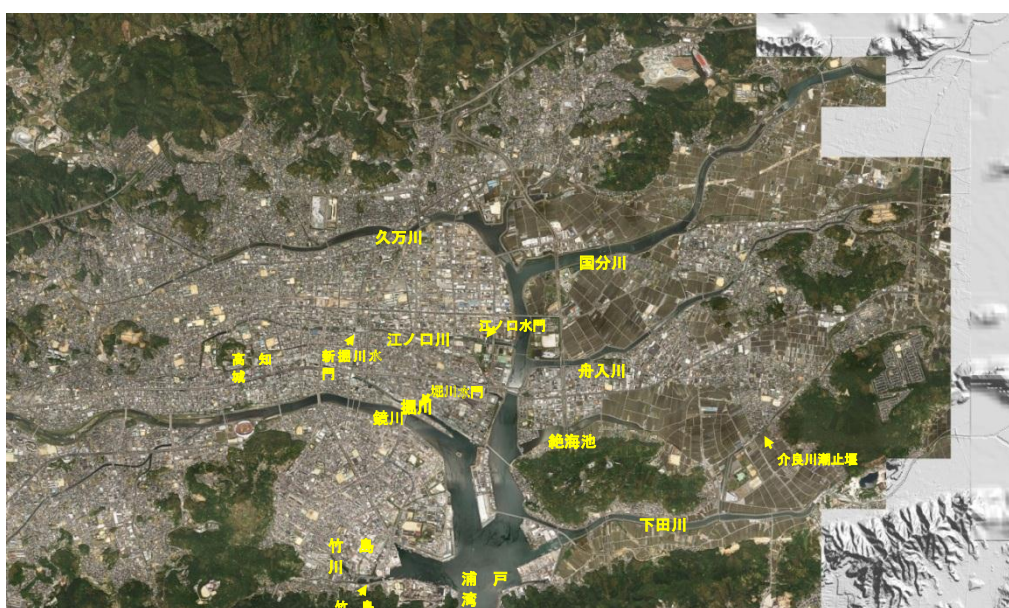


図 1 高知市詳細領域の空中写真。撮影日：平成 21 年 4～5 月、解像度：20cm/pixel、出典：高知市。

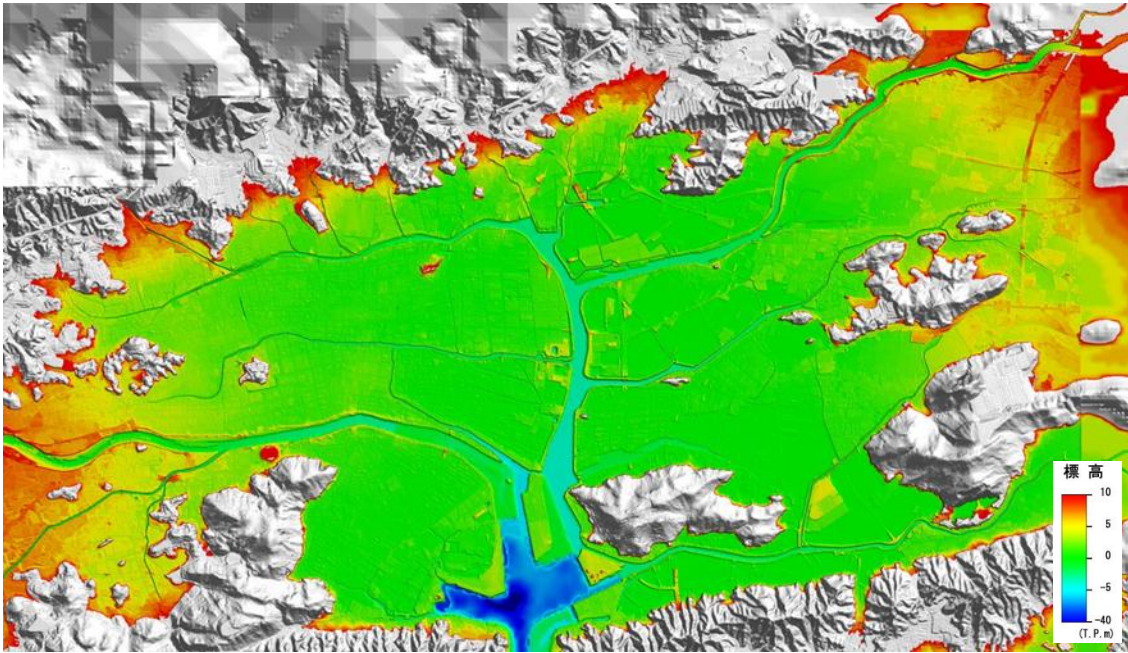


図2 高知市詳細領域の標高分布。陸域：国土地理院数値地図5mメッシュ標高（高知）を使用。海域：平成16年高知県津波防災アセスメント補完調査の電子成果を使用。

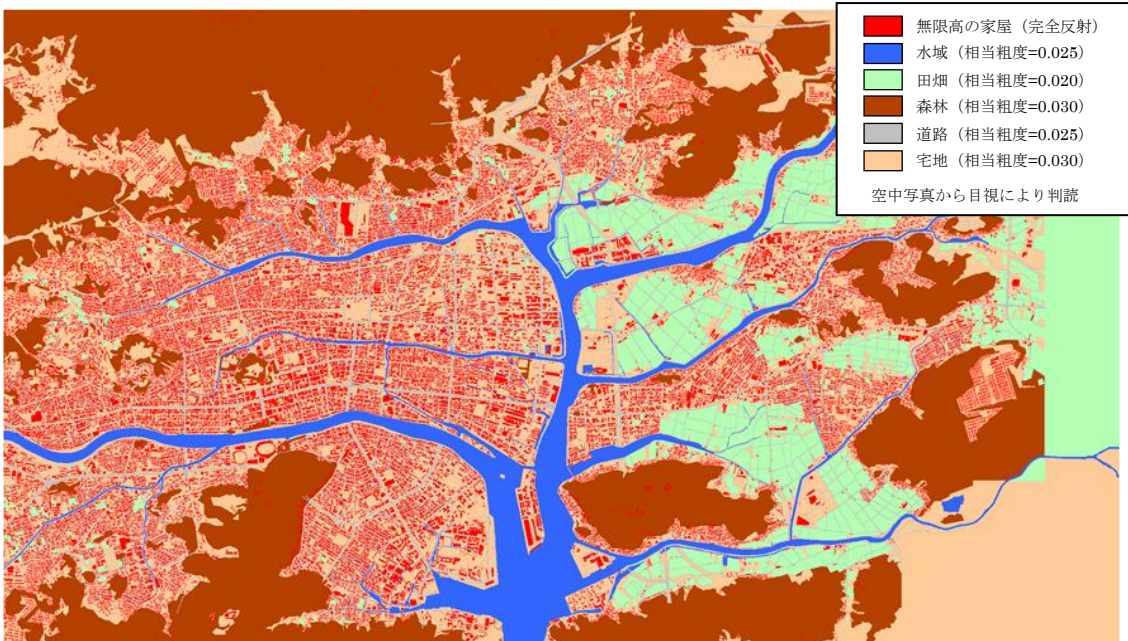


図3 高知市詳細領域の土地利用区分。

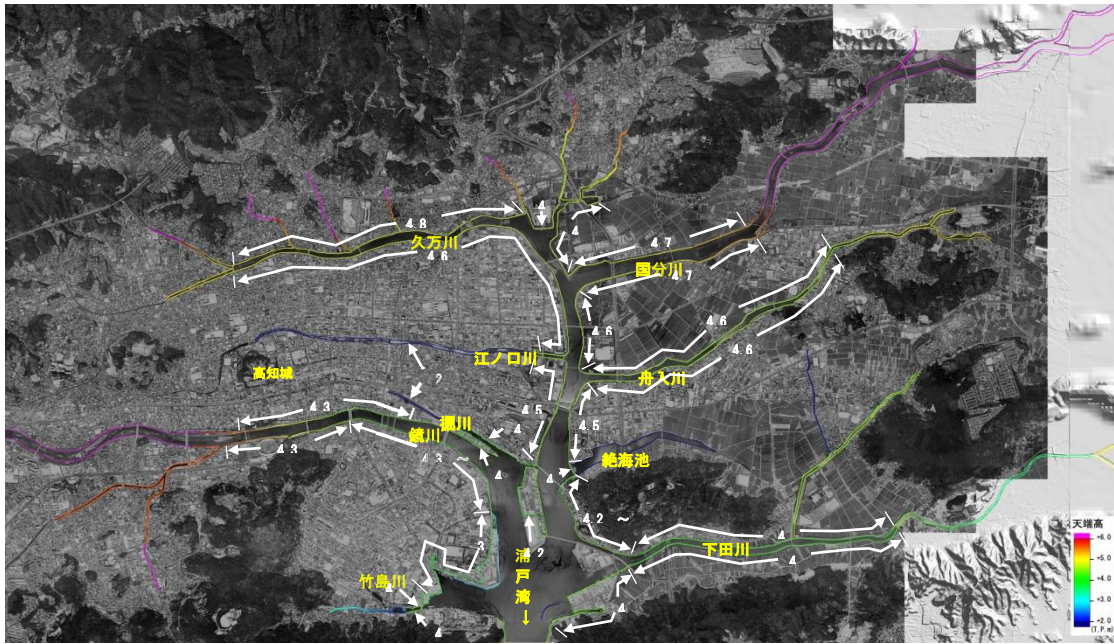


図4 高知市詳細領域の堤防天端高分布。天端高は平成16年高知県津波防災アセスメント補完調査の電子成果を使用した。



図5 尾鷲市詳細領域の空中写真（50/9m メッシュ）。撮影日：平成19年1月、解像度：40cm/pixel、
出典：三重県（三自治地第150）。

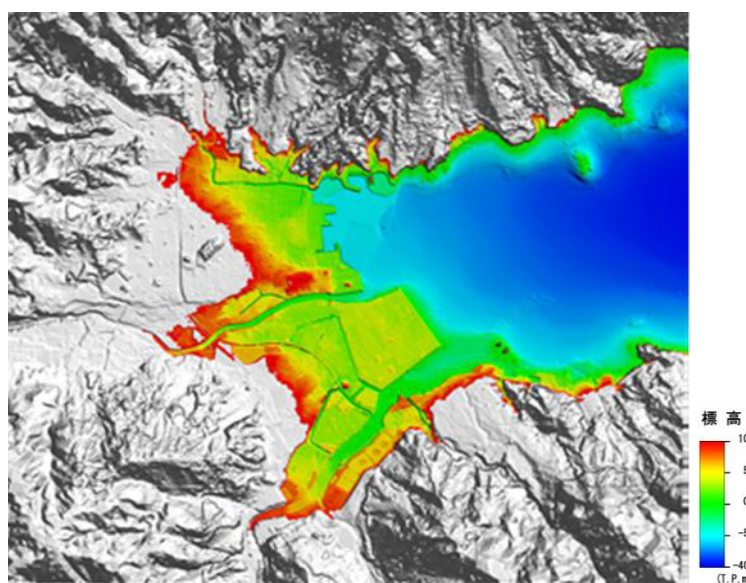


図6 尾鷲市詳細領域の標高分布。三重県防災危機管理部地震対策室の電子成果を使用。

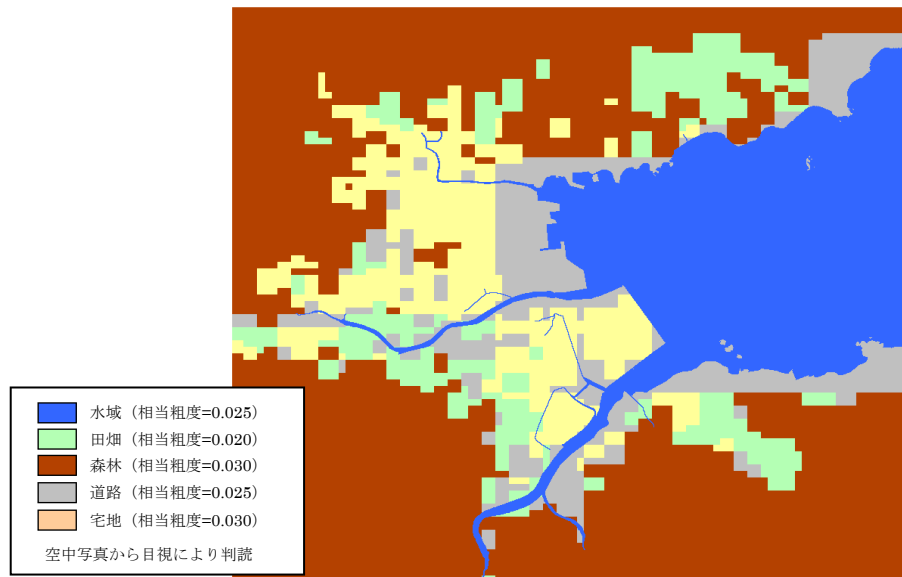


図7 尾鷲市詳細領域の相当粗度（50/9 m メッシュ）。三重県防災危機管理部地震対策室の電子成果を使用。



図 8 鳥羽市詳細領域の空中写真（50/9m メッシュ）。撮影日：平成 19 年 1 月、解像度：40cm/pixel、出典：三重県（三自治地第 150）。

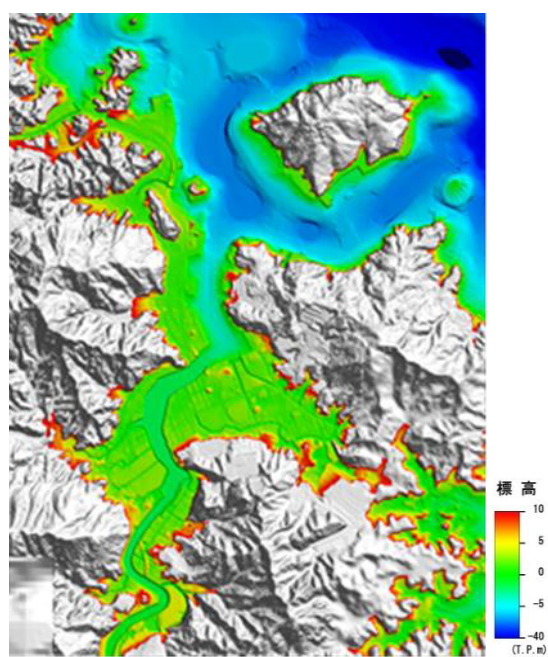


図 9 鳥羽市詳細領域の標高分布。三重県防災危機管理部地震対策室の電子成果を使用。

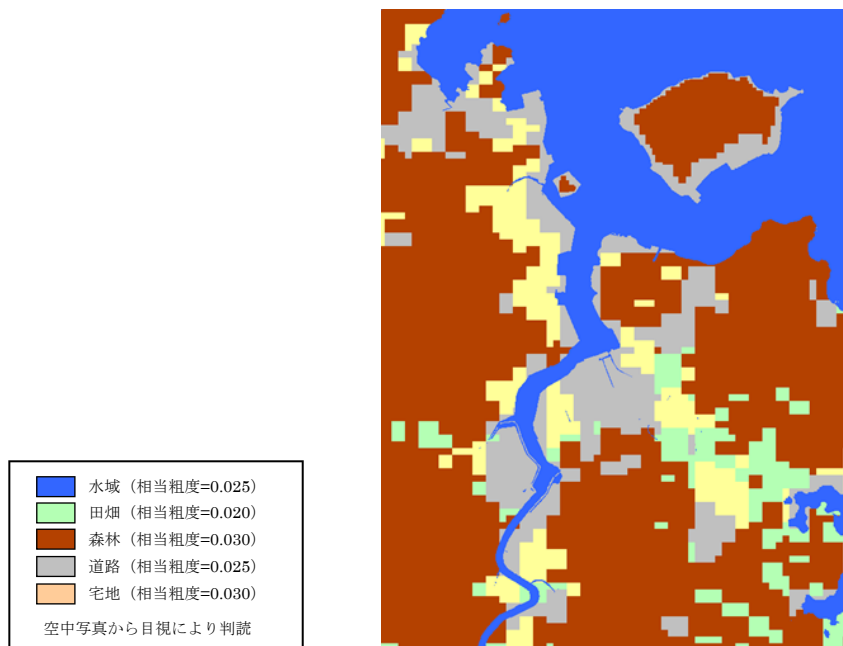


図 10 鳥羽市詳細領域の相当粗度 (50/9m メッシュ)

ii) 津波遡上シミュレーション条件

津波遡上シミュレーション条件として、想定地震は、検討対象領域の各地域に地震津波による大きな影響を与える 1707 年宝永地震とした。その震源域は、四国太平洋沿岸から九州東部沿岸の津波痕跡を説明し得る Furumura et al. (2010)¹⁾の宝永地震モデルによって定めた。このモデルは安中・他 (2003)³⁾の震源モデル (東海震源域 : N1, 東南海震源域 : N2, 南海震源域 : N3 および N4) の修正を行い、さらに日向灘震源域 (N5) を加えることで、高知県西部沿岸から九州東部沿岸における津波痕跡の整合性を高めたモデルである。津波遡上シミュレーションでは、これら 5 つの震源域が同時に破壊するとし、地殻変動は 30 秒で完了すると仮定した。

津波遡上シミュレーションの計算にあたっての諸条件については表 3 のとおりとした。計算格子間隔や計算時間間隔は CFL 条件を満たすように設定している。図 11 に高知県沿岸、図 12 に三重県沿岸を対象とした計算領域を示す。図 13 に、宝永地震モデルの断層パラメータ及び、津波遡上シミュレーションの初期条件となる震源破壊完了後の海面変位分布を示す。

表2 津波遡上シミュレーション条件

項目	諸条件
地震断層モデル	宝永地震モデル (Furumura et al., 2010)
基礎方程式と解法	非線形長波理論式、Leap-Frog 差分法
計算格子間隔 () 内は領域記号	大領域 1350 m (A)、中領域 450 m (B)、小領域 150 m (C)、沿岸領域 50 m (D)、 詳細領域 50/3 m (E)、詳細領域 50/9 m (F)
計算時間間隔	高知市：A=2.0 s、B-K, C-K =0.5s、D-K, E-K, F-K =0.1s 鳥羽市：A=2.0 s、B-MT, C-MT, D-MT =0.5 s、E-MT, F-MT =0.1 s 尾鷲市：A=2.0 s、B-MO, C-MO=0.4 s、D-MO=0.2 s、E-MO, F-MO=0.1 s
沖側境界条件	大領域では自由透過とし、他は水位と流量を接続。
陸側境界条件	沿岸領域及び詳細領域では遡上境界条件とし、他は完全反射。
潮位条件	高知市：T.P. 0.91 m 鳥羽市：T.P. 1.23 m 尾鷲市：T.P. 0.82 m
初期条件	Mansinha and Smylie(1971) ²⁾ の方法により、水面と地盤面に変位を与える。 構造物は破壊されないものとして地盤面と一緒に動く。
底面摩擦モデル	Manning の粗度係数を与える。
堤防等越流境界条件	本間の越流公式
河道流量条件	なし
水門・樋門・陸閘門の 通過流量条件	高知市：最小格子間隔と開口幅の比率（通過率）によって通過流量を求めた。 鳥羽市・尾鷲市：なし
計算時間	高知市：地震発生から 6 時間 鳥羽市・尾鷲市：地震発生から 3 時間
計算格子の測地系	世界測地系
計算格子の座標系	高知市：平面直角座標第 4 系 鳥羽市：平面直角座標第 6 系 尾鷲市：平面直角座標第 6 系

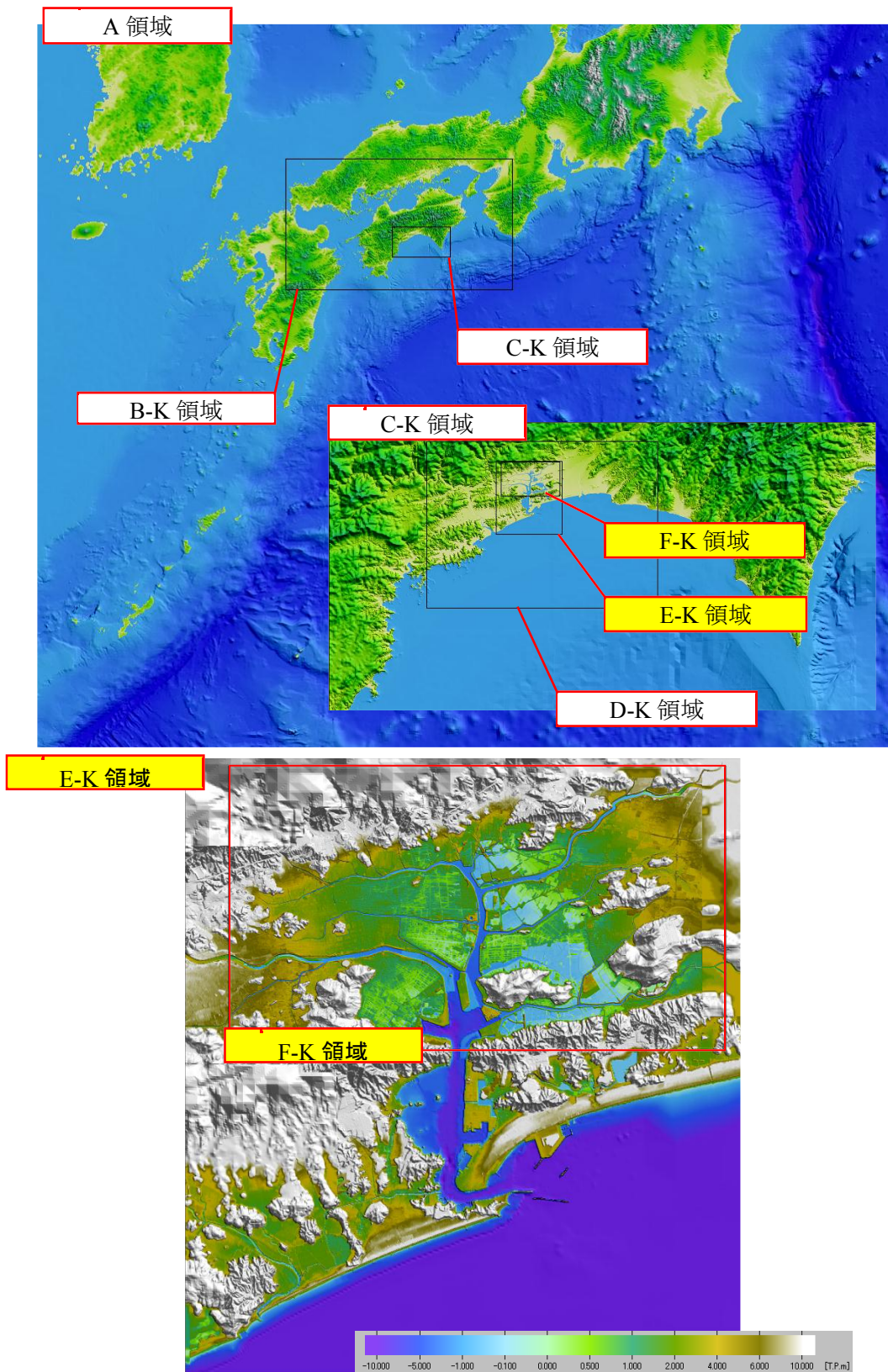


図 11 計算領域におけるネスティング配置関係図（高知市）

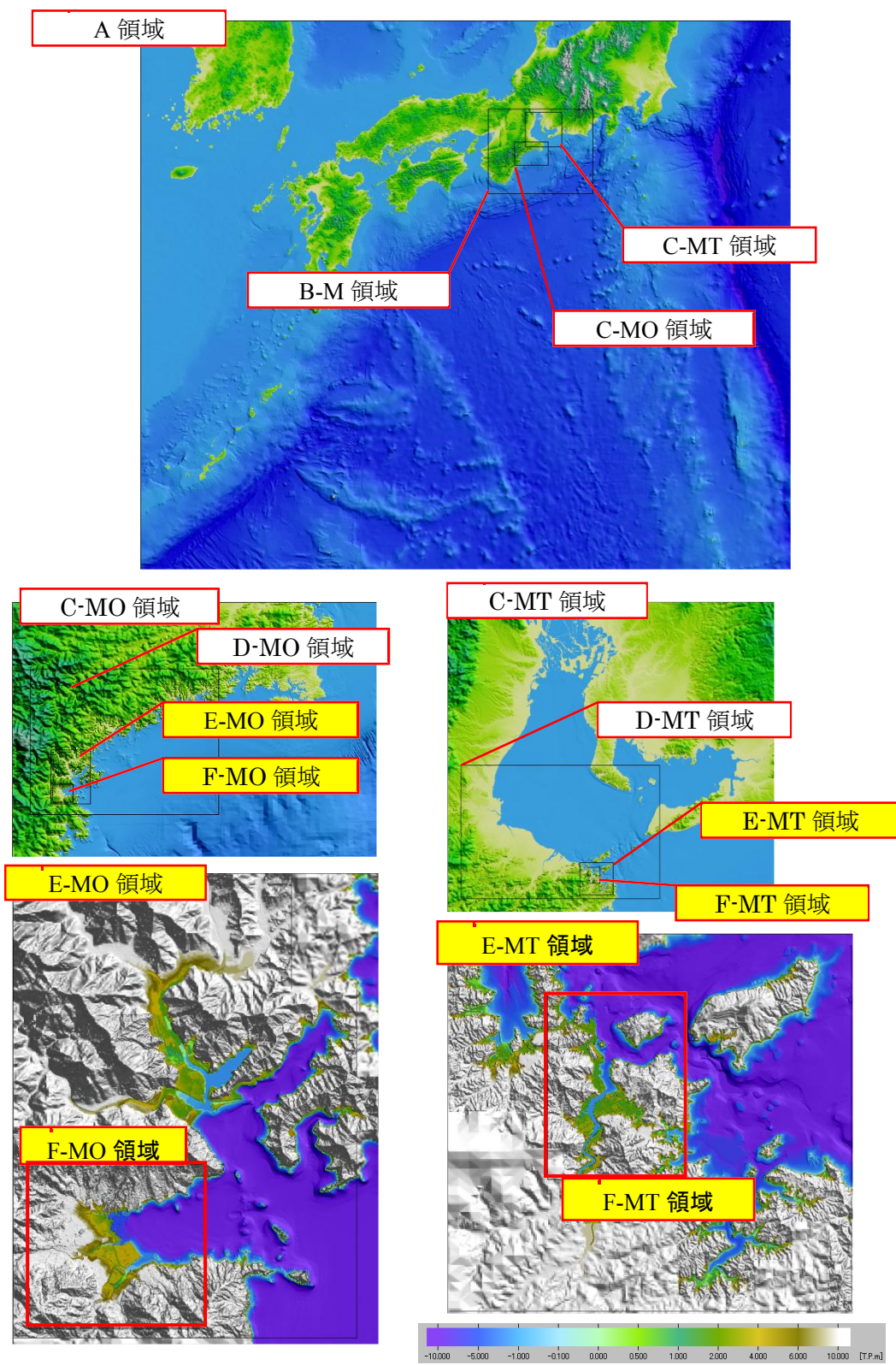


図 12 計算領域におけるネスティング配置関係図（三重県尾鷲市・鳥羽市）

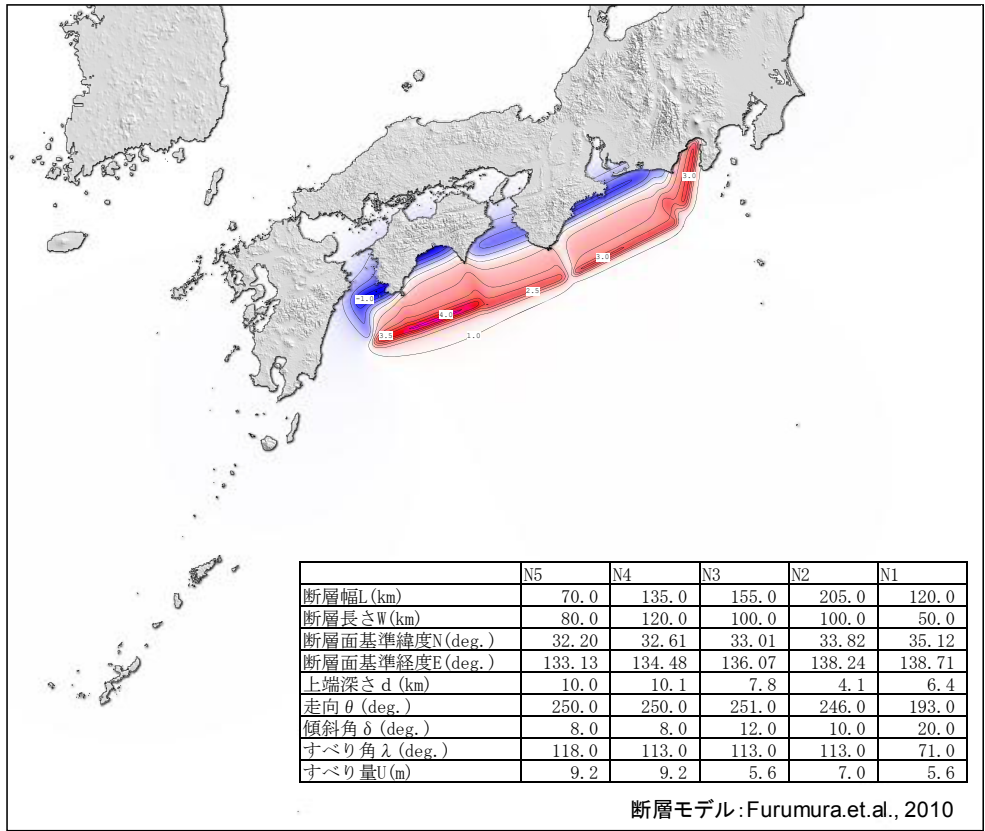


図 13 宝永地震モデル (Furumura et al., 2010) の断層パラメータ及び震源破壊完了後の海面変位分布。赤は隆起、青は沈降を表し、色が濃いほど変位量大きい。

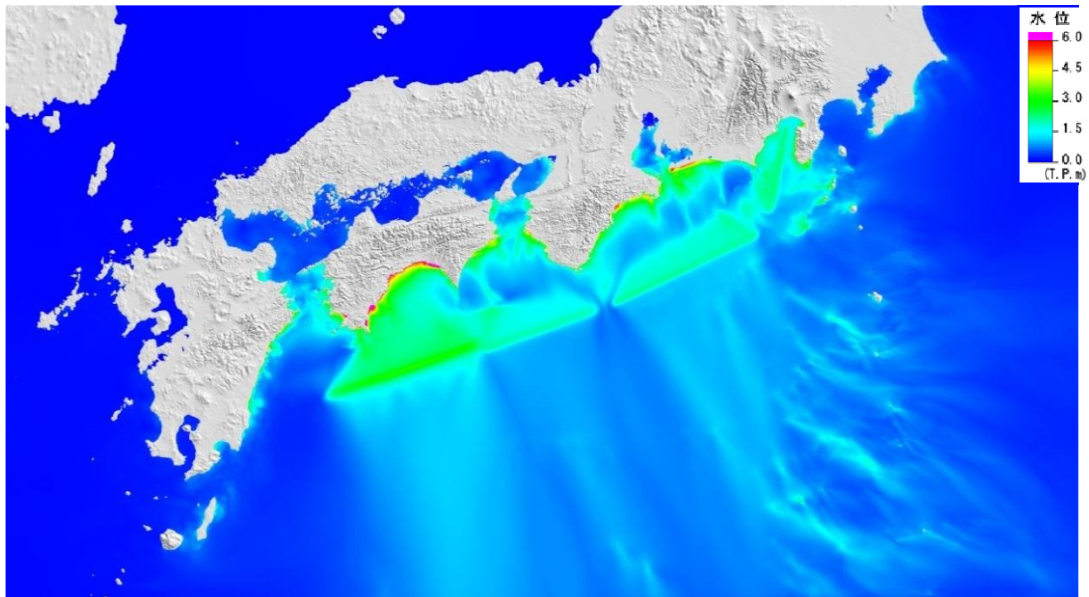


図 14 波源を含む大領域における最大津波高分布。初期静水面は T.P. 0.0 m とし、発生から 6 時間後までの最大津波高を示す。

iii) 1707年宝永地震の津波波源とその妥当性

図14にシミュレーション結果による波源を含む大領域における最大津波高分布を示す。図から、広域にわたり、3 m以上の津波が来襲することが予測される。特に、津波遡上シミュレーションの対象とした三重県沿岸、高知県沿岸では、波源からの位置と海底地形による影響を受け、6 m以上の津波来襲が予測される。

高知市、鳥羽市、尾鷲市について、既往研究による1707年宝永地震での痕跡高^{4,6)}と本研究で用いた宝永地震モデルによる津波高を、Aida (1978)⁷⁾の指標 K (幾何平均)、 κ (対数値の標準偏差) を用いて比較した。

$$\log K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\log K_i), \quad \log \kappa = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\log K_i)^2 - (\log K)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

ただし、 n は痕跡値を比較する地点数、 K_i は(地点*i*の痕跡値) / (地点*i*の計算値)。

図15、16に高知県土佐湾および高知市、図17に尾鷲市、図18に鳥羽市における最大津波高分布と既往研究による1707年宝永地震の津波痕跡高を示す。表3に、Aida (1978)の指標による評価結果を示す。高知沿岸では、 κ の値より若干のばらつきがあるものの、 K の値はほぼ1.0であり、シミュレーションによる津波痕跡高の再現性は高いと考える。但し、鳥羽市と尾鷲市については、津波痕跡高の評価地点が極端に少なく、シミュレーションによる再現性についての議論は難しい。

以上から、前記条件で実施したシミュレーションは、高知県土佐湾沿岸において再現性はよいと考える。尾鷲市、鳥羽市については、今後の調査により、新たな痕跡点の発見が望まれる。

表3 Aida (1978)の指標による評価結果

	K	κ	痕跡地点数
高知県土佐湾沿岸 (小領域150 m)	0.98	1.71	38
高知市沿岸 (沿岸領域50 m)	0.99	1.61	20
鳥羽市沿岸 (沿岸領域50 m)	1.72	1.00	1
尾鷲市沿岸 (沿岸領域50 m)	1.10	1.13	5

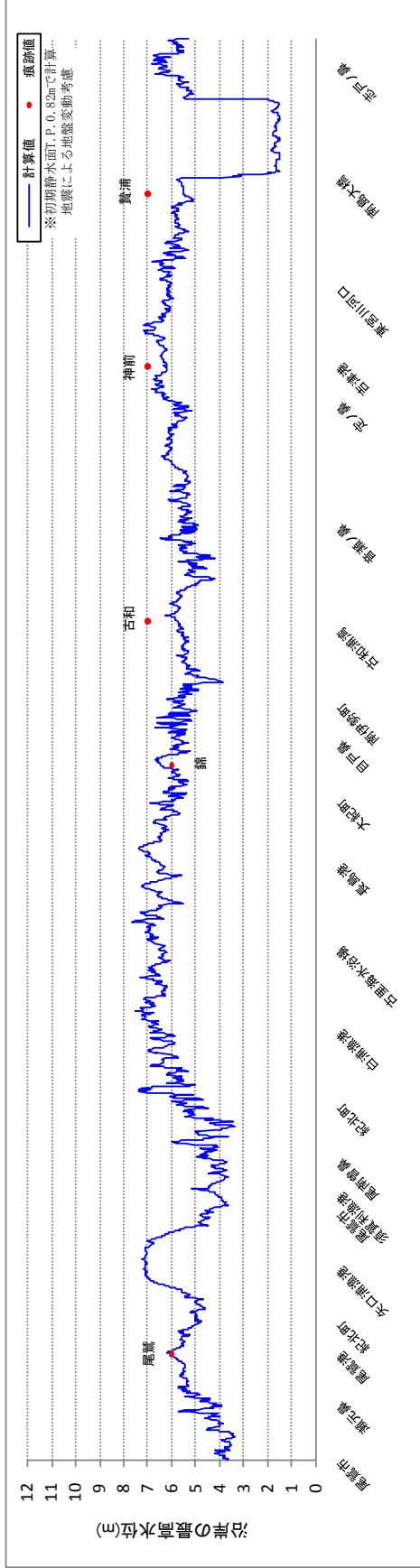


図 17 三重県尾鷲市沿岸の最大津波高分布と宝永地震津波の津波痕跡高 (50m メッシュ領域)

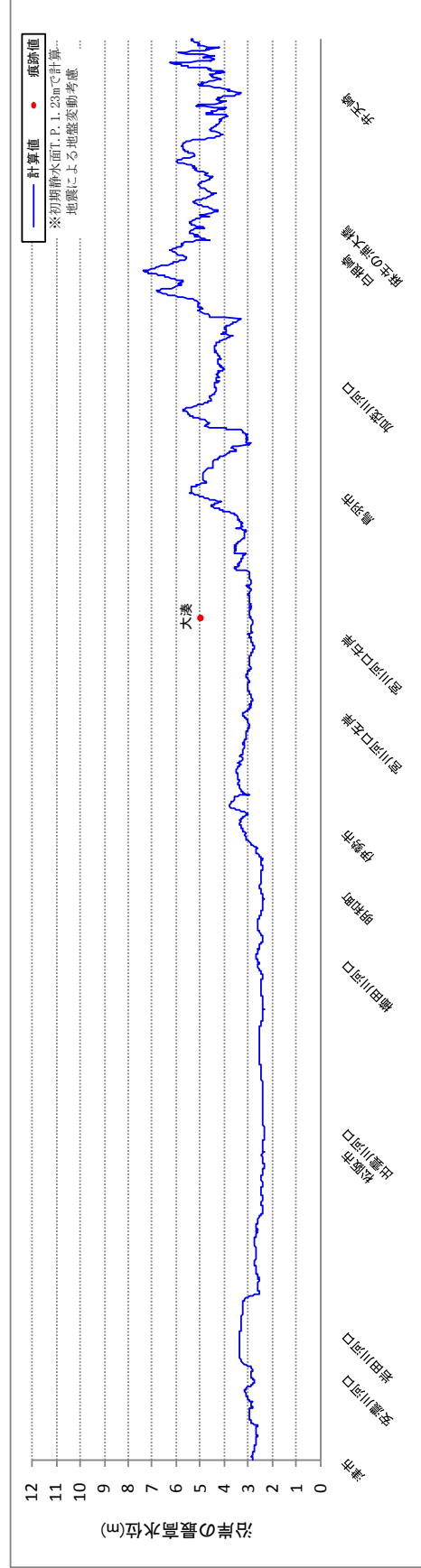


図 18 三重県尾鷲市沿岸の最大津波高分布と宝永地震津波の津波痕跡高 (50m メッシュ領域)

iv) 尾鷲市、鳥羽市における津波遡上シミュレーション

宝永地震モデルによる尾鷲市、鳥羽市における津波遡上シミュレーション結果は以下の通りである。

図 19 に尾鷲市における津波遡上のスナップショットを示す。図 20 には、図 19 に示した 2 地点での水位・浸水深時刻歴を示す。津波は、地震発生からおおよそ 15 分程度で沿岸域に到達し、その後、沿岸部・市街地を 6 m 程度の津波で襲う。第 1 波の寄り波は 10 分程度にわたり市街地に氾濫する。また、第 1 波が最大であるものの、第 3 波目までは有意な津波高を有していることが、火力発電所沖の水位時刻歴から推察できる。図 21 に示す最大浸水深分布からは、市街地の大部分において最大浸水深が 4~5 m 程度かそれ以上となると考えられる。

図 22 に流速と流体力の時刻歴の一例を示す。ここで、 D を浸水深、 U を流速として、単位幅あたりの流体力を DU^2 で評価した。図から第 1 波の寄り波時に最大流速や最大流体力が生じると考えられる。図 23 に最大流速分布を、図 24 に最大流体力分布を示す。図から、流速は河川沿いの地域で 5 m/s 以上となると考えられる。さらに、市街地の一部では最大流体力が 25 kN/m を越える地域もあり、木造家屋の中破被害⁸⁾が懸念される。

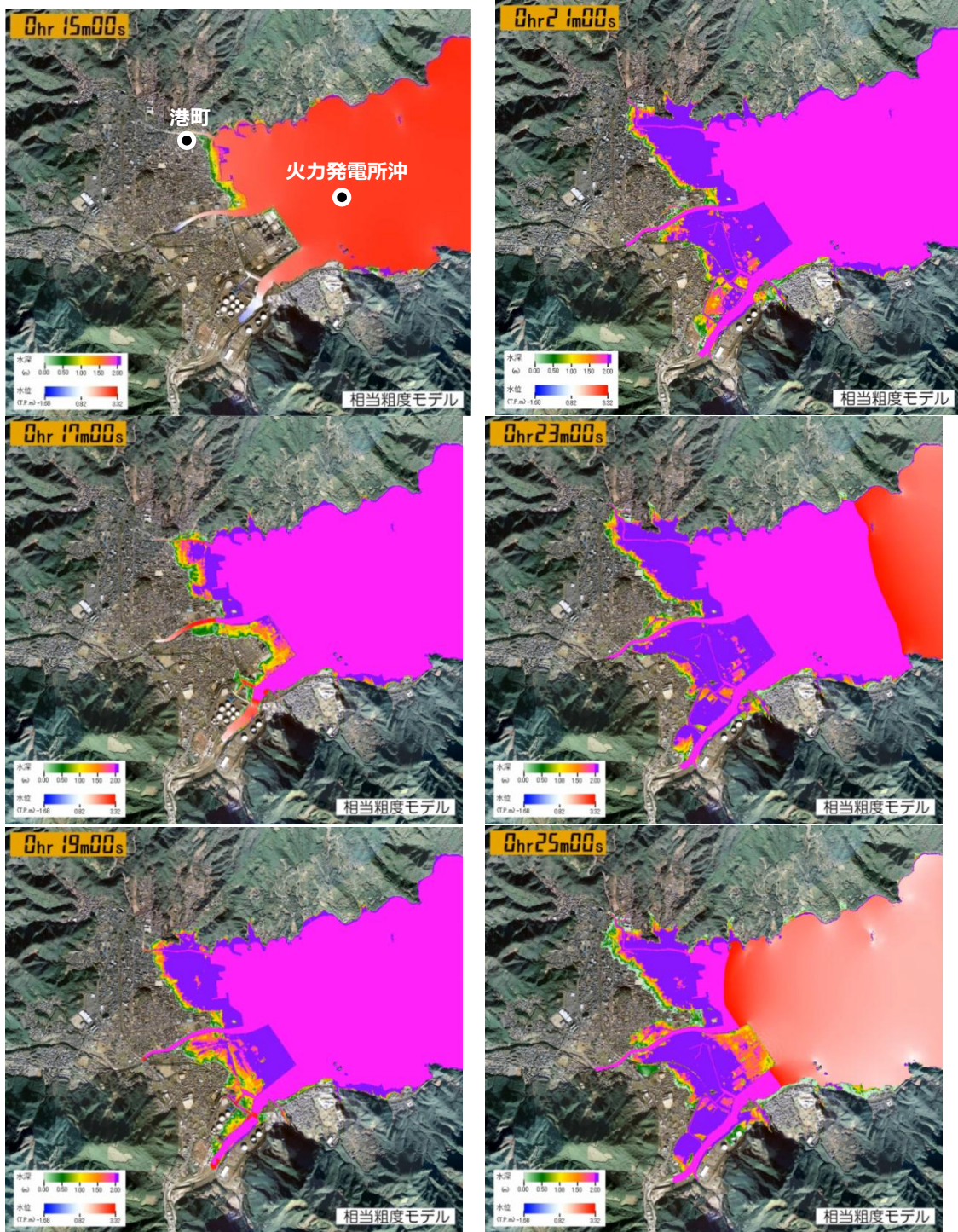


図 19 三重県尾鷲市における津波遡上のスナップショット。初期水位面は T.P. 0.82 m。

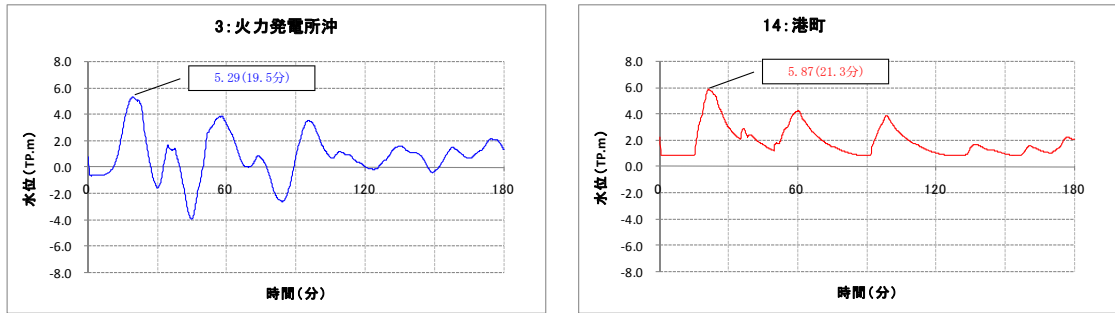


図 20 水位・浸水深時刻歴の一例（火力発電所沖、港町）

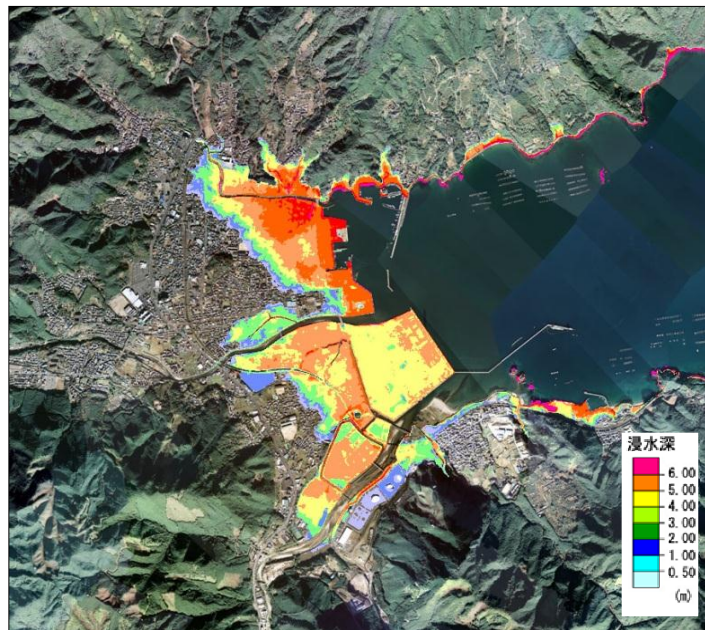


図 21 尾鷲市市街地における最大浸水深分布

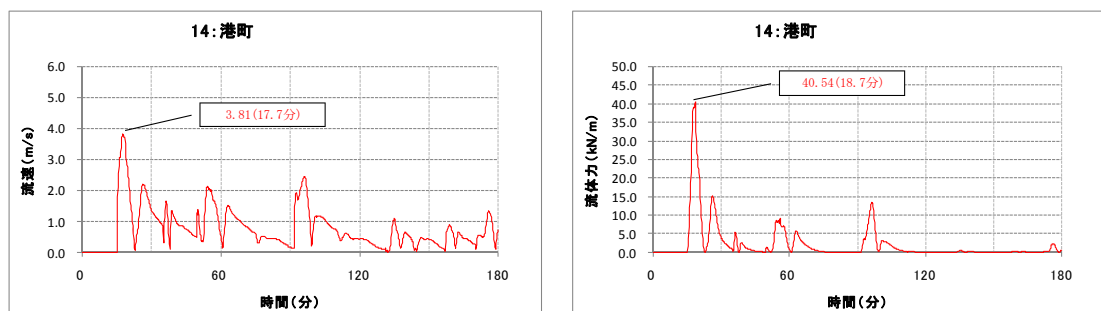


図 22 流速・流体力時刻歴の一例（港町）

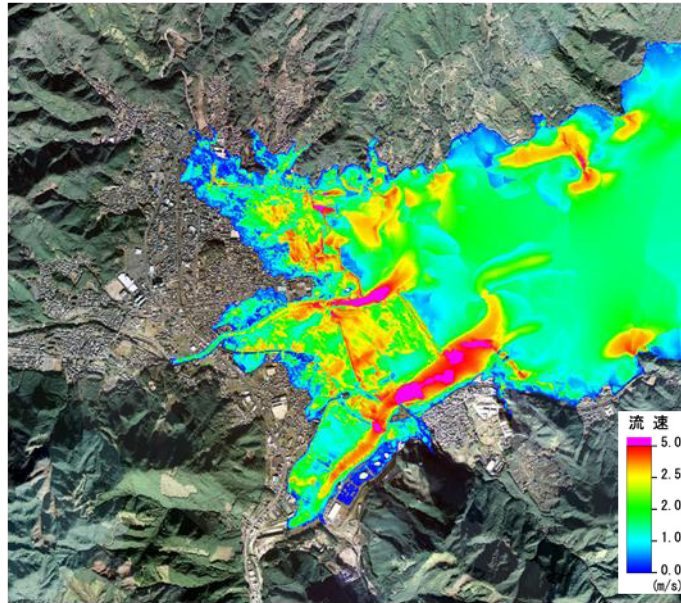


図 23 尾鷲市市街地における最大流速分布

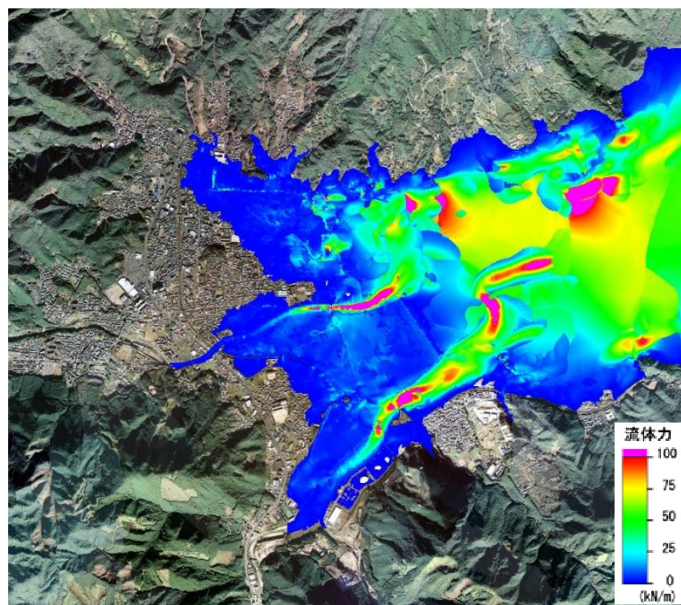


図 24 尾鷲市市街地における最大流体力分布

図 25 に三重県鳥羽市における津波遡上のスナップショットを示す。図 26 には、図 25 に示した 2 地点での水位・浸水深時刻歴を示す。これらの図から、地震発生から 30 分程度で津波は沿岸域に到達し沿岸部・市街地に津波が来襲すること、第 1 波の寄り波は 10 分以上にわたり市街地を氾濫すること、津波は沿岸から直接溢れるだけでなく河川沿いに溢れること、真珠島沖周辺の水位時刻歴から最大波は地震発生から 2 時間後に来ることが判る。このように、津波波源・海底地形・湾の形状により、津波の来襲形態は大きく異なる。図 27 に示す最大浸水深分布からは、沿岸部での最大浸水深は 4～5 m 程度かそれ以上、河川沿いの市街地では 3～4 m 程度となること、比較的広い道路部において浸水深が大きくなっていることがわかる。

図 28 に流速・流体力の時刻歴の一例を示す。図から第 4 波の寄り波時に最大流速や最大流体力が生じていることがわかる。図 29 に最大流速分布を、図 30 に最大流体力分布を示す。図から、流速は河川沿いの地域で 5 m/s 以上となることがわかる。さらに、市街地の一部（例えば、小浜町周辺）では最大流体力が 25 kN/m を越える地域もあり、鳥羽市の沿岸部においても木造家屋の中破被害⁸⁾が懸念される。

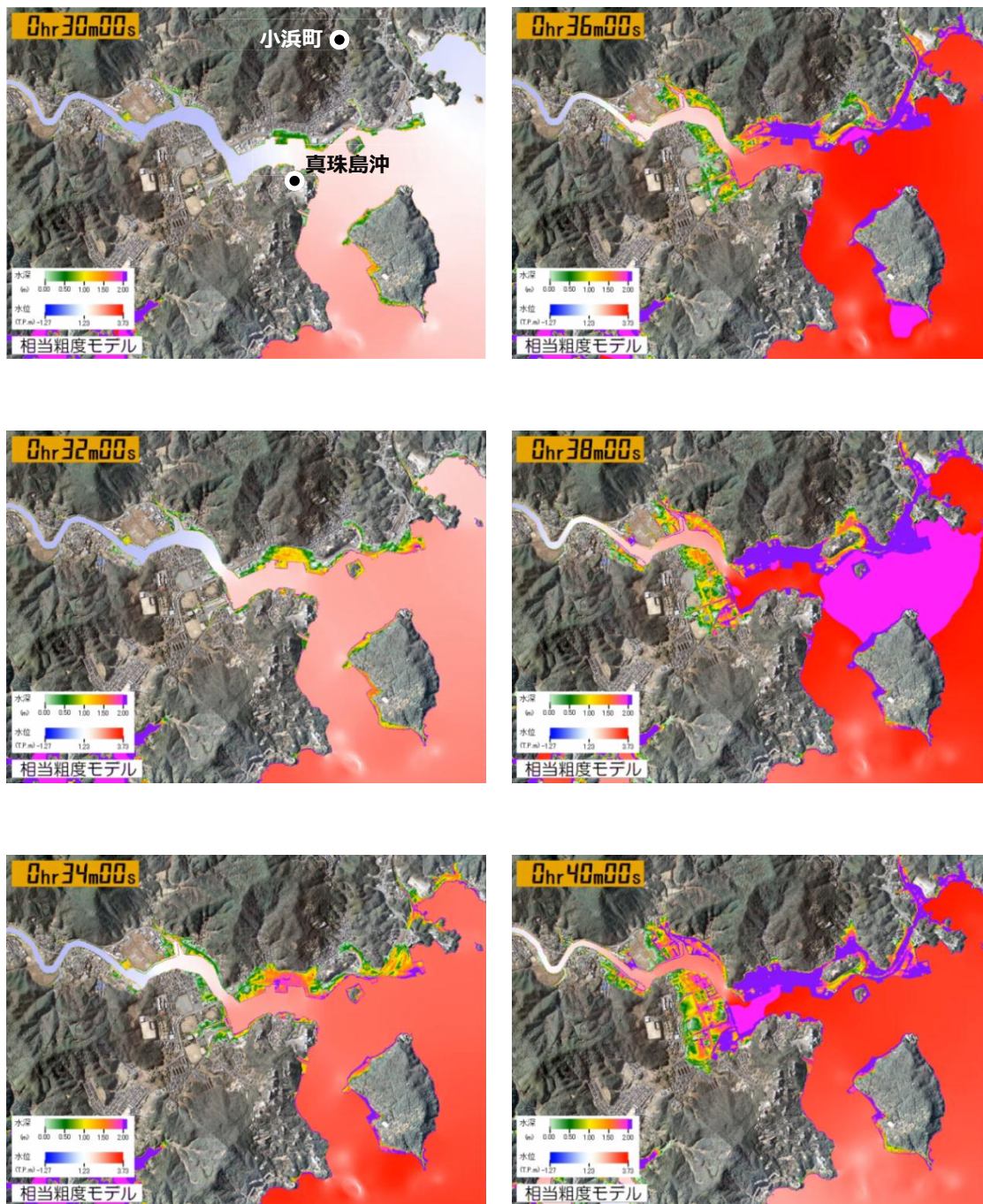


図 25 三重県鳥羽市における津波遡上のスナップショット。紙面右が北を示す。初期水位面は T.P. 1.23 m。

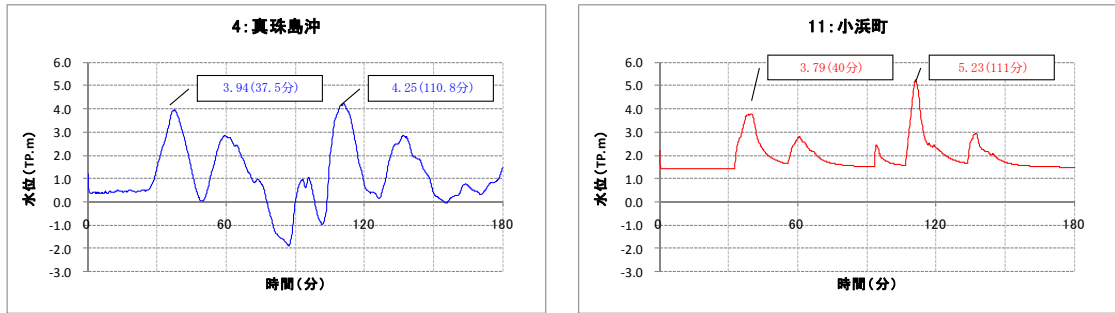


図 26 水位・浸水深時刻歴の一例（真珠湾沖、小浜町）

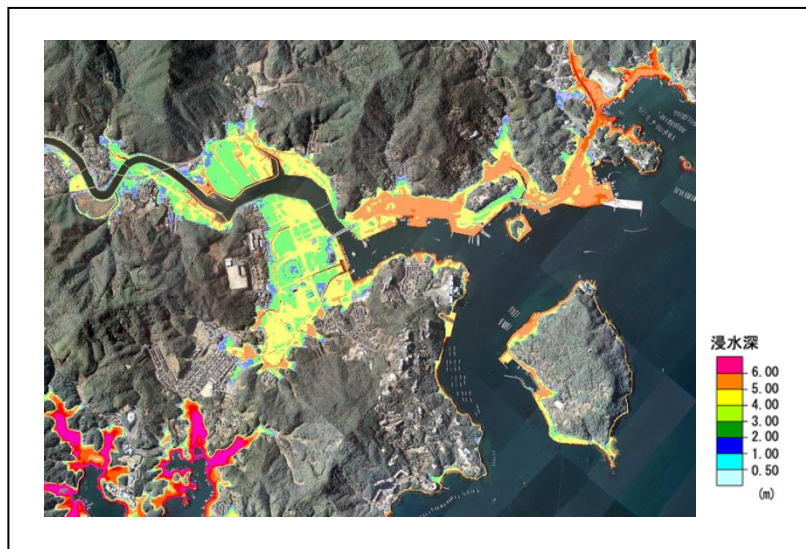


図 27 三重県鳥羽市における最大浸水深分布。

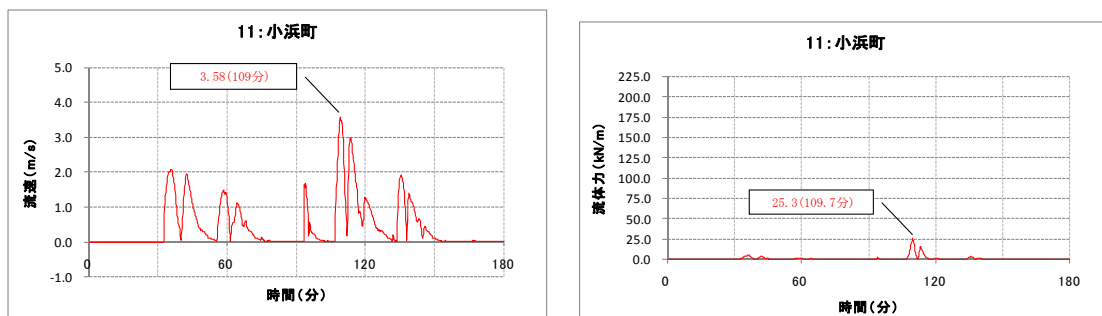


図 28 流速・流体力時刻歴の一例（小浜町）

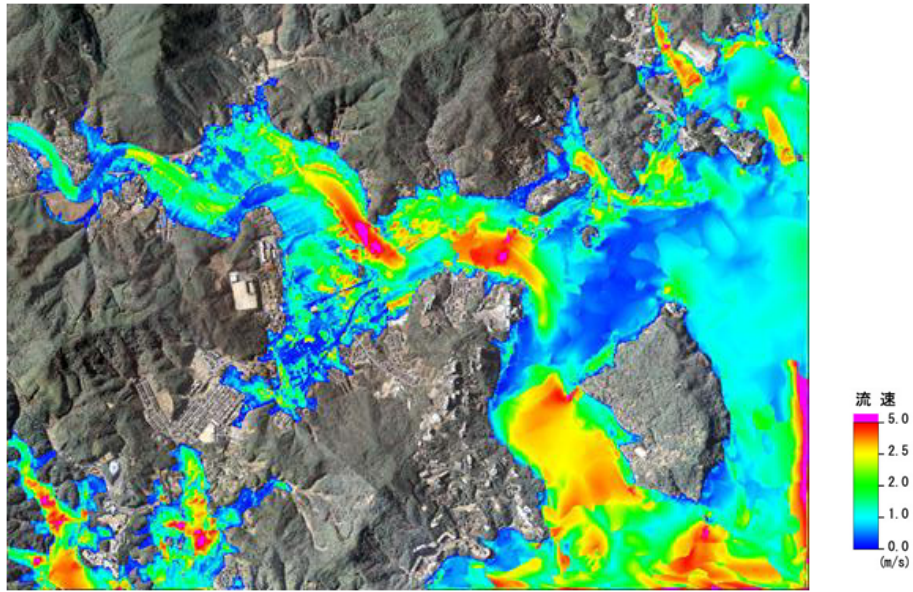


図 29 三重県鳥羽市における最大流速分布。

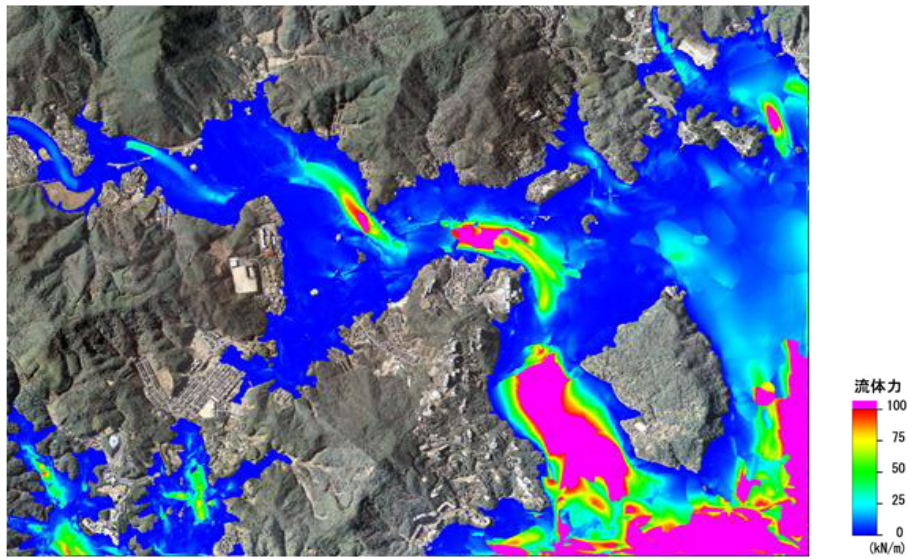


図 30 三重県鳥羽市における最大流体力分布。

2) 合成地形モデルによる津波氾濫流の流況変化に関する検討

昨今の測量技術の向上により、陸上の高精度地形モデルは比較的簡単に入手できるようになり（例えば、国土地理院数値地図 5 m メッシュ（標高）など）、津波遡上シミュレーションを行う際にも、5 m 程度の空間分解能での数値解析が行われてきている。また、非構造格子モデルを用いて土地利用形態や構造物を考慮して氾濫計算を行う研究例⁹⁾もあるが、非構造格子による地形モデルの作成に関する技術的な問題も多いことも事実である。

そこで、本研究では、最小空間格子間隔領域（50/9 m）において、このグリッドサイズで表現可能な構造物は無限高さを有する起伏地形として組み込み、表現できない場合は相当粗度係数¹⁰⁾として表現する合成地形モデルを提案し、この合成地形モデルにより高知市の市街地を対象とした、津波遡上シミュレーションを実施した。また、その結果を 1)での相当粗度モデルによる計算結果と比較し、氾濫挙動の変化傾向とハザード情報の提供という観点から議論する。なお、土地利用や地震モデルなどの他の計算書条件は、1)と同様とした。

i) 合成地形モデルの概念

図 31 に合成地形モデルの概念を相当粗度モデルと比較して示す。合成地形モデルでは、宅地領域中における空間格子サイズより大きい構造物については、その地盤標高に加えて構造物高さを地形として反映させる。道路部と構造物の境界となるグリッドには、相当粗度として与える。また、構造物は堅牢であり、いかなる場合でも破壊は生じないと仮定する。このように構造物を地形として扱うことにより、道路上を溢れる津波の複雑な挙動などの再現性向上が期待される。なお、今回は、合成地形モデルに取り込んだ建物形状は空中写真からの目視判読に頼ったため、上屋や抵抗力の弱い建物、すなわち

- ・ 堅牢な壁を持たない上屋の市場
- ・ 堅牢な壁を持たない上屋の倉庫
- ・ 建物基礎構造部からはみ出している屋根部分
- ・ 積み荷が空のコンテナ群
- ・ ビニールハウス

の除去はしていない。この点は今後の課題である。

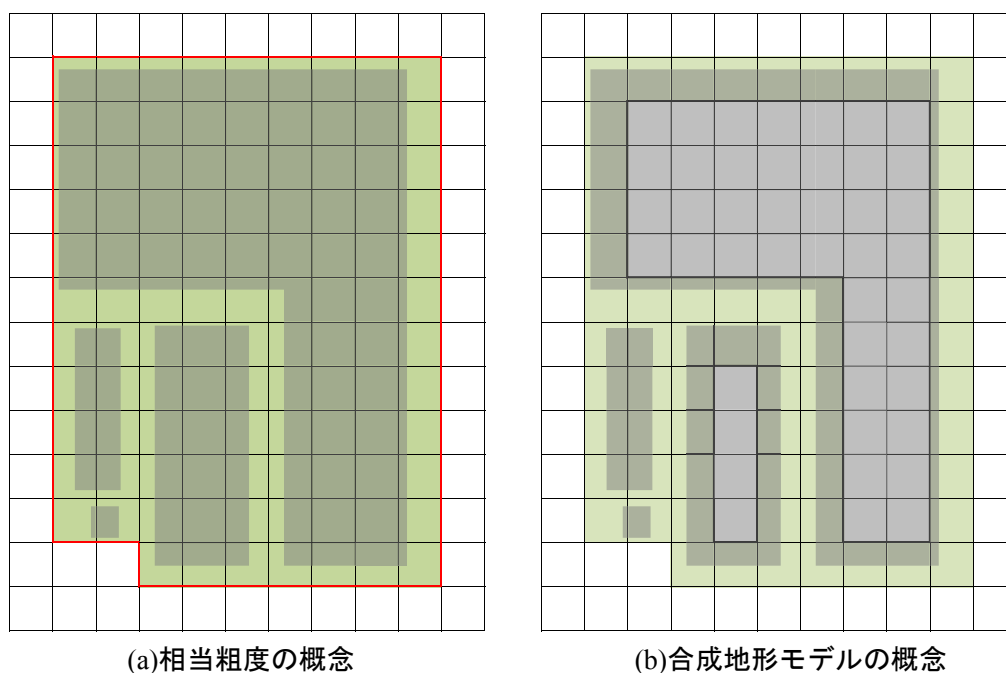


図 31 相当粗度モデルと合成地形モデルの概念図。(a)では、赤線で囲まれたグリッドには宅地として相当粗度係数が与えられる。(b)では、灰色のグリッドには地盤標高に加えて建物高さが地形として反映され、緑色のグリッドには宅地として相当粗度係数が与えられ、白色のグリッドには道路として相当粗度係数が与えられる。

ii) 解析結果

図 32 に、高知市における津波遡上のスナップショットを示す。相当粗度モデルと合成地形モデルによる津波遡上先端部における到達時刻に大きな違いは観られないが、相当粗度モデルに比して、合成地形モデルによる解析結果の方が密集市街地や道路沿いなどの局所的な箇所において、浸水深が高まっていることが確認できる。

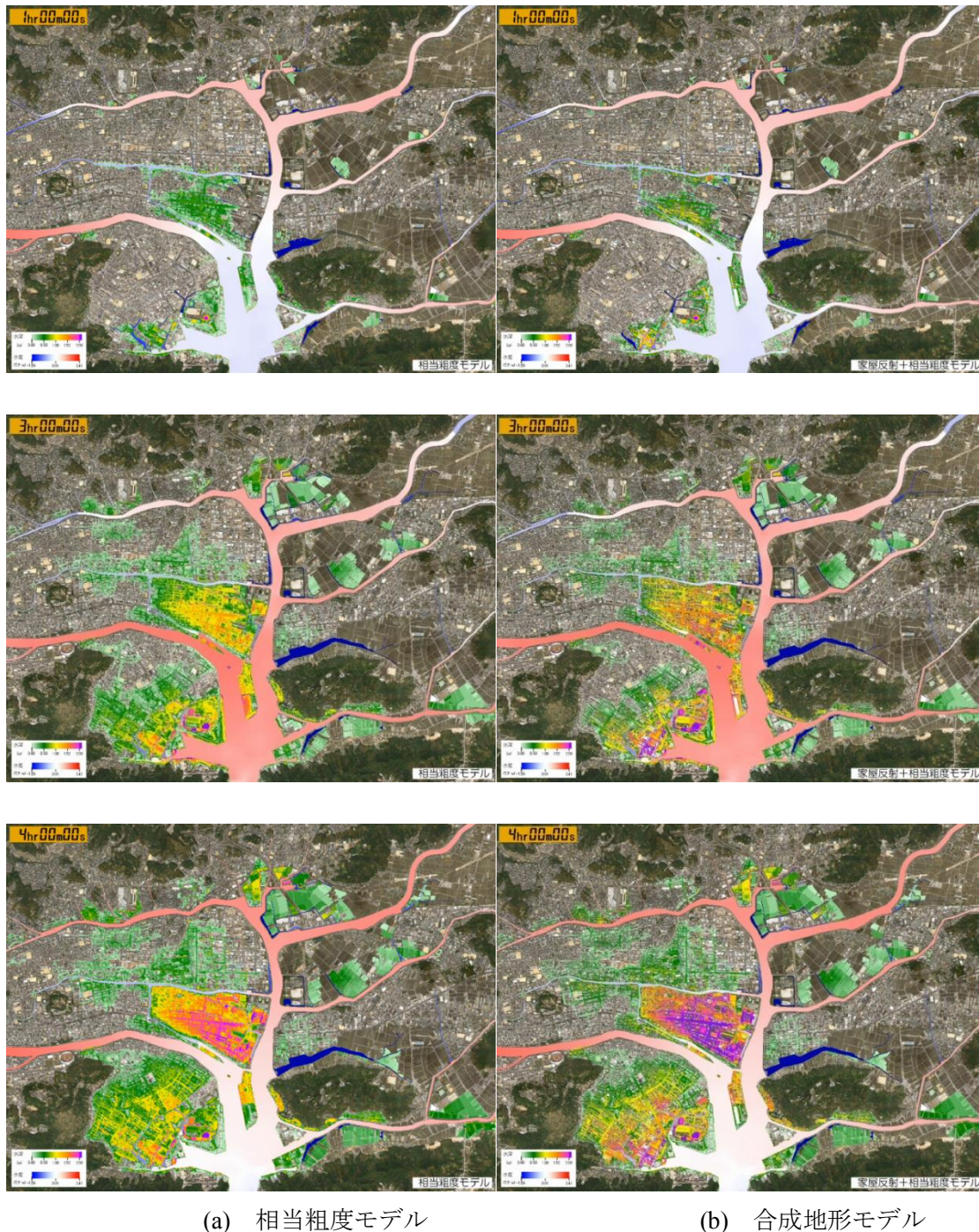
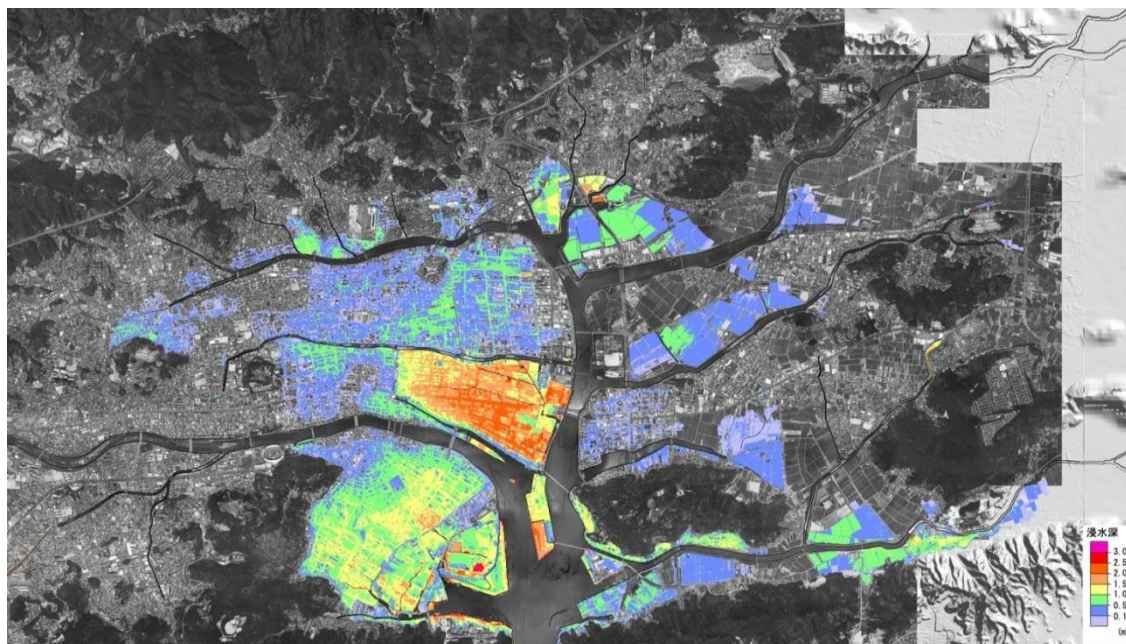


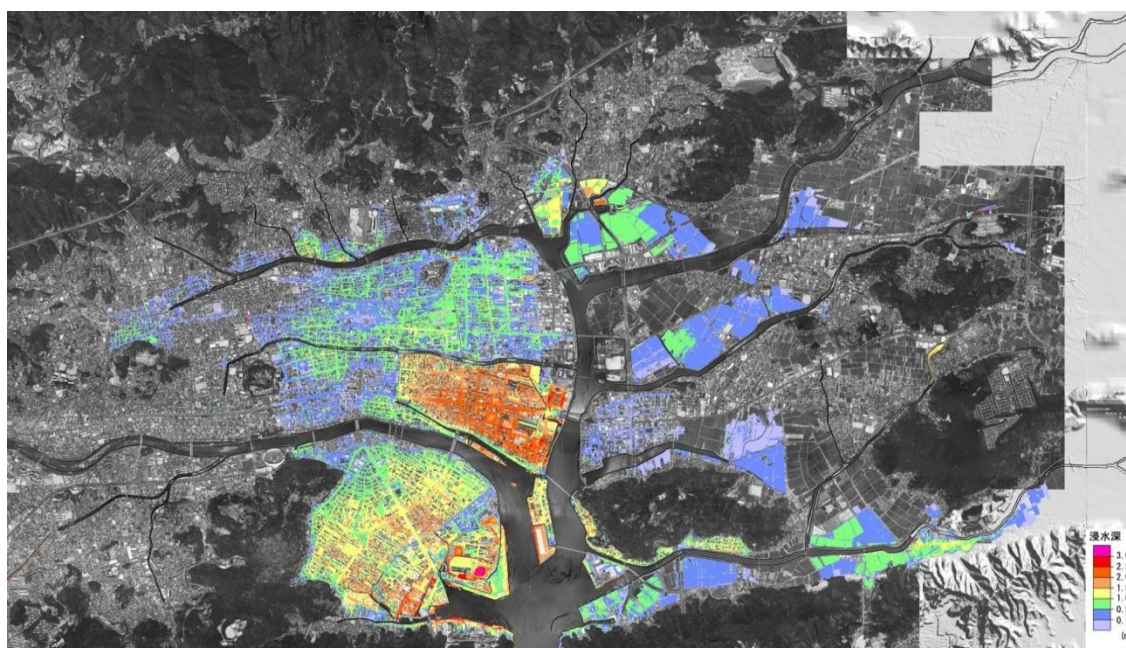
図 32 高知県高知市における津波遡上のスナップショット。初期水位面は T.P. 0.91 m。

図 33 に高知市詳細領域での各モデルにおける最大浸水深分布を示す。浸水範囲の若干の差は確認できるが、大局的に観れば、浸水範囲や、最大浸水深の分布状況は同程度である。しかし、合成

地形モデルによる最大浸水深は、構造物からの反射などにより、局所で増加していることがわかる。



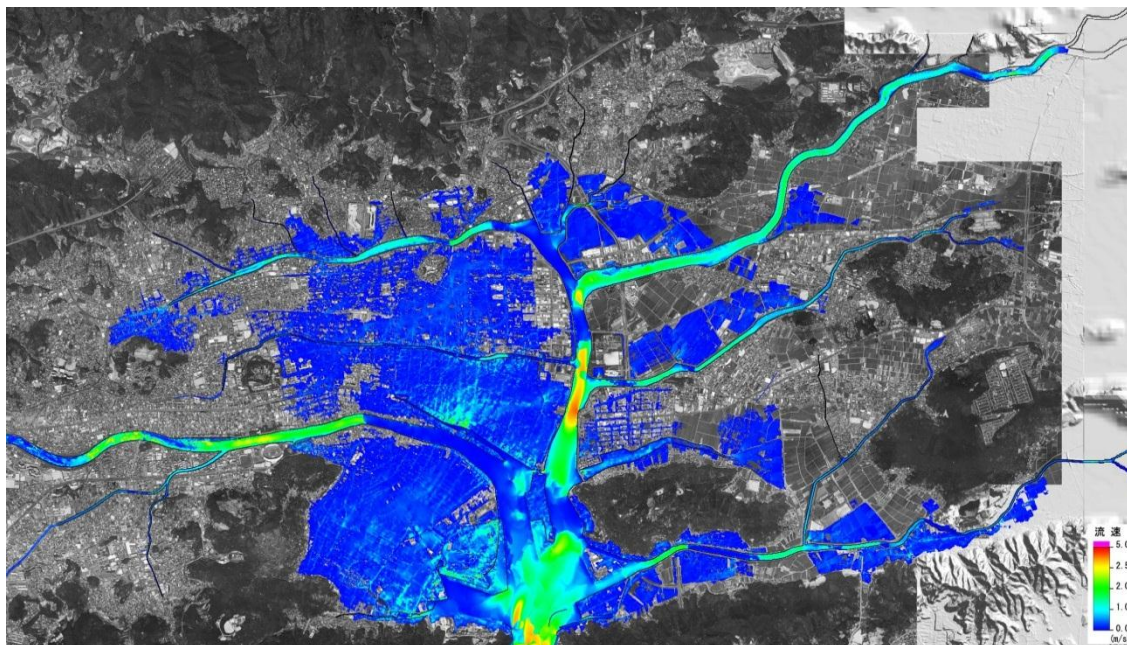
(a) 相当粗度モデル (50/9 m メッシュ)



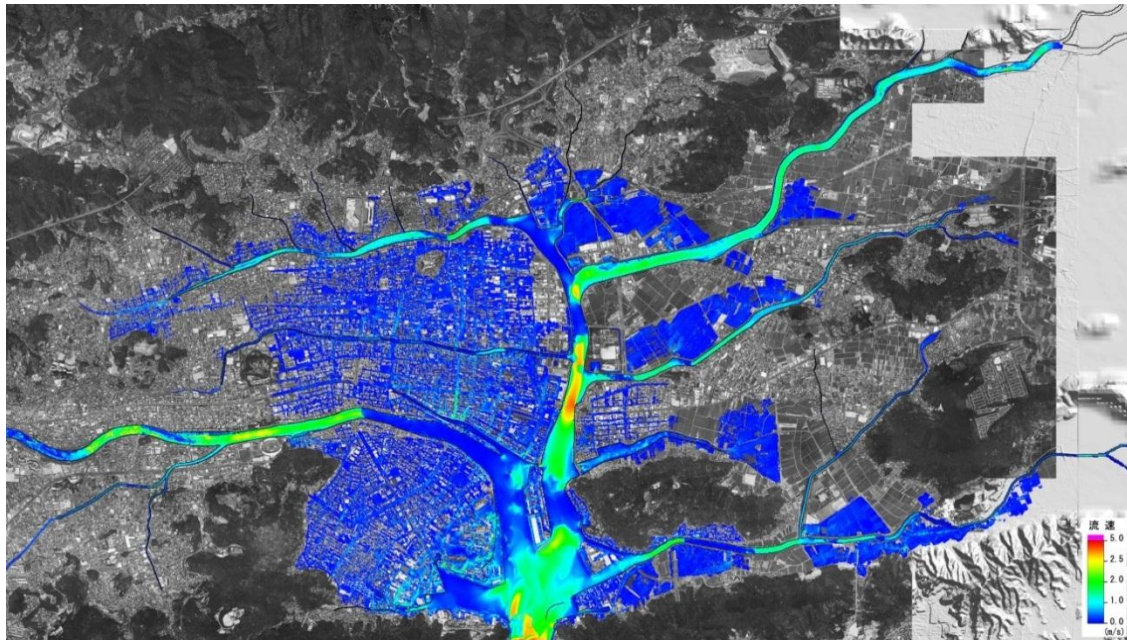
(b) 合成地形モデル (50/9 m メッシュ)

図 33 高知市詳細領域での各モデルにおける最大浸水深分布

図 34 に高知市詳細領域について各モデルによる最大流速分布を示す。河道内では、モデルによる差は確認できない。一方、市街地の道路上では、合成地形モデルによる最大流速は相当粗度モデルに比して速くなっていることが確認できる。



(a) 相当粗度モデル (50/9 m メッシュ)



(b) 合成地形モデル (50/9 m メッシュ)

図 34 高知市詳細領域での各モデルにおける最大流速分布

図 35 に、評価された最大浸水深について、合成地形モデルと相当粗度モデルの差を示す。河道域では計算モデルに違いは見られないが、国分川左右岸堤内地の河川沿いではモデルによる違い

が大きく、また、構造物の密集度が高い地域では合成地形モデルの方が浸水深は高く出る傾向にあることが判る。

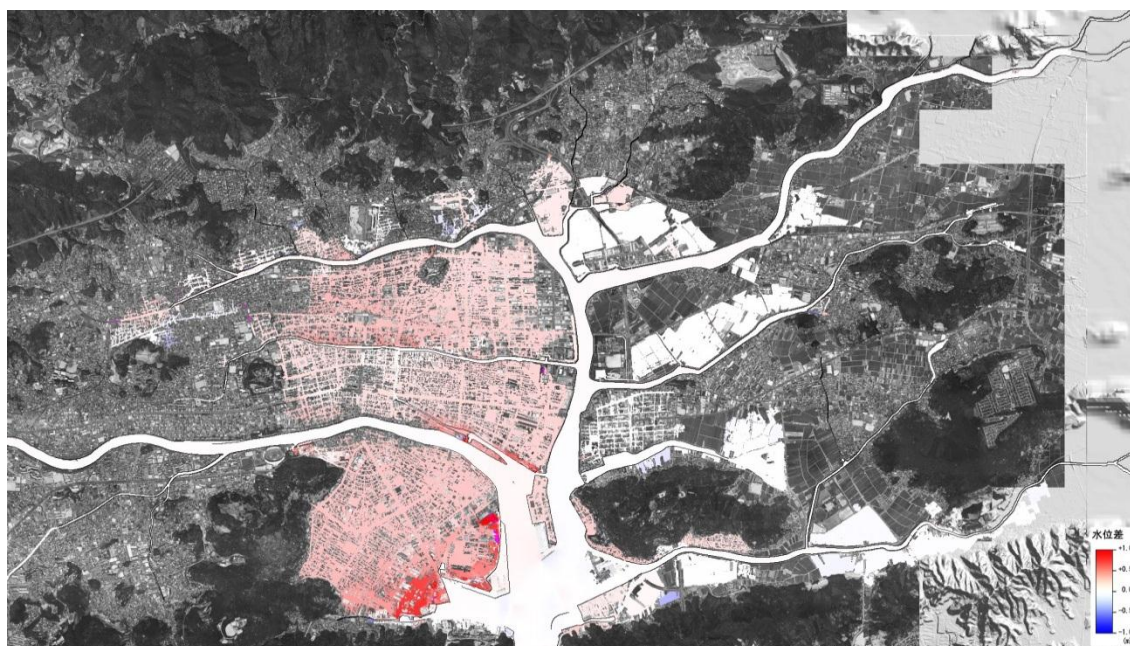
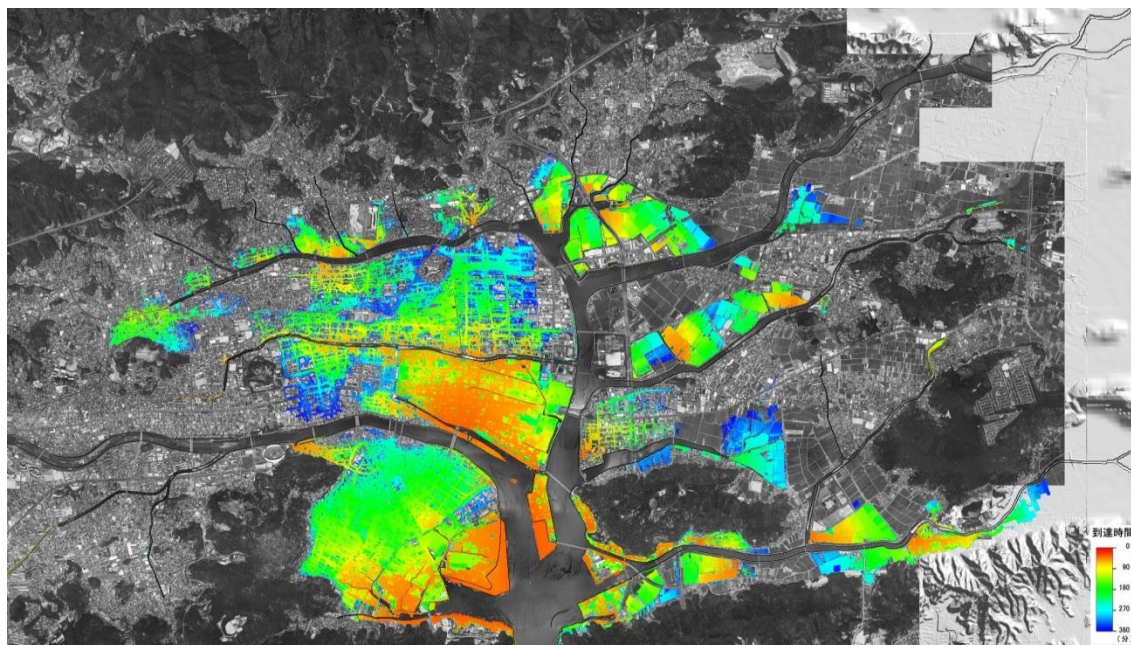
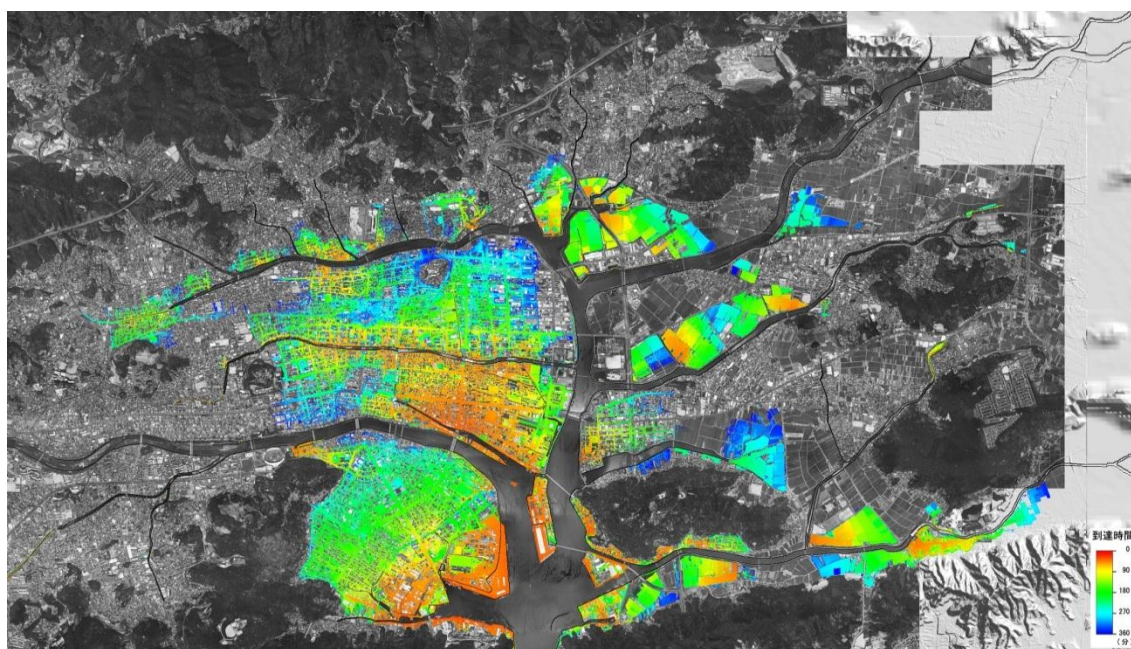


図 35 高知市詳細領域における各モデルの最大水位差分布

図 36 に高知市詳細領域における各モデルでの到達時間分布を示す。ここで、津波氾濫流の浸水深が 0.05 m まで上昇するまでの時間を到達時間と定義した。大局的には両モデルとも到達時刻の差は殆どない。



(a) 相当粗度モデル (50/9 m メッシュ)



(b) 合成地形モデル (50/9 m メッシュ)

図 36 高知市詳細領域における各モデルでの到達時間分布

図 37 に各地点での津波の時刻歴を示す。図から、河川内においては、津波時刻歴に各モデルによる差は殆どない（地点 10、11 番）。一方で、市街地では到達時刻や浸水深高さに差があり、合成地形モデルの方が、相当粗度モデルに比して、到達時刻は遅く、水位上昇は速くなる傾向にある。また、最大浸水深も合成地形モデルによる解析結果の方が大きくなる傾向にある。

以上の結果から、浸水域の評価や浸水深分布についての津波ハザード評価を行う際には、従来から利用されてきた相当粗度モデルにおいても、十分であることが明らかになった。一方で、市街地における複雑な流況の再現には、合成地形モデルによる解析が望ましいことを示した。その際には、堅牢な壁を持たない上屋の市場や倉庫やビニールハウス家屋などの取り扱いを今後の課題として検討する必要がある。

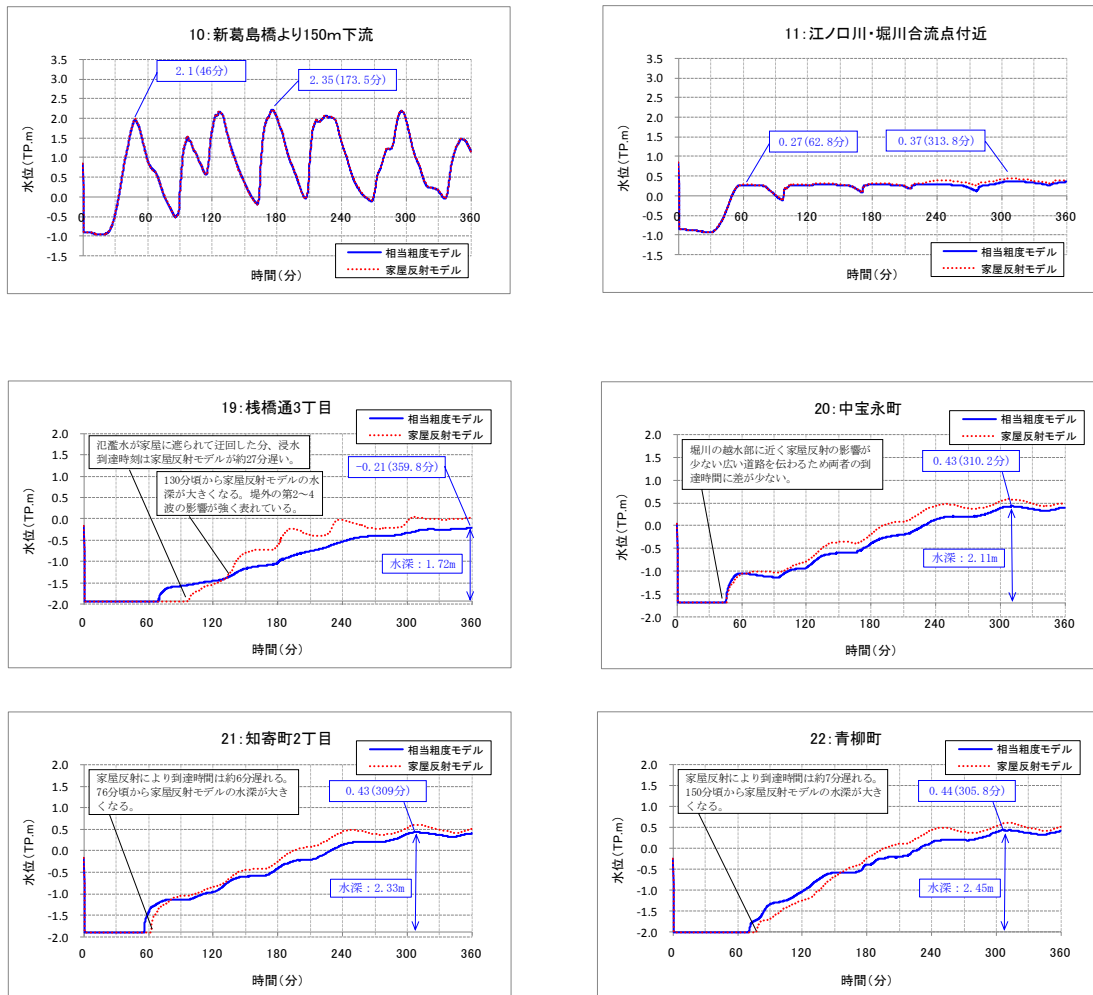


図 37 各地点での津波の時刻歴

3) 海底地滑りによる津波の発生とその挙動に関する検討

サブプロジェクト①の「稠密海底地震観測」の構造調査の結果を受け、海底地滑りなどの可能性が高い場所について、強震動による海底斜面の崩壊による津波発生機構も取り入れた津波予測を行った。構造調査結果や斜面崩壊の既往研究にならない、斜面崩壊痕を既往の海底地形モデルから想定し、海底斜面の崩壊による津波の影響評価を行った。

i) 想定地滑り面

巨大地震に伴って発生する海底地滑り区域は、本プロジェクト平成 21 年度成果報告書¹¹⁾、渡・小橋 (1987)¹²⁾の地滑り地形の特徴を参考に、熊野灘沖における Moore et al. (2007)¹³⁾による隆起帯の外縁近くに存在する地滑り痕跡と推定される区域とした。図 38 に、地滑り痕跡と推定される区域の位置を示す。

ii) 計算領域と計算手法

図 39 に地滑りによる津波発生概念図を示す。地滑りによる津波発生のプロセスは佐竹・加藤 (2002)¹⁴⁾、Abe et al.(2008)¹⁵⁾の方法を用い、崩壊前の区域と崩壊後の区域を与え、崩壊継続時間を設定し、その時間内で静的な変位を地形と海面に与えた。詳細については、文献を参照されたい。地滑り領域は、幅は約 5 km、長さは約 20 km であるため、1 波長分に必要な計算空間格子間隔の分割数は 20 程度となる。このために、外洋においても比較的詳細な地形モデルが必要である。そこで、本研究では空間格子間隔 270 m の地形モデルを全域で用い、津波の支配方程式は非線形長波式を用いた。地震モデルについては、1)と同様に、Furumura et al. (2010) の宝永地震モデルを用いた。

iii) 解析結果

図 40 に、3 分の崩壊継続時間を有する地すべりを想定した場合の津波伝播のスナップショットを示す。図から、地滑り面を設定した区域から、プレート境界型地震による津波よりも短波長の津波が発生していることがわかる。

図 41 に、各観測地点における津波の時刻歴を示す。串本や尾鷲においては、大きな影響は現れていないものの、新宮や熊野では、プレート境界型地震による津波の第一波到達以降に地滑りの影響が強く現れている。特に、地すべり津波を想定した場合、プレート境界型の地震津波のみの波形と比べて、第二波の到達時刻は速くなり、第一波に迫る津波高を有していることがわかる。また、地すべりの崩壊継続時間を長くした場合、地すべりによる津波の到達時刻は遅くなり、またその波高も小さくなる傾向にある。

以上のとおり、津波被害想定を行う際には、想定地域の海底地形で起こり得る地すべりによる津波発生についての検討も重要である。

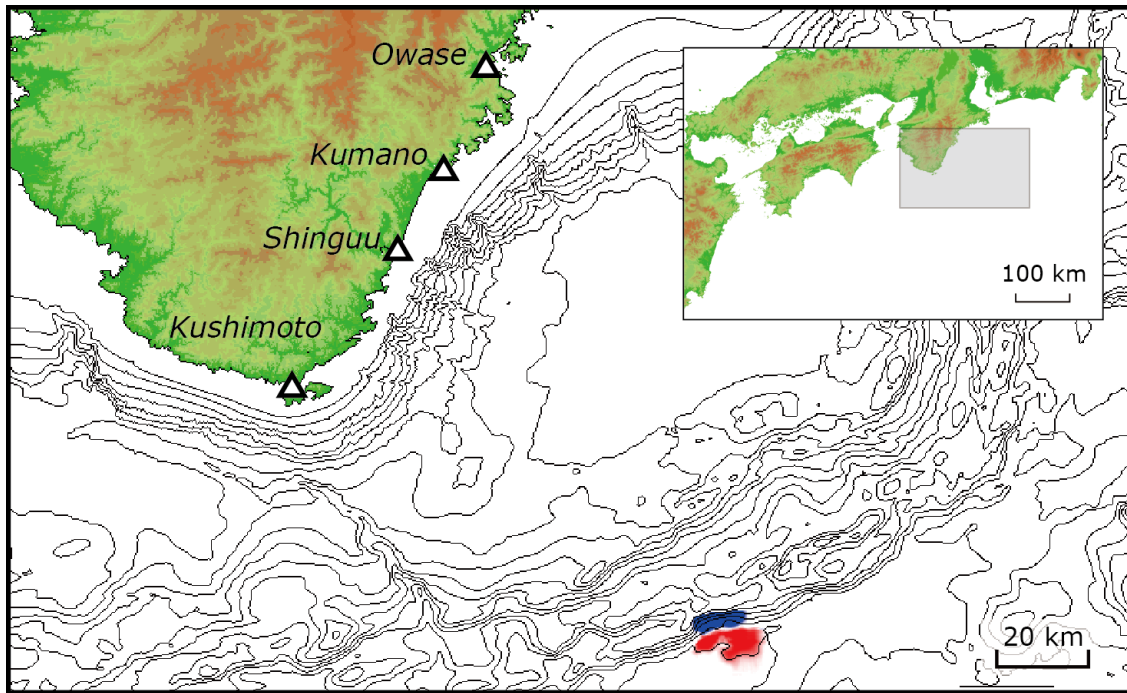


図 38 地滑り痕跡と推定される区域の位置。

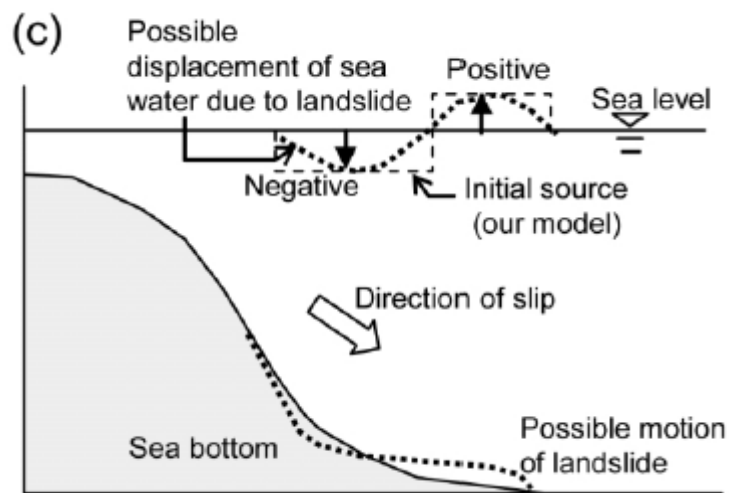


図 39 地滑りによる津波発生の概念図 (Abe et al., 2008 より抜粋)

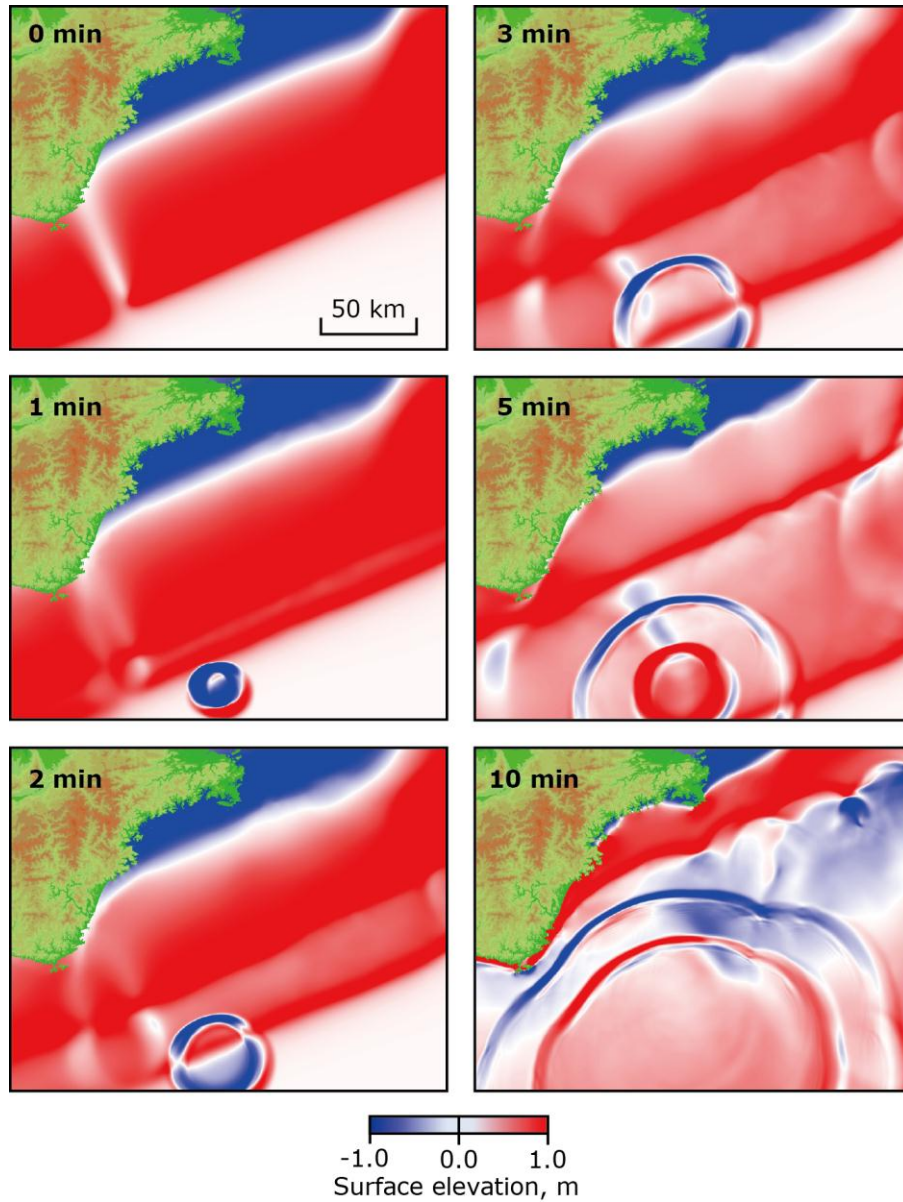


図 40 海底地滑りを考慮した津波伝播のスナップショット。地滑りの崩壊継続時間が 3 分のケースについて、地震および地滑り発生から 0、1、2、3、5、10 分後のスナップショットを図示している。

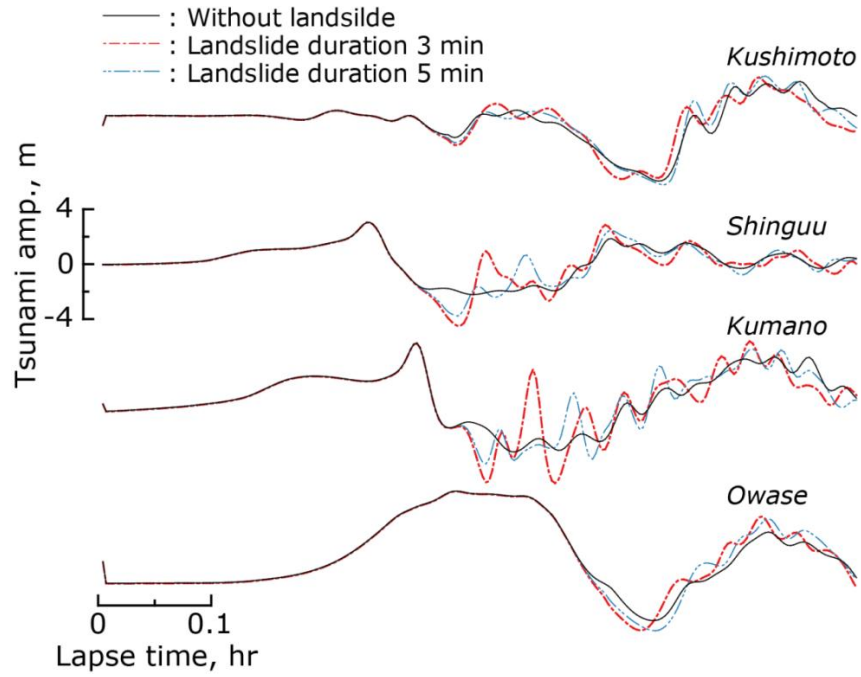


図 41 各観測地点における津波の時刻歴。黒実線は地すべり無し、赤一点鎖線が地すべりの崩壊継続時間 3 分、青二点鎖線が地すべりの崩壊継続時間 5 分の場合を示す。

(c) 結論ならびに今後の課題

本研究では、高知県高知市、三重県尾鷲市、鳥羽市をモデル地域として、高精度地形モデルをもとに、土地利用形態を相当粗度にて考慮するモデルを作成し、南海トラフ沿いの巨大地震である宝永地震を対象とした津波遡上シミュレーションを行った。各地域の浸水域のみだけでなく、流速や流体力に関するハザード評価を行った。

高知市の市街地については、構造物を起伏地形として表現する合成地形モデルによるシミュレーションを実施し、市街地における複雑な流況を再現できることを示した。一方で、浸水域の評価や浸水深分布についての津波ハザード評価を行う上では、従来から利用されてきた相当粗度モデルにおいても十分な表現力を有していることを明らかにした。但し、堅牢な壁を持たない上屋の市場や倉庫やビニールハウス家屋などについての取り扱いについては今後の課題とした。

海底地すべりによる津波について、熊野灘沖において、地すべり痕に基づいた地すべり面を仮定し、プレート境界型の地震とともに発生させた場合の沿岸津波に与える影響評価を行った。地すべり区域に近い沿岸では、地すべり津波の影響を受けるため、津波被害想定を行う際には、想定地域の海底地形で起こり得る地すべりによる津波発生に関する検討も重要であることを示した。但し、地すべり予測に関する知見はまだ乏しく、地質学的・地形学的根拠に基づいた検討も合わせて必要である。

今後は、様々な外力条件を考慮し、それに基づく浸水深、流速、流体力などの各種ハザードを評価するとともに、人的被害や家屋被害率などのリスク評価を行い、想定被害に関する情報を充実させることが必要である。

(d) 引用文献

- 1) Furumura, T., K. IMAI, and T. Maeda : A revised tsunami source model for the 1707 Hōei earthquake and simulation of tsunami inundation of Ryūjin Lake, Kyushu, Japan, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 116, B02308, doi:10.1029/2010JB007918, 2011.
- 2) Mansinha, L., and Smylie, D. E. : The displacement fields of inclined faults, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.61, No.5, pp.1433-1440, 1971.
- 3) 安中正・稲垣和男・田中寛好・柳沢賢：津波数値シミュレーションに基づく南海トラフ沿いの大地震の特徴，土木学会地震工学論文集，CD-ROM，2003.
- 4) 羽鳥徳太郎：宝永・安政津波の現地調査による波高の検討，*海洋科学*，12(7)，pp.495-503，1980.
- 5) 羽鳥徳太郎：三重県沿岸における宝永・安政東海地震の津波調査，*地震研究所彙報*，第53冊第4号，pp.1191-1225，1979.
- 6) 村上仁士・島田富美男・伊東禎彦・山本尚明・石塚淳一：四国における歴史津波（1605 慶長・1707 宝永・1854 安政）の津波高の再検討，*自然災害科学*，Vol.15-No.1，pp.39-52，1996.
- 7) Aida, I. : Reliability of a tsunami source model derived from fault parameters, *J. Phys. Earth*, 26, pp.57-73, 1978.
- 8) 松富英夫・首藤伸夫：津波の浸水深，流速と家屋被害，*海岸工学論文集*，第41巻，pp.246-250，1994.
- 9) 長屋昌弘・嶋原良典・藤間功司：非構造格子を用いた数値計算の津波波力に関する適用性の検討，土木学会関東支部技術研究発表会予稿集，II-100，2005.
- 10) 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫：GISを利用した津波遡上計算と被害推定法，*海岸工学論文集*，第45巻，pp.356-360，1998.
- 11) 文部科学省研究開発局・東京大学大学院情報学環：「東海・東南海・南海地震の連動性評価プロジェクト」②連動性を考慮した強震動・津波被害予測研究，平成21年度成果報告書，pp.124-127，2010.
- 12) 渡正亮・小橋澄治：地すべり・斜面災害の予知と対策，*山海堂*，1987.
- 13) Moore, G. F., N. L. Bangs, A. Taira, S., S. Kuramoto, E. Pangborn, and H. J. Tobin : Three-dimensional splay fault geometry and implications for tsunami generation, *Science*, 318, pp.1128-1131, 2007.
- 14) 佐竹健治・加藤幸弘：1741年寛保津波は渡島大島の山体崩壊によって生じた，*月刊海洋*，号外No.28，pp.150-160，2002.
- 15) Abe, I., K. Goto, F. Imamura, and K. Shimizu : Numerical simulation of the tsunami generated by the 2007 Noto Hanto Earthquake and implications for unusual tidal surges observed in Toyama Bay, *Earth Planets Space*, Vol.60(No.2), pp.133-138, 2008.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

学会等における口頭・ポスター発表

題名	著者	発表先	発表年月日
津波避難に関する認知マップを利用した評価の試み（口頭）	宇川弘朗・今村文彦	平成22年度東北支部技術研究発表会，土木学会，福島（郡山）	2010年3月6日

津波来襲時における住民の避難過程を考慮した人的被害評価手法に関する検討（口頭）	宍戸直哉・宇川弘朗・今村文彦	第57回海岸工学講演会，京都	2010年11月10日
---	----------------	----------------	-------------

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 （雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
津波に伴う屋外タンクと漂流物による被害に関する実用的評価手法の提案	藤井直樹・今村文彦	自然災害科学，Vol.28，No.4，pp.371-386.	2010	国内
津波来襲時における住民の避難過程を考慮した人的被害評価手法に関する検討	宍戸直哉・宇川弘朗・今村文彦	土木学会論文集B2（海岸工学），B2-66,pp.1311-1315.	2010	国内

マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果（記事タイトル）	対応者氏名	報道・掲載機関 （新聞名・TV名）	発表時期	国際・国内の別
Jチャンネル，ニュース	今村文彦	東日本放送	2010年4月21日	国内
備える：津波対策 適切な避難で被害抑える	今村文彦	毎日新聞	2010年4月21日	国内
チリ地震：津波遡上5キロ以上も 高さ6メートル	今村文彦	毎日新聞	2010年4月21日	国内
朝のニュース（東北版），午後のニュース（全国）	今村文彦	NHK総合	2010年4月29日	国内
備える：津波対策「TSUNAMI」は国際語	今村文彦	毎日新聞	2010年5月12日	国内
備える：津波対策 毎年の避難訓練で意識向上	今村文彦	毎日新聞	2010年5月19日	国内
スーパーニュース，津波避難の認知マップ	今村文彦	仙台放送	2010年6月11日	国内
TBCラジオ報道特別番組，地震災害の備えるーその時までに出来る事	今村文彦	東北放送	2010年6月13日	国内
備える：津波対策今も生きる「稲むらの火」	今村文彦	毎日新聞	2010年7月21日	国内
津波対策は最悪想定を	今村文彦	高知新聞	2010年7月30日	国内

			日	
チリ大地震津波 気仙沼湾 養殖、秒速1メートル超で 被害	今村文彦	河北新報	2010年9月23 日	国内
この日本人がスゴいらしい	今村文彦	テレビ東京	2010年10月29 日	国内
Japan&World UPDATESイン ドネシア・ムンタワイ諸島 での地震・津波	今村文彦	NHK国際放送	2010年11月2 日	国内

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1)特許出願

なし

2)ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成23年度業務計画案

平成21年度、22年度の業務で得られた津波ハザード情報を基に、人的・物的・交通被害などの津波被害を予測する。季節や時間帯などの発生時間帯を考慮し、それぞれの地域で固有な被害パターンの有無を検討する。これらの情報を地形図・土地利用図・衛星画像などに重ねハザード・リスクマップ作成の基礎とする。以上の成果を利用して、従来のハザードマップ作成手順の中で、評価手法・浸水予測区域設定の基準、防災情報の内容・表示、マップの周知・利用・活用などの項目について、改善すべき内容を再検討する。

3.3. 都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定

目 次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5ヵ年の年次実施計画
- (e) 平成21年度業務目的

(2) 平成22年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
 - 1) 背景
 - 2) 液状化を考慮した軟弱地盤の地震動の高精度予測
 - 3) 非線形動的相互作用効果を考慮した大規模群杭の地震時応答解析
 - 4) 耐震診断結果に基づく集合住宅建物の地震被害予測モデル
 - 5) 長周期構造物の地震応答記録の分析
 - 6) 東海・東南海地震における名古屋市内の高層建物応答
 - 7) 地域対応力からみた目標耐震化率
 - 8) ボーリングデータの収集データベースシステム
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成23年度業務計画案

(1)業務の内容

(a) 業務題目

都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
名古屋大学大学院 環境学研究科都市環境学専攻	教授	福和 伸夫	fukuwa@sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp
名古屋大学大学院 環境学研究科附属 地震火山・防災研究センター	准教授	飛田 潤	
名古屋大学大学院 環境学研究科都市環境学専攻	准教授	護 雅史	

(c) 業務の目的

地震発生シナリオに対応した都市域の高解像度地震動予測と各種構造物の地震応答・被害予測を行う。平野で生成する強震動を地震観測データと地震応答解析から高精度に評価し、学校・集合住宅などの鉄筋コンクリート（RC）系の建物の被害を予測するとともに、超高層ビルなどの長周期構造物や、埋立地の大規模建築物の応答性状を評価する。また、緊急地震速報を活用した構造物の被害軽減・早期機能復旧のための方策、例えば、各種安全装置の自動起動やエレベータの停止等の方策について調査する。さらには、地域社会が有する災害対応力を建築の立場から調査し、復旧・復興に向けた課題を明らかにする。

(d) 5カ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成 20 年度：都市域の高解像度地震動予測のための地盤モデルとして、濃尾平野周辺地域について深部地盤構造モデルを、さらに名古屋市域については表層地盤モデルを構築した。いずれも従来のモデルをベースに、多数の地点での常時微動や強震観測等の結果と三次元差分法等によるシミュレーション結果を比較しつつ、周期特性を高解像度で表現できるように修正したものである。建物の適切な被害予測を行うための実際的なモデル構築に向けて、低層 RC 造建物の強震観測体制を整備した。この際に、多数の建物における観測を効率的に実施するため、旧型の観測機材（K-NET95 強震計）を用いて、維持管理を現地の非専門家の観測協力者に依頼する新たな観測体制を構築した。このような構造物の被害予測から、建物耐震化が減災戦略や復旧・復興に及ぼす影響を検討するため、地域社会の人材・資材・機材およびその運用に関する基礎資料の蓄積を開始するとともに、病院の対応力などに関する予備的な検討を実施した。

2) 平成 21 年度：上記地下構造モデルを用いた強震動予測結果と強震観測記録を利用して擬似経験

的グリーン関数法により、名古屋市内の代表地点における強震動を高精度に予測した。その際に、擬似経験的グリーン関数法の適用性について吟味した。また、耐震診断結果や過去の地震被害調査結果に基づき、学校建物について、建物の耐震的余力や動的相互作用を考慮した地震応答解析モデルを構築した。さらに、軟弱地盤に立地する大規模群杭支持構造物の解析を高精度に実施するため、根入れ効果を考慮した大規模群杭の応答解析法を構築した。災害発生後の対応力の調査を、前年度に引き続き継続的に実施した。

3) 平成 22 年度：埋立地などの軟弱地盤の地表地震動を、地盤の非線形性や液状化を考慮して予測する。合わせて、地盤の非線形性を考慮できる大規模群杭支持構造物の応答解析法を構築する。また、集合住宅について、建物の耐震的余力や動的相互作用を考慮した地震応答解析モデルを構築する。さらに、高層建物などの長周期構造物の地震観測記録を分析し、実際の建物が保有する減衰性能を把握する。合わせて、首都直下地震防災・減災特別プロジェクト（以下、首都直下地震研究という）での高層建物の振動台実験（長江ほか、2009）¹⁾の成果に基づき、高層建物の層の復元力モデルを構築する。なお、災害発生後の対応力の調査については継続的に実施する。

4) 平成 23 年度：前年度までに算定した名古屋市域の強震動予測結果と、建物の実耐力を表現できる建物地震応答解析モデルを用いて、学校・集合住宅などの地震応答解析を実施し、都市域の鉄筋コンクリート系の建物の被害分布性状を明らかにする。その際に、基礎－地盤間の局所的非線形性（浮上り・剥離・滑動）などの影響についても検討する。合わせて、高層建物を対象として建物周期と地盤周期との関係に着目した地震応答解析、軟弱地盤に立地する群杭支持大規模構造物の地震応答解析を実施する。また、災害発生後の対応力について、これまでの調査データをまとめ、現状の評価を行う。

5) 平成 24 年度：南海トラフでの地震の連動シナリオと被害の発生性状との関係を把握するために、連動シナリオに応じて、学校・集合住宅、高層建物、軟弱地盤の大規模構造物などの地震応答解析を実施し、被害の発生状況を把握する。この結果と、地域社会が有する災害対応力との関係の中で、復旧過程におけるボトルネックについて、主として建築的対応の立場から、問題の所在について検討する。特に、直前・直後対策と長期的な復旧を左右する鍵となる、一つ目の地震が発生した後、二つ目の地震が発生するまでの時間的猶予と災害対応力の関係を分析する。

(e) 平成 22 年度業務目的

埋立地などの軟弱地盤の地表地震動を、地盤の非線形性や液状化を考慮して高精度に予測するためのモデルを整備する。合わせて、地盤の非線形応答の効果を考慮した、大規模群杭支持構造物の応答解析法を開発する。学校建物等の耐震余力や動的相互作用を考慮した地震応答解析モデルを開発する。長周期構造物の地震観測記録を分析し、実際の建物の振動特性を把握するとともに、「首都直下地震研究」等で得られた高層建物振動台実験の成果も活用して、長周期構造物の被害予測の基礎データを整備する。以上の地盤・建物の応答解析と被害予測のために、地域の地震観測とデータ収集・整理を継続する。減災戦略の策定に向けて、災害発生時の地域社会対応力に関する基礎情報収集と分析・評価システムの開発を継続して行う。

(2) 平成 22 年度の成果

(a) 業務の要約

埋立地などの軟弱地盤の地表地震動を、地盤の非線形性や液状化を考慮して高精度に予測するために、利用できる地盤データの質や非線形解析手法の比較検討に基づいて地盤モデル作成法を整備し、名古屋市内の代表地点で地震動予測を行った。また地盤の非線形性を考慮した大規模群杭支持構造物の応答解析法を開発し、軟弱地盤上の大規模建物の地震応答評価法を整備した。中低層建物の実際的な被害評価に向けて、学校建物、集合住宅などの動的相互作用や耐震余力を考慮した地震応答解析モデルを開発した。高層・免震などの長周期構造物の地震応答記録の分析を行うとともに、「首都直下地震研究」で得られた高層建物振動台実験の成果を活用して、長周期構造物の被害予測の基礎データを整備した。減災戦略の策定に向けて、災害発生時の地域社会対応力に関する基礎情報収集を行い、災害対応施設の充足度の検討を行うとともに、それらを扱う地理情報システムの開発を進めた。また以上の検討の基礎資料として東海地域における地盤・建物の強震観測と記録の整理を継続し、平成 23 年 3 月 11 日東北地方太平洋沖地震を含む多数の地震記録を収集した。

(b) 業務の成果

1) 背景

東海・東南海・南海地震の広域大災害に対する減災戦略を策定するためには、地震動などのハザード、構造物被害などのリスク、そして社会が有する災害対応力を的確に把握することが必須である。そのための基礎技術として、地震動の予測精度向上、表層地盤の応答解析や液状化予測手法の高度化、建物の地震被害や耐震余裕度を適切に評価できる建物応答解析手法の開発などが必要となる。さらに基礎データとして深部・浅部地盤構造調査や強震観測記録、建物の耐震性や実際の地震被害に関する資料の収集・蓄積が欠かせない。社会の災害対応力の評価は、広域大災害による社会破綻を避けるシナリオ構築にきわめて重要である。

2) 液状化を考慮した軟弱地盤の地震動の高精度予測

埋立地などの軟弱地盤の地表地震動を、地盤の非線形性や液状化を考慮して高精度に予測するために、利用できる地盤データの質や非線形解析手法の比較検討に基づいて、名古屋市内の代表地点で想定東海・東南海地震の強震動予測を行った。図 1 及び表 1 に計算地点を示す。予測地点

は丘陵地、台地、埋立地に立地する小学校である。

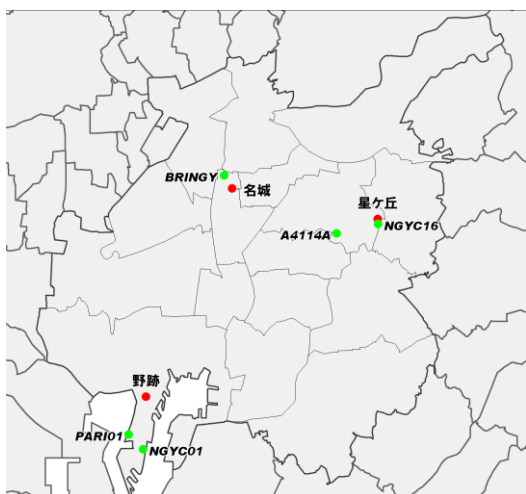


図1 地震動計算地点の分布(●)

表1 地震動計算地点

名称	地震観測記録	地盤状況
星ヶ丘小	星ヶ丘出張所	東部丘陵 (第一種)
名城小	愛知県庁、 中部地方整備局	熱田台地 (第二種)
野跡小	水上出張所、 港湾空港研	干拓地・埋立地 (第三種)

a) 予測手法の概要

工学的基盤の強震動予測には、これまでに開発した「擬似経験的グリーン関数法」¹⁾を用いた。これは、高密度強震観測網の観測記録と、深部・浅部地盤モデルに基づくシミュレーション波形を用いて、地震観測記録のない地点での地震動推定を行う方法である。図2に予測の流れを示す。地震動評価をしたい地点(A点)と地震観測記録の存在する地点(B点)との2地点間の伝達関数(A/B)をシミュレーション波形から求め、B点での観測波形と掛け合わせることで、A点での地震波形を推定する。伝達関数の評価には、長周期域は三次元有限差分法、短

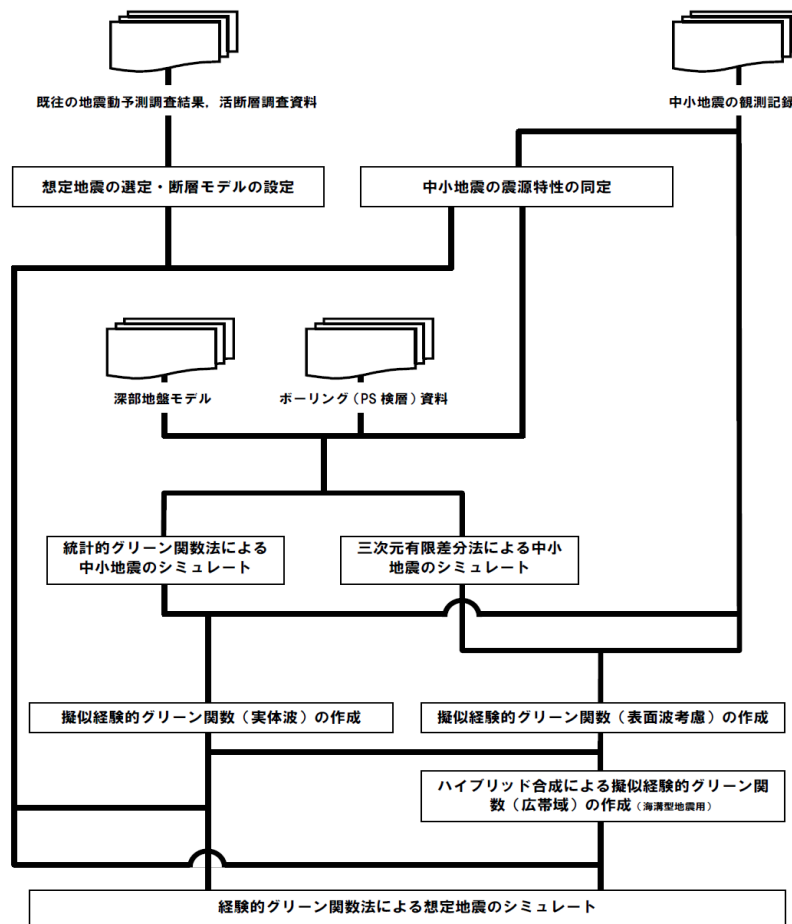


図2 強震動予測の流れ

により、A点での地震波形を推定する。伝達関数の評価には、長周期域は三次元有限差分法、短

周期域は統計的シミュレーションにより、震源メカニズム・伝播経路・地下構造の影響を解析的に考慮する。本節の検討では、擬似経験的グリーン関数法により計算地点における中小地震の波形を推定し、想定地震の予測を経験的グリーン関数法²⁾で実施する。また地表における強震動予測は、表層地盤について、丘陵地では全応力非線形解析、台地及び埋立地では有効応力解析により地震応答計算を行う。

b) 要素地震と震源モデル

要素地震について、図3に地震動予測に用いる要素地震の震央分布を、表3に断層パラメータを示す。応力降下量については K-NET、KiK-net 地点の地震記録を用いたスペクトルインバージョン^{例えば³⁾}及び震央位置が近接する2地震のスペクトル比⁴⁾を用いてコーナー周期を読み取り設定した。

震源モデルについては、表

3に示した要素地震のうち、EQ006はマグニチュード6クラスと規模が大きく、この地震の規模を勘案すると中央防災会議⁵⁾による東海・東南海地震の要素断層の規模より大きくなる。この地震を要素地震として使用するために、要素断層の大きい震源モデルを設定した。具体的な震源モデルの設定は、次のように行った。

- ①要素断層の断層サイズを中央防災会議による断層モデルの約2倍とし、震源域全体の面積を中央防災会議による断層モデルと大きく変えないように、要素断層の個数及び配置を決めた。
- ②すべり量や応力降下量は、中央防災会議の断層設定の考え方⁵⁾に従った。
- ③各要素断層の深さ、走向、傾斜、すべり角については、中央防災会議による断層モデルの各要

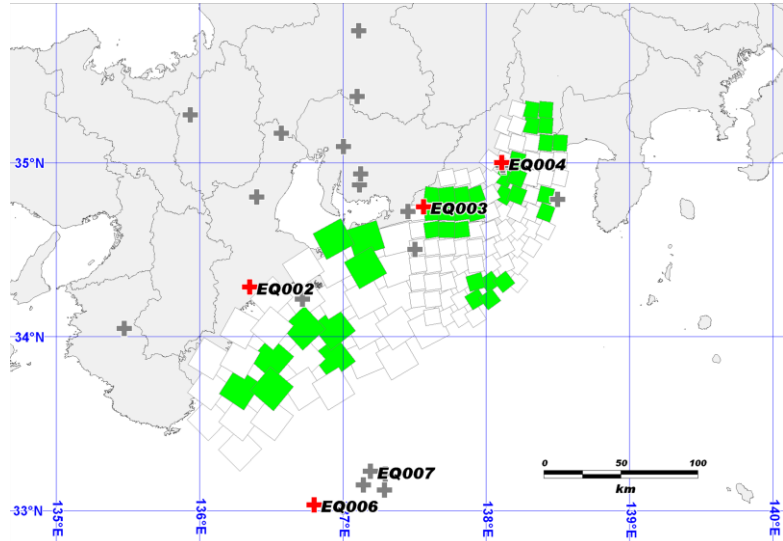


図3 要素地震の震源分布及び想定地震のアスペリティモデル

表3 要素地震のパラメータ

	M_0 [Nm]	σ [MPa]	断層面積 S [km ²]	断層長さ L [km]	断層幅 W [km]	すべり量 D [cm]
EQ002	1.70×10^{17}	41.00	4.67	3.06	1.53	75.80
EQ003	2.43×10^{16}	29.90	1.58	1.78	0.89	32.10
EQ004	8.73×10^{16}	10.20	7.24	3.81	1.90	23.50
EQ006	7.54×10^{19}	10.32	354.86	26.64	13.32	166.29
EQ007	2.06×10^{17}	2.33	35.93	8.48	4.24	11.95

表4 想定地震の断層パラメータ

項目		中央防災会議モデル	本検討モデル
東南海	全体	面積(km ²)	約 14600
		地震モーメント(Nm)	2.30×10^{21}
		平均すべり量(m)	3.8
		応力降下量(MPa)	3.0
		要素断層のサイズ	約 10km×約 10km
	アスペリティ	面積(km ²)	3522
	地震モーメント(Nm)	1.09×10^{21}	1.09×10^{21}
	応力降下量(MPa)	21.9	21.3
東海	全体	面積(km ²)	約 9400
		地震モーメント(Nm)	1.10×10^{21}
		平均すべり量(m)	2.9
		応力降下量(MPa)	3.0
		要素断層のサイズ	約 5km×約 5km
	アスペリティ	面積(km ²)	2911
	地震モーメント(Nm)	6.27×10^{20}	6.42×10^{20}
	応力降下量(MPa)	21.6	21.1
媒質のパラメータ等			
	S波速度(km/s)		3.82
	平均密度(g/cm ³)		2.8
	剛性率(N/m ²)		4.10×10^{10}
	破壊伝播速度(km/s)		2.7

素断層に対して設定されている深さ、走向、傾斜、すべり角を平面補間し、①で配置した要素断層の位置に該当する値を読み取った。

図 3 に本検討にて設定した想定東海・東南海地震の震源のアスペリティモデルを、表 4 に設定した想定地震の断層パラメータを中央防災会議モデルと比較して示す。

c) 表層地盤モデル

表層地盤モデルは、近傍のボーリング調査結果に基づく地層構成と PS 検層結果を基に設定した。表 5 に設定した地盤モデルを示す。

①星が丘小学校

工学的基盤面は、G.L-29.7m の S 波速度 $V_s=480\text{m/s}$ を示す砂層の上面とし、線形弾性体として設定した。地層構成は、地表より盛土層、第三紀層が成層する構造となっており、工学的基盤より上位の地盤を 13 層に区分した。地下水位は、孔内水位に基づき G.L-5.8m に設定した。動的変形特性は、砂層及び粘性土層は古山田他 (2003)⁶⁾、礫層は今津・福武 (1986)⁷⁾を用い、R-O モデルでフィッティングした。動的変形特性を図 4 (1) に示す。

②名城小学校

工学的基盤面は、G.L-62m の S 波速度 $V_s=620\text{m/s}$ を示す砂礫層の上面とし、線形弾性体として設定した。地層構成は、地表より盛土層、洪積層が成層する構造となっており、工学的基盤より上位の地盤を 25 層に区分した。地下水位は、孔内水位に基づき、G.L-10m に設定した。G.L.-20m 以浅の砂層である D3us3、D3us4 層を液状化対象層として設定した。動的変形特性は、土質試験結果に基づき R-O モデルでフィッティングした。試験の行われていない層では、砂層及び粘性土層は古山田他 (2003)⁶⁾、礫層は今津・福武 (1986)⁷⁾を用いた。動的変形特性を図 4 (2) に示す。

D3us3、D3us4 層の液状化パラメータは、室内土質試験結果にフィットするように、要素シミュレーションより設定した。図 5 (1) に液状化強度曲線とフィッティングした結果を示す。

③野跡小学校

工学的基盤面は、G.L-95m の S 波速度 $V_s=465\text{m/s}$ を示す砂層の上面とし、線形弾性体として設定した。地層構成は、地表より埋土層、沖積層、洪積層が成層する構造となっており、工学的基盤より上位の地盤を 35 層に区分した。地下水位は、孔内水位に基づき、G.L-1m に設定した。G.L-20m 以浅の砂層である Bs、As1、As2 層を液状化対象層として設定した。動的変形特性は、砂層及び粘性土層は古山田他 (2003)⁶⁾、礫層は今津・福武 (1986)⁷⁾を用い、R-O モデルでフィッティングした。動的変形特性を図 4(3)に示す。なお、同図には双曲線モデルによるフィッティングについても示す。

Bs、As1、As2 層の液状化強度曲線は、N 値に基づき建築基礎構造設計指針 (2001) により設定した液状化強度に対して、Seed⁸⁾に基づいて液状化強度曲線を設定した。これにフィットするように、要素シミュレーションにより液状化パラメータを設定した。図 5(2)に設定した液状化強度曲線とフィッティングした結果を示す。

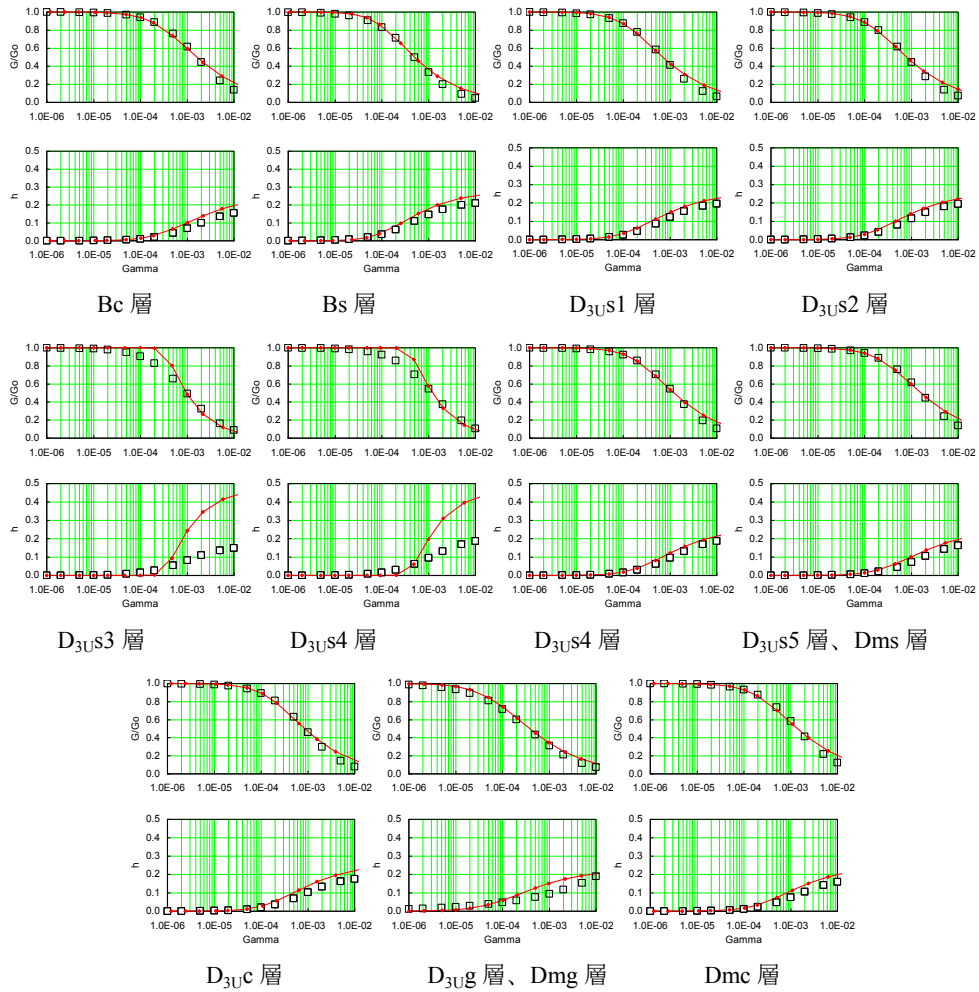


図 4 (2) 設定した動的変形特性 (名城小学校)

□ : 設定曲線 : R-0モデル曲線 : 双曲線モデル曲線

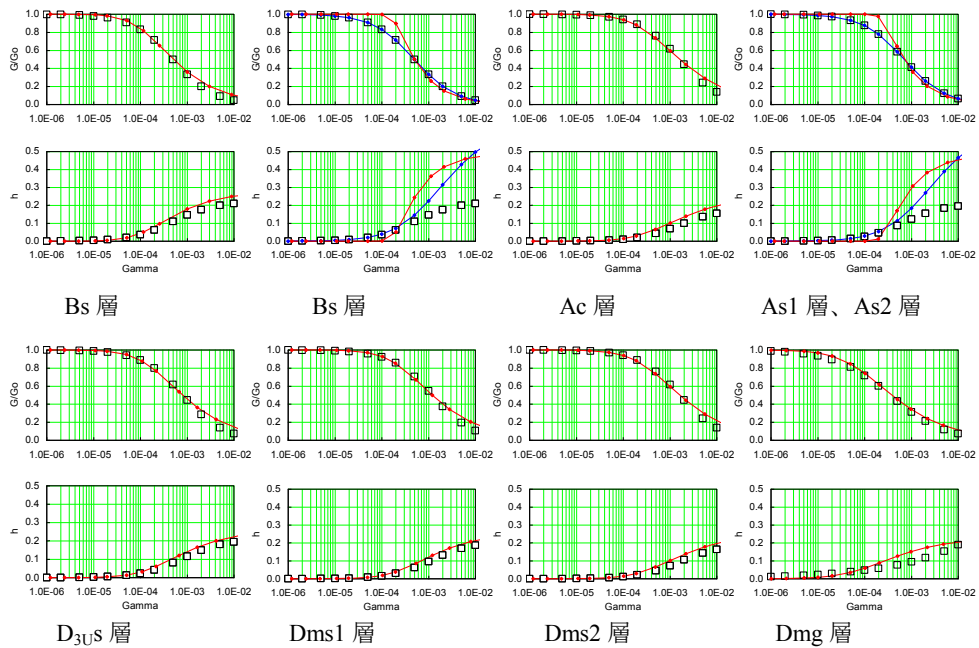


図 4 (3) 設定した動的変形特性 (野跡小学校)

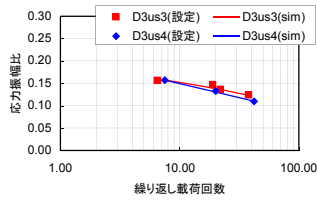


図 5 (1) 液状化強度曲線
(名城小学校)

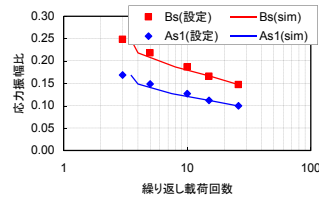


図 5 (2) 液状化強度曲線
(野跡小学校)

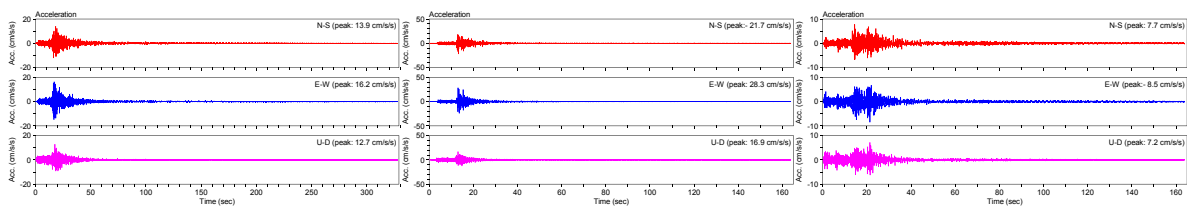
d) 継続時間の長い中小地震記録の作成

強震観測のために、防災科学技術研究所による K-NET や KiK-net、自治体の震度情報ネットワークなどの観測網が整備されてきた。また、地方自治体や民間企業、大学などの既存の観測網を相互接続し、一元的に地震観測記録を収集する仕組みも整備されつつある。しかしながら、得られる強震記録は、地震計の性能や観測目的により収録される時間が異なる。特に、プレトリガー時間やポストトリガー時間の設定によっては、十分な記録時間のない波形しか収録できないことがある。表 6 に示すように、本検討で用いる地震記録も地点、地震イベントによって記録時間に差異があることが分かる。そこで、本検討では新たに開発した後続波形を推定する方法を用いて継続時間の長い地震記録を作成した。

この手法は、波形の記録時間が地点 a では短く、地点 b では長い場合、2 地点間の伝達関数 a/b を短い方の波形にタイムウィンドウを合わせて求め、これに地点 b の全波形記録の複素フーリエスペクトルを乗じて、地点 a の後続部を推定するものである。本検討ではこれを利用して A4114A、BRINGY、NGYC01、NGYC16、PARI01 の 5 地点の地震観測記録に対して継続時間の長い波形を推定した。図 6 に推定した地震波形を示す。

表 6 各地震観測地点における波形の記録時間

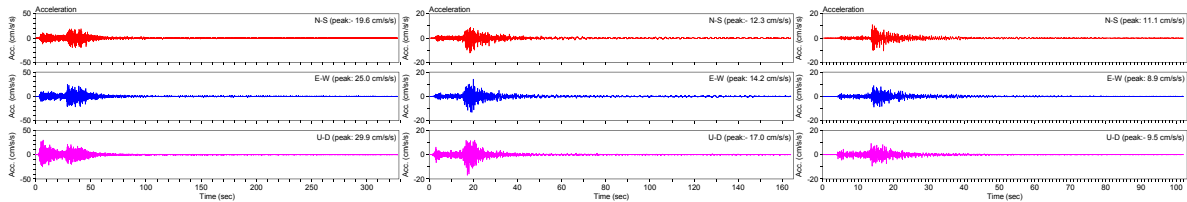
	A4114A	NGYC16	BRINGY	NGYC01	PARI01
EQ002	180s	—	104s	97s	—
EQ003	121s	—	90s	—	60s
EQ004	135s	61s	80s	77s	—
EQ006	—	120s	129s	199s	120s



(1) A4114A EQ002

(2) A4114A EQ003

(3) NGYC16 EQ004



(4) NGYC16 EQ006

(5) BRINGY EQ002

(6) BRINGY EQ003

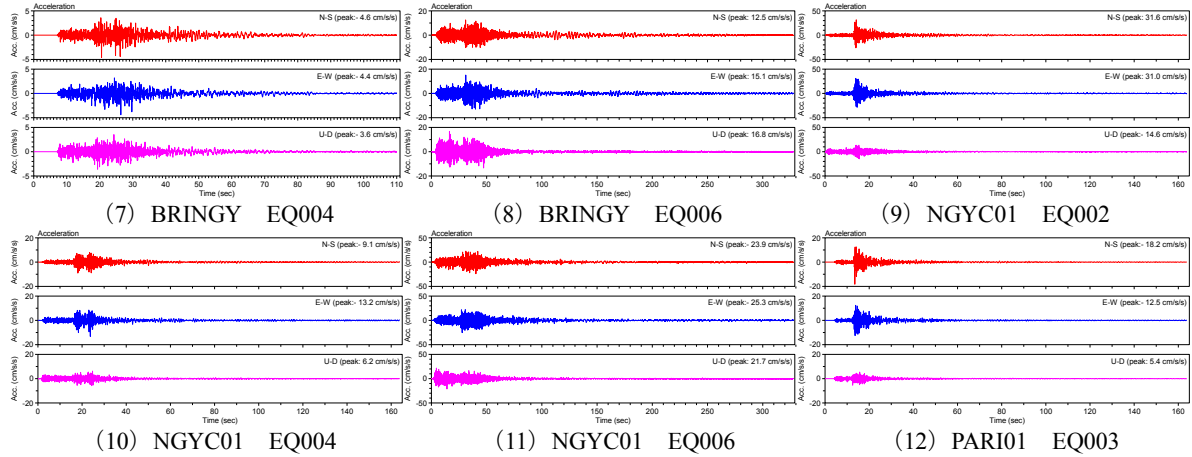


図6 観測記録の後続部分を推定した地震波形

e) 擬似経験的グリーン関数法による要素地震動の作成

擬似経験的グリーン関数法により要素地震を推定した。理論伝達関数の計算は、周期2秒を境界として短周期側は統計的シミュレーション、長周期側は三次元有限差分法による計算波形を用いた。短周期、長周期において波形を推定した後、接続周期2秒でハイブリッド合成し広帯域の要素地震動を作成した。NGYC16及びBRINGY地点は、それぞれ星ヶ丘小学校及び名城小学校の近傍にあるためそのまま用いることとし、A4114A、NGYC01、PARI01の波形から星ヶ丘小学校、野跡小学校の地震波形を推定した。図7に推定した要素地震を示す。

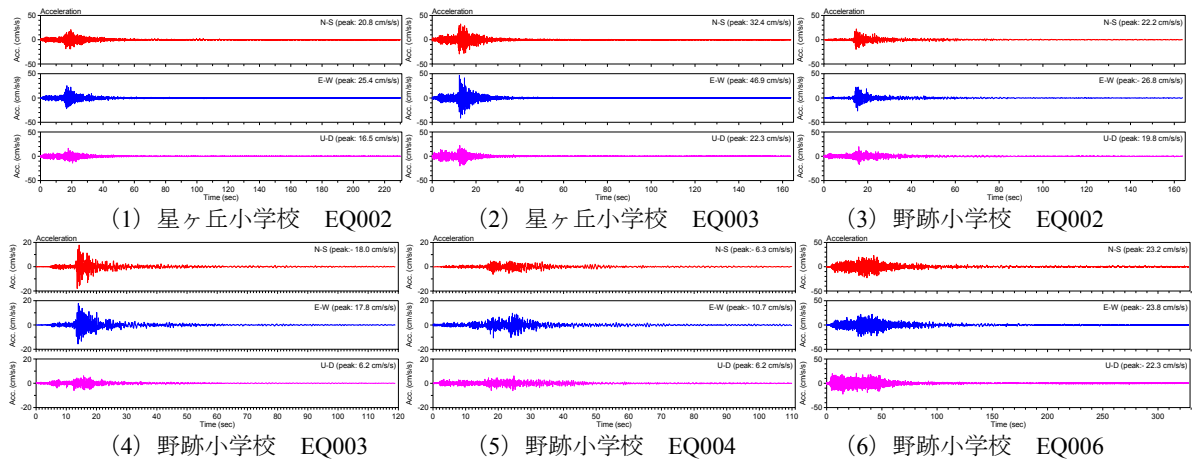


図7 擬似経験的グリーン関数法により推定した要素地震波

f) 経験的グリーン関数法による強震動予測

経験的グリーン関数法の適用に際しては、壇・佐藤(1998)の方法⁹⁾を用いた。本検討では、要素断層の地震波放射位置をランダムに配置した。要素断層からの放射位置は乱数の初期値により決めるが乱数の初期値を10通り設定した。また東海地震及び東南海地震の震源域にそれぞれ2つの要素地震を用いるが、各要素断層への地震波の分配についてもランダムに決めることとし、乱数の初期値を10通り設定した。これにより各計算地点において100通りの地震波を求め、擬似速度応答スペクトル($h=5\%$)の平均に最も近い地震波を採用した。地震波を選択した後、表層地

盤モデルを用いて剥ぎ取りを行い、工学的基盤の波形とした。図 8 に工学的基盤における想定東海・東南海地震の地震波形を示す。なお、名城小学校付近では、武藤・他（2004）により三の丸地点における強震動予測が行われている¹⁰⁾。名城小学校での結果と比較し、ともに周期 3 秒で 200～300kine であることから、本結果は妥当であるとした。

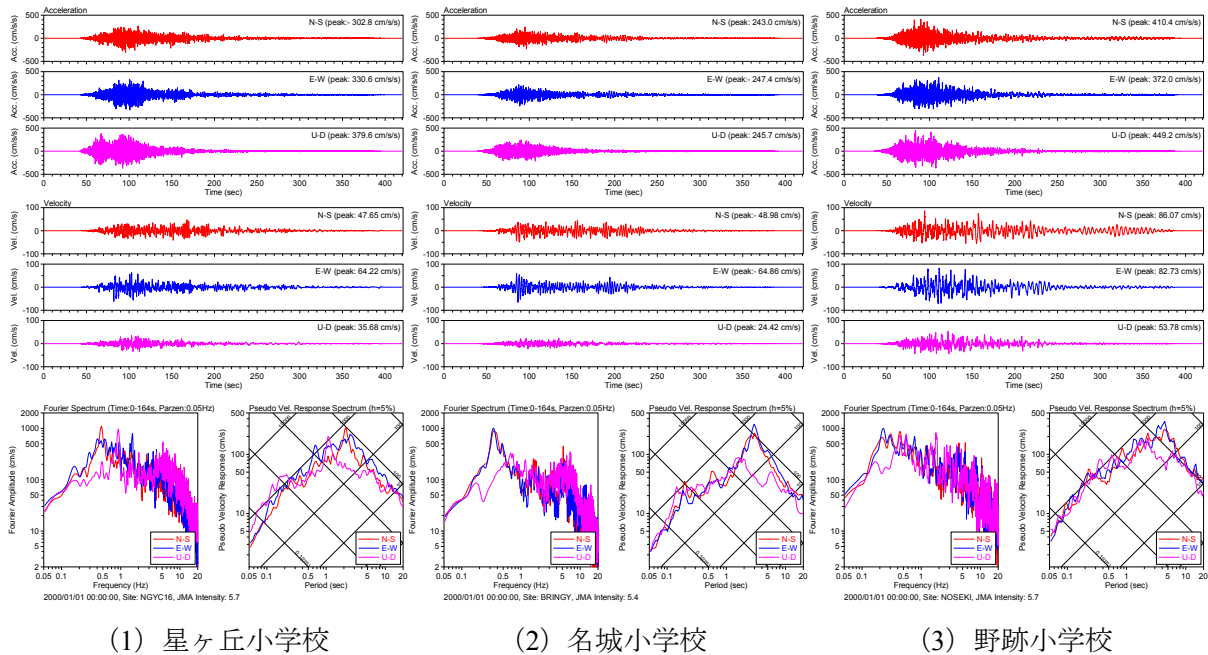


図 8 工学的基盤における想定東海・東南海地震の地震波形

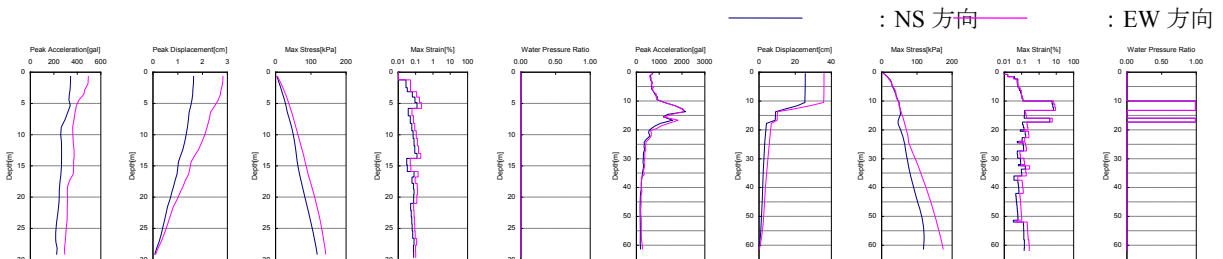
g) 地表面における地震動の予測

逐次積分法による地震応答解析を行った。解析コードはいずれの地点も YUSAYUSA-2¹¹⁾を用いた。星ヶ丘小学校は、丘陵地に立地し地下水位以深は第三紀層が堆積しているため、液状化の可能性は低いと考え全応力非線形解析を採用した。名城小学校及び野跡小学校については有効応力解析を採用した。名城小学校は台地に立地するが、愛知県の地震被害想定調査では洪積層である熱田層（上部層）を液状化対象層として扱っており、本検討もそれに倣った。

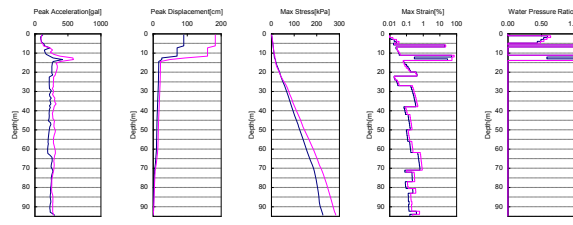
図 9 に地震応答解析による最大応答分布を示す。図 9 より名城小学校と野跡小学校においては過剰間隙水圧比が 1 に達し液状化する結果となった。このためせん断ひずみが 10%を越え、相対変位も液状化に達した層で大きくなっていることが確認できる。

図 10 に地表面における地震動を示す。なお上下動については線形弾性体として扱った場合の波形を示している。図 10 より得られた地表面における地震動は、いずれの地点も震度 6 弱相当となった。液状化に達した名城小学校と野跡小学校の波形は、液状化の影響を受けて瞬間的に加速度が大きくなるサイクリックモビリティと思われる波形が確認できる。

以上の検討により名古屋市内の代表地点での液状化を考慮した地表地震動が評価できた。この結果を受けて、名古屋市内の面的な地震動推定を行い、被害予測に反映させる予定である。

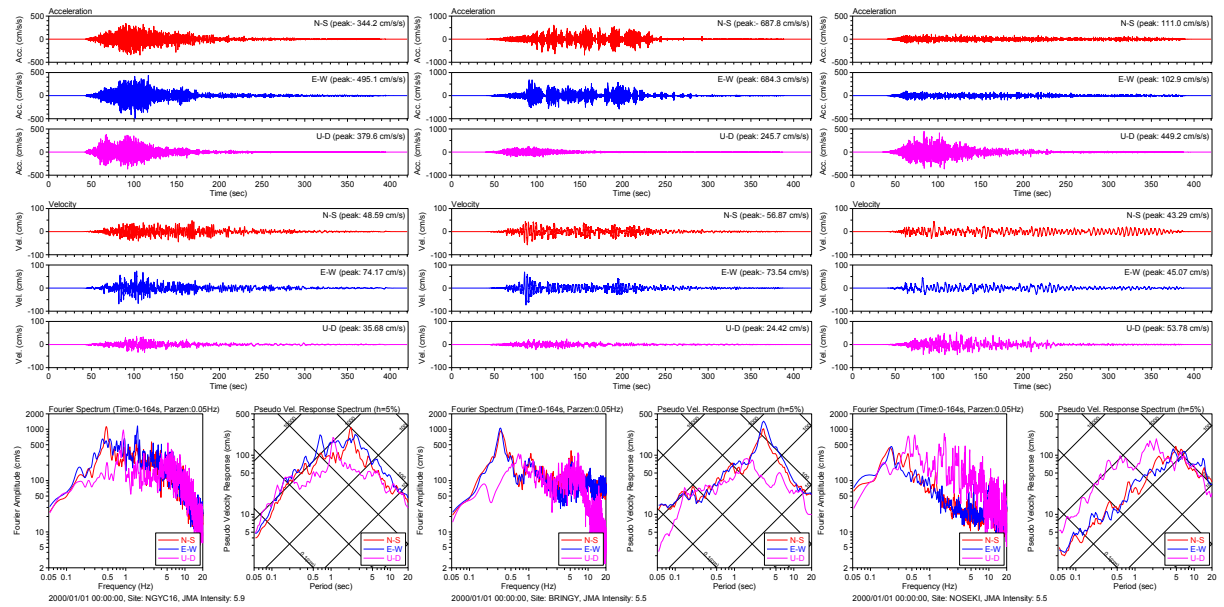


(1) 星ヶ丘小学校 (2) 名城小学校



(3) 野跡小学校

図9 最大応答値分布



(1) 星ヶ丘小学校 (2) 名城小学校 (3) 野跡小学校

図10 地表面における想定東海・東南海地震の地震波形

3) 非線形動的相互作用効果を考慮した大規模群杭の地震時応答解析

今年度は、昨年度に引き続き、大規模群杭の地震時応答解析法の開発を進めた。本解析法では、

図 11 に示すように、大規模な群杭基礎を、相互作用ばねの効果を等価に保ちながら少数本の群杭に集約する。さらに、杭とその周辺地盤間の相対変位に起因する相互作用ばねの非線形性を比較的簡便に取り入れるために、相互作用ばねは、杭体のモデルの各節点に取りつく軸方向のばねとせん断ばねに置換する。なお、各ばね定数は、これまでの検討をもとに、薄層要素法に基づく精算解から求めた数値に、杭頭インピーダンスや各杭の負担杭頭せん断力が、精算解と対応するように補正をして求める。

解析においては、杭先端における加速度波形と同時に、地盤震動による影響を考慮するために、表層地盤の応答波（杭先端位置に対する相対変位）を軸方向ばねの外から入力する。また、上部建物、杭体および先に示した相互作用ばねに、それぞれの材料非線形性を考慮できるほか、杭と周辺地盤の剥離等の幾何学的非線形性も考慮できる。さらに、地盤の液状化を考慮した解析も可能となるように開発を進めている。

また、この解析手法は、学校建築等の一般的な杭基礎建物にも適用可能であり、昨年度までに構築した耐震診断結果に基づく小学校、及び集合住宅の上部構造解析モデルと統合することにより、種々の建物の大地震時の被害推定が可能である。

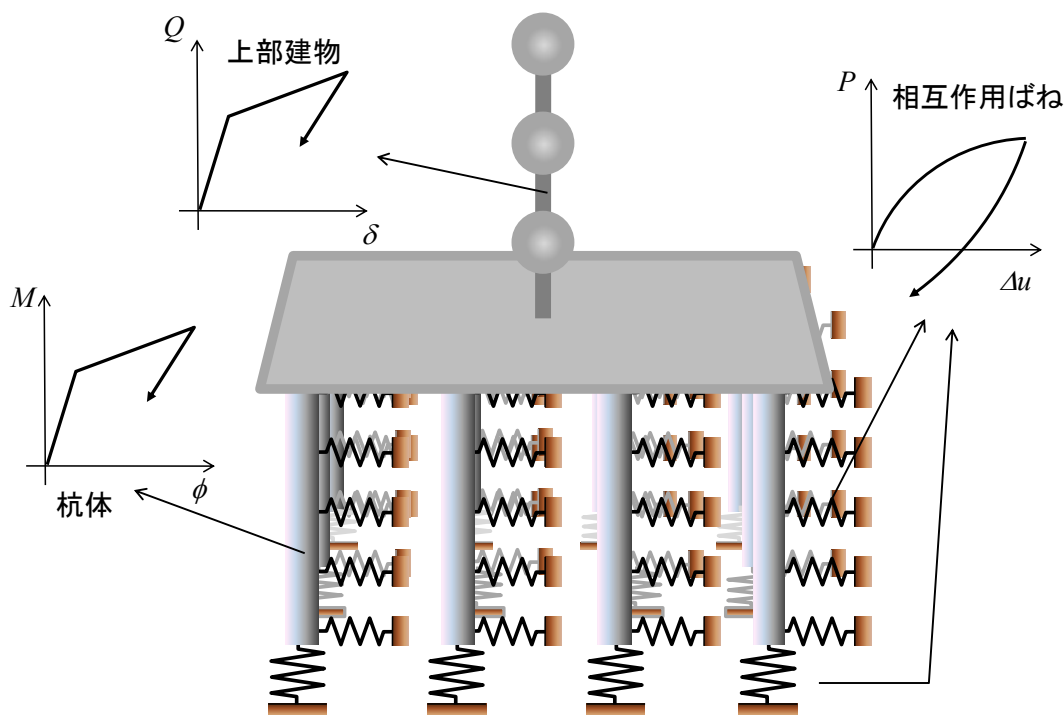


図 11 大規模群杭構造物の非線形地震応答解析モデル

4) 耐震診断結果に基づく集合住宅建物の地震被害予測モデル

1995 年兵庫県南部地震において、新耐震基準の想定を大きく上回るレベルの地震動が観測され

たにもかかわらず、鉄筋コンクリート造(以下 RC 造)建物の被害率は高くなかったことが指摘されている。これは設計の考え方として、荷重や部材の耐力などを安全側に評価することや、設計時に考慮していない要因が建物の被害率に影響していると考えられる。したがって、将来の地震被害を的確に把握するためには、このような RC 造建物の真の耐震性能を正確に表現できるモデルが必要となる。昨年度は主に学校建物について検討した。今年度は、集合住宅について、耐震診断結果に基づいて実被害を説明できるモデル化を検討した。

a) 検討手法の概要

まず、建物の耐力評価指標として広く一般的に用いられている耐震診断結果と、既往の実験結果や常時微動計測結果等を結びつけ、次にこれらを用いて、兵庫県南部地震での集合住宅建物の被害を説明できる地震応答解析モデルを構築した。図 12 に本節における検討フロー図を示す。昨年度に検討した低層 RC 造学校建物と比較し、本年度対象とした公営集合住宅建物で特に考慮した点は、①桁行方向軸組(雑壁)の形状による建物の固有周期の違い、②柱の桁行方向に直交して取り付く耐震壁の影響、③桁行方向の方立て壁の影響、である。

検討ではまず、一般的な公営集合住宅の持つ耐震性を明らかにした上で、設計では通常考慮されない余力を考慮し、それらの諸元を個々の耐震診断結果と関連付けることで地震応答解析モデルを構築した。なお、地震応答解析モデルは等価 1 質点系のせん断型とした。次に、観測地震波を入力とした地震応答解析を行い、被害率の算定を行なった。この結果と実被害と比較することで、本手法の妥当性を検討した。これら一連の手順は、昨年为学校建物の検討と同様である。

なお、兵庫県南部地震での実被害を説明するために、地震応答解析のモデル作成時に留意した点は以下の通りである。静的弾塑性増分解析では、①コンクリート強度、②部材のせん断耐力、③積載荷重、④直交壁の効果、についてそれぞれの設計と実状との差(余力)を考慮した。地震応答解析では、⑤Is 値と建物の終局耐力の関係、⑥Is 値と壁(方立て壁)・柱分担率の関係、⑦Is 値と建物の固有周期の関係、⑧建物終局耐力の動的効果を考慮した。被害率の算定と実被害との検証では、⑨入力損失効果の考慮、⑩被害判定のクライテリアの設定法、⑪入力地震動の方向性の考慮、について検討した。

b) 実被害との比較によるモデルの検証

余力を考慮したモデルを用いた地震応答解析結果に基づいて計算した被害率(計算被害率)と、

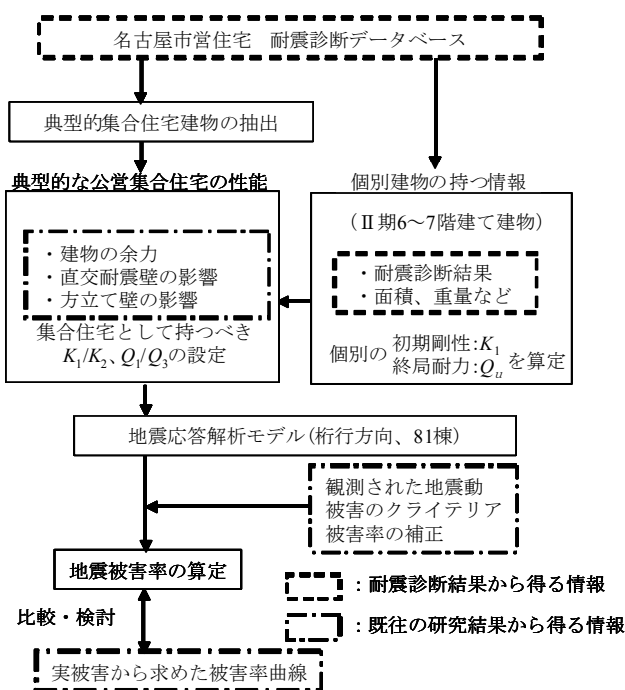


図 12 集合住宅の応答解析モデル構築フロー

兵庫県南部地震での被害率曲線（実被害率）を比較して図 13 に示す。比較に用いた被害率曲線はⅡ期（1972～1981 年）に建設された 6～7 階建て建物でピロティなしの場合を対象としたものなので、本検討では集合住宅データベースからⅡ期 6～7 階建て建物 81 棟を対象とし、前記 a) の手法を用いてモデル化し、地震応答解析を行った。入力地震動は、2 箇所の観測波（JR 鷹取波、大阪ガス葺合波）とし、2 通りの方向性（N000E、N090E）を考慮して検討を実施した。

JR 鷹取波を入力地震動とした場合は計算被害率の方が実被害率に比べ大きい、大阪ガス葺合波の場合は概ね対応している。その理由の一つとして、実被害率のデータが神戸市灘区・東灘区であるため、葺合に近いことが考えられる。以上から、前記条件の下で作成した地震被害予測モデルは実被害を表わすことが可能であると考えられる。

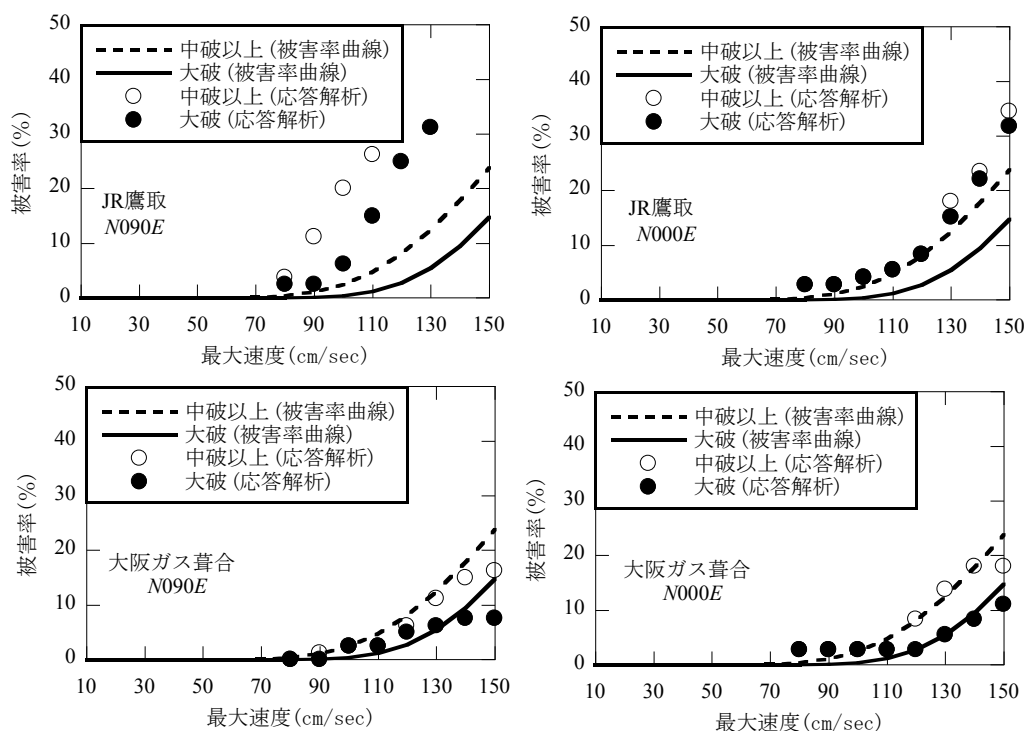


図 13 計算被害率と実被害率の関係

c) 余力に影響する要因

大阪ガス葺合波 N090E 方向を入力地震動とした場合について、余力考慮の有無による計算被害率の違いを図 14 に示す。最大速度が大きくなるほど余力考慮の有無による差は大きくなり、入力地震動の最大速度が 120cm/s の場合、中破以上の被害率は約 3 倍の差があることがわかる。また、本モデルで考慮した余力につながる要因項目が計算被害率にどの程度影響を与えているのかを検討するために、余力の要因項目を一つ取り除いた際の計算被害率を計算した。その結果を表 7 に示す。コンクリート強度は当然であるが、それと並んで集合住宅建物の特徴である直交壁効果が被害率に最も影響を与えていることがわかる。直交壁効果は、多くの居室境に壁が入っている集合住宅建物で特徴的な建物の余力であるが、耐震診断では、第 2 種構造要素の判定以外で直交壁の効果は考慮されておらず、このことが集合住宅建物において、耐震診断結果が実耐力を小さめに評価している原因の一つであると考えられる。

前記条件 a)の下で構築したモデルを用いて、2007 年の改正建築基準法施行以降に増加している構造スリットを有する集合住宅建物の特性を検討した。構造スリットは、図 15 に示すように、典型的な建物の南北構面に、三方向に完全スリットを設けられるものとした。スリットの有無による地震被害率の差を図 16 に示す。スリット無しモデルの被害率と比較すると、スリット有りモデルは、建物の余力を考慮しているにもかかわらず、入力地震動の最大速度が大きくなるに従い、被害率はより大きくなった。例えば、入力地震動の最大速度 120cm/s の場合、大破の被害率は約 1.5 倍である。これは、スリット有りの場合には、建物の初期剛性および耐力が小さくなるためだと考えられる。

表 7 余力に影響する要因項目

余力の各項目を考慮しない 場合の被害率 (中破以上)	
考慮しない項目	被害率(%)
余力全て考慮	2.5
コンクリート強度	8.6
せん断耐力式	6.2
積載荷重	6.2
直交壁効果	8.6

(大阪ガス葺合N090E 110cm/s入力時)

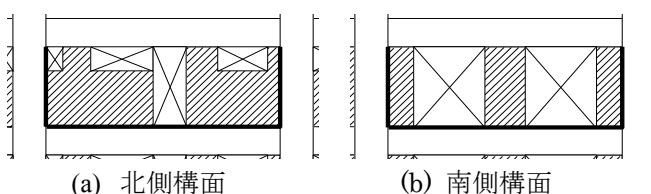


図 15 三方向スリットの概要 (— 構造スリット)

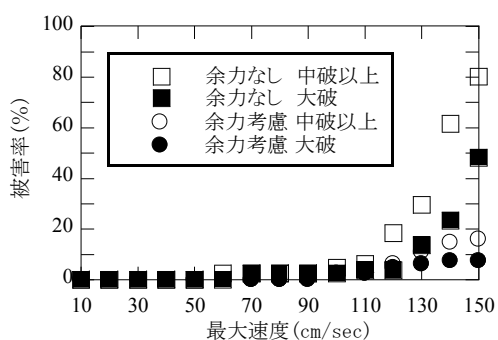


図 14 余力の有無による影響 (大阪ガス葺合波 N090E 入力)

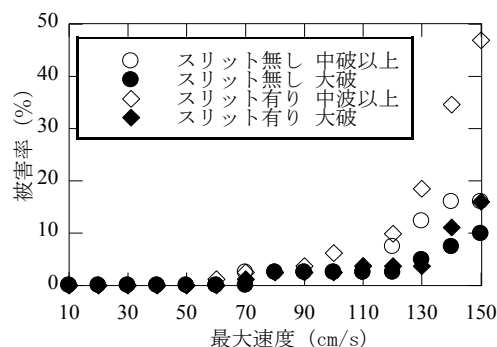


図 16 構造スリットの有無による被害率 (大阪ガス葺合波 N000E 入力)

5) 長周期構造物の地震応答記録の分析

平成 23 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震では、長周期成分を多く含む地震動が広い範囲で観測された。ここでは、東北地方太平洋沖地震時に、本課題が対象とする東海地域で観測された地震動と、長周期構造物の応答記録について分析を行う。

a) 名古屋市内の地盤の観測記録

図 17 に名古屋市の地盤における地震観測点の位置を示す。東北地方太平洋沖地震の本震の速度波形と応答スペクトル (3 地点) を図 18 に、また各地点の最大値、震度、観測されたデータ長を表 8 に示す。短い地点でも 3 分弱、長い地点で 7 分以上の記録となっている。C51、C52 は、沖積層の厚い C01、C02 地点の地中 (工学的基盤) である。最大加速度は、工学的基盤で 10gal 前後、地表では 15~30gal 程度、計測震度で 3 から 4 程度となっている。

名古屋市の深部地盤構造は、西部では地震基盤が1km以上と深く、東部では浅い。表8と図18から、北東の丘陵地にあるC09地点では振幅が小さく、継続時間も短く、卓越周期は1秒強にみられる。中心部の台地上のC12地点では振幅も継続時間も大きく、3秒前後に顕著な卓越周期がある。西端のC03地点は沖積平野上にあり、振幅・計測震度および継続時間もともに最大であり、周期1秒強から数秒までスペクトル振幅が大きい。また周期1秒以下の短周期側も、沖積層の厚いC03地点で大きく増幅されている。

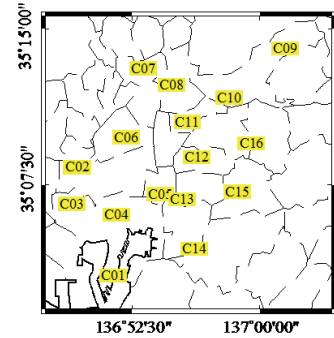


図17 名古屋市地盤観測点分布

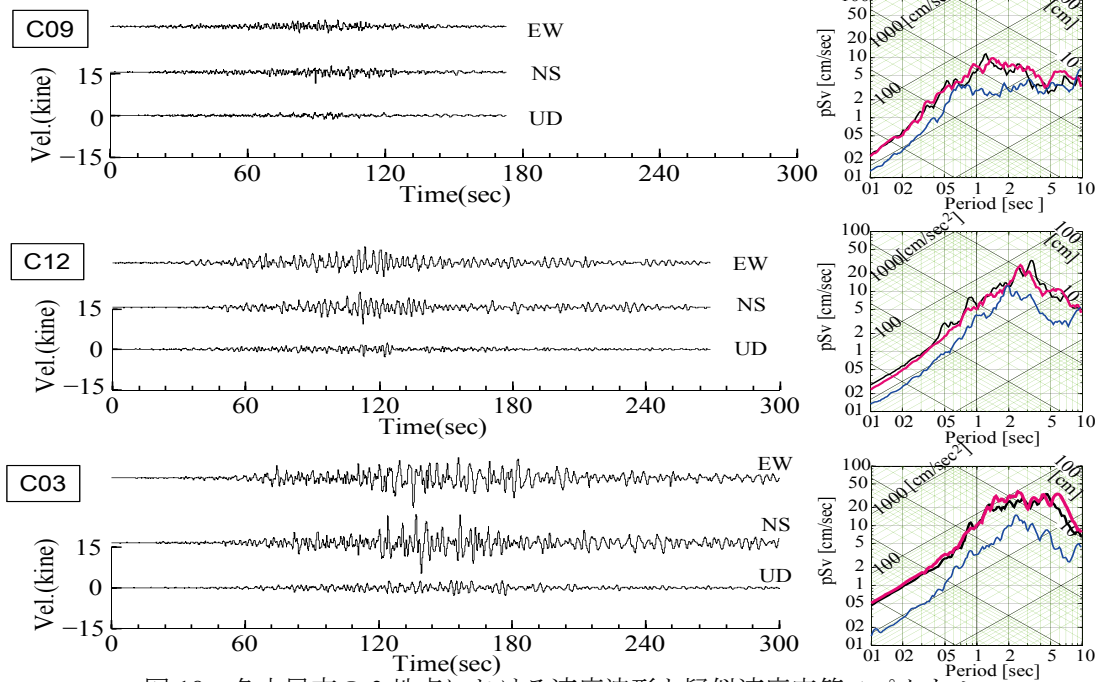


図18 名古屋市の3地点における速度波形と疑似速度応答スペクトル

表8 名古屋市の地盤観測点の最大値・計測震度・データ長

サイト	最大加速度 (gal)			最大速度 (kine)			最大変位 (cm)			計測震度	データ長 (sec)
	EW	NS	UD	EW	NS	UD	EW	NS	UD		
C01	17	13	7	4.6	5.1	1.7	4.6	5.1	1.7	3.4	287
C02	19	16	7	7.1	5.4	2.3	7.1	5.4	2.3	3.3	311
C03	29	32	8	10.9	11.4	2.8	10.9	11.4	2.8	3.9	442
C04	20	19	9	8.7	8.4	3.3	8.7	8.4	3.3	3.5	382
C05	15	22	11	5.9	8.6	3.5	5.9	8.6	3.5	3.5	377
C06	11	14	6	4.0	4.2	2.3	4.0	4.2	2.3	3.2	292
C07	15	13	7	3.7	4.0	1.6	3.7	4.0	1.6	3.3	245
C08	17	20	7	4.7	6.4	1.6	4.7	6.4	1.6	3.4	265
C09	15	14	8	2.7	3.9	1.4	2.7	3.9	1.4	3.2	173
C10	16	19	7	4.6	6.9	2.1	4.6	6.9	2.1	3.6	250
C11	16	14	8	6.2	5.0	1.9	6.2	5.0	1.9	3.3	193
C12	17	15	8	6.1	6.4	2.8	6.1	6.4	2.8	3.4	269
C13	17	17	10	5.5	6.7	3.4	5.5	6.7	3.4	3.4	269
C14	20	24	8	5.1	5.4	2.8	5.1	5.4	2.8	3.5	366
C15	15	12	9	5.4	4.0	2.8	5.4	4.0	2.8	3.3	198
C16	15	13	7	4.4	4.1	2.2	4.4	4.1	2.2	3.3	204
C51	8	9	6	3.1	3.6	1.7	3.1	3.6	1.7	2.8	246
C52	10	9	6	5.5	4.0	2.3	5.5	4.0	2.3	2.8	253

b) 名古屋市内の免震建物の応答

図 19 に、名古屋大学鶴舞キャンパスの 4 建物 (T1~T4) の加速度波形と加速度フーリエスペクトルを示す。免震建物 T3、T4 については免震層下の記録もあわせて示す (波形の図の上段は屋上と 1 階を重ねて示し、下段は免震層下のピット等の記録である)。また各建物の応答最大値を表 9 に示す。これより、S 造 14 階建の T1 は上部で大きく増幅しているが、隣り合って建つ免震建物 T3、T4 では上部構造での増幅度合いが小さいことがわかる。加速度記録の積分から免震層の相対変位を算出すると、T3 は片振幅約 1cm、T4 は片振幅約 1.5cm となる。また T4 に設置されているけがき計の軌跡からも、ほぼ同程度の層間変形が確認できる。

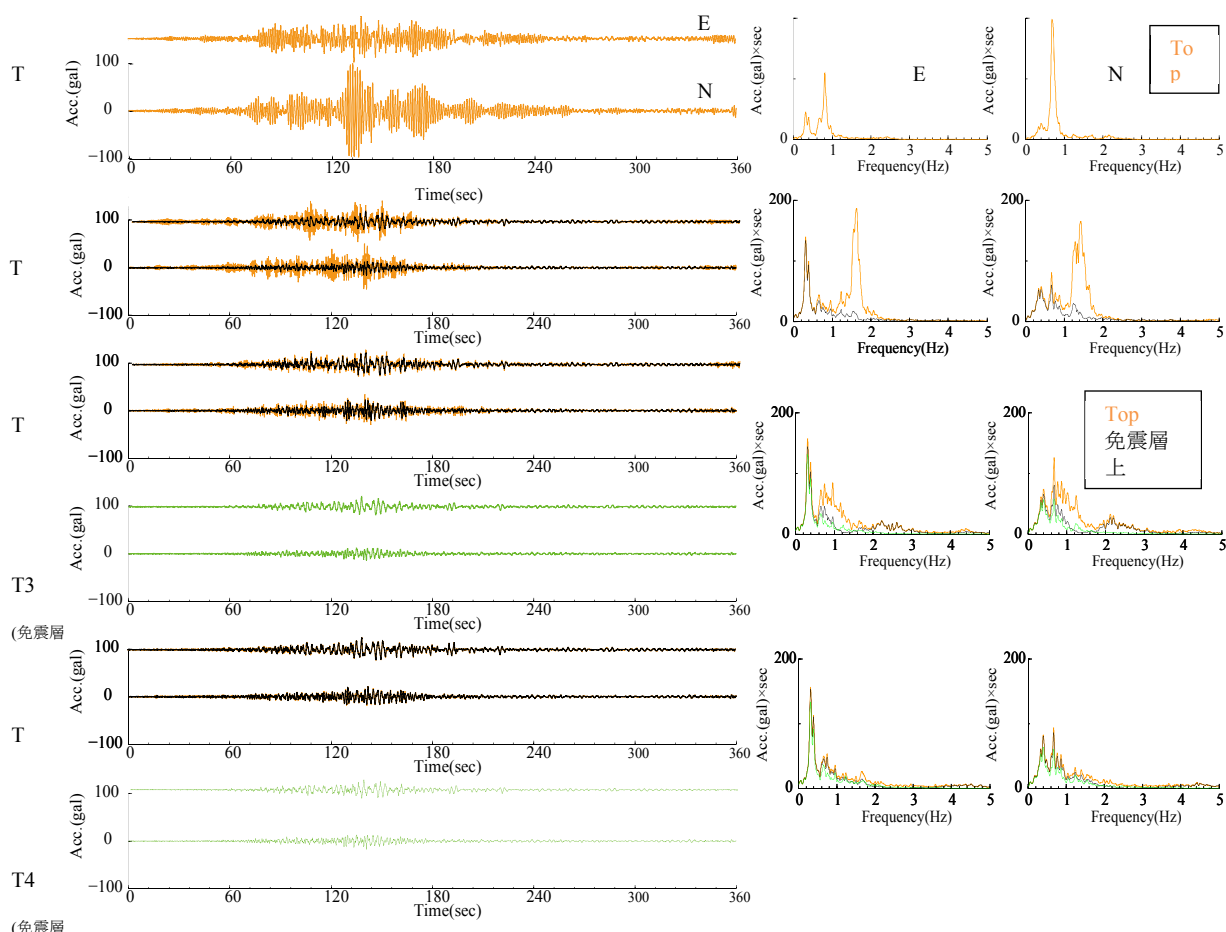


図 19 鶴舞キャンパス内の建物応答 (左: 加速度波形、右: 加速度フーリエスペクトル)

表 9 鶴舞キャンパス内の建物観測点の最大値・計測震度・データ長

記号	構造・階数	位置	最大加速度 (gal)			最大速度 (kine)			最大変位 (cm)			計測震度	データ長 (sec)
			EW	NS	UD	EW	NS	UD	EW	NS	UD		
T1	S14-2	14F	50	102	10	13.4	23.5	2.6	5.9	7.1	1.0	5.0	3440
T2	PC7	RF	44	50	8	9.9	8.8	2.3	4.3	2.7	0.8	4.2	3269
		1F	22	17	8	8.0	4.6	2.3	4.0	2.6	0.8	3.5	
T3	SRC7-2 免震	RF	30	34	7	11.1	7.6	2.1	5.2	3.2	0.8	3.8	499
		免震層上	25	24	8	8.6	5.3	2.1	4.7	2.9	0.8	3.6	
		免震層下	21	15	8	8.0	4.5	2.1	4.0	2.7	0.8	3.5	
		GL-1m	19	18	8	7.8	7.1	2.2	3.6	3.5	0.8	3.5	
T4	SRC4 免震	4F	26	23	7	9.2	6.2	2.2	4.8	3.0	0.8	3.7	933
		免震層上	25	22	7	8.9	6.1	2.2	4.8	2.9	0.8	3.6	
		免震層下	21	17	7	7.9	4.7	2.2	4.0	2.7	0.8	3.5	
		GL-1m	22	22	7	7.8	5.3	2.2	4.0	2.5	0.8	3.5	

c) 名古屋市内の鉄塔の応答

図 20 に名古屋市市内での鉄塔における加速度記録とフーリエスペクトルを示す。対象構造物は高さ 138m、センサ設置位置の展望台は高さ 90m にある。今回の地震では対象物直下の地盤の記録が取れなかったため、記録の取れた周辺の地盤観測点での値と比べたが、大きく増幅していることを確認した。フーリエスペクトルのピークなどから、対象構造物の一次固有振動数は約 0.61Hz、高次モードの振動数は 0.79、1.42、1.62、1.91Hz と読み取れる。これらは、これまでに実施された振動実験・常時微動観測の結果とも対応している。

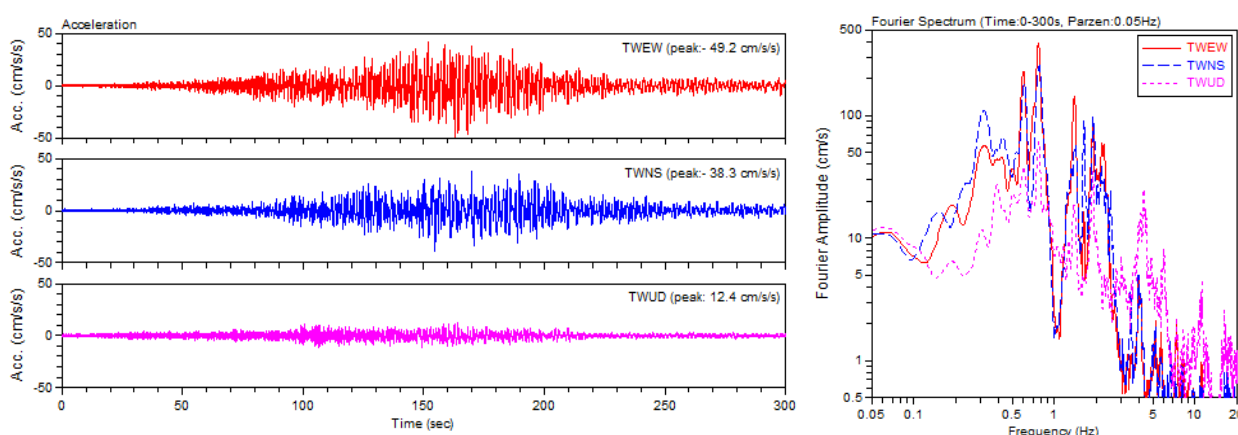


図 20 鉄塔の上部の波形とフーリエスペクトル（左図の横軸の 300 秒＝5 分に注意）

以上 a)～c)の建物の地震観測および記録の分析に関しては、首都直下地震研究で実施した E ディフェンスにおける高層建物実験のモニタリング成果、例えば、加速度記録の 2 階積分による変位の算定、固有振動数変化の分析などを活用した。

6) 東海・東南海地震における名古屋市内の高層建物応答

東海・東南海地震が連動発生した場合、名古屋市中心部では、深部地盤構造に依存した周期 3 秒前後の長周期成分が卓越した地震動が到達することが予想されている。また市内各区での地震動の浅部地盤による増幅特性は、前項で述べたように異なっている。こうした様々な地震動による建物への影響と設計時の地震力の妥当性を、応答解析による標準せん断力係数 C_0 で評価した。

図 21 に、東海・東南海地震の連動発生による名古屋市南部の地震動予測結果を擬似速度応答スペクトルにて示す。これにより西部の地点ほど長周期の成分が多く含まれることが明らかになった。また同図中に、鉄骨造 14 階建て（高さ約 60m、固有周期約 1.8 秒）に対する各地点の C_0 も示した。これより名古屋南西部の軟弱地盤地点では、地震の連動発生により、設計時に考慮した値の 2 倍程度の地震力を受ける可能性があることがわかる。一方、低層建物（3 階建）、中層建物（8 階建）は、震度 6 弱の地点に建っている場合、 $C_0=1.0$ の範囲におおむね収まり、現行設計基準の地震力程度を受けることがわかった。

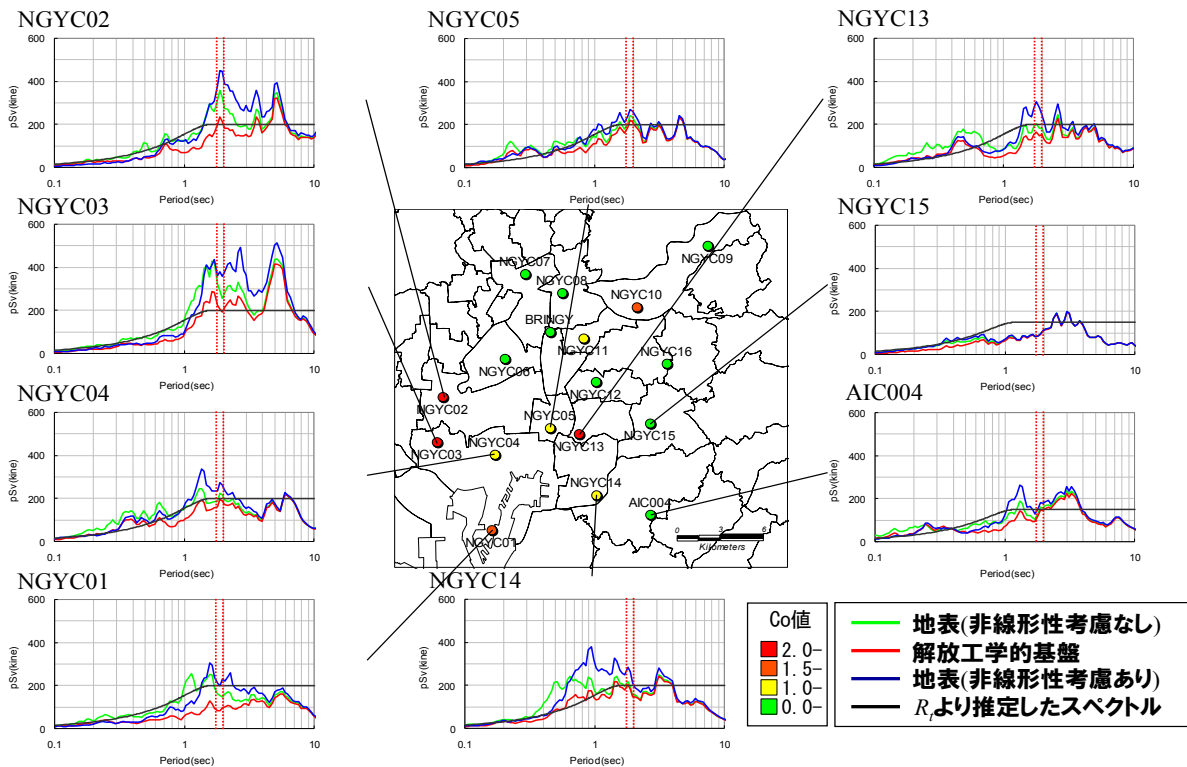


図 21 東海・東南海地震連動時の名古屋市南部の擬似速度応答スペクトルと 14 階建物（固有周期 1.8 秒）の標準層せん断力係数 C_0 の分布

7) 地域対応力からみた目標耐震化率

減災戦略の策定に向けて、災害発生時の地域社会対応力に関する基礎情報収集を行い、災害対応施設の充足度の検討を行うとともに、それらを扱う地理情報システムの開発を進めた。昨年度は、地震ハザードと人口・建物などから震度暴露人口、震度暴露建物棟数などを求め、社会への影響の評価を試みた。今年度は、その結果を用いて、地域対応力の充足度合いや、充足するために必要な施設耐震化率などを検討した。本節では具体的な一例として、災害時の火葬施設の充足度と、目標耐震化率について検討した。

南海トラフ 3 連動型地震における死者対応を考え、死者数と火葬能力の関係を、地域の耐震化率を変数として 85%、90%、95%、100%と変化させることによって検討した。すなわち、耐震化率を設定することで被害想定死者数が変化するので、その際に火葬対応が一定期限内に終わるかどうかなを確認した。

結果を表 10 に示す。ここで、緊急時最大火葬能力＝一日の最大火葬能力×0.7（災害によらない通常の死者の対応に 3 割、災害死者の対応に 7 割と仮定）、火葬必要日数＝死者数／緊急時最大火葬能力として計算した。耐震化率が 100% の場合は、静岡県を除く他の都道府県で火葬必要日数が 10 日未満であり、災害救助法で定められている 10 日以内に遺体の火葬を終えることができる。静岡では 18 日程度となり、余裕のある周辺自治体に依頼する必要がある。耐震化率 85% の場合は、静岡県は 40 日、高知は 13 日で、愛知、三重、徳島でも余裕がなくなる。また、耐震化率が 90% の場合は、静岡で 40 日→23 日、高知でも 13 日→6 日と半分程度に減少する。これらの知見をもとに、効果的な耐震補強の戦略を検討すべきである。

表 10 耐震化率による火葬能力の過不足

	対応指標 緊急時最大火葬能力	耐震化率(85%)		耐震化率(90%)		耐震化率(95%)		耐震化率(100%)	
		人的被害 死者(人)	火葬 必要日数	人的被害 死者(人)	火葬 必要日数	人的被害 死者(人)	火葬 必要日数	人的被害 死者(人)	火葬 必要日数
都道府県									
埼玉	211	22	0.1	7	0.0	5	0.0	3	0.0
千葉	228	1	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
東京	477	58	0.1	12	0.0	7	0.0	4	0.0
神奈川	230	171	0.7	96	0.4	81	0.3	66	0.3
山梨	48	168	3.5	95	2.0	84	1.7	73	1.5
長野	125	22	0.2	10	0.1	8	0.1	7	0.1
岐阜	203	85	0.4	45	0.2	40	0.2	34	0.2
静岡	206	8366	40.7	4746	23.1	4241	20.6	3782	18.4
愛知	367	2033	5.5	1079	2.9	949	2.6	828	2.3
三重	176	1058	6.0	473	2.7	411	2.3	355	2.0
滋賀	82	35	0.4	19	0.2	16	0.2	13	0.2
京都	140	47	0.3	23	0.2	20	0.1	16	0.1
大阪	272	575	2.1	291	1.1	252	0.9	212	0.8
兵庫	265	45	0.2	22	0.1	18	0.1	15	0.1
奈良	90	100	1.1	59	0.7	53	0.6	47	0.5
和歌山	126	342	2.7	135	1.1	116	0.9	99	0.8
岡山	180	30	0.2	9	0.0	7	0.0	4	0.0
広島	294	1	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
山口	175	1	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
徳島	78	378	4.9	148	1.9	129	1.7	117	1.5
香川	158	106	0.7	56	0.4	48	0.3	42	0.3
愛媛	193	252	1.3	117	0.6	101	0.5	87	0.4
高知	75	1013	13.5	469	6.3	409	5.5	356	4.8
大分	132	25	0.2	12	0.1	10	0.1	8	0.1
宮崎	67	2	0.0	1	0.0	1	0.0	0	0.0
合計	4597	14937	3.2	7926	1.7	7006	1.5	6166	1.3

8) ボーリングデータの収集データベースシステム

地震被害予測に有効な地域情報として、表層地盤データがある。自治体等が多数所有しているボーリング報告書を統一フォーマットでまとめてデジタル化し、わかりやすい地図システムで表示することにより、他の地域情報やハザードなどと一体になった相互運用体制ができる。図 22 に開発した表示システムの画面例を示す。立体表示はボーリングが地中に並んでいる状況をイラスト化し、オルソ処理をした空中写真を半透明で地表に重ねたものである。

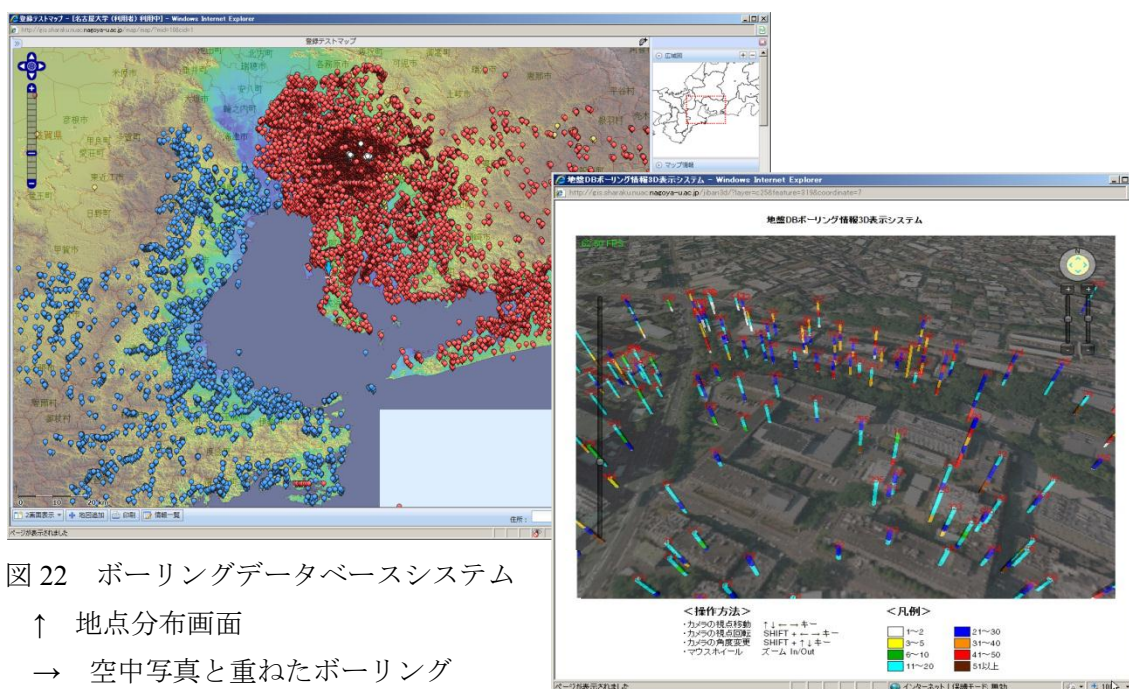


図 22 ボーリングデータベースシステム

- ↑ 地点分布画面
- 空中写真と重ねたボーリングデータの立体表示画面

(c) 結論ならびに今後の課題

昨年までに開発した擬似経験的グリーン関数法で工学的基盤の地震動を推定し、表層地盤は全応力非線形あるいは有効応力解析モデル化を行って、名古屋市内の代表地点の地表地震動を推定した。また地盤の非線形性を考慮した大規模群杭支持構造物の応答解析法を開発し、軟弱地盤上の大規模建物の地震応答評価法を整備した。

中低層建物の実際的な被害評価に向けて、昨年までに検討した学校建物と同様に、集合住宅に関する動的相互作用や耐震余力を考慮した地震応答解析モデルを開発し、阪神・淡路大震災の被害状況と比較して、実情を良く表現することを確認した。高層・免震などの長周期構造物の地震応答記録の分析を行うとともに、「首都直下地震研究」で得られた高層建物振動台実験の結果を活用して、長周期構造物の被害予測の基礎データを整備した。

減災戦略の策定に向けて、災害発生時の地域社会対応力に関する基礎情報収集を行い、火葬場を例に災害対応施設の充足度と、地域の耐震化推進による効果の検討を行った。また、このような検討の基礎となる地域の統合データバンク構築に向けて資料収集を進めた。さらに、行政のもつ地盤データをデジタル化し、地盤ベースシステムを構築するとともに、わかりやすい3次元表示のプロトタイプを作成した。

以上の検討の基礎資料として東海地域における地盤・建物の強震観測と記録の整理を継続し、平成23年3月11日東北地方太平洋沖地震を含む多数の地震記録を収集した。

以上により、広域・大規模地震災害時の建物や都市の挙動を高精度でシミュレートできる体制ができつつあり、一方でそのための基盤データを効果的に整理・蓄積する地域基盤データバンクの基礎も整いつつある。今後はこれらを有機的に統合して、地域対応力評価の検討を進めることが課題となる。

(d) 引用文献

- 1) Irikura, K. : Semi-empirical estimation of strong ground motions during large earthquakes, Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Vol.33, pp.63-104, 1983.
- 2) 高橋広人・福和伸夫・林宏一・飛田潤：地盤モデルに基づく2地点間の伝達関数と地震観測記録を用いた任意地点における地震動の推定，日本建築学会構造系論文集，No.609，pp.81-88，2006.
- 3) 岩田友孝・入倉孝次郎：観測された地震波から震源特性・伝播経路特性及び観測点近傍の地盤特性を分離する試み，地震第2輯，39，pp.151-156，1986.
- 4) 三宅弘恵・岩田知孝・入倉孝次郎：経験的グリーン関数法を用いた1997年3月26日(M6.5)及び5月13日(M6.3)鹿児島県北西部地震の強震動シミュレーションと震源モデル，地震第2輯，51，pp.431-442，1999.
- 5) 中央防災会議：東南海・南海地震等に関する専門調査会（第9回），2003.
- 6) 古山田耕司・宮本祐司・三浦賢治：多地点での原位置採取試料から評価した表層地盤の非線形特性，第38回地盤工学研究発表会，pp.2077-2078，2003.7.
- 7) 今津雅紀・福武毅芳：動的変形特性のデータ処理に関する一考察，第21回土質工学研究発表会，pp.533-536，1986.

- 8) Seed, H. B., Idriss, I. M. and Arango, I.: Evaluation of liquefaction potential using field performance data, J. of GT, Vol. 109, No. 3, pp.458-482, 1981.
- 9) 壇一男・佐藤俊明：断層の非一様すべり破壊を考慮した半経験的波形合成法による強震動予測，日本建築学会構造系論文集，No.509，pp.49-60，1998.
- 10) 武藤尊彦・他：名古屋市三の丸地区における耐震改修用の地震動作成（その2）想定新東海地震による強震動予測，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-2，pp.531-532，2004.
- 11) 吉田望・東畑郁生：YUSAYUSA-2 の理論と使用法，1991.

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国際・国内の別
改良地盤に支持された免震建物の振動特性に関する研究 その1 地震観測記録に基づく建物応答特性分析	護雅史 福和伸夫 飛田潤 後藤圭佑	日本建築学会学術講演梗概集，Vol.B2，pp.640-641，	2010.9	国内
改良地盤に支持された免震建物の振動特性に関する研究 その2 部分的な地盤改良が基礎応答に与える影響についての解析的検討	周方圓 護雅史 福和伸夫 後藤圭佑	日本建築学会学術講演梗概集，Vol.B2，pp.642-643	2010.9	国内
埋込み基礎の簡易的基礎入力動評価法	鈴木承慈 福和伸夫 護雅史 飛田潤	日本建築学会学術講演梗概集，Vol.B2，pp.664-665	2010.9	国内
基礎の浮上りに伴う振動方向間の応答連成効果を評価可能な地震応答解析モデルの構築	杉本浩一 護雅史 福和伸夫	日本建築学会学術講演梗概集，Vol.B2，pp.683-684	2010.9	国内
復旧・復興戦略策定のための地域対応力を考慮した地震災害定量化に関する基礎的研究（その1：手法提案と試算	池田政人 林孝幸 倉田和己 福和伸夫 護雅史 飛田潤	日本建築学会学術講演梗概集，Vol.B2，pp.843-844	2010.9	国内
復旧・復興戦略策定のための地域対応力を考慮した地震災害定量化に関する基礎的研究（その2：被害定量化）	林孝幸 池田政人 倉田和己 福和伸夫 護雅史 飛田潤	日本建築学会学術講演梗概集，Vol.B2，pp.845-846	2010.9	国内
軟弱地盤に立地する大規模群杭に支持された重要基盤施設の地震時損傷評価	護 雅史 周 方圓 福和伸夫	第13回日本地震工学シンポジウム	2010.11	国内

復旧・復興戦略策定のための地域対応力を考慮した地震災害定量化に関する基礎的研究	池田政人 林 孝幸 倉田和己 福和伸夫 護 雅史	第13回日本地震工学シンポジウム	2010.11	国内
継続時間の長い強震動の半経験的合成手法に関する研究	高橋広人 福和伸夫 護 雅史 飛田 潤	第13回日本地震工学シンポジウム	2010.11	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 （雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
国内免震建物のデータベース構築と現状分析	田中佑治 福和伸夫 飛田潤 護雅史	日本建築学会技術報告集，第17巻，第35号，pp.79-84	2011.2	国内
埋込み基礎の基礎入力動簡易評価法	鈴木承慈 福和伸夫 護雅史	日本建築学会構造系論文集，No.661，pp.535-541	2011.3	国内

マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果（記事タイトル）	対応者氏名	報道・掲載機関 （新聞名・TV名）	発表時期	国際・国内の別
「揺れの周期」から建物を守れ～進化する地震防災、サイエンスZERO	福和伸夫	NHK	2010.7.3	国内
新防災力、超高層直撃・長周期の揺れ	福和伸夫	朝日新聞大阪	2010.8.17	国内
大地震・目で揺れ体験 名古屋大HPに動くハザードマップ	福和伸夫	朝日新聞大阪	2010.8.17	国内
超高層直撃・長周期の揺れ	福和伸夫	朝日新聞名古屋	2010.8.31	国内
テレビ塔をゆらす実験	福和伸夫	NHK	2010.9.4	国内
ハザードマップで住まいの点検、地形から危険度を知る、防災減災	福和伸夫	読売新聞	2011.1.14	国内
長周期地震動と高層建物、おはよう日本	福和伸夫	NHK	2011.1.16	国内
巨大地震と未来の子供、視点・論点	福和伸夫	NHK教育	2011.1.17	国内

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

名称	機能
ボーリング資料データベース及び表示システム	自治体等が多数所有しているボーリング報告書を統一フォーマットでまとめてデジタル化し、わかりやすい地図システムで表示

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 23 年度業務計画案

前年度までに算定した名古屋市域の強震動予測結果と、建物の実耐力を表現できる建物地震応答解析モデルを用いて、学校・集合住宅などの地震応答解析を実施し、都市域の鉄筋コンクリート系の建物の被害分布性状を明らかにする。その際に、基礎－地盤間の局所的非線形性（浮上り・剥離・滑動など）の影響についても検討する。あわせて、高層建物を対象とした建物周期と地盤周期の関係に着目した地震応答解析、および軟弱地盤に立地する群杭支持大規模構造物の地震応答解析を実施する。以上の地盤・建物の応答解析と被害予測のために、地域の地震観測とデータ収集・整理を継続する。また、災害発生時の地域社会対応力について、基礎情報収集と分析・評価システムの開発を継続するとともに、これまでの調査・分析結果に基づいて、医療、建設などに関する評価を試みる。

3.4. 将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定

目 次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5ヵ年の年次実施計画
- (e) 平成22年度業務目的

(2) 平成22年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
 - 1) 地域類型手法の構築
 - 2) 2030年の地域類型
 - 3) リージョナルクラス都市における復旧・復興戦略
 - 4) 将来の地域類型を踏まえた社会影響の総合評価
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

(3) 平成23年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
京都大学防災研究所	准教授	牧 紀男	maki@drs.dpri.kyoto-u.ac.jp
京都大学防災研究所	助教	鈴木 進吾	
岐阜大学工学部社会基盤工学科	教授	能島 暢呂	
立命館大学文学部	准教授	中谷 友樹	
長岡造形大学造形学部	准教授	澤田 雅浩	
建築環境デザイン学科			
宇都宮大学大学院工学研究科	助教	佐藤 栄治	

(c) 業務の目的

人口減少社会を踏まえた防災対策、災害対応、復旧対策のあり方の検討を行うために、被災地域の社会状況についてのシミュレーションを実施し、シミュレーション結果に基づき災害対応、復旧・復興プロセスの明確化、重要社会基盤施設が被災した際の「影響評価」手法を開発する。加えて、復旧・復興時に発生する大きな余震に備えた、緊急地震速報の利用方策を提案する。また、地震地殻変動による紀伊半島や四国の海岸線の沈降や、大阪での河川の津波遡上により引き起こされる複合災害の影響を評価する。

(d) 5カ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成20年度：

東南海・南海地震で被災する東海・関西・四国地域の社会状況（人口、経済、社会構成等）、被害想定結果に関するデータ収集を行い将来の社会状況のシミュレーションを実施するための基礎的な GIS データベースの構築を行った。具体的には「大大特プロジェクト」で実施した紀伊半島地域についての同様のデータベースの構築を東海、四国地域についても実施した。また、人口減少社会における復旧・復興プロセスの明確化を目的に 2004 年中越地震、2007 年能登半島地震、中越沖地震の復旧・復興プロセスに関するデータ収集を行った。さらに、重要社会基盤施設が被災した際の「影響評価」を行うための基礎的な考察として、検討すべき「影響」の明確化を行った。

2) 平成21年度：

平成20年度に構築した社会状況 GIS データベースおよび地域研究会での議論に基づいて、南海トラフ地震の推定被災地域の地域特性の分析を行った。また、中山間地域については、重要な課題として取り上げ、規範となる復旧・復興プロセスの策定を進めた。さらに、重要社会基盤施設としての発電施設について、その施設被災による地域への影響評価を行うと共に、津波による長期湛水被害後の

復旧・復興戦略に関する調査研究を行った。

3) 平成 22 年度 :

平成 21 年度までに構築した社会状況 GIS データベース、および地域研究会での各地の社会対応力に関する議論に基づいて、将来の社会状況シミュレーションに必要となるデータを整備し、地域類型手法を完成させた。本モデルを用いて、東南海・南海地震の被災地域における将来の社会状況を反映した地域類型明確化するための、シミュレーションを実施した。これをもとに、中山間地域に引き続き、日本全体に影響を与えうるリージョナルクラス都市を対象として復旧・復興シナリオの検討を行った。また、連動発生シナリオにもとづき、東南海・南海地震が 2030 年に発生した場合について被災地域が社会全体に与える影響を総合的な検討を行った。

4) 平成 23 年度 :

将来の社会状況シミュレーションについては、将来人口に基づく地域類型モデルを高度化させ、東南海・南海地震の被災地域における将来の社会状況についての類型化シミュレーションを実施する。復旧・復興シナリオについては、ナショナルクラス都市についての検討を行う。また、「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」の成果も統合し、東南海・南海地震が将来に発生した場合の被災地域の社会にあたる影響についての高精度化を行う。

5) 平成 24 年度 :

平成 23 年度に東南海・南海地震が将来に発生した場合の被災地域の社会にあたる総合的な影響の結果を基に、地域類型にもとづく復旧・復興シナリオの明確化を行う。また、「連動型巨大地震による強震動の高精度予測」の地殻変動の影響を踏まえ影響評価の修正を実施する。さらに、一般市民が理解できる形式で物理的被害→社会の影響→復旧・復興シナリオから構成される東南海・南海地震が被災地域にあたる影響の全体像の明示を行う。

(e) 平成 22 年度業務目的

平成 21 年度までに構築した社会状況 GIS データベース、および地域研究会での各地の社会対応力に関する議論に基づいて、将来の社会状況シミュレーションに必要となるデータを整備し、地域類型シミュレーションモデルを完成させる。本モデルを用いて、東南海・南海地震の被災地域について将来の社会状況シミュレーションを実施し、当該地域の地域類型を明確化する。これをもとに、中山間地域に引き続き、日本全体に与える影響が大きいリージョナルクラス都市を対象として復旧・復興シナリオを検討する。また、将来の地域類型を踏まえた社会影響の総合評価を行う。

(2) 平成 22 年度の成果

(a) 業務の要約

平成 22 年度での成果は、以下のとおりである。

1) 平成 21 年度までに構築した社会状況 GIS データベース、および地域研究会での各地の社会対応力に関する議論に基づいて 1995 年阪神・淡路大震災、2004 年新潟県中越地震の被災地域に対し、平成 21 年度に検討を行った地域類型手法を適用し、妥当性の検討を行なった。その結果、地域類型手法が様々な地域においても適応可能であることを明らかにした。

2) 上記のとおり妥当性が検証された地域類型手法を用い、東海・東南海・南海地震により影響を受けるエリアについて、2005 年の国勢調査結果に基づいた 2030 年の地域類型シミュレーションを行い、当該地域の将来の社会状況を反映した地域類型を明確化した。

3) 東海・東南海・南海地震が発生した場合、東京・大阪・名古屋といったナショナルクラス都市に次ぐ規模の都市で、日本全体に与える影響が大きいリージョナルクラス都市として浜松市を選定し、研究者・行政職員が参画するワークショップを開催した。ワークショップでは、重要社会基盤施設の被害の社会的影響を考慮しながら災害対応・復旧・復興戦略を策定するための基礎的な検討を行った。

4) 連動発生シナリオで大きな被害を受ける地域を対象に、2005 年と 2030 年の地域類型を比較し、大都市圏の周縁地域が「持続型」から「依存型」へと変化すること、紀伊半島・四国の中山間地域で「無人化」する地域が数多く存在することを示した。その一方で、紀伊半島・四国・中国山地といった著しい人口減少と少子高齢化が進む地域においても、地方の中心都市には「持続型」の地域が存在し、2030 年において地域の核となる場所は存続しうることを明らかにした。

(b) 業務の成果

1) 地域類型手法の構築

a) 社会状況シミュレーションの妥当性検証

平成 21 年度では大阪府と和歌山県を対象として、国勢調査地域メッシュ統計（1990~2005 年）の人口構成に基づいて、地域類型手法の開発¹⁾を進めた。本年度は、大阪府・和歌山県を対象とした手法を他地域に適用し、手法の妥当性を検証した。検証対象とした地域は 1995 年の阪神・淡路大震災及び 2004 年の新潟県中越地震での被災地とし、当該地域を図 1 に示す 3 地域類型に分類した。さらに、被災地における災害前の地域特性と、人口回復とかかわる災害復興事業、復興後の地域特性の関係について分析した。

図1 地域類型とその特徴²⁾

地域人口特性	1990年	1995年	2000年	2005年	変動特徴
持続類型					団塊世代と団塊ジュニアが主要な世代群であり若年働きの人口も続けて移入し、継続的に人口増加が見込める地域
依存類型					大学等の高等教育機関や就業先が無いため20~30代前半が他地域へ流出する、後期高齢者の拡大といった要因により人口の増加が期待できず、衰退して行く可能性のある地域
限界類型					1925-30年生まれの世代が中心であり、高齢者以外の世代の地域外への流出が顕著で、地域の維持が困難になる可能性がある地域

b) 1995年阪神・淡路大震災での被災地についての復興状況分析

1995年阪神・淡路大震災の被災地について、震災の影響が大きかった神戸市、芦屋市、西宮市を対象として社会状況シミュレーションを実施した。シミュレーションは、1990年、2005年の国勢調査における地域メッシュ人口統計データに基づいて実施した。震災直後の1995年の国勢調査のデータは、震災の影響を受けて、地域本来の人口特性を表わすものとはなっていないと考え、考慮しないこととした。

図2に、被災前の1999年の人口統計に基づく地域類型結果を示す。地域人口特性が依存類型を表したメッシュ（黄色）は主に中央区、兵庫区、長田区、須磨区の南部（以下、本須磨）に集中する。港湾施設が多く集まる湾岸域やポートアイランド、六甲アイランド、六甲山では、住宅地域では無い地域を含むため人口構成が一般市街地と異なり、限界類型のメッシュ（赤色）がある。それ以外の地域では、持続類型（緑色）メッシュが支配的である。

図3に、災害発生から10年目にあたる2005年の人口特性に基づく地域類型を示す。灘区から西宮市、芦屋市までの地域では、持続類型を維持した状態のメッシュが8割以上である。中央区や長田区の南部（以下、長田南）、本須磨では、依存類型から持続類型へと変化したメッシュがある。一方、兵庫区と長田区では、依存類型のまま変化しないメッシュが8割程度を占める。また、須磨区の北部（以下、北須磨）では、持続型から依存型へ変化しているメッシュがある。

図4は、2005年の1990年に対する人口変動率である。青いメッシュは人口が増加した地域を示し、灰色のメッシュは人口が減少した地域を示す。濃い色のメッシュは、顕著な人口増加・減少が発生した地域である。図2と図3の比較から、震災前に持続類型であった灘区、東灘、芦屋市、西宮市では人口が増加しているが、依存類型を表したメッシュが7割以上を占める兵庫区、長田区、本須磨では人口が減少している。また、中央区では依存類型のメッシュがあり、震災復興後の人口が増加している場所がある。

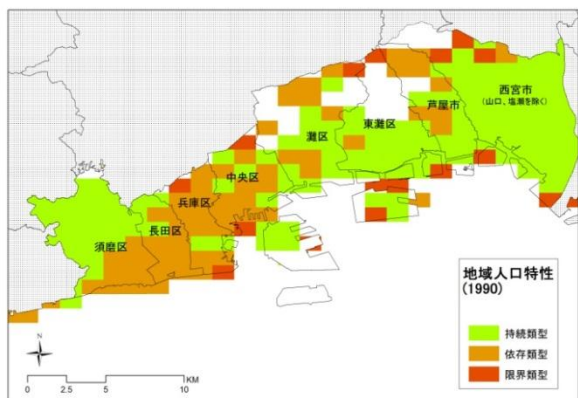


図2 震災前（1990）の地域類型

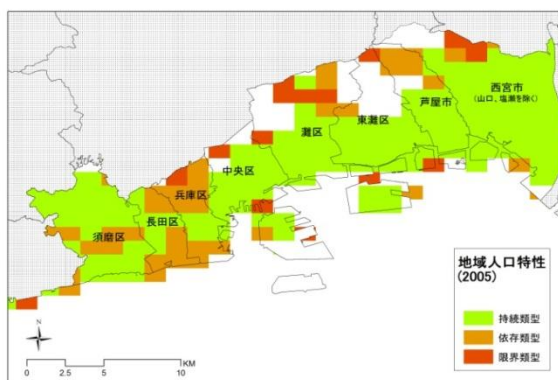


図3 震災後（2005）の地域類型

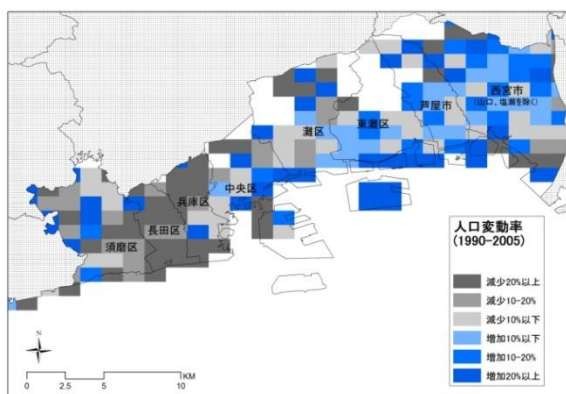


図4 被災地の人口変動率分布(1990-2005)

図5は、1990年（図2）と2005年（図3）の地域類型を比較し、地域類型変化を示したものに、復興事業をあわせて示したものである。

図5をみると、灘区、東灘区、芦屋市、西宮市は、そのままであれば15年間に地域の人口構成が高齢化して依存類型に近づくはずであるが、阪神・淡路大震災の影響を受けた後にも持続類型を維持した。この地域には若年層が持続的に流入したと考えられる。これは、例えば、西宮市の事例調査では、古い住宅が倒壊した跡地に建てられた新設分譲マンションに若年層が転入し、それが地域の人口の回復に寄与していること、を記している。すなわち、この地域が持続類型を維持しているのは、震災により古い住宅が倒壊し、そこに、新しい集合住宅が建設されたことが、世代交代が進んだことが一因と考えられる。

図5に示した災害復興公営住宅の分布から、兵庫区や長田北では多くの復興公営住宅が建てられたが、地域人口特性も依然として依存類型を維持した。また、北須磨では、持続類型から依存類型に変化し、地域内の人口も減少した。これらの地域では市街地が衰退した状態となっている。その要因として、これらの地域では、若年層の流出が継続していること、同時に従前の居住者が高齢化していること、さらには新しい入居者も高齢世帯であること、が考えられる。

長田南と本須磨には、震災前の依存類型から震災後の持続類型へ変換するメッシュが多く存在し、土地区画整理事業・市街地再開発事業の実施地域と重なる。これらの地域では、事業の再開に長い時間がかかるため人口は減少しているが、若年層が多く流入する事により、持続類型へと地域類型が変

化した。持続的な地域へと変わること、将来的な観点から見た人口減少に対する課題解決が図られ、都市計画事業は有効であると考えられる。

震災前の中央区は、年間人口が 1990 年から連続して減少し、依存類型の地域が多く分布する衰退市街地であった。しかし、図 5 から分かるとおり、震災後には、区内の多くの地域が震災後に依存類型から持続類型へと転じ、人口も増加している。これらの地域では土地区画整理事業・市街地再開発事業は実施されておらず、また、災害復興公営住宅の建設も少なかった。しかし、分譲マンション住宅が多く新築された。大量の民間資金投入によって、地域全体の都市更新が行われた結果、地域類型が変化したと考えられる。

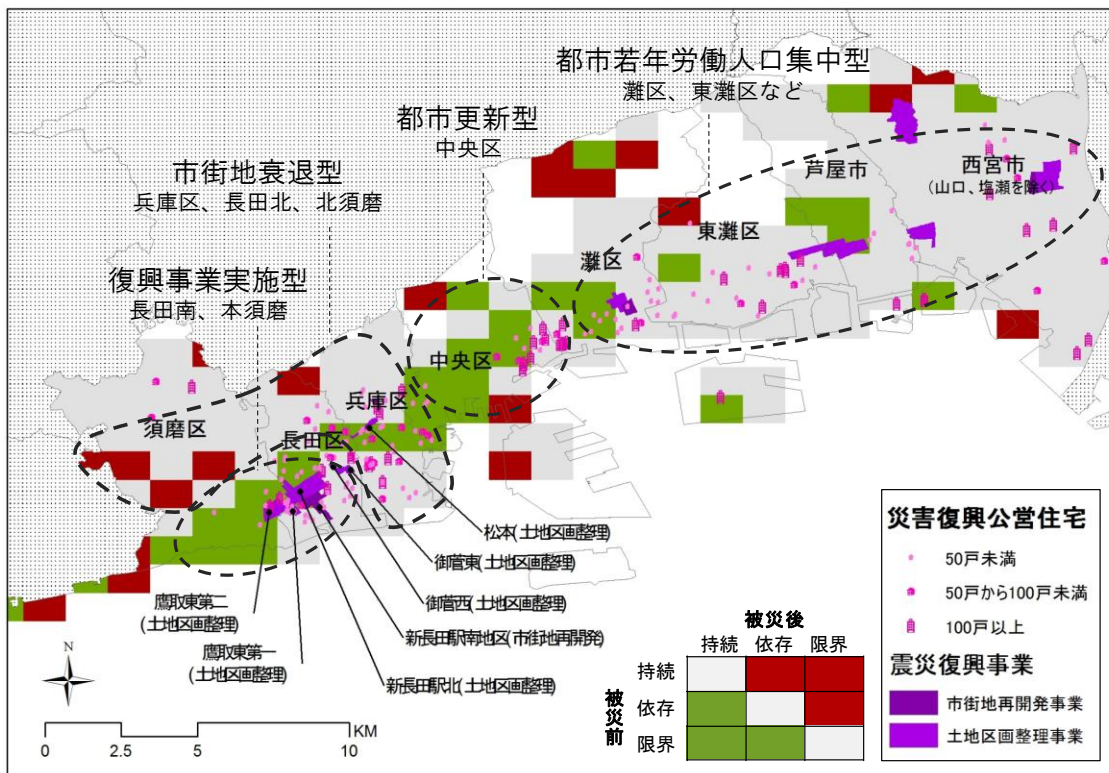


図 5 被災前・後の地域人口特性の変動及び震災復興事業・災害復興公営住宅分布図

以上のとおり、1995 年阪神・淡路大震災の被災地での復興状況の分析に、平成 21 年度開発を進めた地域類型手法による社会状況シミュレーションが有効であることが確認できた。

c) 2004 年新潟県中越地震での被災地についての復興状況分析

2004 年 10 月 23 日に発生した新潟県中越地震では、小千谷市、旧山古志村旧川口町などで大きな被害が発生し、人口減少と高齢化が進む中山間地域における復興が大きな問題となった。図 6 と図 7 は、2000 年と 2005 年の人口構造に基づく地域類型結果である。灰色の地域は、応急仮設住宅入居等の震災の影響を受けている地域であり、分析の対象から除外している。図 8 は、各地域の被災前 (2000 年)・後 (2008 年) の人口変動率を示したものである。灰色の地域 (75 箇所) は、2008 年現在、2000

年と比較して人口減少している地区である。他方、青色地域（17箇所）は人口が増加している地区を示す。人口が減少した地区の内、黒い地域（小千谷市・十二平集落を含む2カ所）は無人化している地域を示している。

図8によると小千谷市・城内地区の周囲、旧越路町・来迎寺を含む周辺地域、旧川口町の西川口では人口が増加している。こうした地域の多くは図6では持続類型に属する。すなわち、1995年阪神・淡路大震災の被災地と同様、災害前に持続類型であった地域は災害後も人口増加の傾向にある。一方で、依存類型・限界類型の地域では人口が減少した。なお、新潟県中越地震の被災地域については2005年の国勢調査実施時は避難している世帯が多い事もあり、正確な分析を行うためには2010年の国勢調査の結果を待つ必要がある。

以上のとおり、2005年新潟県中越地震による被災地の分析においても、開発した地域類型手法による社会状況シミュレーションが有効であることが確認できた。前記検証とともにb)阪神・淡路大震災に対する検証をあわせて鑑み、本手法は他地域においても適応可能であると判断する。

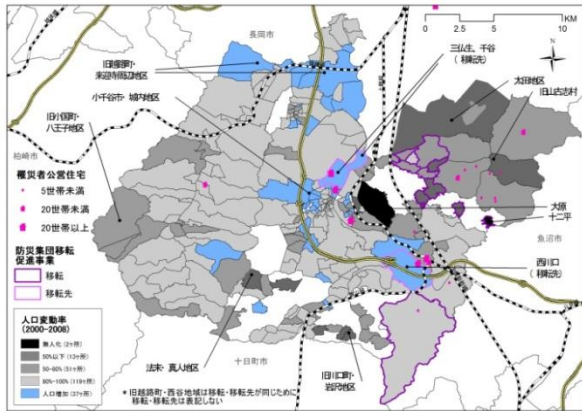


図6 人口変動率（2000-2008）

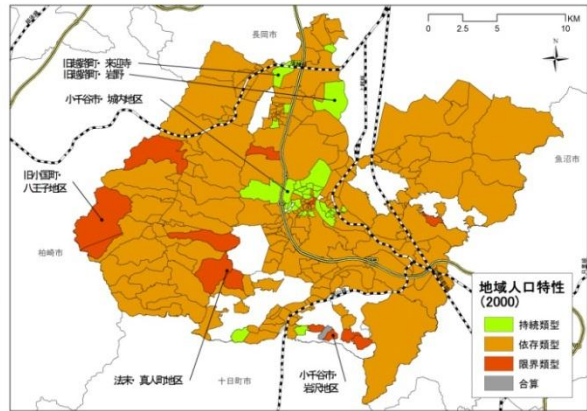


図7 被災前の地域類型(2000)

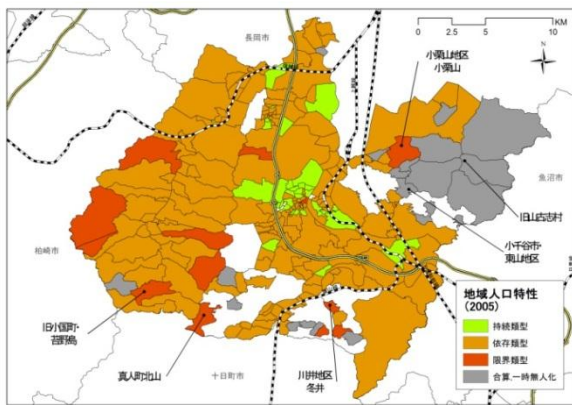


図8 災害後の地域類型（2005）

2) 2030年の社会状況シミュレーション

a) 2005年の地域類型

前記にて検証を行った地域類型手法に基づき東海・東南海・南海地震の影響を受ける地域を対象に地域類型を実施した。図9に2005年の国勢調査結果を基にした結果を示す。2005年時点では、大都市圏においては持続型の地域が中心である。また、地方中心都市（コミュニティークラス都市）においても中心部は持続型である。一方、中国地方・紀伊半島・四国の中山間地の多くは、限界型、無人である。

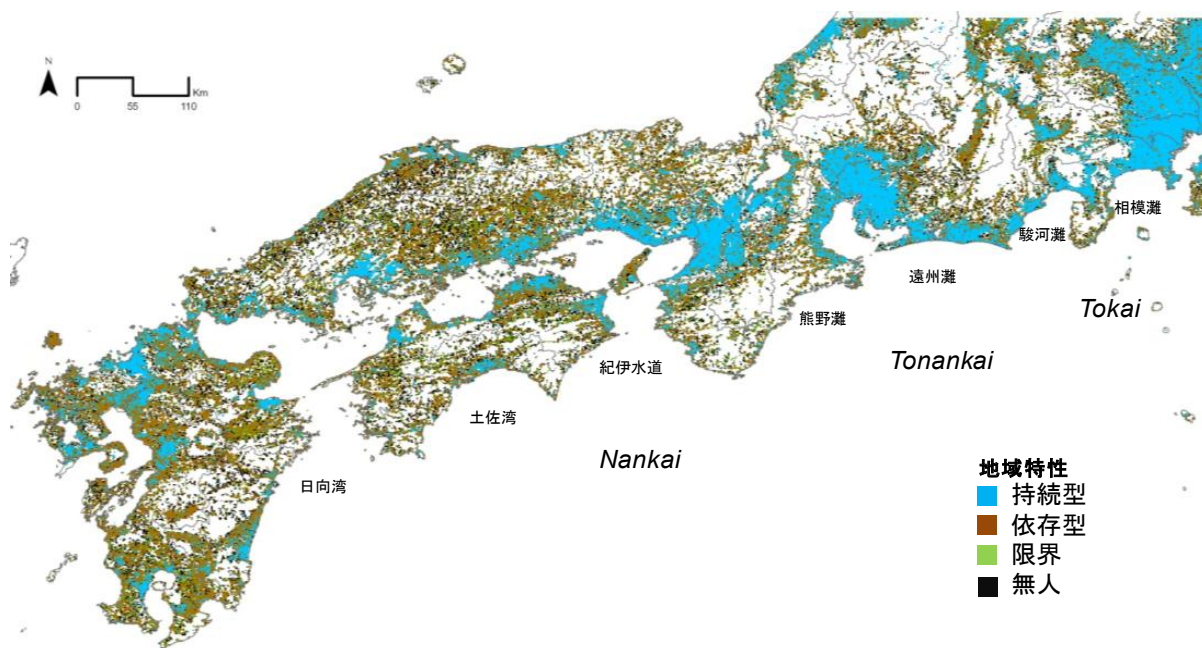


図9 2005年の地域類型

b) 2030年の地域類型

東海・東南海・南海地震により影響を受ける地域について、2005年の国勢調査データをもとに、2030年の社会状況シミュレーションを行った。実施に当たって、まず1km×1kmメッシュごとに、1) 現在の住民が15歳年をとる、2) 今後産まれてくる人を加算する、3) 死亡する人数を推計する、4) 流入・流出人口を加除する、と仮定する「コーフォート要因法」と呼ばれる方法で人口推計を行った。さらに推計した人口分布に対し、開発した地域類型手法を適用し、2030年の地域類型を行った。その結果、持続型の地域が減少し、さらに中山間地域において限界型・無地化する地域が多く存在することが明らかになった。より詳細な分析は次年度以降継続して行う予定である。

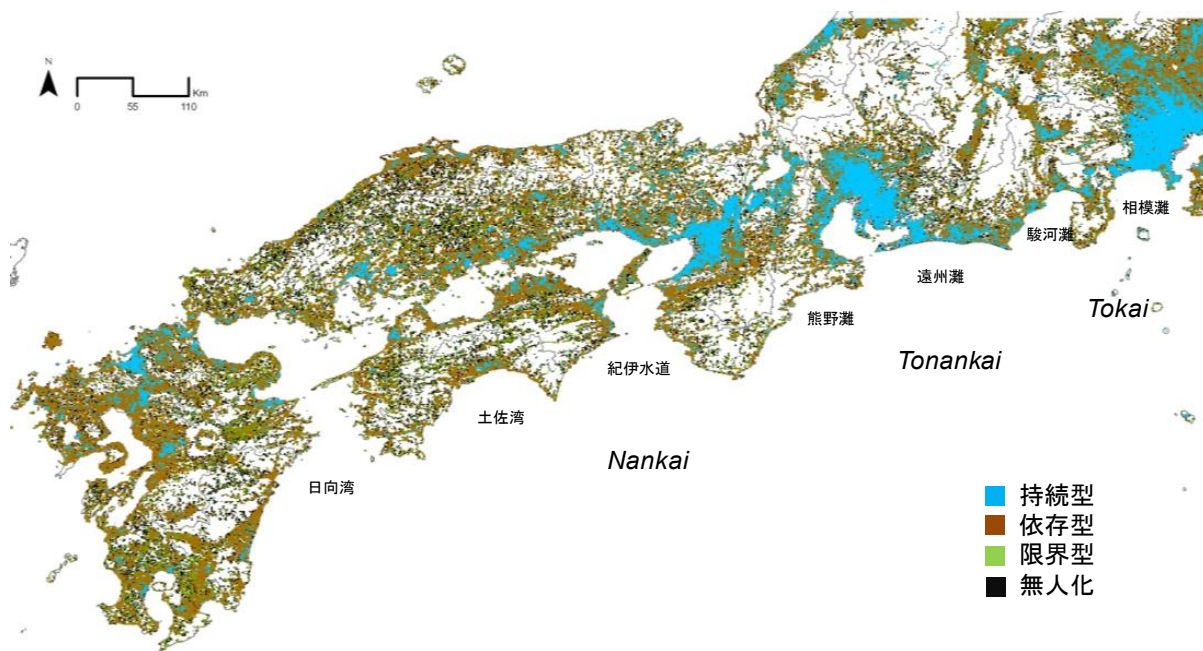


図 10 2030 年の地域類型

3) リージョナルクラス都市における復旧・復興戦略

a) 浜松市におけるワークショップの概要

東海・東南海・南海地震によって被害を受けると想定されるリージョナルクラス都市の一つである、浜松市において地震発生後の緊急対応、応急対応、復旧・復興対応に関わる検討を行うワークショップを実施した。

開催日時と場所：2010 年 12 月 7 日（火）13 時～17 時

開催場所：浜松市危機管理課会議室

開催目的：防災専門家と地域の専門家である浜松市職員が共同で、東海・東南海・南海地震発生時の災害対応、復旧・復興に関する業務を明らかにする。

実施方法：東海・東南海・南海地震発生時の浜松市の震度情報、重要社会施設、企業立地を重ねあわせた図をもとに、どういった被害・社会的影響が発生するのかを把握し、それらに対する対策案を策定し、それをカードに記述する。また対策案を構造化し、整理する。

参加者：計 11 名

プロジェクト側（5 名）

牧紀男（専門：災害対応、避難、復旧・復興）：京都大学防災研究所准教授

池田浩敬（専門：復旧・復興）：富士常葉大学教授

澤田雅浩（専門：復旧・復興）：長岡造形大学准教授

鈴木進吾（専門：津波）：京都大学防災研究所助教

陳海立（専門：防災）：京都大学研究員

浜松市（6 名）

危機管理課 2 名、都市計画課 1 名、産業政策課 1 名、土木課 2 名

実施プログラム：

- 13:00-13:15 災害後の復旧・復興プロセスー阪神・淡路大震災の事例からー (牧)
- 13:15-13:30 高知の事例の紹介と本日の進め方 (牧)
- 13:30-14:30 緊急対応について考える (共同作業)
- 14:45-15:45 応急対応について考える (共同作業)
- 16:00-17:00 復旧・復興について考える (共同作業)



写真1 ワークショップの風景

2) ワークショップの成果

ワークショップにおいては、緊急対応（～100時間）、応急対応（～1000時間）、復旧・復興という災害対応の各段階において必要な対策を抽出・整理を行った。

緊急対応については、浜松市独自の対策として、工場が多く立地するために「工場からの有害物流出への対応」、新幹線・名神高速が通っていることから「通過交通における人的被害への対応」、また市町村合併により山間部も市域に含む事となったことから「山間部の土砂災害への対応」という項目が抽出された。しかしながら、100 時間までの災害対応の主たる目的は「命を守る」という事にあり、内容としては前年度実施した高知県での結果をほぼ同様のものとなった。図 11 に緊急期の対応項目を示す。

応急対応については、浜名湖にかかる橋梁に沿ってガスのパイプラインが切断された場合の「ローリーでのガス輸送」対応、また企業の業務再開支援対応という項目が浜松市独自の対応として抽出された。

復旧・復興対策については、本社機能が浜松市にあるヤマハ、スズキといった大企業本社の移転防止が挙げられた。さらには具体的対策を出すには至らなかったが、リニアが建設されることを見据えた新幹線の復旧対策についての議論も行われた。

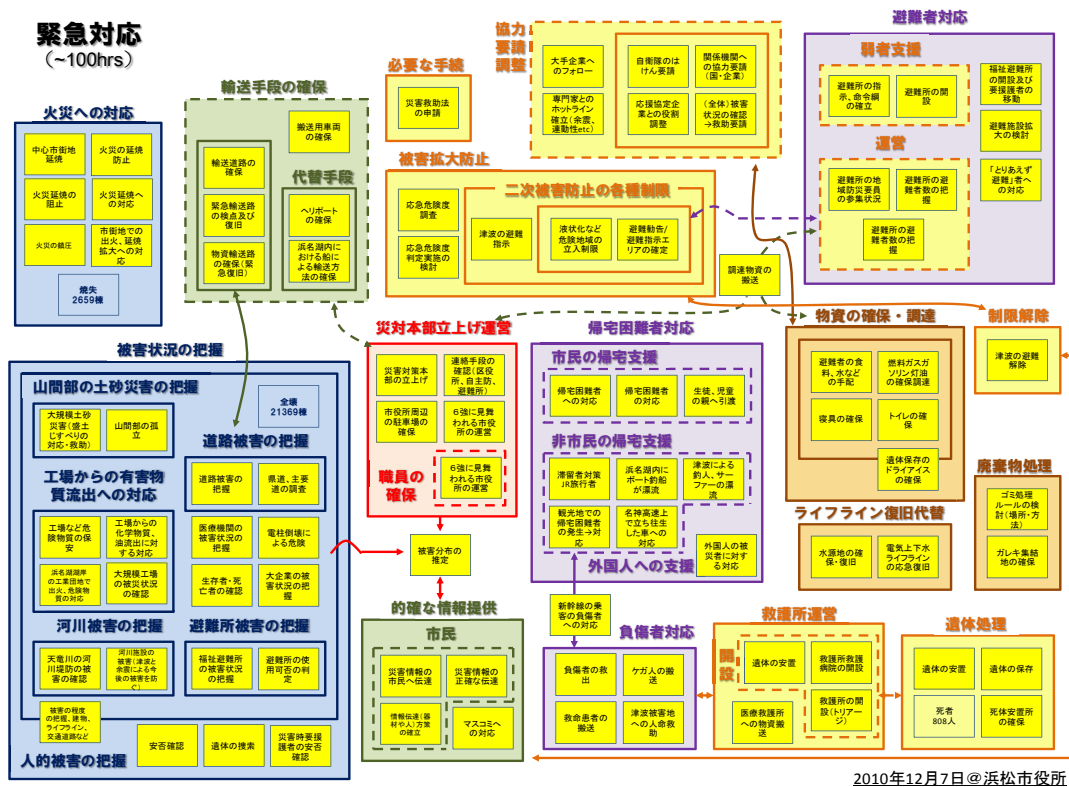


図 11 緊急対応期の対応

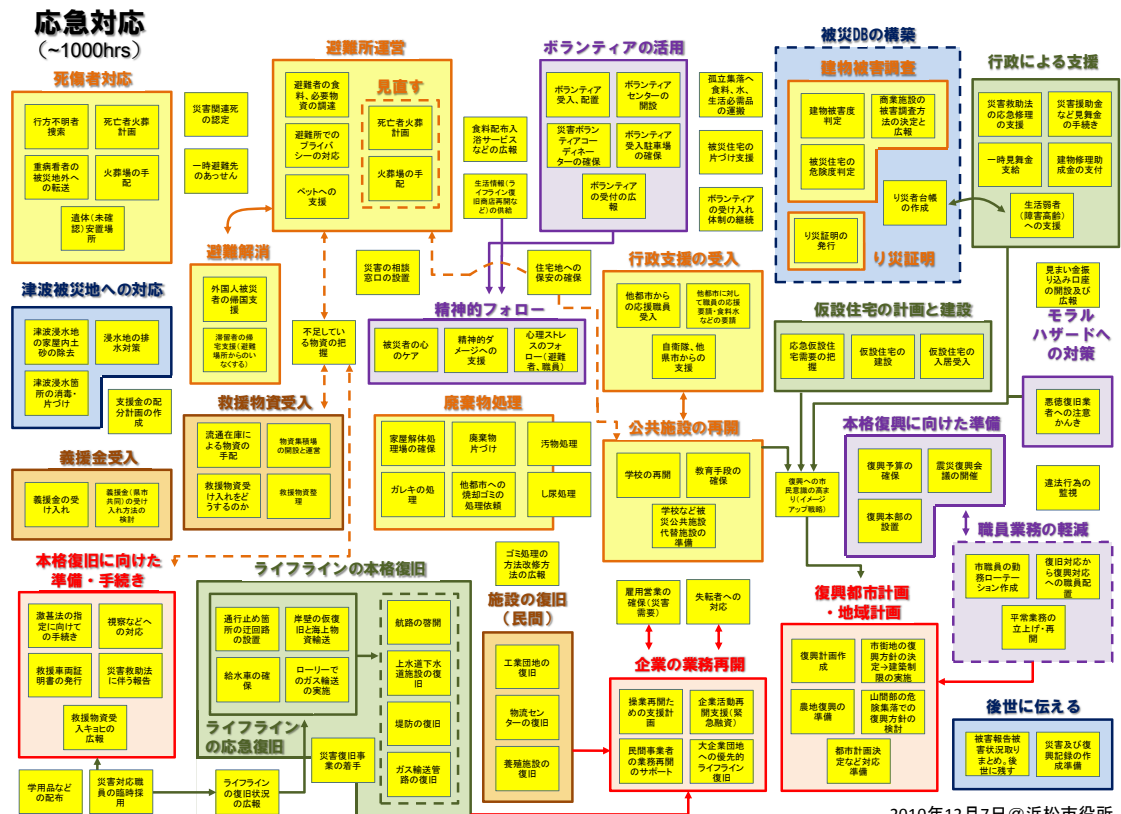


図 12 応急対応期の対応

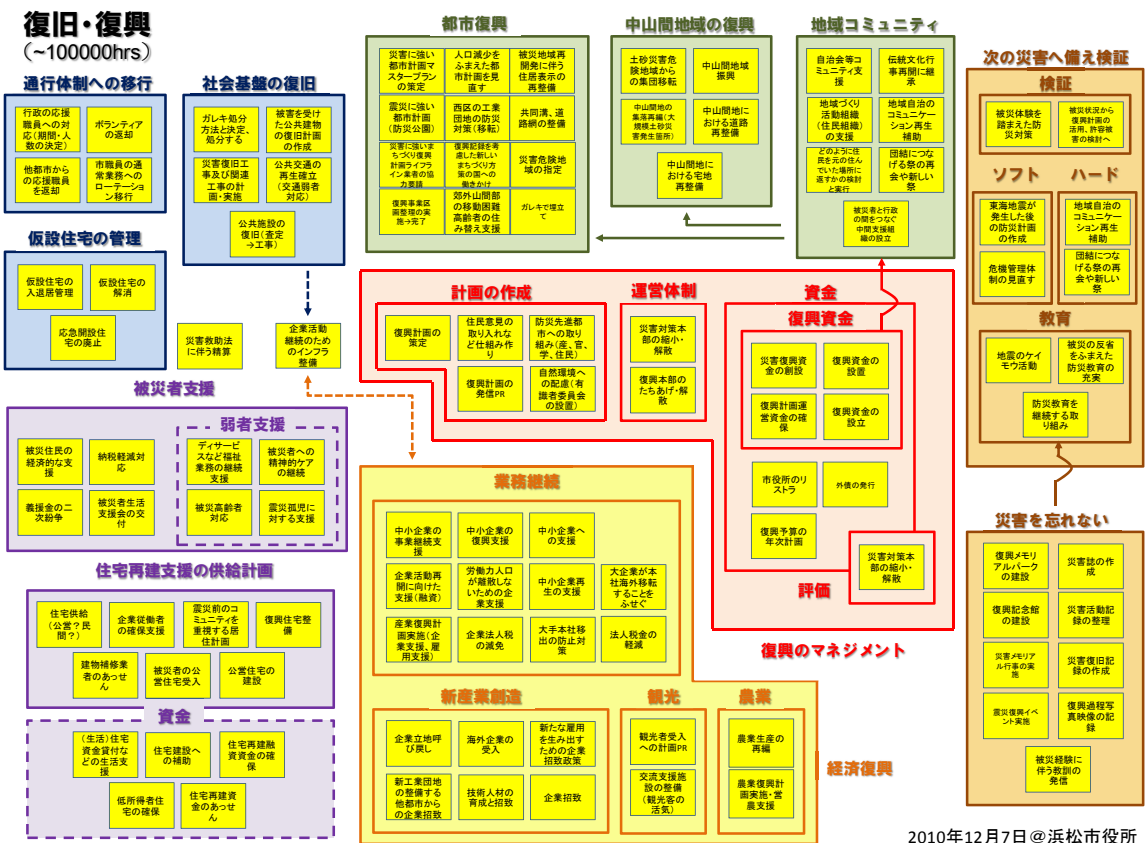


図 13 復旧・復興期の対策

4) 将来の地域類型を踏まえた社会影響の総合評価

図 10 に示した 2030 年の人口推計結果に基づいた地域類型を、図 9 に示した 2005 年の地域類型と比較した結果を図 14 に示す。東京・名古屋・大阪といった大都市圏の周縁地域は「持続型」から「依存型」へと変化する。また、紀伊半島・四国・中国山地でも、地方中心都市には「持続型」の地域が存在し、2030 年においても地域の核となる場所は存続すると考えられる。こうした地域においては、復旧・復興を担う若い世代が少なくとも存在する。

一方、著しい人口減少と少子高齢化が進む紀伊半島・四国の中山間地域では、このまま人口が推移していくと、「限界型」の地域で今後も人口減少が継続し、将来的に「無人化」していく事、また現在は「依存型」の地域でも今後「限界型」「無人化」していく事が予想される地域が広く存在する。こうした無人化が進みつつある地域では、今後、地域を支える若い世代がおらず、居ない高齢者だけで、復旧・復興を進めていかなければならない。そういった状況においても、現在考えているような、元に戻す、さらには災害前より良い状態にするという復旧・復興が果たして適当なのかどうか議論する余地がある。

災害からの復興には 10 年以上の長い時間が必要となる。復興を考える場合には、復興の完了時の社会の姿を想定して事業を進める必要があり、東海・東南海・南海地震が 2030 年に災害が発生したとすると 2040-50 年の地域の姿を念頭において復興を考える必要がある。しかし、現在の計画では復旧・復興は、全国一律に対策にて実施するという事になっており、地域によって復旧・復興のあり方を変えるという事は行われていない。今世紀前半の人口減少・少子高齢化という現実を踏まえると全国一律ではなく地域の現状を踏まえ、「限界型」「無人化」していく地域からは撤退し、「持続型」の地域を地域のコアとするような復旧・復興戦略が必要であると考えられる。

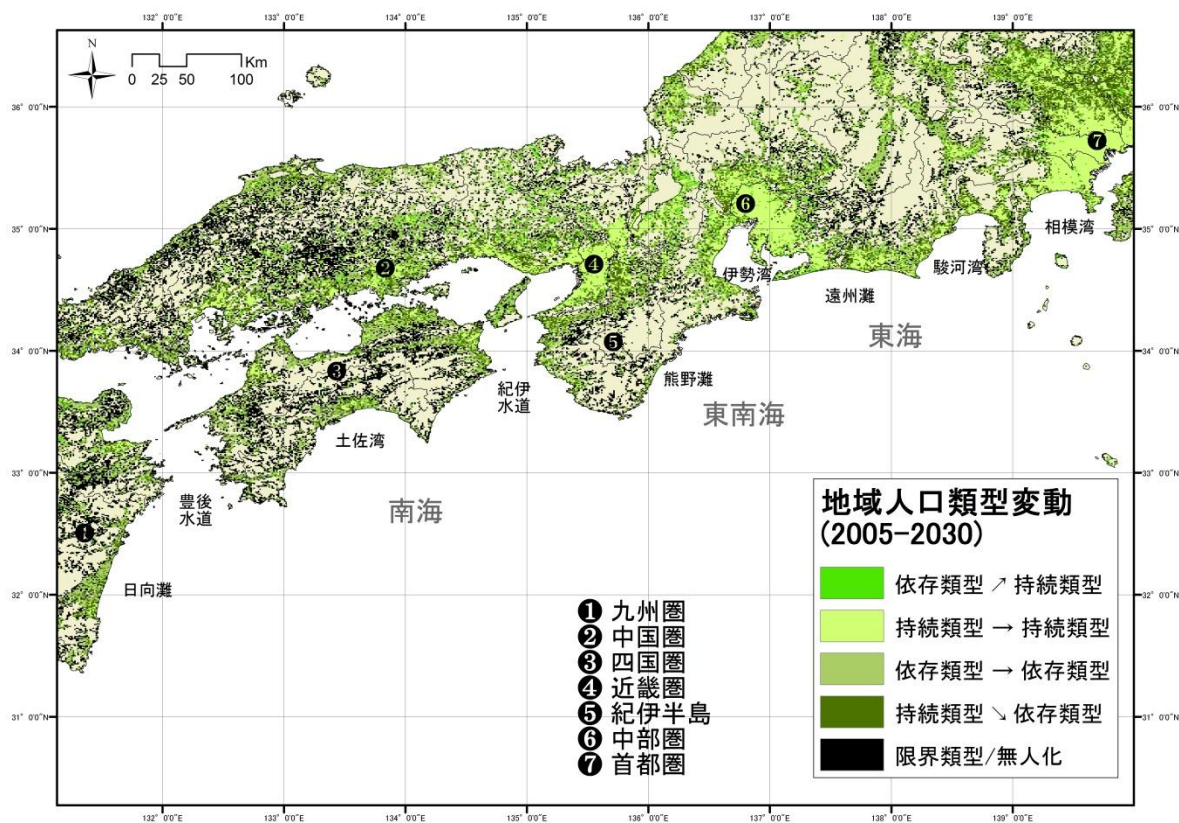


図 14 地域類型の変化 (2005 年 - 2030 年)

(c) 結論ならびに今後の課題

1) 結論

平成 22 年度は、①地域類型手法の構築、②2030 年の社会状況シミュレーション、③リージョナルクラス都市における復旧・復興戦略、④将来の地域類型を踏まえた社会影響の総合評価という 4 つの課題について研究した。以下それぞれの課題毎に達成状況と課題、対策について述べる。

① 地域類型手法の構築

平成 21 年度に開発した地域類型手法について、1995 年阪神・淡路大震災、2004 年新潟県中越地震の被災地の分析に有効であり、その他の地域においても利用可能な事を確認した。

② 2030 年の社会状況シミュレーション

完成した地域類型手法をもとに、東海・東南海・南海地震で大きな被害を受けることが予想される地域の、2005 年、および 2030 年の地域類型を行った。

③ リージョナルクラス都市における復旧・復興戦略

東海・東南海・南海地震で大きな被害を受けることが予想されるリージョナルクラス都市の一つとして浜松市を選定し、浜松市において、プロジェクトメンバと市職員が共同で、災害対応、復旧・復興に関する検討を行うワークショップを開催した。浜松市は新幹線・名神高速道路といった日本の基幹交通路を持つこと、ヤマハ、スズキといった大企業の本社機能があるといった特徴があり、災害対応、復旧・復興戦略においてもそういった特徴に対応した課題が抽出された。

④ 将来の地域類型を踏まえた社会影響の総合評価

東海・東南海・南海地震において大きな被害が予想される地域について、2005年から2030年への地域類型の変化について分析した。その結果、2030年になると大都市周縁の地域では、「持続型」から「依存型」へと地域類型の変化が見られる事、中国・四国、紀伊半島の中山間地域において「限界型」「無人化」する集落が多く見られるようになる事が明らかになった。これらを踏まえ、災害からの復旧・復興戦略を考える上で考慮する必要があることを指摘した。

2) 今後の課題

東海・東南海・南海地震の連動発生により社会が受ける影響を明確化するという課題において、連動発生・時間差発生も踏まえた個別具体の重要社会基盤施設の被害、さらには被災地域全域にわたっての検討は未完である。これについて、来年度には、本プロジェクトで実施中の他の成果を踏まえ完了させる予定である。

(d) 引用文献

- 1) Chen, H., Maki, N., and Hayashi, H., Evaluating the Impact of Demographic Transition in the Context of the Tokai-Tonankai-Nankai Earthquake, Japan, Journal of Natural Disaster Science, Vol. 31, No. 2, pp19-30, 2009.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
陳海立・牧紀男・林春男	地域人口特性に基づく地域復興の評価－阪神淡路大震災と新潟県中越地震の地域特性と復興像－	地域安全学会論文集, No. 13, pp 347-355.	2010
Chen, H., Maki, N., and Hayashi, H.	Adapting the Demographic Transition in Preparation of the Tokai-Tonankai-Nankai Earthquake	Journal of Disaster Research, Vol.5, No. 6, pp 666-676.	2010
牧紀男・陳海立・馬場俊孝・澤田雅浩・鈴木伸吾・佐藤栄治・能島暢呂	長期湛水被害からの災害対応・復旧のあり方に関する研究－南海地震による高知市を事例として－	地域安全学会論文集 No. 13, pp 195-202.	2010

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

- 1) 特許出願

なし

- 2) ソフトウェア開発

名称	機能
地域解析データベース構築	東海・東南海・南海地震の発生が予測されている 2030 年以降の社会構造、地域分類等の分析を行うための基礎データを GIS データベースとして構築。

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 22 年度業務計画案

連動発生による現在および将来の社会影響を正確に予測し、現実的な復旧・復興戦略を策定するために、東海・東南海・南海地震による被災想定地域における将来の人口構成、地域構造などの社会状況のシミュレーションを実施する。具体的には平成 22 年度までに実施した地域類型分類モデルを一層高度化して、将来の人口予測を反映した地域類型モデルに基づいたより詳細な被災地域の分類を行う。また、東海・東南海・南海地震の単独および連動発生による被災地域について、類型化した地域モデル区分毎に地震の影響を評価して、影響評価に基づき地域モデル区分毎の復興戦略を明確化する。復旧・復興戦略の策定に関しては、平成 22 年度はナショナルクラス都市を対象とした検討を行う。個別研究テーマ(1)-(3)および(5)と連携して、東海・東南海・南海地震が現在、あるいは 10～30 年後の将来に発生した場合について、各被災地域と社会全体が受ける影響について統合的な検討を行う。

3.5. サブプロジェクト(1)の研究成果の活用および地域研究会の開催

目次

(1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 5 ヶ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
- (e) 平成22年度業務目的

(2) 平成22年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の成果
 - 1) 地震動及び津波シミュレーションに向けた詳細な海底地形モデルの構築
 - 2) 浅層部分の軟弱地盤による増幅率のモデル化
 - 3) 地域研究会の開催・運営
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

(3) 平成23年度業務計画案

(1) 業務の内容

(a) 業務題目

サブプロジェクト(1)の研究成果の活用および地域研究会の開催

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	プロジェクトリ ーダー	金田 義行	kaneday@jamstec.go.jp
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	技術研究副主幹 技術研究主任	高橋 成実	narumi@jamstec.go.jp
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	技術研究副主任	大堀 道広	ohorim@jamstec.go.jp
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	特任技術研究副 主任	中村 武史	t_nakamura@jamstec.go.jp
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト	技術主任	チタク セ クチン	citak@jamstec.go.jp
独立行政法人海洋研究開発機構 地震津波・防災研究プロジェクト		馬場 俊孝	babat@jamstec.go.jp

(c) 業務の目的

地震津波シミュレーションの高度化のために、サブプロジェクト①「東海・東南海・南海地震の連動性評価のための調査観測・研究」と連携し、海陸統合地下構造探査モデルに基づいて、地震・津波シミュレーションのための高精度3次元差分計算用地下構造モデルを作成する。加えて、強震記録に基づく浅層軟弱地盤による増幅率の面的なモデル化を行う。南海トラフの巨大地震の連動性の啓蒙を図るとともに、広域な災害発生に対して地域社会が有する減災・復旧復興への対応力とその実力を認識・共有するために、自治体、ライフライン事業者、建設業者、ボランティア団体から構成される地域検討会を設置・運営する。

(d) 5カ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成20年度：

反射法・屈折法構造探査結果、震源分布結果、レシーバ関数解析結果を基に、東海・東南海・南海地震震源域周辺における堆積層の厚さ・地殻・マンツルの形状を陸海域で統合化し、3次元差分計算のための初期的な地下構造モデルを構築した。大阪平野、濃尾平野を包含する領域より、地震動の短

周期成分の増幅特性の評価に必要な強震記録と浅層地盤データを収集・整理するとともに、浅層軟弱地盤による増幅率を推定するための予備解析を行った。プロジェクトに関わる研究者と研究対象地域の防災関係者（自治体・ライフライン事業者・建設業者・大学・研究者等）が一堂に会する地域研究会の立ち上げを高知市、大阪市、名古屋市で行い、各地において地域研究会をそれぞれ2回開催した。また、1回目の地域研究会では、地域研究会の趣旨およびプロジェクトの周知も兼ねた（地域研究会の参加者も含む）一般市民向けのミニシンポジウムを開催した。関連して、名古屋圏に位置する四日市市でも地域特性を話題とした講演会を開催した。

2) 平成 21 年度：

本年度は、東南海地震の震源域周辺における海域を中心に、解像度 25 m – 100 m メッシュのシービーーム探査による海底地形データをコンパイルした。沿岸部を除く沖合の海域について、現在公開されている海底地形データより分解能が高く、地震動及び津波のより高精度な波動伝播シミュレーションへの適用を目的とした海底地形モデルを構築した。構築した海底地形モデルを用いて、東南海地震の震源域周辺における斜度を計算し、地震時に海底地滑りを引き起こす可能性の高い海底急傾斜地のマッピングを行った。また、既往の研究論文から大津波発生の可能性の高い分岐断層を抽出し、地震動及び津波シミュレーションに必要な情報をまとめた。大阪平野、濃尾平野を包含する領域に対して、昨年度収集した強震記録に基づき、地震動の短周期成分の増幅率の評価を実施した。大阪平野に関しては、上町台地周辺や人工島など地盤特性が特徴的な地域を選定して、関西圏地盤情報データベースを用いた詳細な浅層地盤モデルの構築を行った。プロジェクトに関わる研究者と研究対象地域の防災関係者（自治体・ライフライン事業者・建設業者・大学・研究者等）が一堂に会する地域研究会を高知市で2回、大阪市で1回、名古屋市で1回、それぞれ開催した。地震調査研究ならびに地域研究会に対する意見・要望を抽出するために、参加者を絞り込んだ分科会を、高知市で1回、大阪で2回、名古屋で1回、それぞれ開催した。この他、津波災害が共通して懸念される三重県南部と和歌山県南部の防災関係者との情報交換と議論を深めるために、紀州分科会と紀州講演会を開催した。

3) 平成 22 年度：

サブプロジェクト①による南海地震の震源域および日向灘地震の震源域周辺の構造探査結果を既に構築した海域地下構造モデルに統合し、地震動及び津波シミュレーションと被害予測のための、高精度陸海統合地下構造モデルを作成する。強震動シミュレーション結果の地盤増幅補正と面的な震度分布の作成において必要となる広域の表層地盤増幅モデルを作成する。地域研究会において、本サブプロジェクトの検討結果を紹介するとともに、連動型巨大地震発生前、発生時、発生後、それぞれのフェーズに対して地域社会が取り組むべき優先事項や時間を追ったシナリオに整理した防災・復興復旧方策について議論する。

4) 平成 23 年度：

前年度に引き続き、サブプロジェクト①による南海地震の震源域および日向灘地震の震源域周辺の構造探査結果を海域地下構造モデルに統合するとともに、サブプロジェクト①のサブテーマ「地震発生シミュレーション研究」により得られた連動発生シナリオの強震動・津波シミュレーション・被害予測のための、高精度陸海統合地下構造モデルを完成させる。さらに、高精度陸海統合地下構造モデ

ルを、都市部周辺の深部地下構造モデルと融合し、長周期地震動のシミュレーションを行うとともに、表層地盤増幅モデルとの併用による広帯域強震動の評価を行う。連動型大地震発生前・発生時・発生後それぞれのフェーズに対して地域社会が取り組むべき事項を時間シナリオとして整理した、防災・復興復旧方策を地域研究会に提示する。

5) 平成 24 年度：

本サブプロジェクトの研究成果を総括し、地震・津波災害マップ、ハザードリスク、復興復旧マップを作成する。連動地震による平野と建物の長時間にわたる揺れと被害、そして津波による沿岸構造物の被害と浸水・河川への遡上などが起こす一連の複合災害を、時間を追って示すアニメーション教材を作成し、DVD や Web などを通じて公開する。

(e) 平成 22 年度業務目的

平成 21 年度までに構築した海域地下構造モデルを、南海地震の震源域および日向灘地震の震源域の周辺まで拡大し、強震動・津波シミュレーションと被害予測のための、高精度陸海統合地下構造モデルを作成する。加えて、強震動シミュレーション結果の地盤増幅補正と面的な震度分布の作成において必要となる、都市部のボーリングデータに基づく表層地盤増幅率と周辺地域の地形分類等に基づく経験的な表層増幅率を結合した広域の表層地盤増幅モデルを作成する。

地域研究会では、本サブプロジェクトの検討結果を紹介するとともに、連動型巨大地震発生前、発生時、発生後それぞれのフェーズに対して地域社会が取り組むべき優先事項や時間を追ったシナリオに整理した防災・復興復旧方策について検討する。

(2) 平成 22 年度の成果

(a) 業務の要約

本年度は、平成 20 年度及び 21 年度に実施されたサブプロジェクト①の構造探査の解析結果を基に、南海地震及び日向灘地震の震源域とその周辺における、プレート境界面とモホ面の 3 次元深度分布形状のモデル化を行った。大阪平野に関して、昨年度、上町台地周辺や人工島など地盤特性が特徴的な地域を選定して、関西圏地盤情報データベースを用いた詳細な浅層地盤モデルの構築を行っており、本年度はこのモデルについて、既往のモデルとの比較を行った上で、表層地盤増幅率と周辺地域の地形分類等に基づく経験的な表層増幅率を結合した広域の表層地盤増幅モデルを作成した。プロジェクトに関わる研究者と研究対象地域の防災関係者（自治体・ライフライン事業者・建設業者・大学・研究者等）が一堂に会する地域研究会を高知市、大阪市、名古屋市でそれぞれ 2 回開催した。地震調査研究ならびに地域研究会に対する意見・要望を抽出するために、参加者を絞り込んだ分科会を、名古屋市で 1 回開催した。この他、津波災害が共通して懸念される三重県南部と和歌山県南部の防災関係者との情報交換と議論を深めるために、紀州分科会と紀州講演会を 1 回開催した。

(b) 業務の成果

1) 地震動及び津波シミュレーションに向けた詳細な海底地形モデルの構築

既往の反射法・屈折法構造探査結果、震源分布結果、レシーバ関数解析結果を統合化し、陸海域における地下構造形状のモデル化を行った。モデル構築の対象範囲は、北緯 28-37 度、東経 128-142 度、深さ 0-200 km の領域である。この領域は、フィリピン海プレートと太平洋プレートが重なり合う関東直下の陸域、関東から南九州にかけてフィリピン海プレートがユーラシアプレートの下に沈み込む南海トラフの海域を含み、地震波動及び津波シミュレーション研究のために地下構造の高精度なモデル化が必要な領域である。本研究では、平成 20 年度及び 21 年度東海・東南海・南海地震の連動性評価研究プロジェクトの「サブプロジェクト①の研究結果の活用および地域研究会の開催」の課題で構築した地下構造モデル（東海・東南海・南海地震の連動性評価研究プロジェクト平成 20 年度成果報告書⁷⁾、平成 21 年度成果報告書⁸⁾）を基本モデルとして、南海地震および日向灘地震の震源域とその周辺を中心に、構造モデルのさらなる高度化を進めた。

地下構造モデルの高度化にあたり、本年度は、日向灘と四国沖の海域で実施されたサブプロジェクト①の構造探査による結果を収集し、モデル構築の作業で用いた。この海域は、サブプロジェクト①による津波堆積物調査やサブプロジェクト②による津波伝播シミュレーション計算により、1707 年宝永の時代に発生した連動型巨大地震（宝永地震）の破壊域であることが明らかになっている（Matsuoka and Okamura, 2009³⁾ ; Furumura et al., 2011¹⁾）。また、1968 年に発生した Mw 7.5 の地震をはじめ、日向灘で繰り返し発生している大地震の破壊域（八木・他, 1998⁹⁾）にも位置している。構造探査測線の位置を図 1 の赤線で示し、陸域のデータと併せて解析して得た、屈折・高角反射法解析（Nakanishi et al., 2010⁵⁾）とトモグラフィー解析（Yamamoto et al., 2010¹⁰⁾）によるプレート境界面の等深度線を黄線と茶線でそれぞれ示す。また、本年度までに房総半島沖における構造探査結果（図 1 白線、三浦・他, 2011⁴⁾）も入手できたため、この結果も地下構造モデルの高度化のために併せて用いた。モデル構築の作業にあたっては、緯度・経度・深さに変換した各研究結果のデータセットに対し、曲率最小化アルゴリズム（Smith and Wessel, 1990⁶⁾）を用いて領域全体のプレート境界（海洋性地殻第 2 層上面）の 3 次元深度分布形状を作成した。モホ面（海洋性マントル上面）については、通常、プレート境界の下部数 km に位置するため、構造探査結果の他に、プレート境界の 3 次元深度分布形状を参考にして構築した。これらの結果を図 2、3 にそれぞれ示す。

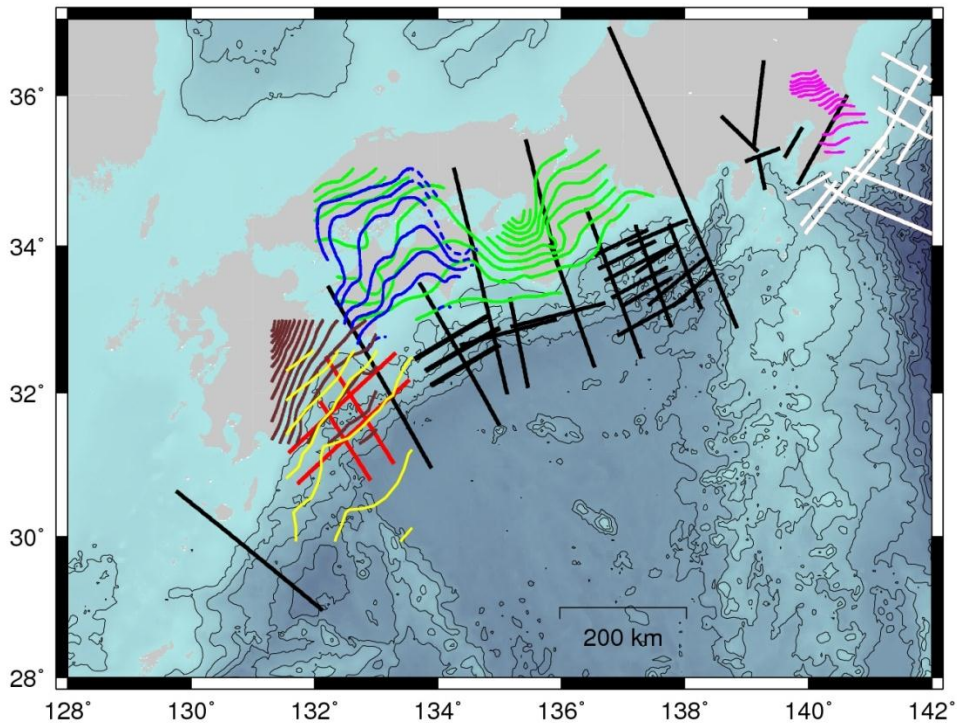


図 1 地下構造モデルの作成で使用した反射法・屈折法構造探査測線（黒線、赤線、及び白線：例えば、Nakanishi et al., 2002）、トモグラフィー解析結果（茶線：Yamamoto et al., 2010）、小繰り返し地震震源分布（紫線：Kimura et al., 2006）によるプレート形状、レーシーバ関数解析によるモホ面形状（緑線：Yamauchi et al., 2003、青線：Shiomi et al., 2004）。このうち、赤線（Nakanishi et al., 2010）、白線（三浦・他, 2011）、及び茶線（Yamamoto et al., 2010）は、従来のモデル（東海・東南海・南海地震の連動性評価研究プロジェクト平成 20 年度成果報告書）を基に、本プロジェクトでの地下構造モデル作成にあたって新たに使用したデータである。黄線は、Nakanishi et al. (2010)の構造探査による、5 km 毎のプレート境界面形状を示す。

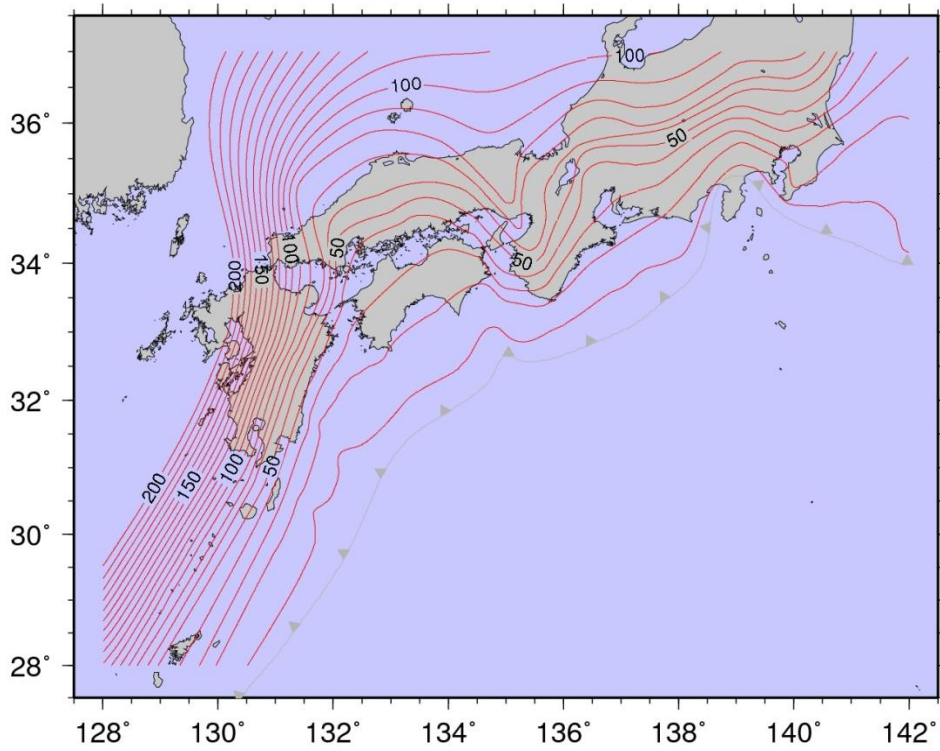


図2 解析領域におけるプレート境界面のモデリング結果。深さ 0-200 km まで、10 km 毎に等深度線で表示している。

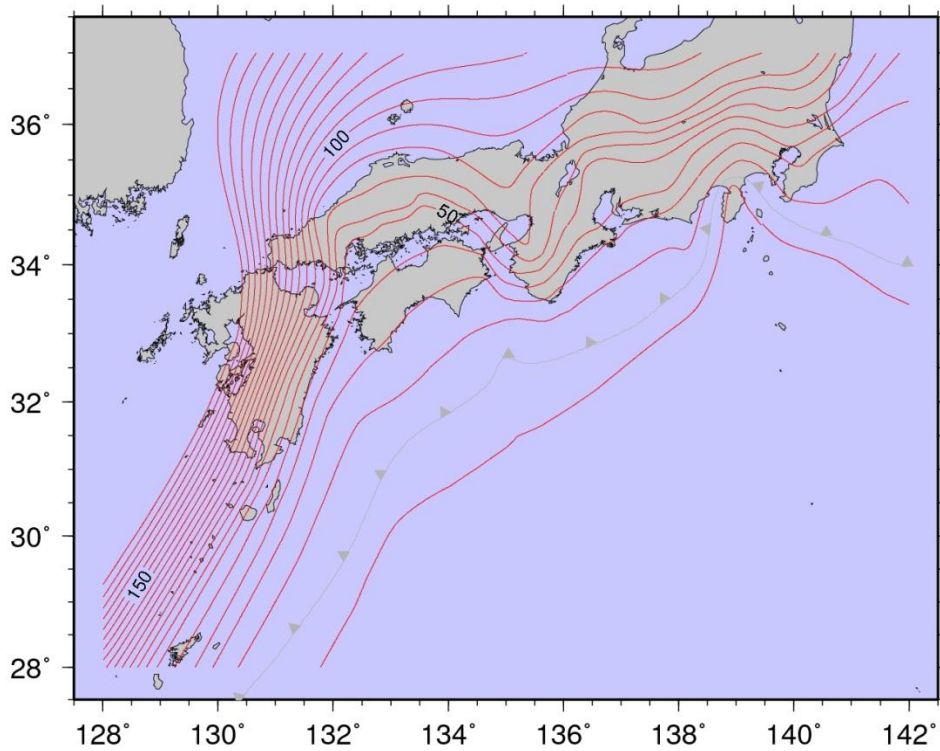


図3 解析領域におけるモホ面のモデリング結果。深さ 0-200 km まで、10 km 毎に等深度線で表示し

ている。

本年度構築したモデルと従来のモデル（東海・東南海・南海地震の連動性評価研究プロジェクト平成 20 年度成果報告書⁷⁾、平成 21 年度成果報告書⁸⁾）を比較すると、以下に述べる 3 点の違いがある。1 点目は、従来のモデルでは、九州南東の海域における構造については、市川（1997）²⁾による構造探査結果を採用していた。しかしながら、市川（1997）²⁾では、近年の研究（Furumura et al., 2011¹⁾）で明らかになった過去の連動型巨大地震の破壊域まではカバーしていない。また、市川（1997）²⁾では、四国海盆から九州パラオ海嶺周辺における地殻の厚さ変化やプレートの屈曲形状までは十分に示されていない。本年度のモデル構築作業では、深さ 15 km 以浅の浅部については、サブプロジェクト 1 による最新の研究成果（Nakanishi et al., 2010⁵⁾）を反映させるとともに、15～80 km の深部については、地震波トモグラフィ結果（Yamamoto et al., 2010¹⁰⁾）を用いた。2 点目として、地震活動が少なくなる 80 km 以深の構造の境界面形状について、従来のモデルでは、モデル範囲の北西部分をカバーするために朝鮮半島付近まで境界面を延ばしており、深部において境界面の極端な屈曲が九州西方及び中国地方北方に広がっていた。80 km 以深の構造は現在でも詳しく分かっていないものの、本年度構築したモデルでは、80 km 以浅の震源分布を基に外挿し、データが存在しない領域における形状面を推定した。3 点目は、三浦・他(2011)⁴⁾の構造探査結果を基に、房総半島沖のプレート形状を本年度のモデルに新たに統合したことである。この海域は、2011 年東北太平洋沖地震の震源断層の隣接域にあたり、フィリピン海プレート周辺における地震発生の可能性を評価する上で今後重要なモデルデータとなるであろう。以上、本年度は、主にサブプロジェクト(1)の構造探査による最新の結果を用いて、西南日本、特に南海地震および日向灘地震の震源域とその周辺における、プレート境界面とモホ面の 3 次元深度分布形状のモデル化を行った。

2) 浅層部分の軟弱地盤による増幅率のモデル化

南海トラフ沿いの巨大地震に対して、近年の長周期構造物に大きな影響・被害を生じる威力を有する周期数秒以上の長周期の地震動の発生が懸念されている。一方、構造物の大半を占める低層・中層構造物の被害に大きく影響を与える短周期の地震動も同様に脅威であり、これに大きな影響を与える工学的基盤以浅の軟弱な地盤による地震動増幅率の評価が重要である。近年、全国的に整備された強震観測網は、観測点間隔が 20km 程度のため、都市部の地震動予測に必要とされる空間分解能の高い増幅特性を把握するには不十分である。こうした背景から、昨年度、関西圏地盤情報データベース¹¹⁾のボーリングデータに基づいて、上町台地周辺や人工島など、大阪平野の都市部において特に地震動増幅の影響が大きいと考えられる特異な地盤構造を持つ地域を選定して、浅層地盤モデル（水平方向のメッシュサイズは 250m）を構築した。本年度は、昨年度構築した浅層地盤モデル（以降、“本研究のモデル”と呼ぶ）について、地震観測記録の説明性を既存のボーリングデータに基づく大阪府のモデル¹²⁾（水平方向のメッシュサイズは 500m）との比較から確認し、次に表層地盤による地震動増幅率として震度増分を算定して、微地形分類に基づく全国モデル [防災科学技術研究所 JSHIS のモデル¹³⁾（水平方向のメッシュサイズは 250m）] と結合した。なお、軟弱地盤による増幅率のモデル化は、東京大学と共同で進めた成果である。

まず、昨年度構築した浅層地盤モデルの対象地域を図 4 に示す。領域 A は、南北方向 4km×東西方向 20km の領域、領域 B は埋め立て地内の南北 4km×東西 4km の領域、領域 C は上町台地上の南北 4km×東西 4km の領域である。このほか、地震観測点の設置状況を考えて、小領域 D,E（それぞれ南北 2km×東西 2km）を補足的に選定した。これらの領域内にある強震観測点のうち、これまでの観測記録の蓄積状況とデータの特性を考慮し、FKS（福島）、MRG（森河内）、YAE（弥栄）、ABN（阿倍野）、SKI（堺）、以上の 5 地点（いずれも関西地震観測研究協議会の強震観測点）を選定し、地震動の増幅特性の検討対象とした（図 4）。大阪府の地盤モデルと本研究のモデルの地下構造モデルとの比較結果を図 5 に示す。大阪府のモデルは深さ方向に 2m ピッチで沖積層部分までをモデル化しているのに対して、本研究のモデルは 1m ピッチで沖積層底面より 10m 下方程度までモデル化している点異なるがそれぞれのモデルの下に共通の深層モデルを接続していることは同じである。続いて、近畿地方で発生した地殻内の中小地震 ($M_j3.7\sim4.5$) による地震記録に対して各観測点における経験的な地震動増幅特性を評価して、それぞれの観測点に対応する地盤モデルにより理論的に予想される地震動増幅特性との比較を行った（図 6）。なお、ここで考える地震動増幅特性は、地震基盤相当に入力した地震動に対する増幅率に相当する。同図において、太い実線と 2 本の細い実線はそれぞれ経験的増幅特性の平均値とその標準偏差を表わす。これらの 2 本の細い実線は経験的増幅特性のばらつきの範囲に対応する。以上の 3 本の実線の上に、本研究のモデルと大阪府のモデルによる理論的増幅特性を、赤線と水色線で重ね書くと、経験的増幅特性は理論的増幅特性に比較して滑らかではあるが、ふたつは良く一致することが確認できる。なお、今回対象とした 5 地点に関する地震観測記録の説明に対しては、本研究の浅層地盤モデルと大阪府のモデルには明瞭な差異が見られなかった。

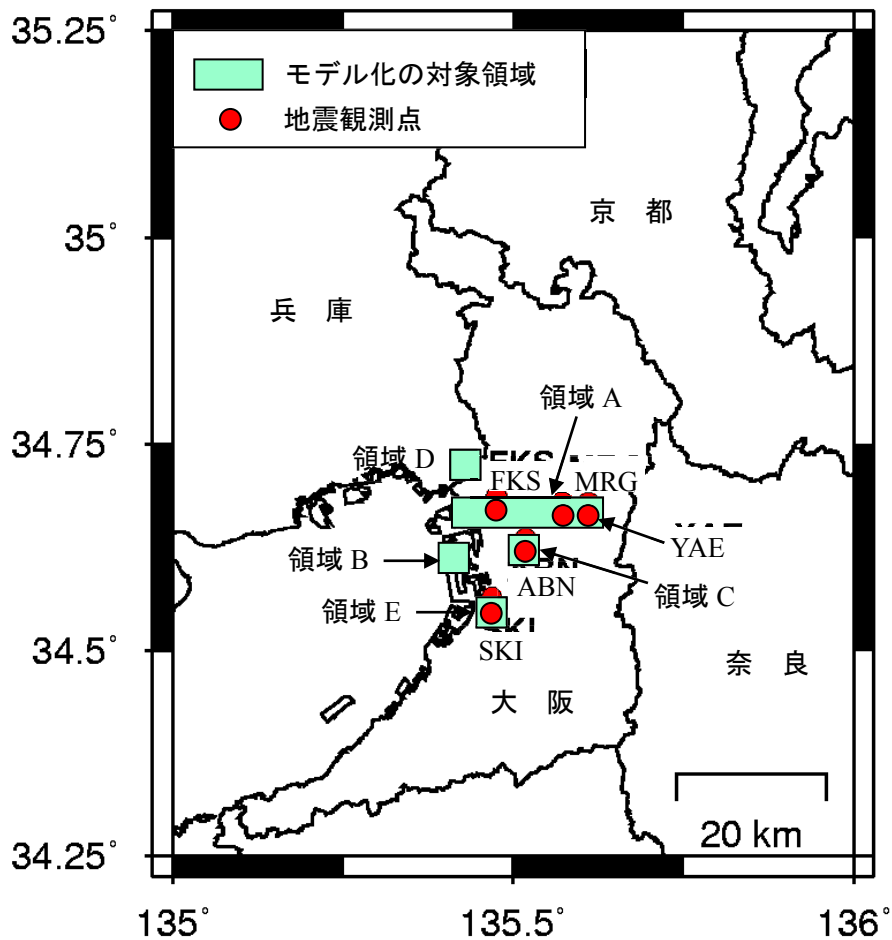


図4 本研究で対象とする大阪平野の特定領域と地震観測点の分布。緑色に塗った矩形領域は、昨年度作成した表層地盤モデルの対象範囲を表している。赤丸は、対象とする地震観測点を表している。

次に、両モデルの空間的な分解能について、比較検討を行った。ここでは、表層 30m の平均 S 波速度 (いわゆる“AVS30”) と工学的基盤 (S 波速度 400m/s) に対する震度の増幅率 (いわゆる“震度増分”) を算出する¹⁴⁻¹⁷⁾。例として、面積が最も大きい領域 A についての AVS30 の分布を図 7 に示す。同じく領域 A の震度増分の分布を図 8 に示す。なお、両図には、本研究のモデル、大阪府のモデルとともに、JSHIS のモデルの結果も合わせて示す。図より大阪府のモデル (500m メッシュ) に比べて、本研究のモデル (250m メッシュ) では、表層地質や地下構造の細やかな変化が AVS30 と震度増分の分布性状に良く反映されていることが比較からわかる。特に、領域の中央部に位置する上町台地と西大阪あるいは東大阪との境界部分において、本研究のモデルでは分解能が大きく向上している。本研究のモデルのこうした特長は、本研究と同じく 250m メッシュを採用した JSHIS のモデルに対する比較にも当てはまり、JSHIS の微地形区分に地震動増幅分布は、浅部地下構造の空間的な変化を十分に捉えきれていないことが示唆される。一方、JSHIS のモデルでは、上町台地の東側において、本研究や大阪府のモデルに比較して、表層部分がずっと軟らかく

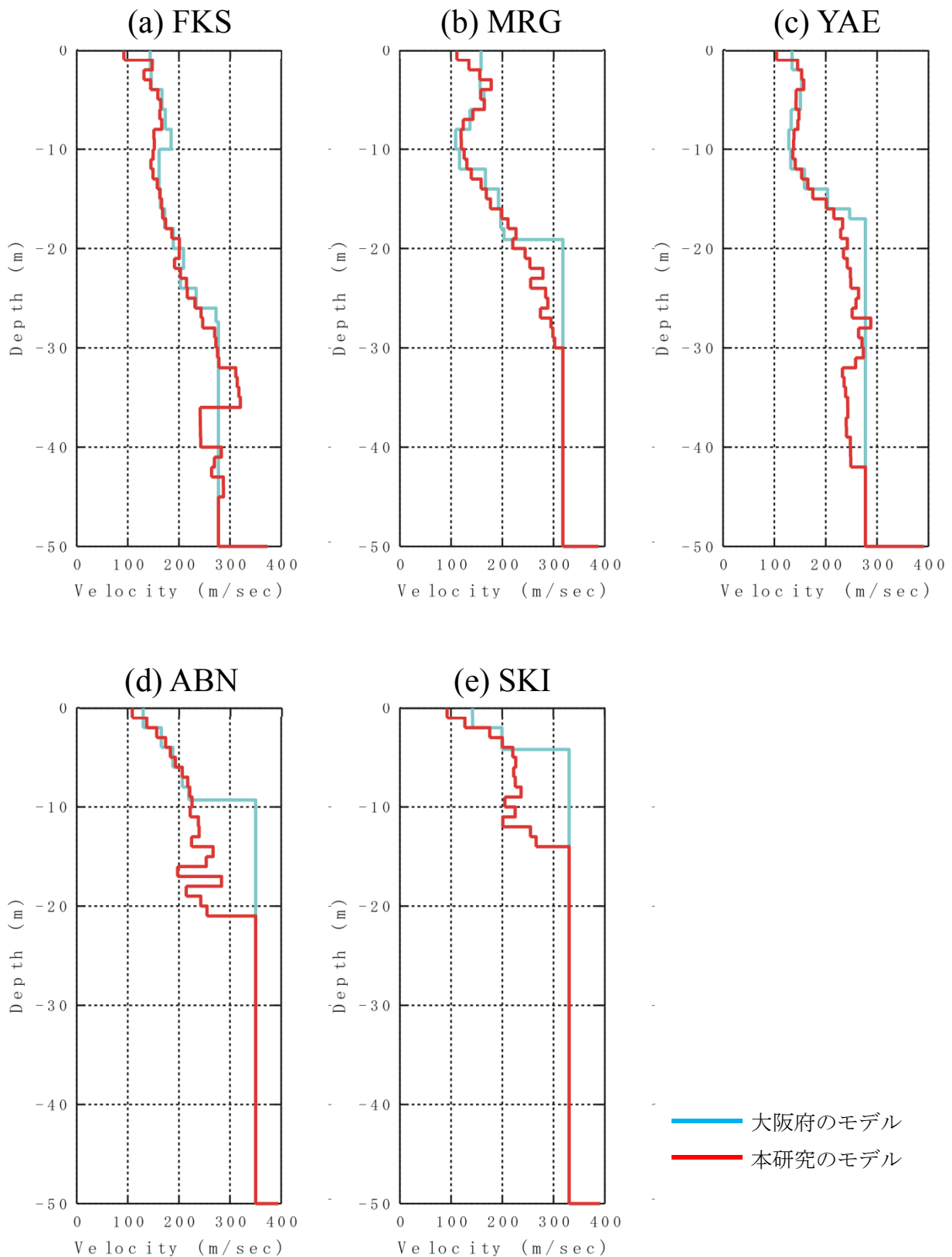


図5 既往のモデルと今回のモデルとのS波速度構造の比較

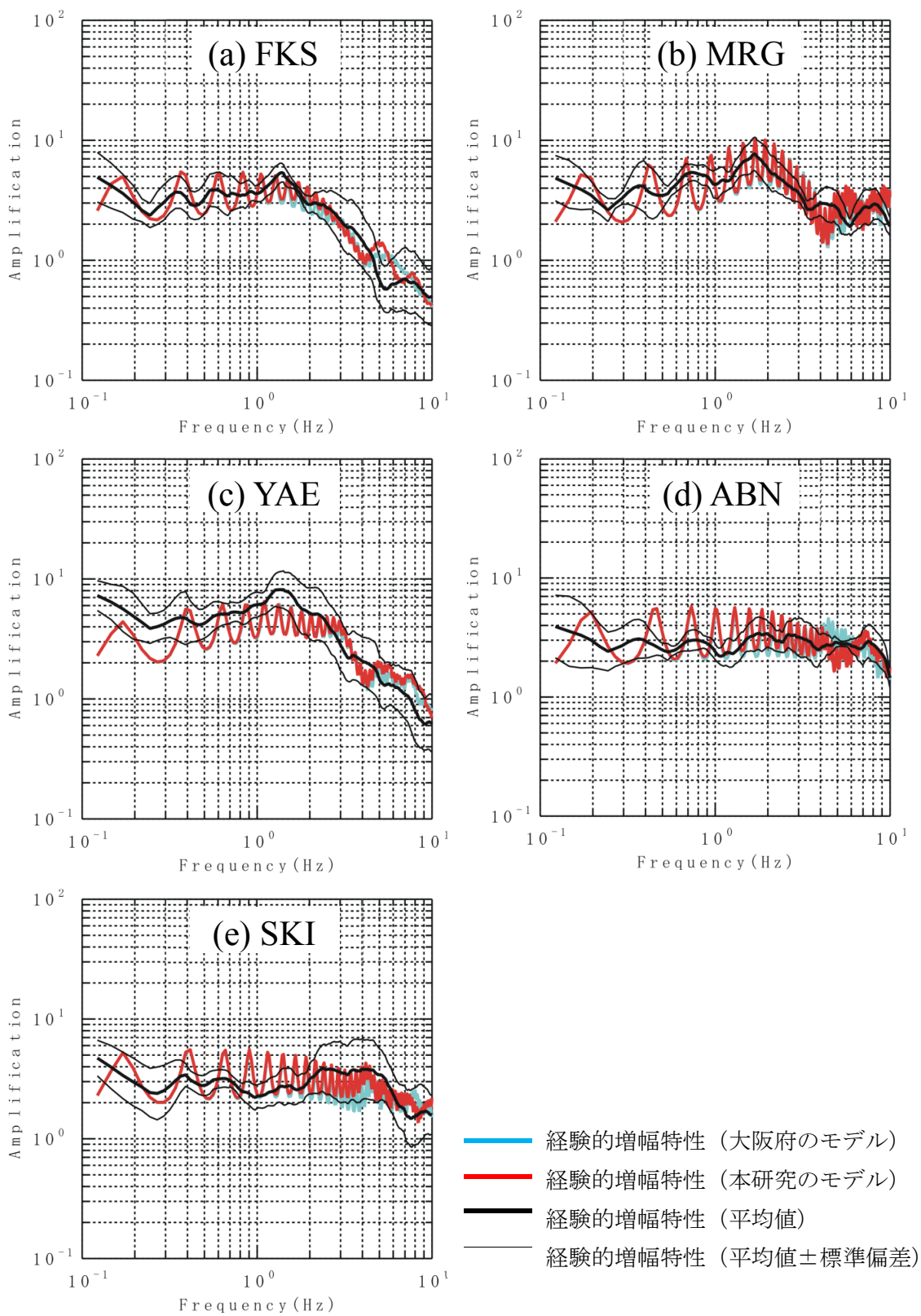


図6 地震動増幅特性の比較

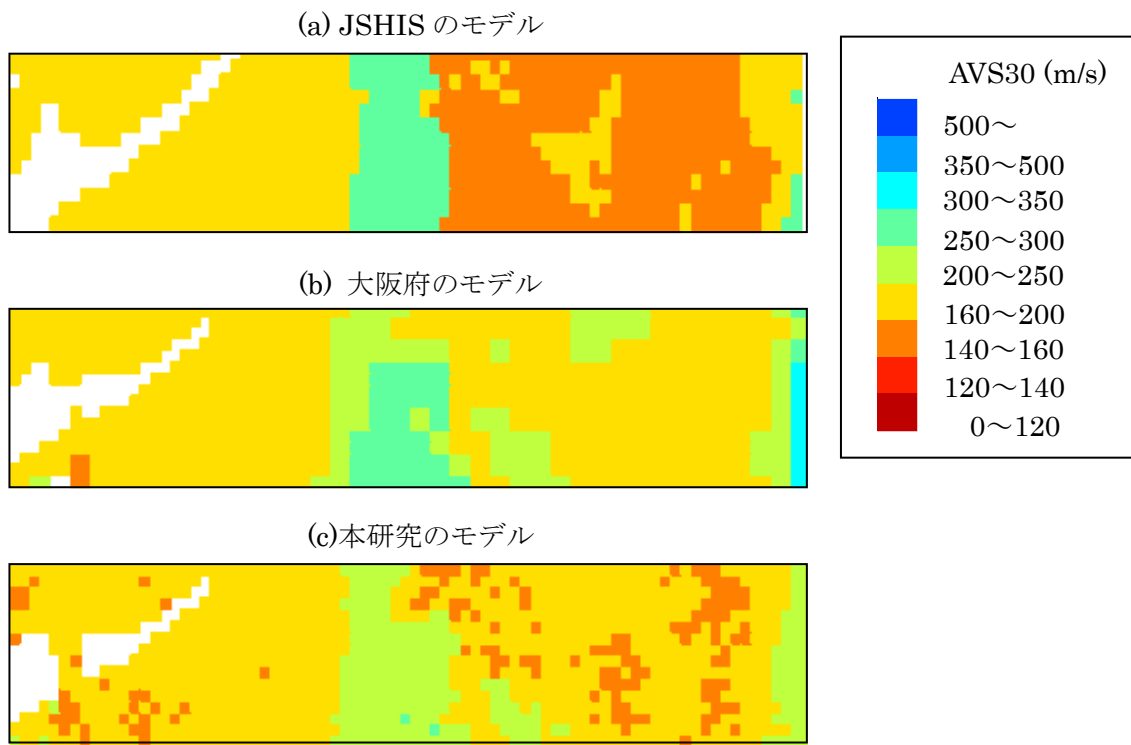


図7 AVS30 の分布性状の比較 (領域 A)

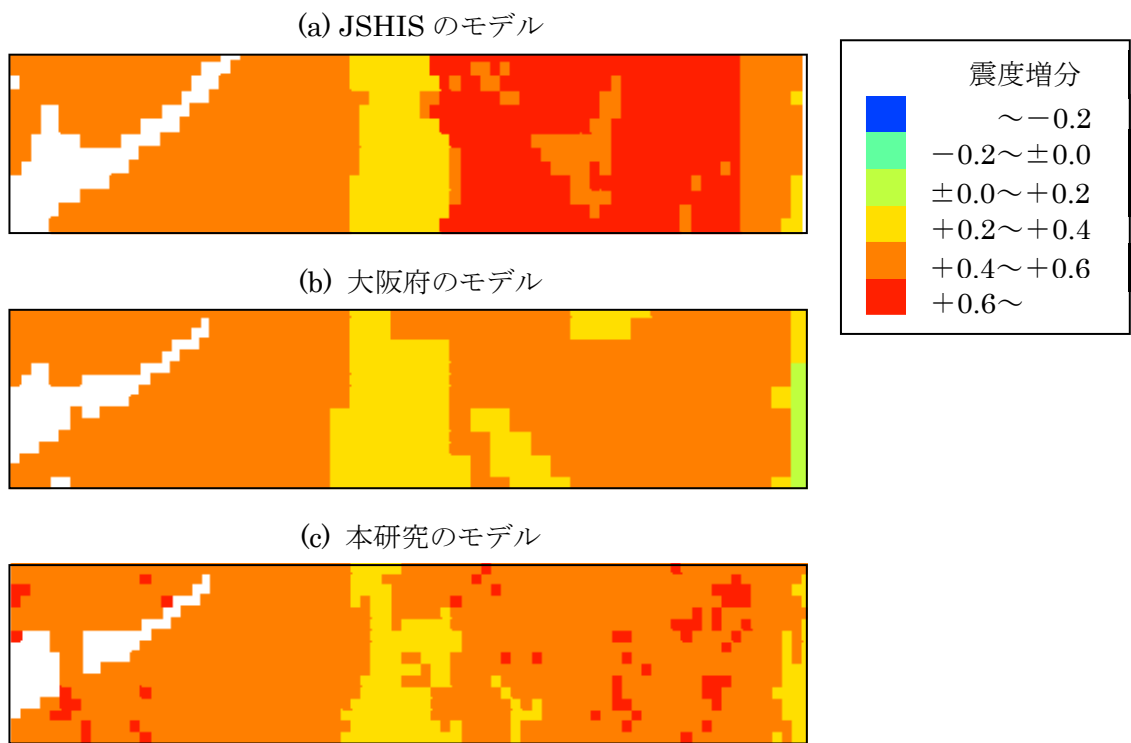


図8 震度増分の分布性状の比較 (領域 A)

評価されており、地震動の増幅率も大きくなっているなど、ボーリングデータに基づく改善が行われている場所もある。なお、本研究のモデルにおいて、沖積層底面より 10m 下方程度までをモデル化した上でモデルの深層部分に接続した点も水平方向の分解能を、高めている。そしてこの効果は、500 m メッシュよりも 250m メッシュの場合のほうが顕著である。また、本研究で整備したモデルと、500m メッシュの大阪府のモデル及び 250m メッシュの JSHIS のモデルを比較すると、大阪府のモデルとの適合性が高いことが図 7 と 8 からわかる。

最後に、JSHIS のモデルに基づく震度増分の空間分布に、大阪府のモデルと本研究のモデルを結合させて地震動増幅モデルを評価したものを図 9 に示す。本研究で作成したモデル領域は限定されているが、今後ボーリングデータの多い都市部において、本研究の手順に従い、微地形区分に基づき整備された全国的な表層地盤モデルの高度化を進めることが必要であろう。最近の被害地震においても、比較的近接する 2 地点において、地下構造の違いに起因すると考えられる地震動特性の大きな違いが指摘されている。例えば、2007 年能登半島地震では、350m 離れた 2 地点において地震動特性が大きく異なっている事例と、1100m 離れた 2 地点の地震動特性がほぼ同等であった事例が報告されている¹⁸⁾。こうした観測事実からも、ボーリングデータの多い地域ではこれに基づく地盤モデルを作成し、全国を網羅する JSHIS のモデルに反映させて行くことが重要である。

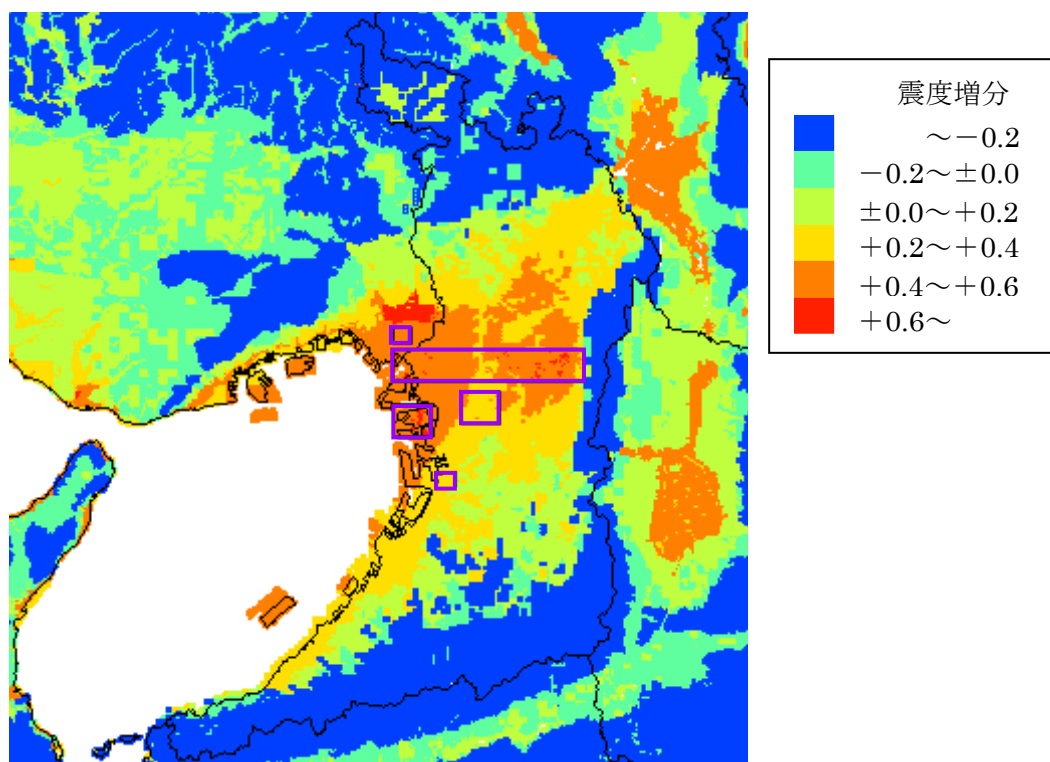


図 9 本研究のモデル、大阪府のモデル、JSHIS のモデルを結合した震度増分モデル。JSHIS のモデルに対して、大阪府のモデル、本研究のモデル（紫線で囲んだ五つの矩形領域）の該当領域の結果を反映させている。

3) 地域研究会の開催・運営

本プロジェクトの開始した2009年より、プロジェクトに関わる研究者と研究対象地域（高知市、大阪市、名古屋市を選定）の防災関係者（自治体・ライフライン事業者・建設業者・大学・研究者等）が一堂に会し、研究成果と地震防災への利活用を主なねらいとする地域研究会を高知市、大阪市、名古屋市で立ち上げ、各地域で年2回程度の会合を行っている。それぞれの地域研究会は、地域側からの参加者が30～40名（15～18参加機関）集い、プロジェクト関係者とともに本音の議論を安心して行える運営に務めている。また、地域によっては、参加人数を少なくした分科会を開催し、各地域特有の地震防災対策における課題の掘り起こしも行っている。さらに、紀伊半島沿岸の地域間で共通する津波リスクについての議論を深めるために紀州分科会も開催している。図10に全体のラインナップを示す。以下、各地域における活動を報告する。

本年度、高知市では2回の地域研究会（2010年7月、2011年3月）を実施した。高知市地域研究会の参加機関とこれまでの実績を図11（左より1列目）に示す。これまでの議論を通じて、高知市では次の南海トラフ沿いの巨大地震に対する地震防災に備える上での特に重要なテーマとして、津波・津波漂流物、長期浸水、構造物の耐震性、地盤モデル、震災資料収集などが抽出されている。過去の地域研究会においても、これらに関係するテーマを繰り返し取り上げ、話題提供とともに議論を深めてきた。2010年7月の第5回研究会では、地震・津波観測、津波解析、構造物の応答シミュレーションに関して、最新の技術を用いた研究成果の紹介を行い、研究成果の地震防災への利活用に関して議論を深めた。2011年3月の第6回研究会では、長期湛水被害について内外の災害事例に基づき対策を議論するとともに、地域側にとって関心の高い次の二つのテーマについての研究成果を紹介した。一つはPS検層結果の少ない高知市の地盤モデルを微動観測により高度化するための取り組み（図12）であり、もう一つは高知市の交通・物流において最も重要性の高い輸送路の一つである浦戸大橋での微動観測とその地震応答シミュレーション（図13）である。いずれも、海洋研究開発機構、東京大学、高知大学の連携により本研究プロジェクトとは別の枠組みで実施されたものであるが、本研究プロジェクトに密接に関わる成果として紹介した。さらに、第6回研究会の開催時期が3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（M_j9）の直後であったことから、この地震とその甚大な被害状況について概観した上で、今回の大震災の意見交換を行った。

大阪市では2回の地域研究会（2010年7月、2011年2月）を開催した。大阪市地域研究会の参加機関とこれまでの実績を図11（左より2列目）に示す。これまでの議論を通じて、大阪市では次の南海トラフ沿いの巨大地震の地震防災に備えた重要なテーマとして、長周期地震動、液状化、津波、地震発生シナリオ、被害想定・対策、地盤モデルの課題が抽出されている。2010年7月の第4回研究会では、被害想定の高精度化の鍵となる地盤モデルに着目し、大阪平野の地盤とその特徴、地盤モデルの現状と課題、大阪特定地域の詳細地盤モデルを用いた地震動増幅特性（図8）についての話題提供に引き続き、被害想定を実施する機関によって地震動予測の結果が異なっていること、これには実施時期や実施目的の違いを反映して異なる地盤モデルが用いられている問題点が議論された。2011年2月の第5回研究会では、防災科学技術研究所により全国的な地盤モデルの構築が進められている「統合化地下構造データベース」の整備状況について紹介するとともに、神戸の震災以降のライフライン企業の地震・津波防災対策についての話題提供が行われた。

名古屋市では2回の地域研究会（2010年8月、2011年3月）を開催するとともに、行政関係者のみ

の分科会（2010年4月）を実施した。名古屋市地域研究会の参加機関とこれまでの実績を図11（右より2列目）に示す。これまでの議論を通じて、名古屋市では次の南海トラフ沿いの巨大地震に対する地震防災に備える上での特に重要なテーマとして、長周期地震動、複合災害、地震対応、地盤モデル、防災教育・意識啓発などの課題が抽出されている。2010年8月の第4回研究会では、地震・津波観測監視システム、揺れ・液状化・堤防沈下・津波・湛水の複合災害シナリオ、愛知県設計用入力地震動研究協議会について話題提供を行った。2011年3月の第5回研究会では、前回に引き続き高潮防潮堤についての議論を深めるために、最新の解析技術により評価された耐震性と液状化による沈下についての報告を行った。また、地震動予測に用いられる名古屋圏の地盤データベースの構築とその利活用（図14）に向けて、本プロジェクトの個別研究テーマ(3)「都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定」と連携・協力を進めていることが紹介された。さらに、名古屋大学に新設される防災センターの話題を議論の糸口として、神戸の震災以降、名古屋とその周辺の大学に設置された多数の防災関連の研究センターが、今後、それぞれ独自の特色を活かしながらも連携を強め、行政機関やライフライン事業者と協力して、地域の災害軽減に取り組むことが重要であることが確認された。

紀州分科会を2010年11月に実施し、津波災害リスクに関する議論を行った。紀州分科の参加機関とこれまでの実績を図11（右より1列目）に示す。この会合は、大阪市地域研究会に参加する和歌山県と、名古屋市地域研究会に参加する三重県の両県の防災関係者が出席する。紀伊半島沿岸域において津波による災害リスクが非常に高い両県の防災関係者が議論を深めることを目的としている。紀州分科会は両県で交互に開催する方針とし、今年度は和歌山県田辺市にて開催した。第2回分科会では、海岸林を用いた津波被害の軽減や三重県における地域と連携した防災支援活動についての取り組みについて話題提供を行った上で、今後の地域防災の高度化に向けて意見交換を行った。分科会に先立ち、紀州講演会と名付けた地震防災セミナーも開催し、海溝型巨大地震の発生とその解明に向けた本プロジェクト研究の成果の紹介や、地域の地震防災活動をテーマとする講演も行っている。

以上のように、これまでの地域研究会・分科会での議論を通じて、それぞれの地域で懸念されるテーマあるいは地域性を踏まえた特有のテーマだけでなく、地域を越えて共通する重要なテーマがあることがわかってきた。例えば、被害想定に必要な地盤モデルの高度化は、地域によらない共通のテーマの一つである。また、地盤モデルを高度化するためのアプローチとして、(1) ボーリング資料が豊富な都市部では、これをデータベース化した上で地盤モデルを構築することが有効であること（名古屋圏について図14に例示）、(2) 微動観測などの現地調査結果を用いて、モデル構築やその高度化が重要であること（伊賀上野についての海洋研究開発機構の既往研究を用いて、図15に例示）、(3) ボーリング資料が豊富な都市部であってもPS検層結果の少ない地域では、微動観測により既存の地盤モデルを高度化することが重要であること（高知市について、図12に例示）、など、各種のアプローチがあることが再確認された。

地域研究会のラインナップ

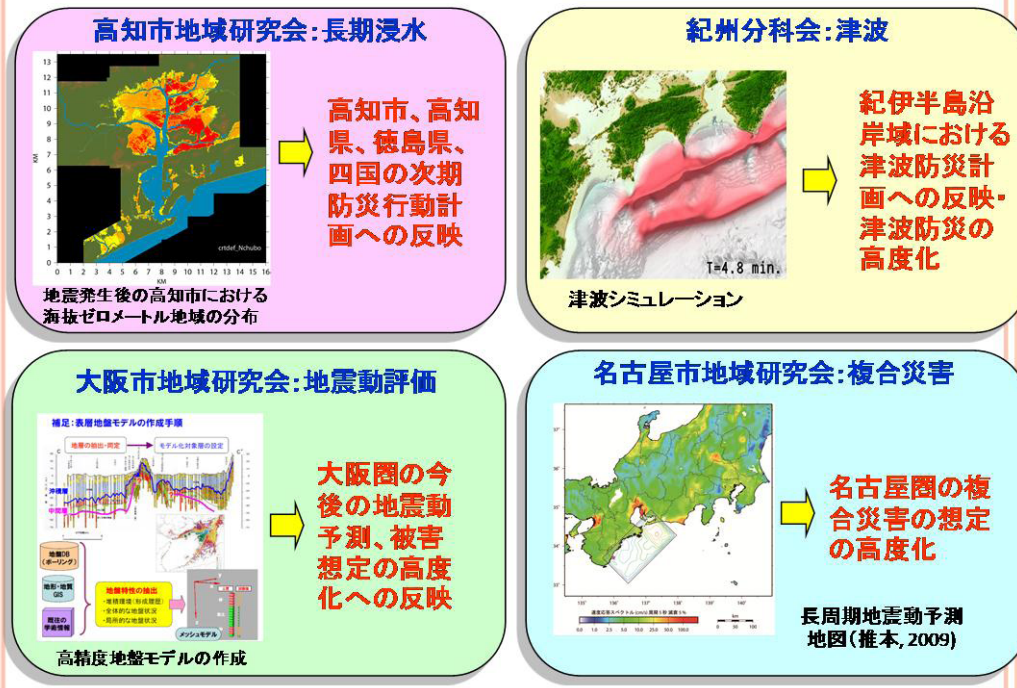


図 10 地域研究会のラインナップ

地域研究会への参加機関及び開催実績

高知市地域研究会	大阪市地域研究会	名古屋市地域研究会	紀州分科会
内閣府、四国地整、高知県、高知市、徳島県、徳島市、四国電力、高知ライフライン連絡会、港湾空港技術研究所、国土技術政策総合研究所、高知大学、徳島大学、山口大学、プロジェクト関係者、オブザーバー（高知地方気象台）	内閣府、大阪府、大阪市、和歌山県、和歌山市、大阪ガス、関西電力、JR西日本、東海・東南海・南海地震津波研究会、和歌山大学、プロジェクト関係者、オブザーバー（近畿地整、大阪管区気象台、和歌山地方気象台）	内閣府、愛知県、名古屋市、三重県、四日市市、静岡県、海上保安庁、東邦ガス、中部電力、トヨタ、名古屋商工会議所、名古屋大学、三重大学、豊橋技術科学大学、愛知工業大学、プロジェクト関係者、オブザーバー（中部地整、名古屋地方気象台、津地方気象台、静岡地方気象台、岐阜地方気象台）	三重県、尾鷲市、東紀州防災ネットワーク、和歌山県、和歌山市、和歌山県内市町村の防災担当者
2008.11 ミニシンポ 2008.11 第1回研究会 2009.03 第2回研究会 2009.07 第3回研究会 2009.10 第1回分科会 2010.02 第4回研究会 2010.07 第5回研究会 2011.03 第6回研究会	2008.12 ミニシンポ 2008.12 第1回研究会 2009.03 第2回研究会 2009.08 第1回分科会 2009.10 第2回分科会 2010.02 第3回研究会 2010.07 第4回研究会 2011.02 第5回研究会	2008.12ミニシンポ 2008.12 ミニシンポ 2008.12 第1回研究会 2009.03 第2回研究会 2009.10 第2回分科会 2010.01 第3回研究会 2010.04 第2回分科会 2010.08 第4回研究会 2011.03 第5回研究会	2009.11 第1回分科会 2010.11 第2回分科会

図 11 地域研究会への参加機関及び開催実績

高知市の地盤モデルの微動による高度化

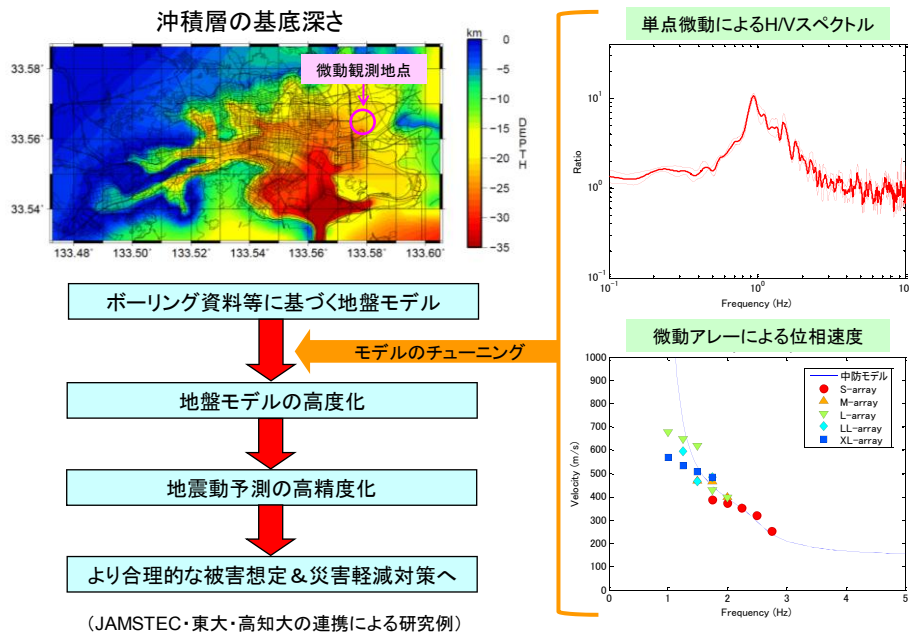


図 12 PS 検層情報の少ない高知市における地盤モデルの高度化の例

高知市の浦戸大橋における微動観測と地震応答シミュレーション

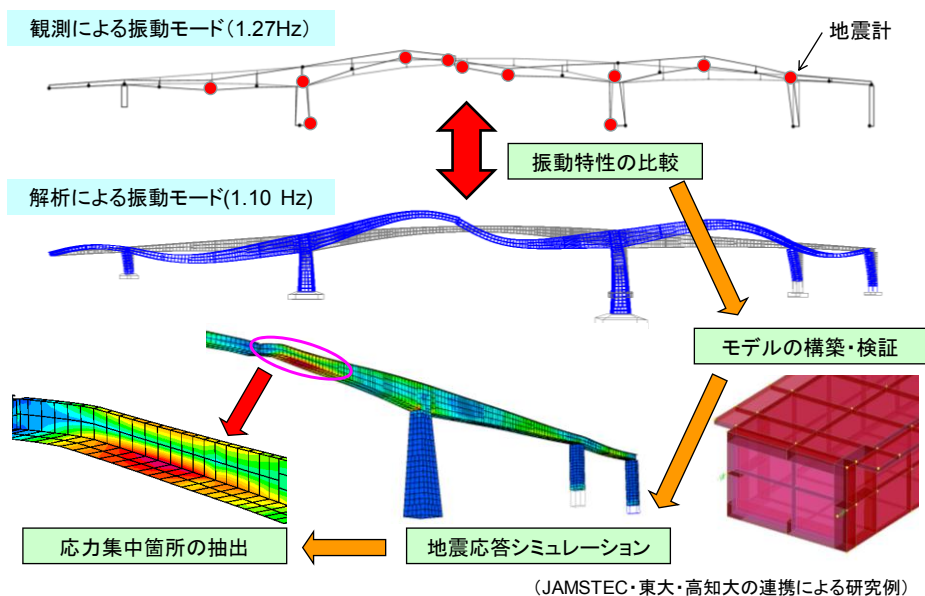


図 13 高知市の浦戸大橋の地震応答シミュレーション例

名古屋圏における地盤モデルの構築法

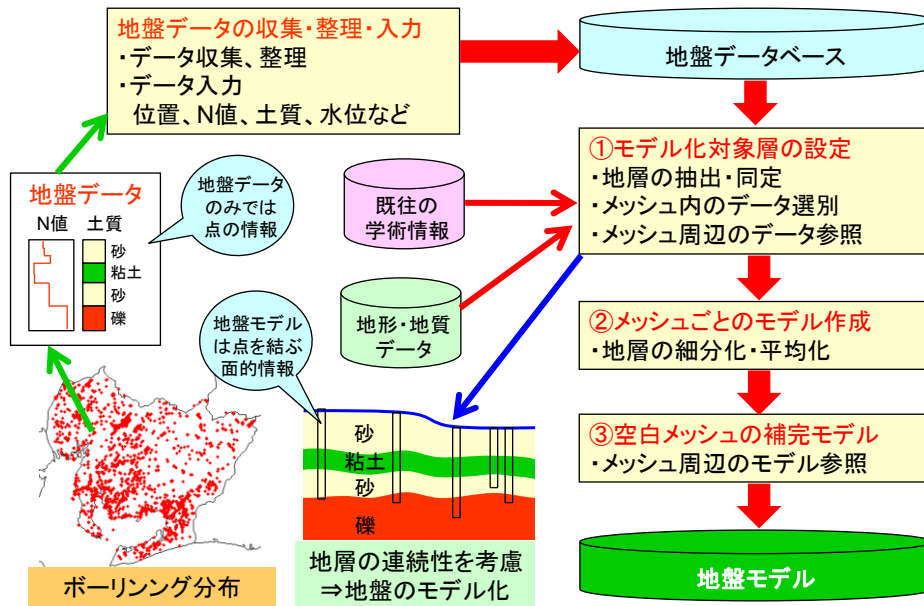


図 14 ボーリングデータの多い名古屋圏での地盤モデルの構築法

伊賀上野における地盤モデルの構築法

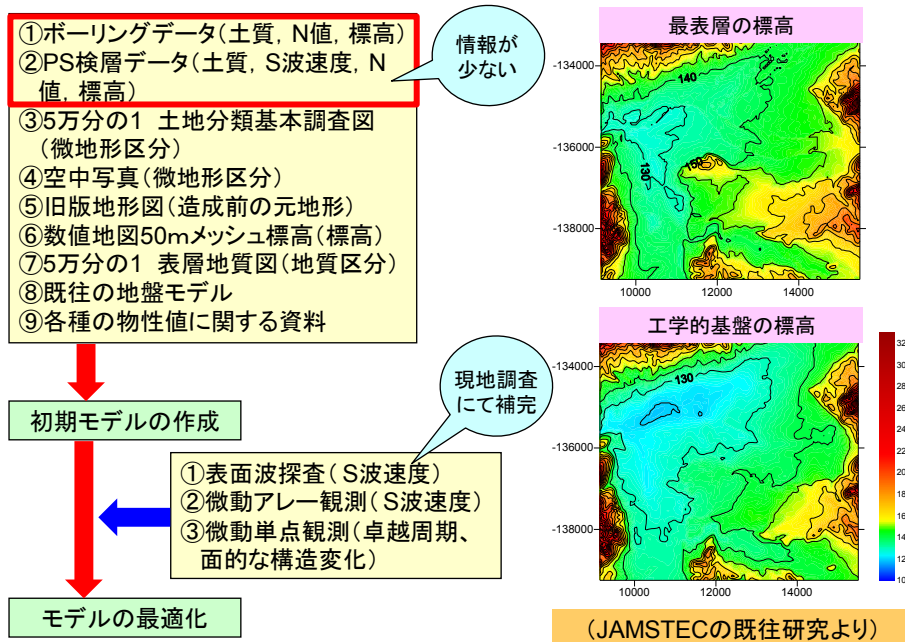


図 15 ボーリングデータの少ない伊賀上野での地盤モデルの構築法

(c) 結論ならびに今後の課題

本年度は、地震動及び津波シミュレーションの高度化に向けて、プレート境界面及びモホ面形状の高精度化を進めた。次年度以降では、地下構造モデルの高精度化を引き続き進め、構造モデルをシミュレーションに実際に適用することを試みる予定である。

昨年度、ボーリングデータに基づき構築した大阪平野の特定地域における浅層地盤モデルを用いて地震動増幅率と震度増分を算定し、これを微地形分類に基づき定めた全国モデルと結合することによりモデルの精度を高めた。次年度は、ボーリングデータを用いた地震動増幅モデルの対象範囲を濃尾平野、高知平野にも広げ、これらの研究対象地域のモデルの高度化を進める予定である。

地域研究会については、本年度は高知市、大阪市、名古屋市の3地域においてそれぞれ2回の地域研究会を開催するとともに、名古屋市において1回の分科会とその紀州分科会及び紀州講演会（防災セミナー）を開催した。これまでの地域研究会、分科会、講演会を通じて、プロジェクトに対する地域側の理解が確実に高まってきている。地域研究会は、プロジェクト研究担当者においても、地域側の要望のフィードバックを受け、成果の利活用を念頭に入れた研究方向性を再確認する上で重要や役割を担っている。地域研究会の回数を増すにつれ、地域側からの話題提供も増えつつあり、議論の深化と意見交換の活発化が進んでいる。次年度も、連動型巨大地震発生前、発生時、発生後、それぞれのフェーズに対して地域社会が取り組むべき優先事項や時間を追ったシナリオに整理した防災・復興復旧方策について、本サブプロジェクトの成果に向けて議論を進める予定である。

(d) 引用文献

- 1) Furumura, T., K. Imai, and T. Maeda: A revised tsunami source model for the 1707 Hiei earthquake and simulation of tsunami inundation of Ryujin Lake, Kyushu, Japan, *J. Geophys. Res.*, 116, B02308, doi:10.1029/2010JB007918, 2011.
- 2) 市川 岳：海底地震計を使った日向灘周辺の地殻構造研究，北海道大学修士論文，1997.
- 3) Matsuoka, H. and M. Okamura: Nankai earthquakes recorded in tsunami sediments during the last 5000 years, *Am. Geophys. Union Fall Meet. Abstracts*, T33B - 1885, 2009.
- 4) 三浦 誠一・山下 幹也・藤江 剛・野口 直人・高橋 成実・野 徹雄・小平 秀一・小林 励司：「かいいい」MCS システムによる房総沖スロースリップ域の構造イメージング-KR10-09 航海，ブルーアース'11，2011.
- 5) Nakanishi, A., S. Kodaira, G. Fujie, K. Obana, T. Takahashi, Y. Yamamoto, T. Sato, K. Kashiwase, H. Fujimori, and Y. Kaneda: Geometry of the Philippine Sea plate subducting beneath the southwestern Nankai seismogenic zone, *Am. Geophys. Union Fall Meet. Abstracts*, T11D-2119, 2010.
- 6) Smith, W. H. F. and P. Wessel: Gridding with continuous curvature splines in tension, *Geophysics*, 55, 293-305, 1990.
- 7) 東海・東南海・南海地震の連動性評価研究プロジェクト，連動性を考慮した強震動・津波予測及び地震・津波被害予測研究，サブプロジェクト1の研究成果の活用および地域研究会の開催，平成20年度成果報告書，2009.
- 8) 東海・東南海・南海地震の連動性評価研究プロジェクト，連動性を考慮した強震動・津波予測及

び地震・津波被害予測研究，サブプロジェクト1の研究成果の活用および地域研究会の開催，平成21年度成果報告書，2010.

- 9) 八木勇治・菊地正幸・吉田真吾・山中佳子，1968年4月1日，日向灘地震（MJMA7.5）の震源過程とその後の地震活動との比較，地震2，Vol.51，pp.139-148，1998.
- 10) Yamamoto, Y, K. Obana, T. Takahashi, A. Nakanishi, S. Kodaira, and Y. Kaneda: Difference of the seismic structure between the Hyuga-nada and the Nankai seismogenic segments, Am. Geophys. Union Fall Meet. Abstracts, T11D-2120, 2010.
- 11) 新関西地盤－大阪平野から大阪湾－：KG-NET・関西圏地盤研究会，2007.
- 12) 大阪府：大阪府自然災害総合防災対策検討（地震被害想定）報告書，2007.
- 13) 防災科学技術研究所 JSHIS：<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- 14) 藤本一雄・翠川三郎：日本全国を対象とした国土数値情報に基づく地盤の平均S波速度分布の推定，日本地震工学会論文集，Vol.3，No.3，pp.13-27，2003.
- 15) 松岡昌志・若松加寿江：地形・地盤分類250mメッシュマップ全国版に基づく地盤のゆれやすさデータ，産業技術総合研究所，知的財産管理番号H20PRO-936，2008.
- 16) 松岡昌志・翠川三郎：国土数値情報とサイスミックマイクロゾーニング，第22回地盤震動シンポジウム資料集，日本建築学会，pp.23-34，1994.
- 17) 藤本一雄・翠川三郎：近接観測点ペアの強震観測記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均S波速度，日本地震工学会論文集，Vol.6，No.1，pp.11-22，2006.
- 18) 土木学会・地盤工学会：2007年能登半島地震調査報告書，2007.

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国際・国内の別
南海トラフ周辺における3次元地下構造モデルの構築（ポスター）	中村武史・ チタクセクチン・ 高橋成実・ 金田義行・ 大堀道広・ 馬場俊孝	日本地球惑星合同連 合大会	2011年5月（発表予定）	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所（雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
東海・東南海・南海地震高知市における湛水被害	澤田雅浩・ 馬場俊孝	建築雑誌	Vol.125, No.1604,	国内

からの復旧・復興対策の検討			pp.22-23, 2010年5月	
海溝型巨大地震への挑戦 ～最新の地震研究と防災 研究～	金田義行	Blue Earth	Vol.107, pp.28-31, 2010年5月	国内
DONETで測定できる最大 加速度に関する検討	大堀道広・中 村武史・有 吉慶介・神 谷眞一郎・松 本浩幸・荒木 英一郎・佐久 間淳・川口勝 義・坪井誠 司・金田義行	JAMSTEC Report of Research and Development	Vol.11, pp.17-31, 2010 年9月	国内

マスコミ等における報道・掲載

報道・掲載された成果（記 事タイトル）	対応者氏名	報道・掲載機関 （新聞名・TV名）	発表時期	国際・国 内の別
未来の原石たち	金田義行	週刊朝日	2010年5月11 日	国内
地震や津波のみはり番	金田義行	海と地球のかべ新聞	2010年12月	国内
TOKYO MORNING RADIO	金田義行	J-WAVE	2011年1月17日	国内
東海・東南海・南海地震は 同時に発生する？	金田義行	あいち防災通信6号	2011年1月	国内
TOKYO MORNING RADIO	金田義行	J-WAVE	2011年3月14日	国内
巨大地震	金田義行	日本経済新聞	2011年4月10日	国内

(f) 特許出願, ソフトウェア開発, 仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成23年度業務計画案

平成22年度までに構築した地下構造モデルを、南海地震震源域および日向灘地震震源域の周辺まで拡大した高精度陸海統合地下構造モデルを完成させ、個別研究テーマ(1)(2)における連動発生シナリオに基づく強震動・津波シミュレーションとその被害予測に活用する。加えて、個別研究テーマ(3)における強震動予測の高度化に用いる広域の表層地盤増幅モデルを、都市部についてはボーリングデータを用いて、また周辺地域については地形分類に基づいて整備する。平成22年度に継続して、高知市、大阪市、および名古屋市に設置された地域研究会を年2回程度開催し、地震の発生前の防災対応、発生直後の応急対応、発生後の復旧・復興対応のそれぞれのフェーズに対して地域社会が取り組むべき事項を整理した、連動型地震に対応した防災および復旧・復興方策を検討する。

4. 活動報告

4.1. 会議録

4.1.1. 第4回大阪市地域研究会

(1) 開催日時

平成22年7月21日 10:00-12:30

(2) 開催場所

プリムローズ大阪

(3) 出席者

(a) プロジェクト側

金田・高橋・大堀・馬場・古村・福和・牧・今井・前田

(b) 地域側

大阪府政策企画部危機管理室

大阪府都市整備部事業管理室

大阪府都市整備部湾岸局

大阪府水道部事業管理室

大阪市危機管理室

大阪市港湾局経営企画部防災

和歌山市市長公室危機管理部総合防災課

大阪管区气象台 技術部地震火山課

大阪ガス導管事業部中央保安指令部

関西電力

JR 西日本

東海・東南海・南海地震津波研究会

和歌山大学

(c) オブザーバ

国土交通省近畿地方整備局

地盤研究財団

(4) 議事次第

(a) 前回議事概要等の確認

(b) 話題提供

1) 大阪平野の地盤とその特徴（地盤研究財団 北田）

2) 大阪平野域における地盤モデルの現状と課題（地盤研究財団 山本）

3) 大阪の特定地域における詳細地盤モデルを用いた地震動増幅特性について

（海洋研究開発機構 大堀）

(c) 質疑応答および討議

(d) その他

4.1.2. 第5回高知市地域研究会

(1) 開催日時

平成22年7月28日 13:30-16:00

(2) 開催場所

高知商工会館

(3) 出席者

(a) プロジェクト側

金田・高橋・馬場・チタク・古村・今村・牧・今井・前田

(b) 地域側

国土交通省 四国整備局

高知県 危機管理部

高知県 土木部

高知市 総務部危機管理室

徳島県 危機管理部南海地震対策課

四国電力

高知ライフライン連絡会

高度技術政策総合研究所

高知大学

山口大学

(c) オブザーバ

(4) 議事次第

(a) 前回議事概要等の確認

(b) 話題提供

1) 地震・津波観測監視システム（海洋研究開発機構 金田）

2) 高知市での津波解析（東北大学 今村）

3) 構造物の応答シミュレーションに関する研究（東京大学 堀）

(c) 質疑応答および討議

(d) その他

4.1.3. 第4回名古屋市地域研究会

(1) 開催日時

平成22年8月4日 13:30-16:00

(2) 開催場所

名古屋通信会館

(3) 出席者

(a) プロジェクト側

金田・大堀・古村・福和・前田・護・飛田

(b) 地域側

愛知県 防災局防災危機管理課

愛知県 建設部建築担当局

愛知県 建設部河川課

名古屋市 消防局防災部防災室

名古屋市 緑政土木局企画経理課

三重県 防災危機管理部地震対策課

中部地方整備局 企画部防災課

名古屋地方気象台 防災業務課

津地方気象台 防災業務課

静岡地方気象台 防災業務課

岐阜地方気象台 防災業務課

東邦ガス

中部電力

トヨタ自動車

三重大学

名古屋大学

豊橋技術科学大学

名古屋工業大学

愛知工業大学

(c) オブザーバ

中部地方整備局 名古屋港湾航空技術調査事務所

(4) 議事次第

(a) 前回議事概要等の確認

(b) 話題提供

1) 地震・津波観測監視システムの構築（海洋研究開発機構 金田）

2) 揺れ-液状化-堤防沈下-津波-湛水の複合災害シナリオ（地域研究会事務局）

3) 愛知県設計用入力地震動について（名古屋大学 護）

(c) 質疑応答および討議

(d) その他

4.1.4. 地震防災セミナー(地域研究会紀州分科会)

(1) 開催日時

平成 22 年 11 月 23 日 10:00-12:30

(2) 開催場所

和歌山県立情報交流センター Big-U

(3) 出席者

(a) プロジェクト側

金田・高橋・今井

(b) 地域側

新宮市消防本部

湯浅広川消防組合

御坊市消防本部

田辺市消防本部

白浜町消防本部

那智勝浦町消防本部

新宮市消防本部

三重大学

和歌山大学

NTT

関西電力

海南市市民交流課

有田市経営企画課

広川町

印南町

田辺市総務課

白浜町総務課

新宮市防災対策課

新宮市

有田市経営企画課

白浜町

和歌山県総務部

三重県警紀宝警察署

尾鷲海上保安部

尾鷲市防災危機管理室

三重県熊野県民センター県民防災室

三重県防災危機管理部

国交省紀南河川国道事務所

田辺海上保安部

和歌山県総務部
和歌山県県土整備部河川・下水道局
和歌山県県土整備部港湾航空局
和歌山県県土整備部 港湾航空局
和歌山県海草振興局
和歌山県 西牟婁振興局

(4) 議事次第

(a) 趣旨説明

(b) 話題提供

- 1) 海岸林を用いた津波被害の軽減（東北大学 今井健太郎）
- 2) 三重県における地域と連携した防災支援活動（三重大学工学研究科 川口 淳）

(c) 質疑応答および討議

(d) その他

4.1.5. 第5回大阪市地域研究会

(1) 開催日時

平成23年2月14日 15:00-17:30

(2) 開催場所

甲南大学 レクチャールーム

(3) 出席者

(a) プロジェクト側

金田・高橋・古村・福和・今井

(b) 地域側

大阪府 政策企画部危機管理室危機管理課企画推進グループ
大阪府 水道部 事業管理室
和歌山県 総務部危機管理局総合防災課
大阪管区气象台 技術部地震火山課
大阪ガス（株）導管事業部中央保安指令部防災・供給チーム
関西電力 総務室庶務グループ
東海・東南海・南海地震津波研究会
和歌山大学 教育学部地学教室
国土交通省 近畿地方整備局 企画部
JR 西日本 鉄道本部施設部土木技術課
内閣府

(c) オブザーバ

(4) 議事次第

(a) 前回議事概要等の確認

(b) 話題提供

- 1) 統合化地下構造データベースの整備と今後の課題
(防災科学技術研究所 藤原広行)
- 2) 大阪ガスの地震・津波防災対策 (大阪ガス 小川安雄)

(c) 質疑応答および討議

(d) その他

4.1.6. 第5回名古屋市地域研究会

(1) 開催日時

平成23年3月9日 10:00-12:30

(2) 開催場所

名古屋通信会館

(3) 出席者

(a) プロジェクト側

福和・古村・前田・今村・護・飛田・金田・高橋・大堀

(b) 地域側

愛知県 防災局防災危機管理課

愛知県 建設部建築担当局住宅計画課

愛知県 建設部建築担当局公営住宅課

愛知県 愛知県建設部河川課

名古屋市 消防局防災部防災室

名古屋市 緑政土木局企画経理課

三重県 防災危機管理部地震対策室

四日市市 市役所 危機管理室

名古屋地方気象台 防災業務課

津地方気象台 防災業務課

静岡地方気象台 防災業務課

東邦ガス(株) 供給防災部供給センター

中部電力(株) 発電本部 土木建築部

トヨタ自動車(株) 総務部名古屋総務室

三重大学 大学院工学研究科

名古屋大学 大学院環境学研究科附属地震火山・防災研究センター

名古屋大学 大学院工学研究科

豊橋技術科学大学 建築工学系

国土交通省中部地方整備局 企画部防災課

中部地方整備局 名古屋港湾空港技術調査事務所

中部地方整備局 港湾空港部 港湾空港防災・危機管理課

愛知工業大学

海上保安庁 第4管区海上保安部 警備救難部・環境防災課

(c) オブザーバ

(4) 議事次第

(a) 前回議事概要等の確認

(b) 話題提供

1) 高潮防潮堤の耐震性、液状化による沈下などについて（名古屋大学 中野）

2) 名古屋圏における地盤モデルの構築の進捗状況について（名古屋大学 護）

(c) 質疑応答および討議

(d) その他

4.1.7. 第6回高知市地域研究会

(1) 開催日時

平成23年3月16日 13:30-16:00

(2) 開催場所

高知会館

(3) 出席者

(a) プロジェクト側

金田・高橋・福和・牧

(b) 地域側

国土交通省 四国地方整備局

高知県 危機管理部 地震・防災課

高知県 土木部 公園下水道課

高知市 総務部危機管理室

徳島県 危機管理部 地震・防災課

阿南市 総務部 市民安全局

四国電力

高知ライフライン連絡会

気象庁 地震火山部地震予知情報課

高知地方气象台 防災業務課

港湾空港技術研究所 津波防災研究センター

山口大学

高知大学

(c) オブザーバ

(4) 議事次第

(a) 前回議事概要等の確認

(b) 話題提供

1) 長期湛水被害からの災害対応、復旧対策の基礎的検討

—南海地震による高知市を事例として—（京都大学 牧）

2) 浦戸大橋の微動観測結果 (海洋研究開発機構 チタク)

(c) 質疑応答および討議

(d) その他

「南海トラフ巨大地震連動性評価研究」推進委員会規則

東京大学大学院情報学環

南海トラフ巨大地震連動性評価研究推進委員会規則

平成 20 年 6 月 13 日制定

平成 21 年 4 月 1 日改定

(趣旨)

この規則は、「南海トラフ巨大地震連動性評価研究」プロジェクトを効果的に推進するため、南海トラフ巨大地震連動性評価研究推進委員会（以下「委員会」という。）の組織及び運営について定めるものとする。

(目的)

委員会は、本プロジェクトの研究に関する重要事項を審議し、関係研究機関（者）間の連携を緊密にし、もってその有効な推進を図ることを目的とする。

(任務)

前条に定める目的を達成するため、委員会は、次の各号に掲げる事項について審議し、決定する。

(1) 本プロジェクトに関わる研究計画

委員会の構成員

その他、研究推進に関わる事項

(構成)

第 4 条 委員会の委員は、次の各号に掲げる職員の中から情報学環長が委嘱する。

(1) 本プロジェクトに参加する者若干名

(2) 上記以外の有識者若干名

2 必要に応じて、オブザーバの参加を認める。

(委員長)

第 5 条 委員会に委員長を置く。

2 委員長に事故あるときは、あらかじめ委員長の指名する委員がその職務を代理する。

(任期)

委員の任期は、2 年とする。ただし、委嘱を受けた翌年度の 3 月 31 日を超えることはできない。

2 委員の再任は妨げない。

3 補欠による委員の任期は、前任者の残任期間とする。

(会議)

第7条 委員会は、必要に応じ、委員長が招集する。

(庶務)

委員会の事務は、情報学環において処理する。

(委員会の期限)

委員会の期限は本プロジェクトの終了までとする。

(補則)

第11条 この規則に定めるもののほか、委員会の運営に関して必要な事項は、委員会の定めるところによる。

附 則

この規則は、平成21年4月1日から施行する。

「南海トラフ巨大地震連動性評価研究」研究推進委員会② 構成

H22. 4. 1 日現在

(有識者)

- 委員長 本蔵 義守 国立大学法人東京工業大学大学教授
委員 入倉孝次郎 愛知工業大学地域防災研究センター客員教授
委員 吉井 博明 東京経済大学コミュニケーション学部教授
委員 宇平 幸一 気象庁地震火山部管理課長
委員 春日 茂 海上保安庁海洋情報部技術・国際課長
委員 飛田 幹男 国土地理院地理地殻活動研究センター
地殻変動研究室長
委員 小林佐登志 静岡県危機管理局危機管理監兼管理局長
委員 小出 茂樹 愛知県防災局長
委員 東地 隆司 三重県防災危機管理部長
委員 森 崇 和歌山県危機管理監
委員 森部慎之助 高知県危機管理部長
委員 山川 正雄 徳島県危機管理部長

(研究担当者)

- 委員 古村 孝志 国立大学法人東京大学情報学環
総合防災情報研究センター 教授
委員 今村 文彦 国立大学法人東北大学大学院工学研究科教授
委員 福和 伸夫 国立大学法人名古屋大学大学院環境学研究科教授
委員 牧 紀夫 国立大学法人京都大学防災研究所
巨大災害研究センター准教授
委員 金田 義行 独立行政法人海洋研究開発機構海洋工学センター
海底地震・津波観測ネットワーク開発部長

(委託元)

- オブザーバ 文部科学省研究開発局地震・防災研究課長

4.2. 対外発表

4.2.1. 連動型巨大地震による強震動の高精度予測

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国際・国内の別
南海・東南海・東海地震の連動発生による強震動と津波—3連動発生による「最悪」シナリオ（口頭）	古村孝志	日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 千葉県	2010 年 5 月 24 日	国内
史料に基づく 1707 年宝永地震の発生時刻の推定精度（ポスター）	今井健太郎・ 西山昭仁・ 前田拓人・ 石辺岳男・ 佐竹健治・ 古村孝志・	日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 千葉県	2010 年 5 月 24 日	国内
地震波・海中音波・津波の動的連星シミュレーションの試み（口頭）	前田拓人・ 古村孝志	日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 千葉県	2010 年 5 月 25 日	国内
A Unified Dynamic Numerical Simulation of Seismic, Ocean Acoustics, and Tsunami Waves（口頭）	Takuto Maeda, Takashi Furumura	7 th ACES International Workshop, Otaru	2010 年 10 月 5 日	国際
Tsunami simulation for the 1707 Hiei earthquake: A revised source model and tsunami inundation to onshore lakes（口頭）	Takashi Furumura Kentaro Imai, Takuto Maeda	7 th ACES International Workshop, Otaru	2010 年 10 月 7 日	国際
1605年慶長地震による大津波生成メカニズム（口頭）	古村孝志・ 前田拓人・ 今井健太郎	2010 年日本地震学会秋季大会, 広島市	2010 年 10 月 29 日	国内
地震に伴う津波高と海中音波：動的連成シミュレーションに基づく検討（口頭）	前田拓人・ 古村孝志	2010 年日本地震学会秋季大会, 広島市	2010 年 10 月 29 日	国内
宝永地震の際の東海震源	今井健太郎	2010 年日本地	2010 年 10 月	国内

域の破壊遅れ—駿河湾・遠州灘付近の津波痕跡高からの推定— (ポスター)	西山昭仁・ 前田拓人・ 石辺岳男・ 佐竹健治・ 古村孝志	震学会秋季大会, 広島市	29 日	
2010年チリ中部地震による関東・東海地方沿岸の津波痕跡調査	今井 健太郎・ 行谷 佑一・ 都司 嘉宣・ 藤井 雄士郎・ 安藤 亮輔・ 小松原 純子・ 小松原 琢・ 堀川 晴央・ 宮地 良典・ 松山 昌史・ 吉井 匠・ 石辺 岳男・ 佐竹 健治・ 西山 昭仁・ 原田 智也・ 鳴原 良典・ 鳴原 康子・ 藤間 功司	2010 年海岸工学講演会, 京都	2010 年 11 月	国内
Tsunami simulation for the great 1707 Hiei, Japan, earthquake (ポスター)	Takashi Furumura, Kentaro Imai, Takuto Maeda	AGU Fall Meeting 2010	2010 年 12 月 13 日	国際
Delayed Segment Rupture during Great Earthquake along the Nankai Trough - Estimation from Historical Documents and Tsunami Trace Heights of the 1707 Hiei Earthquake - (ポスター)	Kentaro Imai, Akihito Nishiyama, Takuto Maeda, Takeo Ishibe, Kenji Satake, Takashi Furumura	AGU Fall Meeting 2010	2010 年 12 月 13 日	国際
An integrated simulation of seismic and tsunami waves (ポスター)	Takuto Maeda, Takashi Furumura	AGU Fall Meeting 2010	2010 年 12 月 13 日	国際

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 （雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
A revised tsunami source model for the 1707 Hōei earthquake and simulation of tsunami inundation of Ryujin Lake, Kyushu, Japan	Takashi Furumura Kentaro Imai Takuto Maeda	Journal of Geophysical Research, Vol. 116, B02308, doi:10.1029/2010JB007918	2011年2月	国際
2010年チリ中部地震による関東・東海地方沿岸の津波痕跡調査	今井 健太郎 行谷 佑一 都司 嘉宣 藤井 雄士郎 安藤 亮輔 小松原 純子 小松原 琢 堀川 晴央 宮地 良典 松山 昌史 吉井 匠 石辺 岳男 佐竹 健治 西山 昭仁 原田 智也 嶋原 良典 嶋原 康子 藤間 功司	土木学会論文集B2（海岸工学）， 66， No.1， 1351-1355	2010年	国内

4.2.2. 津波災害の高精度予測に基づく人的被害軽減戦略の策定

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 （学会等名）	発表時期	国際・国内の別
津波避難に関する認知マップを利用した評価の試み（口頭）	宇川弘朗・今村文彦	平成22年度東北支部技術研究発表会，土木学会，福島（郡山）	2010年3月6日	国内
津波来襲時における住民の避難過程を考慮した人的被	宍戸直哉・宇	第57回海岸工学講演	2010年11月10	国内

害評価手法に関する検討 (口頭)	川弘朗・今村 文彦	会, 京都	日	
---------------------	--------------	-------	---	--

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文 (論文題目)	発表者氏名	発表場所 (雑誌等名)	発表時期	国際・国内の別
津波に伴う屋外タンクと漂流物による被害に関する実用的評価手法の提案	藤井直樹・今村文彦	自然災害科学, Vol.28, No.4, pp.371-386.	2010	国内
津波来襲時における住民の避難過程を考慮した人的被害評価手法に関する検討	宍戸直哉・宇川弘朗・今村文彦	土木学会論文集B2 (海岸工学), B2-66, pp.1311-1315.	2010	国内

4.2.3. 都市域の地震動予測と構造物の被害予測・減災戦略の策定

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果 (発表題目、口頭・ポスター発表の別)	発表者氏名	発表場所 (学会等名)	発表時期	国際・国内の別
改良地盤に支持された免震建物の振動特性に関する研究 その1 地震観測記録に基づく建物応答特性分析	護雅史 福和伸夫 飛田潤 後藤圭佑	日本建築学会学術講演梗概集, Vol.B2, pp.640-641,	2010.9	国内
改良地盤に支持された免震建物の振動特性に関する研究 その2 部分的な地盤改良が基礎応答に与える影響についての解析的検討	周方圓 護雅史 福和伸夫 後藤圭佑	日本建築学会学術講演梗概集, Vol.B2, pp.642-643	2010.9	国内
埋込み基礎の簡易的基礎入力動評価法	鈴木承慈 福和伸夫 護雅史 飛田潤	日本建築学会学術講演梗概集, Vol.B2, pp.664-665	2010.9	国内
基礎の浮上りに伴う振動方向間の応答連成効果を評価可能な地震応答解析モデルの構築	杉本浩一 護雅史 福和伸夫	日本建築学会学術講演梗概集, Vol.B2, pp.683-684	2010.9	国内

復旧・復興戦略策定のための地域対応力を考慮した地震災害定量化に関する基礎的研究（その1：手法提案と試算	池田政人 林孝幸 倉田和己 福和伸夫 護雅史 飛田潤	日本建築学会学術講演梗概集, Vol.B2, pp.843-844	2010.9	国内
復旧・復興戦略策定のための地域対応力を考慮した地震災害定量化に関する基礎的研究（その2：被害定量化）	林孝幸 池田政人 倉田和己 福和伸夫 護雅史 飛田潤	日本建築学会学術講演梗概集, Vol.B2, pp.845-846	2010.9	国内
軟弱地盤に立地する大規模群杭に支持された重要基盤施設の地震時損傷評価	護 雅史 周 方圓 福和伸夫	第13回日本地震工学シンポジウム	2010.11	国内
復旧・復興戦略策定のための地域対応力を考慮した地震災害定量化に関する基礎的研究	池田政人 林 孝幸 倉田和己 福和伸夫 護 雅史	第13回日本地震工学シンポジウム	2010.11	国内
継続時間の長い強震動の半経験的的合成手法に関する研究	高橋広人 福和伸夫 護 雅史 飛田 潤	第13回日本地震工学シンポジウム	2010.11	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 （雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
国内免震建物のデータベース構築と現状分析	田中佑治 福和伸夫 飛田潤 護雅史	日本建築学会技術報告集、第17巻、第35号、pp.79-84	2011.2	国内
埋込み基礎の基礎入力動簡易評価法	鈴木承慈 福和伸夫 護雅史	日本建築学会構造系論文集、No.661、pp.535-541	2011.3	国内

4.2.4. 将来の地域社会特性を反映した災害対応、復旧・復興戦略の策定

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 （学会等名）	発表時期	国際・国内の別
------------------------	-------	----------------	------	---------

--	--	--	--	--

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所 （雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
陳海立・牧紀男・林春男	地域人口特性に基づく地域復興の評価－阪神淡路大震災と新潟県中越地震の地域特性と復興像－	地域安全学会論文集, No. 13, pp 347-355.	2010	国内
Chen, H., Maki, N., and Hayashi, H.	Adapting the Demographic Transition in Preparation of the Tokai-Tonankai-Nankai Earthquake	Journal of Disaster Research, Vol.5, No. 6, pp 666-676.	2010	国際
牧 紀男・陳海立・馬場俊孝・澤田雅浩・鈴木伸吾・佐藤栄治・能島暢呂	長期湛水被害からの災害対応・復旧のあり方に関する研究－南海地震による高知市を事例として－	地域安全学会論文集 No. 13, pp 195-202.	2010	国内

4.2.5. サブプロジェクト1の研究成果の活用および地域研究会の開催

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 （学会等名）	発表時期	国際・国内の別
南海トラフ周辺における3次元地下構造モデルの構築（ポスター）	中村武史・ チタクセクチン・ 高橋成実・ 金田義行・ 大堀道広・ 馬場俊孝	日本地球惑星合同連合大会	2011年5月（発表予定）	国内

学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所	発表時期	国際・国内の別
------------	-------	------	------	---------

		(雑誌等名)		内の別
東海・東南海・南海地震 高知市における湛水被害 からの復旧・復興対策の検 討	澤田雅浩・ 馬場俊孝	建築雑誌	Vol.125, No.1604, pp.22-23, 2010年5月	国内
海溝型巨大地震への挑戦 ～最新の地震研究と防災 研究～	金田義行	Blue Earth	Vol.107, pp.28-31, 2010年5月	国内
DONETで測定できる最大 加速度に関する検討	大堀道広・中 村武史・有 吉慶介・神 谷眞一郎・松 本浩幸・荒木 英一郎・佐久 間淳・川口勝 義・坪井誠 司・金田義行	JAMSTEC Report of Research and Development	Vol.11, pp.17-31, 2010 年9月	国内

5. むすび

東海・東南海・南海地震連動性評価研究プロジェクトの開始から3年が経過し、本サブプロジェクト②の目的である、連動発生による強震動と津波の評価と、地震津波被害予測、そして実効性の高い復興・復旧施策と地域防災研究を、研究者のみならず地域研究会を通じた自治体防災関係者とライフライン企業との連携により進めてきました。

こうして、東海・東南海・南海地震の連動発生により、震源域の拡大と断層滑り量の増大による津波高の増大や、断層破壊のディレクティブティ効果による強い長周期地震動の生成などの連動発生により、個々の地震の単独発生を足し合わせた以上の影響、数分～十数分の時間差発生により津波が重なり波高が増幅する現象、そして2回ないし3回続けて強い揺れに見舞われることが応急対応や復興・復旧に与える影響など、連動発生の多様性が作り出す「最悪シナリオ」がようやく見えてきたところです。

今年度の主な成果として、まず、南海トラフ地震でこれまで謎であった1605年の慶長地震（津波地震）の発生メカニズムの検討が進み、海溝付近の浅部プレート境界の滑りによる大津波発生の原因を明らかになりました。また、都市域の地震動予測と構造物被害予測において、埋め立て地などの軟弱地盤の地震動を地盤の非線形性や液状化を考慮して高精度に予測するための地盤モデル作成法の整備が進み、ボーリングデータを収集したデータベースが整備されたことにより軟弱地盤上の大規模構造物の地震応答解析の目処が得られました。こうして評価された都市域の地震津波被害に対して、10～30年後の未来の人口や社会状況を考慮した復興・復旧施策の具体的な検討を行うための、研究者や行政職員が参加するワークショップが開催されました。また、サブプロジェクト①の観測・構造探査研究との連携により海陸地下構造モデルの統合が進み、表層地盤の増幅特性をボーリングデータの収集と地震波解析による物性値の調整により、強震動と被害予測のための地下構造モデルの高度化が着実に進みました。こうした研究の成果は、高知・大阪・名古屋での地域研究会とその分科会（紀州）を通じて、自治体やライフライン企業の防災担当者に還元され、連動発生による災害の拡大の具体的なイメージの共有化と減災に向けた検討項目の洗い出しが進みました。

ところが、3月11日の東北地方太平洋沖地震の発生を受けて、これまでの東海・東南海・南海地震の連動発生による最悪シナリオの再考が余儀なくされようとしています。東北地方太平洋沖地震は、これまで東海・東南海・南海地震の3連動発生で考えた、いわば「通常の地震（三陸はるか沖地震、宮城県沖地震、福島県沖地震、茨城県沖地震など）」の連動発生ではなく、「通常の地震」と「津波地震（明治三陸地震、延宝地震など）」の同時発生です。すなわち、これまで本プロジェクトで単独に評価した宝永地震と慶長地震が同時に起きたことを想定しなければなりません。サブプロジェクト①のこれまでの成果で、四国や九州での津波堆積物に、宝永地震の津波をはるかに上回る規模の津波が2000年前（紀元前後）に起きた可能性が指摘されています。これがどのような地震発生を意味するのでしょうか。これまで私たちは、南海トラフ地震が、東海・東南海・南海地震の単独または連動発生で起きているという考えについに縛られがちでしたが、先入観を捨てて連動発生のシナリオをもう一度見直す必要があるでしょう。過去何万年もの地震活動のうち、私たちが知ることができるのはわずかに直近の数百年の事象にしか過ぎません。限られた過去の経験のみから将来の地震の連動性を予測するには限度があります。地震学的あるいは地質学的知見から、南海トラフで起きうる最大限の地震を想定し

て、これによる強震動と津波を評価して宝永地震級の連動発生地震との違いを明確化し、構造物や社会の影響を今後再評価する必要があると考えます。

サブプロジェクト①の地震観測・地下構造研究、地震発生サイクルシミュレーション研究と、本サブプロジェクト②研究の一層の連携を一層強化して、この問題に取り組むとともに、重要な成果を防災に確実に生かすための方策を、地域研究会を通じた防災担当者と探ります。

(2011年4月28日 サブプロジェクト②研究代表者 古村孝志)