

3. 研究報告

3. 1 短期海底地震観測および陸上地震・測地観測によるプレート間すべりに関する研究

(1)業務の内容

(a) 業務題目

宮城県沖地震アスペリティ周辺におけるプレート間すべりのモニタリングの実現

(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 理学研究科	教授	松澤暢	matuzawa@aob. gp. tohoku. ac. jp
	准教授	三浦哲	miura@aob. gp. tohoku. ac. jp
	准教授	日野亮太	hino@aob. gp. tohoku. ac. jp
	准教授	中島淳一	nakajima@aob. gp. tohoku. ac. jp
	助教	内田直希	uchida@aob. gp. tohoku. ac. jp
	助教	伊藤喜宏	yito@aob. gp. tohoku. ac. jp
	研究員	飯沼卓史	iinuma@aob. gp. tohoku. ac. jp
	教授	長谷川昭*	hasegawa@aob. gp. tohoku. ac. jp
	助手	西野実**	
	技術職員	平原聡	
	技術職員	中山貴史	
	技術職員	鈴木秀市	
	研究補佐員	荻荘幸代**	
研究補佐員	鈴木久美子**		

* 現在の所属・職：東北大学大学院理学研究科・客員教授

** 退職

(c) 業務の目的

M7.5級のプレート境界型地震が繰り返し発生する宮城県沖では、次の地震の発生が切迫していると考えられており、その発生時期及び規模の予測精度の向上が急がれる。本業務では、宮城県沖地震時に破壊すると考えられるアスペリティの固着状況やその周囲における準静的すべりの状態が時空間的にどのように変化しているかを監視するための方策を開発することを目的とする。

アスペリティの状況把握の高度化のためには、プレート境界面の形状や境界面とその周囲における中小の地震活動の空間分布を高精度で明らかにする必要がある、文部科学省事業である「宮城県沖地震に関するパイロット的な重点調査観測」（平成14年度～16年度実施、以下「パイロット重点観測」と称する）によってこの領域において開始された海底地震観測網による長期繰り返し地震観測を発展的に継続することによりこれを実現する。

アスペリティ周囲での準静的すべりの時空間的な変動を監視するためには、GPS観測による地表面の変位速度分布からプレート境界面上でのすべり分布を推定し、その時間変化を捉えること、プレート境界面上での小繰り返し地震である相似地震のすべり量と震源分布からすべり分布を推定し、その時間変化を捉えることが効果的であると考えられる。特に「監視」という観点からは、高信頼度のすべり量分布を迅速に推定することが重要であ

り、本業務ではそのための技術開発を推進する。

(d) 5 ヶ年の年次実施計画

1) 平成17年度：

これまでに宮城県沖の周辺で行われた地震観測のデータを解析し、2005年8月16日に宮城県沖で発生したM7.2の地震の破壊域を詳細に明らかにするとともに、1930年代や1978年に発生した過去の宮城県沖地震の破壊域との関係を考察した。また、震源域とその周辺における地震波速度構造モデルを構築した。さらに、GPS観測及び小繰り返し地震活動の解析に基づき、宮城県沖周辺における準静的すべりの実態把握を開始した。

2) 平成18年度：

海底地震計の入れ替えにより、平成17年度に観測を開始した5点の海底観測点における地震観測を継続するとともに、気象庁と共同して4～10月の間、短期観測型海底地震計を用いた機動的な海底地震観測を行った。こうした観測により新たに得られたデータを従来の海底地震観測データに加え、想定震源域周辺の精密な震源分布を求めた。さらに、GPS観測及び小繰り返し地震活動の解析に基づき、宮城県沖周辺における準静的すべりの実態把握を継続した。

3) 平成19年度：

海底地震計の入れ替えにより、平成18年度に観測を開始した6点の海底観測点における地震観測を継続するとともに、気象庁と共同して4～10月の間、短期観測型海底地震計を用いた機動的な海底地震観測を行った。こうした観測により新たに得られたデータを従来の海底地震観測データに加え、想定震源域周辺の詳細な地震活動、地震波速度構造及び発震機構解の推定を行った。さらに、GPS観測及び小繰り返し地震活動による準静的すべり状態の監視の継続・改良を行い、宮城県沖周辺における準静的すべりの実態把握を行った。

4) 平成20年度：

海底地震計の入れ替えにより、繰り返し海底地震観測を継続するとともに、気象庁と共同して短期観測型海底地震計を用いた機動的な海底地震観測を行った。こうした観測により新たに得られたデータを従来の海底地震観測データに加え、プレート境界面上及び面外それぞれにおける地震活動の分離を行い、それぞれの位置での地震活動特性の抽出に努めた。さらに、GPS連続観測及び小繰り返し地震活動の解析を準リアルタイム化し、宮城県沖周辺における準静的すべり状態の監視システムの開発を進めた。

5) 平成21年度：

海底地震計の入れ替えにより、繰り返し海底地震観測を継続するとともに、気象庁と共同して短期観測型海底地震計を用いた機動的な海底地震観測を行った。こうした観測により新たに得られるデータを従来の海底地震観測データに加え、プレート境界面内・外の地震活動度及びその特性の時空間的な変動の解明に努めた。さらに、GPS観測及び小繰り返し地震活動の解析の準リアルタイム化による宮城県沖周辺における準静的すべり状態の監視システムの実用化に向けた開発を進めた。

(2) 5カ年の成果

(a) 業務の要約

2005年8月16日11時46分に宮城県沖において発生したM7.2の地震（以下、2005年の宮城県沖の地震）について、この領域において繰り返し発生しているM7.5級のプレート境界地震のサイクルの中での位置付けを明らかにすることを目的として、地震発生時の海底地震観測データを用いた精密な震源決定を行うとともに、1978年や1930年代に発生した宮城県沖地震との相対的な震源域の関係についての検討を行った。その結果、2005年の地震は明らかにプレート境界で発生した地震ではあるが、1978年の地震時に破壊された複数のアスペリティの一部のみを破壊したものであることが分かった。さらに、1930年代に繰り返し発生したM7級の地震はそうした複数のアスペリティが個別に破壊したことによって発生したと推定され、そのうち1936年の地震は2005年の地震と同じアスペリティの破壊であった可能性が高いことが判明した。

小繰り返し地震及びGPSデータの解析による、宮城県沖地震の想定震源域周辺並びに東北日本広域におけるプレート間すべりのモニタリングを、準リアルタイムに実行するシステムの開発を行った。また、このモニタリングシステムにより、いくつかのすべり加減速イベントを検知することができた。

微小地震観測網の波形データから小繰り返し地震を自動的に抽出するシステムを新たに構築した。この中で、計算量を減らすための工夫やシステムの安定稼働のための工夫を行った。その結果は、毎月レポートにまとめ、ホームページにて公表している。

GPS観測網で観測される地殻変動時系列データのうち、非地震時（地震間）の定常的な変動から定常的なプレート間固着域をバックスリップ分布として逆解析で推定し、定常的な変動からの残差時系列を用いて余効すべりやその他の非地震性すべりイベントを時間依存逆解析手法で明らかにすることで、GPSデータに基づいてプレート間すべりをモニタリングするシステムの開発を行った。GPSデータの一次解析、得られた変位時系列の解析、またバックスリップ推定並びに非地震性すべりの推定と結果の描図・公開までをルーチン的に自動実行することで、準リアルタイムのモニタリングシステムを構築した。得られた結果はFTPでウェブサーバにアップロードされ、Webブラウザを通じて結果を閲覧できる。

構築したモニタリングシステムにより、2005年の宮城県沖の地震後、その周囲で若干の非地震性すべりの加速（余効すべり）が検出されたが、そのすべり量やひろがりとはそれほど大きなものではなかった。このことは、宮城県沖では、今回破壊したアスペリティのほかに破壊せず残っている大きなアスペリティがあるため、固着が強い状態が今も続いていることを示しているのかもしれない。

GPSデータを用いたバックスリップ分布や余効すべり域の解析から、2005年の宮城県沖の地震の震央周辺におけるカップリングが2007年1月以降、回復していることがわかった。一方で、福島県沖についてはバックスリップが弱まっており、これはさらに2008年から2009年までの期間ならびに2009年から2010年までの期間において顕著であった。同様の結果は小繰り返し地震の解析からも得られており、茨城県沖から宮城県沖にいたる領域の海溝に近い側において、プレート間すべりが発生していたと考えられる。

宮城県沖では、東京大学と気象庁と共同で海底地震計を用いた観測を平成17年以降継続して行った。海底地震計により得られたデータと陸上地震観測網によるデータを統合処

理したデータを用いて海域下の3次元地震波速度構造、微小地震の震源決定及びメカニズム解を決定した。

得られた3次元速度構造から、海洋性地殻は深さ20~70kmの範囲において、高 V_p/V_s を保ったまま沈み込んでいることがわかった。上盤側のマントルウェッジ及び下盤側の海洋性地殻の内部それぞれについて、宮城県沖地震のアスペリティの分布に対応するような不均質構造についての検討を行った結果、マントルウェッジ内においては、アスペリティの周辺では高 V_p 及び高 V_s であり、周囲に比べ V_p/V_s は小さいことが分かった。また、海洋性地殻内においては、2005年の宮城県沖の地震の震源周辺において、その周囲に比べて V_p/V_s が有意に小さいことが分かった。

3次元速度構造を用いて微小地震の震源を再決定した結果、多くの地震はプレート境界付近に面状に分布することがわかった。特に、2005年の地震の近傍には2つのクラスター状の地震活動が見られた。ひとつは、(1)2005年の地震の破壊域内で発生し、プレート境界面に沿った面上の地震活動であり、もうひとつは(2)2005年の地震の破壊域東端付近から北東-南西方向に伸びるクラスターで、(1)のクラスターよりも浅部に位置する活動である。

メカニズム解の推定には、P波初動極性(海底地震計+陸上観測点)とS/P振幅比(陸上観測点)を併せて用いた。得られたメカニズム解を本震のメカニズム解に近いプレート境界型とそれ以外の非プレート境界型の2つのタイプに分類した。その結果、(1)のクラスターについてメカニズム解の分布をみると、プレート境界型・非プレート境界型地震のどちらのタイプも発生しているが、プレート境界型地震はプレート境界に沿って分布する。一方、(2)のクラスターでは、主に非プレート境界型地震がプレート境界よりも浅部において発生していることがわかった。2005年の地震の地震時すべりによるクーロン応力変化をクラスター(2)の地震について求めたところ、破壊域東端に位置するクラスター(2)の地震は2005年の地震の地震すべりに起因した応力擾乱により誘発された地震である可能性が高いことが分かった。

(b) 業務の実施方法

小繰り返し地震活動及び陸上のGPS連続観測データに基づいて、プレート間すべりをモニタリングするためのシステムを開発した。

小繰り返し地震(相似地震)解析に関しては、茨城沖から十勝沖で発生した地震について一定の基準に合致するものを小繰り返し地震とし、その活動のモニタリングを行った。Nadeau and Johnson (1998)¹⁾のスケーリング則を用いて小繰り返し地震の積算すべりを計算し、これをプレート境界での準静的すべりとしてその時空間変化を推定した。

地表変位データから地下の断層面上のすべり(もしくはすべり欠損)の分布を推定する逆解析手法の改良を行った(Iinuma, 2009²⁾)。この手法を用いたルーチン解析のための数値計算コードならびにスクリプト群の開発及び環境整備を行った。構築した自動解析システムを用いて過去のGEONETデータに手法を適用した。

GEONETならびに東北大のGPS観測点から得られたデータを解析して得られた変位時系列データに時間依存逆解析手法を適用し、プレート境界におけるすべりの時空間発展を推定した。さらに、海上保安庁海洋情報部から海底地殻変動観測点におけるデータの提供を受

け、これらのデータも含めたプレート間すべりの再解析を行った。また、2005年の地震発生前後にわたるGPS連続観測データによって得られた宮城県沖地震の震源周辺における地表変位速度データを逆解析することにより、プレート境界面上におけるすべりの時空間的な分布を推定し、本震時のすべり領域を推定するほか、余効すべり域を推定し、そこでの地震活動度との対応関係についての検討を行った。

平成17年度以降、長期観測型海底地震計による海底地震観測を平成21年度まで継続して実施し、回収したデータの処理を東京大学と共同で行った。また、気象庁と共同で、短期観測型海底地震計を用いた地震観測を各年度の4～10月の間実施した。この観測は、各年度の7月に一旦機材を入れ替えることにより、各年度約6ヶ月間にわたりほぼ連続して行った。

2005年の宮城県沖の地震を観測した海底地震計のデータを解析することにより、その本震・余震の詳細な震源分布を求めるとともに、1978年宮城県沖地震(M7.4)と2005年の宮城県沖の地震を共通して観測することができた陸上観測点のデータを用いた相対震源決定解析により、両者の余震分布の相対的な関係を高精度で明らかにした。さらに、1930年代の宮城県沖地震についても、当時のP、S波の到達時刻データ(可能であれば地震波形記録から再検測を行った)を、現代的な解析手法により本震・余震の震源決定を行い、1978年や2005年の地震との関係を検討した。

一方、2005年の宮城県沖の地震及びその余震を観測した海底地震計と陸上の地震観測網のデータとを併合処理することにより、震源分布、発震機構解及び3次元地震波速度構造を詳細に推定した。また、得られた発震機構解に基づいて同地域の応力場について解析を行った。さらに精密に得られた余震の震源分布、発震機構を用いて本震が余震に及ぼすクーロン応力変化を評価し、2005年の宮城県沖の地震のすべり域の東端の推定を試みた。

(c) 業務の成果

1) プレート間すべりのモニタリング

宮城県沖地震はいわゆるプレート境界型地震である。震源域及びその周辺におけるプレート間の固着・すべり域の分布並びにその時間発展を精確に把握することは、宮城県沖地震の発生過程を明らかにするために不可欠である。本研究では、小繰り返し地震及びGPSデータの解析による、想定宮城県沖地震震源域周辺並びに東北日本広域におけるプレート間すべりのモニタリングを、準リアルタイムに実行するシステムの開発を行った。また、このモニタリングシステムにより、いくつかのすべり加減速イベントを検知することができた。

a) システム概要

本項では、準リアルタイムプレート間すべりモニタリングシステムに関して、解析の理論的背景及び開発作業の具体的内容について記述する。

i) 小繰り返し地震によるプレート間すべりのモニタリング

小繰り返し地震は、断層上の同じ場所が繰り返しすべることにより発生する、極めてよく似た波形を持つ小地震群を指す。プレート境界上には、非地震性すべり域の中に大

小様々な大きさのアスペリティが存在する。大きなアスペリティの破壊は大きなプレート境界地震、小さなアスペリティの破壊は小さなプレート境界地震に対応する。このうち、非地震性すべり域の中に存在する、孤立した小さなアスペリティが小繰り返し地震の源と考えられる。すなわち、小繰り返し地震のアスペリティでは、その周囲の非地震性すべりによって応力が集中し、やがてそれがアスペリティの強度の限界に達し、地震が発生する。これを繰り返すことで、小繰り返し地震となると考えられる。

このような小繰り返し地震発生メカニズムを想定すると、小繰り返し地震の存在はその震源の周囲において非地震性すべりが生じていること示すことになる。さらに、小繰り返し地震の積算すべり量から、周囲の準静的すべりの時間変化を推定することができる。なぜならば、小繰り返し地震アスペリティでの地震は、その周囲での準静的すべりに追いつくように発生していると考えられるためである。

ii) プレート間すべりモニタリングシステムの開発

東北大学では、1984年以來、微小地震観測網のデータをデジタル記録により保存している。これらの過去の波形データを用いて、小繰り返し地震の抽出が行われている（例えば、Igarashi et al., 2003³⁾；Uchida et al., 2003⁴⁾）。このとき用いる方法は、具体的には、震央間距離 40km 以内の過去の地震と波形を比較し、P 波・S 波を含む 40 秒間で 1-8Hz の平均のコヒーレンスが 0.95 以上となるものを小繰り返し地震とみなすというものである。この処理を新たに発生した地震に自動的に適用することにより、モニタリングシステムの構築を行った。この中で、計算量を減らすための工夫やシステムの安定稼働のための工夫を行った。その結果は、毎月レポートにまとめ、ホームページにて公表している (<http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/aob/info/souzi>)。

iii) GPS データに基づくプレート間すべりのモニタリング

Savege(1983)⁵⁾によるバックスリップモデルにおいては、プレート間の固着による陸側プレートの変形は、プレートの沈み込みに伴う定常的なすべりを打ち消す逆向きのすべり、すなわちバックスリップ（もしくはすべり欠損）による変形として表現することができる。従って、地表において地殻変動を観測し、その変動源がプレート境界面上に分布するバックスリップによるものと考えて、そのすべり量を地殻変動観測データから逆解析により推定することにより、プレート間のすべり・固着の状態を知ることができる。本研究では、観測される地殻変動時系列データのうち、非地震時（地震間）の定常的な変動から、定常的なプレート間固着域をバックスリップが分布する領域として逆解析により推定する。その一方で、定常的な変動からの残差時系列は、余効すべりやその他の非地震性すべりに起因する過渡的なすべり加・減速イベントによる陸側プレートの変形を反映したものと考え、残差時系列に対して時間依存逆解析を適用することにより、プレート間のすべりレートの時空間変動を推定する。こうした 2 種類の手法を陸上の GPS 観測網で得られる連続データに適用し、プレート間すべりのモニタリングするシステムの開発を行った。

図 1 に宮城県周辺に設置された GPS の観測点の配置を示す。宮城県牡鹿半島の東方沖に位置する金華山及び江島の 2 観測点は想定震源域に最も近い観測点であり、この領域

のプレート間すべりのモニタリングを行う上で重要な観測点であるため、平成 18 年度に GPS 受信機の高速サンプリング化を実施した。これらの GPS 観測点で取得したデータは、公衆回線とモデムを使ったダイヤルアップ式で東北大学まで伝送している。

得られた GPS 観測データに対して一次解析を行い、各観測点における座標時系列を得る。解析には、米国航空宇宙局 (NASA) のジェット推進研究所 (JPL) で開発された GIPSY/OASIS-II (GOA-II) による精密単独測位法 (Precise Point Positioning; 以下、PPP 法と呼ぶ) (Zumberge et al., 1997⁶⁾) を用いた。

得られた GPS 観測点の変位の時系列、過去 5 年間分をデータとして、下記の (1) 式で示したような線形の長期トレンド、年周・半年周成分、地震やアンテナ交換などに伴うステップ変動からなる関数を仮定し、最小二乗法により $a \sim f$ 及び $g_n (n=1, \dots, N)$ の各係数を推定する。

$$u(t) = a t + b + c \sin(2 \cdot t / T) + d \cos(2 \cdot t / T) + e \sin(4 \cdot t / T) + f \cos(4 \cdot t / T) + \sum_{n=1}^N g_n H(t - t_n) \quad (1)$$

ここで $u(t)$ は観測点座標の時系列、 T は 1 年間の日数、 $H(t)$ は階段関数である。また、 t_n は地震発生日もしくはアンテナ交換日であり、既知とする。各観測点における座標時系列に対して推定された長期トレンドの時間変化率 a はプレート間固着による陸側プレートの変形を反映したものと考え、これを用いて東北日本広域におけるバックスリップの分布を逆解析により求める。また、長期トレンドとともに、年周・半年周成分、ステップ変動を除いた残差時系列を、時間依存逆解析手法を用いて解析し、非地震性すべりの時空間発展を推定する。

バックスリップの推定には、Yabuki and Matsu'ura (1992)⁷⁾ で提案されている、赤池のベイジアン情報量基準 (ABIC) を最小化することで拘束条件の重みを最適化する逆解析手法を改良して用いることとした。拘束条件を解析に取り込む際に事前確率密度関数を定義するが、この事前確率分布が特異にならないようにし、且つ、境界条件の重みも ABIC に基づいて客観的に決定することができるよう改良を行った (Iinuma, 2009²⁾)。最適化するべきハイパーパラメーター (事前確率分布を規定する変数) の数が増大するため、遺伝的アルゴリズムを用いてグリッドサーチの効率化を図った。

本研究で開発したモニタリングシステムにおいては、過去 5 年間・1 年間・1 ヶ月間の 3 通りの異なる長さのタイムウインドウにおけるバックスリップ分布を求めることとした。そのために、それぞれのタイムウインドウ内での長期トレンドを、上述の方法で観測時系列データに対して最小二乗法を用いたフィッティングを行って推定する。

過去 5 年間の長期トレンドの推定では、解析を行うデータ (5 年分) の全期間を用いるが、過去 1 年間並びに過去 1 ヶ月間のものを推定する際には、以下のようにタイムウインドウを分割し、それぞれの期間で a の値が異なるものとして解析を行うものとして、各期間に対して a を推定する。

- 1) 5 年前から 4 年前まで、4 年前から 3 年前まで、…、1 年前から最近までの計 5 期間 (タイムウインドウを 1 年間とした場合)
- 2) 5 年前から半年前までと、半年前から 5 ヶ月前まで、5 ヶ月前から 4 ヶ月前ま

で、…、1ヶ月前から最近までの計7期間（タイムウインドウを1ヶ月とした場合）

いずれの場合においても、解析を行う期間の中に2005年の宮城県沖の地震の発生日である2005年8月16日が含まれる場合は、その期間をさらにこの日の前後に分割する。

一方で、プレート間で発生する非定常的なすべりイベントを検出するための解析は、観測された時系列データから、長期トレンド、年周・半年周変動及び地震やアンテナ交換等に伴うステップ状の変動を取り除いたものを用いて行う。本研究では Yagi and Kikuchi (2003)⁸⁾の時間依存インバージョン法によりプレート境界面上のすべりを仮定して、宮城県沖地震震源域周辺における非地震性すべり分布の時空間発展を推定する。この際、長期トレンドは過去5年間に対して推定したものをを用いることとした。

Yagi and Kikuchi (2003)⁸⁾のインバージョン法では、時空間双方の領域に基底関数を設定し、その係数をいくつかの拘束条件の下に決定することで、非地震性すべりの時空間発展を表現する。ここで、時間方向の基底関数を定義するためには、値を持つ期間の長さをあらかじめ定めておく必要があり、全解析期間と基底関数の長さから求めるパラメータ数が決定される。本研究では、基底関数の長さを約1ヶ月（30日）、全解析期間を約1年（360日）とした場合と、基底関数の長さを1週間（7日）、全解析期間を約3ヶ月（84日）年とした場合の2通りについて解析を行うこととした。いずれの場合においても、求めるパラメータは時間方向には12個存在することになる。これに空間方向のグリッド数（今回のシステムにおいては、13×13）とすべりの成分数（同じく、2）を乗じたものが、推定する全パラメータ数となる。

GPSデータの一次解析、得られた変位時系列の解析、またバックスリップ推定並びに非地震性すべりの推定と結果の描図・公開までをルーチ的に自動実行することで、準リアルタイムのモニタリングシステムを構築した。現状では、解析は毎週月曜日に行うこととし、バックスリップ及び非地震性すべりの時空間発展双方を推定し、解析結果を元に Generic Mapping Tools (Wessel and Smith, 1998⁹⁾)を用いて地図上にバックスリップ等の分布を描図する。得られた図はFTPでウェブサーバにアップロードされ、Webブラウザを通じて結果を閲覧できるようにする。解析の流れを図2に、また結果閲覧画面のスクリーンショットを図3に示す。

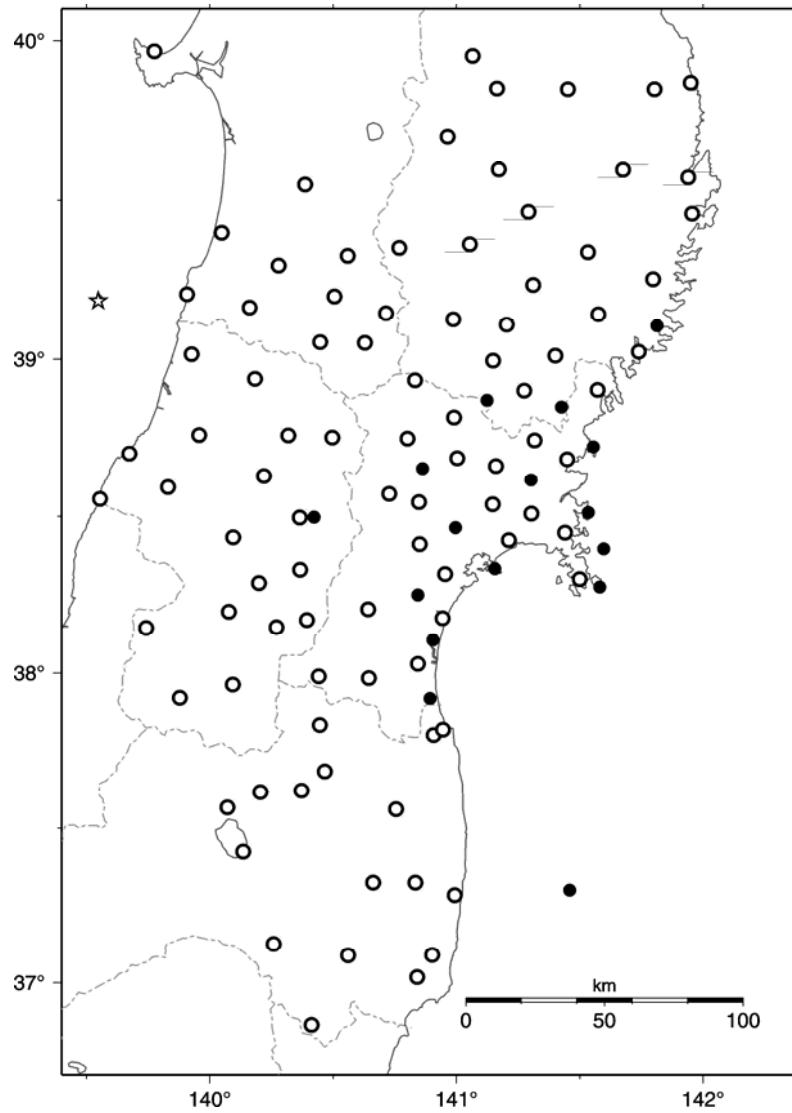


図1 宮城県周辺のGPS連続観測点分布図。白丸は国土地理院のGEONET観測点、黒丸は東北大学のGPS観測点を示す。東北大学の観測点には、天然ガス採掘プラットフォームを利用したいわき沖観測点を含む（2008年7月より観測休止）。星はGPS解析における固定点（飛島）。

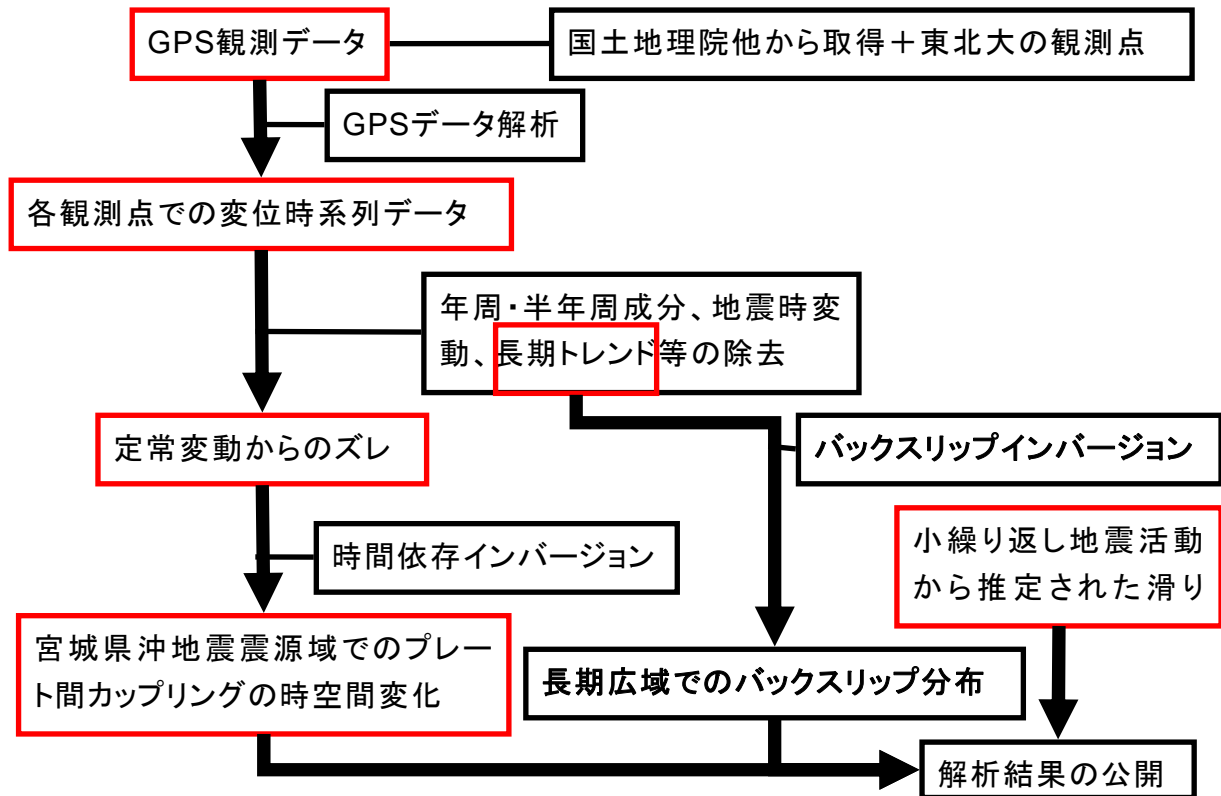


図2 GPS データを用いたプレート間カップリングの準リアルタイムモニタリングシステムの概念図。赤枠で囲まれたものがデータ及び解析結果、黒枠で囲まれたものが処理の内容を示す。

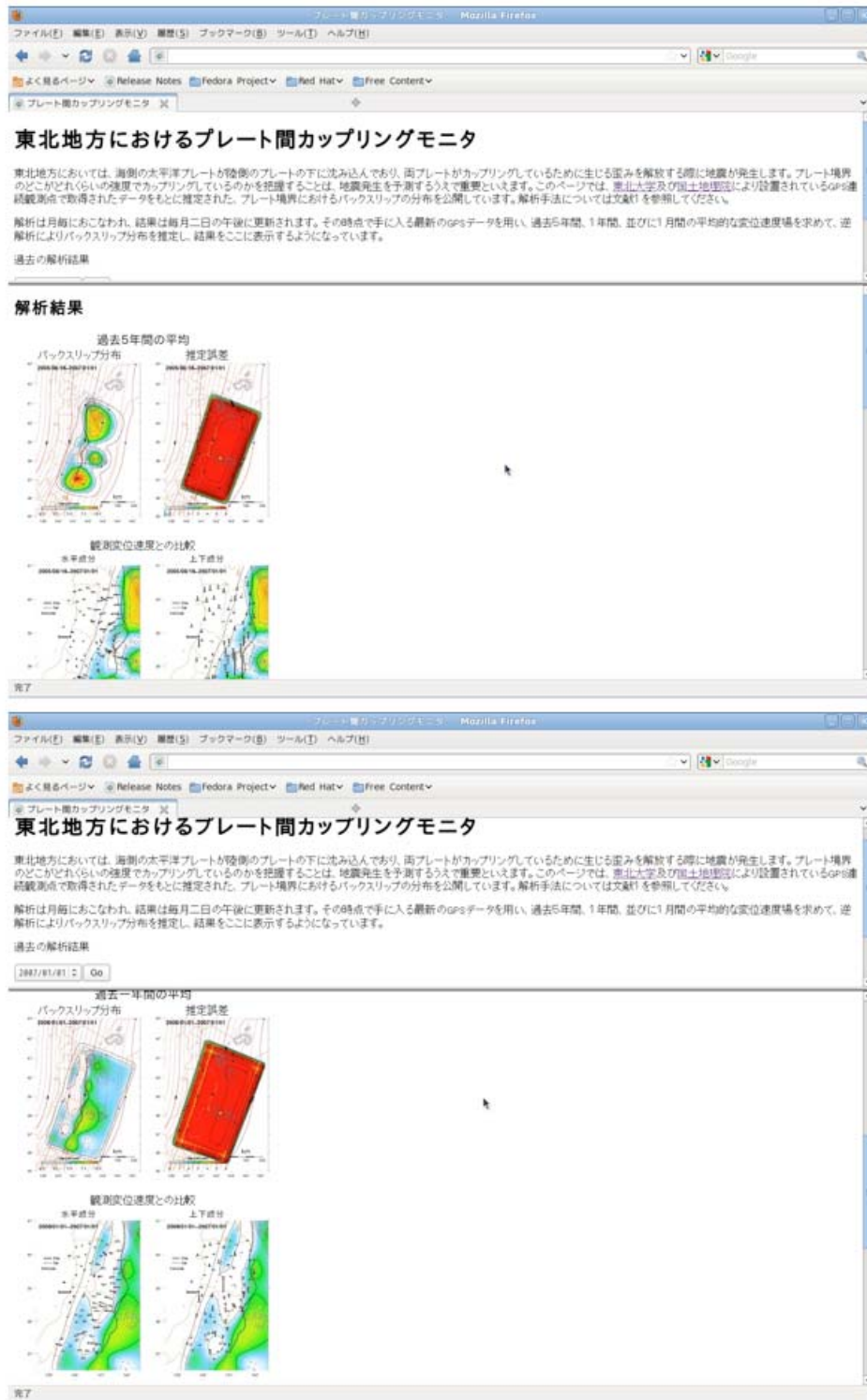


図3 Web上での結果閲覧画面のスクリーンショット。バックスリップインバージョンの結果について表示したものを示す。上側のフレーム内の方ムを用いて下側のフレームに表示する解析日時を変更することができる。また、各画像をクリックすることで拡大されたものを見ることができるようになっている。

b) システムにより検知されたすべり加速イベント

i) 小繰り返し地震解析に基づくモニタリングの結果

図4に2006年以降の1ヶ月ごとの小繰り返し地震の発生状況を示す。地震観測網及びデータ処理システムの安定稼働により、5年間にわたり小繰り返し地震のモニタリングを続けることができた。最新の2010年5月のデータに基づく小繰り返し地震の数としては、2005年219個、2006年294個、2007年207個、2008年306個、2009年271個であった。2006年、2008年、2009年の小繰り返し地震数が多いが、これらの年には共通して海溝近くでの活動が見られる。また、2005年の宮城県沖の地震後に宮城県沖で若干の小繰り返し地震の増加がみられる。これらの小繰り返し地震をもちいて推定したプレート間すべりの時空間変化を図5に示す。この図は、小繰り返し地震の活動履歴から推定されたすべりレートを、その小繰り返し地震の震央位置でのすべりレートを代表したものとし、複数の小繰り返し地震ごとに推定されたすべりレートを空間的に移動平均することによって、すべりレートの空間分布を求めたものである。2008年にそれまでと比べて速いすべりが宮城県～茨城県の沖合の海溝近くで見られる(図5c)。2009年に入っても同領域は2007年以前よりも速い状態にあり、広域での大規模なすべり現象があったことが示唆される(図4d)。図6はこのすべりレートを、プレート収束速度(8.5 cm/year)をもとにすべり欠損レートに変換したものである。2005年の宮城県沖の地震以前についてみると、宮城県沖ではバックスリッププレートが大きく、比較的固着が強いことが分かるが、2006年を見ると2005年の宮城県沖の地震の震央(黄色い星)の周辺で若干固着が弱くなっている様子が見られる。2007年に入ると、2005年の宮城県沖の地震の南で若干固着が弱いようには見えるが、震源近くの固着は回復しているように見える。さらに2008年には5月8日に茨城県沖で発生したM7.0の地震と7月19日の福島県沖のM6.9の地震に関連すると思われる固着の弱まりが見られる。

ii) 2005年の宮城県沖の地震前後のすべりについて

顕著な活動であった2005年の宮城県沖の地震前後のプレート間すべりについて小繰り返し地震活動に基づき推定を行った。図7は、2004年以来の、宮城県沖周辺における小繰り返し地震の分布を示したものである。従来指摘されてきたように(例えば、Uchida et al., 2003⁴⁾)、小繰り返し地震は過去に大きなプレート境界地震の破壊域となった領域内ではほとんど発生せず、むしろその周囲で発生している様子を明瞭に見て取ることができる。

陸上観測点での観測地震波形が相似である地震の組み合わせを、1つのシーケンスとして、それらのシーケンスのなかで震央位置が近いものを一つのグループとする。そのグループの活動履歴から、それぞれのグループの位置におけるプレート間すべりレートを推定したものが、図8である。宮城県沖周辺で発生する小繰り返し地震は、図7に示す位置を代表するAからMにグループ分けされた。図7中で位置を青く示したグループでは、2005年の宮城県沖地震が発生した8月16日以降に、そのグループの位置で顕著にプレート間すべりが加速しているように見える(図8)。

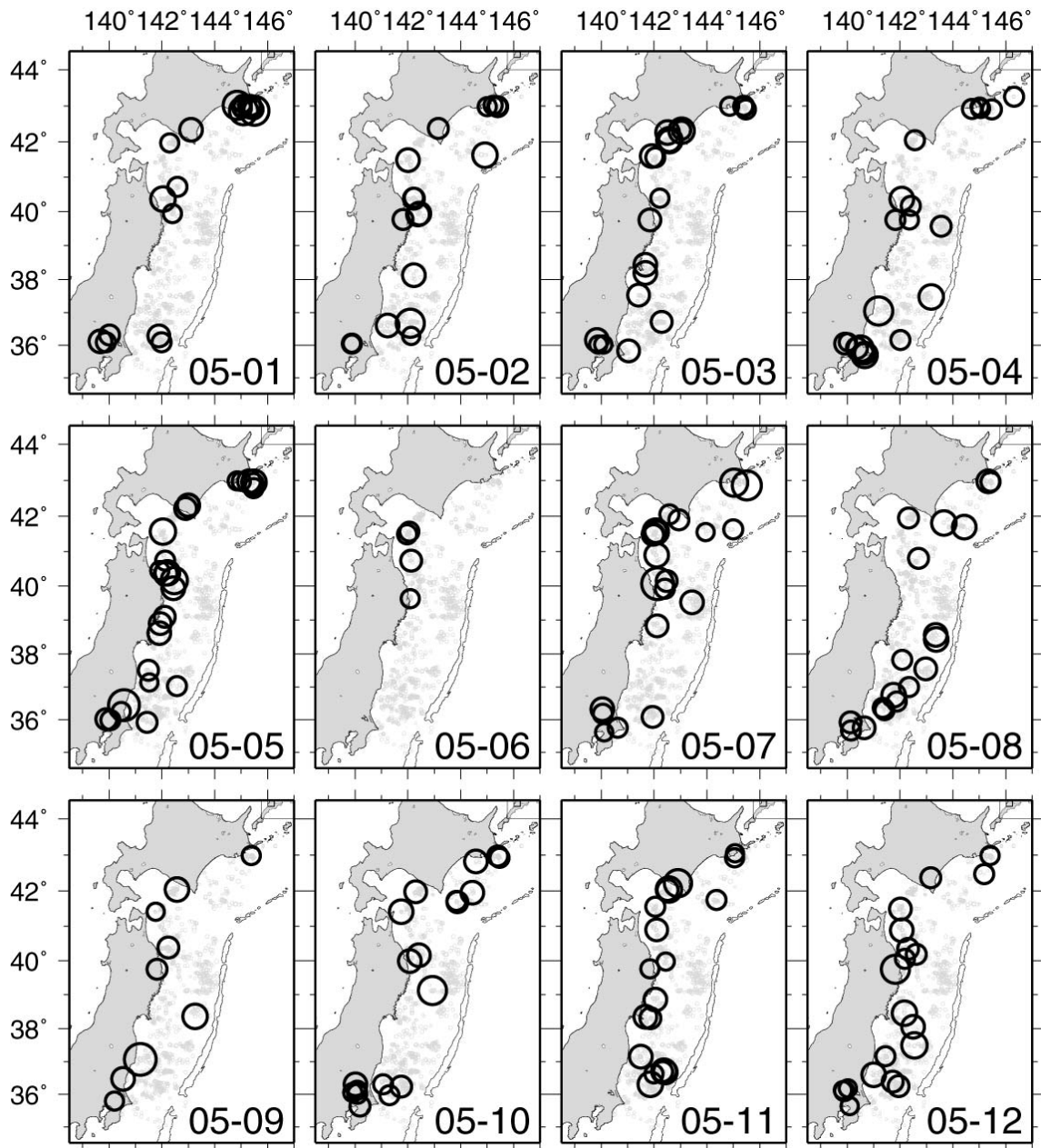


図 4 a 2005 年の 1 年間に発生した小繰り返し地震の分布。1 月から 12 月まで月ごとに示す。

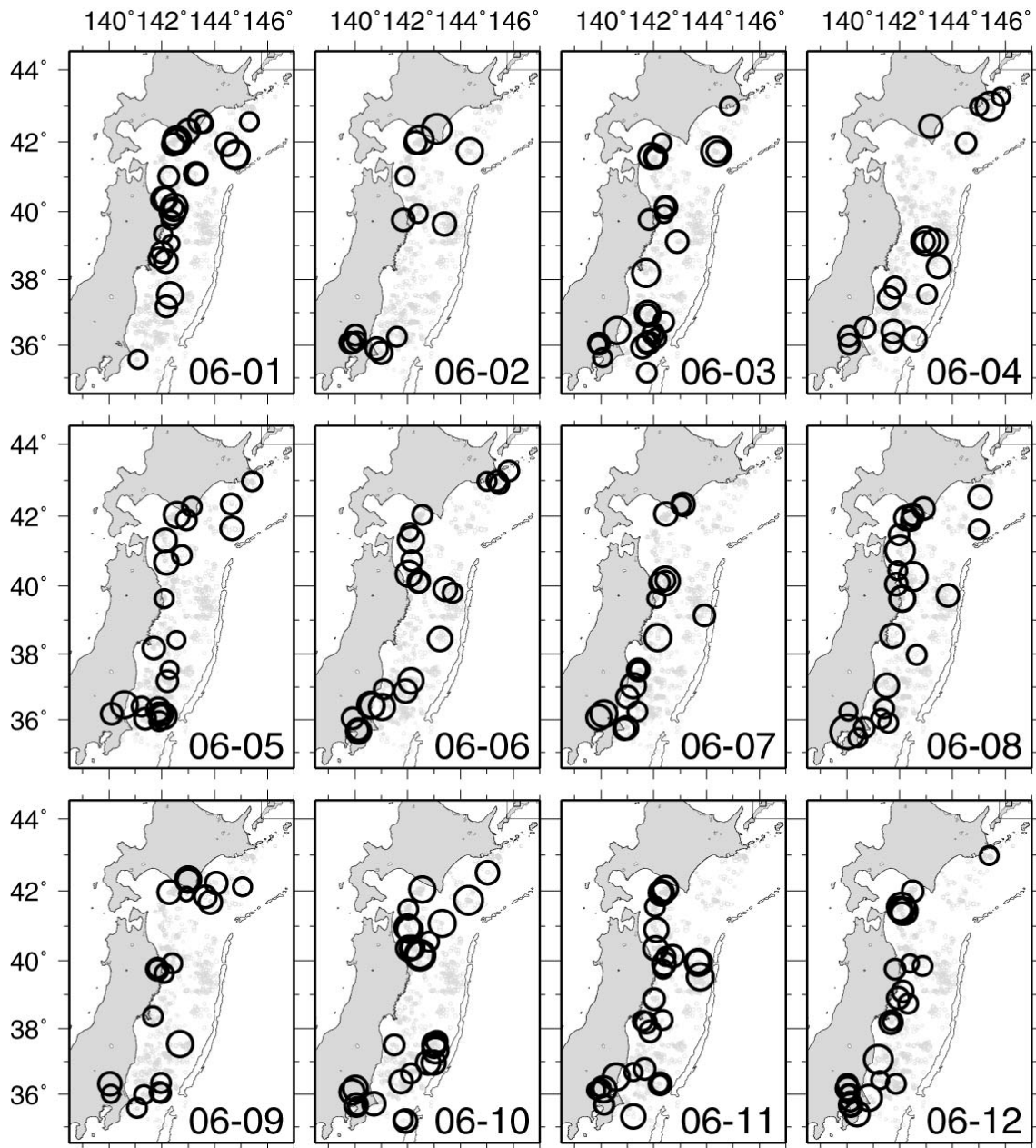


図 4 b 2006 年の 1 年間に発生した小繰り返し地震の分布。1 月から 12 月まで月ごとに示す。

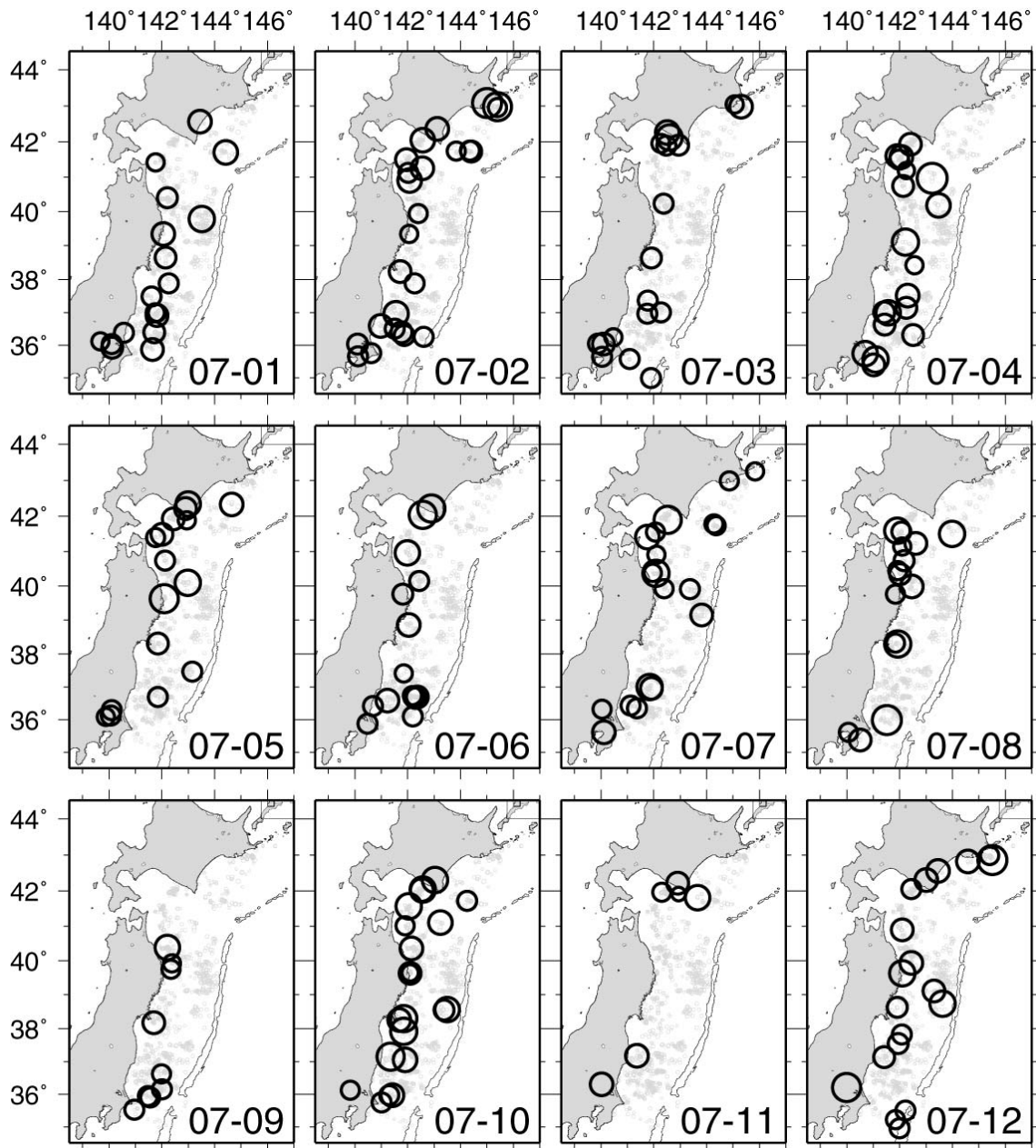


図 4c 2007 年の 1 年間に発生した小繰り返し地震の分布。1 月から 12 月まで月ごとに示す。

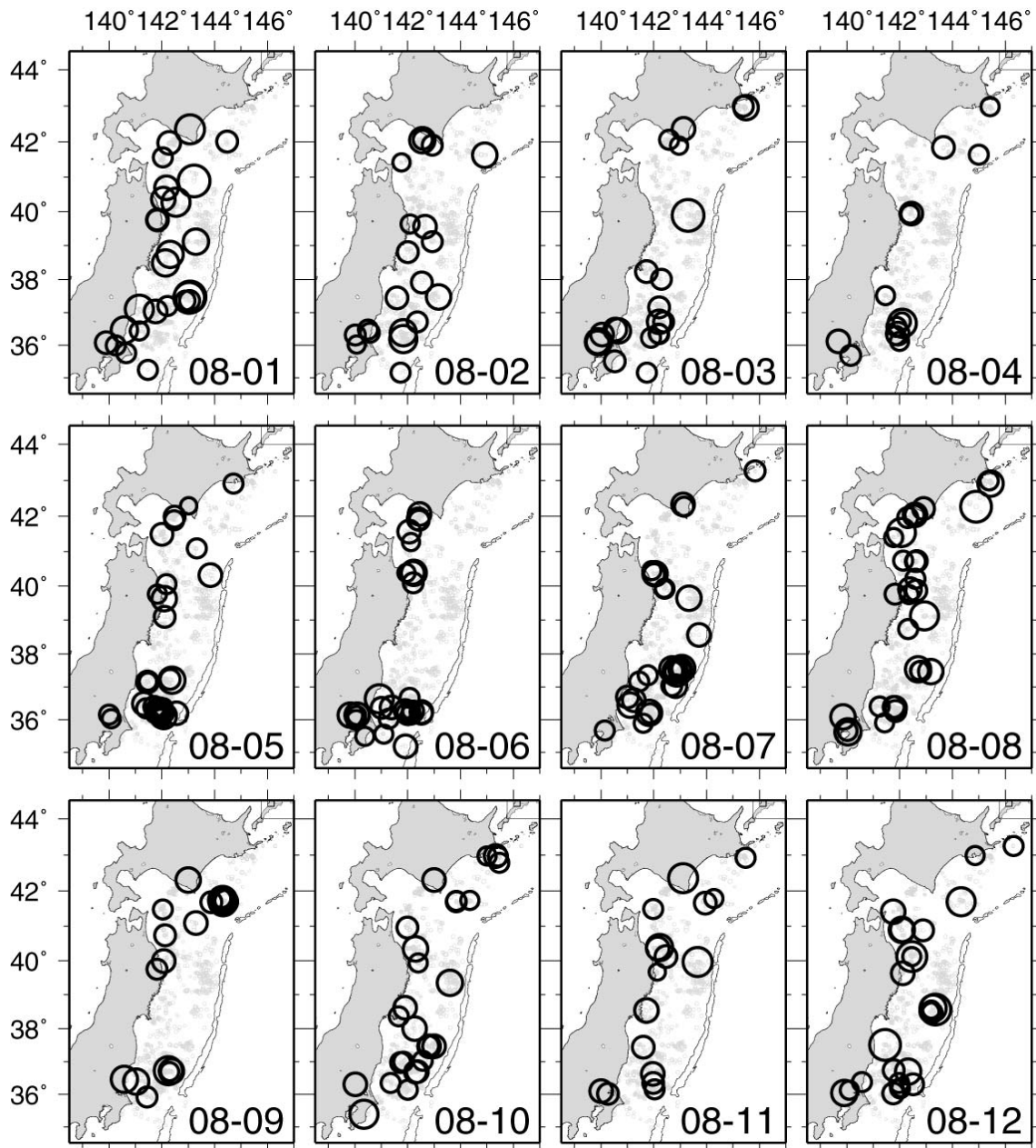


図 4 d 2008 年の 1 年間に発生した小繰り返し地震の分布。1 月から 12 月まで月ごとに示す。

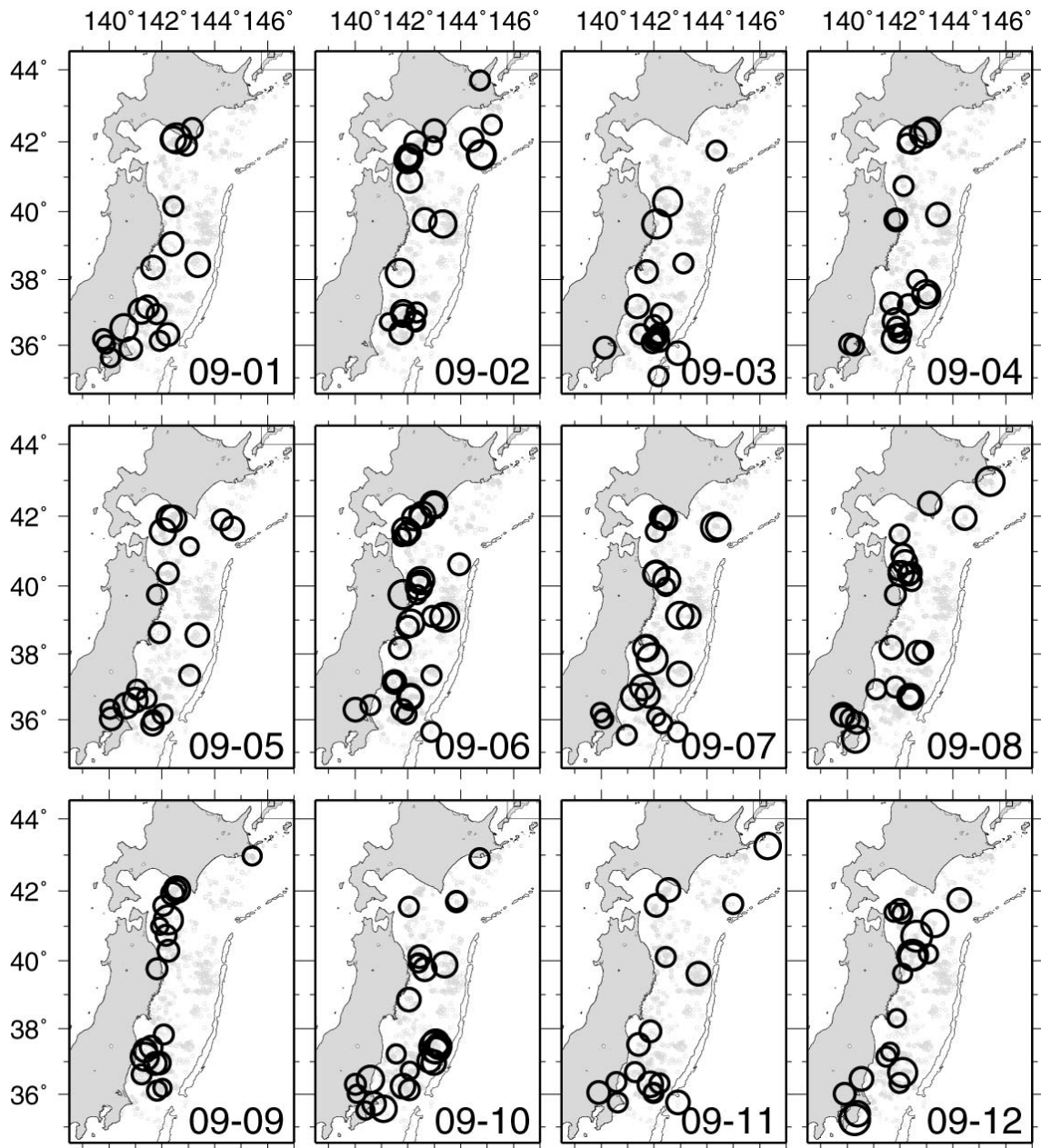


図 4 e 2009 年の 1 年間に発生した小繰り返り地震の分布。1 月から 12 月まで月ごとに示す。

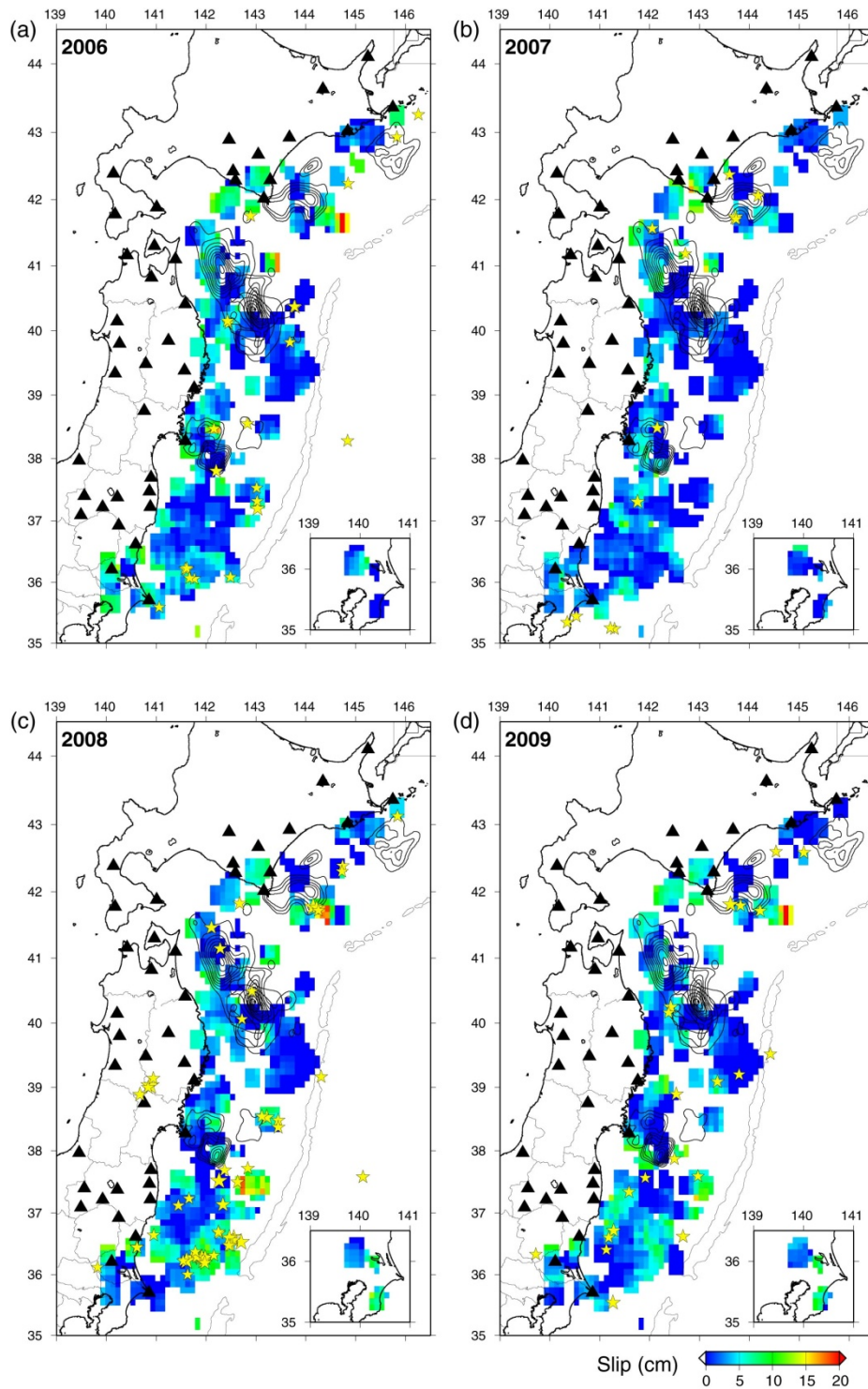


図5 小繰り返し地震活動から推定されたプレート境界面上での準静的滑り分布。それぞれ、1年間のすべりを示す。星は深さ80km以浅、M5以上の地震の震央を示す。黒三角は小繰り返し地震の同定に用いた観測点、コンターはYamanaka and Kikuchi (2003¹⁵); 2004¹⁶)によるM7以上の地震のアスペリティ。挿入図はフィリピン海プレート上部境界でのすべりレートを示す。

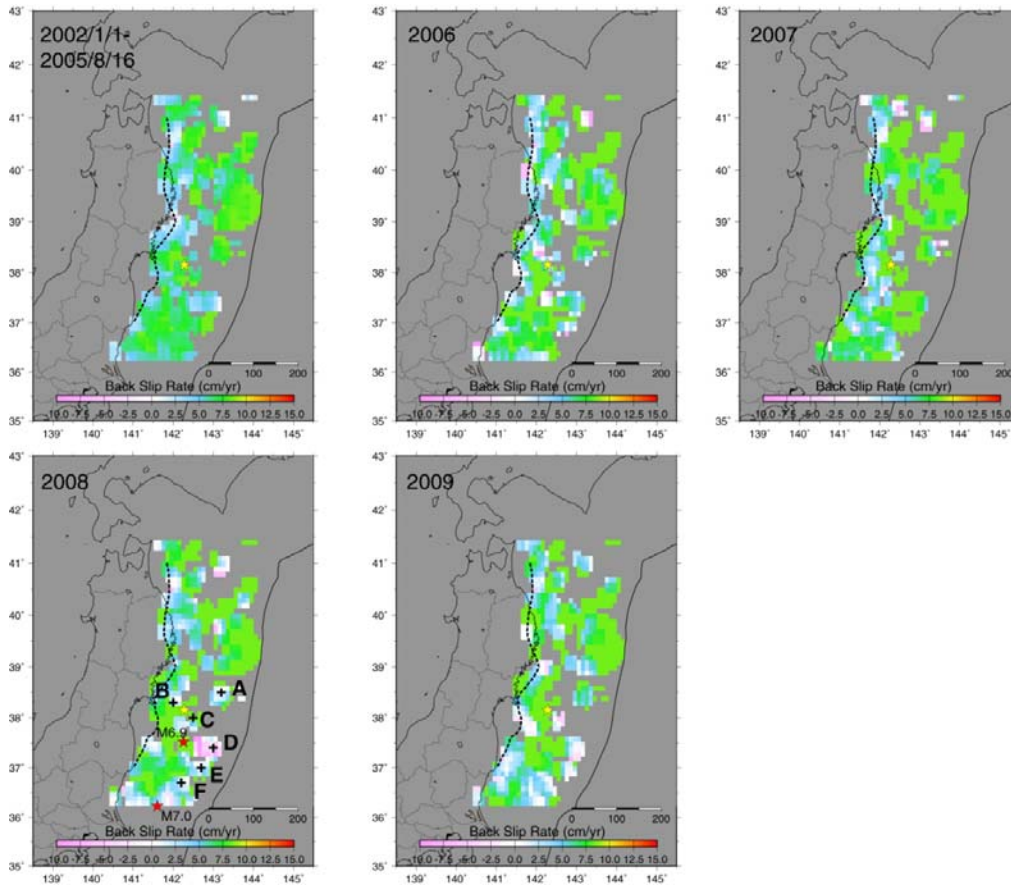


図6 小繰り返し地震により推定されたすべりレートより計算されたすべり欠損レート。小繰り返し地震の積算すべりから推定したすべりレートからプレート収束速度 (8.5cm/year) を差し引くことにより推定した。ピンク色の領域はフォワードスリップ領域を示す。黄色星は 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震 (M7.2)、赤星は、2008 年 5 月 8 日の茨城県沖の地震 (M7.0) 及び 2008 年 7 月 19 日の福島県沖の地震 (M6.9) の震央を示す。破線は Igarashi et al. (2001)¹⁸⁾ による低角逆断層型地震の西縁を示す。2005 年の地震後にあたる 2006 年はこの地震の周囲で若干固着が弱い様子が見られる。茨城県沖の地震 (M7.0) 及び福島県沖の地震 (M6.9) のプレート境界地震が発生した 2008 年から宮城県～茨城県の沖合の海溝に沿って固着が弱まっている。

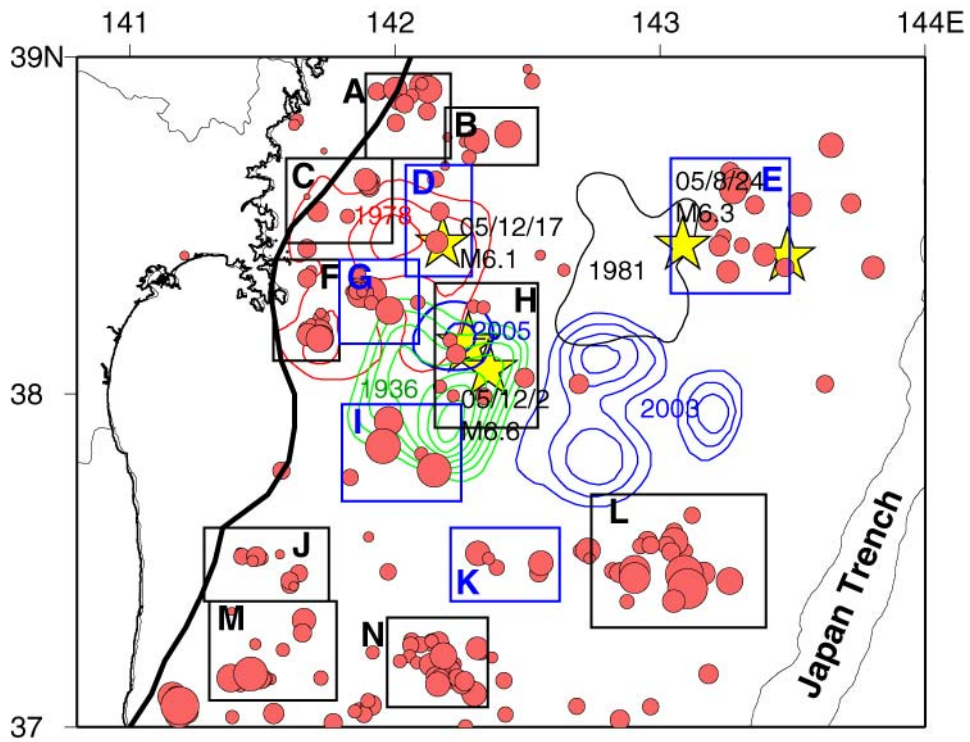


図7 宮城県沖周辺における小繰り返し地震の分布。A~N の領域ごとに推定したすべりレートの変化を図8に示す。2003年の福島県沖地震のすべり分布は山中（2003）¹⁷⁾、そのほかの地震については、Yamanaka and Kikuchi（2004）¹⁶⁾による。

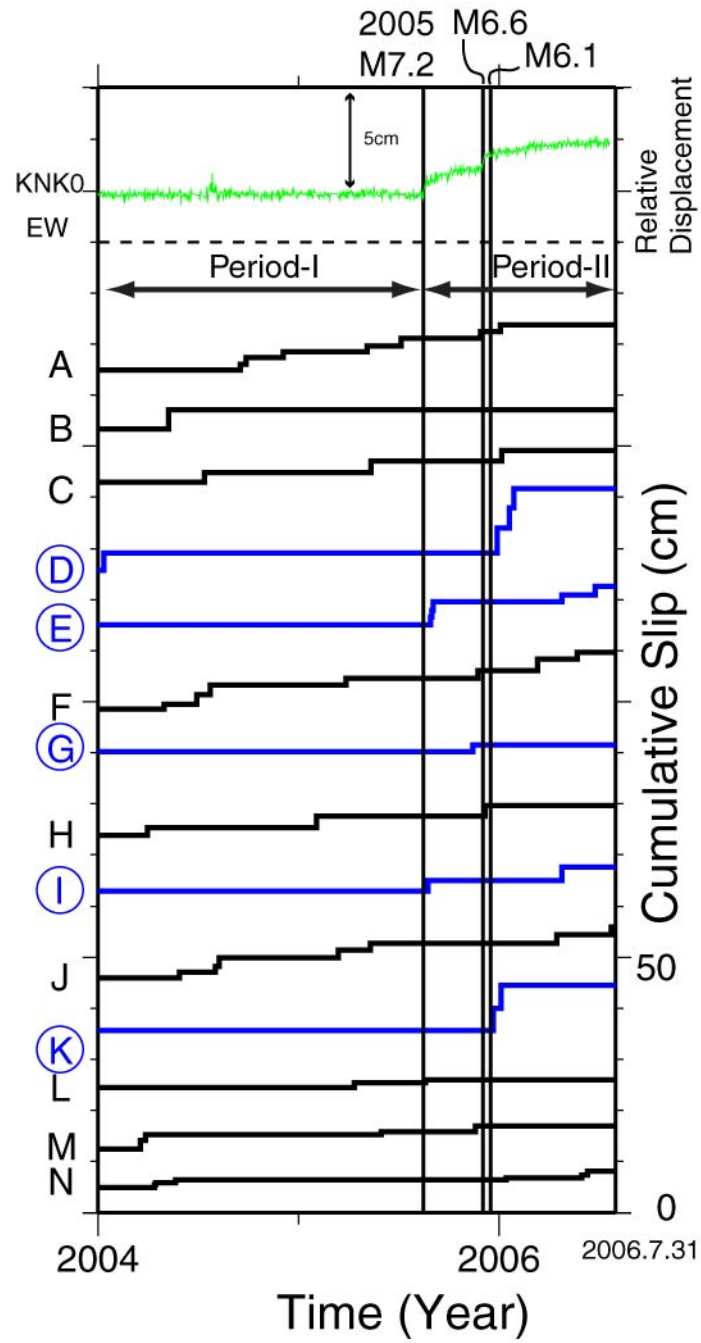


図8 図7に示した A~N の枠内で発生した小繰り返し地震の解析によって推定されたプレート間すべりレートの時間変化。

グループ毎のすべりレートの時間変化を詳しくみると、2005年の宮城県沖の地震以後にみられる加速は、本震発生直後の数ヶ月間と2005年12月の最大余震発生以後の2ステージに分かれているようである。小繰り返し地震活動から推定されるすべりレートの地域変化を示したのが図9である。この図を見ると、本震発生前(Period-I)には、解析領域の西縁にプレート境界における固着-すべり遷移域に対応するやや高速のすべりレートを持つ領域があるほかには、顕著な空間変化はみられない。一方、2005年の宮城県沖の地震の発生後には、その震源域の周囲の何カ所かですべりが加速している。北東側の加速域は、8月24日と31日にM6級の地震が発生した領域に対応する。それ以外の領域で最も顕著な加速が起こったのは、本震震源の北側の領域である。ここでは、2005年12月17日にM6.1のプレート境界型地震が発生している。

これらの結果から、2005年の宮城県沖の地震後、その周囲で若干の非地震性すべりの加速(余効すべり)が見られたが、そのすべり量やひろがりはそれほど大きなものではなかったといえる。このことは、宮城県沖では、今回破壊したアスペリティのほかにも破壊せず残っている大きなアスペリティがあるため、固着が強い状態が今も続いている可能性を示している。

iii) 2008年以降の福島～宮城県沖のすべりイベントについて

2008年にM7.0(5月8日、茨城県沖)及びM6.9(7月19日、福島県沖)のプレート境界型地震が発生した東北地方南部で2008年以降小繰り返し地震活動が特に活動が活発であった。これらの地震(2008年5月8日の茨城県沖のM7.0の地震と2008年7月19日の福島県沖のM6.9の地震)を含む領域のプレート間の準静的すべりの分布をすべり欠損レートに直したものを図6に示す。すべりの時間変化について、図6の2008年のすべり欠損分布図内に示したA～Fの領域での積算すべりの時間変化(図10)を見ると、2005年の地震(縦線M)に関連すると考えられるすべりが領域B、Cで見られる。領域Aでのすべり加速は、この領域の近傍で2005年の宮城県沖の地震の8日後に発生したM6.3の地震の後に起きており、2005年の宮城県沖の地震の地震と直接関係するかどうかは分からない。一方、2008年5月8日の地震(縦線I)を含む一連の活動に関連すると考えられるすべりは領域A、C、D、E、Fで見られる。その中で、領域D、Fや領域Fの南側では、図11に示すように、2008年5月8日の地震の前からすべりが始まっているように見える。このすべりは、2008年5月の地震後、その周辺(領域E、F)で加速する一方、2008年7月19日に、5月の地震の震源の北側である福島県沖でM6.9の地震が発生(図9赤星)したが、これに伴って領域Dでさらにすべりの加速がみられ、それよりさらに北側にある領域Aでは2008年12月からすべりの加速がみられた。

このように、日本海溝に沿った南北およそ300kmにわたる領域での準静的すべりの加速が2008年から見られた。そのすべりは、北緯36.5度(領域F付近)から始まり主に北に広がった。なお、このような海溝沿いの南北への準静的すべりの拡大は、1992年三陸沖地震(M6.9)や1994年三陸はるか沖地震(M7.6)の余効すべり(Uchida et al., 2004¹⁰⁾)でも見られた。海溝沿い(プレート境界浅部、固着域のup-dip側)では準静的すべりが広がりやすい性質がある可能性がある。

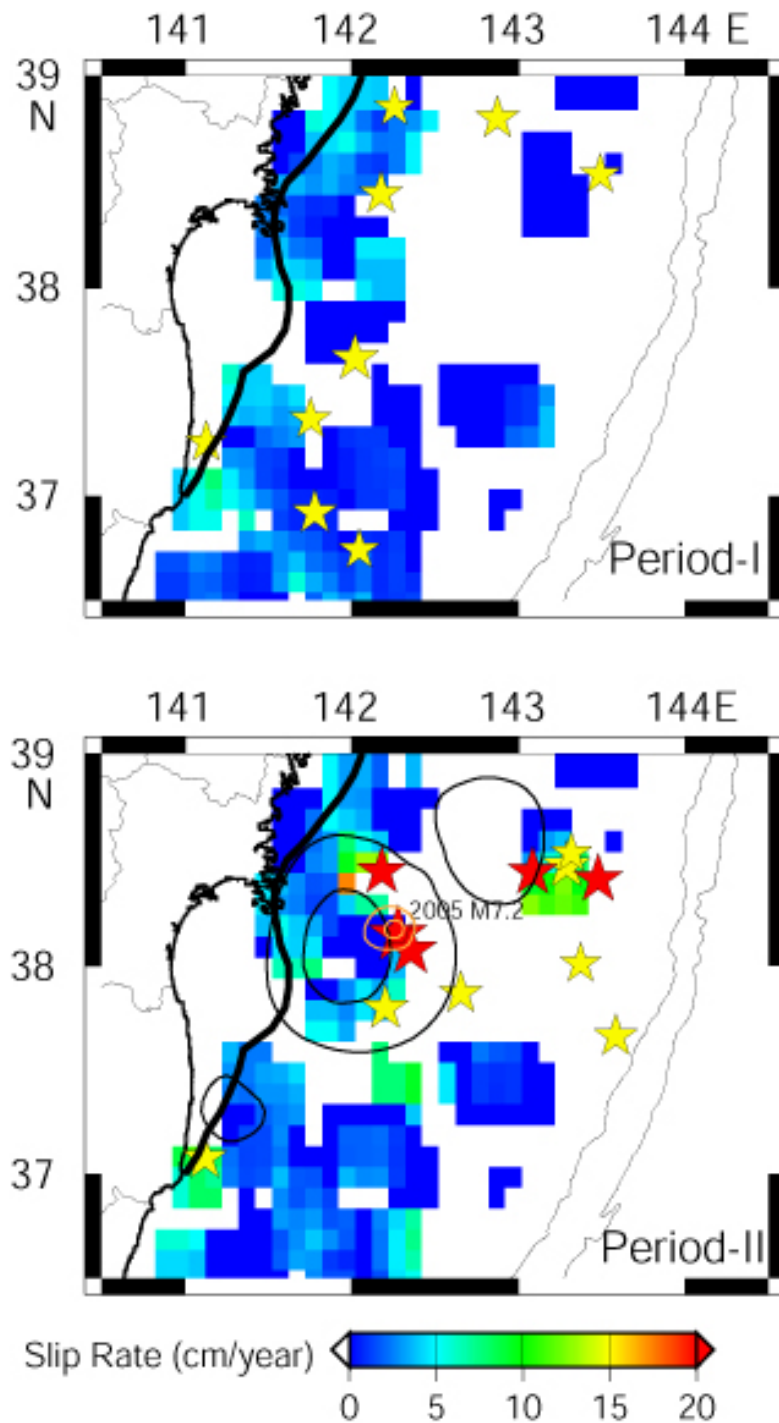


図9 小繰り返し地震解析によって推定されたすべりレートの空間分布。上図：2004年から2005年の宮城県沖の地震発生まで(Period-I)。下図：宮城県沖地震発生から2006年7月31日まで。すべり速度は $0.3^\circ \times 0.3^\circ$ のウインドウごとに推定した値をカラーパターンで示す。赤、黄の星印はそれぞれ、M6以上、M5以上M6未満の地震の震央、橙色のコンターは、2005年8月16日の地震のすべり量分布(Yaginuma et al. 2006²¹⁾)、黒いコンターはGPSデータの解析による2005年8月16日～11月30日の期間における余効すべり分布(コンター間隔は3cm, Miura et al. 2006¹³⁾)を示す。黒太線は低角逆断層型地震の西縁(Igarashi et al., 2001¹⁸⁾)。

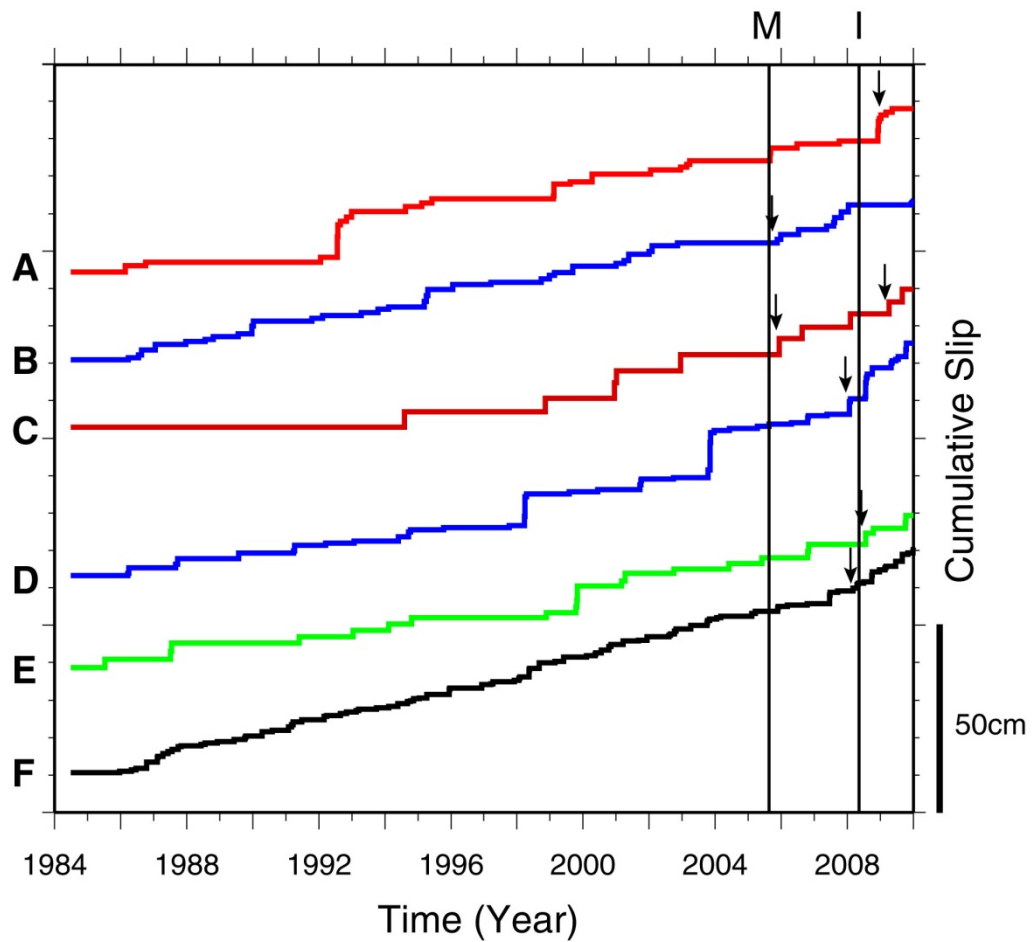


図 10 図 6 で示した A-F の場所（緯度，経度方向に ± 0.2 度の矩形領域）での小繰り返し地震の積算すべり。範囲内に含まれる小繰り返し地震の積算すべりの平均を示した。M 及び I は 2005 年の宮城県沖の地震(M7.2)と 2008 年 5 月 8 日の茨城県沖の地震(M7.0)の発生時を、矢印はその前後の顕著なすべりの開始時を示す。宮城県沖の地震後の A、B、C の場所でのすべり加速と 2008 年からの B をのぞく全域でのすべり加速が見える。

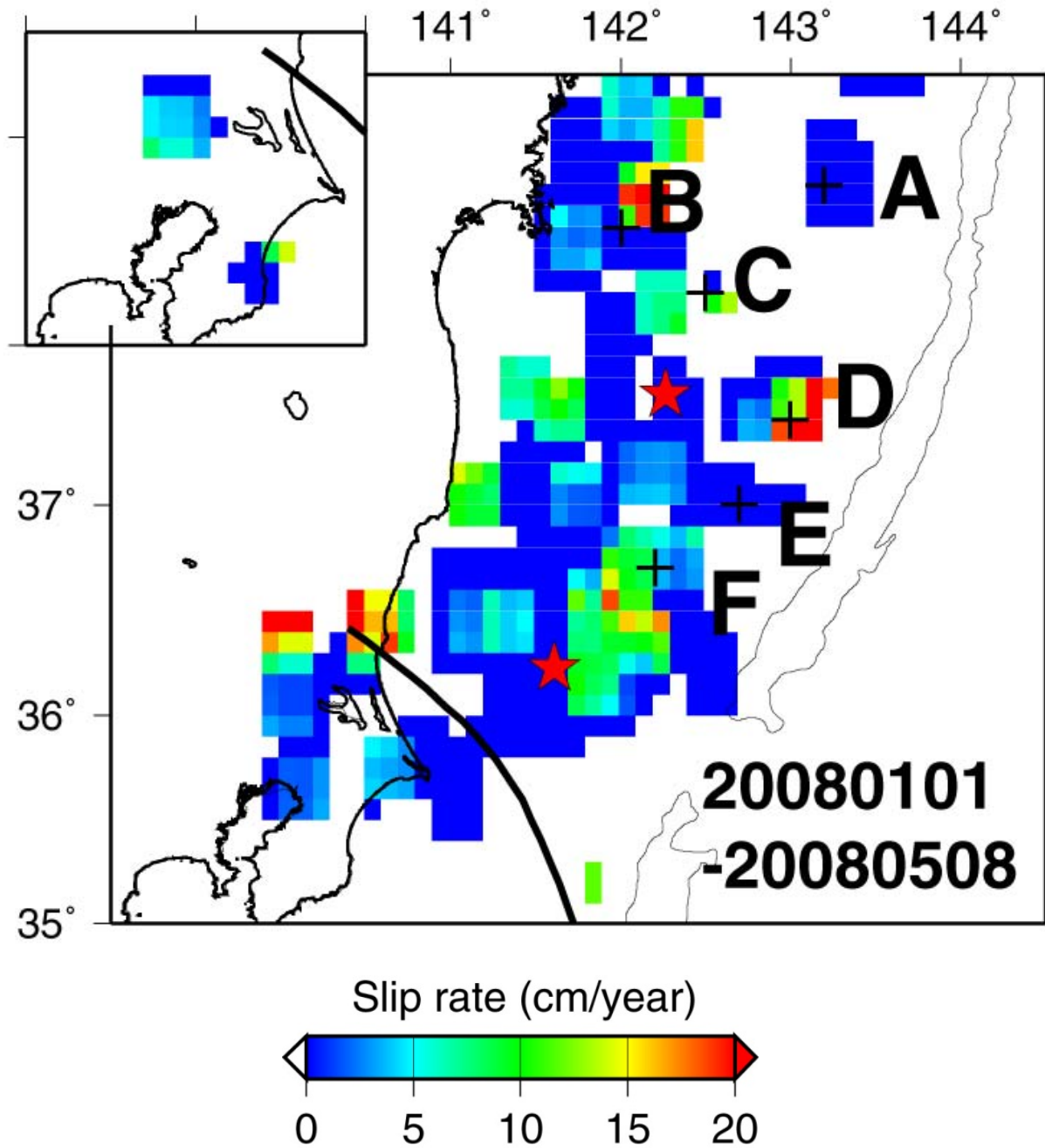


図 11 小繰り返し地震活動から推定されたプレート境界面上での滑り速度分布。2008 年 1 月から 5 月 8 日の茨城県沖の地震までの期間について示す。赤星は 2008 年 5 月（南）及び 7 月（北）の地震の震央，黒線はフィリピン海プレートの北東限、挿入図はフィリピン海プレート上部境界でのすべりレートを示す。A－F は、図 6 と同様。

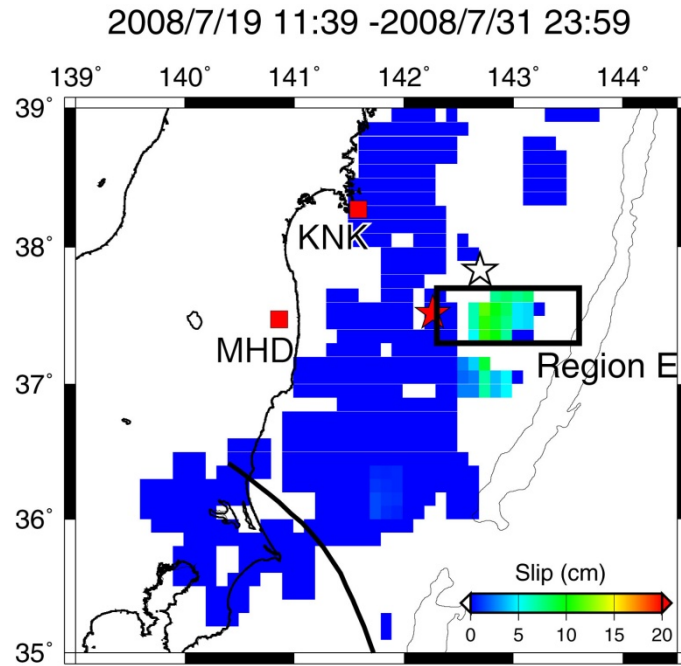
地震活動と準静的すべりのどちらが先行したかについては、最初の地震の前にもすべりが若干加速していた可能性もある(図 10)が、Matsuzawa et al. (2004)¹¹⁾ でモデル化されているように、両者の相互作用がすべり加速の拡大に重要な役割を果たしていると考えられる。今回推定された、一連の非地震性すべりは宮城県沖の海溝沿いにも達している。今後定量的な見積もりが必要であるが、宮城県沖に存在する固着域(アスペリティ)にも応力を集中させる役割を果たしたと考えられる。

さらに、2008年7月19日の福島県沖の地震(M 6.9)前後について、小繰り返し地震の積算すべりによるプレート間すべりの見積もり(図 12b、青線)と太平洋沿岸の金華山(KNK)及び三程(MHD)観測点(図 12a)でのひずみ変化(図 12b、赤線、Mishina, 2009¹²⁾)を比較すると、両者の時系列は、とてもよく似ており、同じ現象を捉えていると考えることができる。そこで、小繰り返し地震のスケーリング則の検証を行うため、両者を量的に比較した。小繰り返し地震データに基づき余効すべりが発生した領域とすべり量を設定し、観測点で期待されるひずみ変化と比較した。福島県沖の地震(M 6.9)の地震に伴って観測されたひずみ量は、この地震の地震時すべりのモデルから期待されるひずみ量とよく一致しているため、ひずみ計による観測値は信頼できると考えられる。しかし、小繰り返し地震の解析から推定した余効すべりモデルから計算されるひずみは、観測値の1/4程度となっていて、小繰り返し地震解析による余効すべり量が過小評価されている可能性がある(表 1)。今後このような比較事例を増やすことで、小繰り返し地震のスケーリング則の高度化が期待される。

表 1 MHD、KNK 観測点でのひずみ変化の観測値と波形インバージョンと小繰り返し地震解析から推定された断層モデルによる計算値の比較。地震時及び余効すべり時の変化について示す。

	地震時変動	余効変動
地震波形インバージョン (Okada, 2008)	2.64×10^{19} Nm (16km × 28km × 150cm, dip=15°)	
小繰り返し地震		79km × 100km × 6cm (1.9×10^{19} Nm), dip=10°
ひずみ計観測データ ($\times 10^{-7}$)	1.02 (KNK) = 1.55 MHD 0.66 (MHD)	1.25 (KNK) = 1.51 MHD 0.83 (MHD)
モデルから期待されるひずみ(10^{-7})	1.03 (KNK) 0.64 (MHD)	0.31 (KNK) = 1.63 MHD 0.19 (MHD)

(a)



(b)

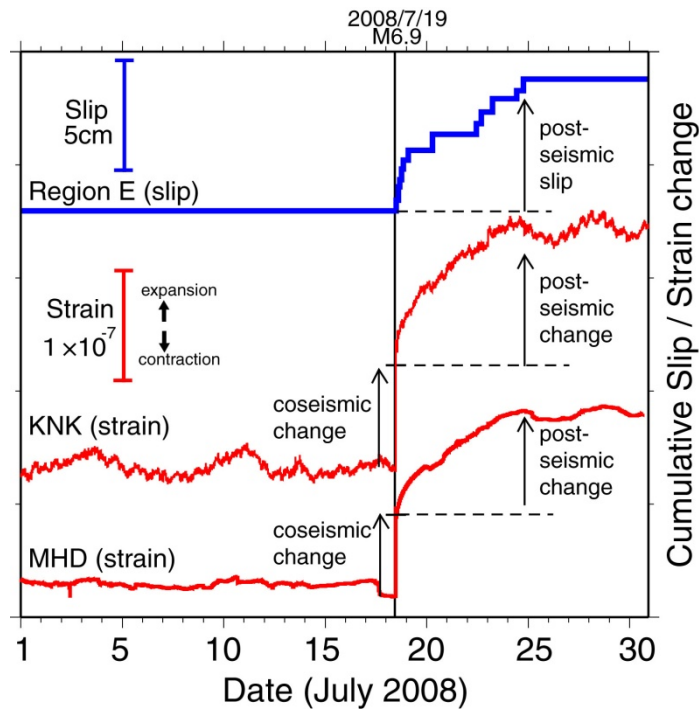


図 12 (a) 小繰り返し地震活動から推定された 2008 年 7 月のプレート境界面上での準静的滑りの空間分布。(b) 領域 E での平均の積算すべり (青線) と金華山 (KNK) 及び三程 (MHD) 観測点 (赤四角) での体積ひずみ変化の比較。なおひずみ波形に見られる周期数日以下の短周期の変動は、ノイズと考えられる。

iv) GPS データ解析によるモニタリングの結果

図 13 にモニタリングシステムによる解析結果の例として、2010 年 1 月 4 日にバックスリップ分布を推定したとした場合に得られた結果を示す。過去 5 年間については、2005 年 8 月 16 日が期間内に含まれるため、それ以降のトレンドを用いての推定を行っている。この 5 年間には、2005 年の宮城県沖の地震の余効すべりが発生していた時期が含まれているために、宮城県沖におけるバックスリップが小さく推定された（図 13a）。過去 1 年間分のトレンドを用いた結果からは、宮城県沖に強い固着域（バックスリップの大きな領域）がある一方で、福島県沖においては固着がほとんどなくなってしまっている様子が見られる（図 13b）。前節で述べたように、2008 年 5 月の茨城県沖の地震（M7.0）以降、茨城県沖から宮城県沖にかけての海溝側の広い領域で、プレート間すべりが発生していたことが小繰り返し地震モニタリングから推定されており、これを反映したバックスリップ分布となっていると考えられる。また、2010 年 1 月 4 日以前の 1 ヶ月間のデータから推定された長期トレンドは、空間的なばらつきが大きく、地球物理学的見地から有意義な推定がなされているとは言い難い（図 13f、13i）。これは他の時期に行った解析結果でも同様であり、1 年間よりも短い期間に対して有意義なバックスリップ分布のモニタリングをするためには、標準的なバックスリップ分布を過去 1 年間もしくは 5 年間のトレンドを用いた解析結果等から仮定し、その分布に近い分布が得られるような拘束を強くかけた逆解析を行うことや、バックスリップの方向をプレート収束方向に固定して逆解析を行なうこと、などの解析手法に関するさらなる工夫が必要である。

各年の最初の月曜日に解析を行ったとした場合の、過去 1 年間のトレンドを用いて推定したバックスリップ分布を図 14 に示す。2004 年から 2005 年までの期間を見ると、宮城県沖から福島県沖にかけての過去の地震の破壊域の周辺と、青森県沖から岩手県沖にかけての 1968 年十勝沖地震の破壊域周辺に強い固着域が存在していたことがわかる。2005 年の宮城県沖の地震の後、宮城県沖地震の震源域周辺及びその深い側のプレート境界における余効すべりのため、2006 年から 2007 年までの期間では、余効すべりが起きていた領域でのバックスリップは弱く、その周囲の福島県沖から茨城県沖にかけての領域並びに岩手県沖において強いバックスリップが推定されている。この時期の福島県沖以南と岩手県沖に現れた強いバックスリップは、余効すべりに対応する弱いバックスリップが宮城県沖のごく狭い領域内にだけ存在する状態を、空間的な平滑化を用いた解析ではうまく表現できずに生じてしまった人工的ノイズである可能性がある。2007 年から 2008 年までのバックスリップ分布をみると、バックスリップのやや大きい領域が宮城県沖を中心に推定されている。これは、次節で説明するように、宮城県沖におけるカップリングが回復し始めたことを反映したものと解釈される。ただし、福島県沖についてはバックスリップが弱まっており、これはさらに 2008 年から 2009 年までの期間、ならびに 2009 年から 2010 年までの期間でのバックスリップ分布で、さらに顕著となる。前述のとおり、小繰り返し地震の解析から、茨城県沖から宮城県沖にいたる領域の海溝に近い側においてプレート間すべりが発生していたことが明らかにされていることから、これに対応したプレート間すべりレートの変化が、ここで示したようなバックスリップの時間的変化（減少）として現れているものと考えられる。

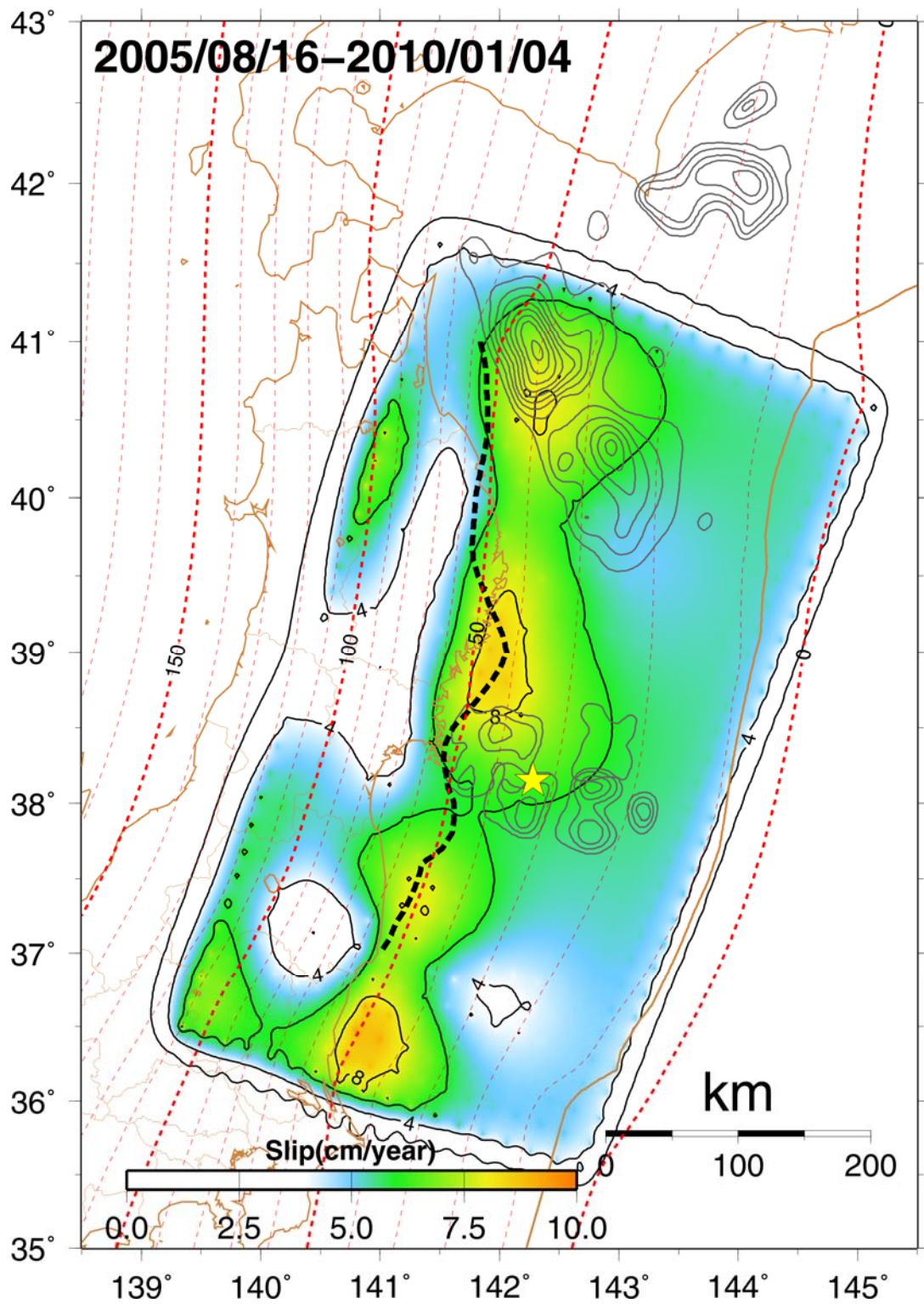


図 13a バックスリップの自動解析結果の例。2010年1月4日に解析を行なったとした場合のもの。2010年1月4日から遡って過去5年間のバックスリップの分布を示す。黄色の星は2005年8月16日の宮城県沖の地震の震央を示す。赤色のコンターはプレート境界面の等深線。

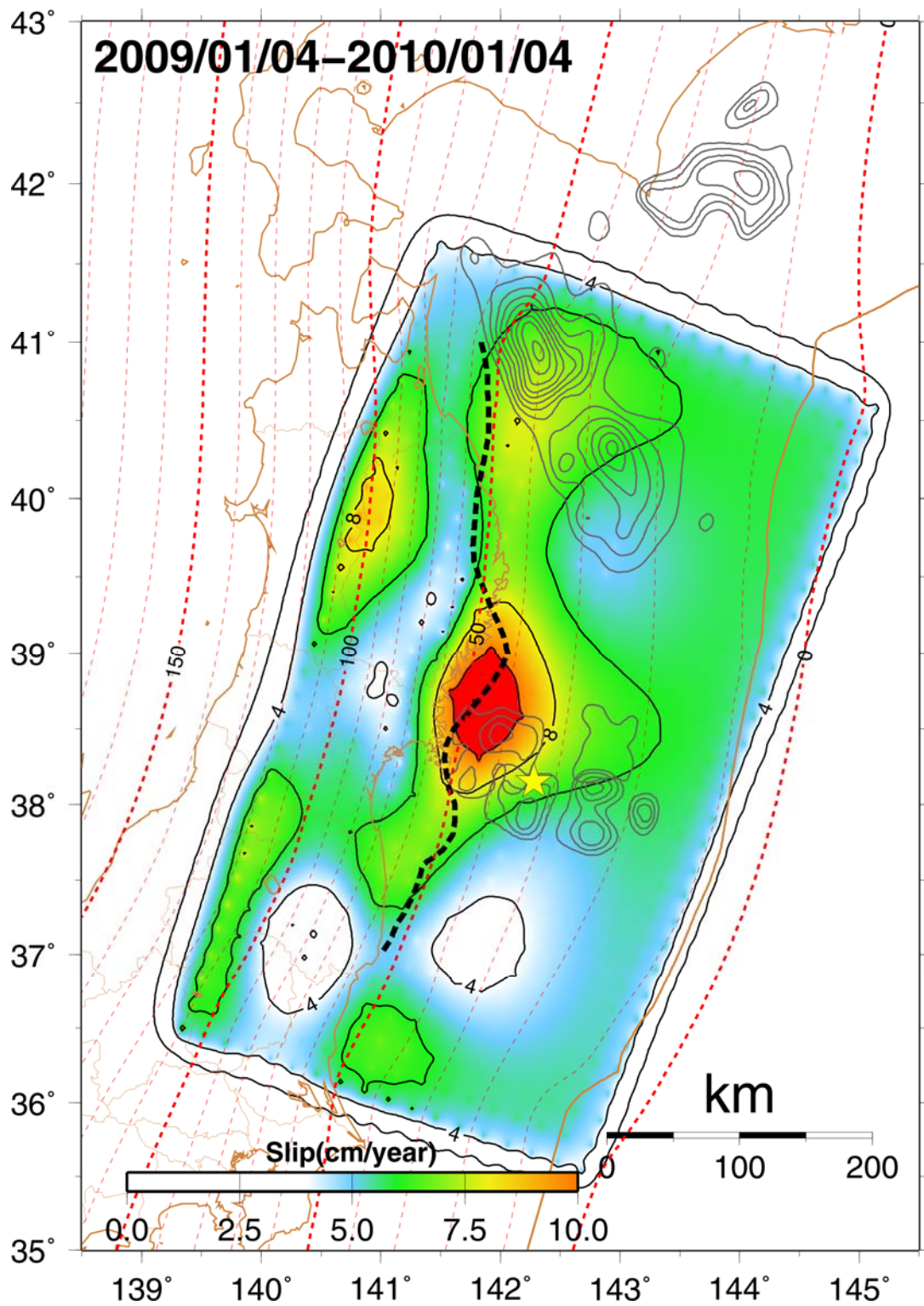


図 13b バックスリップの自動解析結果の例。2010年1月4日に解析を行なったとした場合のもの。過去1年間のバックスリップの分布を示す。

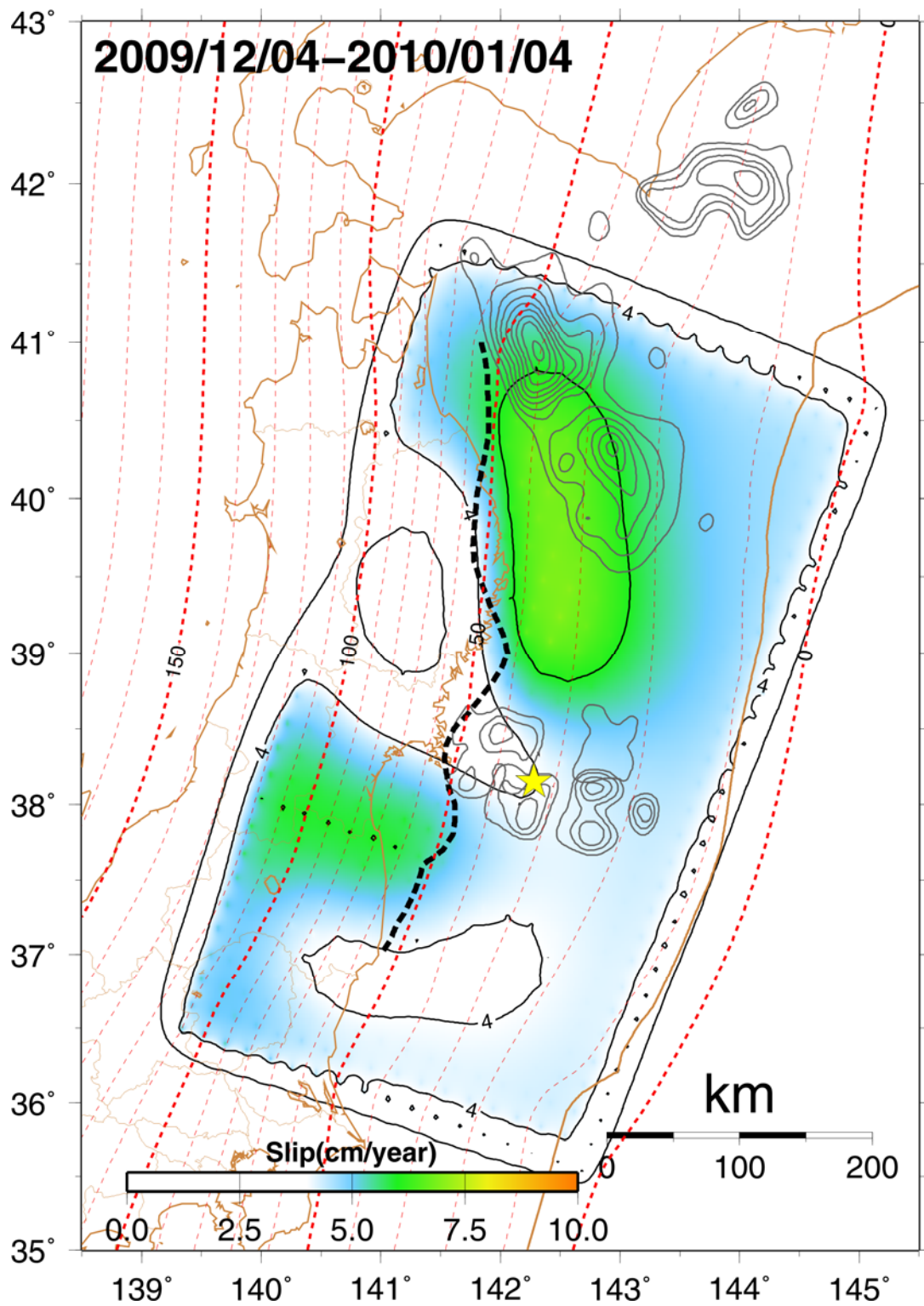


図 13c バックスリップの自動解析結果の例。2010年1月4日に解析を行なったとした場合のもの。過去1月間のバックスリップの分布を示す。

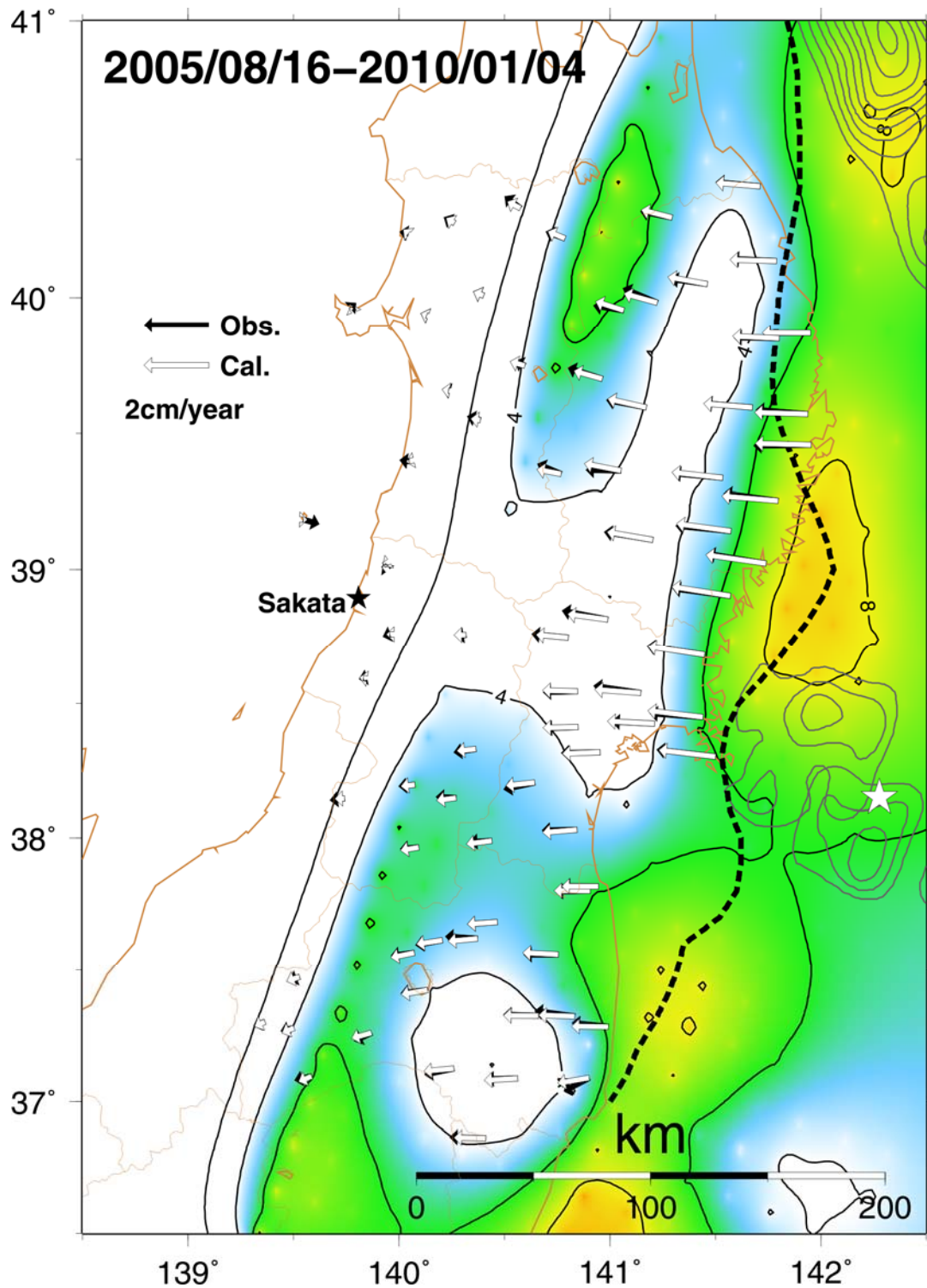


図 13d バックスリップの自動解析結果の例。2010年1月4日に解析を行なったとした場合のもの。過去5年間のバックスリップの分布と、同期間の観測変位（黒矢印）並びに推定されたバックスリップ分布から計算される変位（白矢印）の水平成分を示す。矢印のスケールは図中に示したとおり。白の星印は2005年8月16日の宮城県沖の地震の震央を、黒の星印は固定点（GEONETの酒田観測点）を示す。

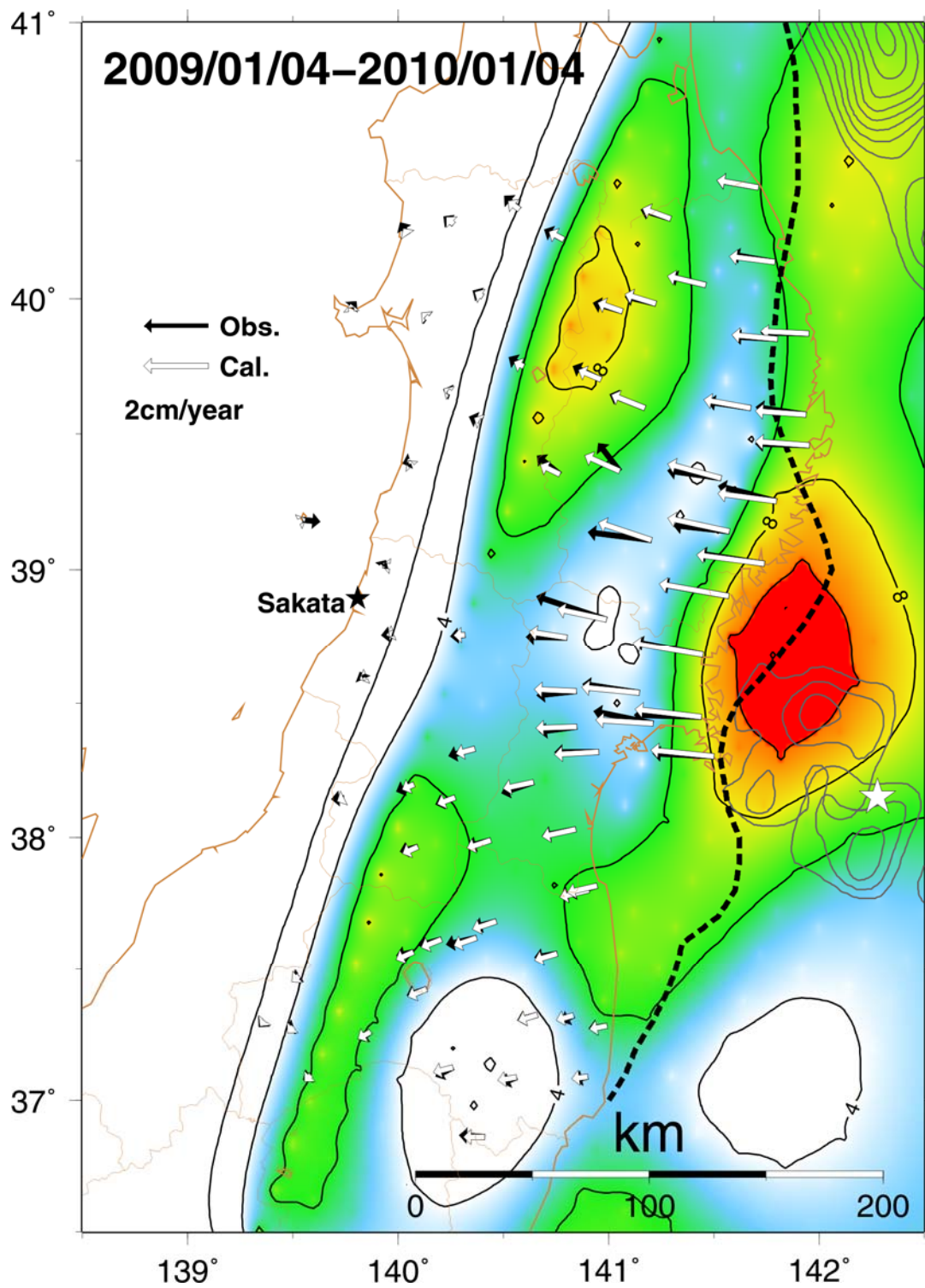


図 13e バックスリップの自動解析結果の例。2010年1月4日に解析を行なったとした場合のもの。過去1年間のバックスリップの分布に、同期間の観測変位（黒矢印）と計算された変位（白矢印）の水平成分を重ねて表示した。

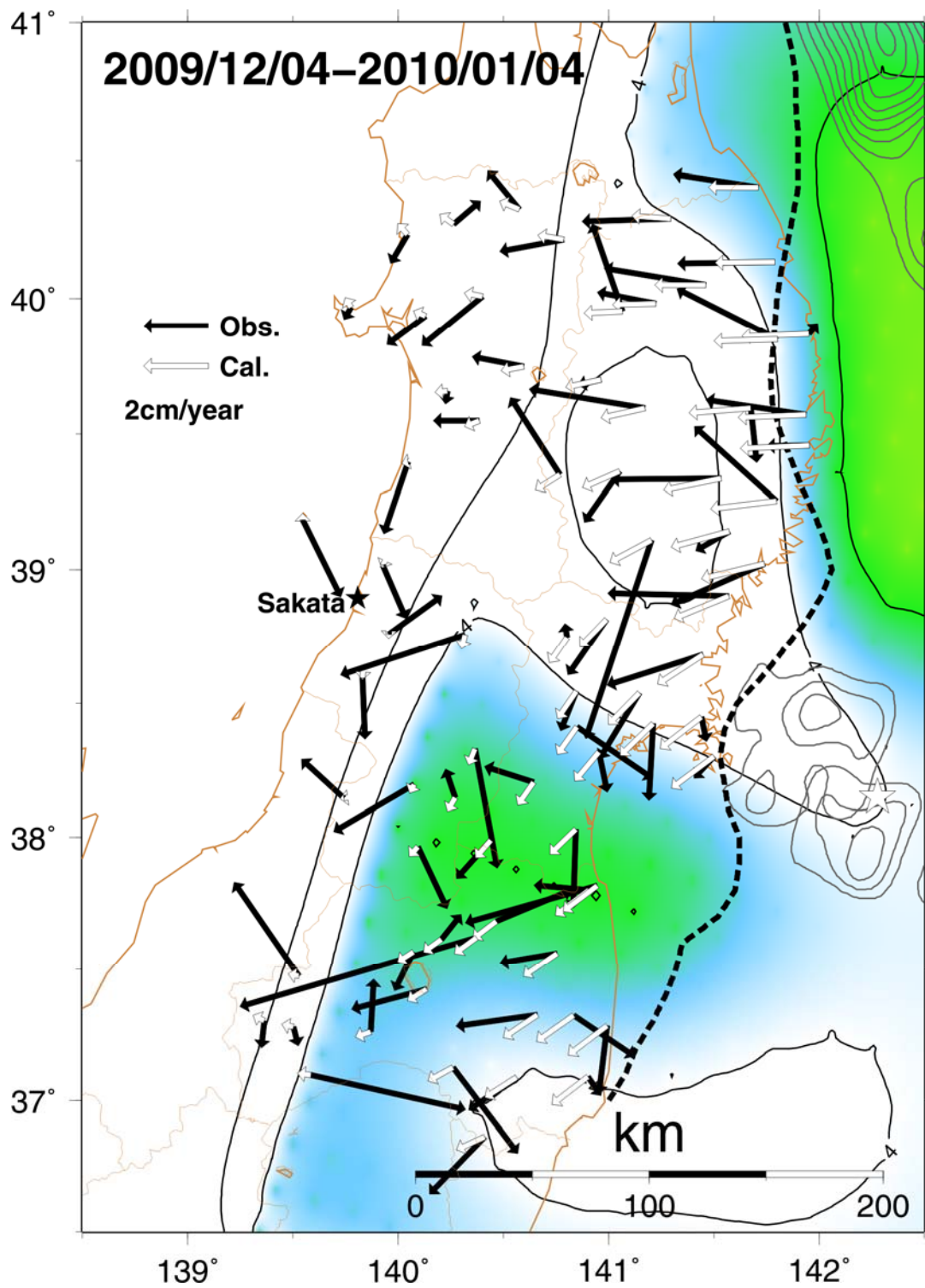


図 13f バックスリップの自動解析結果の例。2010年1月4日に解析を行なったとした場合のもの。過去1月間のバックスリップの分布に、同期間の観測変位（黒矢印）と計算された変位（白矢印）の水平成分を重ねて表示した。

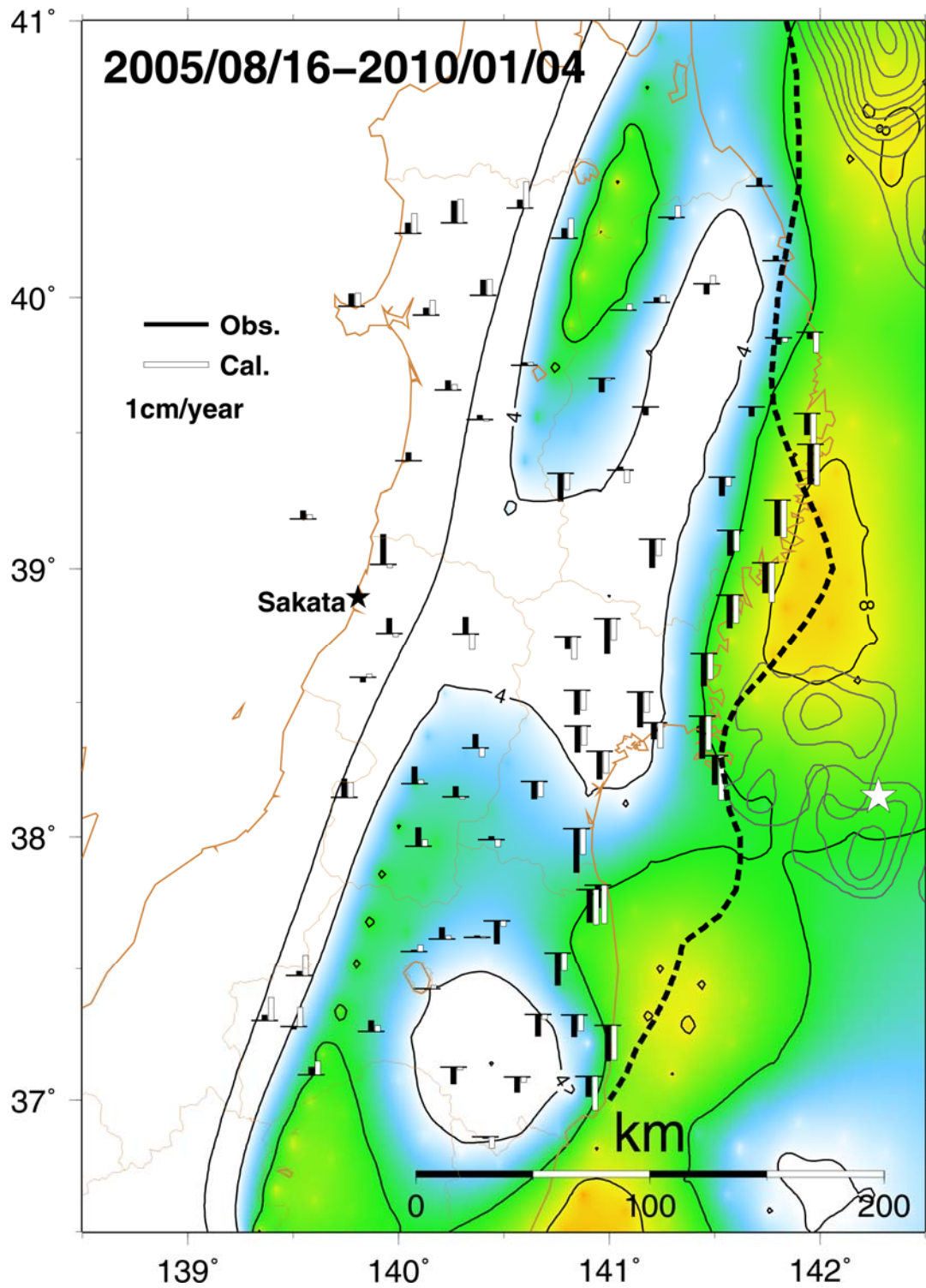


図 13g バックスリップの自動解析結果の例。2010年1月4日に解析を行なったとした場合のもの。過去5年間のバックスリップの分布に、同期間の観測変位（黒縦棒）と計算された変位（白縦棒）の上下成分を重ねて示す。棒のスケールは図中に示したとおり。白の星印は2005年8月16日の宮城県沖の地震の震央を、黒の星印は固定点（GEONETの酒田観測点）を示す。

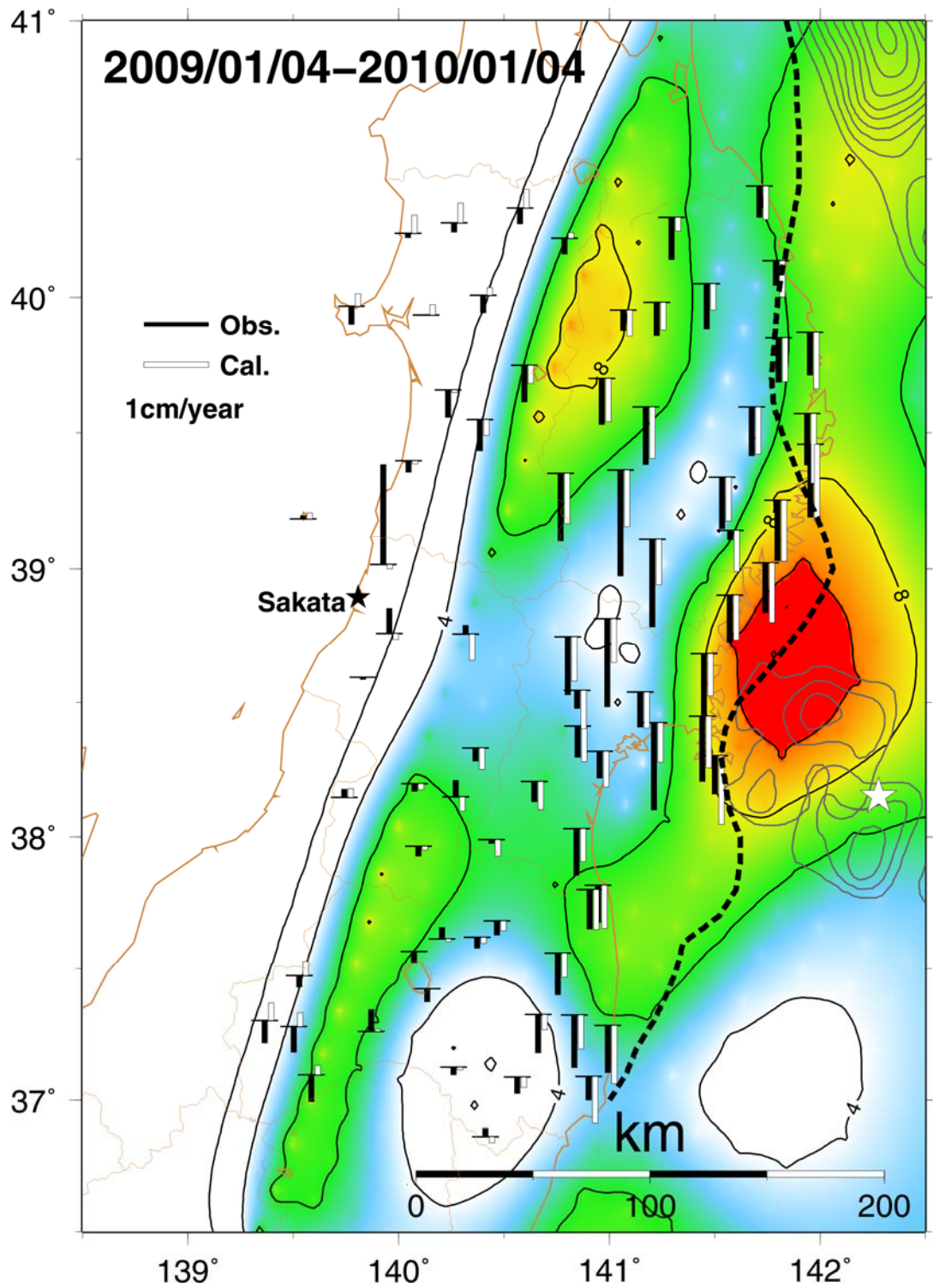


図 13h バックスリップの自動解析結果の例。2010 年 1 月 4 日に解析を行なったとした場合のもの。過去 1 年間のバックスリップの分布に、同期間の観測変位（黒縦棒）と計算された変位（白縦棒）の上下成分を重ねたもの。

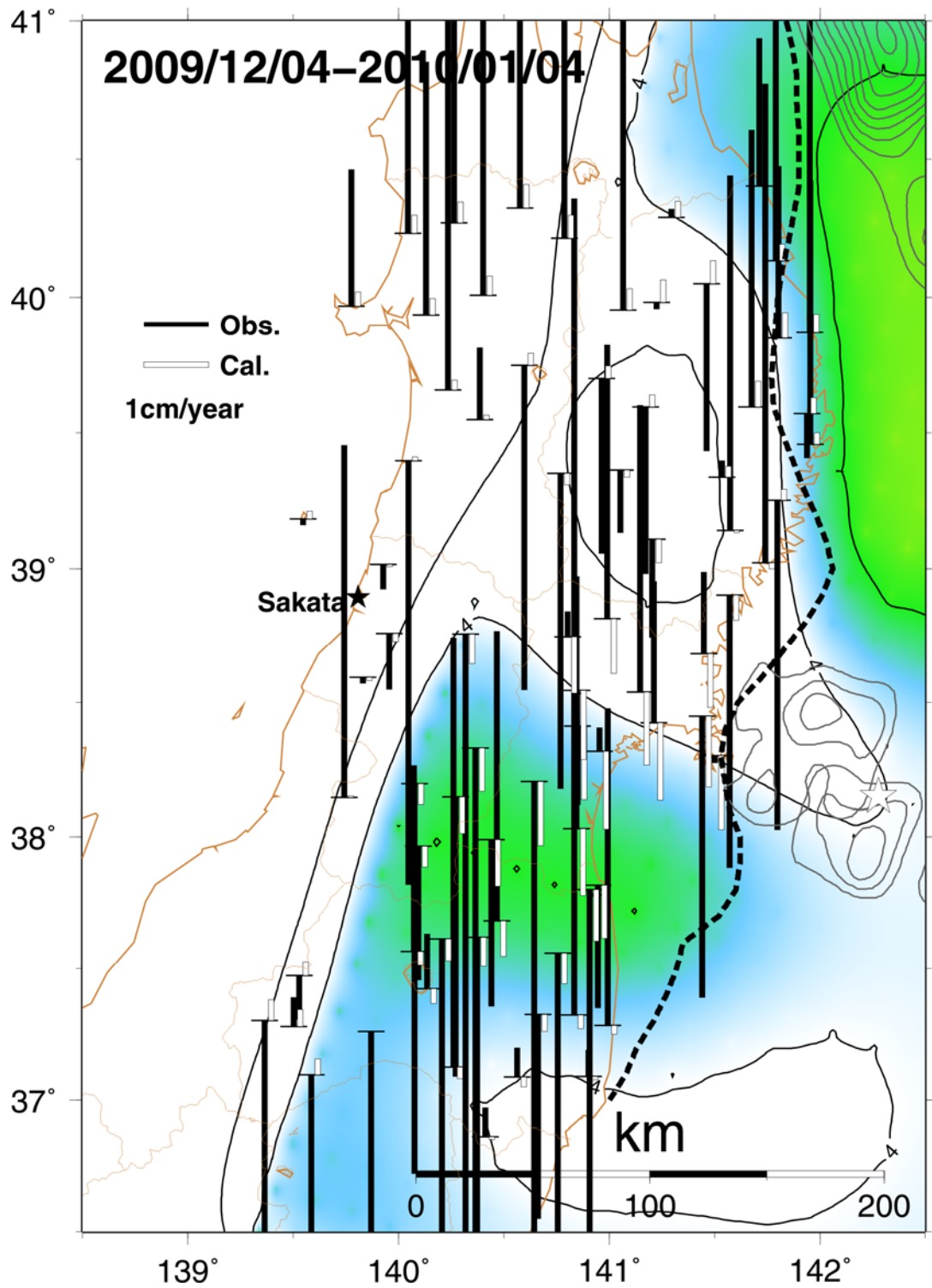


図 13i バックスリップの自動解析結果の例。2010年1月4日に解析を行なったとした場合のもの。過去1月間のバックスリップの分布に、同期間の観測変位（黒縦棒）と計算された変位（白縦棒）の上下成分を重ねたもの。

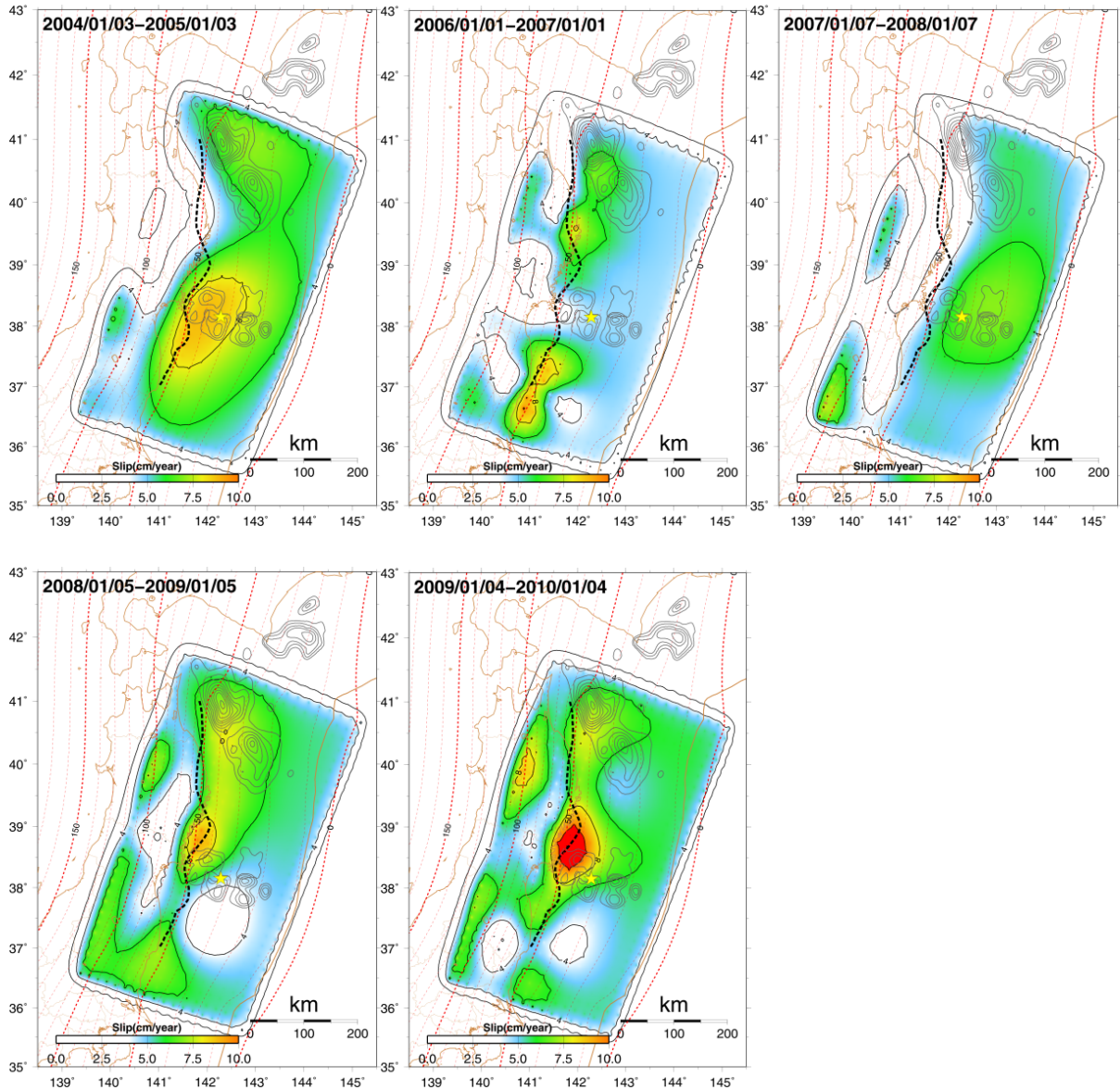


図 14 2005 年から 2010 年までのその年の最初の月曜日に解析を行なったとした際に推定されたバックスリップ分布。2006 年のものは 2005 年の宮城県沖の地震の余効すべりの影響が大きいいため割愛する。(左上) 2004 年 1 月 3 日から 2005 年 1 月 3 日まで、(中央上) 2006 年 1 月 1 日から 2007 年 1 月 1 日まで、(右上) 2007 年 1 月 7 日から 2008 年 1 月 7 日まで、(左下) 2008 年 1 月 5 日から 2009 年 1 月 5 日まで、(中央下) 2009 年 1 月 4 日から 2010 年 1 月 4 日までのそれぞれの期間に対して求められたトレンドに基づいてバックスリップ分布を推定している。

v) 宮城県沖地震震源域の非地震性すべりについて

準リアルタイムモニタリングシステムで用いられる Yagi and Kikuchi (2003)⁸⁾の時間依存インバージョン法により推定された 2005 年宮城県沖の地震後のプレート間すべりの時空間発展について述べる。本研究で平成 18 年度に報告した解析により、本震発生後余効すべりが励起され、一年余り続いていたことが明らかになった (Miura et al., 2006¹³⁾)。一方、海上保安庁海洋情報部により設置された GPS・音響結合方式の海底地殻変動観測点において 2006 年末頃まではほとんど動きがなかったものの、2007 年頃から 6.5 cm/year でユーラシアプレートに対して西北西に動き始めているとの発表がなされた (佐藤・他、2009¹⁴⁾)。同部によれば、これらの動きは、2005 年の地震を引き起こした原因である地殻ひずみの蓄積が同地震の発生により解消され、一年程度の移行期間を経て、再びひずみの蓄積が開始される過程を海底の動きとして捉えたものであると考えられる。

これを受けて、2005 年の宮城県沖の地震の余効変動に関する解析を再度行った。2004 年初めから 2007 年末までの期間において、東北大学及び GEONET の GPS 観測点によって得られたデータを、GIPSY-OASIS II ソフトウェアを用いた精密単独測位法 (Zumberge et al., 1997⁶⁾) により解析し、各観測点での変位時系列データを得た。得られた時系列データに対し、2004 年 1 月 1 日から 2005 年 8 月 16 日の地震発生までの時系列を基に長期トレンド、年周・半年周成分について最小二乗法を用いて推定し、全期間のデータからこれらの成分を除去した。こうして得られた定常変動成分を除去した変位時系列のうち、最大余震 (2005 年 12 月 2 日) 発生後のデータに対して Yagi and Kikuchi (2003)⁸⁾の時間依存逆解析手法を適用し、プレート境界におけるすべりの時空間発展を推定した。この際、すべりの方向をより強くプレート収束方向に拘束するため、プレート収束方向 ±15 度の 2 成分 (通常は ±45 度) を推定することとした。

図 15 に 2005 年 12 月 3 日から 2007 年 12 月下旬までの期間において、12 週間ごとに求めたプレート間すべりの分布を示す。2007 年 1 月 27 日からの期間以降、2005 年の宮城県沖の地震の震央周辺でのすべりがほとんど見られなくなっていることがわかる。この時期は、海上保安庁海洋情報部から報告されている海底地殻変動観測点における変位が定常状態と思われるレートに落ち着いた時期と一致しており、陸上 GPS 点を用いた解析からも、余効すべりが終息し固着が再び始まったことが示唆される結果が得られた。プレート間すべりの積算値並びに変位との比較を図 16、17 に、モーメント解放量の推移を図 18 に示す。積算値の分布 (図 16) からは 1978 年宮城県沖地震のアスペリティ周辺で余効すべりが大きかったことがわかる。

変位の観測値と計算値の比較 (図 17) を見ると、岩手及び秋田県内のほとんどの観測点では西向きの変位が観測されている一方、逆解析により推定された余効すべり分布では、その変位量をあまりよく説明できていない。これは、1994 年の三陸はるか沖地震の震源域を含む、青森県から岩手県の沖側の領域においてプレート間の固着が強まっていることに起因していると考えられる。今回の解析で用いた各 GPS 観測点での変位時系列からは、2004 年初めから 2005 年の宮城県沖の地震までのデータを用いて長期トレンドを除いているが、岩手及び秋田県内の多くの観測点においては、この長期トレンドが過小評価されていた可能性を示唆している。図 16 に示したすべり分布をよく見ると、解析

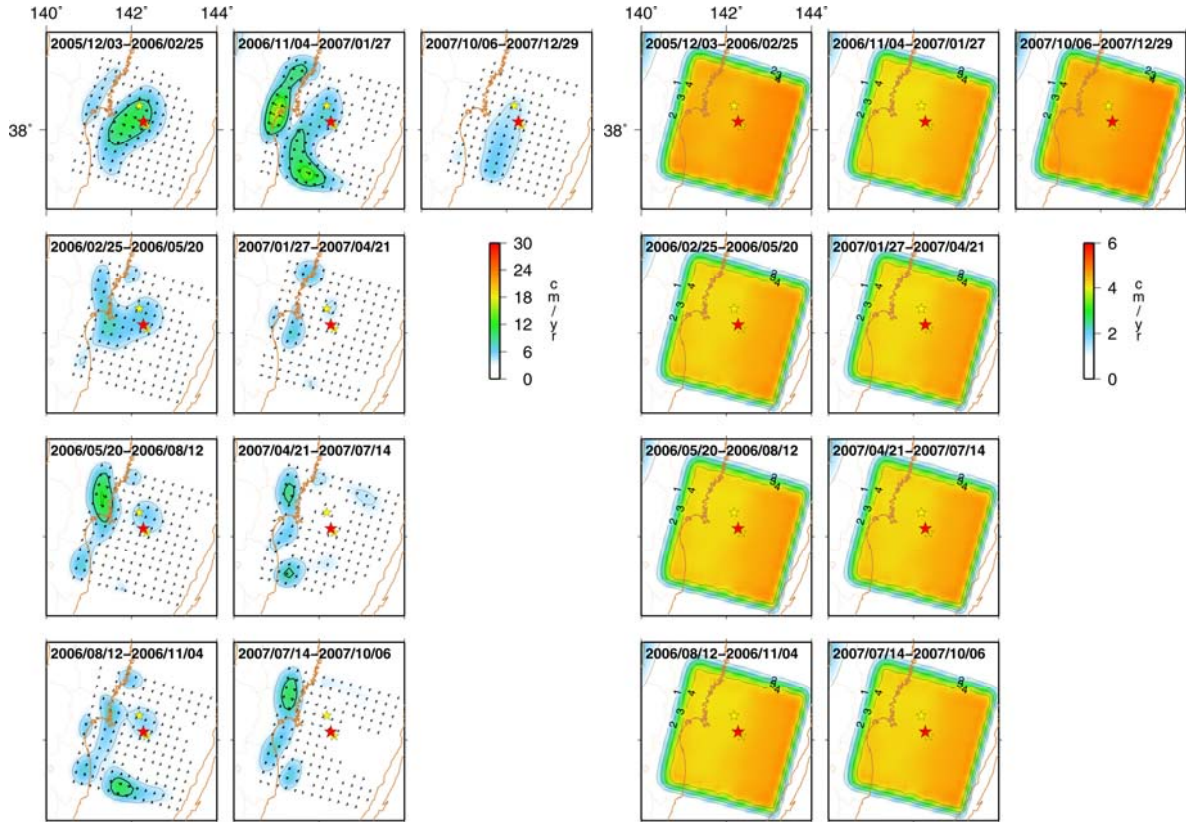


図 15 (左) 陸上 GPS 観測点で得られた変位時系列データを元にした時間依存逆解析により推定された、2005 年 12 月 2 日の最大余震以後のプレート間すべりの時空間発展。12 週間ごとのスナップショットを示す。等値線間隔は 4 cm/year。太い等値線は 2 σ 信頼限界に相当する。赤の星は 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震の本震の震央、黄色の星は、最大余震（2005 年 12 月 2 日、M6.6、本震ごく近く）並びに M6.1 の余震（2005 年 12 月 17 日、本震北側）の震央をそれぞれ示す。（右）各期間のすべりの推定誤差。等値線間隔は 1 cm/year。

Cumulative Aseismic Slip

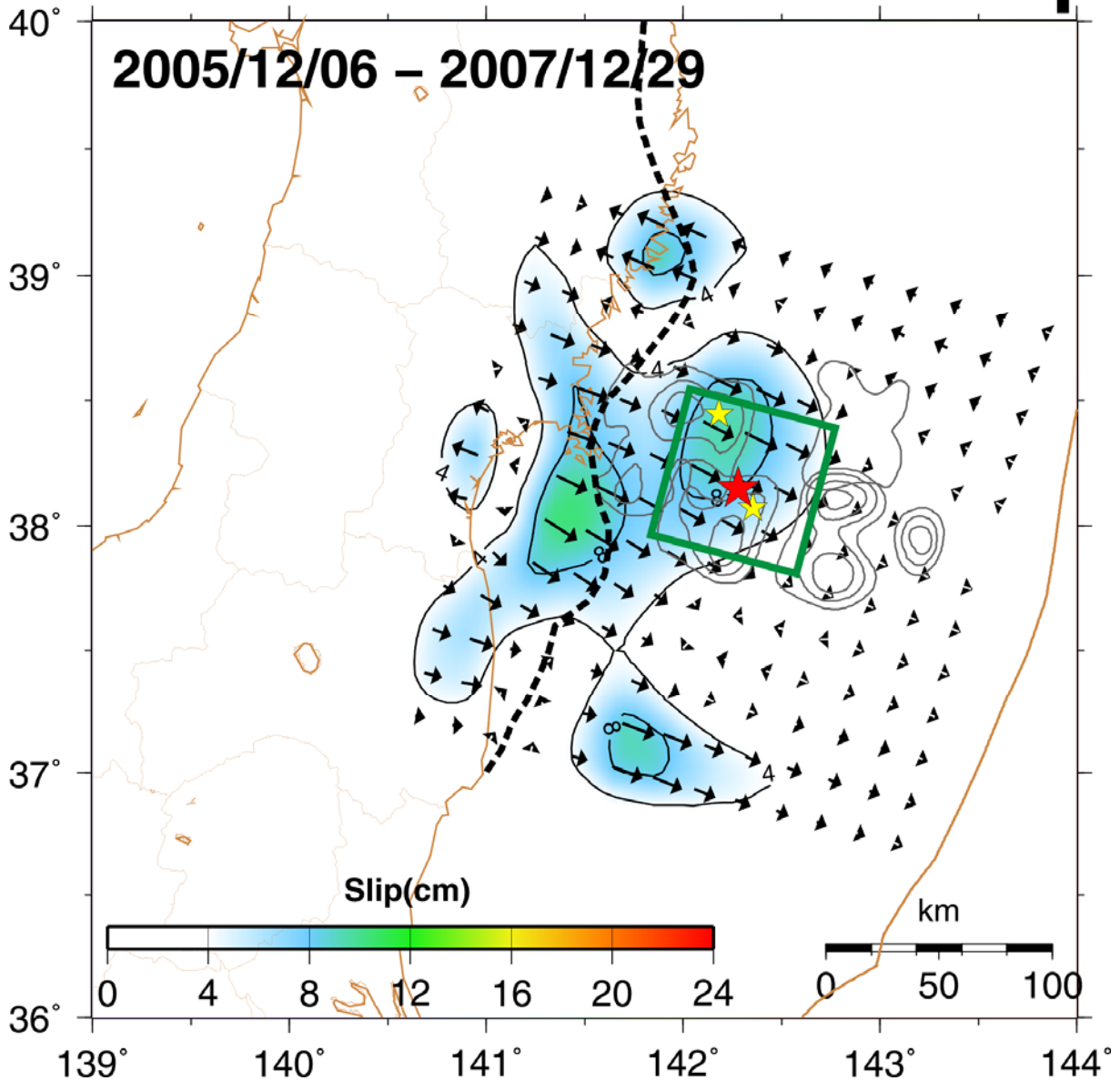


図 16 陸上 GPS 観測点で得られた変位時系列データを元にした時間依存逆解析により推定されたプレート間すべりの積算値分布。矢印の向きはすべりの方向を示し、すべりの大きさを矢印の長さ及びカラーマップにより示した。赤の星は 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震の本震の震央、黄色の星は、最大余震（2005 年 12 月 2 日、M6.6、本震ごく近く）並びに M6.1 の余震（2005 年 12 月 17 日、本震北側）の震央をそれぞれ示す。緑線枠内でのモーメント解放量を図 18 に示す。灰色の等値線は 1978 年（陸側北）・1981 年（沖側北）・1936 年（陸側南）の宮城県沖地震ならびに 2003 年福島県沖の地震（沖側南）のアスペリティ (Yamanaka and Kikuchi, 2004¹⁶；山中, 2003¹⁷)。

Surface Displacement

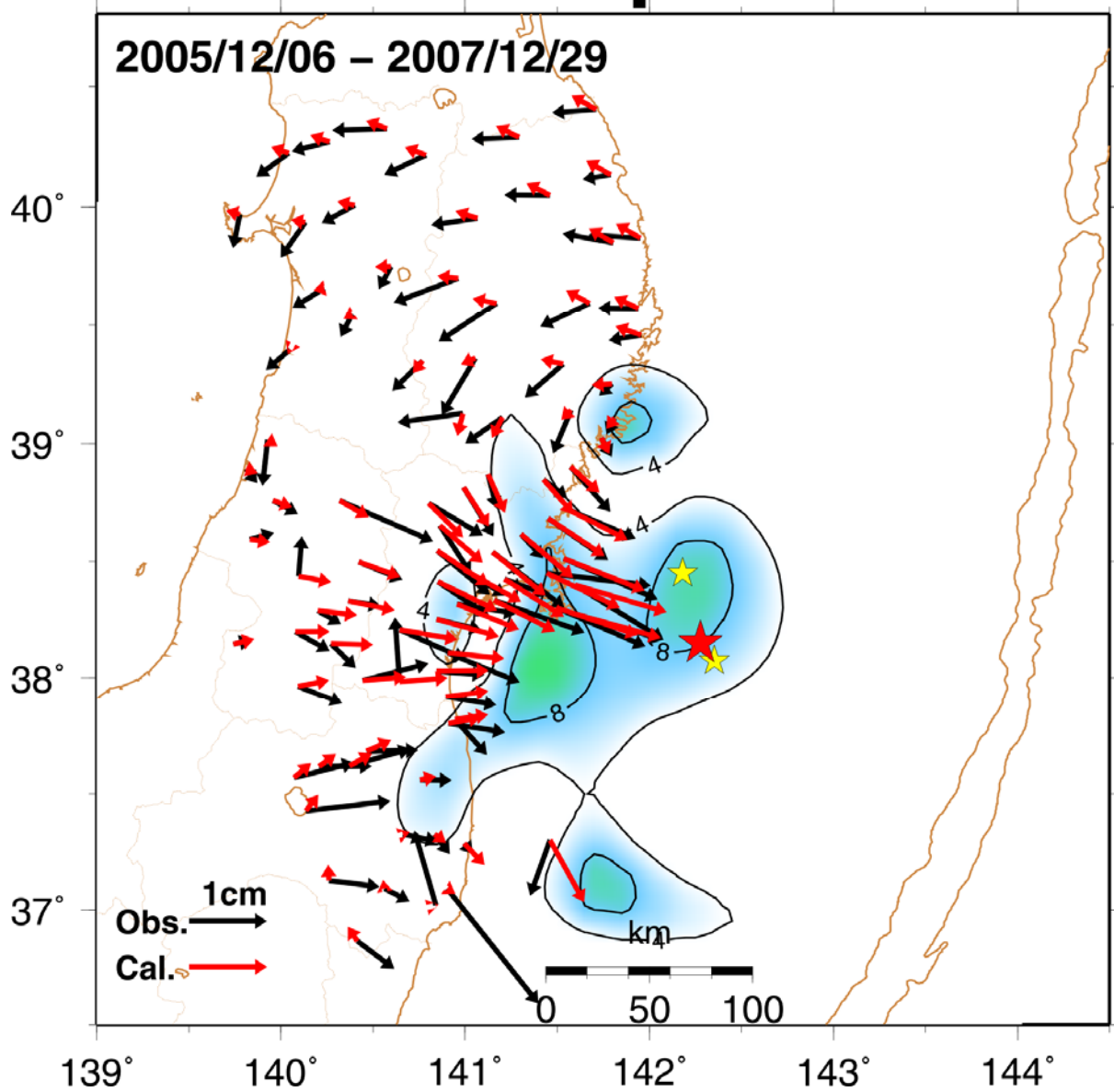


図 17 陸上 GPS 観測点で得られた変位時系列データを元にした時間依存逆解析により推定されたプレート間すべりの積算値分布（図 16 のものと同じ）と、観測変位（黒矢印）と推定された余効すべり分布から計算される変位（赤矢印）との比較。

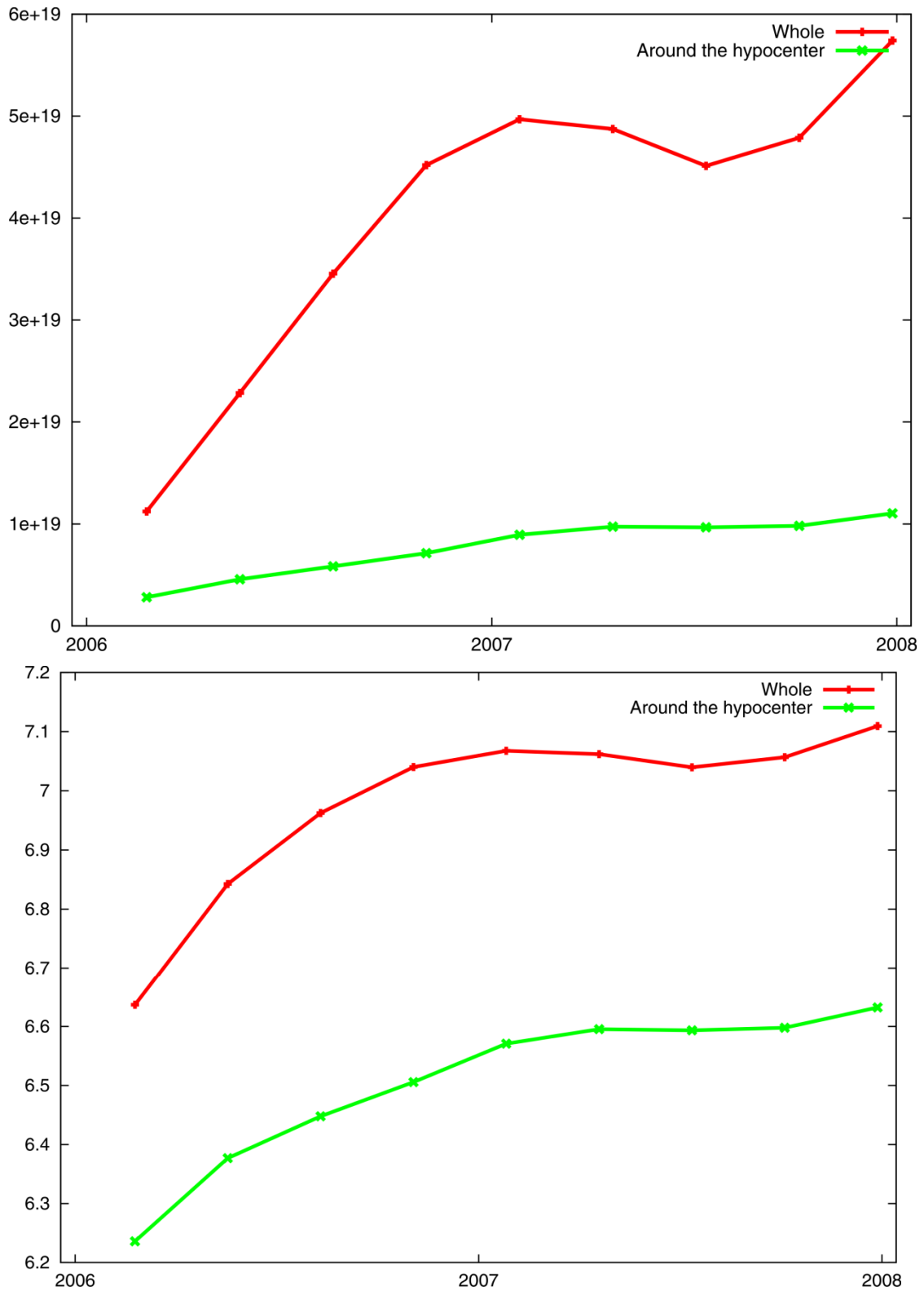


図 18 時間依存逆解析により推定されたモーメント解放量の時間推移。解析対象としたプレート境界面全体からの解放量を赤、図 16 の緑線枠内の領域からの寄与分を緑で示してある。上段はモーメント解放量を Nm 単位で、下段はモーメントマグニチュード相当で示す。

領域の北端近くに西向きのプレート間すべり、すなわち固着が強まる方向のすべりが求まっていることがわかる。これも、領域外の固着回復過程がこの領域のプレート間すべりの推定に影響を及ぼしたためであると考えられる。

モーメント解放量の推移（図 18）からは、2005 年の地震の震源域周辺で、最大余震（M6.6）と同程度のひずみエネルギーが余効すべりにより解放されたこと、また、2007 年前半でほぼ余効すべりが収束している様子がよくわかる。図 18 で 2007 年の終わり頃にモーメント解放量の積算が減少しているのは、上述のように、解析領域の北端で逆方向のすべりが推定された影響である。この逆方向のすべりは解析領域外での固着状態の変化を反映したものであると考えられるため、積算モーメントの減少は、宮城県沖における余効すべり変動の時間変化を反映したものではない。

図 19、20 に変位時系列を示す。陸上 GPS 観測点における変位は、時間依存逆解析により推定された余効すべりでよく説明できているが（図 19）、海底地殻変動観測点における水平変位については、解析により推定された余効すべりモデルによる変位量は、観測された変位量に比べて過小となっている（図 20）。海底地殻変動観測点における変位時系列をみると、2007 年以降に変位の時間変化がほぼ一定のレートを示しており、プレート間固着による変位と解釈される。逆に言えば、それ以前の期間において変位が一定レートの時間変化から外れているのは、余効すべりによる影響であり、一定レートを仮定した変位曲線からのずれの量が余効すべりによる変位量に対応する。図 20 からは、海底地殻変動観測点において、東西成分で 10cm 程度、南北成分で 5 cm 程度の変位が余効すべりにより生じていることがわかるが、逆解析により推定された余効すべりモデルから計算される変位は東西成分 5 cm 以下、南北成分で 1～2 cm であって、観測値と比べて有意に小さい。これは、陸地から遠く離れた沖側のプレート境界でのすべりを検知する能力が陸上 GPS 観測網に十分備わっていないため、沖側で余効すべりがあったとしても、これを逆解析で推定することができないことに起因していると考えられる。

そこで、海底地殻変動観測点のデータを海上保安庁海洋情報部から提供を受け、これを陸上 GPS 観測点で得られたデータとともに時間依存逆解析に用いることとした。図 21 から図 25 に海底観測データを加えて行った再解析の結果を示す。海底地殻変動観測点のデータには陸上 GPS 点の水平成分の半分の重みをつけて解析を行った。余効すべりのスナップショット（図 21）並びに積算すべり量の空間分布（図 22）を、陸上 GPS 観測点でのデータのみを用いた場合の結果（図 15 及び図 16）と比較すると、より海溝に近い東側に向かって、大きな余効すべり量を示す領域が拡大していることがわかる。図 23 は、逆解析から得られた余効すべり分布による水平変位量の計算値を観測値と比較した図を示す。沖側で大きな余効すべり量が推定されるようになったのは、海底地殻変動観測点（MYGI、MGYW、FUKU）において観測された変位を説明するためであることが明らかである。

余効すべりの積算値の空間分布（図 22）を見ると、海底観測データを加えることで新たに見いだされた余効すべり域は、2003 年の福島県沖の地震のアスペリティと 1936 年の宮城県沖地震のアスペリティの間の領域を中心とした位置にある。一方、海底観測データを加えて再推定したモーメント解放量の時間変化（図 24）を、陸上 GPS 観測点のデータだけから推定したもの（図 18）と比較すると、2005 年の地震の本震破壊域の近傍で

のすべり量は、海底観測データを加えても加えなくても、ほとんど違いがないのに対して、解析領域全体で見ると、海底観測データを加えて行った再解析によって、すべり量が有意に大きく推定されていることが分かる。これを踏まえて図 23 と図 17 を比較すると、陸上の GPS 観測点では計算された変位がほとんど変わっていないことから、この沖側のすべり領域は海底地殻変動観測点の動きを説明するためだけに求められている一方で、その影響が陸上点に及ばない大きさに抑制されて求められているものと考えられる。すなわち、海底地殻変動観測点を複数点解析に取り込んだことにより、位置・大きさともにある程度有意義な地球物理学的意味を持つ結果が得られたことを示している。

とはいえ、図 25 に示したように、海底地殻変動観測点で得られたデータは時間的に疎である上に、ばらつきが非常に大きく、現時点では、測地学的観測データのみを用いて推定されるすべり分布の精度には限界があり、小繰り返し地震活動モニタリングから推定されるプレート間すべりと比較する等、他の地球物理学的手法と組み合わせて結果を解釈していくことが重要である。

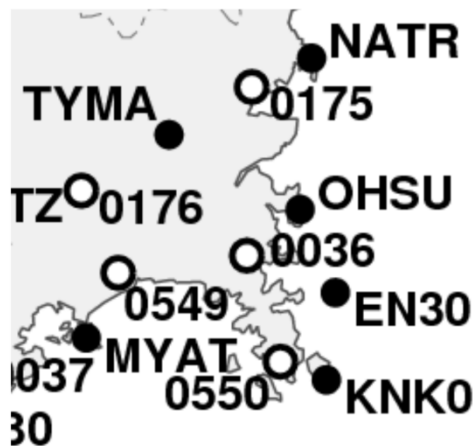
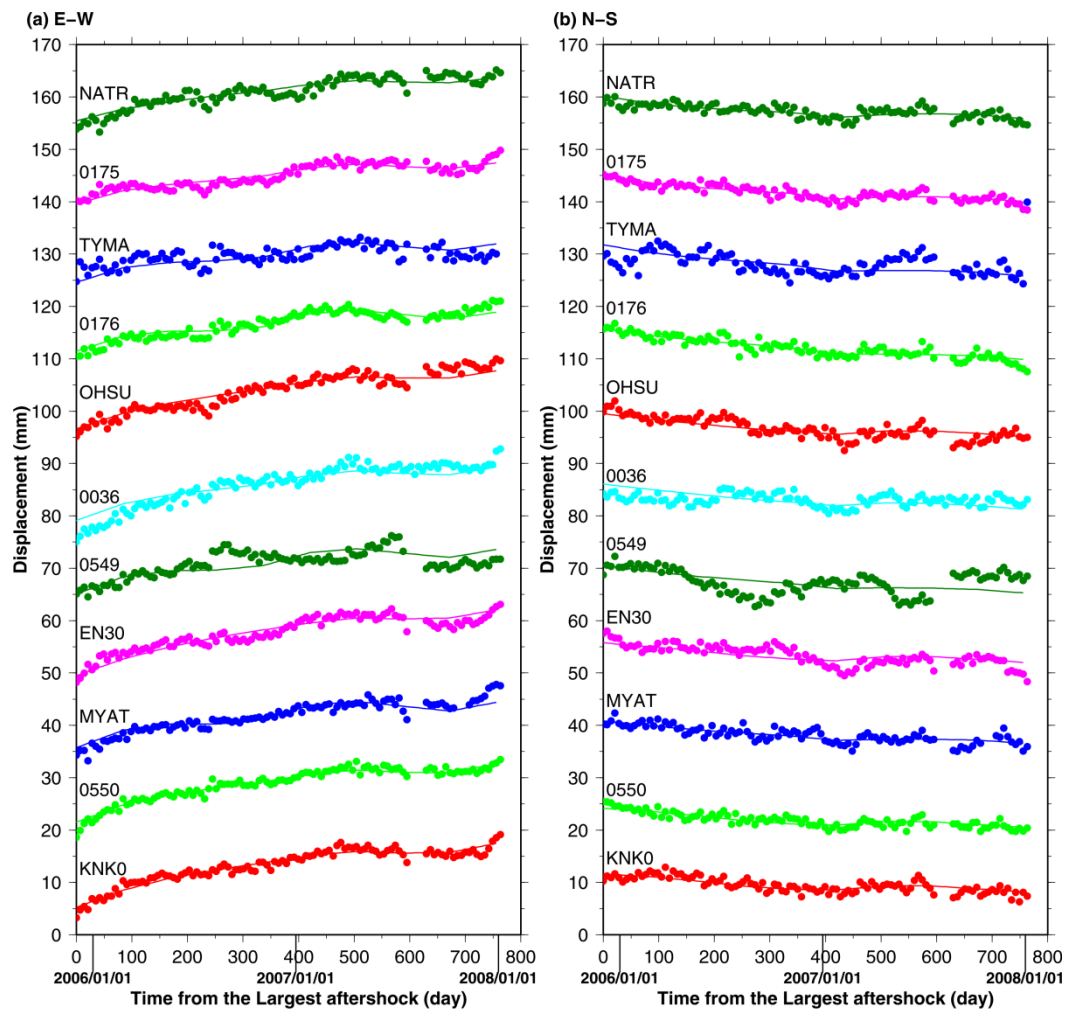


図 19 牡鹿半島周辺の GPS 観測点における変位時系列。上段右側に東西成分、左側に南北成分を示す。横軸は 2005 年 12 月 2 日（最大余震発生日）からの日数。各観測点での変位 (mm) を観測点ごとにオフセットを与えて示す。固定点は GEONET の飛島 (950194)。実線は時間依存逆解析で推定された余効すべりの時空間発展から予測される変位。下段の地図内に各観測点の位置を示す。

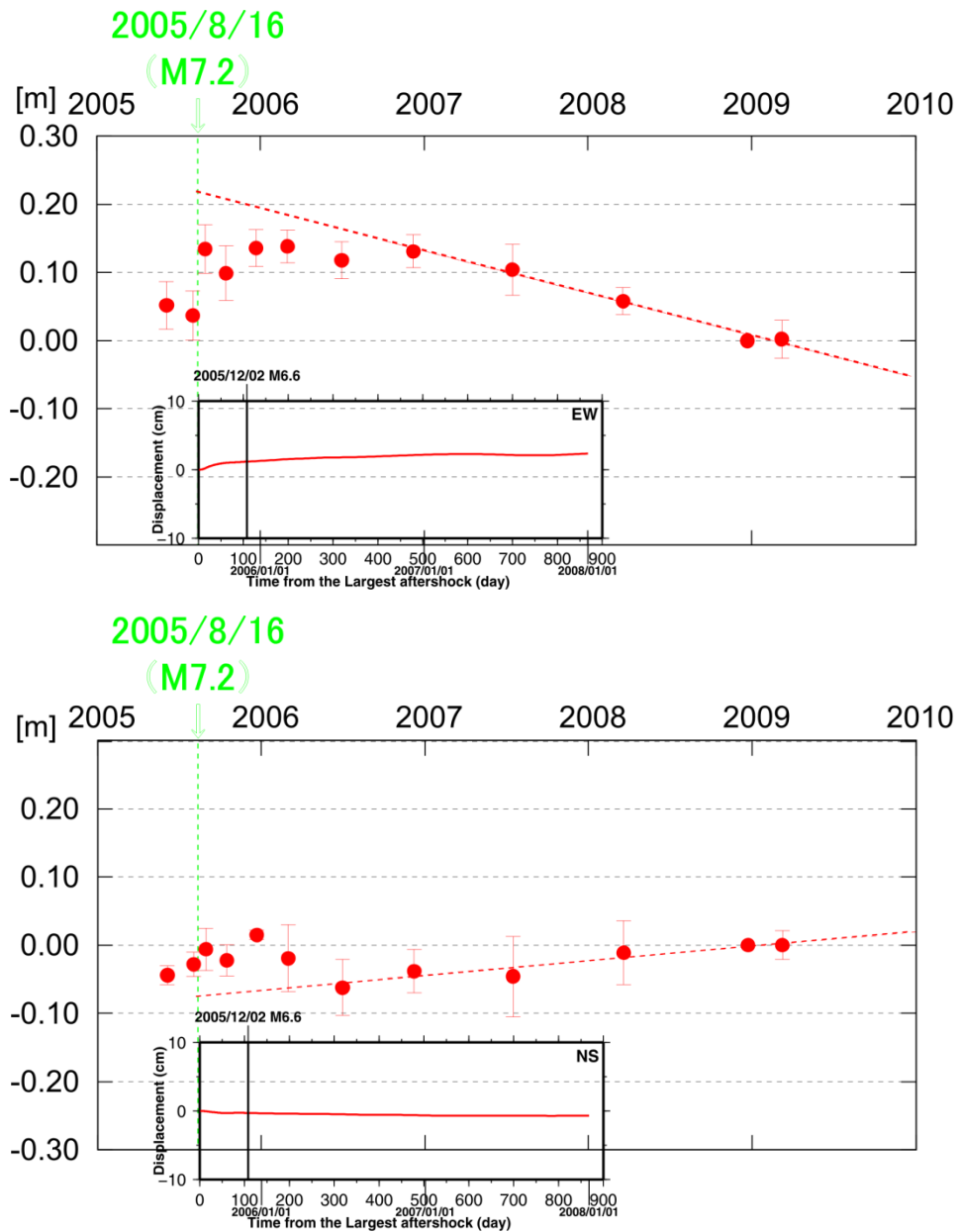


図 20 海上保安庁の海底地殻変動観測点での水平変位時系列。上段に東西成分、下段に南北成分 (m) を示す。横軸は時刻を示し、単位は年。破線は 2006 年 12 月以降の観測値から求めたトレンドを示す。縦の緑破線は 2005 年の宮城県沖の地震の発生日を示す。小さな枠内に時間依存逆解析により推定された余効すべりの時空間発展から計算される、海底地殻変動観測点での変位 (cm) を示す。横軸は時刻を示し、2005 年の宮城県沖の地震からの日数で目盛りを振ってある。横軸、縦軸とも大きな枠とスケールを合わせて表示してある。小さな枠内の縦の実線は 2005 年 12 月 2 日の最大余震発生日を示す。

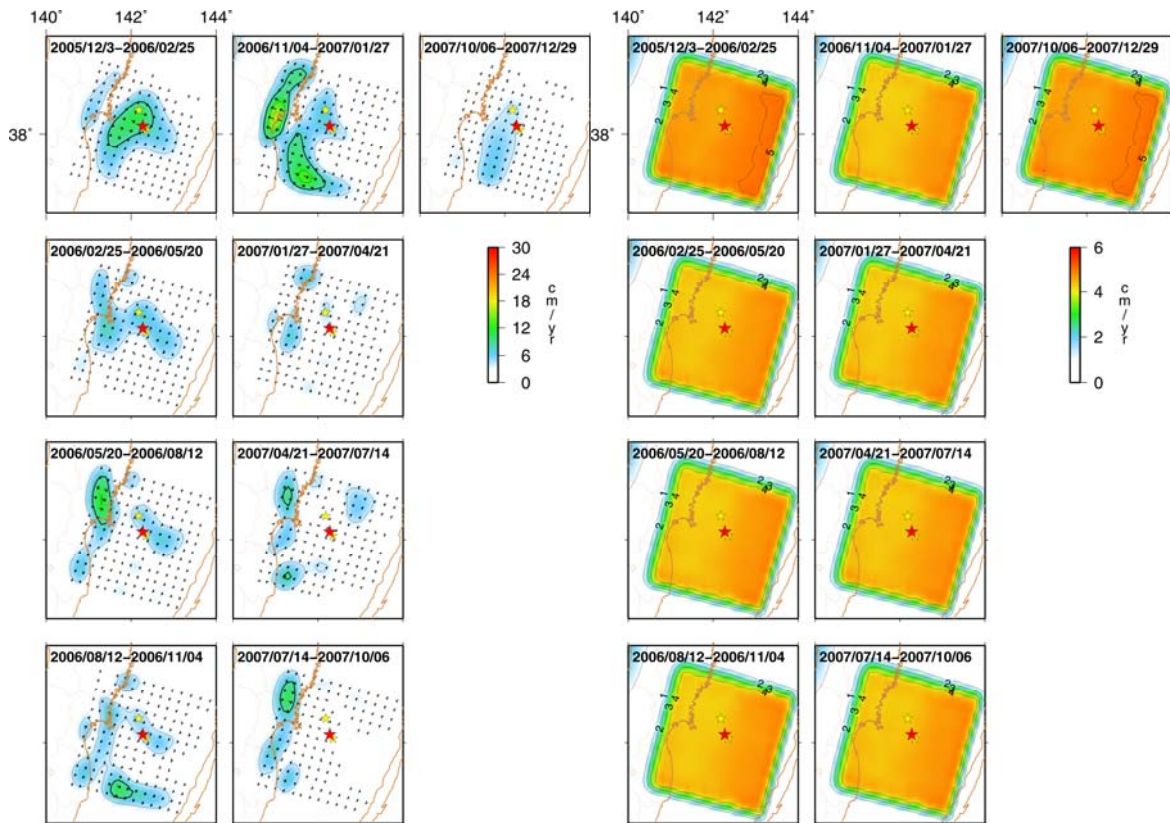


図 21 (左) 陸上 GPS 観測点で得られた変位時系列データ並びに海上保安庁海洋情報部の海底地殻変動観測点での変位時系列データを基にした時間依存逆解析により推定された、2005 年 12 月 2 日の最大余震以後のプレート間すべりの時空間発展。12 週間ごとのスナップショットを示す。等値線間隔は 4 cm/year。太い等値線は 2σ 信頼限界に相当する。赤の星は 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震の本震の震央、黄色の星は、最大余震 (2005 年 12 月 2 日、M6.6、本震ごく近く) 並びに M6.1 の余震 (2005 年 12 月 17 日、本震北側) の震央をそれぞれ示す。(右) 各期間のすべりの推定誤差。等値線間隔は 1 cm/year。

Cumulative Aseismic Slip

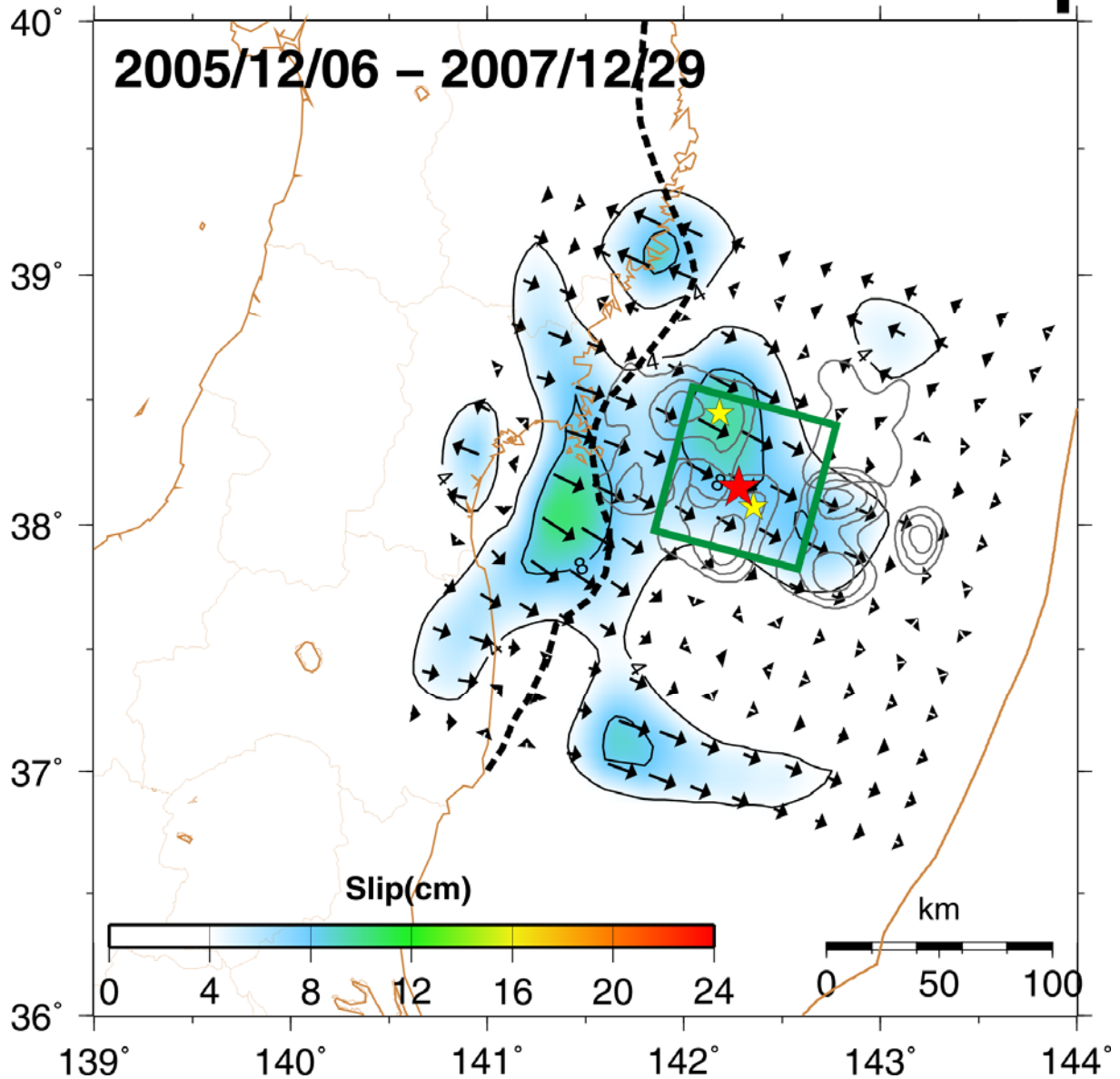


図 22 陸上 GPS 観測点で得られた変位時系列データ及び海底地殻変動観測点の変位時系列データを基にした時間依存逆解析により推定されたプレート間すべりの積算値分布。矢印の向きはすべりの方向を示し、すべりの大きさを矢印の長さ及びカラーマップにより示した。赤の星は 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震の本震の震央、黄色の星は、最大余震（2005 年 12 月 2 日、M6.6、本震ごく近く）並びに M6.1 の余震（2005 年 12 月 17 日、本震北側）の震央をそれぞれ示す。緑線枠内でのモーメント解放量を図 24 に示す。灰色の等値線は 1978 年（陸側北）・1981 年（沖側北）・1936 年（陸側南）の宮城県沖地震ならびに 2003 年福島県沖の地震（沖側南）のアスペリティ(Yamanaka and Kikuchi, 2004¹⁶⁾; 山中, 2003¹⁷⁾。

Surface Displacement

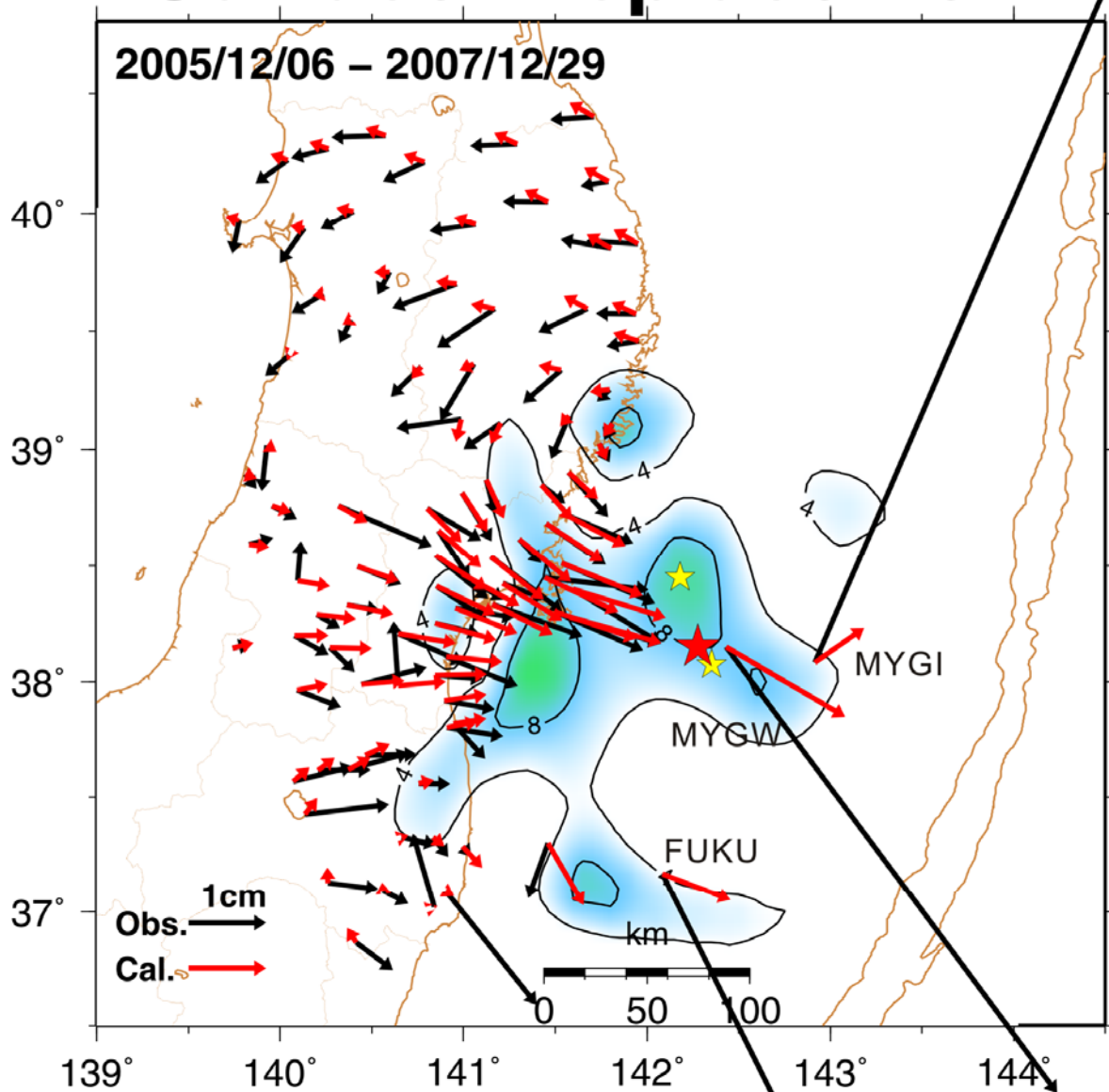


図 23 陸上 GPS 観測点で得られた変位時系列データ及び海底地殻変動観測点における変位時系列データを基にした時間依存逆解析により推定されたプレート間すべりの積算値分布（図 22 のものと同じ）と、観測変位（黒矢印）と推定された余効すべり分布から計算される変位（赤矢印）との比較。

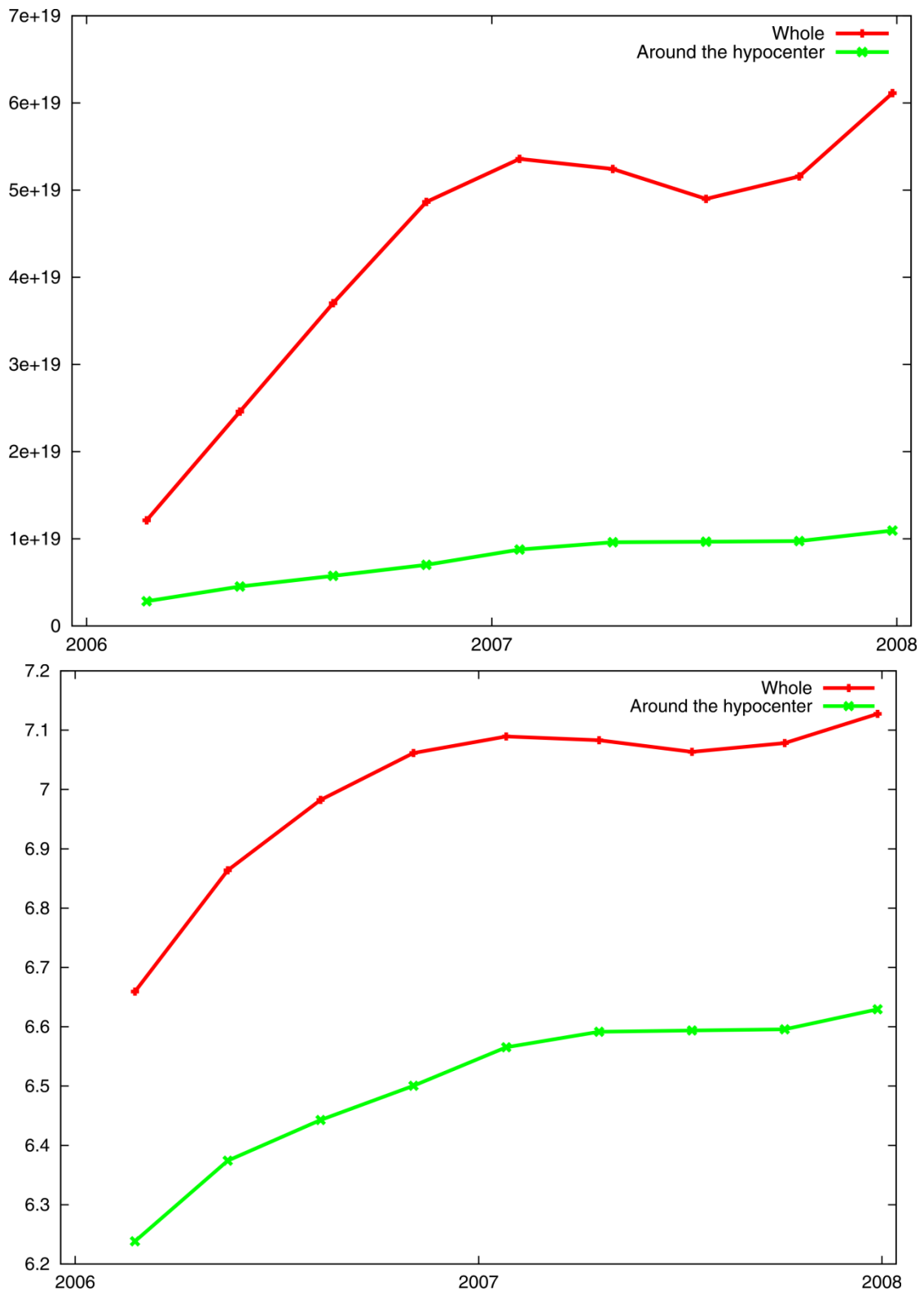


図 24 時間依存逆解析により推定されたモーメント解放量の時間推移。解析対象としたプレート境界面全体に対するものを赤、図 22 の緑線枠内について緑で示してある。上段はモーメント解放量を Nm 単位で、下段はモーメントマグニチュード相当で示す。

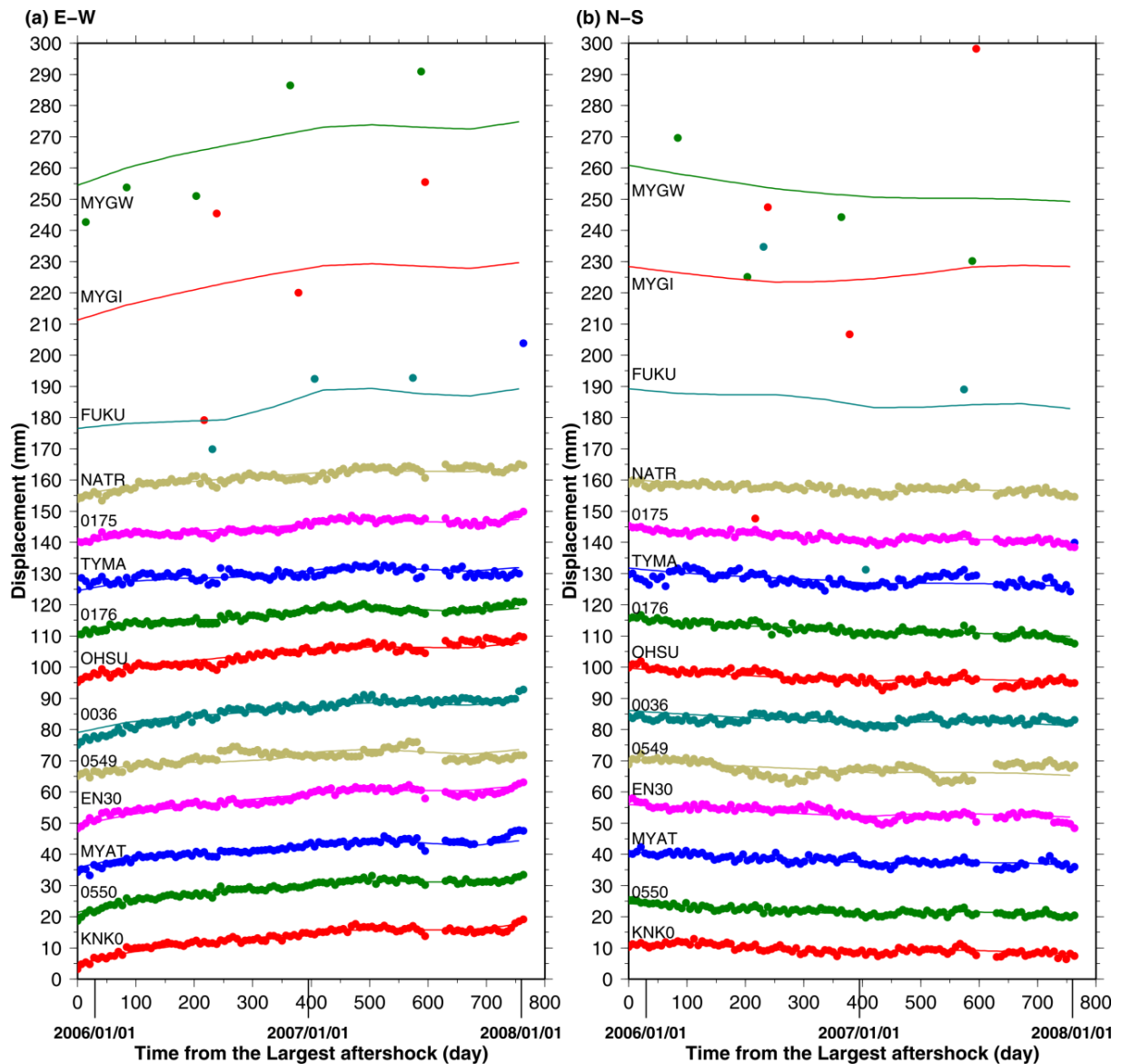


図 25 牡鹿半島周辺の GPS 観測点並びに海上保安庁海洋情報部の海底地殻変動観測点における変位時系列。上段右側に東西成分、左側に南北成分を示す。横軸は 2005 年 12 月 2 日（最大余震発生日）からの日数。各観測点での変位 (mm) を観測点ごとにオフセットを与えて示す。実線は時間依存逆解析で推定された余効すべりの時空間発展から予測される変位。各陸上観測点の位置は図 19 を参照。MYGW、MYGI、FUKU は海底地殻変動観測点であり、位置は図 23 中に示す。

2) 海底地震観測による高精度震源分布及び3次元地震波速度構造

a) 地震波トモグラフィー

宮城県沖に設置された OBS のデータと陸上地震観測網によるデータを統合処理したデータを用いた Double-difference トモグラフィー法 (Zhang and Thurber, 2003¹⁹⁾) により、海域下の P 波速度 (V_p) 及び S 波速度 (V_s) の 3 次元構造を高精度で推定した。

低 V_p 、 V_s で明瞭にイメージされる海洋性地殻は深さ 20~70km の範囲において、高 V_p/V_s を保ったまま沈み込んでいることがわかった (図 26)。この結果は、北西太平洋における人工地震探査の結果と、東北日本の陸域下でのトモグラフィー解析による結果をつなぐものであり、これらを総合すると、海洋性地殻は沈みこむ以前から高い V_p/V_s によって特徴付けられ、その特徴を保持しつつ地下深部にまで沈み込んでいることが明らかとなった。

プレート境界の位置 (山本, 2007²⁰⁾) を基準として、上盤側のマントルウェッジ及び下盤側の海洋性地殻の内部それぞれについて、宮城県沖地震のアスペリティの分布に対応するような不均質構造についての検討を行い、次のような特徴を見出すことができた。

(1) マントルウェッジ内においては、アスペリティの周辺では高 V_p 及び高 V_s であり、周囲に比べ V_p/V_s は小さい (図 27)。このことは、アスペリティが分布する領域においては、マントルウェッジの水和がほとんど起こっていないことを示すものであり、ここで M7 級の地震が繰り返し発生することの原因の一つであると考えられる。(2) 海洋性地殻内においては、2005 年の宮城県沖の地震の震源周辺において、その周囲に比べて V_p/V_s が有意に小さい (図 28)。この領域は、1978 年宮城県沖地震の破壊過程においても破壊開始点に隣接するアスペリティとなっており、2005 年の地震と同様の破壊過程が繰り返されたと考えられている。破壊の開始点については、1936 年宮城県沖地震もこれらの地震に近いことが知られている。本研究によって見出された海洋性地殻内に見られる局所的な低 V_p/V_s 域が存在することにより、この領域は周囲に比べて応力集中を受けやすくなるために、大地震の破壊の開始点になりやすい場所となっている可能性がある。

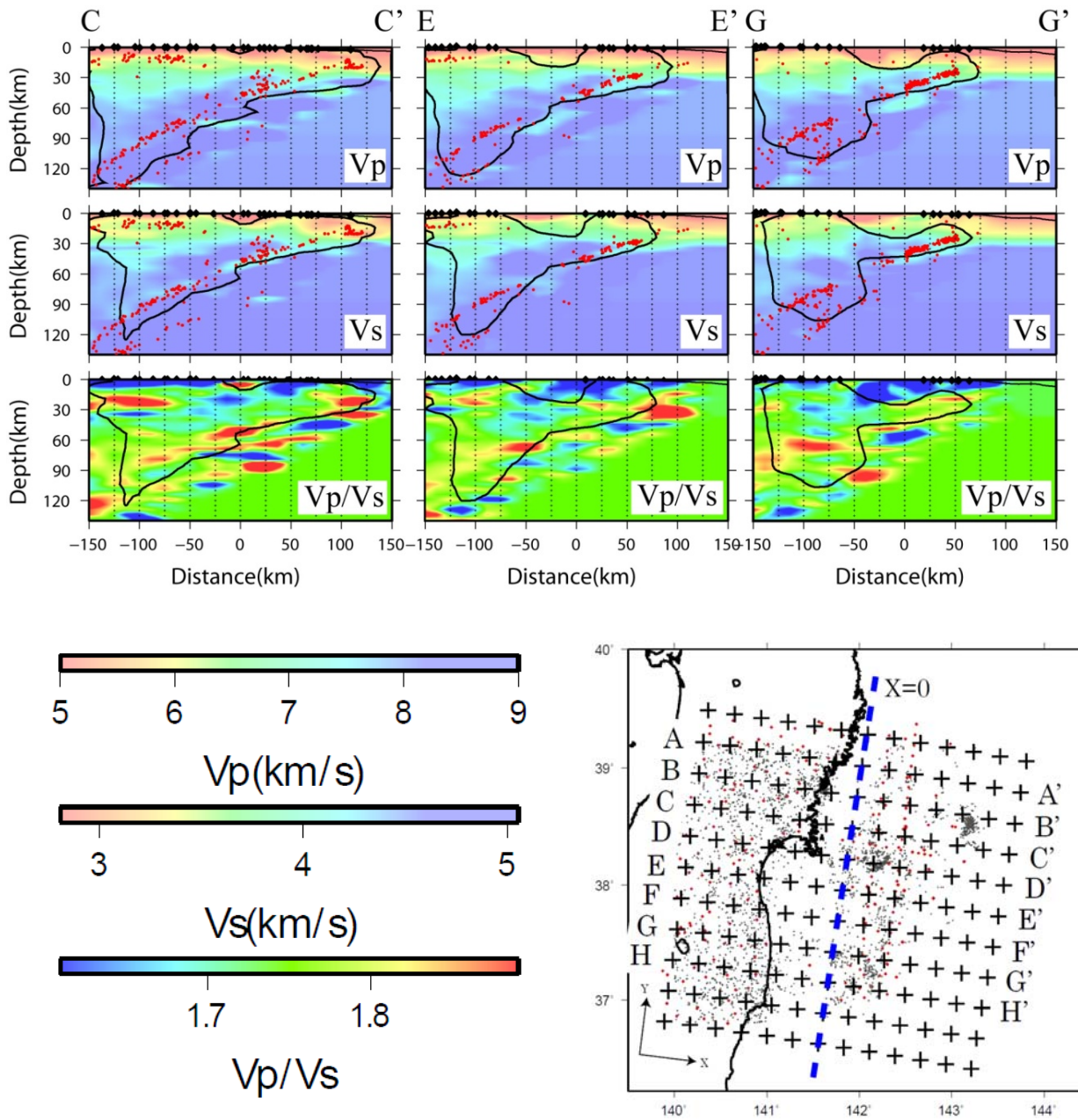


図 26 Double-Difference トモグラフィー法で推定した V_p 、 V_s 及び V_p/V_s 構造の鉛直断面図。右下図中の CC' 断面、EE' 断面、GG' 断面を示す。それぞれ ± 15 km 以内の地震を赤点で示す。

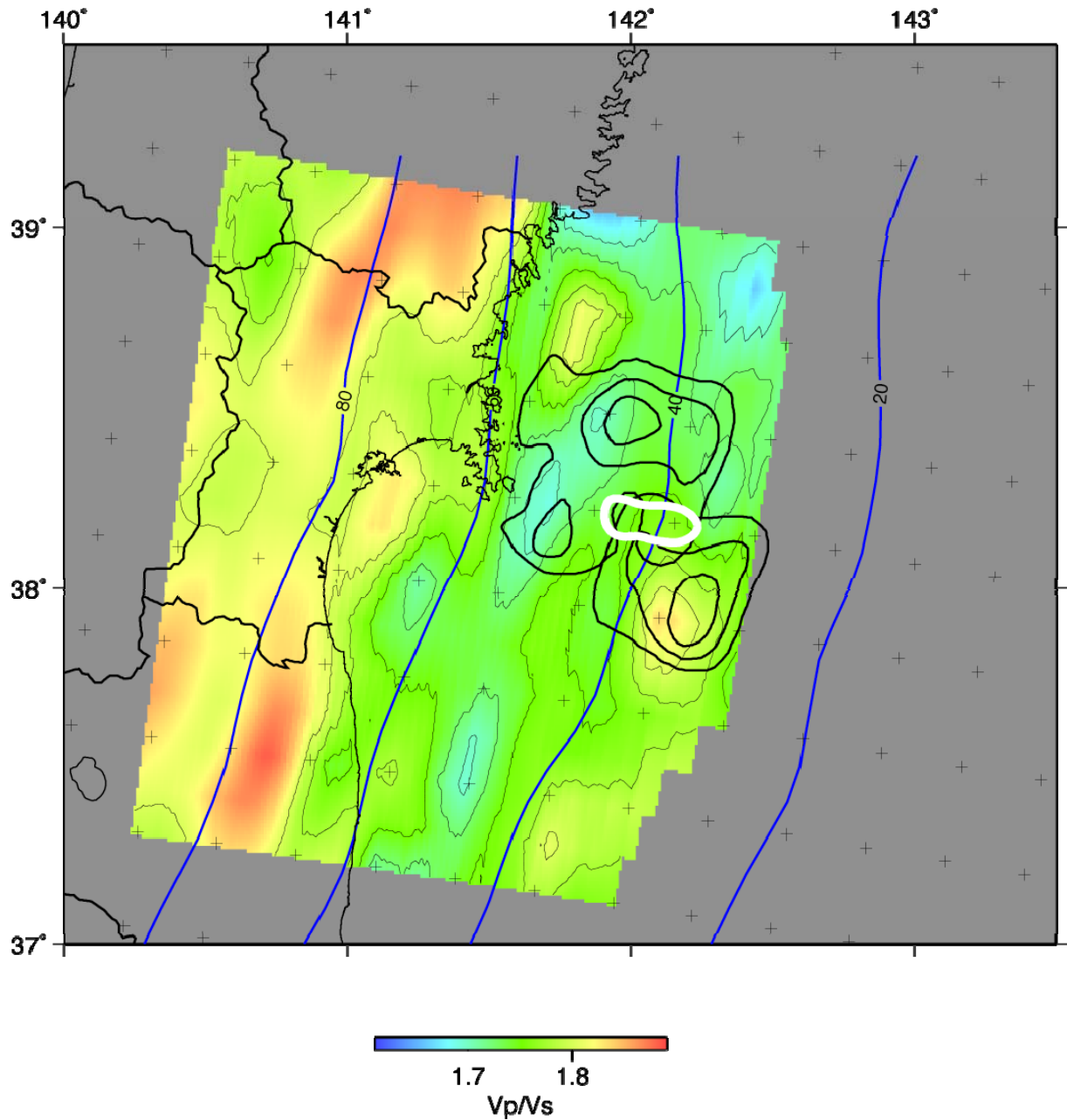


図 27 マントルウェッジ内の V_p/V_s 分布。山本(2007)²⁰⁾によるプレート境界の等深度線を青線で示す。プレート境界よりも 2km から 12km 浅い領域の V_p と V_s の平均速度を求めた後、 V_p/V_s 比を求めて表示した。黒線は Yamanaka and Kikuchi (2004)¹⁶⁾によるアスペリティ、白線は Yaginuma et al. (2006)²¹⁾による 2005 年 8 月の宮城沖の地震のアスペリティを示す。

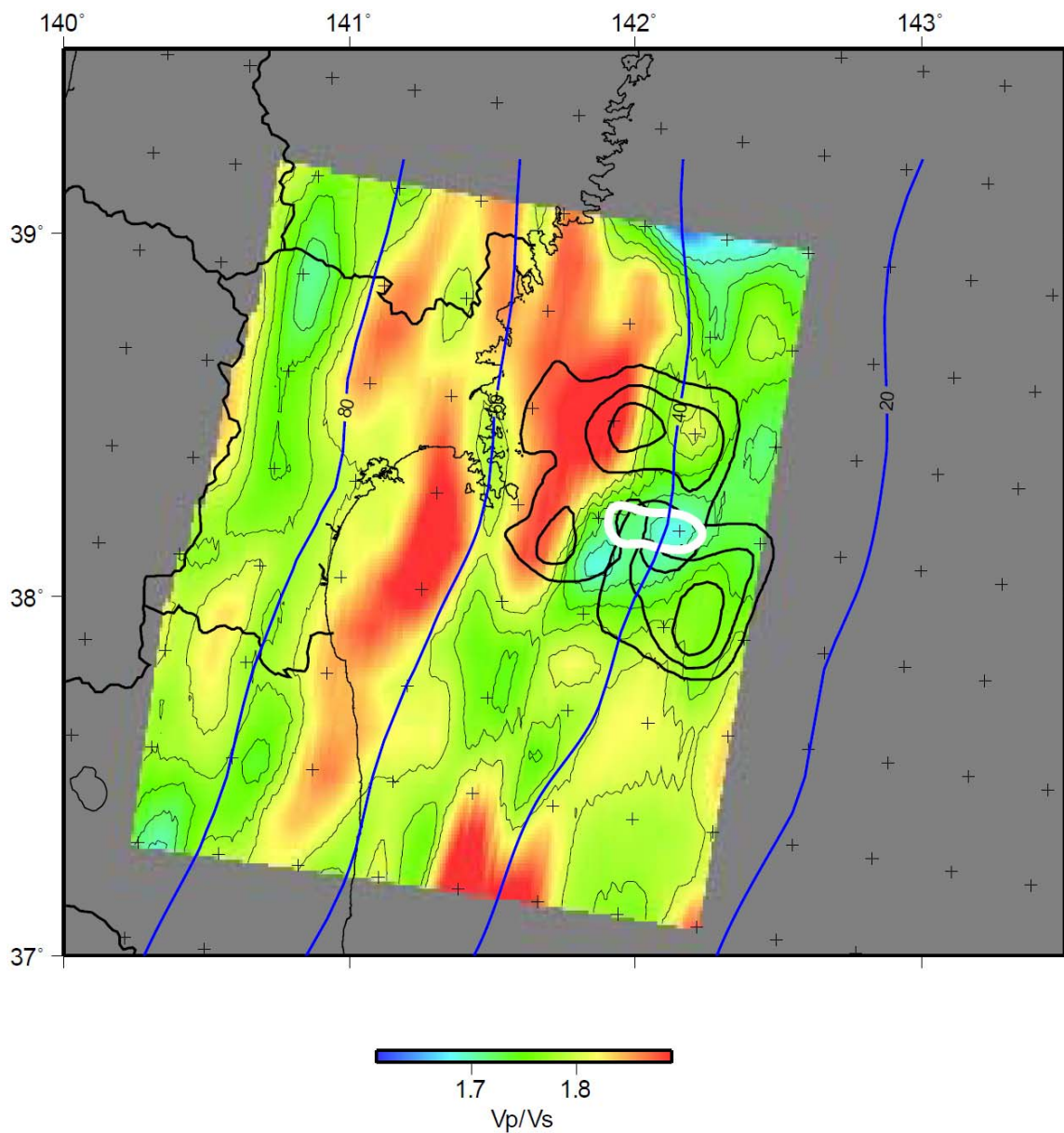


図 28 海洋性地殻内の V_p/V_s 分布。山本(2007)²⁰⁾によるプレート境界の等深度線を青線で示す。黒線は Yamanaka and Kikuchi (2004)¹⁶⁾によるアスペリティ、白線は Yaginuma et al. (2006)²¹⁾による 2005 年 8 月の宮城沖の地震のアスペリティを示す。

b) 2005 年の宮城県沖の地震の本震破壊域周辺のメカニズム解、応力場の特徴

前節で推定された三次元地震波速度構造を用いて 2005 年の宮城県沖の地震後に発生した地震について震源の再決定を行った。宮城県沖全体における震源分布を図 29 に示す。多くの地震はプレート境界付近に面状に分布する。特に 2005 年の宮城県沖の地震 (M7.2) の震源域近傍 (図 29 の断面 A、B) では小繰り返し地震の発生位置とプレート境界面の両者が良く一致しており、この領域では震源決定精度が高いことが期待される。図 30 に 2005 年の宮城県沖の地震の震源域近傍の震源分布を示す。図 30 に示したように 2005 年の地震の近傍にいくつかのクラスター状の地震活動が見られる。特に、2005 年の地震の破壊域内で発生しプレート境界面に沿って分布する面状のクラスター (図 30 中 (1) で示す) と、2005 年の地震の破壊域東端付近から北東-南西方向に伸びるクラスター (図 30 中 (2) で示す) が顕著である。(2) のクラスターは、プレート境界に沿って分布する (1) のクラスターよりも浅部に位置する地震から構成されており、2005 年の地震発生後 10 日程度で活動が終息した。

本震破壊域周辺の地震活動の特徴を抽出することを目的にメカニズム解の推定を試みた。メカニズム解の推定を行う際には、P 波初動極性 (海底地震計+陸上観測点) と S/P 振幅比 (陸上観測点) を用いて行った。振幅比を用いることによって海底地震計の設置台数が少ない期間においても一意性の高いメカニズム解の推定が可能であり、今後の詳細な議論が可能になると考えられる。より特徴を理解しやすいようにメカニズム解を 2 つのタイプに分類する。本震がプレート境界型地震の代表と考え、本震のメカニズム解との類似性を Kagan 角 (Kagan, 1991²²⁾) によって判定し、プレート境界型地震、非プレート境界型地震の 2 つのタイプに分類を行った。図 31 に本震破壊域周辺のメカニズム解の分布を示す。(1) のクラスターに注目すると、このクラスターにはプレート境界型・非プレート境界型地震のどちらのタイプの地震も含まれているが、プレート境界型地震はプレート境界に沿って発生しているように見て取れる。一方、(2) のクラスターは、主として非プレート境界型地震からなっている。プレート境界型地震の発生は、プレート境界で発生する余効すべりといったプレート間すべりの加速によって理解されているが (Matsuzawa et al., 2004¹¹⁾)、プレート境界面外で発生する非プレート境界型地震の発生機構の理解は進んでいない。非プレート境界型地震が卓越する (2) のクラスターは本震の破壊域東端のプレート境界の上盤側に位置する。こうした位置では、地震時すべり量の空間変化が大きいことが期待され、地震時すべりによる応力変化も大きくなることが期待される。従って、(2) のクラスターを構成する余震は、本震のすべりによる応力変化の影響を受けて発生したものであり、そのために本震とは異なるメカニズム解をもつ地震が卓越していると考えられる。

本震破壊域周辺の応力場の状態を知るために応力テンソルインバージョンを行った。応力場を推定する際には本震の破壊域周辺で発生した地震のメカニズム解を用いて Ito et al. (2009)²³⁾ の手法を用いて行った。応力テンソルインバージョンを行った結果を図 32 に示す。最大主応力軸はほぼ水平面内にあり、その方向はプレート運動の相対運動の方向を示す。最小主応力軸はほぼ鉛直方向を向いており、推定された応力場は最大主応力軸が海溝軸にほぼ直交する逆断層型の応力場であり、宮城県沖における広域 (平均) 応力場と考えられる。メカニズム解が推定されたすべての地震に対して、この応力

場から期待されるすべり方向と、実際のすべり方向のずれ（残差）を求め、その空間分布を図 33 に示した。2005 年の地震の破壊域東端で発生した（2）のクラスターの地震は、他の地震に比べて残差が大きくなる傾向を示す。これは、このクラスターを構成する地震のすべり方向は、周辺の広域的な応力場とは不調和なものが多いことを示しており、こうした地震の発生には、2005 年の宮城県沖の地震の地震時すべりに起因した応力擾乱が影響を与えた可能性を示唆する。

2005 年の宮城県沖の地震の地震時すべりが、破壊域東端に位置する（2）のクラスターの地震の発生にどの程度影響を与えたかを見るために、2005 年の宮城県沖の地震の地震時すべりによる応力変化（ ΔCFF ）の計算を行った。震源断層の位置は柳沼（2006）³⁴⁾が推定したアスペリティの位置とし、断層の大きさは 15 km × 20 km（長さ×幅）、すべり量は 1.3 m とした。（2）のクラスターを構成する地震のうちメカニズム解が推定されたものに注目し、それぞれの地震の断層面は応力テンソルインバージョン解析の際に選択された方の節面であると仮定して、地震ごとに本震の地震時すべりによる ΔCFF を計算した。なお、摩擦係数は 0.4 を仮定した。求められた ΔCFF をそれぞれの震源の位置にプロットしたものを図 34 に、頻度分布図を図 35 に示す。多くの地震に対して ΔCFF は正となっており、破壊域東端に位置する（2）のクラスターを構成する地震は 2005 年の宮城県沖の地震の地震すべりに起因した応力擾乱に関連した地震であることが示された。

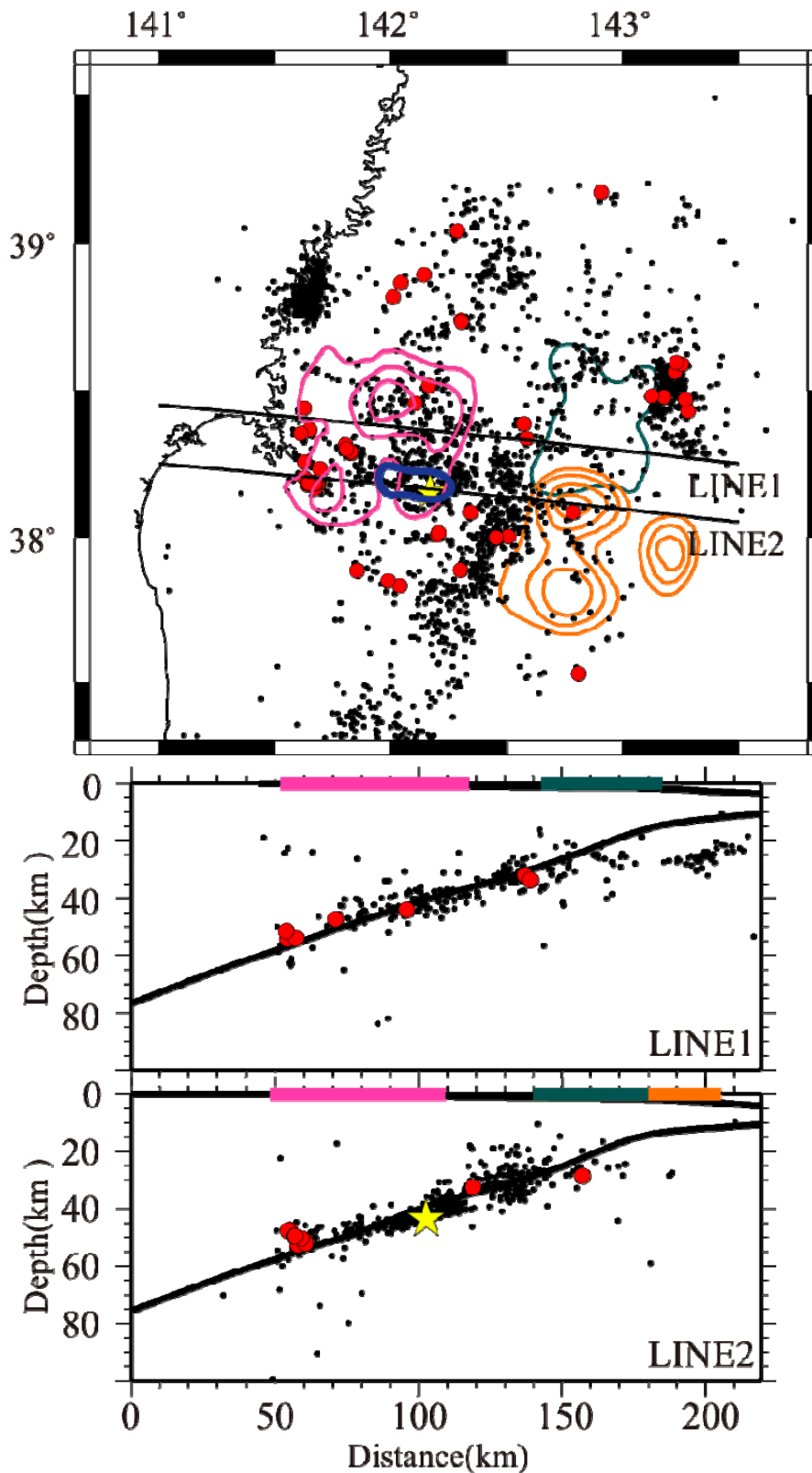


図 29 2005 年の宮城県沖の地震から 2009 年 10 月までの震源分布図。赤の丸は小繰り返し地震、黄色の星は 2005 年の宮城県沖の地震、それぞれの震央及び震源を示す。カラーコンターは過去の大地震のアスペリティ(山中(2003)¹⁷; Yamanaka and Kikuchi(2004)¹⁶)と 2005 年の地震の破壊域(柳沼、2006)²⁴)を示す。Yamamoto et al.(2008)²⁵)によって推定されたプレート境界を黒の実線で示す。

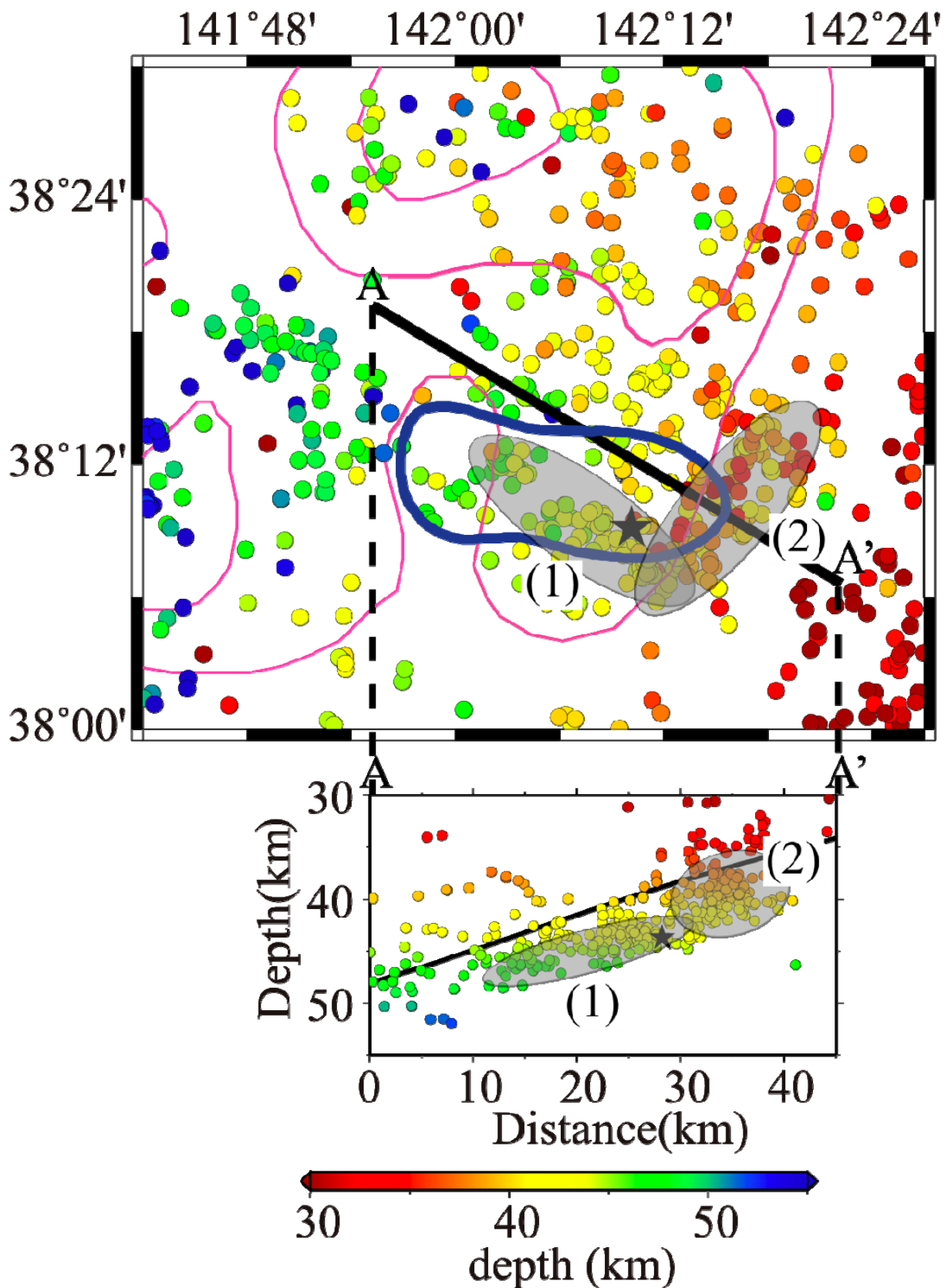


図 30 2005 年の宮城県沖の地震の震源域近傍の震源分布。カラーで震源深さを示す。桃色の線は 1978 年宮城県沖地震のアスペリティ (Yamanaka and Kikuchi, 2004)¹⁶⁾、青色の線は 2005 年の宮城県沖の地震の破壊域 (柳沼, 2006)²⁴⁾を示す。(1)、(2)の線で囲まれた地震については本文参照。

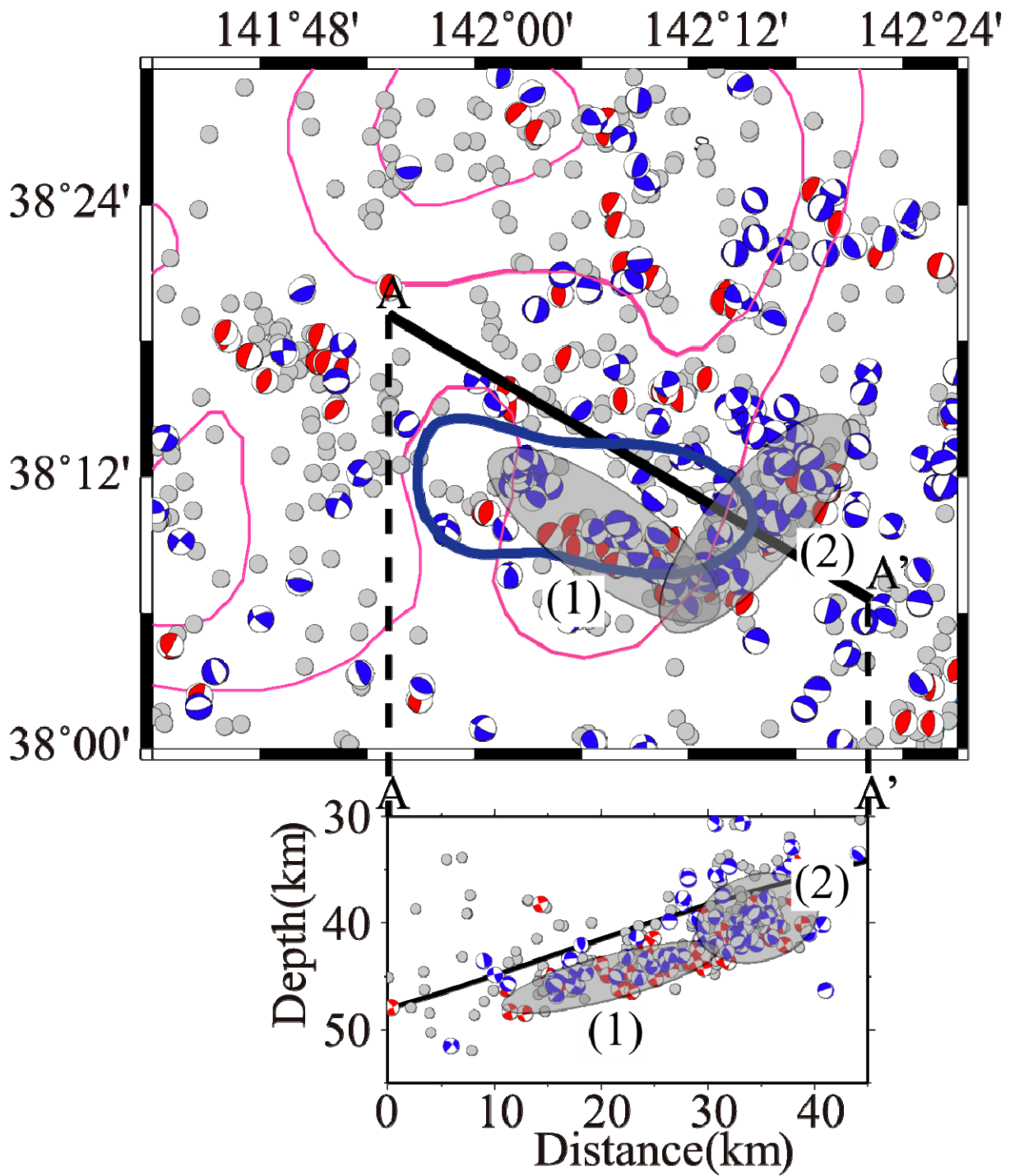


図 31 2005 年の宮城県沖の地震震源域近傍のメカニズム解分布。プレート境界型・非プレート境界型地震をそれぞれ赤・青のメカニズム解を示す。

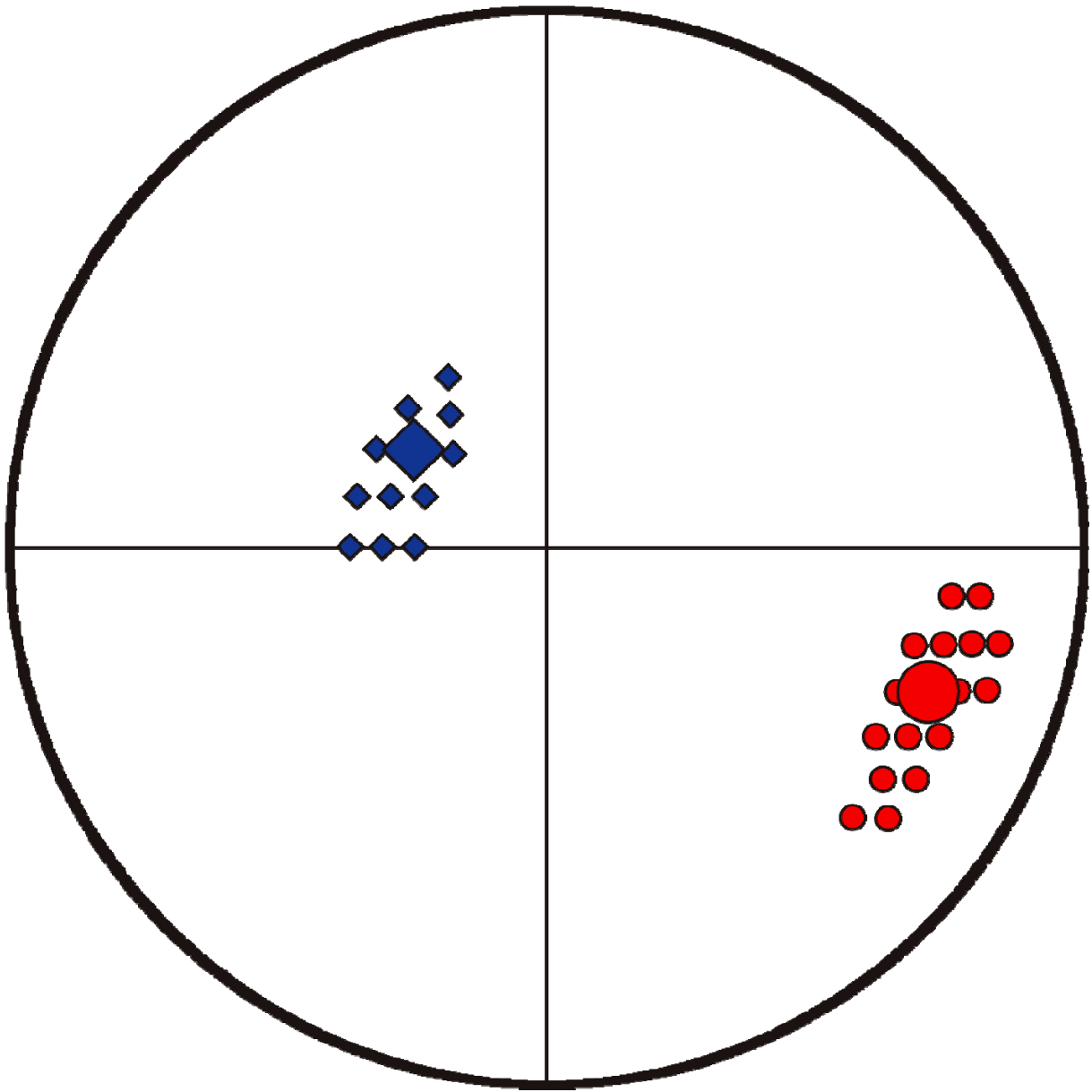


図 32 応力テンソルインバージョンによって推定された本震震源域近傍の応力場。下半球投影で示す。赤丸と青の菱形はそれぞれ最大主応力軸 (σ_1) と最小主応力軸 (σ_3) を表す。

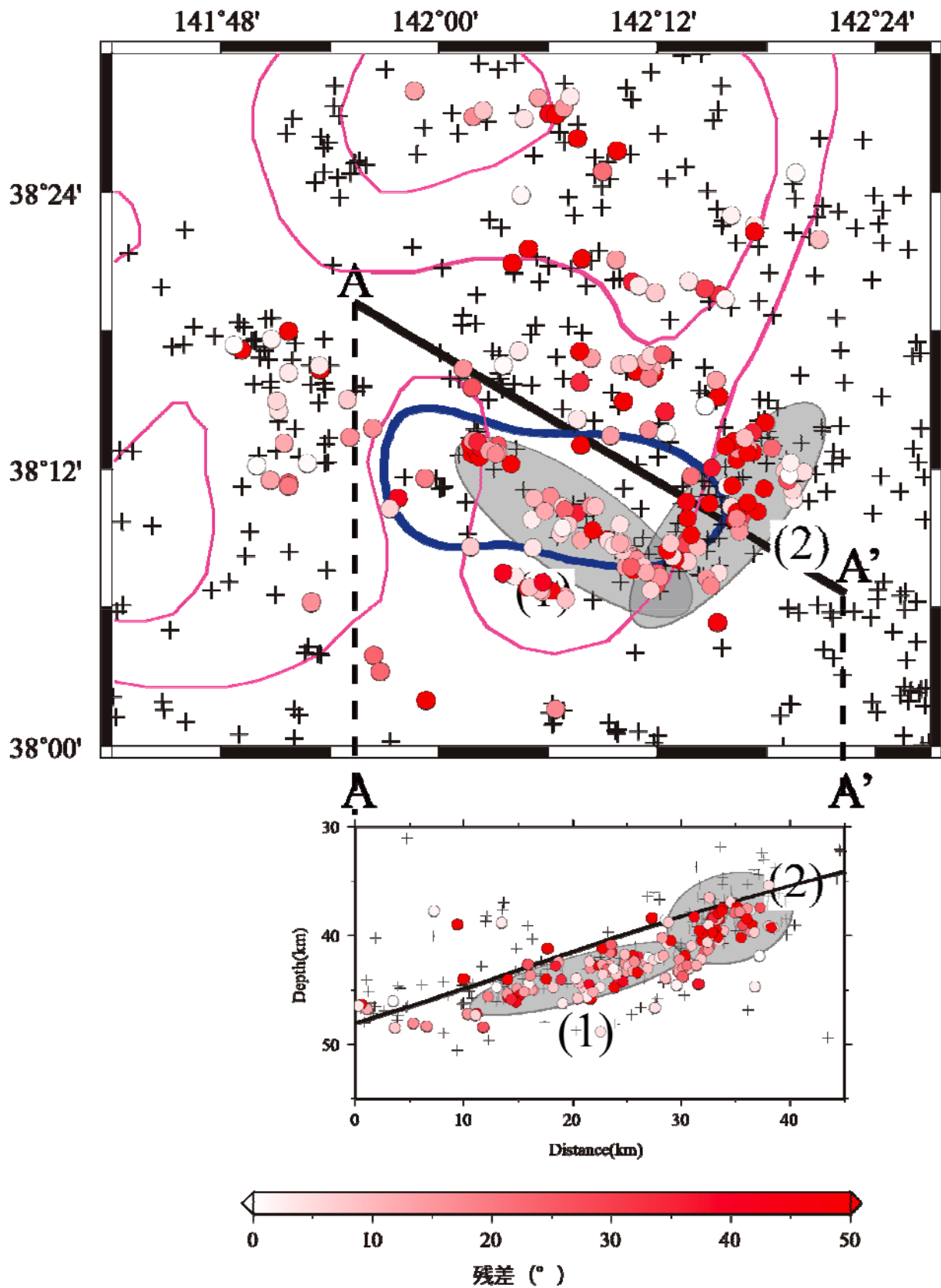


図 33 2005 年の宮城県沖の地震震源域周辺のすべり方向の残差分布。宮城県沖の平均的応力場から期待されるすべり方向と発生した地震のすべり方向の残差をカラースケールで示す。+はメカニズム解が推定できなかった地震の震源。

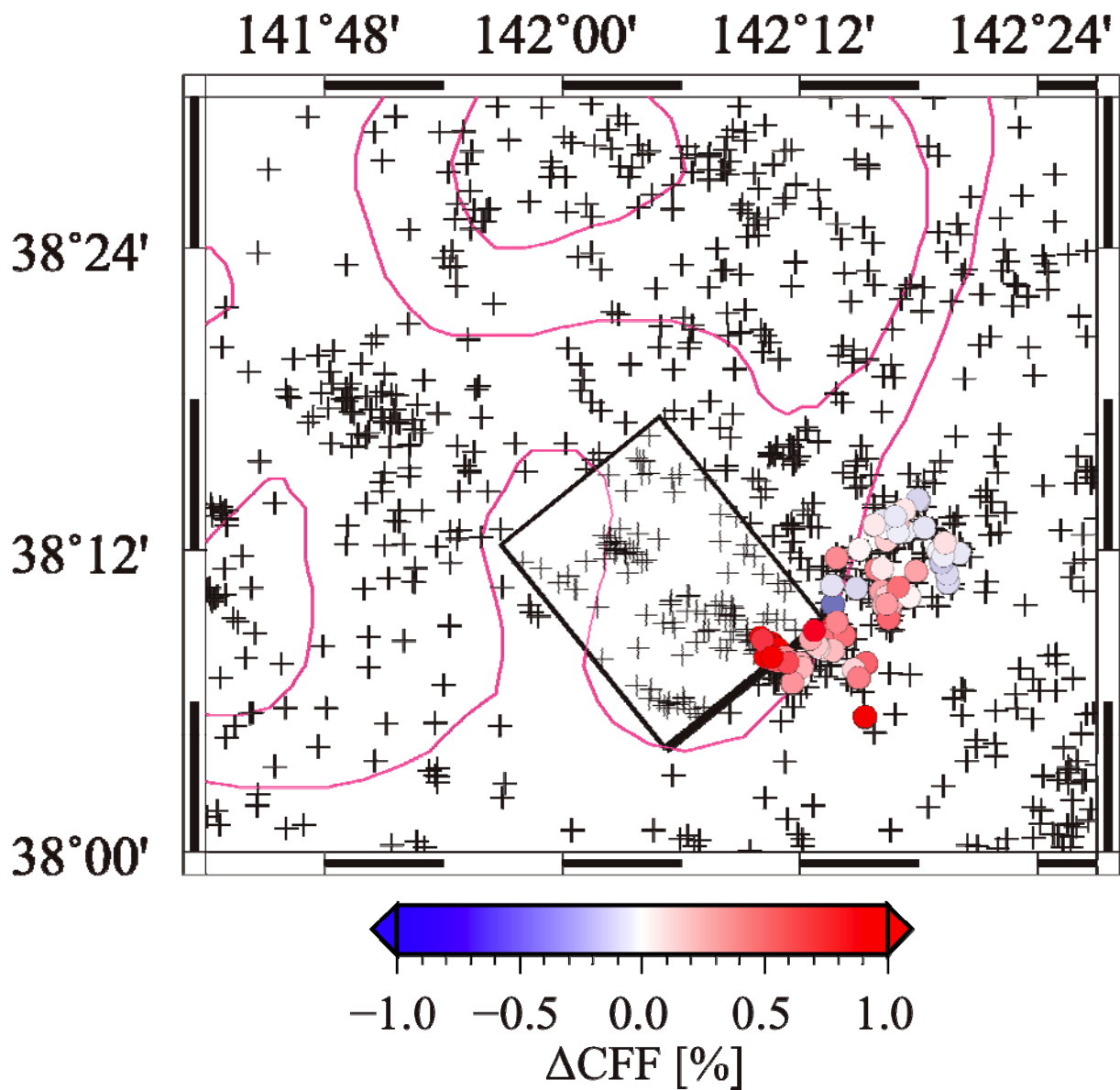


図 34 2005 年の宮城県沖の地震震源域周辺の ΔCFF 分布。図 30 で示した (2) の地震活動に対して計算された ΔCFF をカラースケールで示す。矩形は ΔCFF を計算する際に仮定した本震断層を示す。

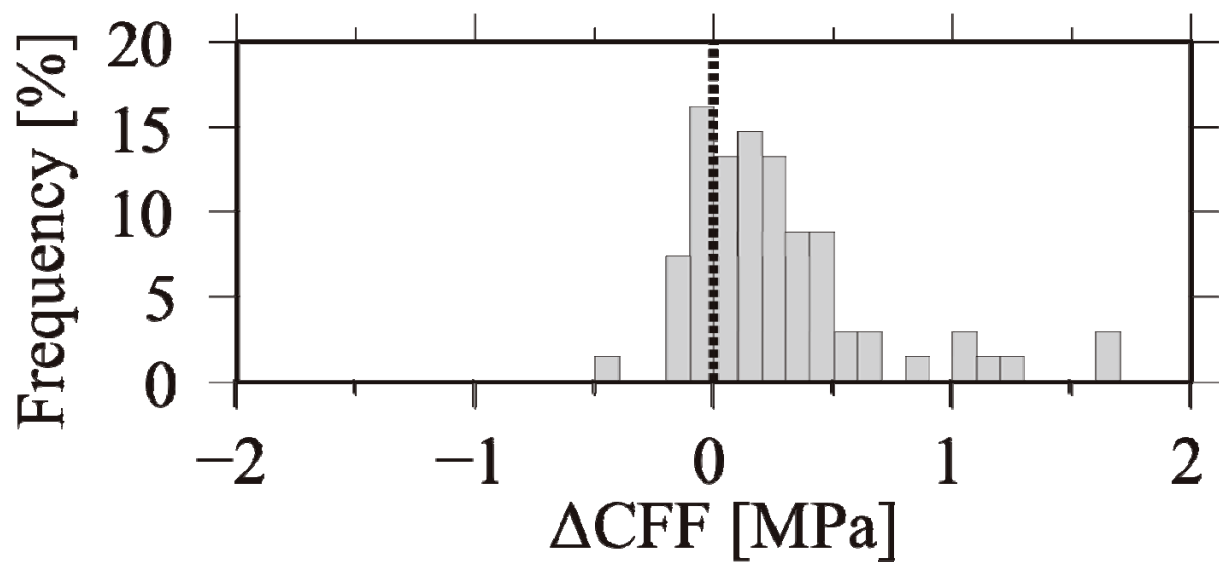


図 35 2005 年の宮城県沖の地震震源域周辺の ΔCFF の頻度分布図。図 30 で示した(2)の地震活動に対して計算された ΔCFF の頻度分布図を示す。

3) 宮城県沖地震想定震源域周辺のプレート間固着・すべり状況

a) 2005年の宮城県沖の地震と1978年及び1930年代の地震との関係

2005年の宮城県沖の地震の地震の発震機構解は低角逆断層型（例えば、防災科学技術研究所 F-net モーメントテンソル解²⁶⁾）であり、この地震がプレート境界で発生した地震であることを示す。この地域では、前回発生した1978年宮城県沖地震（M7.4）に至るまで、およそ40年間の再来周期をもってプレート境界型地震が繰り返し発生していることが明らかになっており、今回の地震がこうした繰り返し発生のサイクルの中でどのような位置付けにあるかは、非常に注目される場所である。この地震が想定された宮城県沖地震であるのであれば、なぜ前回の1978年の地震に比べて小さいのか、想定された宮城県沖地震でないとするならば、想定宮城県沖地震の発生過程にどのような影響を及ぼすのかを評価することが、本業務において極めて重要である。

図36は、2005年の宮城県沖の地震と1978年宮城県沖地震について、double difference 震源決定法（DD法）（Waldhauser and Ellsworth, 2000²⁷⁾）を用いて、本震と余震の相対的震源位置を高精度で調べた結果である（Okada et al., 2005²⁸⁾）。また、Yaginuma et al. (2006)²¹⁾によって推定された2005年の地震のすべり分布と、Yamanaka and Kikuchi (2004)¹⁶⁾による1978年の地震のすべり分布、及び Seno et al. (1980)²⁹⁾による3セグメント震源断層モデルも重ねて示す。

図36の震源分布を見ると、1978年の余震（赤十字印）分布の南東端は、2005年の余震（青丸印）分布とよく一致している。さらに、1978年の本震の震源（破壊の開始点；赤星印）と2005年の本震の震源（青星印）もよく一致している。Yaginuma et al. (2006)²¹⁾による2005年の地震のすべり量分布（青色コンター）は震源の近傍に集中していることがわかる。一方、1978年の地震については、Yamanaka and Kikuchi (2004)¹⁶⁾によるすべり量分布（赤色コンター）にしても、Seno et al. (1980)²⁹⁾による震源断層モデル（橙色矩形）にしても、概ね震源域の北～北東、西～南西、及び南東の破壊開始点付近の3つの領域が大きくすべったという結果が得られている。破壊の開始点付近はYamanaka and Kikuchi (2004)¹⁶⁾による結果では、あまりすべり量は大きくないが、Seno et al. (1980)²⁹⁾は近地の観測点における短周期成分に注目して、破壊開始点付近の狭い領域で Mw7.1 相当の大きなモーメント解放があったと解釈している。

以上のことから、（1）1978年の地震は、M7程度地震に相当する3個程度のアスペリティの複合破壊であり、（2）2005年の地震はこれらのうち、1978年に最初に破壊したアスペリティのみが壊れた、という解釈が最も考えやすい。

地震調査研究推進本部地震調査委員会（2000）³⁰⁾は、宮城県沖ではM7.3～7.5の地震が、26～42年間隔で繰り返し発生してきたと解釈して、固有地震的観点から「宮城県沖地震」の長期予測を行っている。この評価においては、宮城県沖では1936年と1978年にM7.4の地震が発生したと判定されている。しかし、Yamanaka and Kikuchi (2004)¹⁶⁾の解析結果では、1936年の地震（M7.4）は、1978年の地震とは別の震源域で発生したことになる。また、1793年2月17日には宮城県沖でM8.2程度の地震が発生しているが、これは、通常の陸寄りの震源域のみならず、日本海溝付近まで連動して、津波を伴う大きな地震になったと考えられている（地震調査研究推進本部地震調査委員会、2000）³⁰⁾。さらに1930年代には、1936年以外にも1933年（M7.1）と1937年（M7.1）

の地震が発生していることが知られており、宮城県沖の地震活動を、単純な「固有地震的」活動と解釈して将来の地震発生を予測することの危険性も指摘されている（例えば Kanamori et al., 2006³¹⁾）。一方、1978 年の地震はアスペリティの複合破壊であり、そのうちの一部だけが壊れる可能性を考慮すると、1930 年代の地震と 1978 年の地震との関係も、2005 年の地震の経験を踏まえて調べなおす必要がある。

このような観点から 1930 年代の M7 級の地震とその余震の震源再決定を行った (Umino et al., 2006³²⁾)。当時の時計精度の問題を克服するため、S-P 時間をデータとして用い、またプレート境界で発生していると仮定してグリッドサーチによって震源を決定した。求められた本震と余震の分布を図 37 に示す。本震については S-P が読みにくいいため震源の信頼度は低い、余震については（個々には誤った位置に震源決定されている地震が含まれている可能性が否定できないものの）全体としてはそれなりに信頼できる結果が得られていると考えられる。図 37 を見ると、1930 年代の 3 つの地震の余震域は、いずれも 1978 年の地震の余震域と重なっており、このことは 1930 年代の個々の地震は、それぞれ 1978 年の震源域の一部を破壊したことを示唆している。また、図 36 と図 37 を比較すると、1936 年の地震の余震域は、2005 年の余震域とも似ている事がわかる。

ただし、ここで得られた結果は、これらの地震が全てプレート境界型地震であると仮定して得られた結果であることに注意する必要がある。Kanamori et al. (2006)³¹⁾ は、2005 年と 1978 年と 1930 年代の地震の遠地の観測点の波形を比較し、1937 年の地震は他の地震より深部のスラブ内地震である可能性が高いと指摘している。

そこで、1937 年の地震については、プレート境界で発生しているという仮定を外して、3 次元的なグリッドサーチによって震源再決定を行った。元々のプレート境界を仮定したグリッドサーチ (2D サーチ) と 3 次元的なグリッドサーチ (3D サーチ) によって得られた震央分布の比較を図 38 と図 39 に示す。ただし、本震については、プレート境界という仮定を外すと解が安定しないため、3D サーチは行わなかった。これらの図を見ると、プレート境界という仮定をはずしても、1937 年の余震域はそれほど変化しないことがわかる。

3D サーチによって再決定された地震の震源分布を図 40 に示す。深さ分布 (図 40b) を見ると、1937 年の地震がプレート境界で発生したと強く主張できず、またスラブ内で発生していた可能性も否定できない。

図 40b で示した深さの信頼度を見積もるために、各深さで S-P 時間の残差の RMS の最小値を求め、それが震源深さと共にどのように変化するかを調べた。その結果を図 41a に示す。観測点配置により震央と震源の深さのトレードオフが生じるため、震源の深さが変わっても、残差がほとんど変化しない地震がいくつか見られる。また、精度の悪いデータが含まれている場合、残差が大きい値を示したまま明確な極小値を示さない可能性が考えられる。このような観点から図 41a を見ると、深さが変わっても残差がほとんど変化しない地震 (地震番号: afs03, 06, 07, 09, 11, 12, 14) と、RMS の極小値が明確に存在する地震の二つのグループが存在する事がわかる。

RMS の極小値が明確に見られる地震は震源の深さの精度が良いと考えられるため、図 41b と図 41c ではそのような地震を強調するために、濃い青色で示した。このような地震は狭い範囲に集中し、その分布の直径は 50km 程度以下となり、M7.1 の地震の余震と

してはもっともらしい分布となる。断面図（図 41c）を見ると、濃い青色の震源はほぼプレート境界に集中しており、1937 年の地震はプレート境界で発生した可能性が高いと考えられる。しかし、地震番号 15 番の地震のようにスラブ内部で発生したように見える地震も存在するため、スラブ内部の地震である可能性も完全には否定できない。

そこで、P 波初動の押し引き分布によるメカニズム解を検討した。ただし、本震については、深さのみならず震央についても不確定性が大きいと考えられるため、2D サーチによる本震の震央と、3D サーチによってスラブ内に震源が求められた地震番号 15 番の余震（AFS15）の震央の 2 通りを仮定し、様々な深さでのメカニズム解をプロットした結果を図 42 に示す。この図を見ると、地震の深さが非常に浅い場合を除けば、いずれも西に傾斜した低角の節面を持つ低角逆断層型となっている。

遠地観測点の表面波の振幅から考えて、この地震が 30km 以浅の浅い地震であるとは考えられず（Kanamori et al., 2006³¹⁾）、40km より深いことは間違いないと考えられる。したがって、1937 年の地震は、低角逆断層型のメカニズム解を持つプレート境界型の地震である可能性が極めて高いと考えられる。つまり、1937 年の地震は 1978 年の地震時に破壊されたアスペリティ群のうち、最も西側の一番深いアスペリティが破壊されたことによって生じたと考えられる。

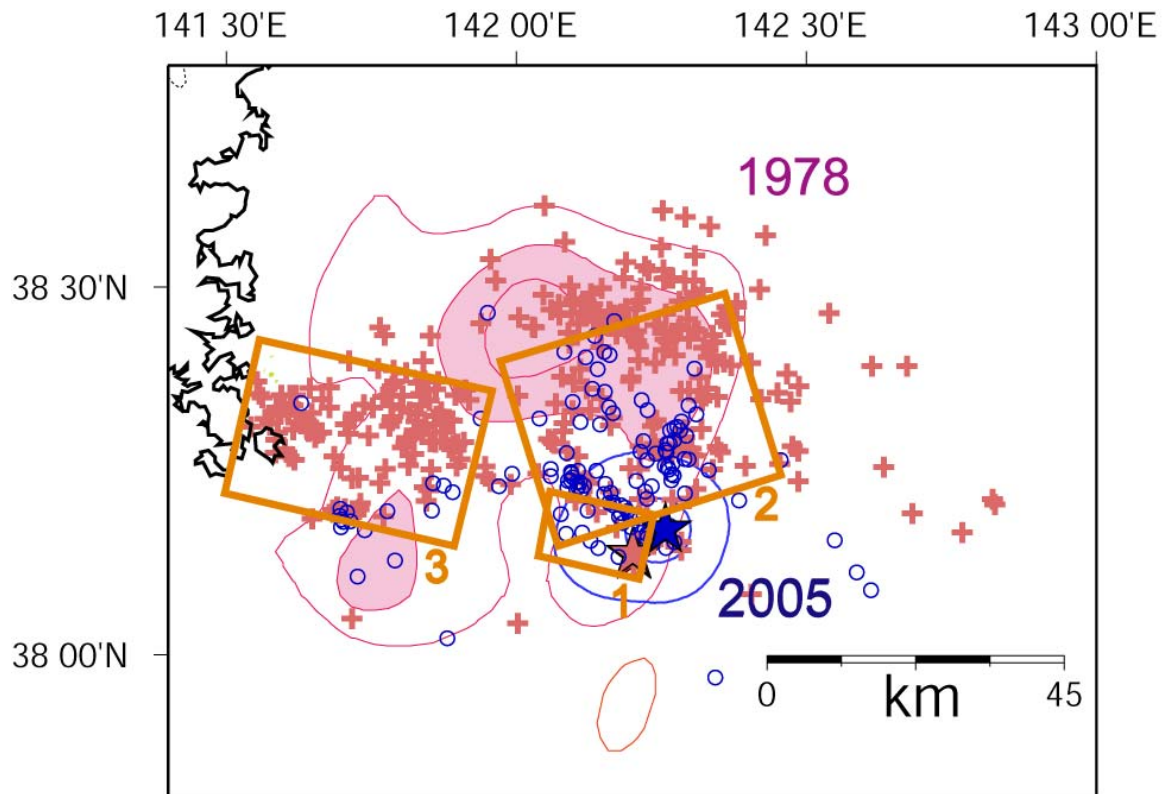


図 36 1978 年宮城県沖地震 (M7.4) と 2005 年の宮城県沖の地震 (M7.2) との比較。赤十字印と青丸印はそれぞれ DD 法によって再決定された 1978 年と 2005 年の地震の発生後 2 日間の余震の震央分布を示す (Okada et al., 2005²⁸⁾)。赤星は 1978 年、青星は 2005 年の本震の震央を表す。また、赤色コンターと青色コンターはそれぞれ Yamanaka and Kikuchi (2004)¹⁶⁾ が推定した 1978 年の地震と Yaginuma et al. (2006)²¹⁾ が推定した 2005 年の地震のすべり量分布を表す。橙色矩形は Seno et al. (1980)²⁹⁾ の 3 セグメント震源断層モデルを表す。

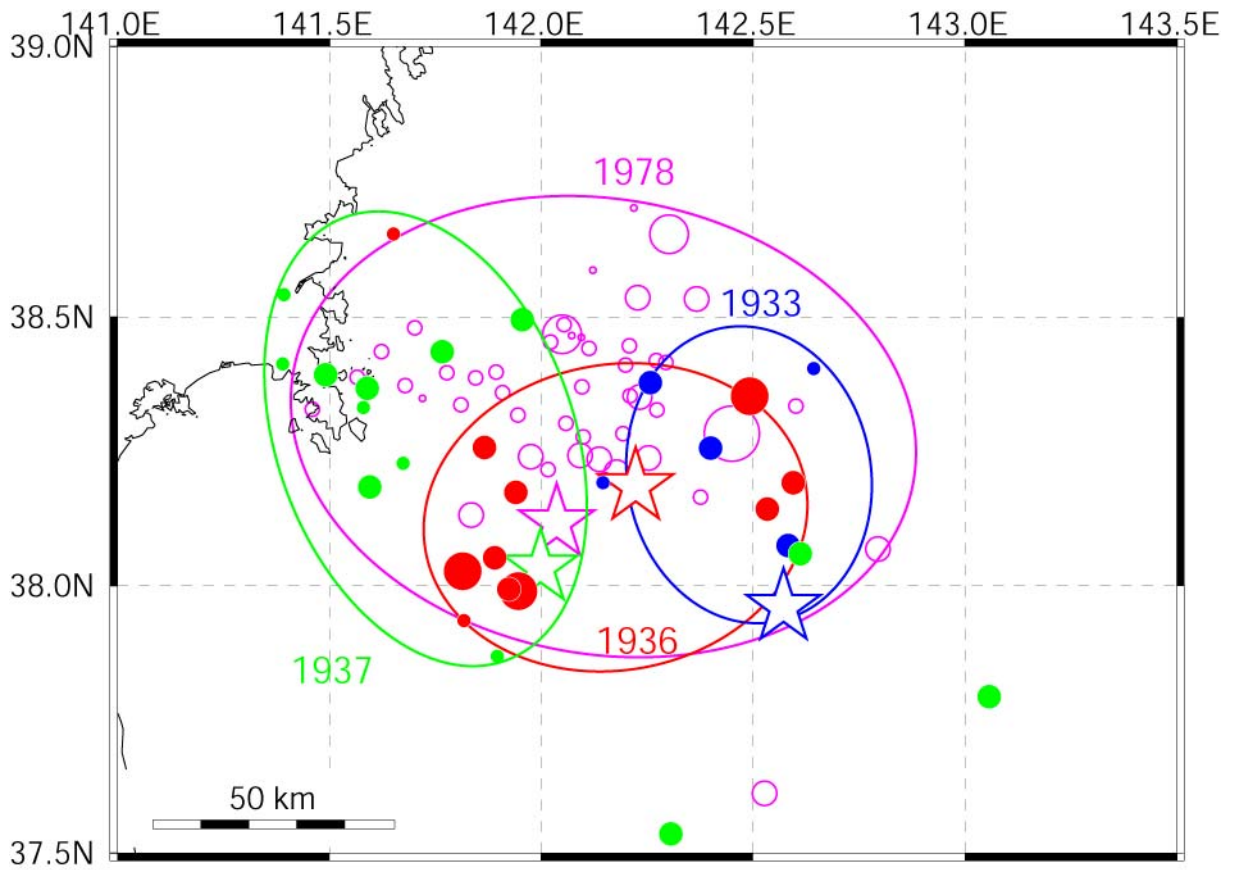


図 37 1933 年、1936 年、1937 年及び 1978 年の宮城県沖地震の本震（星印）と余震（丸印）の再決定された震央分布（Umino et al., 2006³²⁾）。地震の震源の深さをプレート境界に固定してグリッドサーチにより推定された震央分布。

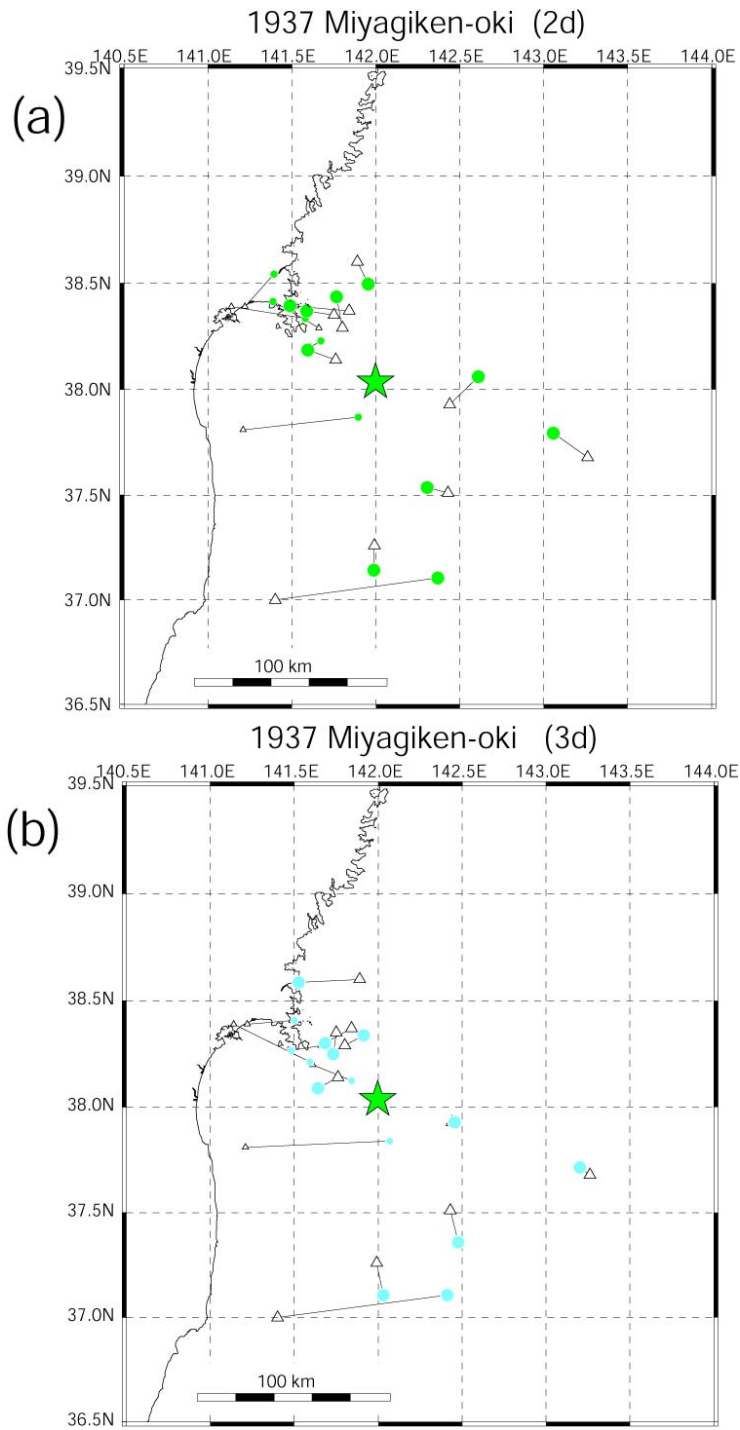


図 38 1937 年の宮城県沖地震の震央分布。気象庁地震カタログ掲載の S-P 時間と、水沢観測所及び向山観測所のすず書き記録から験測した S-P 時間を用いて、グリッドサーチ法で震源決定を行った。星印は本震、丸印は再決定した本震後 1 ヶ月間の余震、三角印は気象庁による震央を表す。(a)震源の深さをプレート境界に固定して、震央位置を推定した結果。(b)グリッドを 3 次元に配置して、震源位置を推定した結果。グリッド間隔は 2km。ただし、本震位置は深さを固定して求めたものを示す。

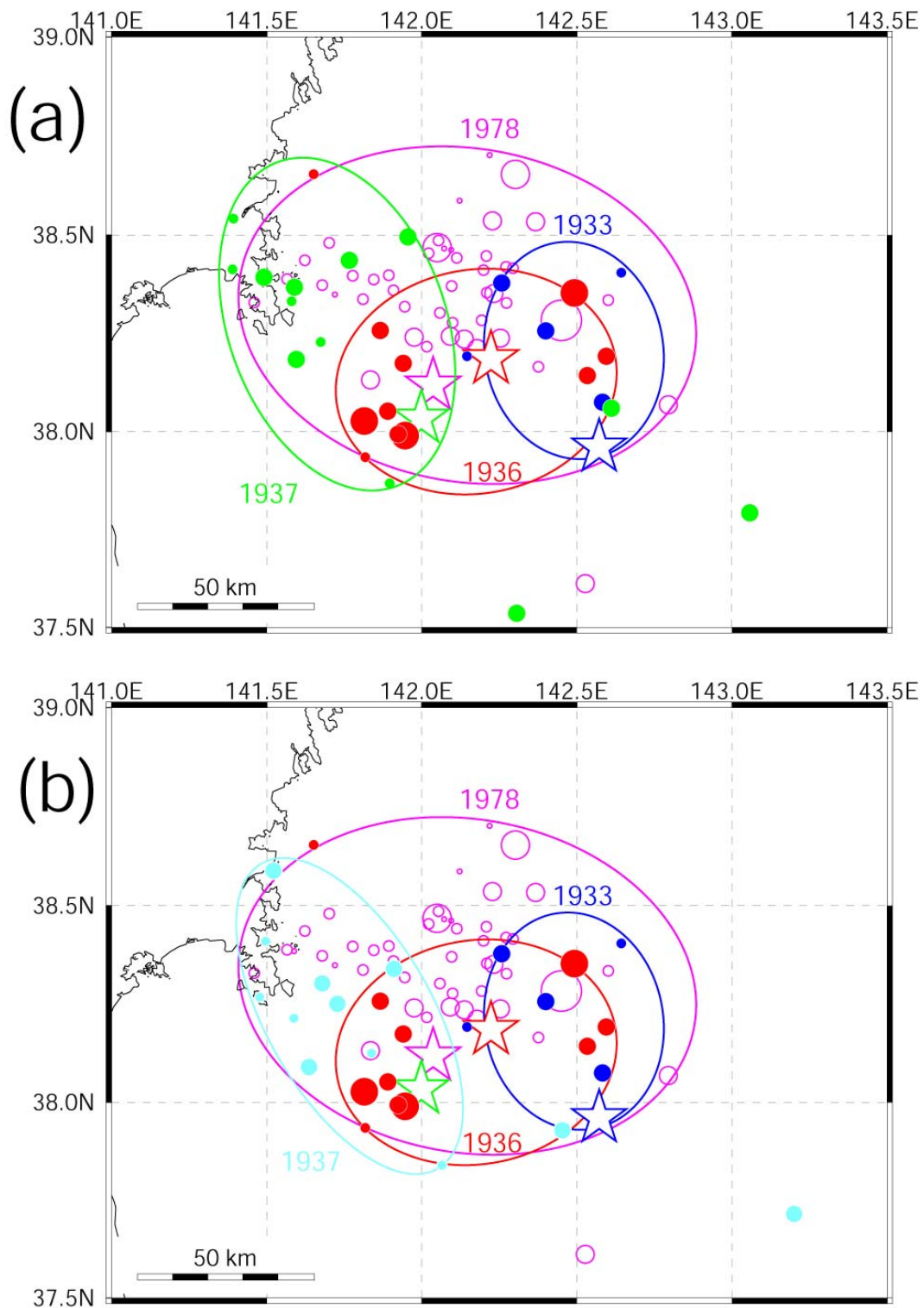


図 39 1933 年、1936 年、1937 年及び 1978 年宮城県沖地震の本震（星印）と余震（丸印）の震央分布。(a)地震の震源の深さをプレート境界に固定して推定された震央分布。(b)1937 年の余震（水色の丸印）のみを 3 次元グリッドサーチ法で震源決定した結果。

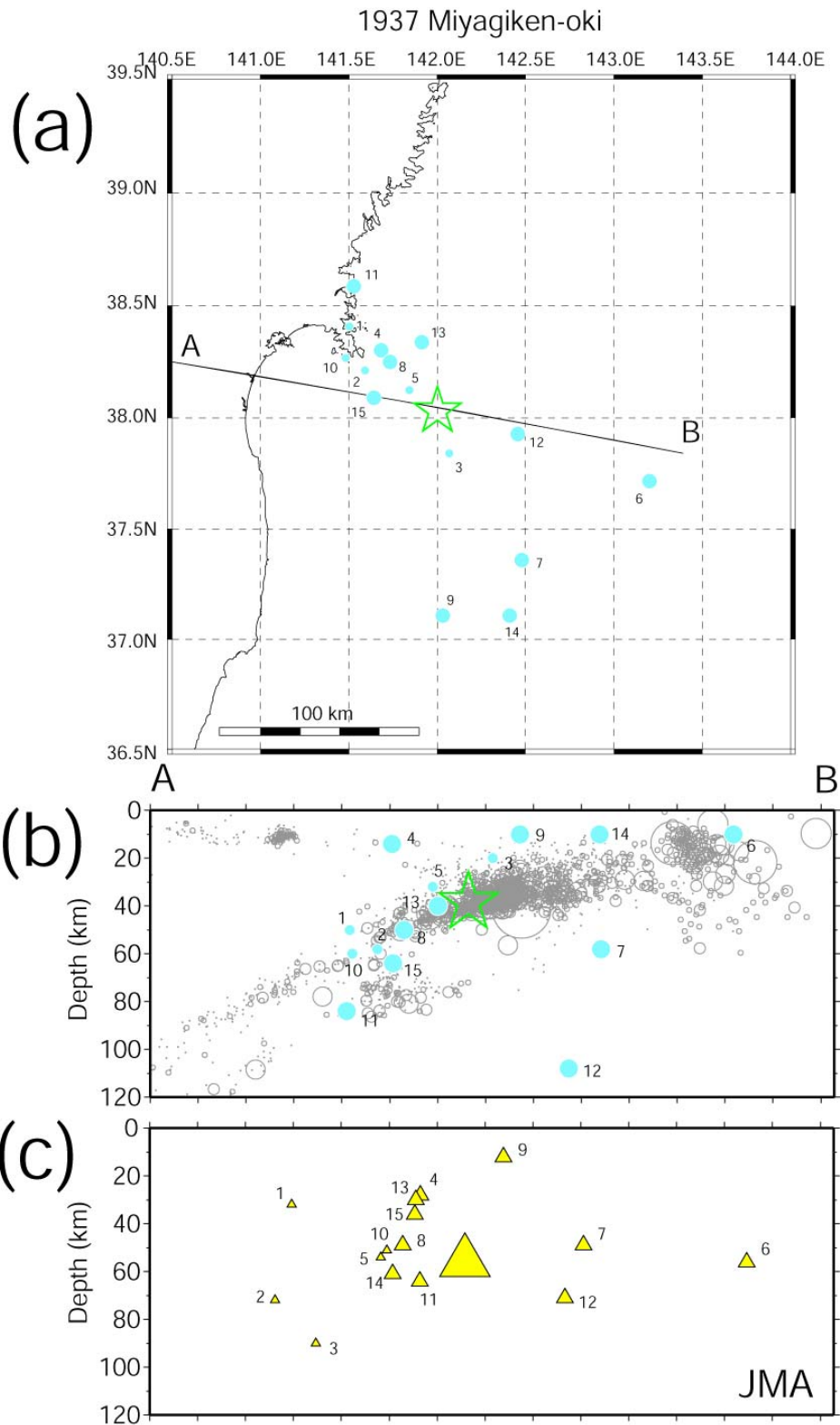


図 40 再決定された 1937 年宮城県沖の地震の余震の震源分布。グリッドを 3 次元に配置して、S-P 時間の残差の RMS が最小になる位置を求めた。数字は発生時刻順に付けた地震番号。本震（星印）だけは深さをプレート境界に固定して推定した結果を示す。(a)震央分布。AB は断面図の位置を示す。(b)再決定された余震の深さ分布。灰色丸印は一元化震源(2004 年 8 月 15 日～2005 年 11 月 16 日, 北緯 37.5 度～38.5 度)の深さ分布を表す。(c)気象庁カタログによる深さ分布。

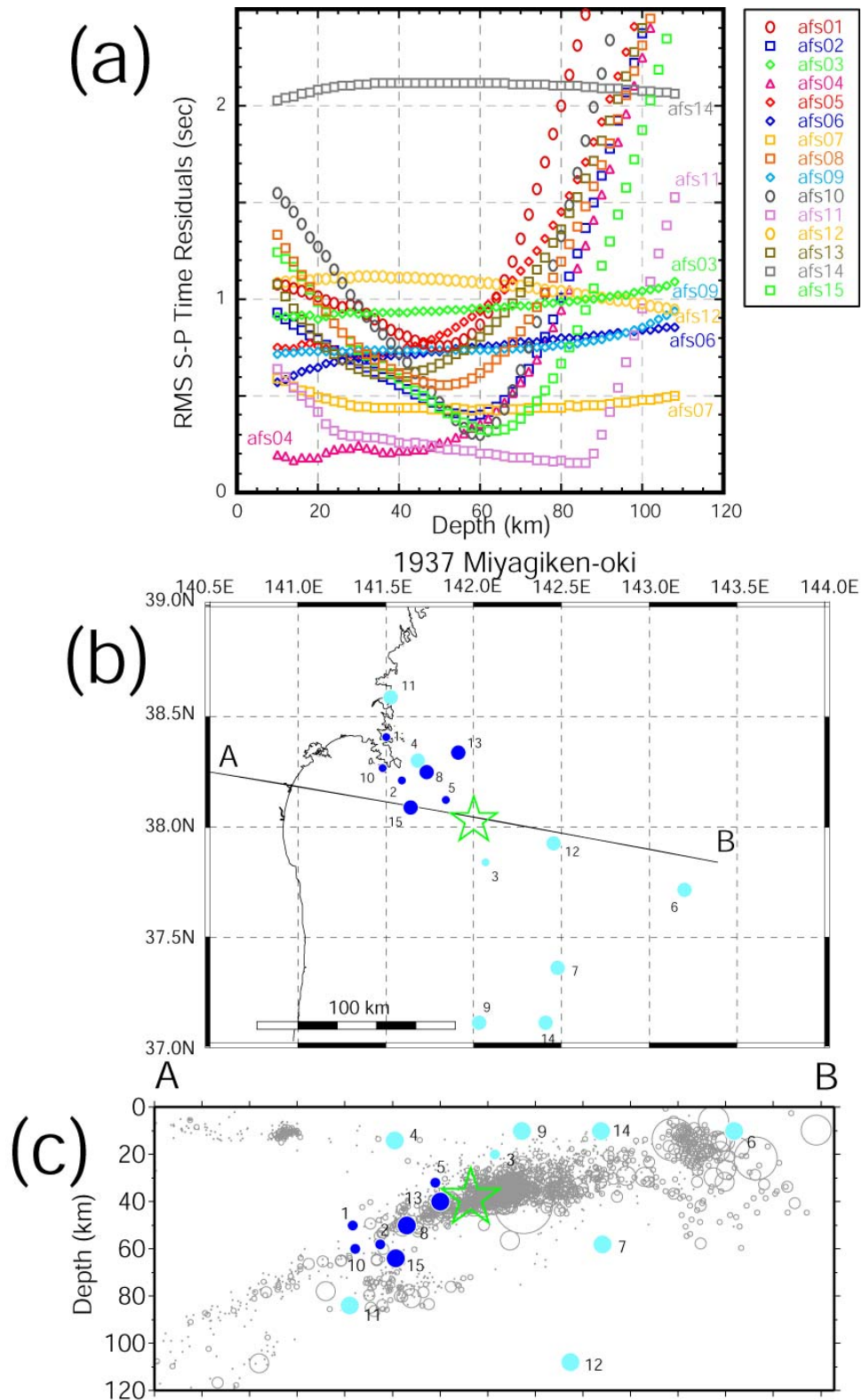


図 41 1937 年宮城県沖地震の余震の再決定。(a) 1937 年宮城県沖地震の余震の S-P 時間残差の深さ変化。それぞれの余震の震源を 3 次元グリッドサーチで決定したときの、各深さでの残差の RMS の最小値を示す。数字は発生時刻順に付けた地震番号。(b) 震央分布。本震 (星印) だけはプレート境界に固定して推定。青丸印は精度良く震源が求められた余震を示す。AB は断面図の位置。(c) 再決定した余震の深さ分布。他は図 40 に同じ。

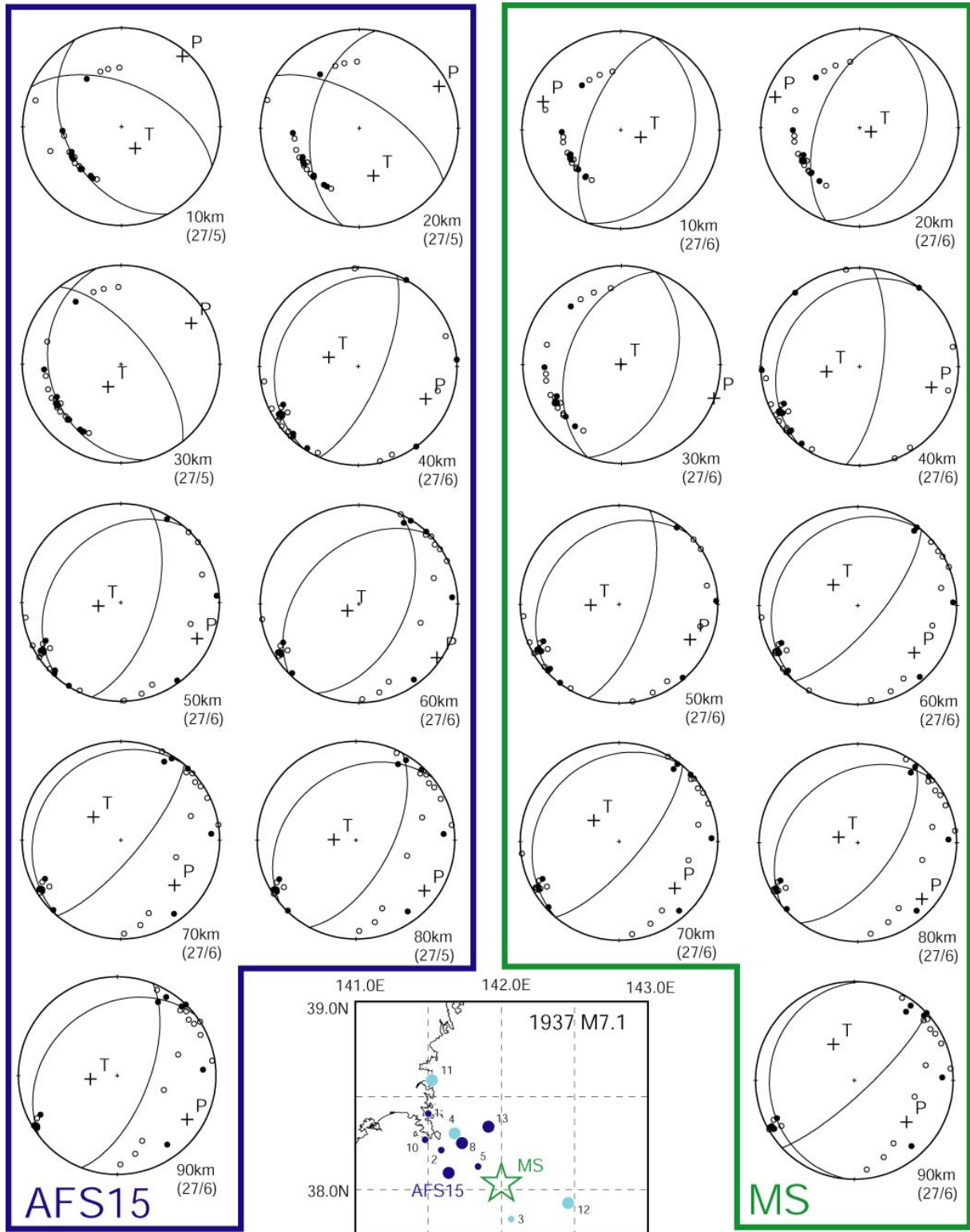


図 42 1937 年宮城県沖地震の本震のメカニズム解。気象庁カタログ記載の P 波初動データを用いて推定した。震央を、再決定された本震 (MS: 緑色星印) の位置と余震 (AFS15: 青丸印) の位置に仮定した場合のそれぞれについて、震源の深さを变化させた時のメカニズム解の変化を下半球等積投影で示す。括弧内の数字は P 波初動データの数 / エラーの数を表す。震央位置が MS で浅い場合に Down Dip Compression となるが、その他は低角逆断層型となっている。

b) 固着すべり状況の変化

小繰り返し地震解析からは、2005年の宮城県沖の地震後、その周囲で若干の非地震性すべりの加速（余効すべり）が見られたが、そのすべり量やひろがりはそれほど大きなものではなかったと考えられること、2007年前半以降、2005年の地震の震源近くの固着は回復しているように見えることが明らかにされた。また、茨城県沖から福島県沖にかけてのプレート境界域のうち、海溝軸に近い浅部領域においてすべり加速イベントが2008年以降に発生したが、同時期には宮城県沖地震の想定震源域周辺においてはすべりの加速は見られなかった。

GPSデータからは、2005年の宮城県沖の地震の余効変動に関して、海底地殻変動観測点も用いた時間依存逆解析の結果から、本震直後は震源よりも深い側で、次いで最大余震後はそれよりも浅い側で余効すべりが発生した一方、2005年の地震で破壊を免れたと考えられる1978年宮城県沖地震の北側のアスペリティには余効すべりが及んでいないこと、宮城県沖地震想定震源域周辺の余効すべりは2007年の早い時期には終息していることが分かった。

また、2005年の宮城県沖の地震の余効すべりについても、宮城県沖地震想定震源域周辺においては、小繰り返し地震から得られたものとGPSデータに基づいた時間依存逆解析から得られたものとで、ほぼ一致することが分かった。図43に設定した領域区分とすべりの積算値の推移を示す。小繰り返し地震から得られたプレート間すべりの積算値時系列に関しては、2002年から2005年8月16日までのすべりレートが0になるように、トレンドを差し引いてある。図43を見ると、6, 10, 11の宮城県沖地震想定震源域周辺においては、GPS・小繰り返し地震双方から得られたすべりの積算値が、解析期間の最初と最後の差だけでなく、履歴に関しても概ね一致しているように見える。その一方で、GPSの解析領域の南北端に位置する、5, 8, 12といった領域や、小繰り返し地震の活動度が低い7, 13, 15, 16といった領域ではあまり一致していない。前者に関しては、GPSの解析結果が解析領域外の影響を含んでしまっているため、後者に関しては、小繰り返し地震から求められた時系列から差し引いたトレンドの推定精度の問題のためと考えられる。いずれにしても、2005年の地震の余効すべりが1978年宮城県沖地震の北側のアスペリティには及んでいないこと、2007年の早い時期には終息していること、というGPSデータの解析から得られた観察を覆すものではない。

(2)-(c)-2)-b)では、2005年の余震の発震メカニズム解を用いた解析から、2005年の地震の破壊域東端に位置する余震クラスターが、本震すべりによる応力擾乱により活発化した上盤プレート内地震活動であったことを示した。逆に、このクラスターが本震すべりに伴う応力変化より誘発された地震活動であることを仮定すれば、本震のすべり域は、この余震クラスターの地震に対する ΔCFF が正になるような場所になければならないことになる。そこで、プレート境界面上の異なる位置に、2005年の地震の地震時すべりと同じ規模のすべりをおいて、この余震クラスターの地震に対する ΔCFF を計算することにより、プレート境界面上のどの位置でのすべりであれば、このクラスターの地震活動を誘発しうるかを検討した。クラスターを構成する各地震に対する ΔCFF の計算の方法は、図34を作成したときと同様で、クラスター全体の代表値として、個々の地震に対して得られた ΔCFF の中央値と平均値を求め、その値をプレート間すべりを仮定

した位置にプロットしたものを図 44 に示す。この図の表示では、赤色で示された位置のプレート境界面上にすべりをおくと、上盤内地震活動のクラスターに対する ΔCFF が正となる傾向が強まることを意味する。従って、観測されたような位置の上盤プレート内に誘発地震活動があったということを制約条件とすれば、2005 年の地震の破壊域はこの図で赤く示された範囲内になければならない。1978 年の宮城県沖地震の北側のアスペリティにプレート間すべりをおいた場合には、 ΔCFF は負となるため、観測されたような上盤プレート内のクラスターにおける地震の発生は妨げられることになる。以上のような検討から、2005 年の地震時（とその直後）には、1978 年の地震の北側アスペリティにおいては顕著なプレート間すべりはなかったことが、示唆される。

以上のように、小繰り返し地震及び GPS データの解析の結果ならびに余震活動の解析結果を総合することにより、2005 年の宮城県沖の地震で破壊されたアスペリティでの固着は 2007 年前半には回復していると考えられ、その一方で、破壊を免れた 1978 年宮城県沖地震の北側のアスペリティが依然として強く固着していることが示唆された。

c) 2005 年以前の状態との比較

GPS データを用いた自動バックスリップ解析の結果において、2008 年及び 2009 年の宮城県沖地震の想定震源域周辺での固着は 2005 年の地震以前に比べて弱くなっているように見える（図 45）。これは、茨城県沖から福島県沖にかけての海溝近傍のプレート境界ですべりが発生したためと考えられる。そこで、海溝近傍におけるすべりイベントの影響のために宮城県沖でのバックスリップが弱く推定されてしまっている、という点を検証するために、2008 年の観測変位を、2004 年のバックスリップ分布と茨城県沖から福島県沖の海溝近傍においたプレート間すべりとの組み合わせで説明できるかどうかを検討した。図 46 に結果を示す。北緯 39 度以南において、2008 年に観測された変位のうち、2004 年のバックスリップ分布から期待される変位を引いた残差は、小繰り返し地震解析から求められた 2008 年のすべり欠損が弱かった領域に、一枚の矩形断層を置いてすべらせた場合に期待される変位で、ほぼ説明できる。ここで矩形断層に対して与えたすべり量は 15cm/year であり、小繰り返し地震解析により推定された領域 D における 2008 年以降の積算すべり量（図 10）とほぼ一致する。モーメントマグニチュード換算で 7.2 相当のひずみが一年間にこの領域で解放されたことになる。北緯 39 度以北において残差が大きくなっているのを説明するには、これらとは別の変動源が必要であり、おそらく 2008 年岩手・宮城内陸地震に伴う余効変動が影響しているものと思われる。このことから、モニタリングシステムを用いた自動解析では、2008 年及び 2009 年には宮城県沖における固着はやや弱く求まっていたが、それは、2008 年から 2009 年の福島県沖から茨城県沖にかけての領域での非地震性すべりの影響による「みかけの」変化であって、宮城県沖における固着の強さは、実際には 2004 年とほぼ変わらない、ということが出来る。

以上述べてきたことをあわせて、2005 年の宮城県沖の地震及び 1936 年、1978 年宮城県沖地震との関係、並びに宮城県沖におけるプレート間固着現状を次のようにまとめた。

- 1) 1978 年の地震は少なくとも 3 つのアスペリティを破壊した。
- 2) 2005 年の地震は 1978 年の破壊開始点付近のアスペリティのみを破壊した。

- 3) 1936年の地震と2005年の地震はほとんど同じである。
- 4) 2005年の地震の余効すべりは破壊を免れたアスペリティのひずみを解放してはいない。
- 5) 2005年の地震で破壊されたアスペリティにおける固着は2007年始め頃までにほぼ回復した。

結論として、宮城県沖地震の想定震源域周辺におけるプレート間固着の現在の状態は、2005年の地震の前とほぼ同じであり、1978年宮城県沖地震のアスペリティのうち破壊を免れたものは、2005年地震以前と同様、強く固着しているものと考えられる。

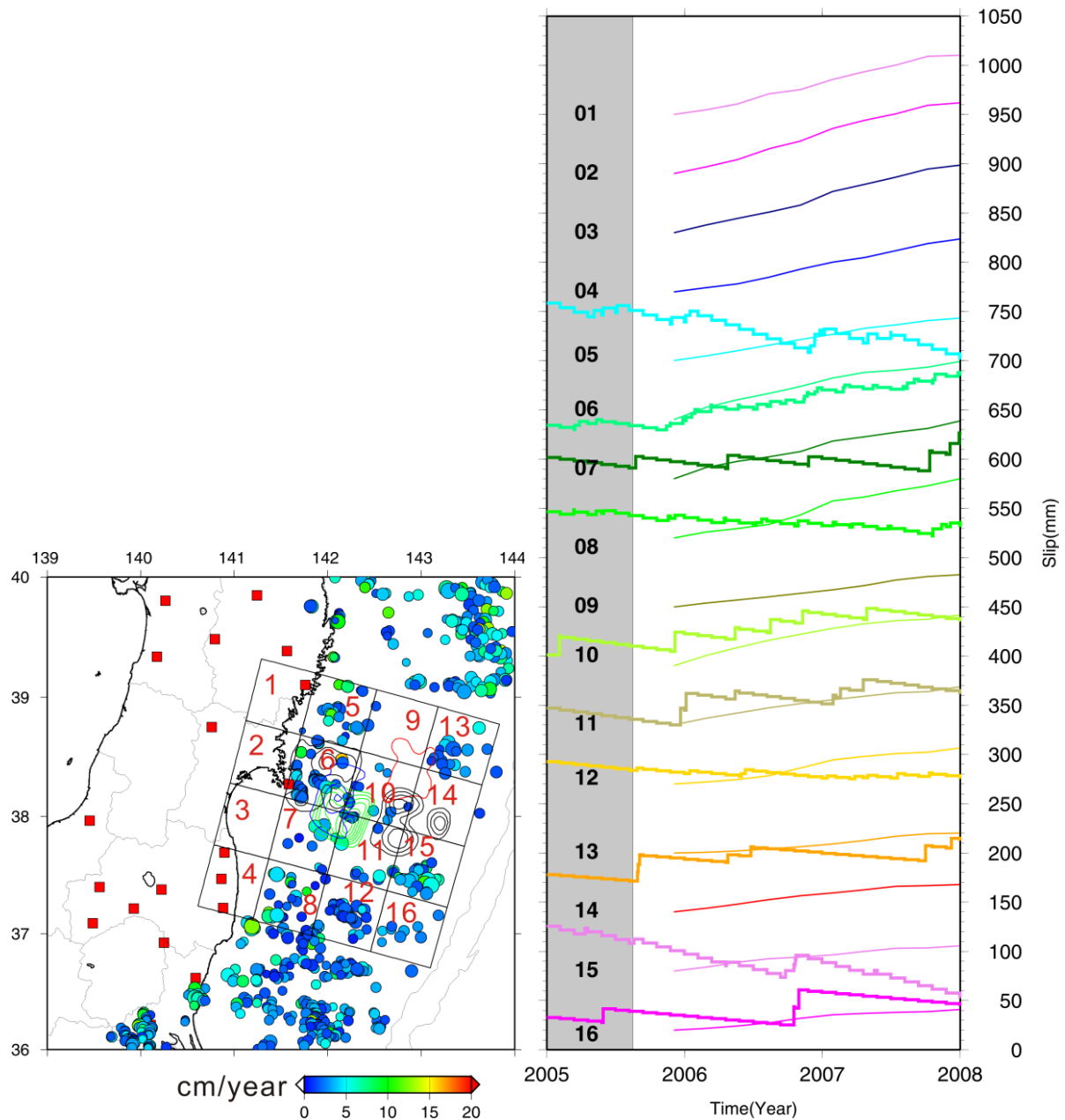


図 43 (左) 宮城県沖周辺における小繰り返し地震の分布。1～16の領域ごとに推定したすべりの積算値を右側の図に示す。2003年の福島県沖地震のすべり分布は山中(2003)¹⁷⁾、そのほかの地震については、Yamanaka and Kikuchi (2004)¹⁶⁾による。カラースケールは各小繰り返し地震グループの活動から推定されたプレート境界面上での準静的すべりレートを表す。(右) プレート間すべりの積算値の推移。左図の各領域における平均を取ったものについて、小繰り返し地震活動から推定されたものを太線で、図 21 に示した時間依存逆解析の結果から計算されたものを細線で示す。小繰り返し地震から推定されたものに関しては、2002年から2005年8月16日までのすべりレートが0になるようにトレンドを差し引いたものを示してある。

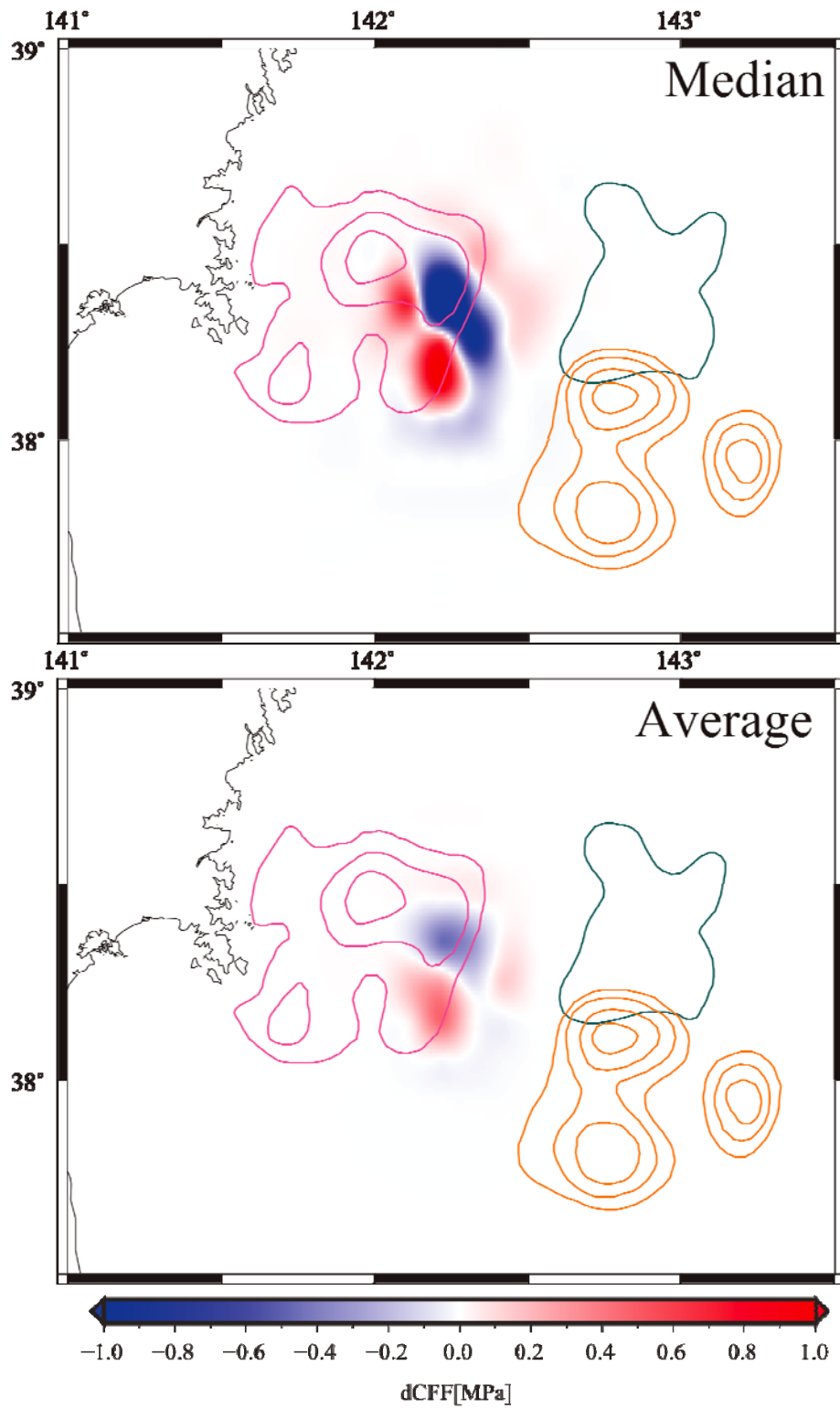


図 44 プレート境界面上のすべりが上盤プレート内の余震クラスターの地震活動に及ぼす影響の評価結果。プレート境界面上に 2005 年の地震と同じ大きさ・量のすべりをおき、余震クラスターに対する ΔCFF の値をすべりを与えた位置に示した。余震クラスター全体の代表値として、個々の地震に対して得られた ΔCFF の中央値 (上) と平均値 (下) を用いて表示した。

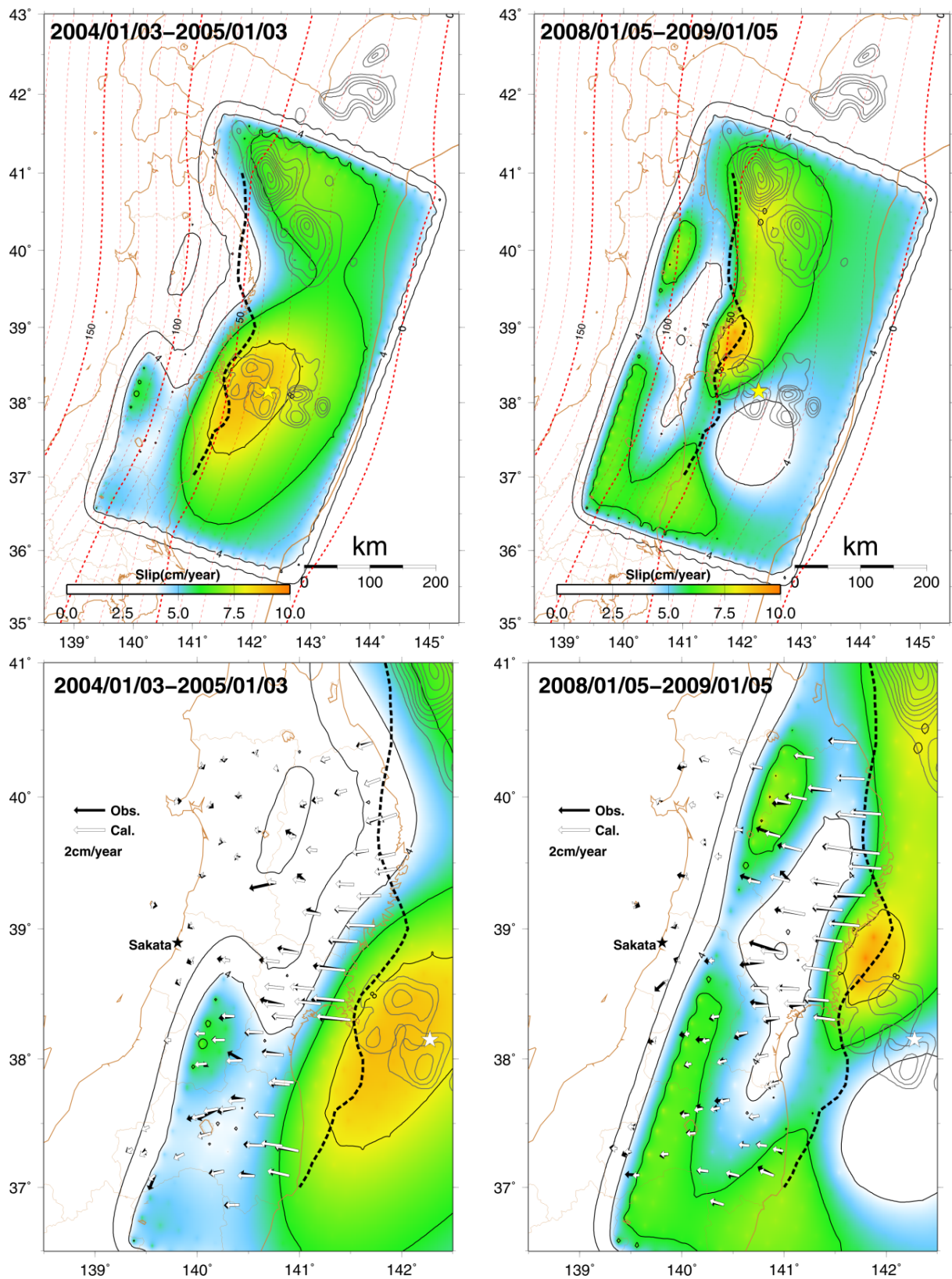


図 45 2004 年 1 月 3 日から 2005 年 1 月 3 日まで (左) 及び 2008 年 1 月 5 日から 2009 年 1 月 5 日まで (右) の長期トレンドから得られたバックスリップ分布 (上) 並びに推定されたバックスリップ分布から期待される変位ベクトル (Cal.) と観測された変位ベクトル (Obs.) の比較 (下)

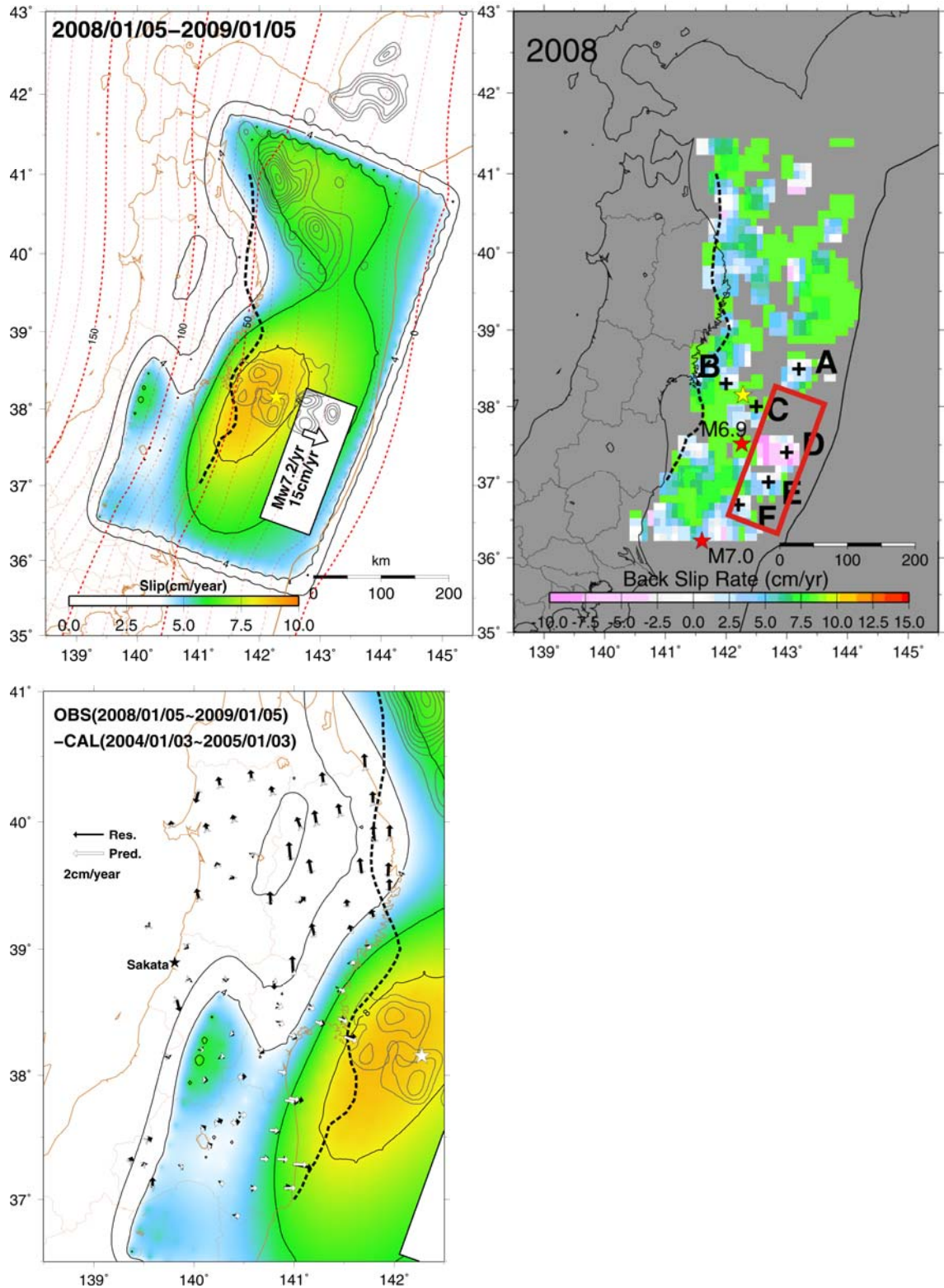


図 46 (左上)2008年のプレート間固着状態の概念図。2004年のバックスリップ分布に、海溝側の領域ですべった断層を加えたもの。(右上)小繰り返し地震解析から求めた 2008 年のすべり欠損分布 (図 6 に示したものと同一)。赤の矩形は左上図の断層面 (白抜き矩形) を示す。(左下) 2008 年の観測変位から 2004 年のバックスリップ分布から期待される変位を引いた残差 (黒矢印) と設定した矩形断層のすべりから期待される変位 (白矢印) の比較。

(d) 結論ならびに今後の課題

この地域では、およそ 40 年間の再来周期をもってプレート境界型地震が繰り返し発生している。そのような状況の中、2005 年の宮城県沖の地震が繰り返し発生のサイクルの中でどのような位置付けにあるかは、非常に注目される場所であった。2005 年の地震が想定された宮城県沖地震であるのであれば、なぜ前回の 1978 年の地震に比べて小さいのか、想定された宮城県沖地震でないとするならば、想定宮城県沖地震の発生過程にどのような影響を及ぼすのかを評価することが、本業務において極めて重要であった。本業務において、小繰り返し地震活動及び陸上の GPS 連続観測データに基づいて、プレート間すべりをモニタリングするためのシステムを開発した。小繰り返し地震及び GPS データの解析に基づく想定宮城県沖地震震源域周辺並びに東北日本広域におけるプレート間すべりのモニタリングを、準リアルタイムに実行するシステムの開発を行い、このモニタリングシステムにより、いくつかのすべり加減速イベントを検知することができた。また、2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震の震央周辺におけるカップリングが 2007 年 1 月以降、回復していることを示した一方で、福島県沖についてはバックスリップが弱まっており、これはさらに 2008 年から 2009 年までの期間ならびに 2009 年から 2010 年までの期間において顕著であったことを示した。

宮城県沖において、東京大学と気象庁と共同で行った海底地震観測データを用いて精密震源決定や 3 次元速度構造の決定を行うとともに、1978 年や 1930 年代に発生した宮城県沖地震との相対的な震源域の関係についての検討を行った。その結果、2005 年の地震は明らかにプレート境界で発生した地震ではあるが、1978 年の地震時に破壊された複数のアスペリティの一部のみを破壊したものであることが分かった。さらに、1930 年代に繰り返し発生した M7 級の地震はそうした複数のアスペリティが個別に破壊したことによって発生したと推定され、そのうち 1936 年の地震は 2005 年の地震と同じアスペリティの破壊であった可能性が高いことが判明した。上盤側のマントルウェッジ及び下盤側の海洋性地殻の内部それぞれについて、宮城県沖地震のアスペリティの分布に対応するような不均質構造を調べたところ、マントルウェッジ内においては、アスペリティの周辺では高 V_p 及び高 V_s であり、周囲に比べ V_p/V_s が小さいことが分かった。また、海洋性地殻内においては、2005 年の宮城県沖の地震の震源周辺において、その周囲に比べて V_p/V_s が有意に小さいことが分かった。3 次元速度構造を用いて微小地震の震源を再決定した結果、多くの地震はプレート境界付近に面状に分布することがわかった。また、2005 年の地震の近傍には 2 つの特徴的なクラスター状の地震活動が見られた。特に、破壊域東端に位置するクラスターの地震は 2005 年の地震の地震すべりに起因した応力擾乱により誘発された地震である可能性が高いことが分かった。

以上の結果から、海底地震計を用いた繰り返し観測に基づくデータ及び陸上の GPS 及び地震観測点で得られた長期のデータ解析に基づく本研究の結果から、2005 年の宮城県沖の地震及び 1936 年、1978 年宮城県沖地震との関係、および宮城県沖地震想定震源域周辺におけるプレート間固着の現状について以下のようにまとめられる：

- 1) 1978 年の地震は少なくとも 3 つのアスペリティを破壊した。
- 2) 2005 年の地震は 1978 年の破壊開始点付近のアスペリティのみを破壊した。
- 3) 1936 年の地震と 2005 年の地震はほとんど同じである。

- 4) 2005年の地震の余効すべりは破壊を免れたアスペリティのひずみを解放してはいない。
- 5) 2005年の地震で破壊されたアスペリティにおける固着は2007年始め頃までにはほぼ回復した。

結論として、宮城県沖の地震想定震源域周辺におけるプレート間固着の現在の状態は、2005年の地震の前とほぼ同じであり、1978年宮城県沖地震のアスペリティのうち破壊を免れたものは、2005年地震以前と同じく強く固着しているものと考えられる。

1978年宮城県沖地震のアスペリティのうち2005年の地震で破壊を免れたアスペリティは、2005年に破壊した南側のアスペリティとは独立に単独破壊するのか、それとも地震間における小・中地震の群発活動や非地震性のすべりとしてひずみを解放しうるのかは必ずしも明らかではない。従って、本業務で開発したモニタリングシステムによりプレート間すべりもしくは固着状態の監視を継続することは、単に次の宮城県沖地震の発生に至る過程を理解するためだけでなく、地震発生シナリオの高度化のためにも重要である。また、こうした監視のためには、海底地震・測地観測網を継続して維持することが必要であることは言うまでもない。

(e) 引用文献

- 1) Nadeau, R. M. and L. R. Johnson, Seismological studies at Parkfield VI: moment release rates and estimates of source parameters for small repeating earthquakes. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 88, 790-814, 1998.
- 2) Iinuma, T., Discussion on the rank deficiency of the representation matrix of the smoothing constraint in inversion methods using a Bayesian information criterion. *J. Geod. Soc. Japan*, 55, 345-353, 2009.
- 3) Igarashi, T., T. Matsuzawa, and A. Hasegawa, Repeating earthquakes and interplate aseismic slip in the northeastern Japan subduction zone, *J. Geophys. Res.*, 108, 2249, doi:10.1029/2002JB001920, 2003.
- 4) Uchida, N., T. Matsuzawa, A. Hasegawa, and T. Igarashi, Interplate quasi-static slip off Sanriku, NE Japan, estimated from repeating earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, 30, doi:10.1029/2003GL017452, 2003.
- 5) Savage, J., A Dislocation Model of Strain Accumulation and Release at a Subduction Zone, *J. Geophys. Res.*, 88(B6), 4984-4996, 1983
- 6) Zumberge, J. F., M. B. Heflin, D. Jefferson, M. Watkins and F. H. Webb, Precise Point Positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks, *J. Geophys. Res.*, 102, 5005-5017, 1997.
- 7) Yabuki, T. and M. Matsu'ura, Geodetic data inversion using a Bayesian information criterion for spatial distribution of fault slip, *Geophys. J. Int.*, 109, 363-375, 1992.
- 8) Yagi, Y. and M. Kikuchi, Partitioning between seismogenic and aseismic slip as highlighted from slow slip events in Hyuga-nada, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 30, 1087, doi:10.1029/2002GL015664, 2003.

- 9) Wessel, P., and W. Smith, New improved version of the Generic Mapping Tools released, EOS, 79, 579, 1998.
- 10) Uchida, N., A. Hasegawa, T. Matsuzawa, and T. Igarashi, Pre- and post-seismic slip on the plate boundary off Sanriku, NE Japan associated with three interplate earthquakes as estimated from small repeating earthquake data, Tectonophysics, 385, 1-15, 2004.
- 11) Matsuzawa, T., N. Uchida, T. Igarashi, T. Okada, & A. Hasegawa, Repeating earthquakes and quasi-static slip on the plate boundary east off northern Honshu, Japan, Earth Planet Space, 56, 803-811, 2004.
- 12) Mishina, M., Distribution of crustal fluids in Northeast Japan as inferred from resistivity surveys, Gondwana Research, 16, 563-571, 2009.
- 13) Miura, S., T. Iinuma, S. Yui, N. Uchida, T. Sato, K. Tachibana and A. Hasegawa, Co- and post-seismic slip associated with the 2005 Miyagi-oki earthquake (M7.2) as inferred from GPS data, Earth Planets Space, 58, 1567-1572, 2006.
- 14) 佐藤まりこ・斎藤宏彰・浅倉宜矢・笹原昇・松本良浩・藤田雅之・矢吹哲一朗・望月将志・浅田昭, 船底トランスデューサによる航走海底地殻変動観測, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, J173-014, 2009.
- 15) Yamanaka, Y. and M. Kikuchi, Source process of the recurrent Tokachi-oki earthquake on September 26, 2003, inferred from teleseismic body waves, Earth Planets Space 55, e21-e24, 2003.
- 16) Yamanaka, Y. and M. Kikuchi, Asperity map along the subduction zone in northeastern Japan inferred from regional seismic data, J. Geophys. Res., 109, B07307, doi:10.1029/2003JB002683, 2004.
- 17) 山中佳子, EIC 地震学ノート, No. 141, http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/sanchu/Seismo_Note/EIC_News/031031.html, 2003.
- 18) Igarashi, T., T. Matsuzawa, N. Umino, and A. Hasegawa, Spatial distribution of focal mechanisms for interplate and intraplate earthquake associated with the subducting Pacific plate beneath the northeastern Japan arc: a triple-planed deep seismic zone, J. Geophys. Res., 106, 2177-2191, 2001.
- 19) Zhang, H. & C. H. Thurber, Double-Difference Tomography: the method and its application to the Hayward Fault, California, Bull. Seism. Soc. Am., 93, 1875-1889, 2003.
- 20) 山本揚二郎, 東北日本前弧域の地震波速度不均質とその地震テクトニクスの意義, 東北大学博士論文, 127 pp, 2007.
- 21) Yaginuma, T., T. Okada, Y. Yagi, T. Matsuzawa, N. Umino and A. Hasegawa, Co-seismic slip distribution of the 2005 off Miyagi earthquake (M7. 2) estimated by inversion of teleseismic and regional seismograms, Earth Planets Space, 58, 1549-1554, 2006.
- 22) Kagan, Y. Y., 3-D rotation of double-couple earthquake source, Geophys. J. Int.,

- 106, 709-716, 1991.
- 23) Ito, Y., Y. Asano, and K. Obara, Very-low-frequency earthquakes indicate a transpressional stress regime in the Nankai accretionary prism, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L20309, doi:10.1029/2009GL039332, 2009.
 - 24) 柳沼 直, 2007, 宮城県沖地震の地震時すべりの空間分布に関する研究, 東北大学修士論文, 91 pp.
 - 25) Yamamoto, Y., R. Hino, K. Suzuki, Y. Ito, T. Yamada, M. Shinohara, T. Kanazawa, G. Aoki, M. Tanaka, K. Uehira, G. Fujie, Y. Kaneda, T. Takanami, and T. Sato, Spatial heterogeneity of the mantle wedge structure and interplate coupling in the NE Japan forearc region. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L23304, doi:10.1029/2008GL036100, 2008.
 - 26) F-net, NIED, NIED CMT solutions, <http://www.fnet.bosai.go.jp>, 2005.
 - 27) Waldhauser, F., and W. L. Ellsworth, A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the Northern Hayward Fault, California, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 90, 1353-1368, 2000.
 - 28) Okada, T., T. Yaginuma, N. Umino, T. Kono, T. Matsuzawa, S. Kita, and A. Hasegawa, The 2005 M7.2 Miyagi-Oki earthquake, NE Japan: Possible rerupturing of one of asperities that caused the previous M7.4 earthquake, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L24302, doi:10.1029/2005GL024613, 2005.
 - 29) Seno, T., K. Shimazaki, P. Somerville, K. Sudo, and T. Eguchi, Rupture process of the Miyagi-Oki, Japan, earthquake of June 12, 1978, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 23, 39-61, 1980.
 - 30) 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 宮城県沖地震の長期評価, <http://www.jishin.go.jp/main/chousa/00nov4/miyagi.htm>, 2000.
 - 31) Kanamori, H., M. Miyazawa, and J. Mori, Investigation of the earthquake sequence off Miyagi prefecture with historical seismograms, 58, 1533-1541, 2006.
 - 32) Umino, N., T. Kono, T. Okada, J. Nakajima, T. Matsuzawa, N. Uchida, A. Hasegawa, Y. Tamura, and G. Aoki, Revisiting the three M~7 Miyagi-oki earthquakes in the 1930s: possible seismogenic slip on asperities that were re-ruptured during the 1978 M=7.4 Miyagi-oki earthquake, *Earth Planets Space*, 58, 1587-1592, 2006.

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
西野実・日野亮太	海底地震連続観測データを用いた福島県沖プレート境界域に発生する地震の震源再決定	日本地震学会 2005年秋季大会	平成17年10月20日
山本揚二郎・日野亮太・西野実・桑野亜佐子・山田知朗・金沢敏彦・青木元・橋本徹夫・阿部正雄	宮城県沖地震震源域の地震波速度構造と微小地震活動	日本地震学会 2005年秋季大会	平成17年10月20日
三浦哲・油井智史・長谷川昭・八木勇治	GPSによって観測された2005年8月16日宮城県沖地震(M7.2)前後の地殻変動	日本地震学会 2005年秋季大会	平成17年10月20日
内田直希・松澤暢・平原聡・長谷川昭・笠原稔	小繰り返し地震による千島・日本海溝沿いプレート境界の準静的すべりモニタリング	日本地震学会 2005年秋季大会	平成17年10月20日
有吉慶介・松澤暢・長谷川昭	沈み込みプレート境界における余効すべり伝播速度の空間分布(その3)	日本地震学会 2005年秋季大会	平成17年10月20日
日野亮太・山本揚二郎・西野実・金沢敏彦・山田知朗・中東和夫・望月公廣・篠原雅尚・青木元・田中昌之・金田義行・荒木英一郎・小平秀一・藤江剛	海底地震観測による2005年8月16日宮城県沖地震の本震および余震の震源分布	日本地震学会 2005年秋季大会	平成17年10月20日
内田直希・松澤暢・平原聡・長谷川昭	2005年8月16日宮城県沖の地震(Mj7.2)周辺の相似地震活動	日本地震学会 2005年秋季大会	平成17年10月20日
岡田知己・柳沼直・北佐枝子・海野徳仁・松澤暢・中島淳一・内田直希・河野俊夫・長谷川昭	2005年, 1978年宮城県沖地震の余震分布の比較－余震活動域の時間的保存性	日本地震学会 2005年秋季大会	平成17年10月20日
海野徳仁・河野俊夫・岡田知己・中島淳一・松澤暢・内田直希・長谷川	過去の宮城県沖地震の震源再決定	日本地震学会 2005年秋季大会	平成17年10月20日

昭・田村良明・青木元			
三浦哲・油井智史・長谷川昭・佐藤俊也・立花憲司	2005年8月16日宮城県沖地震(M7.2)に伴った地殻変動	日本地震学会 2005年秋季大会	平成17年10月20日
柳沼直・岡田知己・海野徳仁・長谷川昭	地震波形インバージョンによる2005年宮城県沖の地震(M7.2)のアスペリティの推定	日本地震学会 2005年秋季大会	平成17年10月20日
長谷川昭・海野徳仁・松澤暢・三浦哲・日野亮太・岡田知己・内田直希・河野俊夫	2005年8月16日宮城県沖地震(M7.2)について—想定宮城県沖地震との関連	第24回日本自然災害学会 学術講演会	平成17年11月17日
長谷川昭	想定宮城県沖地震の震源域で何が起きているか?	第24回日本自然災害学会 オープン・フォーラム	平成17年11月19日
Uchida, N., T. Matsuzawa, S. Hirahara, T. Igarashi, M. Kasahara, and A. Hasegawa	Quasi-static Slips Around the Source Areas of the 2003 Tokachi-oki (M8.0) and 2005 Miyagi-oki (M7.2) Earthquakes, Japan Estimated From Small Repeating Earthquakes	AGU 2005 Fall Meeting	平成17年12月5日
Okada, T., T. Yaginuma, N. Umino, T. Kono, T. Matsuzawa, S. Kita, and A. Hasegawa	Rupture process of the 2005 M7.2 Miyagi-Oki, NE Japan, earthquake inferred from coseismic slip and aftershock distributions, and its comparison with the 1978 M7.4 Miyagi-Oki earthquake	AGU 2005 Fall Meeting	平成17年12月8日
Okada, T., T. Yaginuma, N. Umino, T. Kono, T. Matsuzawa, S. Kita, and A. Hasegawa	The 2005 M7.2 MIYAGI-OKI earthquake, NE Japan: Possible rerupturing of one of asperities that caused the previous M7.4 earthquake	Geophys. Res. Lett., 32, L24302, doi:10.1029/2005GL024613	平成17年

日野亮太	プレート境界型地震の発生機構の解明	地震予知のための新たな観測研究計画 平成17年度成果報告シンポジウム	平成18年3月15日
長谷川昭	2005年の宮城県沖の地震の概要	地震予知のための新たな観測研究計画 平成17年度成果報告シンポジウム	平成18年3月15日
松澤暢	地震発生に至る準備・直前過程における地殻活動	地震予知のための新たな観測研究計画 平成17年度成果報告シンポジウム	平成18年3月16日
長谷川昭	2005.8.16 宮城県沖地震と想定宮城県沖地震	日本地球惑星科学連合2006年大会	平成18年5月14日
内田直希・Ellsworth William L.・松澤暢・岡田知己・長谷川昭	釜石沖「固有地震」周辺の微小地震活動	日本地球惑星科学連合2006年大会	平成18年5月15日
Gamage, S. S. N., N. Uchida, N. Umino, and A. Hasegawa	Aftershock distributions of three large off-Miyagi Prefecture earthquakes in 2005 revealed by sP phase	日本地球惑星科学連合2006年大会	平成18年5月16日
有吉慶介・松澤暢・長谷川昭	速度強化域における摩擦特性と小アスペリティの破壊との関係	日本地球惑星科学連合2006年大会	平成18年5月16日
鈴木健介・日野亮太・西野実・桑野亜佐子・山本揚二郎・金沢敏彦・山田知朗・中東和夫・望月公廣・篠原雅尚・青木元・田中昌之・荒木英一郎・小平秀一・藤江剛・金田義行	海底地震観測による2005年宮城県沖の地震(M7.2)の本震・余震の震源分布とメカニズム解	日本地球惑星科学連合2006年大会	平成18年5月16日
三浦哲・油井智史・伊藤浩司・長谷川昭・佐藤俊	GPSデータにより推定された宮城県沖プレート境界	日本地球惑星科学連合平成18年大会	2006年5月17日

也・立花憲司	の非地震性すべり—2002年11月3日 M6.3・2005年8月16日 M7.2 後の余効変動—		
Hino, R., M. Nishino, A. Kuwano, Y. Yamamoto, K. Suzuki, T. Kanazawa, T. Yamada, K. Nakahigashi, K. Mochizuki, M. Shinohara, G. Aoki, M. Tanaka, E. Araki, S. Kodaira, G. Fujie, and Y. Kaneda	Ocean bottom seismographic observation of the aftershock activity accompanied with the 2005 off Miyagi Earthquake (M7.2)	日本地球惑星科学連合平成18年大会	平成18年5月18日
柳沼直・岡田知己・加藤研一・武村雅之・八木勇治・長谷川昭	2005年宮城県沖の地震(M7.2)と1978年宮城県沖地震(M7.4)のアスペリティの比較研究	日本地球惑星科学連合2006年大会	平成18年5月18日
Matsuzawa, T., and A. Hasegawa	The August 16, 2005 Miyagi-oki Earthquake (M7.2) and Recurrent M7 Earthquakes off Miyagi Prefecture, NE Honshu, Japan	2006 Western Pacific Geophysics Meeting	平成18年7月24日
飯沼卓史・三浦哲・油井智史・佐藤俊也・立花憲司・長谷川昭	GPSデータから推定された2005年宮城県沖地震(M7.2)に伴う余効すべりの時空間変化	日本測地学会第106回講演会	平成18年10月20日
飯沼卓史・三浦哲・油井智史・佐藤俊也・立花憲司・長谷川昭	GPSデータから推定された2005年宮城県沖地震(M7.2)に伴う余効すべりの時空間変化	日本地震学会2006年秋季大会	平成18年10月31日
山本揚二郎・日野亮太・鈴木健介・山田知朗・篠原雅尚・金沢敏彦・青木元・田中昌之・金田義行	Double-Difference Tomography法による宮城県沖地震震源域の地震波速度構造	日本地震学会2006年秋季大会	平成18年11月1日

有吉慶介・松澤暢・日野亮太・長谷川昭	アスペリティ間の相互作用における摩擦特性の影響	日本地震学会 2006 年秋季大会	平成 18 年 11 月 1 日
柳沼直・岡田知己・長谷川昭・加藤研一・武村雅之・八木勇治	2005 年宮城県沖地震 (M7.2) と 1978 年宮城県沖地震 (M7.4) のアスペリティの比較研究 (2)	日本地震学会 2006 年秋季大会	平成 18 年 11 月 1 日
鈴木健介・日野亮太・山本揚二郎・西野実・金沢敏彦・山田知朗・中東和夫・望月公廣・篠原雅尚・桑野亜佐子・植平賢司・青木元・田中昌之・荒木英一郎・小平秀一・藤江剛・金田義行	海底地震観測による 2005 年宮城県沖の地震 (M7.2) の余震のメカニズム解	日本地震学会 2006 年秋季大会	平成 18 年 11 月 2 日
Yamamoto, Y., R. Hino, K. Suzuki, T. Yamada, M. Shinohara, T. Kanazawa, G. Aoki, M. Tanaka, and Y. Kaneda	Seismic Velocity Structure in the Focal Area of the Miyagi-Oki Earthquake Revealed by Double-Difference Tomography	AGU 2006 Fall Meeting	平成 18 年 12 月 12 日
Suzuki, K., R. Hino, Y. Yamamoto, M. Nishino, T. Kanazawa, T. Yamada, K. Nakahigashi, K. Mochizuki, M. Shinohara, A. Kuwano, K. Uehira, G. Aoki, M. Tanaka, E. Araki, S. Kodaira, G. Fujie, and Y. Kaneda	Aftershock distribution of the 2005 off Miyagi Earthquake (M7.2) by ocean bottom seismographic data	AGU 2006 Fall Meeting	平成 18 年 12 月 12 日
Iinuma, T., S. Miura, S. Yui, N. Uchida, T. Sato, K. Tachibana, and A. Hasegawa	Spatio-temporal Evolution of Post-seismic Slip Associated With the 2005 Miyagi-oki Earthquake (M7.2) as Inferred From	AGU 2006 Fall Meeting	平成 18 年 12 月 13 日

	GPS Data		
Yaginuma, T., T. Okada, A. Hasegawa, K. Kato, M. Takemura, and Y. Yagi	Comparison of source areas of the 2005 (M7.2) and 1978 (M7.4) Miyagi-Oki earthquakes, NE Japan, by seismic waveform inversions	AGU 2006 Fall Meeting	平成 18 年 12 月 14 日
Yamamoto, Y., R. Hino, M. Nishino, T. Yamada, T. Kanazawa, T. Hashimoto, and G. Aoki	Three-dimensional seismic velocity structure around the focal area of the 1978 Miyagi-Oki earthquake	Geophys. Res. Lett., 33, L10308, doi:10.1029/2005G L025619	平成 18 年
Hino, R., Y. Yamamoto, A. Kuwano, M. Nishino, T. Kanazawa, T. Yamada, K. Nakahigashi, K. Mochizuki, M. Shinohara, K. Minato, G. Aoki, N. Okawara, M. Tanaka, M. Abe, E. Araki, S. Kodaira, G. Fujie, and Y. Kaneda	Hypocenter distribution of the main- and aftershocks of the 2005 Off Miyagi Prefecture earthquake located by ocean bottom seismographic data	Earth Planets Space, 58(12), 1543-1548	平成 18 年
Yaginuma, T., T. Okada, Y. Yagi, T. Matsuzawa, N. Umino, and A. Hasegawa	Coseismic slip distribution of the 2005 off Miyagi earthquake (M7.2) estimated by inversion of teleseismic and regional seismograms	Earth Planets Space, 58(12), 1549-1554	平成 18 年
Miura, S., T. Iinuma, S. Yui, N. Uchida, T. Sato, K. Tachibana, and A. Hasegawa	Co- and post-seismic slip associated with the 2005 Miyagi-oki earthquake (M7.2) as inferred from GPS data	Earth Planets Space, 58(12), 1567-1572	平成 18 年
Umino, N., T. Kono, T. Okada, J. Nakajima, T. Matsuzawa, N. Uchida, A. Hasegawa, Y.	Revisiting the three M~7 Miyagi-oki earthquakes in the 1930s: possible seismogenic slip on	Earth Planets Space, 58(12), 1587-1592	平成 18 年

Tamura, and G. Aoki	asperities that were re-ruptured during the 1978 M=7.4 Miyagi-oki earthquake		
日野亮太	プレート境界型地震の発生機構の解明	地震予知のための新たな観測研究計画 平成 18 年度成果報告シンポジウム	平成 19 年 3 月 12 日
松澤暢	相似地震(小繰り返し地震)の発生ゆらぎをもたらす原因の解明	地震予知のための新たな観測研究計画 平成 18 年度成果報告シンポジウム	平成 19 年 3 月 12 日
岡田知巳	中規模地震の震源過程・震源特性とそれに基づくアスペリティ像の確立	地震予知のための新たな観測研究計画 平成 18 年度成果報告シンポジウム	平成 19 年 3 月 12 日
日野亮太	宮城県沖地震の発生過程の解明	地震予知のための新たな観測研究計画 平成 18 年度成果報告シンポジウム	平成 19 年 3 月 13 日
松澤暢	地震発生に至る準備・直前過程における地殻活動	地震予知のための新たな観測研究計画 平成 18 年度成果報告シンポジウム	平成 19 年 3 月 13 日
鈴木健介・日野亮太・山本揚二郎・金沢敏彦・山田知朗・篠原雅尚・植平賢司・田中昌之・金田義行	海底地震観測による 2005 年宮城県沖の地震 (M7.2) の余震分布	日本地球惑星科学連合 2007 年大会	平成 19 年 5 月 19 日
飯沼卓史・長谷川昭・三浦哲・立花憲司・佐藤俊也	2005 年宮城県沖地震の最大余震(2005 年 12 月 2 日・M6.6)により励起された可能性のあるプレート間ゆっくり滑り	日本地球惑星科学連合 2007 年大会	平成 19 年 5 月 22 日

荒尾正克・松澤暢・内田直希・有吉慶介・長谷川昭	小繰り返し地震波形の各周波数におけるコヒーレンスと再来間隔との関係	日本地球惑星科学連合 2007 年大会	平成 19 年 5 月 23 日
内田直希・松澤暢・平原聡・五十嵐俊博・長谷川昭	小繰り返し地震による東北日本プレート境界の準静的すべりのマッピングとモニタリング	日本地球惑星科学連合 2007 年大会	平成 19 年 5 月 23 日
柳沼直・岡田知己・加藤研一・武村雅之・八木勇治・内田直希・長谷川昭	2005 年宮城県沖地震 (M7.2) と 1978 年宮城県沖地震 (M7.4) のアスペリティの比較研究 (3)	日本地球惑星科学連合 2007 年大会	平成 19 年 5 月 24 日
Yamamoto, Y., R. Hino, K. Suzuki, T. Yamada, M. Shinohara, T. Kanazawa, M. Tanaka, Y. Kaneda, and K. Uehira	Three-dimensional seismic velocity structure in the off-Miyagi and off-Fukushima forearc region	日本地球惑星科学連合 2007 年大会	平成 19 年 5 月 24 日
Yamamoto, Y., R. Hino, K. Suzuki, T. Yamada, M. Shinohara, T. Kanazawa, M. Tanaka, Y. Kaneda, and K. Uehira	Three-dimensional seismic velocity structure in the Off-Miyagi and Off-Fukushima forearc Region	IUGG 2007	平成 19 年 7 月 6 日
Iinuma, T., A. Hasegawa, S. Miura, K. Tachibana, and T. Sato	Possible slow slip event on the plate interface induced by the largest aftershock of the 2005 Miyagi-oki earthquake	IUGG 2007	平成 19 年 7 月 10 日
Suzuki, K., R. Hino, Y. Yamamoto, T. Kanazawa, T. Yamada, M. Shinohara, K. Uehira, M. Tanaka, and Y. Kaneda	Aftershock distribution of the 2005 off Miyagi Earthquake (M7.2) by ocean bottom seismographic data	IUGG 2007	平成 19 年 7 月 11 日
Matsuzawa, T., N. Uchida, T. Okada, K. Ariyoshi, N. Umino, M. Arao, and A. Hasegawa	A modified asperity model for the interplate earthquakes in the northeastern Japan subduction zone	EASTEC symposium 2007 Dynamic Earth -its origin and future-	平成 19 年 9 月 19 日

Arao, M., T. Matsuzawa, N. Uchida, K. Ariyoshi, and A. Hasegawa	Does high-frequency waveform similarity for small repeating earthquakes depend on the time interval between the events?	EASTEC symposium 2007 Dynamic Earth -its origin and future-	平成 19 年 9 月 19 日
Ariyoshi, K. T. Matsuzawa, R. Hino, A. Hasegawa, and Y. Kaneda	Relation between repeating earthquake activities and its focal depth	EASTEC symposium 2007 Dynamic Earth -its origin and future-	平成 19 年 9 月 19 日
Hino, R., Y. Yamamoto, and A. Kuwano	Heterogeneity of seismic velocity structure and its relevance to the interplate coupling in the northeastern Japan forearc	EASTEC symposium 2007 Dynamic Earth -its origin and future-	平成 19 年 9 月 19 日
Yamamoto, Y., R. Hino, K. Suzuki, A. Kuwano, T. Yamada, M. Shinohara, T. Kanazawa, M. Tanaka, Y. Kaneda, and K. Uehira	Three-dimensional seismic velocity structure in the off-Miyagi and off-Fukushima forearc region	EASTEC symposium 2007 Dynamic Earth -its origin and future-	平成 19 年 9 月 19 日
Azuma, R., R. Hino, Y. Machida, Y. Murai, T. Takanami, K. Mochizuki, T. Yamada, M. Shinohara, T. Kanazawa, and T. Sato	Crustal structure along the southern Kuril Trench, Japan, obtained by a refraction/reflection seismic survey	EASTEC symposium 2007 Dynamic Earth -its origin and future-	平成 19 年 9 月 19 日
Suzuki, K., R. Hino, Y. Yamamoto, T. Kanawaza, T. Yamada, M. Shinohara, K. Uehira, M. Tanaka, and Y. Kaneda	Comparison between aftershock distribution and co- and post- seismic slip of the 2005 Miyagi Earthquake (M7.2)	EASTEC symposium 2007 Dynamic Earth -its origin and future-	平成 19 年 9 月 19 日
Uchida, N., T. Matsuzawa, and A. Hasegawa	Quasi-static slip associated with large earthquakes on the subducting plate	EASTEC symposium 2007 Dynamic Earth -its origin and future-	平成 19 年 9 月 20 日

	boundary of NE Japan detected by small repeating earthquake analysis		
Hasegawa, A.	Research on dynamics of earthquakes and volcanism - Obtained results and future direction	EASTEC symposium 2007 Dynamic Earth -its origin and future-	平成 19 年 9 月 21 日
伊藤喜宏・山本揚二郎 ・鈴木健介・日野亮太 ・松原誠・小原一成	海底地震観測網による震源との比較に基づく波形・走時ハイブリッドモーメントテンソル解析法の検証	日本地震学会 2007 年秋季大会	平成 19 年 10 月 24 日
山本揚二郎・日野亮太 ・鈴木健介・伊藤喜宏 ・山田知朗・篠原雅尚 ・金沢敏彦・田中昌之 ・金田義行・植平賢司	宮城県沖および福島県沖前弧域の地震学的構造	日本地震学会 2007 年秋季大会	平成 19 年 10 月 24 日
鈴木健介・日野亮太・山本揚二郎・伊藤喜宏 ・金沢敏彦・山田知朗 ・篠原雅尚・植平賢司 ・田中昌之・金田義行	放射特性を用いた 2005 年宮城県沖の地震 (M7.2) の余震のメカニズム解分布	日本地震学会 2007 年秋季大会	平成 19 年 10 月 24 日
荒尾正克・松澤暢・内田直希・有吉慶介・長谷川昭	プレート境界における非相似地震と相似地震の関係	日本地震学会 2007 年秋季大会	平成 19 年 10 月 25 日
有吉慶介・堀高峰・金田義行・松澤暢・日野亮太・長谷川昭	相似地震活動と震源の深さとの関係	日本地震学会 2007 年秋季大会	平成 19 年 10 月 25 日
飯沼卓史・三浦哲・内田直希・佐藤俊也・立花憲司・長谷川昭	GPS データから推定された東北地方のプレート間カップリングの時空間変化 —2002 年から 2006 年まで—	日本地震学会 2007 年秋季大会	平成 19 年 10 月 25 日
松澤暢	プレート境界における応力集中過程	日本地震学会 2007 年秋季大会	平成 19 年 10 月 26 日
Ito Y., Y. Yamamoto, K. Suzuki, R. Hino, M.	Performance of the hybrid method for waveform and	AGU 2007 Fall Meeting	平成 19 年 12 月 10 日

Matsubara, and K. Obara	travel-time analyses based on a comparison with the hypocenters calculated from the ocean-bottom-seismometer network		
Suzuki, K., R. Hino, Y. Yamamoto, Y. Ito, T. Kanazawa, T. Yamada, M. Shinohara, K. Uehira, M. Tanaka, and Y. Kaneda	Focal mechanism distribution of main- and after- shock of the 2005 off Miyagi Earthquake (M7.2) by using radiation pattern of P- and S- wave	AGU 2007 Fall Meeting	平成 19 年 12 月 14 日
内田直希・松澤暢・三浦哲・平原聡・長谷川昭	小繰り返し地震解析による宮城・福島県沖プレート境界の準静的すべり	地震 2, 59(4), 287-295	平成 19 年
日野亮太・鈴木健介・山本揚二郎・西野実・金沢敏彦・山田知朗・中東和夫・望月公廣・篠原雅尚・桑野亜佐子・青木元・田中昌之・荒木英一郎・小平秀一・藤江剛・金田義行	海底地震観測による 2005 年宮城県沖地震 (M 7.2) の余震分布 (速報)	地震 2, 59(4), 297-308	平成 19 年
有吉慶介・松澤暢・矢部康男・長谷川昭・加藤尚之	沈み込みプレート境界における断層セグメント間の相互作用	地震 2, 59(4), 309-324	平成 19 年
海野徳仁・河野俊夫・岡田知己・中島淳一・松澤暢・内田直希・長谷川昭・田村良明・青木元	1930 年代に発生した M7 クラスの宮城県沖地震の震源再決定—1978 年宮城県沖地震のアスペリティでのすべりだったのか?—	地震 2, 59(4), 325-337	平成 19 年
河野俊夫・海野徳仁・長谷川昭	1930 年代に発生した M7 クラスの宮城県沖の地震の震度分布について	地震 2, 59(4), 339-353	平成 19 年
三浦哲・飯沼卓史・油井智史・佐藤俊也・立花憲司・長谷川昭	2005 年宮城県沖地震 (M7.2) に伴った地震時・地震後地殻変動から推定されたプレート境界面上	地震 2, 59(4), 371-379	平成 19 年

	のすべり分布		
柳沼直・岡田知己・長谷川昭・加藤研一・武村雅之・八木勇治	近地・遠地地震波形インバージョンによる2005年宮城県沖の地震(M7.2)の地震時すべり量分布—1978年宮城県沖地震(M7.4)との関係—	地震 2, 60(1), 43-53	平成 19 年
Ariyoshi, K., T. Matsuzawa, R. Hino, and A. Hasegawa	Triggered non-similar slip events on repeating earthquake asperities: Results from 3D numerical simulations based on a friction law	Geophys. Res. Letts., 34, L02308, doi:10.1029/2006GL028323	平成 19 年
Ariyoshi, K., T. Matsuzawa, and A. Hasegawa	The key frictional parameters controlling spatial variations in the speed of postseismic-slip propagation on a subduction plate boundary	Earth Planet. Sci. Lett., 256(1-2), 136-146, doi:10.1016/j.epsl.2007.01.019	平成 19 年
日野亮太	プレート境界型地震の発生機構の解明	地震・火山噴火予知研究計画シンポジウム	平成 20 年 3 月 3 日
松澤暢	相似地震(小繰り返し地震)の発生ゆらぎをもたらす原因の解明	地震・火山噴火予知研究計画シンポジウム	平成 20 年 3 月 3 日
岡田知己	中規模地震の震源過程とそれに基づくアスペリティ像の確立	地震・火山噴火予知研究計画シンポジウム	平成 20 年 3 月 3 日
内田直希	宮城県沖地震の発生過程の解明	地震・火山噴火予知研究計画シンポジウム	平成 20 年 3 月 3 日
日野亮太	プレート境界地震発生機構の解明	地震・火山噴火予知研究計画シンポジウム	平成 20 年 3 月 5 日
鈴木健介・日野亮太・山本揚二郎・伊藤喜	宮城県沖海底地震観測による小地震の発震機構解	日本地球惑星科学連合 2008 年大会	平成 20 年 5 月 25 日

宏・金沢敏彦・山田知朗・篠原雅尚・植平賢司・田中昌之・金田義行	の空間分布		
伊藤喜宏・飯沼卓史・松原誠・小原一成	ハイブリッドモーメントテンソル解析による日本海溝陸側斜面下の地震活動	日本地球惑星科学連合 2008 年大会	平成 20 年 5 月 25 日
Azuma, R., R. Hino, Y. Ito, T. Takanami, R. Miura, K. Ichijo, K. Mochizuki, T. Igarashi, K. Uehira, T. Sato, M. Shinohara, and T. Kanazawa	Vp velocity structure of the crust and the slab mantle of the subducted Pacific Plate near the Japan Trench by airgun-OBS survey	日本地球惑星科学連合 2008 年大会	平成 20 年 5 月 26 日
Yamamoto, Y., R. hino, Y. Ito, and H. Fujimoto	Tomographic imaging of seismic velocity structure in the NE Japan forearc region: implications for the corner flow pattern	日本地球惑星科学連合 2008 年大会	平成 20 年 5 月 27 日
日野亮太	高密度地震観測ネットワーク時代における海底地震観測の方向性	日本地球惑星科学連合 2008 年大会	平成 20 年 5 月 28 日
有吉慶介・松澤暢・堀高峰・日野亮太・金田義行・長谷川昭	余効すべり伝播速度から推定される摩擦特性	日本地球惑星科学連合 2008 年大会	平成 20 年 5 月 29 日
飯沼卓史・三浦哲・太田雄策	GPS 連続変位記録に基づく非地震性滑り解析のための時間依存逆解析手法の改良	日本地球惑星科学連合 2008 年大会	平成 20 年 5 月 29 日
荒尾正克・松澤暢・内田直希・有吉慶介・長谷川昭	小繰り返し地震のすべり様式の揺らぎとその規則性	日本地球惑星科学連合 2008 年大会	平成 20 年 5 月 30 日
内田直希・松澤暢・岡田知己・島村浩平・長谷川昭・今西和俊・Ellsworth William L.	2008 年の繰り返し釜石沖地震とその周辺の地震活動	日本地球惑星科学連合 2008 年大会	平成 20 年 5 月 30 日

Yamamoto, Y., R. Hino, Y. Ito, K. Suzuki, T. Yamada, M. Shinohara, T. Kanazawa, G. Aoki, M. Tanaka, T. Takanami, K. Uehira, and Y. Kaneda	Three-dimensional seismic velocity structure in the off-Miyagi and off-Fukushima forearc region	日本地球惑星科学連合 2008 年大会	平成 20 年 5 月 30 日
Azuma, R., R. Hino, Y. Ito, T. Takanami, Y. Miura, K. Ichijo, K. Mochizuki, T. Igarashi, K. Uehira, T. Sato, M. Shinohara, and T. Kanazawa	P-WAVE VELOCITY STRUCTURE OF THE CRUST AND THE UPPERMOST MANTLE OF THE SUBDUCTED PACIFIC PLATE NEAR THE JAPAN TRENCH BY AIRGUN-OBS SEISMIC SURVEY	13 th International symposium on deep seismic profiling of the continents and their margins	平成 20 年 6 月 8 日
Ito, Y., M. Matsubara, and J. Nakajima	SEISMICITY AND TOMOGRAPHY ALONG JAPAN TRENCH REVEALED BY HYBRID METHOD FOR HYPOCENTER DETERMINATION USING WAVEFORM AND TRAVEL TIME	13 th International symposium on deep seismic profiling of the continents and their margins	平成 20 年 6 月 8 日
Yamamoto, Y., R. Hino, Y. Ito, K. Suzuki, T. Yamada, M. Shinohara, T. Kanazawa, G. Aoki, M. Tanaka, T. Takanami, K. Uehira, and Y. Kaneda	THREE-DIMENSIONAL SEISMIC VELOCITY STRUCTURE IN THE OFF-MIYAGI AND OFF-FUKUSHIMA FOREARC REGION	13 th International symposium on deep seismic profiling of the continents and their margins	平成 20 年 6 月 8 日
Hino, R., Y. Yamamoto, Y. Ito, R. Azuma, A. Hasegawa, T. Yamada, K. Nakahigashi, A. Kuwano, K. Mochizuki, S. Sakai, M. Shinohara, T. Kanazawa, T. Takanami, Y. Murai, S. Amamiya, and Y. Machida	3D SEISMIC STRUCTURE OF THE FOREARC AREA IN EASTERN HOKKAIDO, JAPAN, BY USING OCEAN BOTTOM SEISMOGRAPHIC OBSERVATION	13 th International symposium on deep seismic profiling of the continents and their margins	平成 20 年 6 月 12 日

伊藤喜宏・藤本博己・日野亮太・木戸元之・長田幸仁・鈴木秀市・山本揚二郎・東龍介・対馬弘晃・鈴木健介・辻健・中山典子・芦寿一郎・蒲生俊敬	日本海溝におけるゆっくり地震検出のための海底地震・測地および湧水観測—YK08-06 航海の概要と成果—	日本地質学会 2008 年大会	平成 20 年 9 月 21 日
太田雄策・大園真子・三浦哲・飯沼卓史・立花憲司・高塚晃多・宮尾佳代・佐藤俊也・海野徳仁	稠密 GPS 観測網に基づく 2008 年岩手・宮城内陸地震の地震時断層モデル	日本測地学会第 110 回講演会	平成 20 年 10 月 24 日
飯沼卓史・大園真子・太田雄策・三浦哲・植木貞人・高塚晃多・対馬弘晃・立花憲司・松島健・中元真美・山下裕亮・鷺谷威・小澤和浩・福田真人・朝日友香・笠原稔・高橋浩晃・山口照寛・中尾茂	稠密 GPS 観測網による 2008 年岩手・宮城内陸地震の余効変動の時空間変化推定	日本測地学会第 110 回講演会	平成 20 年 10 月 24 日
三浦哲・太田雄策・大園真子・飯沼卓史・立花憲司・植木貞人・高塚晃太・宮尾佳世・佐藤俊也・対馬弘晃・高橋浩晃・山口照寛・笠原稔・鷺谷威・小澤和浩・福田真人・朝日友香・松島健・中元真美・山下裕亮・中尾茂	2008 年岩手・宮城内陸地震 (M7.2) に伴った地震時・地震後地殻変動	日本地震学会平成 20 年秋季大会	2008 年 11 月 24 日
Uchida, N., J. Nakajima, A. Hasegawa, and T. Matsuzawa	Abrupt change in interplate coupling on the Pacific plate across a border of two overlying plates east off Kanto, Japan	The 7 th General Assembly of Asian Seismological Commission	平成 20 年 11 月 25 日
Iinuma, T., M. Ohzono, Y. Ohta, S. Miura, S.	Postseismic deformation associated with the	The 7 th General Assembly of Asian	平成 20 年 11 月 25 日

Ueki, K. Takatsuka, H. Tsushima, K. Tachibana, T. Matsushima, M. Nakamoto, Y. Yamashita, T. Sagiya, K. Ozawa, M. Fukuda, Y. Asahi, M. Kasahara, H. Takahashi, T. Yamaguchi, and S. Nakao	Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008	Seismological Commission	
Suzuki, K. R. Hino, Y. Yamamoto, Y. Ito, T. Kanazawa, T. Yamada, M. Shinohara, K. Uehira, M. Tanaka, and Y. Kaneda	Precise hypocenters and focal mechanisms revealed by using 3D velocity structure in the Miyagi-Oki region	The 7 th General Assembly of Asian Seismological Commission	平成 20 年 11 月 25 日
Ohta, Y., M. Ohzono, S. Miura, T. Iinuma, K. Tachibana, K. Takatsuka, K. Miyao, T. Sato, and N. Umino	Coseismic fault model of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake deduced from a dense GPS network	The 7 th General Assembly of Asian Seismological Commission	平成 20 年 11 月 25 日
Uchida, N., M. Mishina, and T. Matsuzawa	Afterslip of the 2008 off Ibaraki (M7.0) and off Fukushima (M6.9) earthquakes estimated from small repeating earthquakes	The 7 th General Assembly of Asian Seismological Commission	平成 20 年 11 月 26 日
Ito, Y., H. Fujimoto, R. Hino, M. Kido, Y. Osada, Y. Yamamoto, S. Suzuki, R. Azuma, H. Tsushima, K. Suzuki, T. Tsuji, N. Nakayama, J. Ashi and T. Gamo	Seismological, geodetical, and cold-seepage observations for detection of slow earthquakes along Japan Trench	The 7 th General Assembly of Asian Seismological Commission	平成 20 年 11 月 26 日
Azuma, R., R. Hino, Y. Ito, T. Takanami, R. Miura, K. Ichijo, K. Mochizuki, T.	Seismic velocity structure of the subducting Pacific Ocean slab near the Japan	The 7 th General Assembly of Asian Seismological Commission	平成 20 年 11 月 27 日

Igarashi, K. Uehira, T. Sato, M. Shinohara and T. Kanazawa	trench deduced by airgun-OBS surveys		
Yamamoto, Y., R. Hino, M. Shinohara, K. Suzuki, T. Yamada, and T. Kanazawa	Tomographic imaging in the off-Miyagi forearc region by joint inversion using both active and passive source data	The 7 th General Assembly of Asian Seismological Commission	平成 20 年 11 月 27 日
Uchida, N., A. Hasegawa, J. Nakajima, and T. Matsuzawa	What controls interplate coupling? Implications from abrupt change in coupling on the Pacific plate across a border between two overlying plates in the southernmost extent of the NE Japan subduction zone	AGU 2008 Fall Meeting	平成 20 年 12 月 15 日
Ohta, Y., M. Ohzono, S. Miura, T. Iinuma, K. Tachibana, K. Takatsuka, K. Miyao, T. Sato, and N. Umino	Coseismic fault model of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake deduced from a dense GPS network	AGU 2008 Fall Meeting	平成 20 年 12 月 16 日
Ito, Y., K. Obara, Y. Asano, H. Fujimoto, R. Hino, J. Ashi, and T. Tsuji	Shallow very-low-frequency earthquakes around Japan: Recent studies and observation	AGU 2008 Fall Meeting	平成 20 年 12 月 16 日
Azuma, R., R. Hino, Y. Ito, T. Takanami, R. Miura, K. Ichijo, K. Mochizuki, T. Igarashi, K. Uehira, T. Sato, M. Shinohara and T. Kanazawa	Seismic velocity structure of subducting Pacific Ocean slab near Japantrench deduced by airgun-OBS surveys	AGU 2008 Fall Meeting	平成 20 年 12 月 19 日
Yamamoto, Y., R. Hino, K. Suzuki, Y. Ito, T. Yamada, M. Shinohara, T. Kanazawa, G. Aoki,	Spatial Heterogeneity of the Mantle Wedge Structure Corresponding to Interplate Coupling in	AGU 2008 Fall Meeting	平成 20 年 12 月 19 日

M. Tanaka, K. Uehira, G. Fujie, Y. Kaneda, T. Takanami, and T. Sato	NE Japan Forearc Region		
Yamamoto, Y., R. Hino, K. Suzuki, Y. Ito, T. Yamada, M. Shinohara, T. Kanazawa, G. Aoki and M. Tanaka, K. Uehira, G. Fujie, Y. Kaneda, T. Takanami, and T. Sato	Spatial heterogeneity of the mantle wedge structure and interplate coupling in the NE Japan forearc region	Geophys. Res. Lett., 35, L23304, doi:10.1029/2008G L036100	平成 20 年
Goltz, C., D. L. Turcotte, S. G. Abaimov, R. M. Nadeau, N. Uchida, and T. Matsuzawa	Rescaled earthquake recurrence time statistics: application to microrepeaters	Geophys. J. Int., 176(1), 256-264, doi: 10.1111/j.1365-24 6X.2008.03999.x	平成 20 年
Iinuma, T., and S. Miura	Inversion of GPS velocity to yield spatio-temporal variation of the interplate coupling beneath Tohoku district, NE Japan	Global COE International Symposium 2009 Circum-Pacific Subduction Zones	平成 21 年 2 月 18 日
Ii, S., R. Hino, T. Iinuma, and H. Fujimoto	Significance of ocean bottom pressure measurement for detecting interplate slow slip events in the Miyagi-Oki region	Global COE International Symposium 2009 Circum-Pacific Subduction Zones	平成 21 年 2 月 18 日
Uchida, N., M. Mishina, and T. Matsuzawa	Near trench transient slip in the southern part of the NE Japan subduction zone in 2008	Global COE International Symposium 2009 Circum-Pacific Subduction Zones	平成 21 年 2 月 18 日
Suzuki, K., R. Hino, Y. Yamamoto, Y. Ito, T. Kanazawa, T. Yamada, M. Shinohara,	Precise hypocenters and focal mechanisms revealed by using 3D velocity structure in the	Global COE International Symposium 2009 Circum-Pacific	平成 21 年 2 月 18 日

K. Uehira, and Y. Kaneda	Miyagi-Oki region	Subduction Zones	
Azuma, R., R. Hino, T. Takanami, Y. Ito, K. Mochizuki, K. Uehira, T. Sato, M. Shinohara, and T. Kanazawa.	Plate bending-related velocity decrease in the subducting Pacific Plate near the Japan Trench, obtained by wide-angle seismic experiments	Global COE International Symposium 2009 Circum-Pacific Subduction Zones	平成 21 年 2 月 18 日
伊藤喜弘	陸側斜面浅部のゆっくり地震	Global COE 国内研究集会 海溝陸側斜面の海底変動・海洋生態系ダイナミクス	平成 21 年 2 月 23 日
日野亮太	海底地震観測 現状と展望	Global COE 国内研究集会 海溝陸側斜面の海底変動・海洋生態系ダイナミクス	平成 21 年 2 月 24 日
山本揚二郎	マントルウェッジの不均質構造とアスペリティ分布との関係	Global COE 国内研究集会 海溝陸側斜面の海底変動・海洋生態系ダイナミクス	平成 21 年 2 月 24 日
海野徳仁	2008年岩手・宮城内陸地震に関する総合調査	地震予知のための新たな観測研究計画 平成 20 年度成果報告シンポジウム	平成 21 年 3 月 3 日
海野徳仁	2008年岩手・宮城内陸地震に関する総合調査	地震予知のための新たな観測研究計画 平成 20 年度成果報告シンポジウム	平成 21 年 3 月 3 日
日野亮太	プレート境界型地震の発生機構の解明	地震予知のための新たな観測研究計画 平成 20 年度成果報告シンポジウム	平成 21 年 3 月 3 日

松澤暢	相似地震（小繰り返し地震）の発生ゆらぎをもたらす原因の解明	地震予知のための新たな観測研究計画 平成 20 年度成果報告シンポジウム	平成 21 年 3 月 3 日
岡田知己	中規模地震の震源過程・震源特性とそれに基づくアスペリティ像の確立	地震予知のための新たな観測研究計画 平成 20 年度成果報告シンポジウム	平成 21 年 3 月 4 日
日野亮太	宮城県沖地震の発生過程の解明	地震予知のための新たな観測研究計画 平成 20 年度成果報告シンポジウム	平成 21 年 3 月 4 日
伊藤喜宏・藤本博己・日野亮太・木戸元之・長田幸仁・鈴木秀市・山本揚二郎・東龍介・対馬弘晃・鈴木健介・辻健・中山典子・芦寿一郎・蒲生俊敬	日本海溝におけるゆっくり地震検出のための海底地震・測地および湧水観測	Blue Earth '09	平成 21 年 3 月 13 日
山本揚二郎・日野亮太・篠原雅尚・藤江剛・三浦誠一・小平秀一	宮城県沖地震震源域の地震波速度構造とプレート境界深度	日本地球惑星科学連合 2009 年大会	平成 21 年 5 月 16 日
飯沼卓史・太田雄策・大園真子・三浦哲・岡田知己・吉田圭佑・海野徳仁・長谷川昭	稠密 GPS 観測に基づく 2008 年岩手・宮城内陸地震の余効変動解析	日本地球惑星科学連合 2009 年大会	平成 21 年 5 月 17 日
飯沼卓史・三浦哲・内田直希・海野徳仁	GPS データから推定された東北地方のプレート間カップリングの時空間変化 (2)	日本地球惑星科学連合 2009 年大会	平成 21 年 5 月 18 日
東龍介・日野亮太・伊藤喜宏・高波鐵夫・三浦亮・一條和宏・望月公廣・五十嵐俊博・植平賢司・佐藤利典・篠	人工地震波探査で推定した沈み込む太平洋プレートの P 波・S 波速度構造	日本地球惑星科学連合 2009 年大会	平成 21 年 5 月 19 日

原雅尚・金沢敏彦			
鈴木健介・日野亮太・伊藤喜宏・金沢敏彦・山田知朗・篠原雅尚・植平賢司・田中昌之・山本揚二郎・金田義行	海底地震観測による宮城県沖地震震源域周囲の応力場の推定	日本地球惑星科学連合 2009 年大会	平成 21 年 5 月 20 日
東龍介・日野亮太・伊藤喜宏・鈴木健介	中部東北日本前弧下に沈み込む太平洋スラブの地震波速度構造	日本地震学会 2009 年秋季大会	平成 21 年 10 月 21 日
山本揚二郎・日野亮太・篠原雅尚・藤江剛・三浦誠一・小平秀一	宮城県前弧域の地震波速度構造と地震活動	日本地震学会 2009 年秋季大会	平成 21 年 10 月 21 日
伊藤喜宏・日野亮太・鈴木秀市・山田知朗・篠原雅尚・金沢敏彦	海底地震計記録を用いた地震波干渉法による日本海溝陸側斜面下の不均質構造推定の試み	日本地震学会 2009 年秋季大会	平成 21 年 10 月 21 日
飯沼卓史・三浦哲・松澤暢・太田雄策・大園真子	2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震 (M7.2) の震源域における固着はすでに回復したのか?	日本地震学会 2009 年秋季大会	平成 21 年 10 月 22 日
鈴木健介・日野亮太・伊藤喜宏・金沢敏彦・山田知朗・篠原雅尚・植平賢司・山本揚二郎・金田義行	2005 年宮城県沖の地震 (M7.2) による応力変化と宮城県沖の応力場の推定	日本地震学会 2009 年秋季大会	平成 21 年 10 月 23 日
飯沼卓史・三浦哲・太田雄策・大園真子・松澤暢	GPS データに基づく宮城県沖におけるプレート間カップリングの時空間変化の推定	日本測地学会第 112 回講演会	平成 21 年 11 月 5 日
T. Iinuma, M. Ohzono, Y. Ohta, and S. Miura	Aseismic slow slip on an inland active fault triggered by a nearby shallow event, the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake (Mw6.8)	AGU 2009 Fall Meeting	平成 21 年 12 月 14 日
K. Suzuki, R. Hino, Y. Ito, T. Kanazawa, T. Yamada, M. Shinohara, K. Uehira, Y.	Stress change due to the 2005 Miyagi-Oki earthquake and stress field of the Miyagi-Oki	AGU 2009 Fall Meeting	平成 21 年 12 月 18 日

Yamamoto, and Y. Kaneda	region		
Uchida, N., J. Nakajima, A. Hasegawa, and T. Matsuzawa	What controls interplate coupling?: Evidence for abrupt change in coupling across a border between two overlying plates in the NE Japan subduction zone	Earth Planet. Sci. Lett., 283(1-4), 111-121, doi:10.1016/j.epsl.2009.04.003	平成 21 年
Ariyoshi, K., T. Matsuzawa, Y. Yabe, N. Kato, R. Hino, A. Hasegawa, and Y. Kaneda	Character of slip and stress due to interaction between fault segments along the dip direction of a subduction zone	Journal of Geodynamics, 48(2), 55-67, doi:10.1016/j.jog.2009.06.001	平成 21 年
Uchida, N., S. Yui, S. Miura, T. Matsuzawa, A. Hasegawa, Y. Motoya, and M. Kasahara	Quasi-static slip on the plate boundary associated with the 2003 M8.0 Tokachi-oki and 2004 M7.1 off-Kushiro earthquakes, Japan	Gondwana Research, 16(3-4), 527-533, doi:10.1016/j.gr.2009.04.002	平成 21 年
Ariyoshi, K., T. Hori, J. Ampuero, Y. Kaneda, T. Matsuzawa, R. Hino, and A. Hasegawa	Influence of interaction between small asperities on various types of slow earthquakes in a 3-D simulation for a subduction plate boundary	Gondwana Research, 16(3-4), 534-544, doi:10.1016/j.gr.2009.03.006	平成 21 年
Hasegawa, A., J. Nakajima, N. Uchida, T. Okada, D. Zhao, T. Matsuzawa, and N. Umino	Plate subduction, and generation of earthquakes and magmas in Japan as inferred from seismic observations: An overview	Gondwana Research, 16(3-4), 370-400, doi:10.1016/j.gr.2009.03.007	平成 21 年
Iinuma, T., M. Ohzono, Y. Ohta, S. Miura, M. Kasahara, H. Takahashi, T. Sagiya, T. Matsushima, S. Nakao, and S. Ueki, K.	Aseismic slow slip on an inland active fault triggered by a nearby shallow event, the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake (Mw6.8)	Geophys. Res. Lett., 36, L20308, doi:10.1029/2009GL040063	平成 21 年

Tachibana, T. Sato, H. Tsushima, K. Takatsuka, T. Yamaguchi, M. Ichiyanagi, M. Takada, K. Ozawa, M. Fukuda, Y. Asahi, M. Nakamoto, Y. Yamashita, and N. Umino			
T. Iinuma	Discussion on the Rank Deficiency of the Representation Matrix of the Smoothing Constraint in Inversion Methods Using a Bayesian Information Criterion.	測地学会誌, 55(4), 345-353	平成 21 年
Gamage, S. S. N., N. Umino, A. Hasegawa, and S. H. Kirby	Offshore double-planed shallow seismic zone in the NE Japan forearc region revealed by sP depth phases recorded by regional networks	Geophys. J. Int., 178(1), 195-214, doi: 10.1111/j.1365-24 6X.2009.04048.x	平成 21 年
Hino, R., S. Ii, T. Iinuma, and H. Fujimoto	Continuous Long-Term Seafloor Pressure Observation for Detecting Slow-Slip Interplate Events in Miyagi-Oki on the Landward Japan Trench Slope	Journal of Disaster Research, 4(2), 72-82	平成 21 年
Hino, R., R. Azuma, Y. Ito, Y. Yamamoto, K. Suzuki, H. Tsushima, S. Suzuki, M. Miyashita, T. Tomori, M. Arizono, and G. Tange	Insight into complex rupturing of the immature bending normal fault in the outer slope of the Japan Trench from aftershocks of the 2005 Sanriku earthquake (Mw = 7.0) located by ocean	Geochem. Geophys. Geosyst., 10, Q07018, doi:10.1029/2009G C002415	平成 21 年

	bottom seismometry		
Ito, Y., K. Obara, T. Matsuzawa, and T. Maeda	Very low frequency earthquakes related to small asperities on the plate boundary interface at the locked to aseismic transition	J. Geophys. Res., 114, B00A13, doi:10.1029/2008JB006036	平成 21 年
松澤暢	宮城県沖の地震（2005年8月16日, M7.2）	地震予知連絡会 40 年のあゆみ, 190-195	平成 21 年
海野徳仁	平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震（2008年6月14日, M7.2）	地震予知連絡会 40 年のあゆみ, 212-218	平成 21 年
松澤暢	プレート境界地震とアスペリティ・モデル	地震 2, 61, S347-S355	平成 21 年
三品正明・立花憲司・三浦哲	孔井式歪計によって観測された福島県沖の地震に伴った余効変動	北大地物報告, 72, 287-298	平成 21 年
内田直希・伊藤喜宏・太田雄策・有吉慶介・鈴木健介・松澤暢	準静的滑りの時空間変化に基づく地震発生切迫度評価の研究	先行過程グループ研究集会	平成 22 年 2 月 17 日
Ohta, Y., T. Iinuma, M. Ohzono, and S. Miura	Coseismic and postseismic deformation of the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake deduced from geodetic data	G-COE symposium 2010: Earthquakes, Active Tectonics and Geodynamics of Island Arcs	平成 22 年 2 月 19 日
伊藤喜宏・長田幸仁・木戸元之・稲津大祐・内田直希・日野亮太・藤本博己・鈴木秀市・対馬弘晃・東龍介・鈴木健介・古賀祥子・猪井志織・辻健・中山典子・芦寿一郎	海底圧力・地震観測に基づく日本海溝陸側斜面下のゆっくり地震	Blue Earth '10	平成 22 年 3 月 2 日
伊藤喜宏	ゆっくり滑りの発生機構とアスペリティとの相互作用の解明	「地震及び火山噴火予知のための観測研究計画」成果報	平成 22 年 3 月 3 日

		告シンポジウム	
日野亮太	アスペリティの特性解明 に向けた観測研究	「地震及び火山噴 火予知のための観 測研究計画」成果報 告シンポジウム	平成 22 年 3 月 3 日
内田直希	準静的滑りの時空間変化 に基づく地震発生切迫度 評価の研究	「地震及び火山噴 火予知のための観 測研究計画」成果報 告シンポジウム	平成 22 年 3 月 3 日
三浦哲	宮城県沖プレート境界の 多項目・高精度モニタリン グによる大地震発生過程 の解明	「地震及び火山噴 火予知のための観 測研究計画」成果報 告シンポジウム	平成 22 年 3 月 4 日

(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

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし