

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
国立大学法人東北大学大学院理学研究科	教授	松澤暢	matuzawa@aob.geophys.tohoku.ac.jp
	准教授	三浦哲	miura@aob.geophys.tohoku.ac.jp
	准教授	日野亮太	hino@aob.geophys.tohoku.ac.jp
	助教	中島淳一	nakajima@aob.geophys.tohoku.ac.jp
	助教	内田直希	uchida@aob.geophys.tohoku.ac.jp
	助教	伊藤喜宏	yito@aob.geophys.tohoku.ac.jp
	研究員	飯沼卓史	hasegawa@aob.geophys.tohoku.ac.jp
	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	

(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、その発生時期およ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り、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」（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、本業務では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、そのための技術開発を推進する。

(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観測および相似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る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観測および相似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、地震波速度構造および発震機構解の推定を行った。さらに、GPS観測および相似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、プレート境界面上およ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連続観測および相似地震活動の解析の準リアルタイム化に基づく、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う。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・外の地震活動度およびその特性の時空間的な変動の解明に努める。さらに、GPS観測および相似地震活動の解析の準リアルタイム化に基づく、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目途をつける。

(e) 平成20年度業務目的

2005年に発生した宮城沖地震の破壊域周辺におけるプレート間非地震性すべりの分布および時間変化を明らかにするとともに、プレート境界面における固着・すべり分布に対応する地震波速度構造の解明を目標として、以下のような目的で業務を実施する。

東北大学大学院理学研究科の地震・噴火予知研究観測センターにおいてリアルタイムで

収録される陸上地震観測点の波形データを用いた相似地震解析を行い、宮城県沖地震の想定震源域周囲におけるプレート間すべり分布の推定を、平成 19 年度に引き続いて実施し、平成 19 年度までの成果との比較を行うことにより、プレート間すべりの時空間変化に関する情報の蓄積を図る。

また、東北大学が宮城県沖の太平洋岸地域に展開する GPS 観測網のデータを国土地理院の GEONET 観測網により得られるデータと統合処理と、想定震源域周辺のプレート間すべり分布の推定を行い、平成 19 年度までの成果との比較を行うことにより、プレート間すべりの時空間変化に関する情報の蓄積を図る。

短期観測型海底地震計を用いて、地震観測を行う。これにより、東京大学地震研究所が実施する長期観測型海底地震計による観測とあわせ、陸上の地震観測データと総合して、想定震源域周辺の地震波速度構造の推定を行うとともに、詳細な震源分布を明らかにする。

地殻変動と地震活動をもとにしたプレート間すべりモニタリングのさらなる高度化を目的として、海底圧力観測を開始することにより、海底地殻上下変動の検出を試みる。

(2) 平成 20 年度の成果

(a) 業務の要約

プレート間すべりの時空間発展を正確に推定するため、時間依存逆解析手法の改良を行なった。従来手法においては、時間方向の基底関数の形状が固定されており、それが時間区間の区切り方を規定していたが、これを可変にすることですべり速度の急激な変化をも正確に再現することが可能になる。手法及び数値計算コードの妥当性を検証するため、宮城県沖における仮想的なプレート間すべりを与え、これを逆解析により推定する、数値計算テストを行なった。テストで推定されたすべりの時空間発展において、すべりの開始時刻は、地表変位の観測誤差を大きくした場合でも正しく推定されており、実用化に向けて良好な結果を得た。

2008 年 6 月 14 日に 2008 年岩手・宮城内陸地震(M7.2)が発生し、東北地方広域に地殻変動が生じた。また、この地震は大きな余効変動も伴っており、宮城県沖プレート境界におけるすべり・固着の分布を推定する際にその影響が無視できないことがわかったため、この地震の余効変動のモデル化を行なった。その結果、本震断層面上での余効滑りのほかに、本震震央の北東約 20km に位置する出店断層と呼ばれる活断層の浅部において、非地震性すべりが発生したことが明らかになった。また、本震断層並びに出店断層における非地震性すべりは、本震発生から二週間程度で有意な水準を下回る速度になり、一ヶ月程度でほぼ収束したと思われる。

相似地震モニタリングは、最新のデータに基づくモニタリングを継続し、2008 年 5 月と 7 月に発生した M7 クラスのプレート境界地震に関連した準静的すべりの加速を検出した。また、相似地震によるすべり量のスケールリング則の改良に向けて 2008 年 7 月の地震後に相似地震から推定された準静的すべりと、ひずみ計のデータとの比較を行った。

宮城県沖においては、東京大学地震研究所及び気象庁地震火山部と共同で長期繰り返し海底地震観測を平成 14 年度以来行なっており、本年度もこの観測を継続して実施した。今年度はこうした海底地震観測データを用いた 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震(M7.2)の余震活動に関する研究を継続して行なった。三次元速度構造を用いて震源の再決定を行い、

メカニズム解を求めた。決定されたメカニズム解を用いて、宮城県沖地震想定震源域付近における応力場の推定を行なった。本震地すべり域の東端付近では平均的な応力場からのずれが大きいこと、プレート境界よりも浅い部分及び深い部分で応力場が不連続に変化していることがわかった。後者はこの領域でプレート間の固着が弱いことを示唆している。

(b) 業務の実施方法

改良した時間依存逆解析手法の数値計算コードを作成し、これを仮想的なすべり分布から作られた擬似 GPS 観測データに適用し、手法の妥当性の評価を行なった。

2008年岩手・宮城内陸地震後のGPS連続観測データから求めた各観測点での変位時系列データから、既存の時間依存逆解析手法を用いて余効すべり・非地震性すべりの時空間発展を推定した。

相似地震（小繰り返し地震）解析に関しては、対象領域で発生した新しい地震について一定の基準に合致するものを相似地震とし、モニタリングを継続した。Nadeau and Johnson (1998)のスケーリング則を用いて相似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。ひずみ計との比較においては、量的な比較を行うため、相似地震解析から得られた余効すべりモデル（断層範囲、すべり量）と仮定した断層傾斜とすべり方向を用いて、Okada (1992)の方法で期待されるひずみ量変化を計算し実際の観測データと比較を行った。

平成19年度に設置した5台の長期観測型海底地震計による海底地震観測を11月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して行った。また、長期観測型海底地震計6台を5月に設置して20年5月までの予定で連続海底地震観測を実施している。また、気象庁と共同して、短期観測型海底地震計を用いた地震観測を6～9月の間実施した。この観測は、6月にいったん機材を入れ替えることにより、約6ヶ月間にわたりほぼ連続して行った。

2005年8月16日に発生した宮城県沖の地震(M7.2)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三次元速度構造を用いて併合処理することにより、震源位置及び発震機構解を詳細に推定した。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。

(c) 業務の成果

1) 時間依存逆解析手法の改良と適用

一昨年度に実施した2005年の宮城県沖の地震並びに、昨年度行った2007年12月25日の宮城県沖での地震それぞれに伴う余効すべりの解析にはYagi and Kikuchi (2003)によって定式化された時間依存逆解析手法を用いていたが、この手法においては準静的すべりの時空間変化を、時間方向及び空間方向それぞれに対してあらかじめ形状を定めた基底関数を用いて表現するため、時間区間の区切り方が時間方向の基底関数の選択に依存してしまう。そのため、ある時間区間の中ですべり速度が急変したり、あらたな準静的すべりイベントが発生したりした場合、すべりの時空間発展を正確に表現することができない。図1に、一昨年度の報告に含めた2005年8月16日の宮城県沖地震に伴うプレート間すべりの時空間発展のスナップショットを示す。本震直後と12月2日の最大余震直後の大きなす

べりとその減衰並びに伝播が観察できる。観測データとの比較を時系列で示したのが図 2 である。これらを見ると、特に 2006 年 4 月以降は、観測データのばらつき程度の大きさの短期トレンドを拾ってしまっていて、それがすべり分布の推定精度を下げていることが分かる。本来ならばすべりのほとんどない時期は時間区間を長く取って、長期間のデータから得られるトレンドを説明するようにプレート境界すべりを推定すべきであるのに対して、あらかじめ決められた長さの基底関数を用いているゆえに時間の区切り方が固定されているために（ここでは 15 日ごと）、短期的なゆらぎに過度に追随するような推定結果となってしまっている。一方、時間区間を長く区切れれば、本震並びに最大余震直後の、プレート間すべり速度の大きな変化の推定がうまくいなくなる。

そこで、この点を改善するため、時間方向の基底関数の形状が時間区間の区切り方に応じて変化するようにし、時間区間の区切り方を、観測された変位時系列データに基づいて推定するような手法を考案した。具体的には、時間区間の区切り方を記述する関数を定義し、この関数の形状と、その際のすべりの時空間分布を推定するのに必要な拘束条件の重みを支配するハイパーパラメーターを、ABIC（赤池のベイジアン情報基準量）に基づいて決定する。ABIC が最小となる場合が最適解を与える。ABIC の最小化は、時間区間の区切り方を記述する関数並びにハイパーパラメーターに関して、探索をすべての場合について行なうと試行回数が膨大なものになる。そこで、探索を効率的に行なうため、遺伝的アルゴリズム（GA）を導入した。

手法及び数値計算コードの妥当性を評価するため、以下のような数値計算テストを行なった。宮城県沖のプレート境界面上に仮想的な準静的すべりイベントを発生させ、これによる地表 GPS 観測点における変位時系列を計算し、乱数を用いて観測誤差を加えて擬似観測データを生成する。この擬似観測データに対して逆解析手法の数値計算コードを適用して、プレート境界面上の準静的すべりの時空間発展を推定し、与えたすべりの分布との比較を行なう。解析対象領域を図 3 に示す。すべりを評価するプレート境界面上のグリッドの間隔は 20km。図 3 に黒丸で示した 9 点の陸上 GPS 観測点を用いた。

十五日間の擬似観測データを生成した。最初の五日間と最後の五日間にはすべりが生じていないことを仮定し、間の五日間でモーメントマグニチュード 6.8 相当の積算すべり量に達する速度のすべりを北から四番目、西から四番目のグリッドを中心とした周囲 9 グリッドに与えて地表での変位時系列を作成した。平均 0、標準偏差 σ の正規分布に従う乱数を用いて観測誤差に相当する誤差を加え、擬似観測データとした。水平成分に対しては誤差が大きい場合として $\sigma=4\text{mm}$ 、小さい場合として $\sigma=1\text{mm}$ 、上下成分に対しては誤差が大きい場合として $\sigma=10\text{mm}$ 、小さい場合として $\sigma=2.5\text{mm}$ と、二通りの擬似観測データを作成し、それぞれについて解析を行った。

解析結果を図 4 から 7 に示す。図 4、5 は誤差の小さい場合、図 6、7 は誤差の大きい場合について、それぞれ求めたすべりの時空間分布と与えたすべりの時空間分布（図 4、6）、作成された擬似観測データと想定されるトレンド並びに推定結果から得られた変位時系列（図 5、7）を示している。図 4 を見ると、空間的なスムージングの影響ですべり速度の大きさは過小評価されているものの、位置はほぼ正確に、すべりの立ち上がり時刻は正確にもとまったことがわかる。図 5 を見ても、与えたすべりから想定されるトレンド（薄い赤線）と、推定されたすべりの時空間発展から得られる時系列（黒線）とがよく一致してい

ることが分かる。一方、誤差を大きくして擬似観測データを生成した場合、すべりの位置はやや沖側によっているものの、ほぼ正確に求まった（図 6）。また、6 日目の、プレート境界すべりを与えた期間の始まりは正確に推定された。11 日目から 16 日目までのすべりが仮定されていない期間の正確な区分けには失敗したものの、有意な大きさのすべりは推定されておらず、概ね正しくすべり速度の時間発展を再現できている。図 7 からは、観測データのばらつきが大きい中でも、推定されたすべりから求まる変位時系列が、与えたすべりから計算されるものとよく一致していることが見て取れる。

また、GA の諸設定（世代数や個体数、突然変異の発生率、交叉法の選択など）については未だ検討の余地があるものの、今回行なった数値計算テストにおいては、収束性は十分であった。誤差を小さくした場合の結果を図 8 に、誤差を大きくした場合の結果を図 9 にそれぞれ示す。誤差の大小、交叉法の違いがあっても、いずれも世代の中で最小となる ABIC が 20 世代ほどで収束しているのがわかる。

数値計算テストの結果、手法及び数値計算コードの妥当性が確認された。実際の観測データへ適用するのが次の課題である。

2) 2008 年岩手・宮城内陸地震の余効変動解析

2008 年 6 月 14 日に 2008 年岩手・宮城内陸地震 (M7.2) が発生した（図 10 参照）。この地震そのものによる想定宮城県沖地震の震源域への影響は小さいと考えられるものの、多くの陸上 GPS 観測点において、本震時のステップ的な変動に続いて余効変動によるものと思われる座標変化が記録された。いくつかの観測点の変位時系列を図 11 に示す。震源から遠い 0036 や 0176 では余効変動によるものと思われる変位は小さいものの、0796 や 0174 といった点ではある程度大きな変位が生じていることが分かる。このように、内陸部の観測点においては長期的なトレンドを推定する際に考慮しなければならない程度には大きな変動が地震発生後生じている。一方、プレート間カップリング、特に東北日本下深部でのカップリングを推定するに際しては、内陸部の観測点における変位データが大きな影響を及ぼすため、岩手・宮城内陸地震の余効変動の適切なモデルを構築し、この地震による変動を取り除く必要がある。そこで、GPS 連続観測データをもとに、従来使っていたものと同じ時間依存逆解析手法を用いて、この地震の余効変動の解析を行った。

時間依存逆解析を変位時系列データに適用するには、すべりを推定する対象となる断層面を適切に設定しなければならない。本震震源断層を余震分布や地震時の変位から推定し、これの上での余効すべりを求めるのが一般的であるが、この地震に関しては、本震時には変動がなかった出店断層の浅部において準静的すべりが発生していることを示唆する変位時系列データが得られたため、Ohta et al. (2008) により推定された本震震源断層面以外に出店断層に相当する面を一枚仮定して解析を行った。図 12 に出店断層を横切る 6 つの周観測点（図 10 で観測点コードが付されている観測点）における東西成分の変位時系列を示す。地震時のステップ状の変位と、それに続く余効変動とが見て取れるが、中央の二つの観測点 (0WKY と 0796) においては本震時と余効変動とで変位の方向が逆転していることが分かる。本震時には、0796 よりも東側の点は西向きに、HMY0 よりも西側の点は東向きに動いており、0796 と HMY0 の間に震源断層が来ていることが予想されるのに対して、余効変動に関しては NTST よりも東の観測点は西へ、0WKY よりも西の観測点は東へ動いており、

NTST と OWKY の間にある断層において準静的すべりが発生していたことを示唆している。一方、NTST と OWKY の間には活断層帯である北上低地西縁断層帯の南端を占める出店断層の地表トレースが走っており（図 10）、この断層面上における準静的滑りが本震の発生により励起されたと考えるならば、観測データの説明がつく。以上の議論に基づき、出店断層を模した断層面を本震震源断層に追加して、時間依存逆解析を行った。また、本震時に出店断層が動いていないことを確認するために、地震時変動に関しても二枚の断層を配置したモデルを用いての再解析をおこなった。

図 13 に結果を示す。本震時のすべり分布と、余効すべりの四週間分の積算値を表示してある。余効すべり積算値分布には本震時すべり分布を青の等値線で重ねて示している。図を見ると

a) 本震時に出店断層はすべっていないこと

b) 本震震源断層面において、地震時すべりと余効すべりが生じている箇所が異なること

c) 出店断層において、深さは 4km 前後の領域で地震後に準静的すべりが発生したこと

などの特徴がよく分かる。これらは、本震を起こした内陸の活断層においても、不安定すべりを起こす領域（アスペリティ）と安定すべりを起こす領域（非アスペリティ）とが、その物理的性質に応じて住み分けていること、すなわち、宮城県沖地震などのプレート境界型地震のモデルとして受け入れられつつあるアスペリティモデルが、内陸地震に関しても成立することを示している。また、非アスペリティにおいては今回出店断層で生じたような準静的すべりが、他の地震や火山活動等に励起されて生じうることも示唆している。さらに、今回出店断層上で準静的すべりを起こした領域は、通常地震発生層とみなされる深さにあり、地震発生層内において断層面の固着は一樣ではなく、強く固着したアスペリティに相当する領域が、今回すべった領域の外に存在することが予想される。このことは、活断層の活動度評価に際して、従来行なわれてきたように、単純に断層の長さや平均的な変位量から発生しうる地震の規模を見積もると、過大評価が起こりうることを示している。

3) 相似地震モニタリング

相似地震活動に基づくプレート間すべりのモニタリングを昨年度までに引き続き継続した。図 14 に 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震前後のプレート境界でのバックスリップ分布を示す。下段の GPS データから求めたものは昨年度報告したものと同一である。上段は、プレートの相対運動速度を 8.5cm/yr で一樣と仮定し、相似地震活動から推定されたプレート間すべりレートを差し引いて推定した。上段で灰色部分は、相似地震が発生していないため、バックスリップ分布が推定されていない部分を示す。固着が非常に強いと推定される海溝と低角逆断層型地震の西縁（黒破線）の中間付近の一部の領域においては相似地震が発生していないため、そこでのバックスリップは推定できないが、その周辺においては両者は概ね同じような傾向を持つ分布が得られた。2005 年の地震後、2006 年一年間分のバックスリップ分布において、それ以前と比べて本震震源周辺並びにその深部での固着が弱まり、バックスリップが小さくなっている様子が分かる。右列には 2008 年一年間分のものを示しているが、GPS データの解析は 2008 年岩手・宮城内陸地震の余効変動の除去後のデータを用いての解析が終了しておらず、未だ最終的な結果が得られていないので割愛した。一方、相似地震から求められたのを見ると、2008 年には宮城県沖南部から福島県

沖にかけての地域においてバックスリップが小さくなっている領域がいくつか見られる。これについて以下に詳述する。

図 15 は、2008 年一年間に東北日本下のプレート境界において発生した相似地震の分布を示したものである。相似地震の判定基準としては、震央間距離 40km 以内の過去の地震と波形を比較し、P・S 波を含む 40 秒間で 1-8Hz の平均のコヒーレンスが 0.95 以上となるものを相似地震とみなすこととした。2008 年は、前年に比べ相似地震活動が活発で、約 1.5 倍の数の相似地震が発生した。そのなかでも、解析期間中に、M7.0 (5月8日、茨城県沖) および 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特に活動が活発であった。このうち福島県沖の地震は、2003 年に宮城県沖で発生した M6.8 の地震に隣接した場所で発生した。

これらの地震(5月8日の茨城県沖の M7.0 の地震と 7月19日の福島県沖の M6.9 の地震)の発生時で区切った、プレート間の準静的すべりのすべりレート分布を図 16 に示す。準静的すべり速度は、5月8日の茨城県沖の地震の前の期間は、その震央(南側の赤星)の北で比較的大きい(図 16a)。5月8日の地震後、その震央の up-dip 側と down-dip 側で速いすべりが見られる(図 16b)。これは余効すべりと考えられる。7月19日の福島県沖の地震(北側の赤星)の発生後は、その up-dip 側で主にすべりの加速が見られる(図 16c)。down-dip 側でのすべりが少ないのは、宮城県沖の陸よりの場所での固着が強いことと関連している可能性がある。すべての期間について、すべりが加速した場所を見ると、宮城県沖南部から茨城県沖にかけての海溝寄りの領域の広い領域が、2008 年の初めから 10 ヶ月ほどの期間で順々にすべったように見える。

2008 年 7 月 19 日の福島県沖の地震 (M6.9) 前後について、相似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 17, 青線)と太平洋沿岸の KNK 観測点と MH2 観測点(図 17a)でのひずみ変化(図 17b, 赤線, Mishina et al., 2009)を比較した。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、相似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。相似地震データに基づき余効すべりが発生した領域、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。地震時の変化は地震時すべりのモデルによる推定と観測値がよくあっており、ひずみ計データの信頼性が確かめられた。一方、相似地震により推定した余効すべりは、実際の 1/4 程度に過少評価されている可能性があることがわかった(表 1)。今後このような比較事例を増やすことで、相似地震のスケーリング則の高度化が期待される。

4) 繰り返し海底地震観測および海底圧力観測

図 1 に、本年度実施した海底地震観測の観測点配置を示す。今年度の観測は、観測点の配置が異なる次の 5 期に分けられる。

第一期 (I) : 平成 19 年 12 月 11 日～平成 20 年 4 月 30 日

第一期 (II) : 平成 19 年 5 月 1 日～平成 20 年 5 月 12 日

第二期 : 平成 20 年 5 月 13 日～6 月 2 日

第三期 : 平成 20 年 6 月 3 日～10 月 31 日

第四期 : 平成 20 年 11 月 11 日～

第一期では、本業務で昨年 4 月および 12 月に設置した長期観測型海底地震計 10 台で地

震観測が行われた（図 18a）。4月に設置した5台については収録期間が4月30日までであり気象庁観測船「高風丸」にて回収した（第一期（II））。よって、第二期までの期間は昨年12月に設置した5台による観測であった（図 18b）。

第二期は、5月に海洋研究開発機構深海調査船「よこすか」により長期観測型海底地震計を6観測点に設置した（図 18c）。

第三期は、気象庁と共同で行った観測期間であり、5月に気象庁観測船「高風丸」により6観測点に短期観測型海底地震計を設置した（図 18d）。ただし、7月22日12:00から8月1日0:00までの期間は、5月に設置した短期観測型海底地震計の入れ換え作業を「高風丸」にて行ったため、短期型海底地震計による観測は行っていない。

第四期は、株式会社オフショア・オペレーションの調査船「第十二海工丸」にて5台の長期観測型海底地震計の回収、6台の短期型海底地震計の回収 および9台の長期観測型海底地震計を設置した（図 18e）。

これらの海底地震観測のデータの処理は第三期までが終了している。

海底上下地殻変動を観測する目的で、11月に株式会社オフショア・オペレーションの調査船「第十二海工丸宮城沖に海底圧力計5台を設置した（図 18f）。本年度設置した圧力計は平成21年9月頃に回収する予定である。

5) 宮城県沖地震震源域の地震活動と応力場推定

Yamamoto et al. (2008)の三次元速度構造（昨年度報告したもの）を用いて震源再決定を行った。結果を図19、20に示す。三次元速度構造を導入したことによって、プレート境界に面的に集中するようなもっともらしい震源分布になった。例外である、Gの領域（図20c）で上側にずれている相似地震はバースト型の活動をしめしており、プレート境界での地震ではない可能性がある。図20(b)に示したAからDの領域では特に相似地震の発生位置とプレート境界面が一致していることがよくわかる。一方で、F（図20c）の領域で下側にずれている相似地震のずれ幅程度の誤差がプレート境界の推定にあると考えられる。

図22に2005年宮城県沖の地震(M7.2)近傍の震源分布を示す。速度構造を一次元から三次元のものに変えたため、以前に報告したものより海側に震央が動く結果となったが、深さについてはほとんど変化が無かった。いくつかのクラスター状の活動が見られる。1) 2005年の地震の破壊域（青いひょうたん型）の北側におもに存在するプレート境界上面付近の活動（図21で水色の線で囲まれたもの、2005年の8、9月に多く地震が発生した）。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、プレート境界より浅部に位置するもの（図21で緑色の線で囲まれたもの）3) 平面図で見て前述の活動域と直交するように分布するプレート境界で発生しているもの（図21で赤線で囲まれたもの）。図22、23にこれらの地震のメカニズム解を示す。上に挙げた1)及び2)のクラスターにおいては非プレート境界型の地震が多いこと、三番目のクラスターではプレート境界型の地震が多いことが分かる。これらの地震についてP軸及びT軸の分布を詳細に見たものが図24、25である。図23にプレート境界型、図25に非プレート境界型地震それぞれのP軸及びT軸の分布を示した。プレート境界型地震に関しては、軸の方向は、プレート境界地震の発生メカニズムと調和的である。一方、非プレート境界型地震についてみると、プレート境界よりも浅部については、プレート沈み込み方向に平行なP軸（図26a）

及びプレート沈み込み方向に直交する T 軸 (図 25b) が顕著である。プレート境界よりも深部では P 軸は浅部と同様にプレート沈み込み方向に平行 (図 25c) だが、T 軸の向きは異なり、プレート境界に対して平行な方向を向く (図 25d)。

推定したメカニズム解を用いて応力テンソルインバージョンを行なった。プレート境界よりも浅いもの、深いものを含め全てを用いて得られた結果を図 26 に示す。最大主応力軸がプレートの沈み込み方向と平行になっており、この領域ではプレートの沈み込みが応力場に対して支配的であることが分かる。これが宮城県沖での平均的な応力場を示しているものとして、各地震の残差を求めた。図 27 に結果を示す。本震時のすべり域東端付近で残差が大きくなっていることが分かる。これは、この領域での地震時すべりが大きかったために、平均的な応力場からの大きなずれが生じているためと考えられる。また、深さ方向の残差の変化を見てみると、プレート境界をはさんで残差の大きさに違いが見られる (図 28)。図ではプレート境界からの距離ごとに区間分けを行い、各区間で残差が最小のものと最大のを平均とともに表示してある。平均と最小のものでは明らかにプレート境界よりも浅い側で残差が大きくなっているのが分かる。これは、プレート境界をはさんで応力場が異なることを示唆している。そこで、プレート境界よりも浅い地震のみ、また深い地震のみを用いて、それぞれに対して応力テンソルインバージョンを行なった。結果を図 29 に示す。これをみると、最小主応力軸が入れ替わっており、プレート境界において応力場が不連続になっていることを示している。このことから、本研究で解析を行った期間については、宮城県沖におけるプレート境界での固着が弱かった可能性が示された。

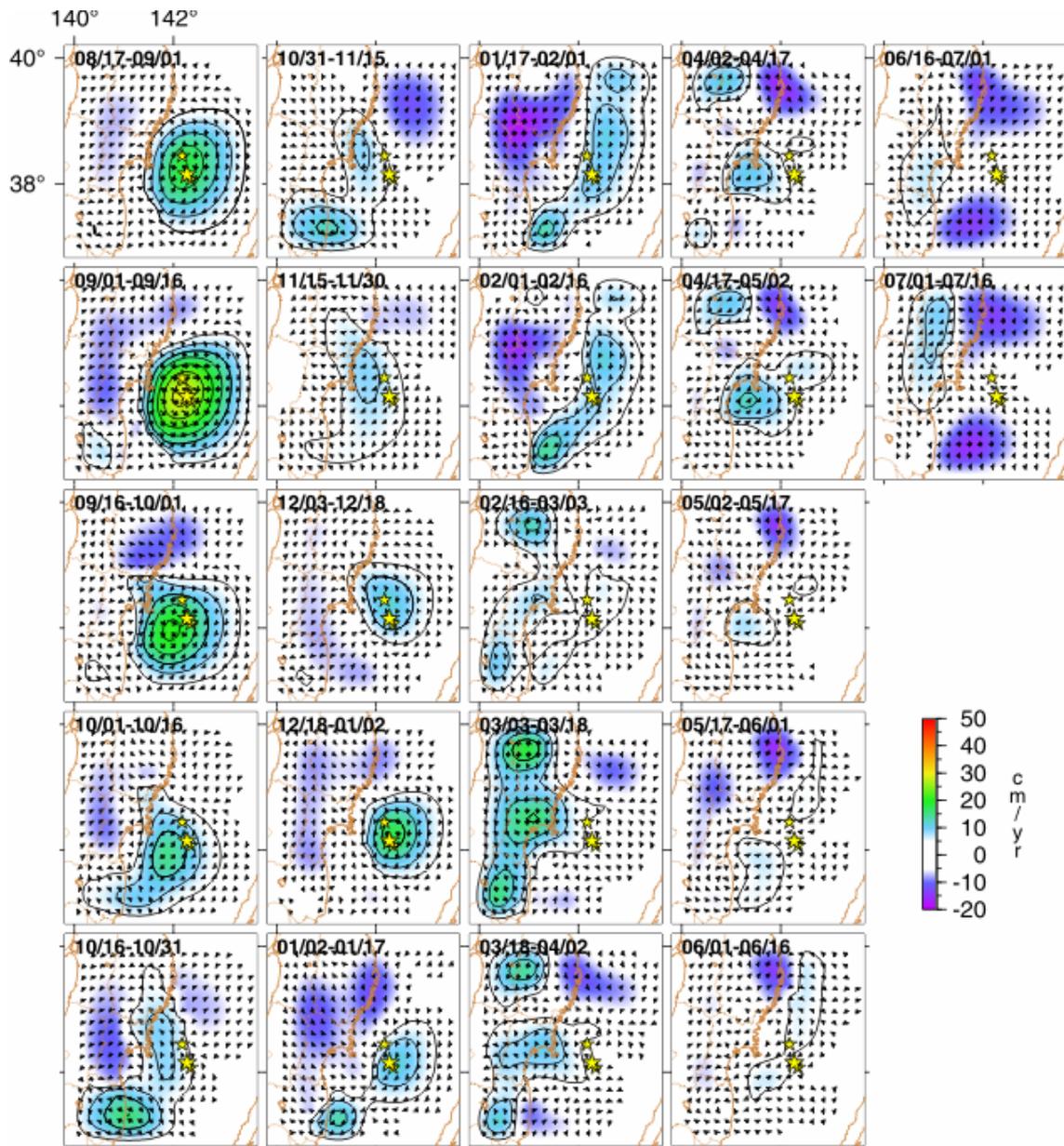


図1 GPS連続記録インバージョンによって推定された、2005年8月16日の宮城県沖の地震に伴うプレート境界面上のすべりの時空間発展のスナップショット（15日毎の変化分）。コンター間隔は5cm/yr。大きな星印は本震の、小さな星印のうち南側のは最大余震の、北側のはM6.1の余震の震央を示す。一昨年度の報告書の図12(a)と同じもの。

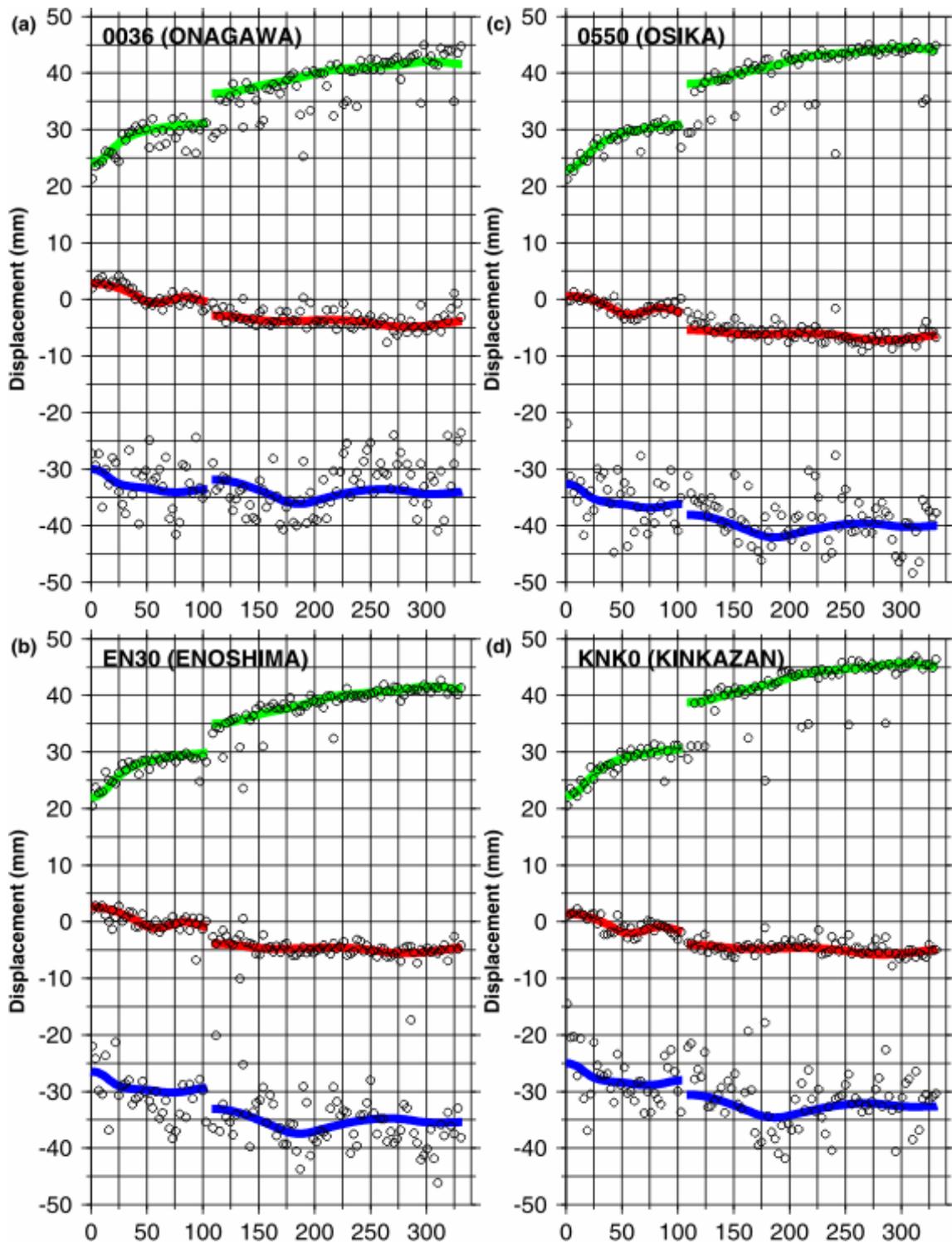


図2 GPS連続観測点における2005年8月16日の宮城県沖の地震後の局位置変化(白丸)と推定されたプレート間すべり分布(図1)から計算された変位。上から東(緑)、北(赤)上(青)方向の変位を示す。横軸は2005年8月17日からの日数。観測値は三日毎の平均で示してある。(a)女川、(b)江ノ島、(c)牡鹿、(d)金華山。

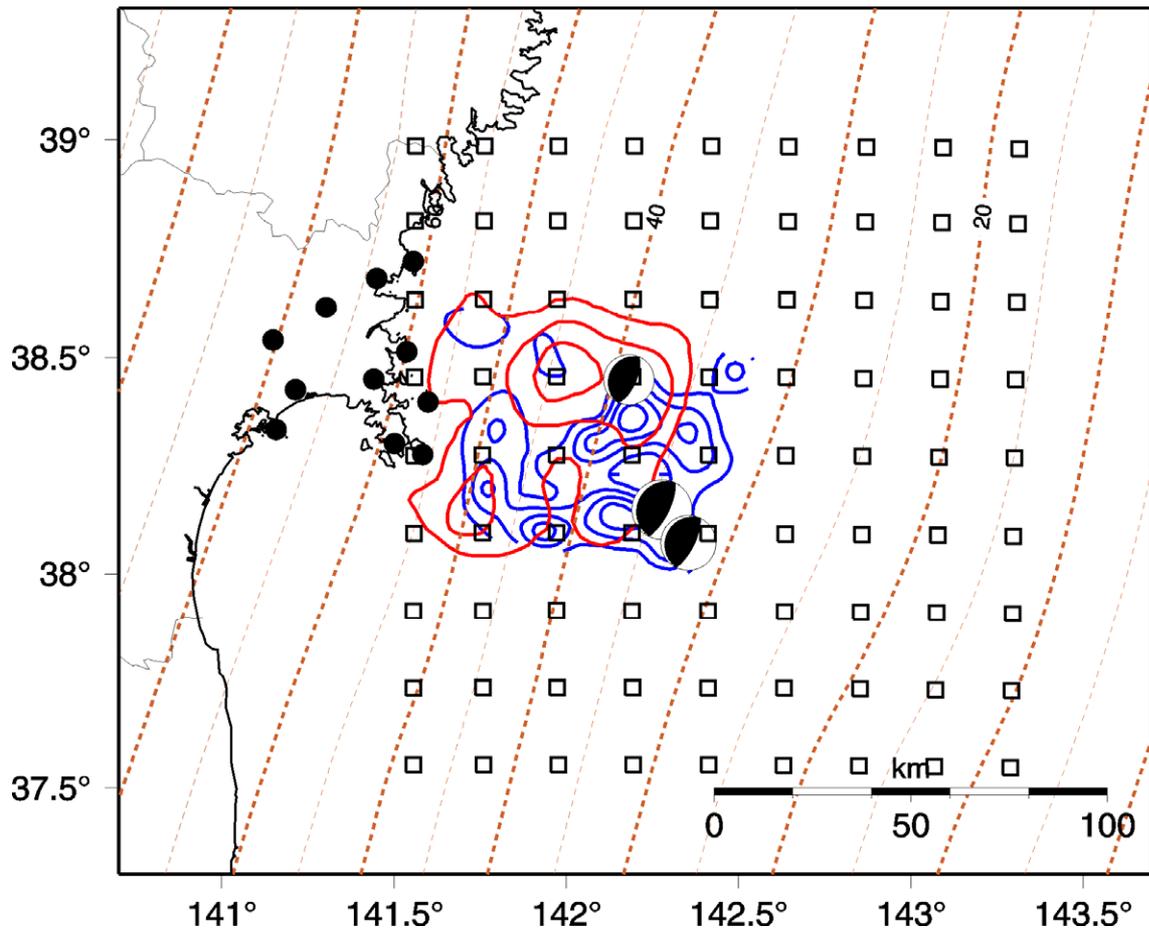


図3 数値計算テストに用いたグリッド（白抜き四角・20km間隔）及び観測点（黒丸）の配置。茶色の点線はグリッドの置かれているプレート境界面の等深線。赤及び青の実線は、Yanakama and Kikuchi (2004)及びYaginuma et al. (2006)による、1978年宮城県沖地震のアスペリティを示す。大小の震源球は、北のものから順に2005年12月17日の余震(M6.1)、2005年8月16日の宮城県沖の地震本震(M7.2)、2005年12月2日に発生した最大余震(M6.6)の気象庁および防災科学技術研究所広帯域地震観測網(F-net)による震源位置とメカニズム解を表す。

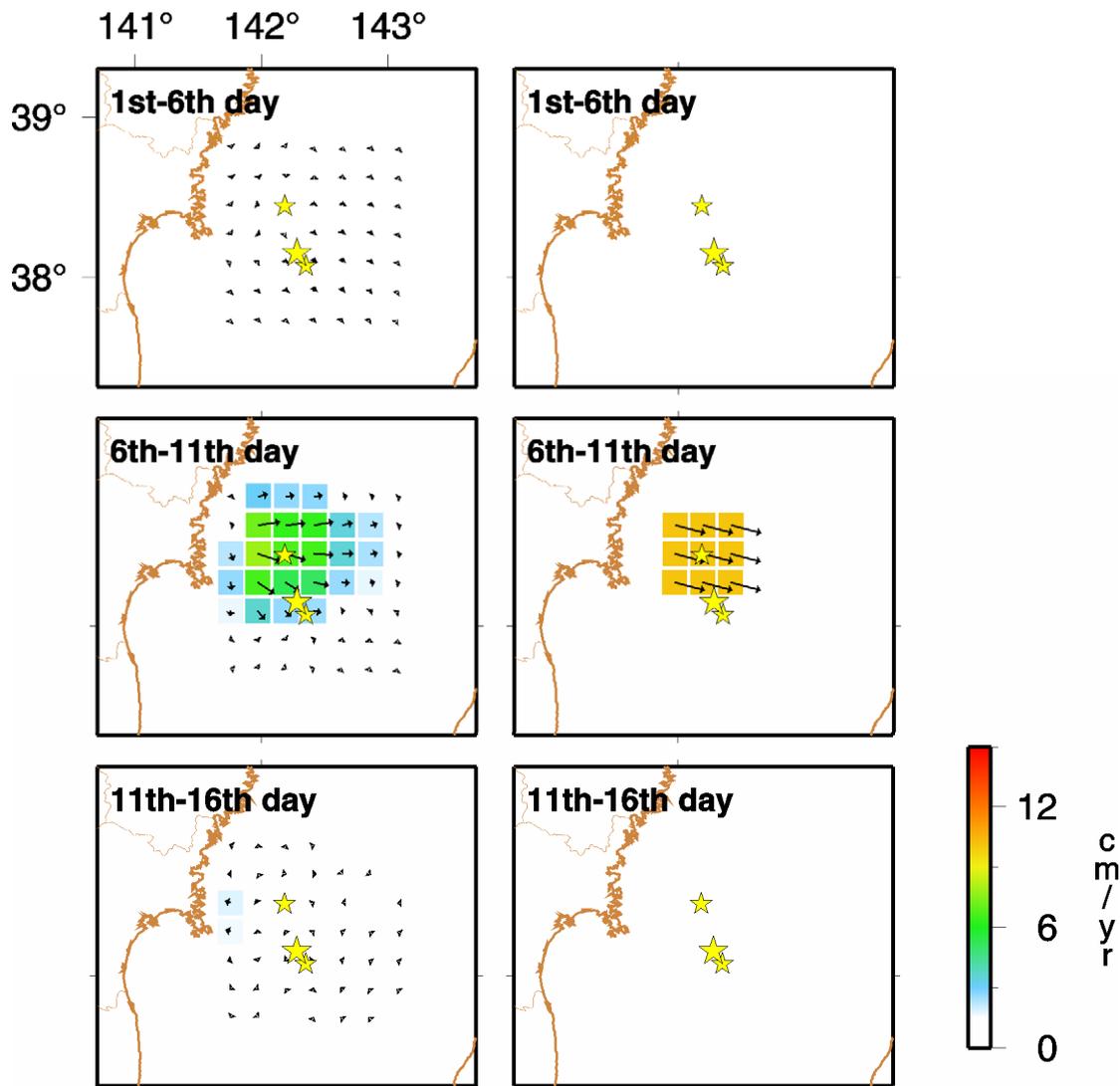


図 4 擬似観測データを作るために仮定したプレート境界面上でのすべり分布（右）と、擬似観測データをもとに逆解析を行った結果もとまったプレート境界面上でのすべり分布（左）。擬似観測データを作る際に仮定した観測誤差が小さい（ 2σ で1mm）場合の結果を示す。大小の星印は2005年8月16日の宮城県沖の地震とそれに伴う余震の内の大きなものの震央を示す（図1参照）。

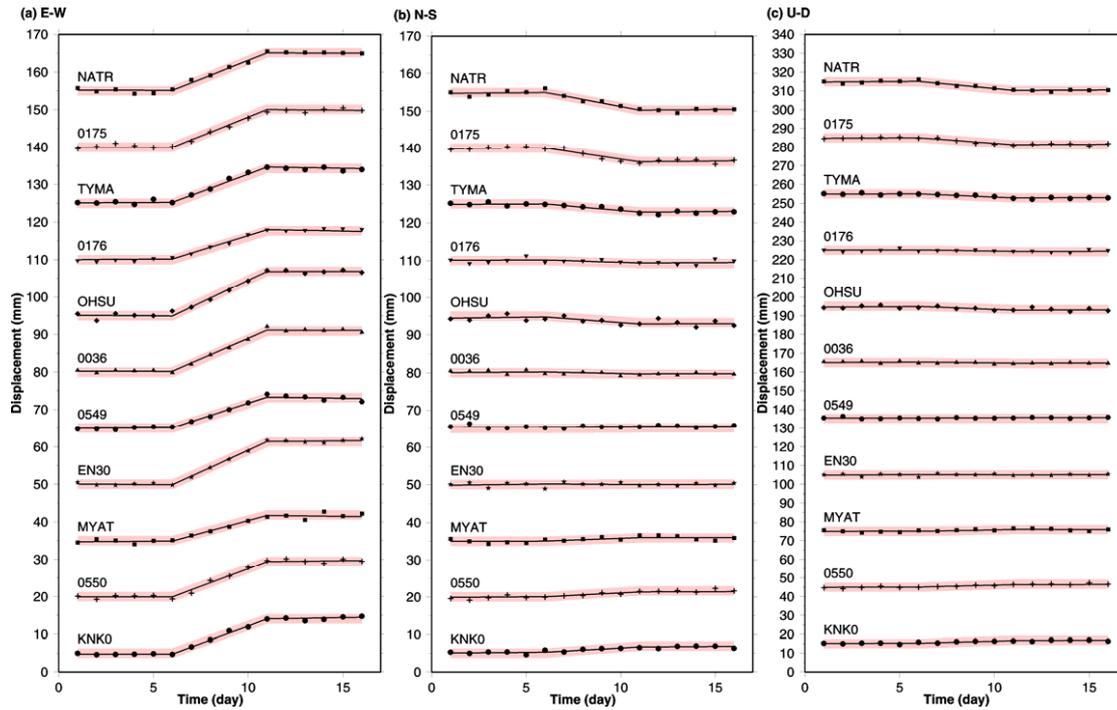


図5 図4に示した仮定したプレート境界でのすべりから作成した擬似観測データ（黒シンボル）とその元になったトレンド（薄い赤線）、並びに逆解析により求められたプレート境界でのすべりの時空間発展から期待される各観測点での変位時系列（黒線）。

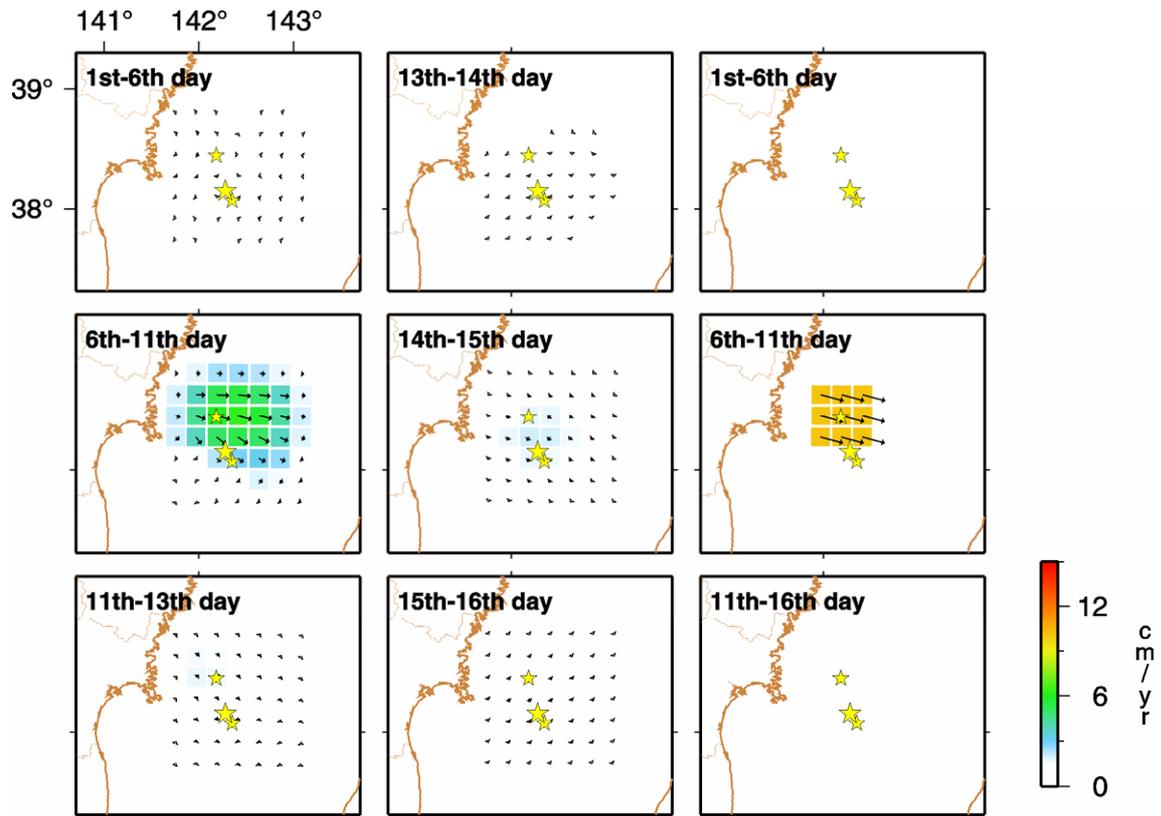


図 6 擬似観測データを作るために仮定したプレート境界面上でのすべり分布（右）と、擬似観測データをもとに逆解析を行った結果もとまったプレート境界面上でのすべり分布（左）。擬似観測データを作る際に仮定した観測誤差が大きい（ 2σ で 4mm）場合の結果を示す。大小の星印は 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震とそれに伴う余震の内の大きなものの震央を示す（図 1 参照）。

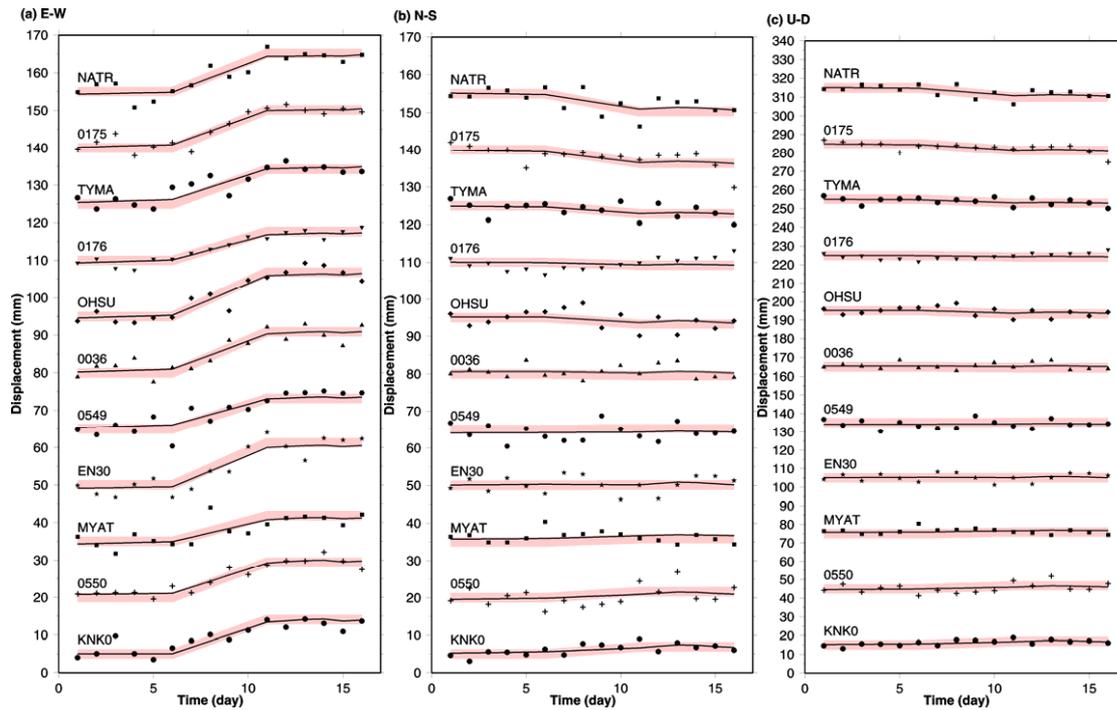


図7 図6に示した仮定したプレート境界でのすべりから作成した擬似観測データ（黒シンボル）とその元になったトレンド（薄い赤線）、並びに逆解析により求められたプレート境界でのすべりの時空間発展から期待される各観測点での変位時系列（黒線）。

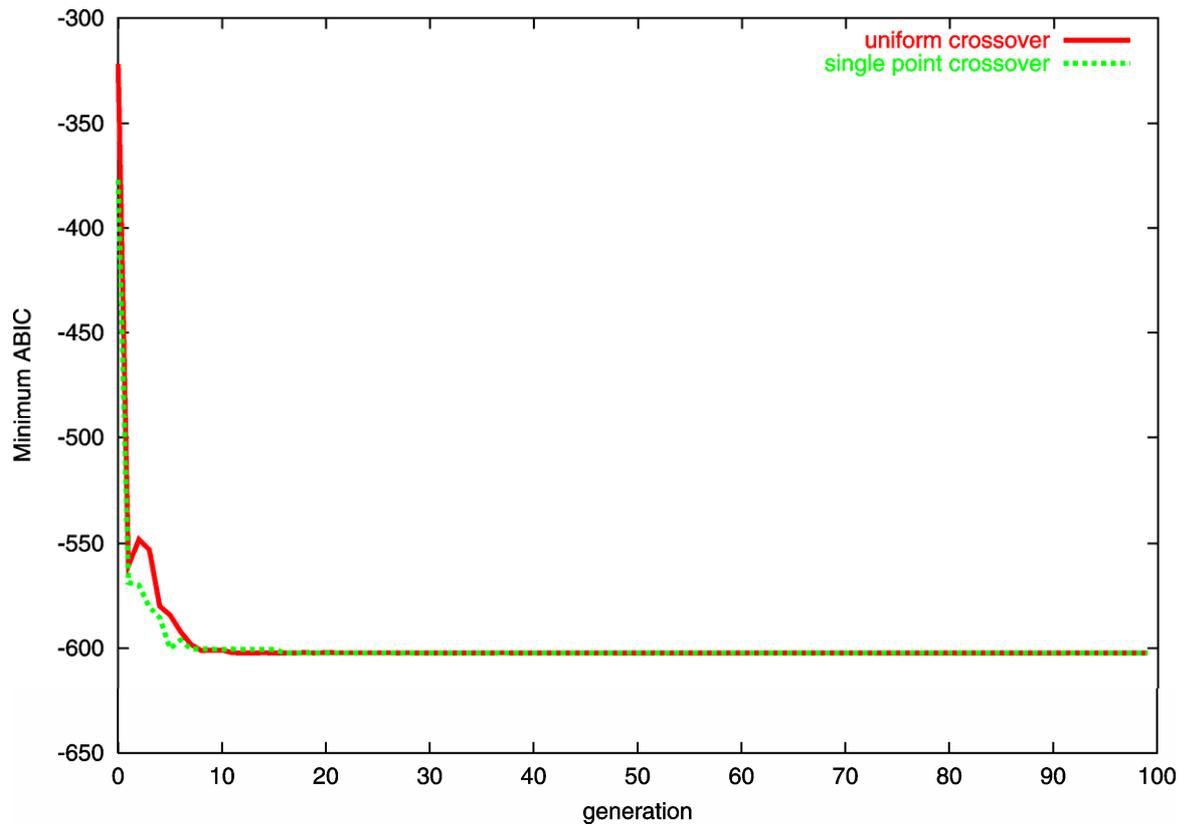


図8 ABICの世代に対する変化。横軸に世代数、縦軸にその世代の全ての個体のうちでABICが最小のもの、そのABICの値。赤線は交叉法として一様交叉法を、緑線は一点交叉法を用いて解析を行った場合の結果。観測誤差を小さくした場合について示す。

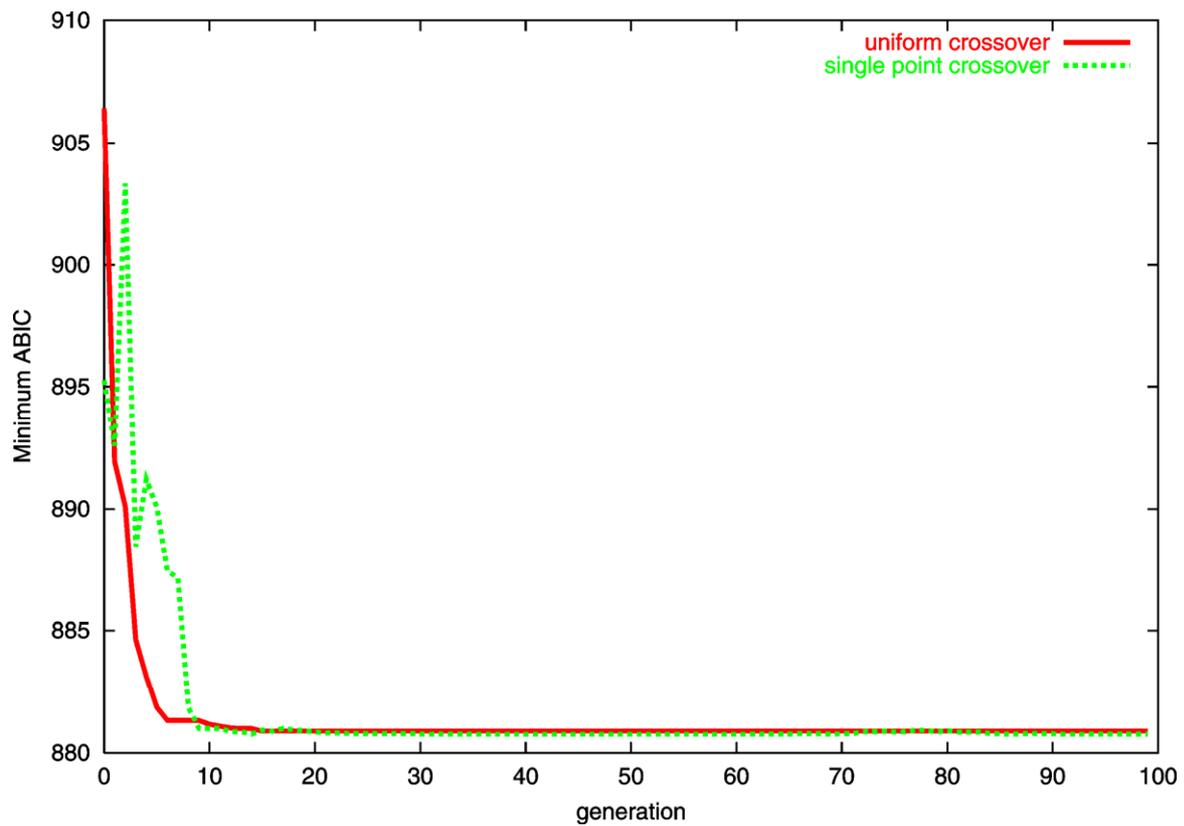


図9 ABICの世代に対する変化。横軸に世代数、縦軸にその世代の全ての個体のうちでABICが最小のもの、そのABICの値。赤線は交叉法として一様交叉法を、緑線は一点交叉法を用いて解析を行った場合の結果。観測誤差を大きくした場合について示す。

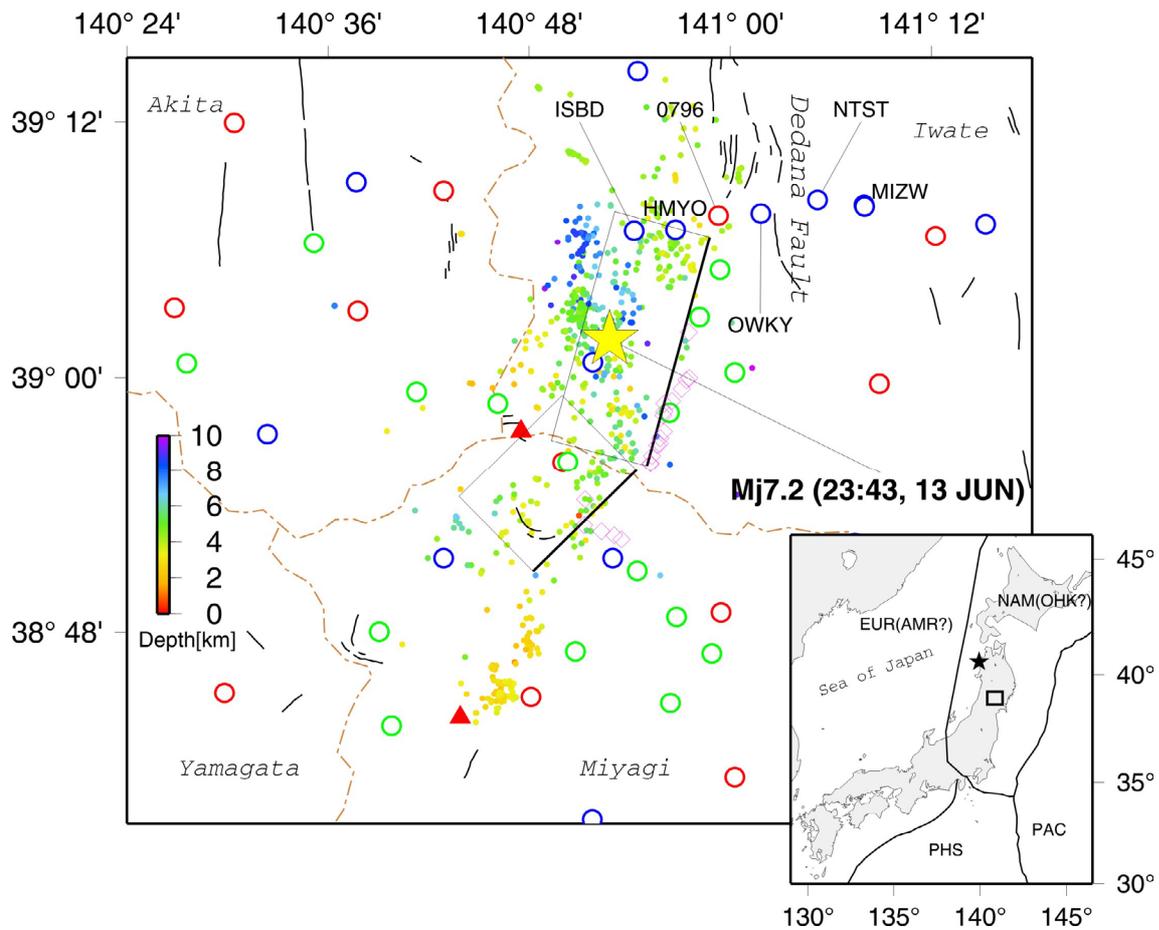


図 10 2008 年岩手・宮城内陸地震の震源域周辺の GPS 観測点配置図。白抜き丸で GPS 観測点の位置を示す。赤は国土地理院の GEONET、青は東北大学などの機関により地震発生前に設置されていた連続観測点、緑は地震発生後に GPS 大学連合の参加大学により設置された臨時連続観測点。黄色の星が本震震央、余震をその深さで色分けされた点で示す。余震分布は 2008 年岩手・宮城内陸地震緊急観測グループにより決定されたもの。赤の三角は活動的火山、黒の実線は活断層の地表トレース、また黒の矩形は Ohta et al. (2008) により求められた本震震源断層を表す。観測点コードの付記してある点における変位時系列を図 10 に示す。(右下) 日本列島全体との位置関係を示す。黒の星は一連の解析において固定点として取り扱った GEONET 岩崎 (950154) の観測点位置を示す。

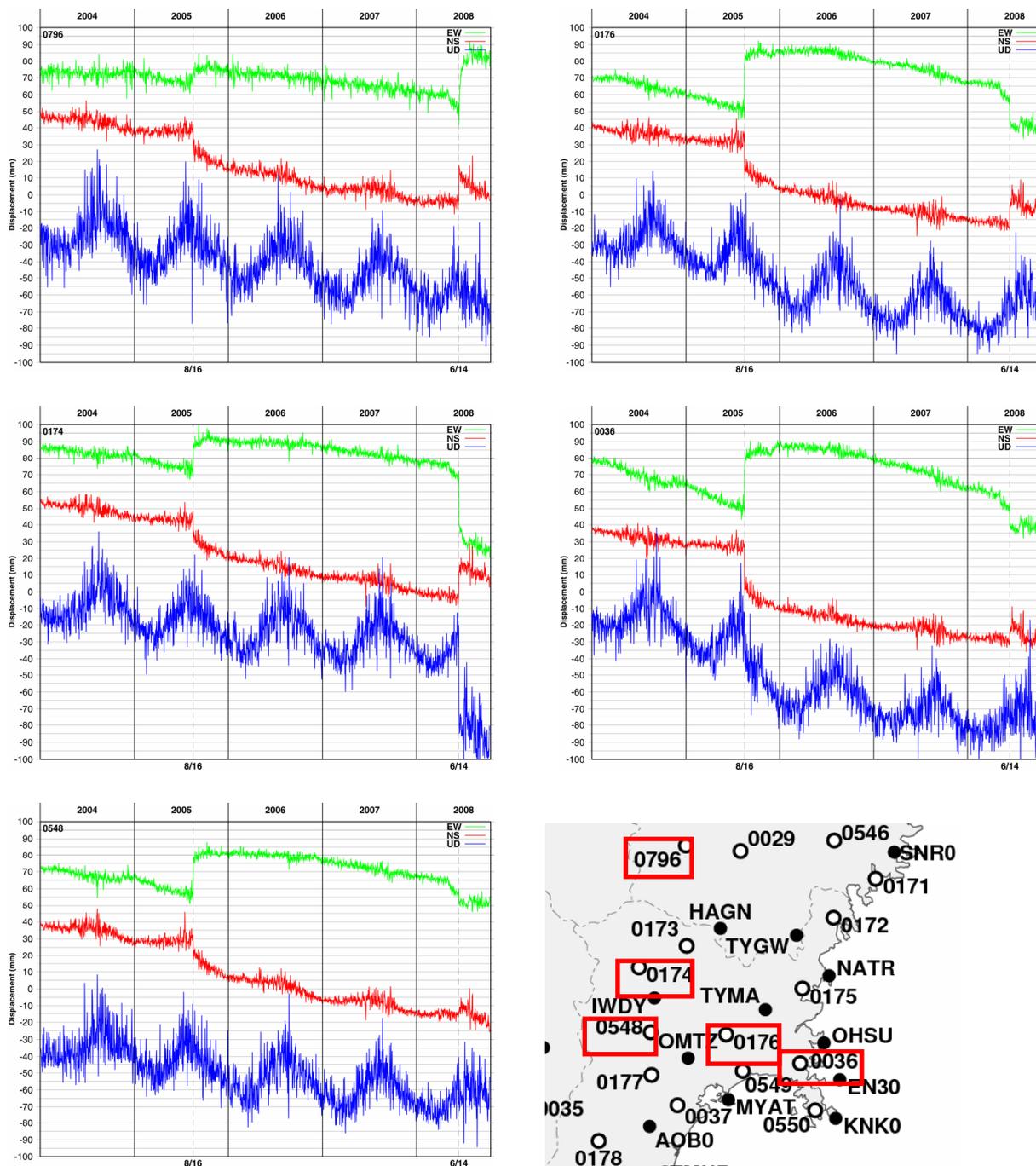


図 11 GPS データから得られた観測点の変位時系列の例。右下の地図上において赤枠で囲んだ観測点のものについて 2004 年から 2008 年 10 月半ばまでのものを示す。

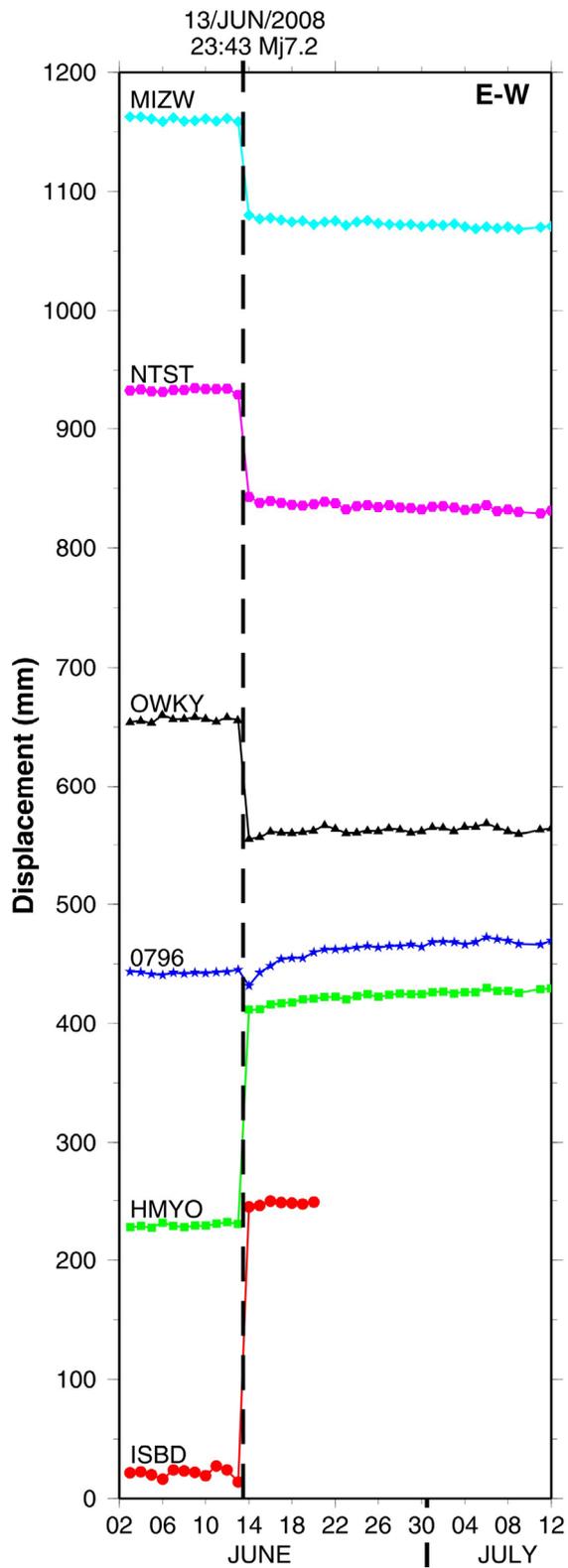


図 12 出店断層周辺の GPS 連続観測点における変位時系列。東西成分について、東側にある点を上に、各観測点間の距離に応じたオフセットを持たせて表示してある。縦の黒破線は本震発生時刻を示す。

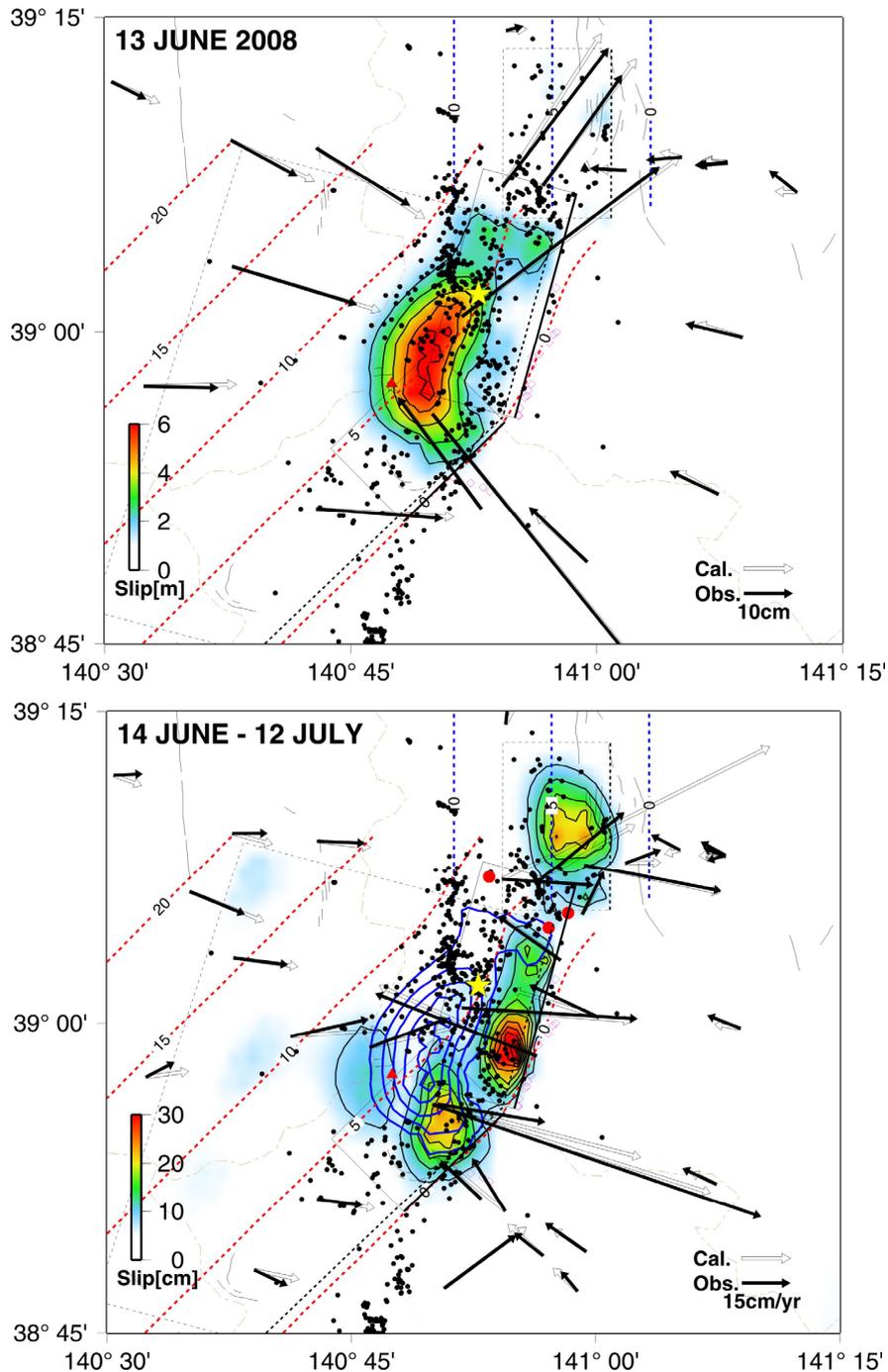


図 13 GPS データから推定された本震時のすべり（上）並びに余効すべり（下）の分布。それぞれ観測された変位並びに変位レートと、推定されたすべり分布から計算された変位並びに変位レートとをともに示している。赤と青の破線は仮定した断層面の等深線。黒の矩形は Ohta et al. (2008) により推定された本震震源断層。余震分布を黒の点で示す。赤の三角は活動的火山、赤丸は気象庁により観測された低周波地震の震央を示す。

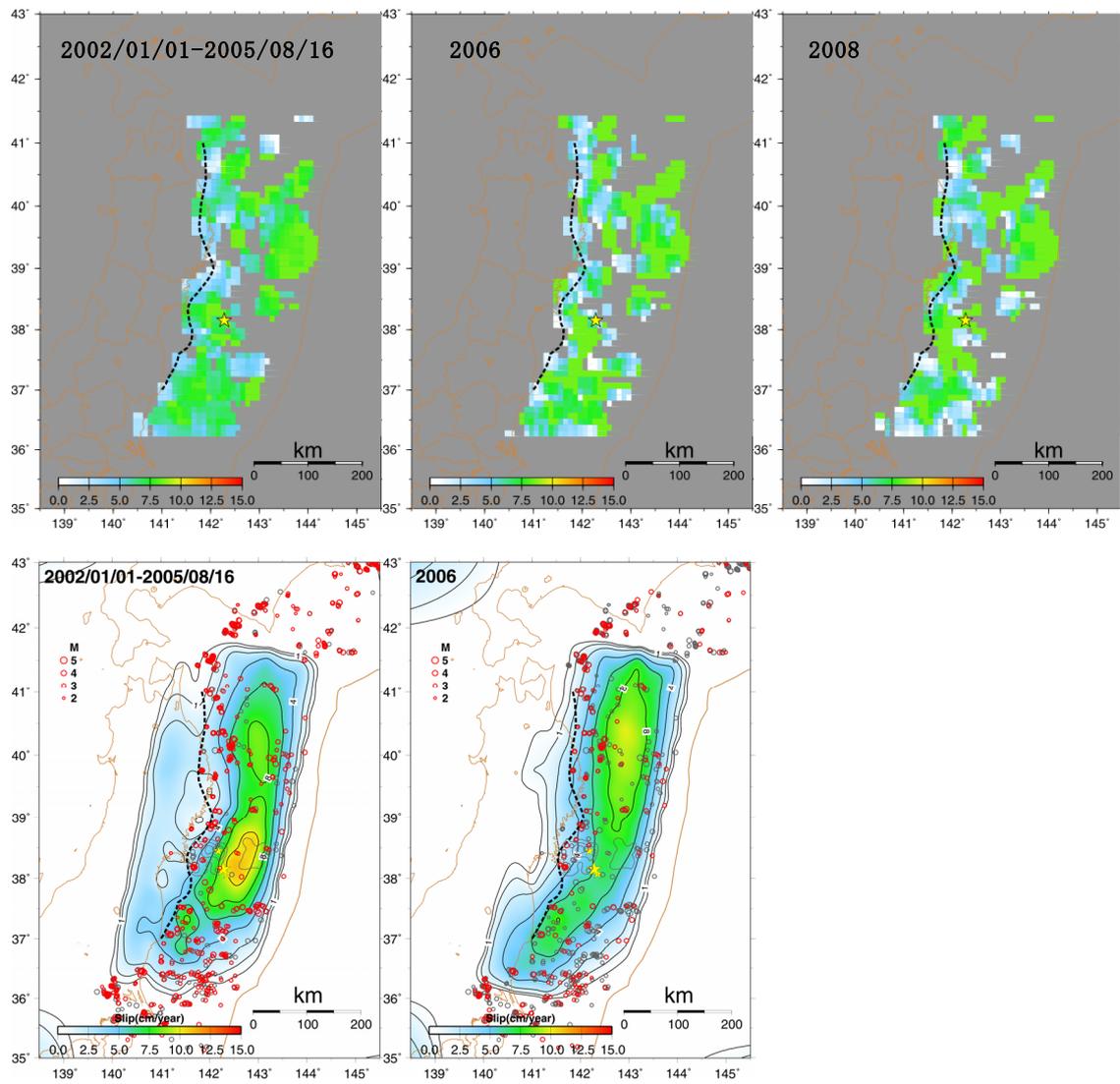


図 14 (上段) 相似地震活動により推定されたプレート間すべりレートから求めたバックスリップの分布。(下段)GPS 連続観測データから求めた変位速度から推定されたバックスリップの分布。小円は 2002 年から 2006 までに発生した小繰り返し地震の震源であり、それぞれの期間内に発生したものを赤、それ以外を灰色で示す。黒破線は Igarashi et al. (2001) による低角逆断層型地震の西縁を示す。(左列) 2002 年 1 月 1 日から 2005 年 8 月 16 日まで。(中列) 2006 年 1 月 1 日から 2006 年 12 月 31 日まで。

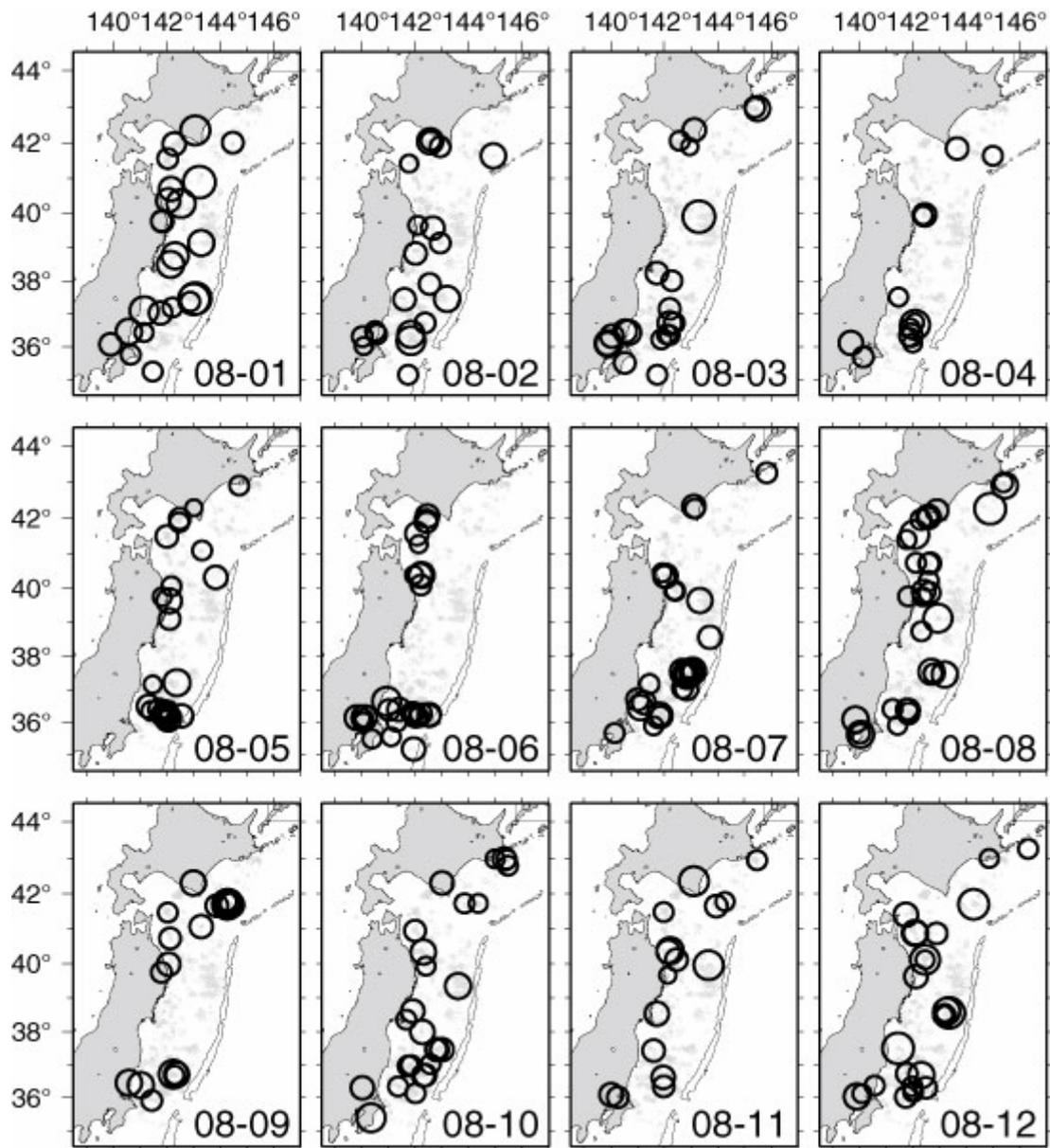


図 15 2008 年一年間に発生した相似地震の分布。1 月から 12 月まで月ごとに示す。

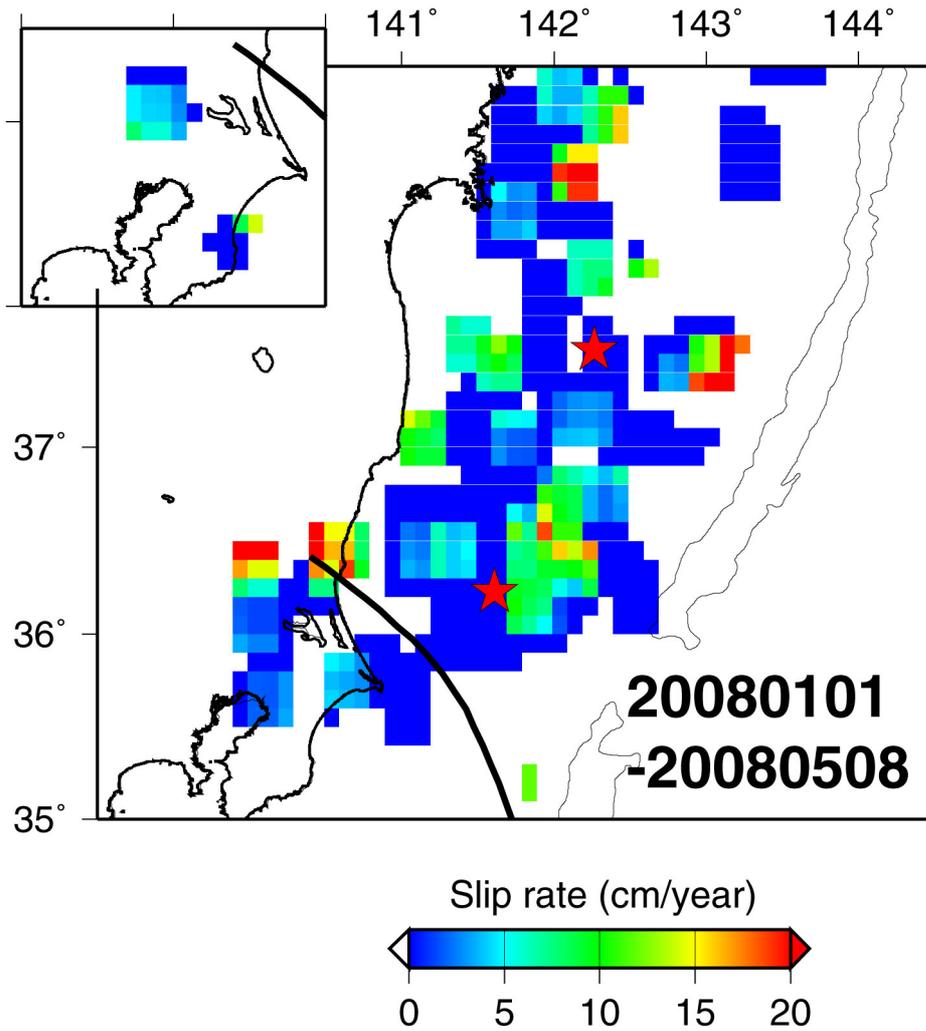


図 16(a) 相似地震活動から推定されたプレート境界面上での滑り速度分布。2008 年 1 月から 5 月 8 日の茨城県沖の地震までの期間について示す。赤星は 2008 年 5 月（南）および 7 月（北）の地震の震央，黒線はフィリピン海プレートの北東限，挿入図はフィリピン海プレート上部境界でのすべりレートを示す。

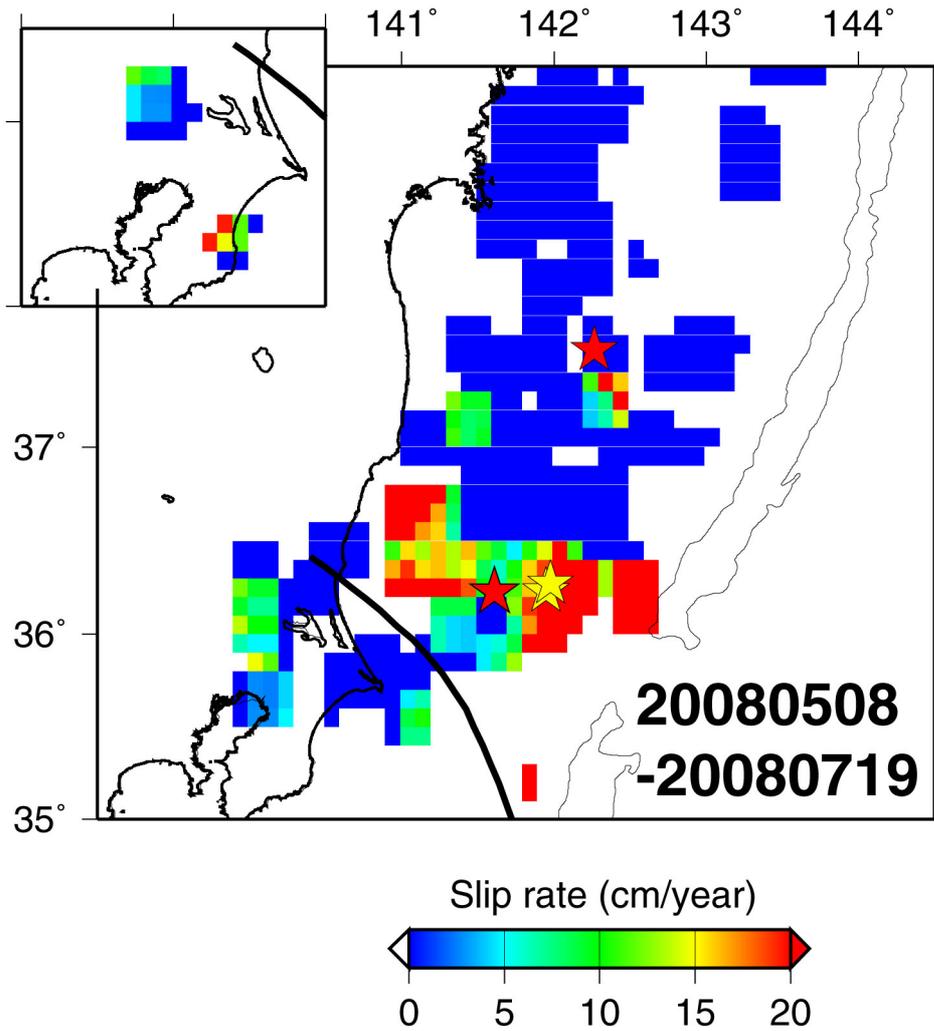


図 16(b) (a)と同様。ただし、2008年5月8日の茨城県沖の地震後、7月19日の福島県沖の地震までの期間について示す。黄色星はM6以上の地震。

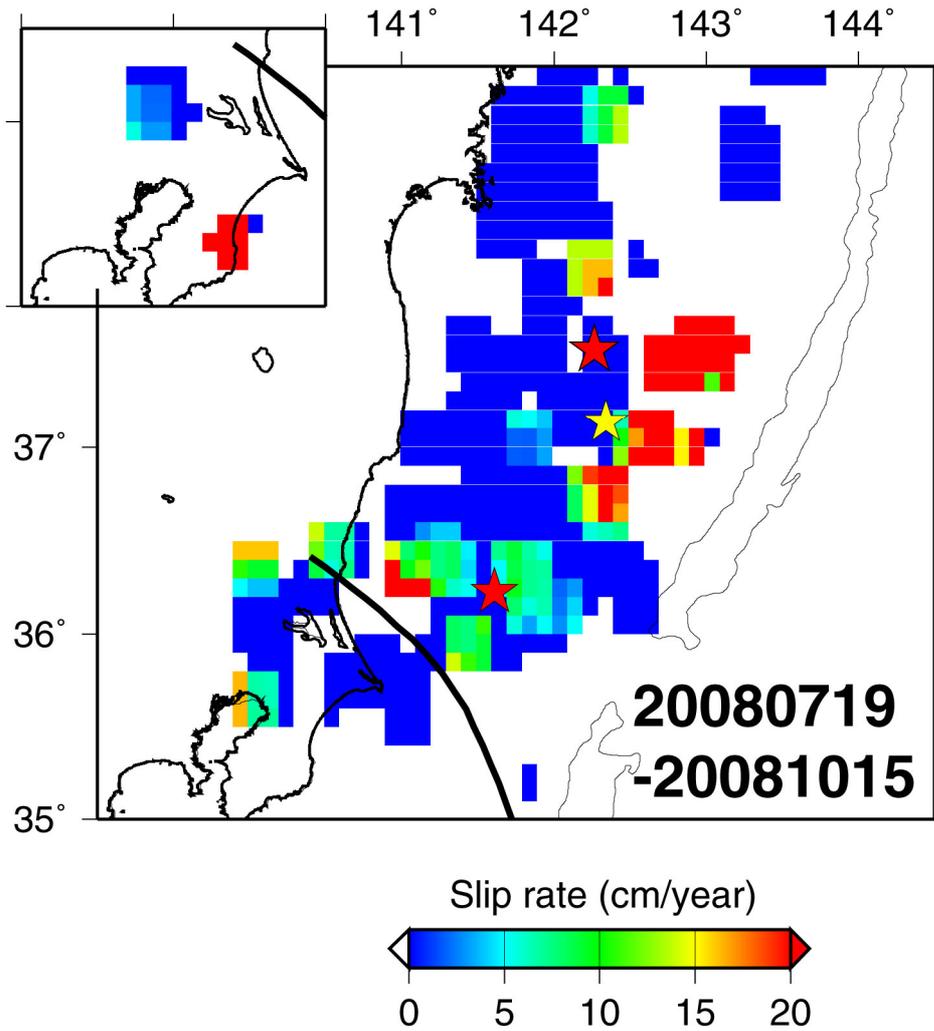
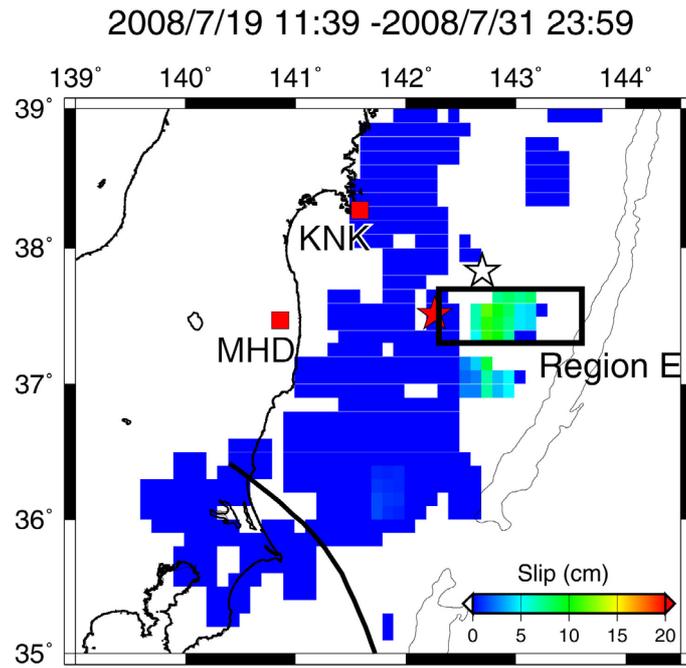


図 16(c) (a)と同様。ただし、2008年7月19日の福島県沖の地震後、10月15日までの期間について示す。

(a)



(b)

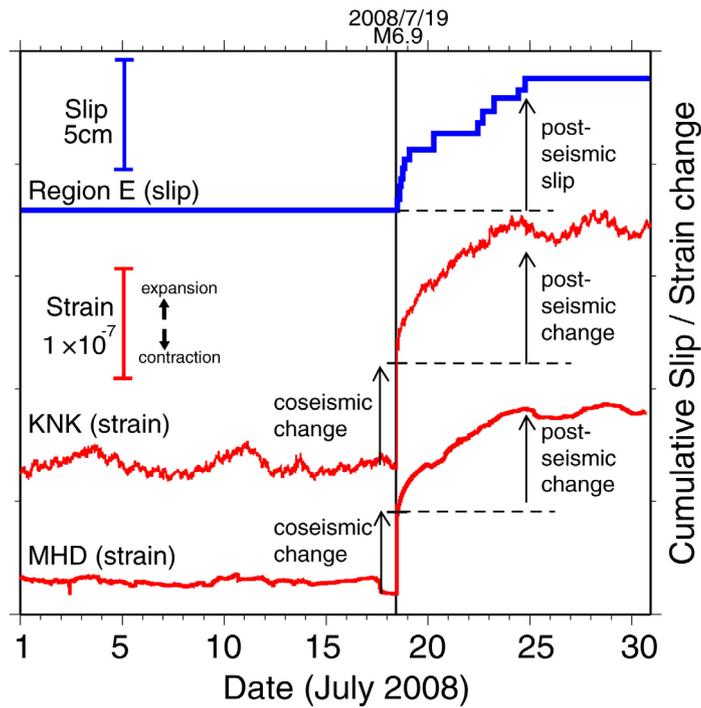


図 17 (a) 相似地震活動から推定された 2008 年 7 月のプレート境界面上での準静的滑りの空間分布。(b) 領域 E での平均の積算すべり (青線) と KNK, MHD (赤四角) での体積ひずみ変化の比較。

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相似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。地震時およ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°)	
相似地震		79km × 100km × 6cm (1.9×10^{19} Nm), dip=10°
歪み計観測データ (×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歪み (10 ⁻⁷)	1.03 (KNK) 0.64 (MHD)	0.31 (KNK) = 1.63 MHD 0.19 (MHD)

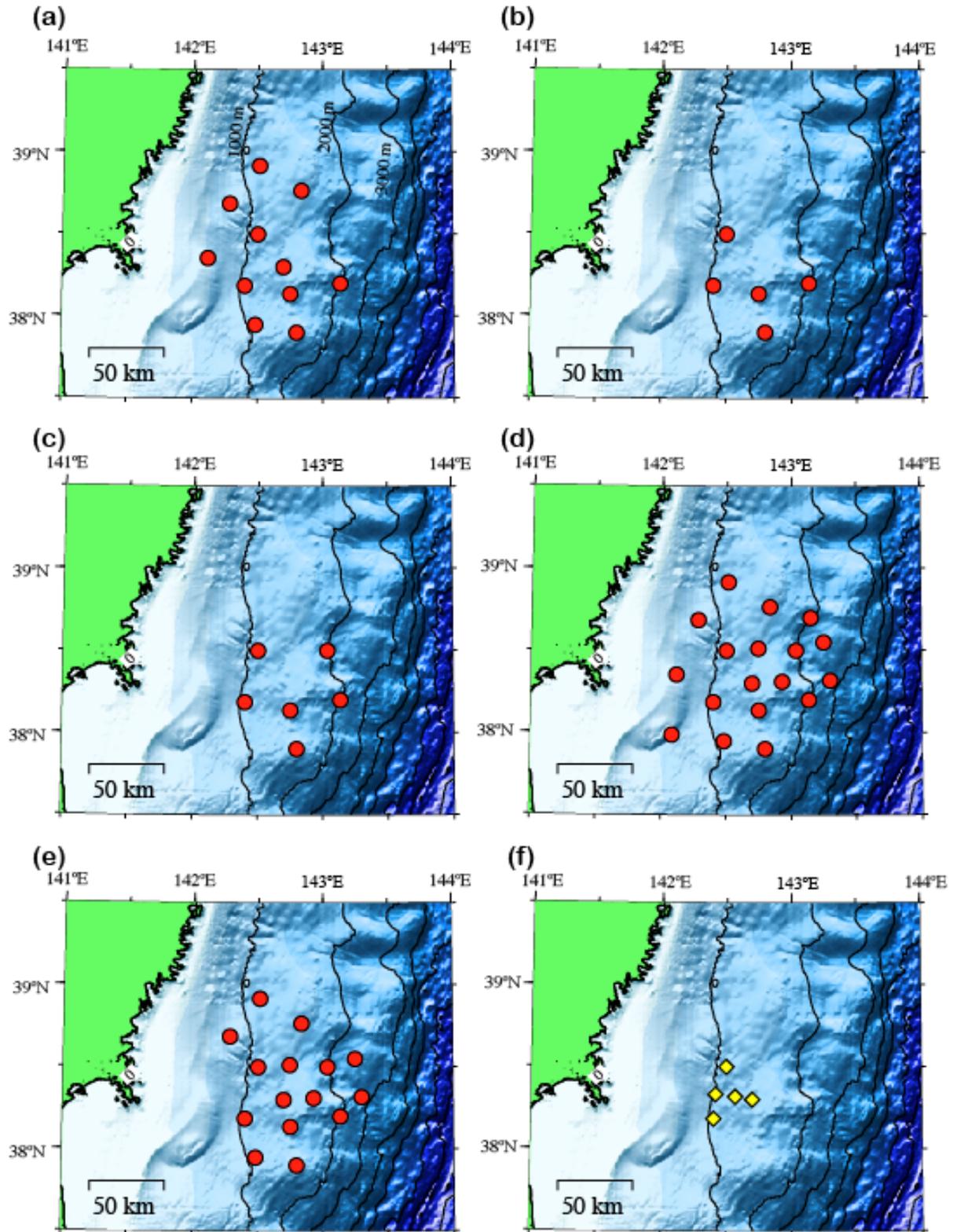


図 18 平成 20 年度に実施した海底地震観測の観測点配置図(a-e)。(a)第一期、(b) 第一期 (II)、(c)第二期、(d)第三期、(e)第四期。赤丸は海底地震計の位置を示す。(f)平成 19 年度に実施した海底圧力観測の観測点配置図 (黄四角)。

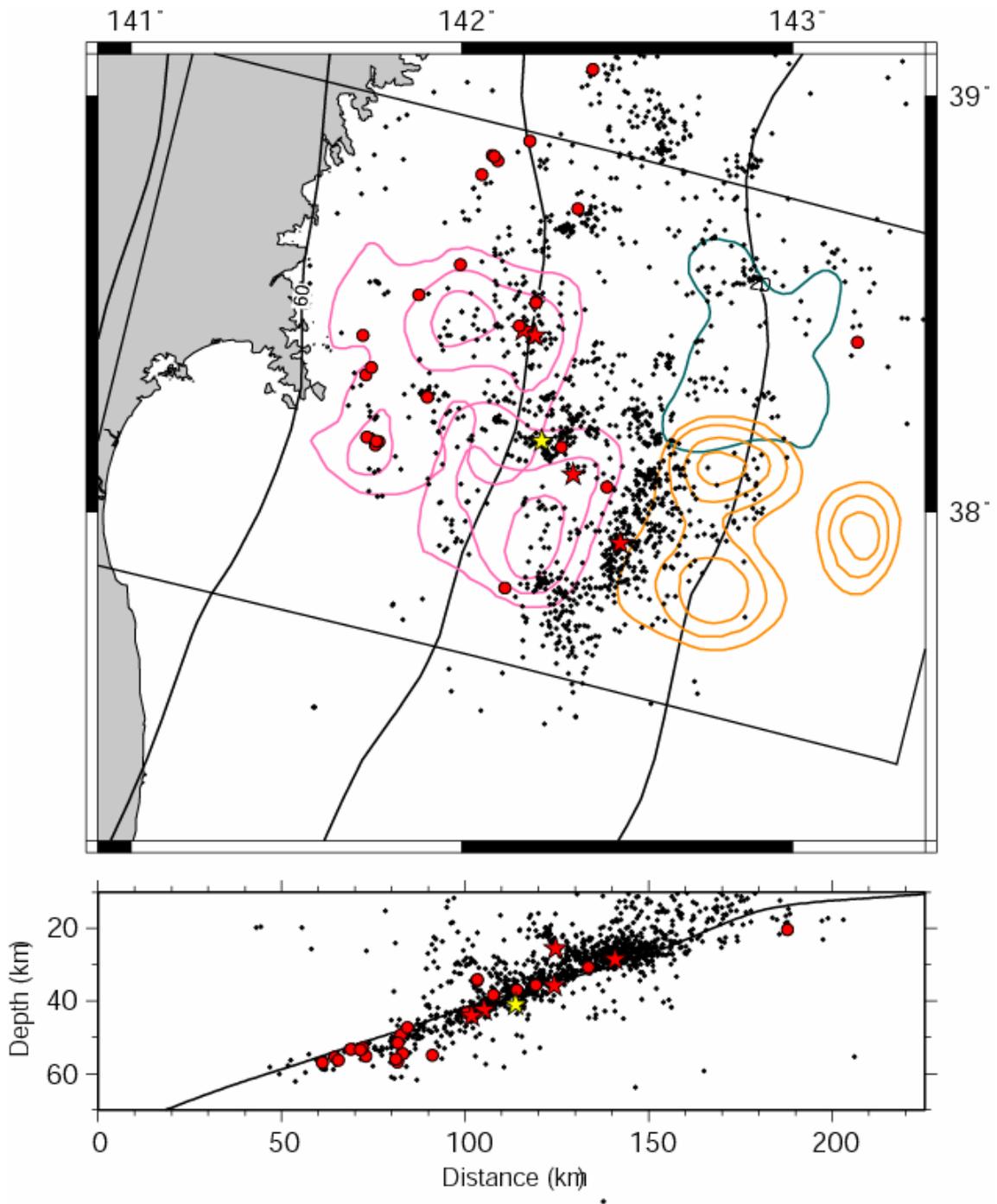


図 19 2003 年 5 月から 2007 年 10 月までの震源分布。深さ 60km よりも浅いものを示す。赤の丸は相似地震、赤の星は M5.5 以上のプレート境界型地震、黄色の星は 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震、それぞれの震央及び震源を示す。

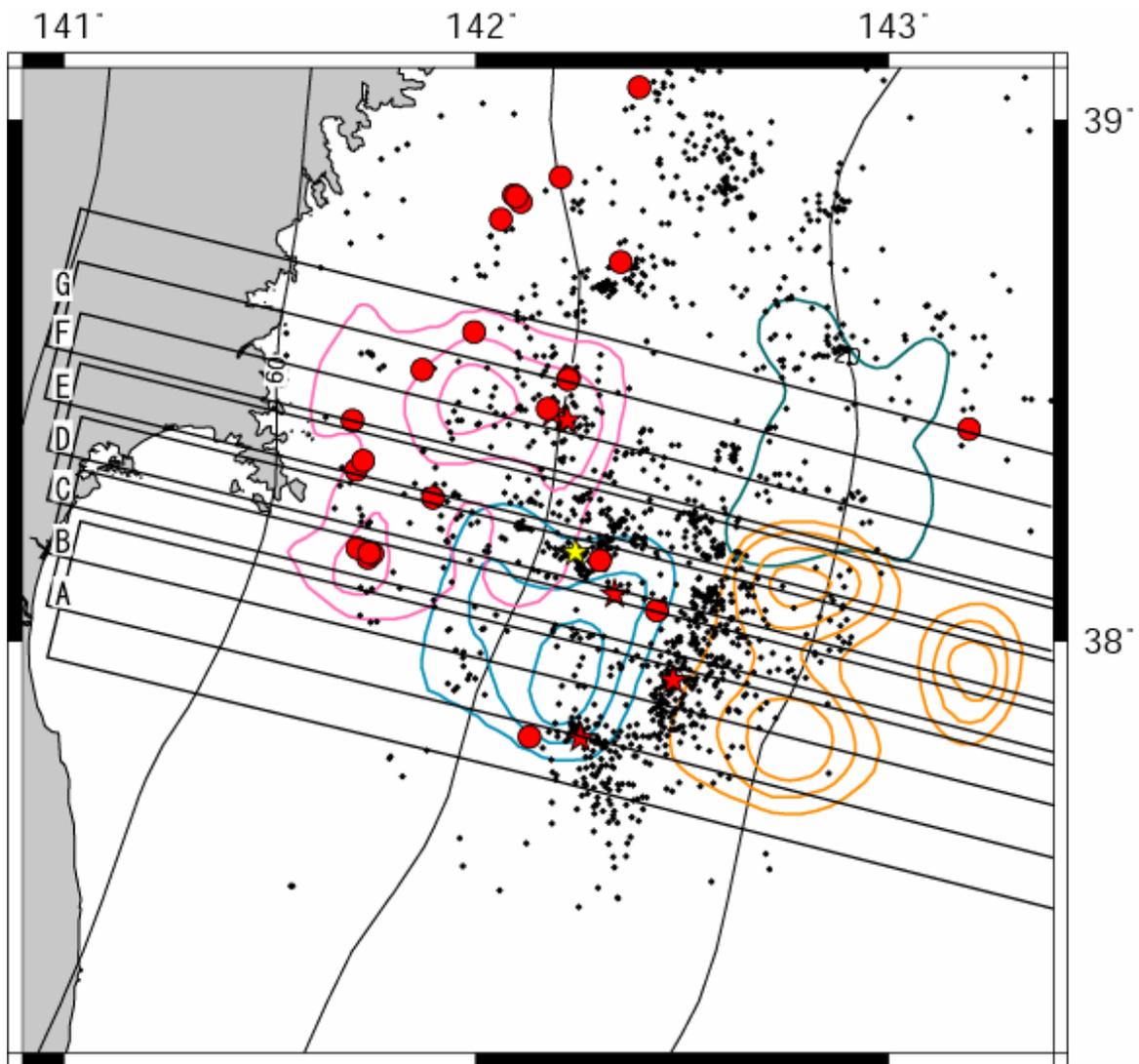


図 20(a) 2003年5月から2007年10月までの震源分布。深さ60kmよりも浅いものを示す。赤の丸は相似地震、赤の星はM5.5以上のプレート境界型地震、黄色の星は2005年8月16日の宮城県沖の地震、それぞれの震央を示す。図21(b)および(c)にこの地図上に示したAからGまでの30km幅のプロファイルを示す。

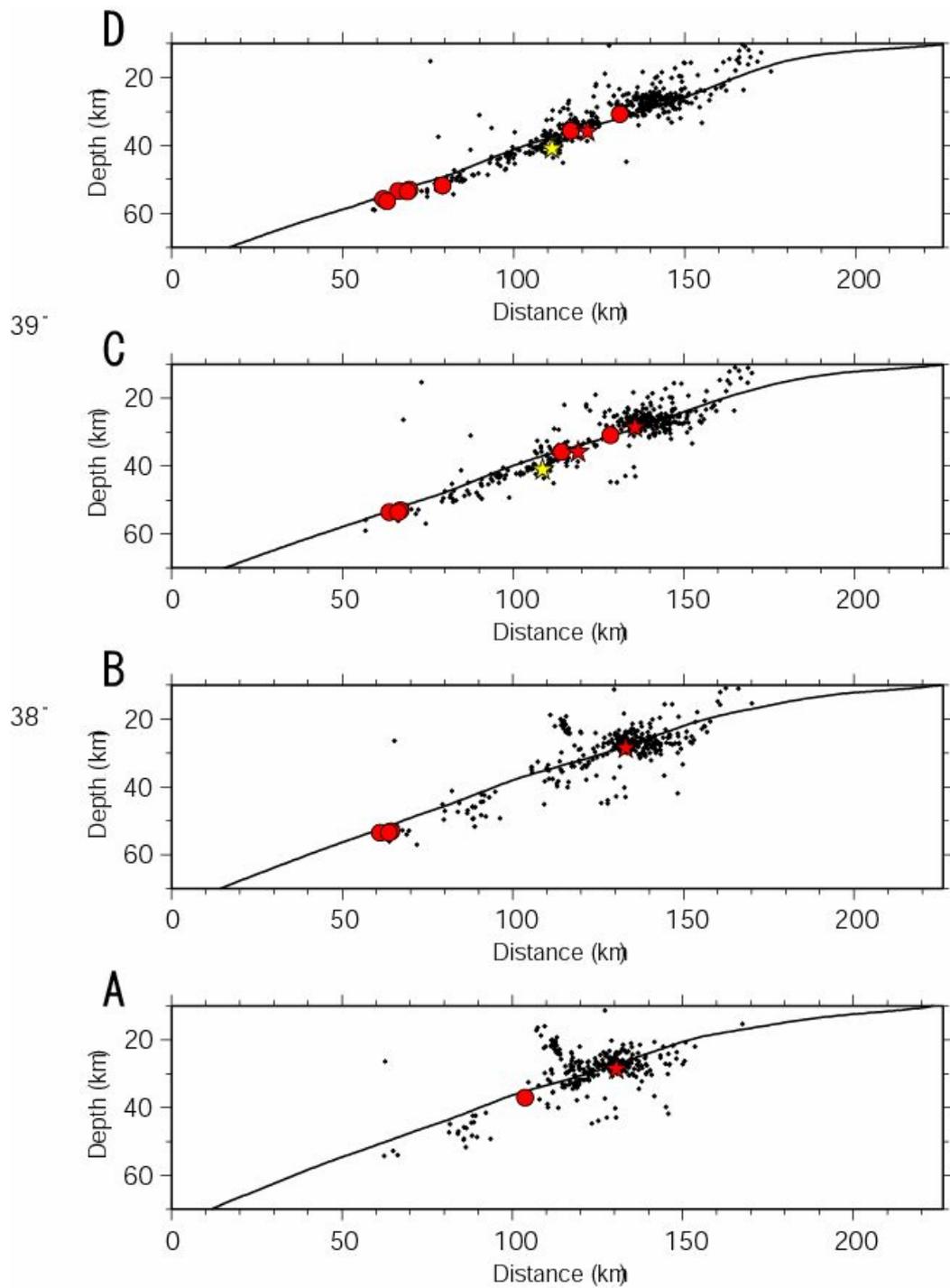


図 20(b) 2003 年 5 月から 2007 年 10 月までの震源分布の 30km 幅のプロファイル。深さ 60km よりも浅いものを示す。赤の丸は相似地震、赤の星は M5.5 以上のプレート境界型地震、黄色の星は 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震、それぞれの震央及び震源を示す。

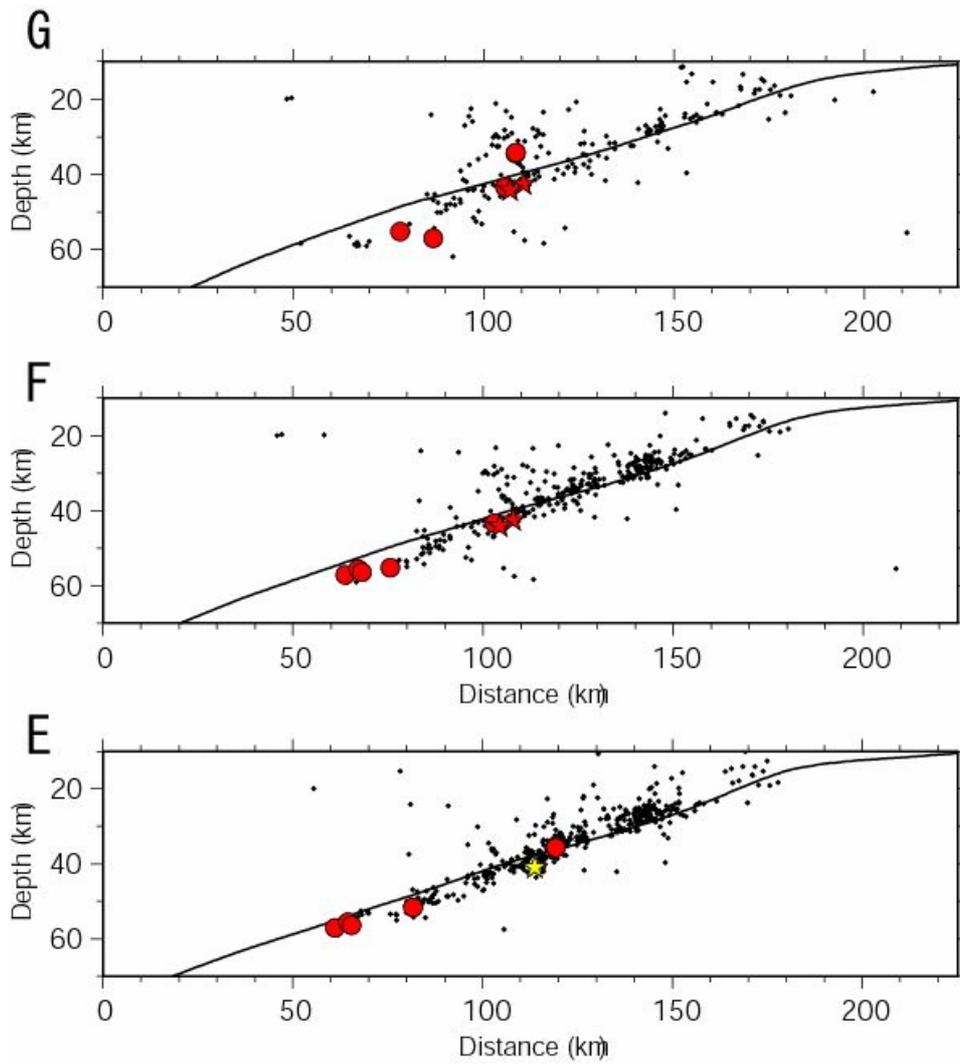


図 20(c) 2003 年 5 月から 2007 年 10 月までの震源分布の 30km 幅のプロファイル。深さ 60km よりも浅いものを示す。赤の丸は相似地震、赤の星は M5.5 以上のプレート境界型地震、黄色の星は 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震、それぞれの震央及び震源を示す。

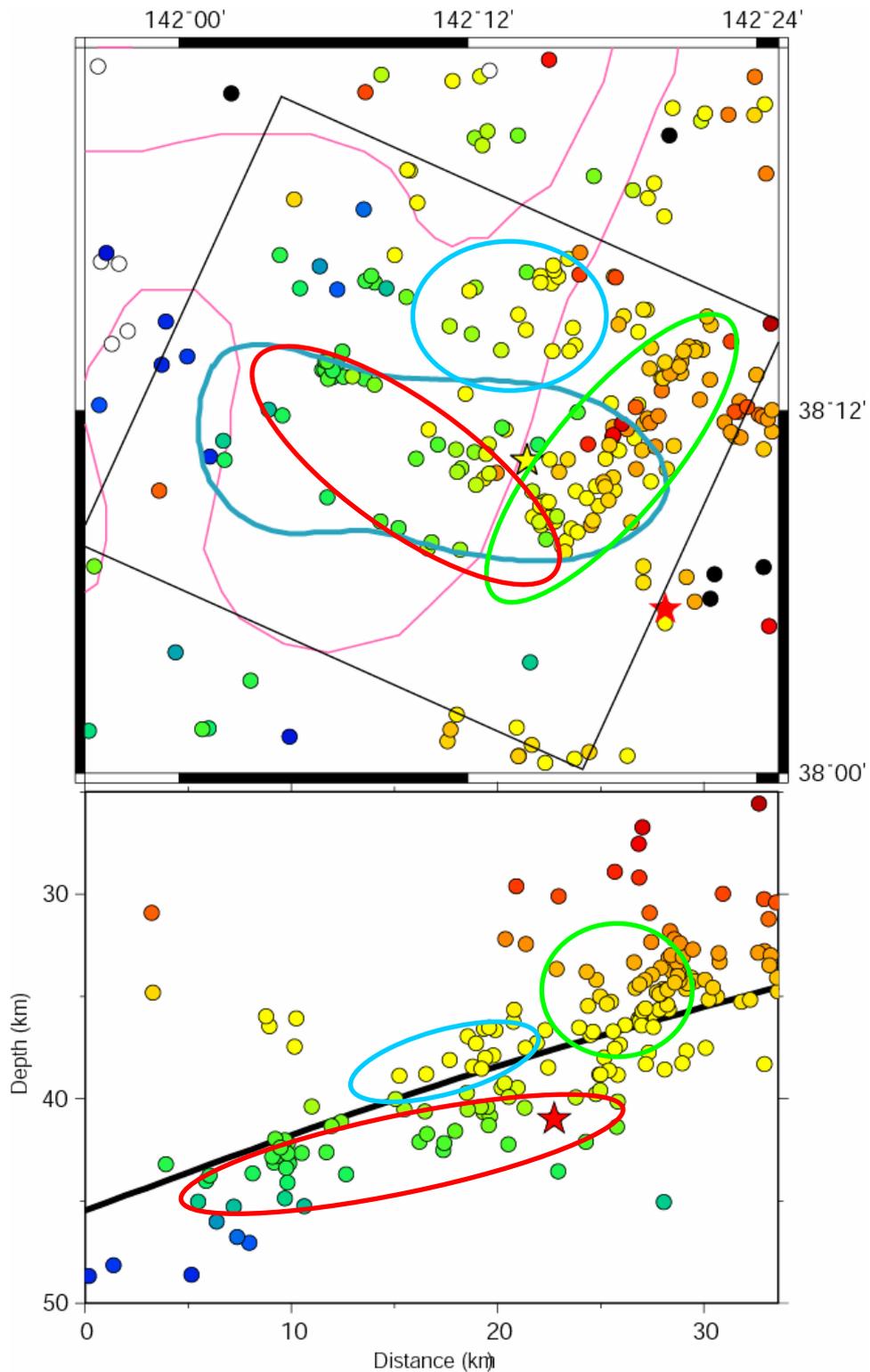


図 21 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震震源近傍の震源分布。色は深さを表す。黄色の星が本震震源。桃色の線は 1978 年の宮城県沖地震のアスペリティ、青線は 2005 年の地震の破壊域を示す。水色、緑、赤の線で囲われた地震については本文参照。

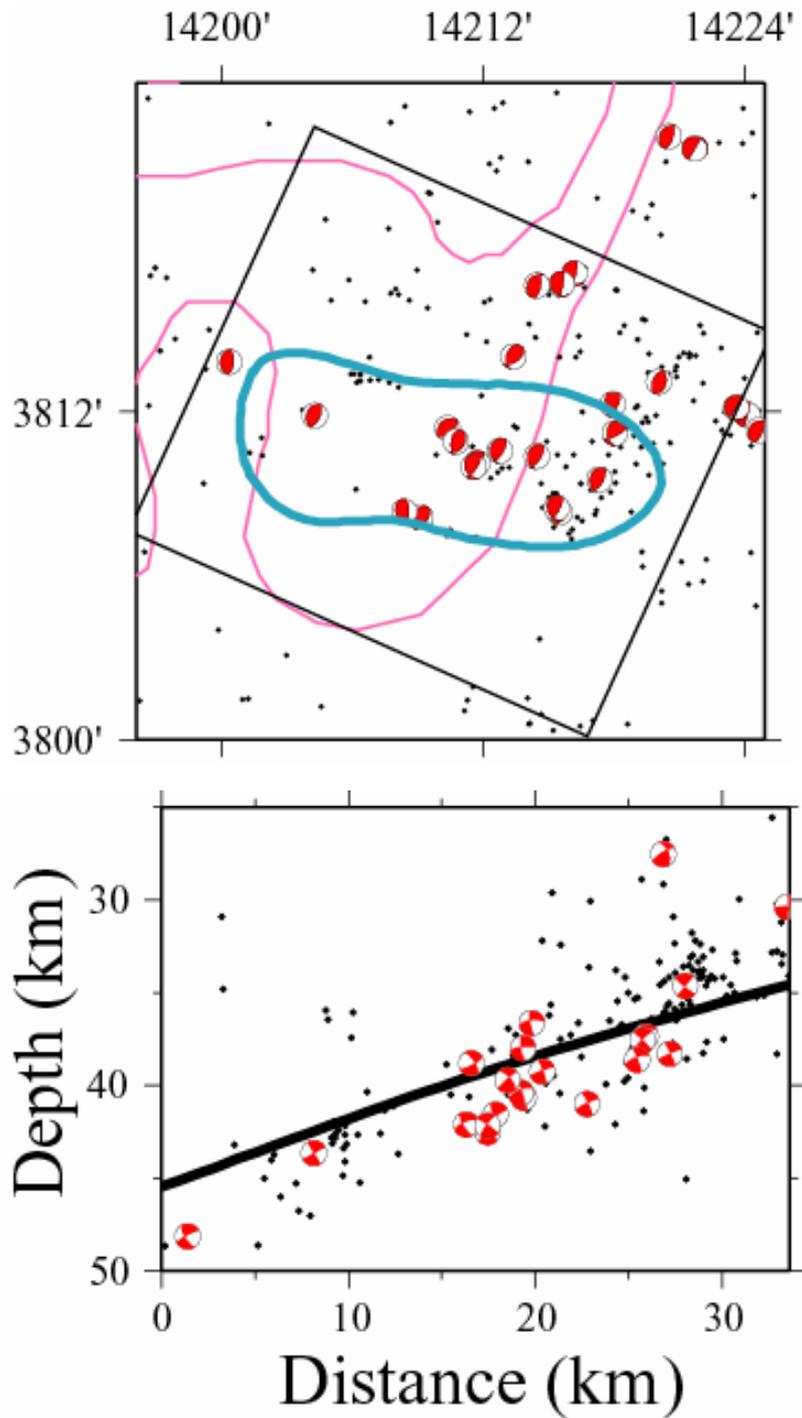


図 22 本震近傍の発震機構解分布。プレート境界型のものを示す。下段は上段の図中の黒四角内の地震についてのプレート境界面に直交する面に投影した断面図。平面図内の青線は 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震の破壊域、断面図中の黒線はプレート境界面をそれぞれ示す。

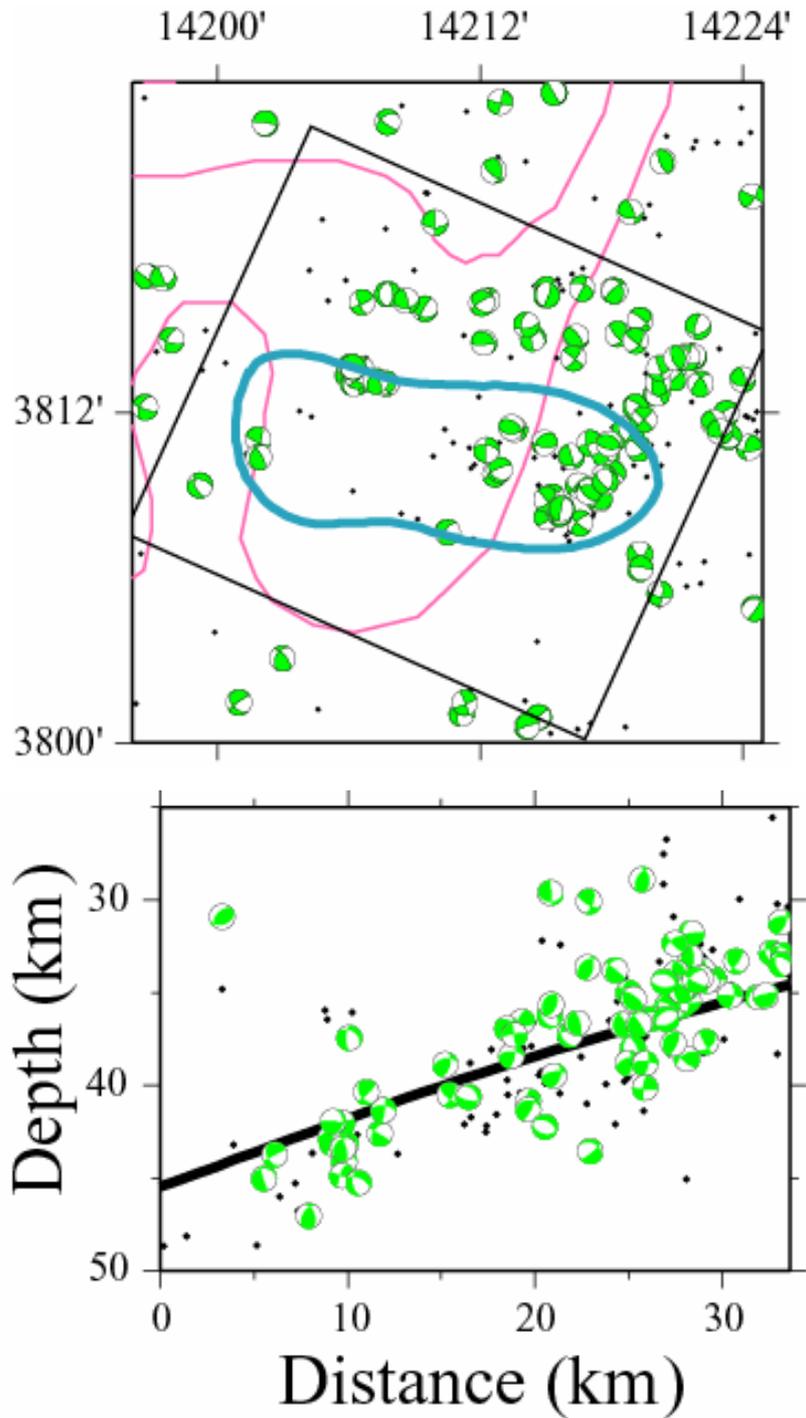


図 23 本震近傍の発震機構解分布。非プレート境界型のものを示す。下段は上段の図中の黒四角内の地震についてのプレート境界面に直交する面に投影した断面図。平面図内の青線は 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震の破壊域、断面図中の黒線はプレート境界面をそれぞれ示す。

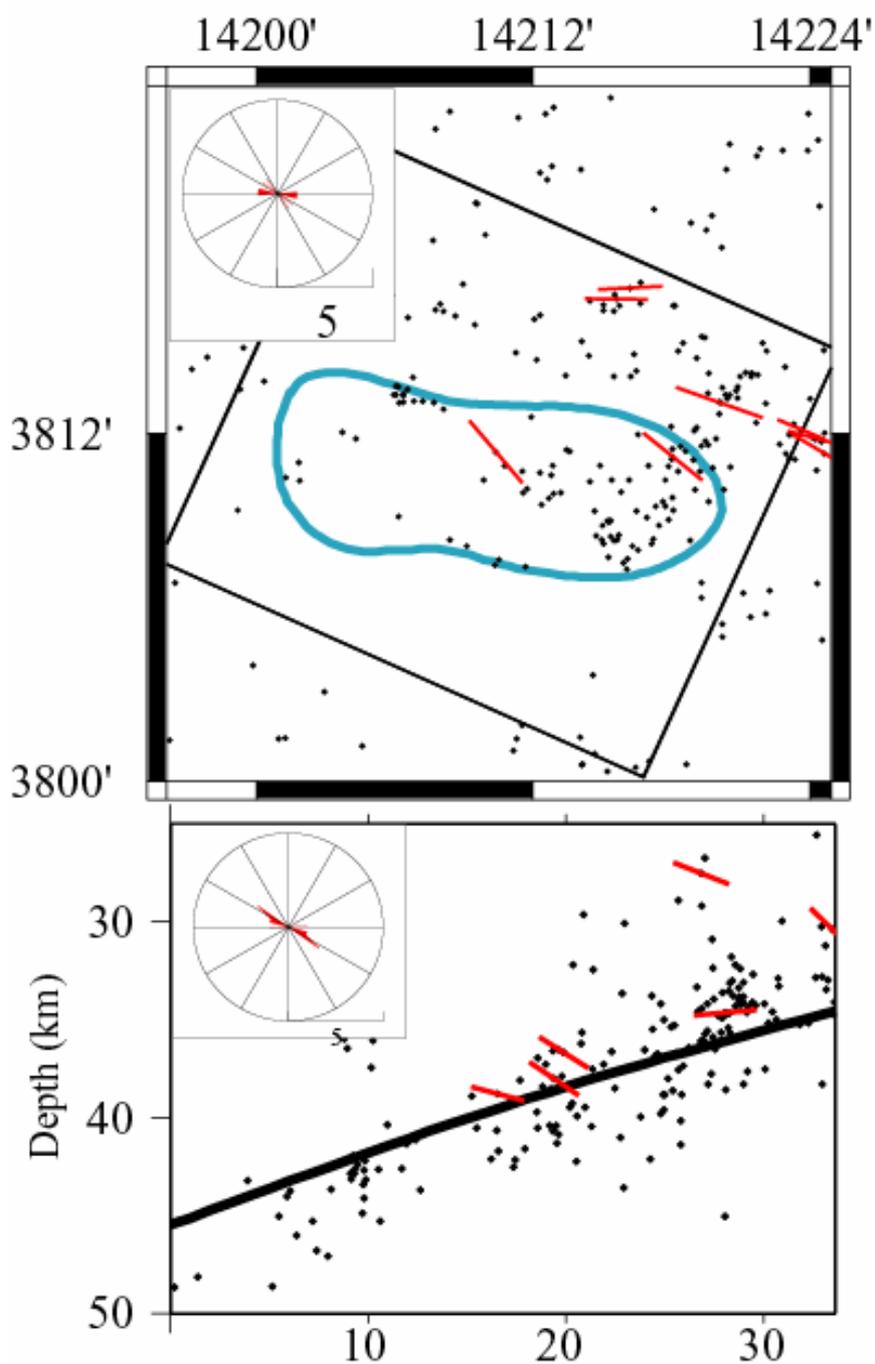


図 24(a) プレート境界よりも浅いところで発生した、プレート境界型地震の P 軸方向の分布図。上段の図中の黒四角内の地震について、プレート境界面に直交する面に投影したものが下段の断面図。青線は 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震の破壊域。各パネル左上のローズダイアグラムは、軸方向の頻度分布を示す。スケールは、図中に示してあるように、半径に等しい長さで 5 つ。断面図中の黒実線はプレート境界。

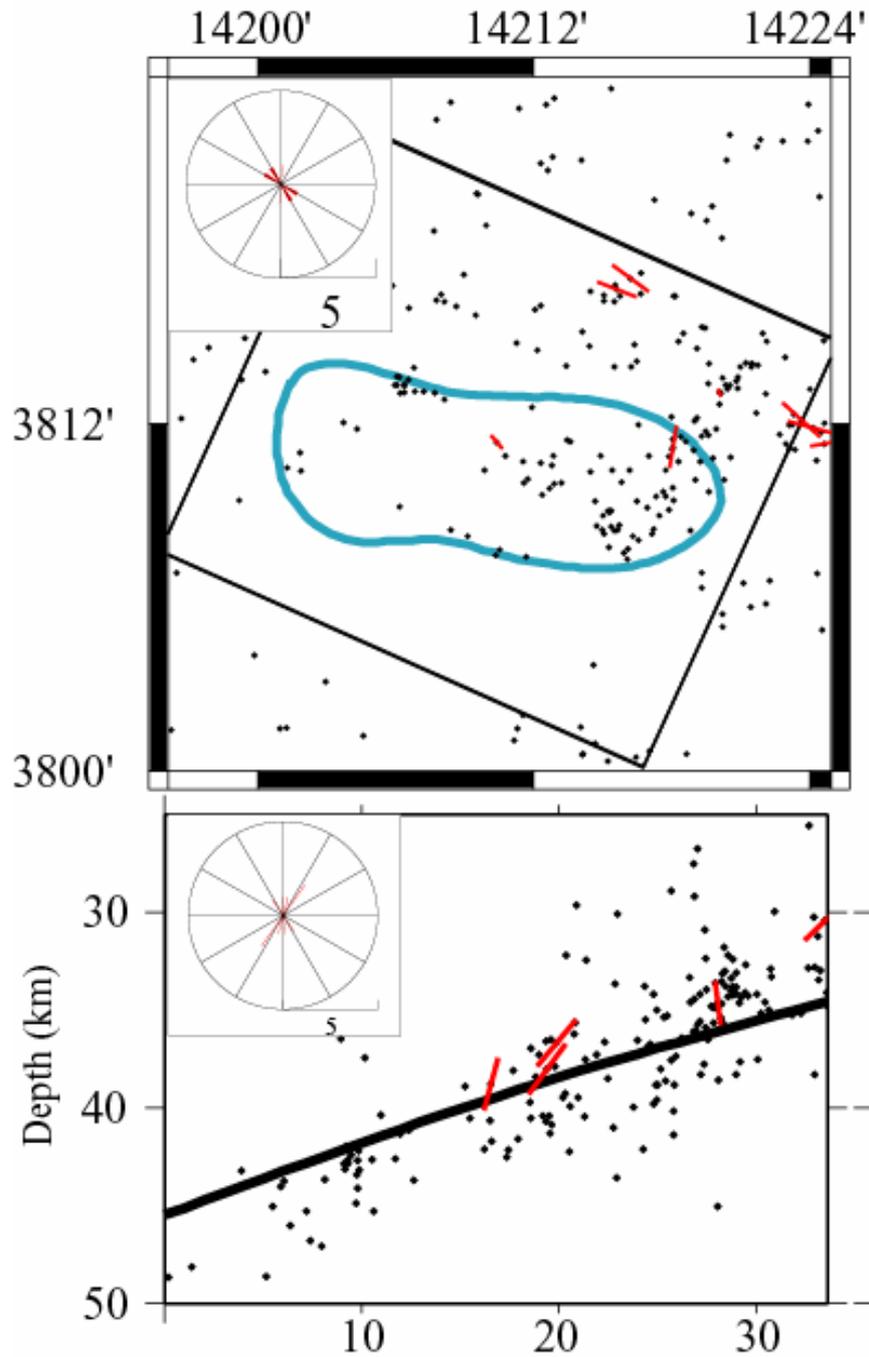


図 24(b) プレート境界よりも浅いところで発生した、プレート境界型地震の T 軸方向の分布図。上段の図中の黒四角内の地震について、プレート境界面に直交する面に投影したものが下段の断面図。青線は 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震の破壊域。各パネル左上のローズダイアグラムは、軸方向の頻度分布を示す。スケールは、図中に示してあるように、半径に等しい長さで 5 つ。断面図中の黒実線はプレート境界。

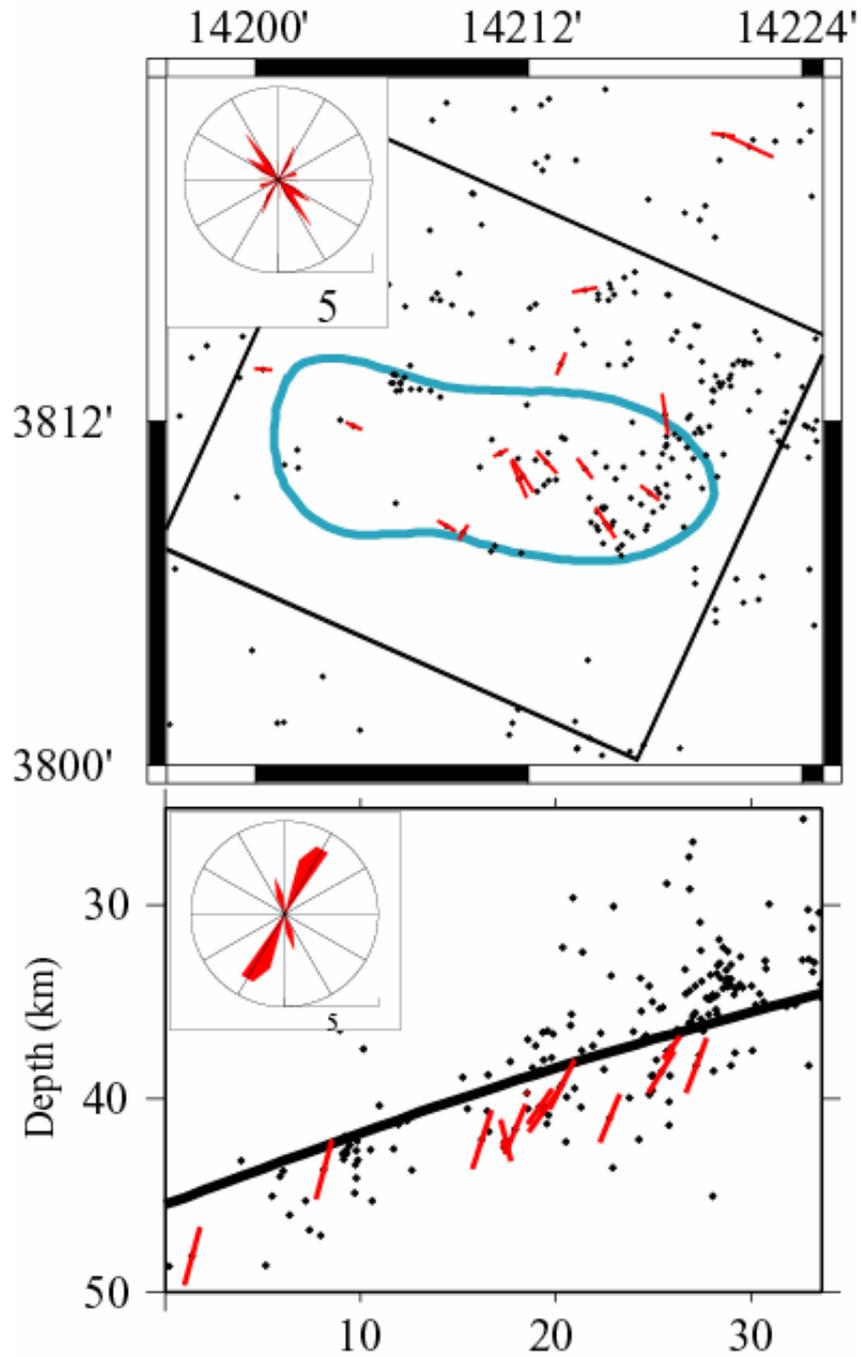


図 24(c) プレート境界よりも深いところで発生した、プレート境界型地震の P 軸方向の分布図。上段の図中の黒四角内の地震について、プレート境界面に直交する面に投影したものが下段の断面図。青線は 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震の破壊域。各パネル左上のローズダイアグラムは、軸方向の頻度分布を示す。スケールは、図中に示してあるように、半径に等しい長さで 5 つ。断面図中の黒実線はプレート境界。

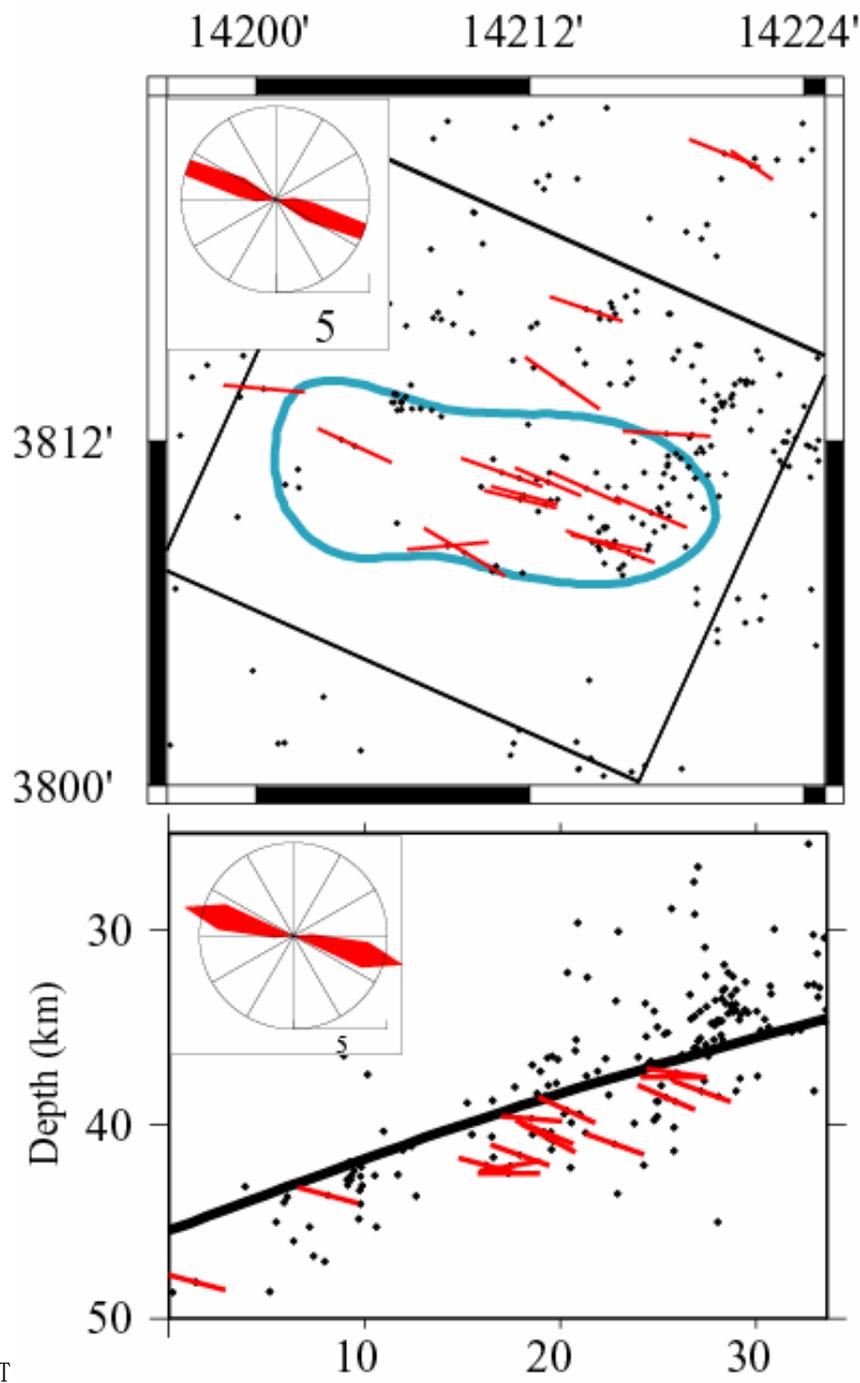


図 24(d) プレート境界よりも深いところで発生した、プレート境界型地震の T 軸方向の分布図。上段の図中の黒四角内の地震について、プレート境界面に直交する面に投影したものが下段の断面図。青線は 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震の破壊域。各パネル左上のローズダイアグラムは、軸方向の頻度分布を示す。スケールは、図中に示してあるように、半径に等しい長さで 5 つ。断面図中の黒実線はプレート境界。

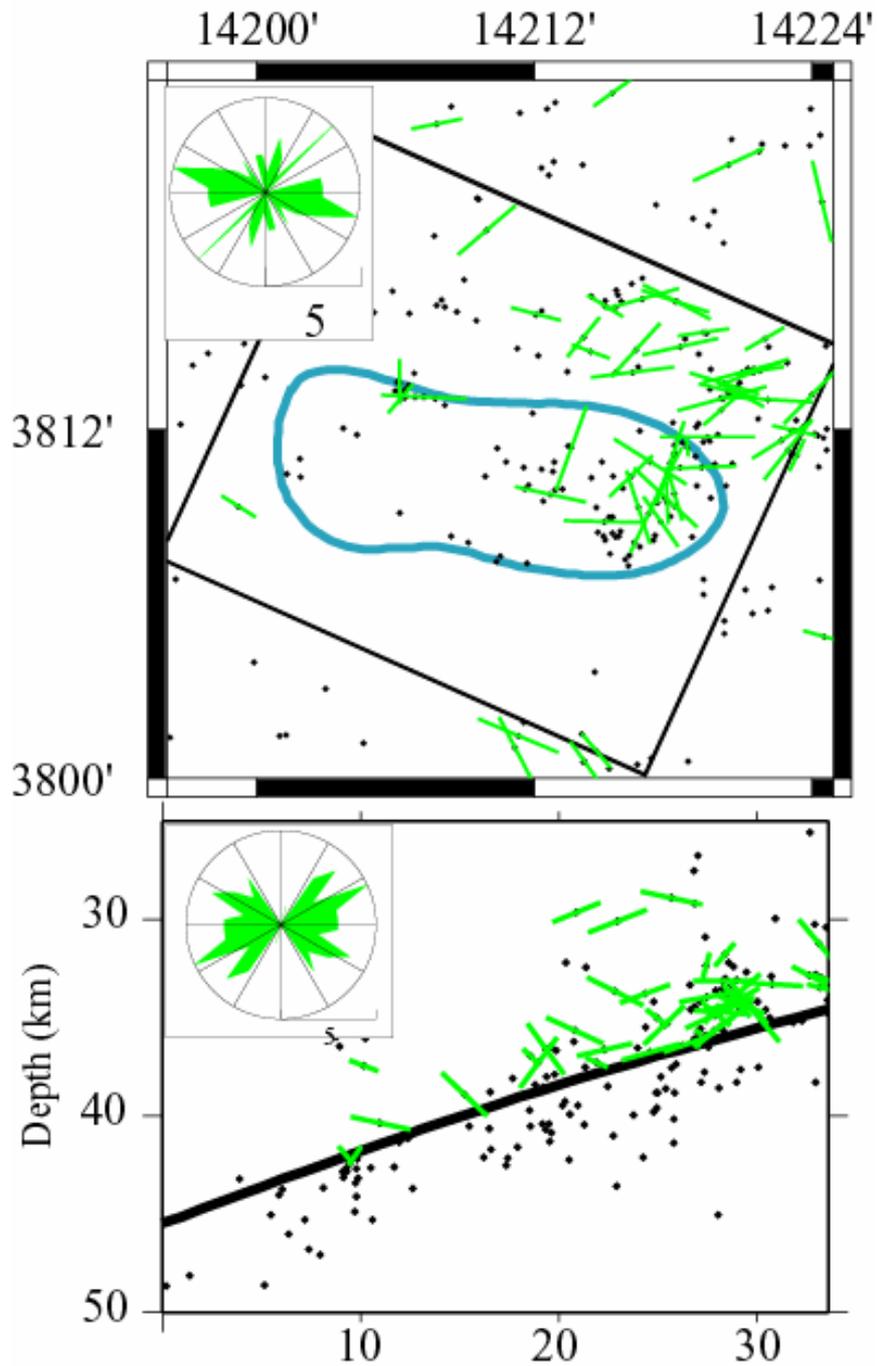


図 25(a) プレート境界よりも浅いところで発生した、非プレート境界型地震の P 軸方向の分布図。上段の図中の黒四角内の地震について、プレート境界面に直交する面に投影したものが下段の断面図。青線は 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震の破壊域。各パネル左上のローズダイアグラムは、軸方向の頻度分布を示す。スケールは、図中に示してあるように、半径に等しい長さで 5 つ。断面図中の黒実線はプレート境界。

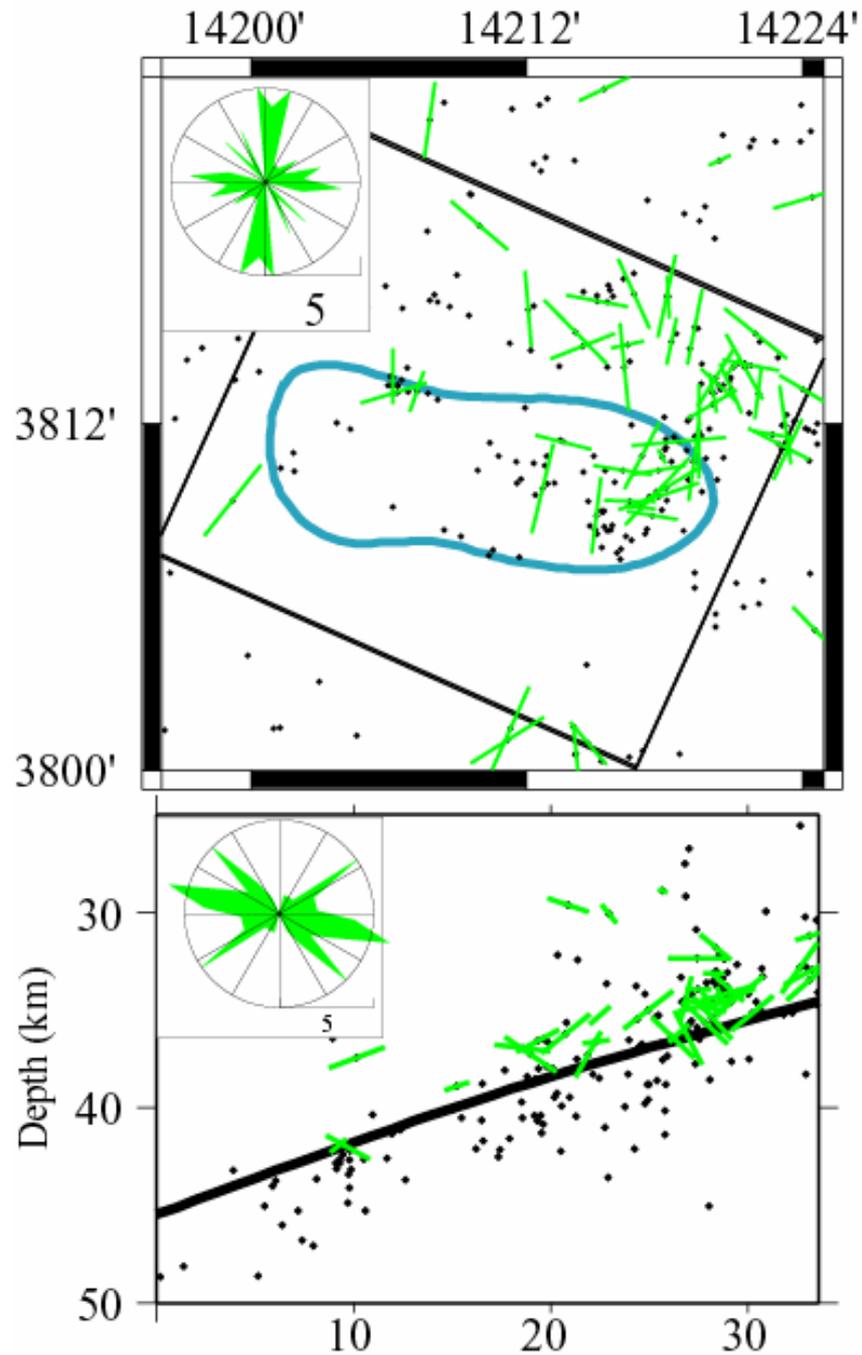


図 25(b) プレート境界よりも浅いところで発生した、非プレート境界型地震の T 軸方向の分布図。上段の図中の黒四角内の地震について、プレート境界面に直交する面に投影したものが下段の断面図。青線は 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震の破壊域。各パネル左上のローズダイアグラムは、軸方向の頻度分布を示す。スケールは、図中に示してあるように、半径に等しい長さで 5 つ。断面図中の黒実線はプレート境界。

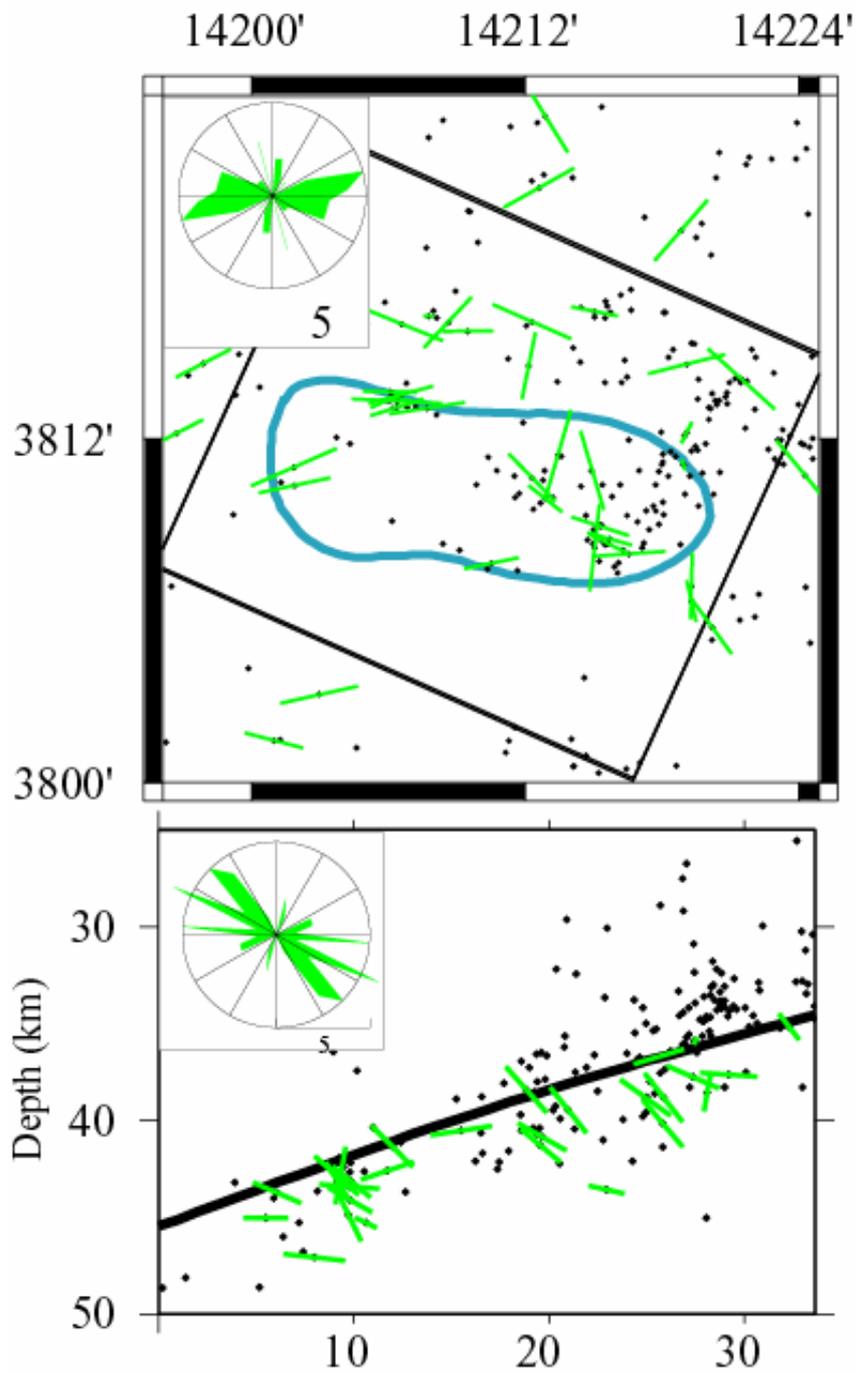


図 25(c) プレート境界よりも深いところで発生した、非プレート境界型地震の P 軸方向の分布図。上段の図中の黒四角内の地震について、プレート境界面に直交する面に投影したものが下段の断面図。青線は 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震の破壊域。各パネル左上のローズダイアグラムは、軸方向の頻度分布を示す。スケールは、図中に示してあるように、半径に等しい長さで 5 つ。断面図中の黒実線はプレート境界。

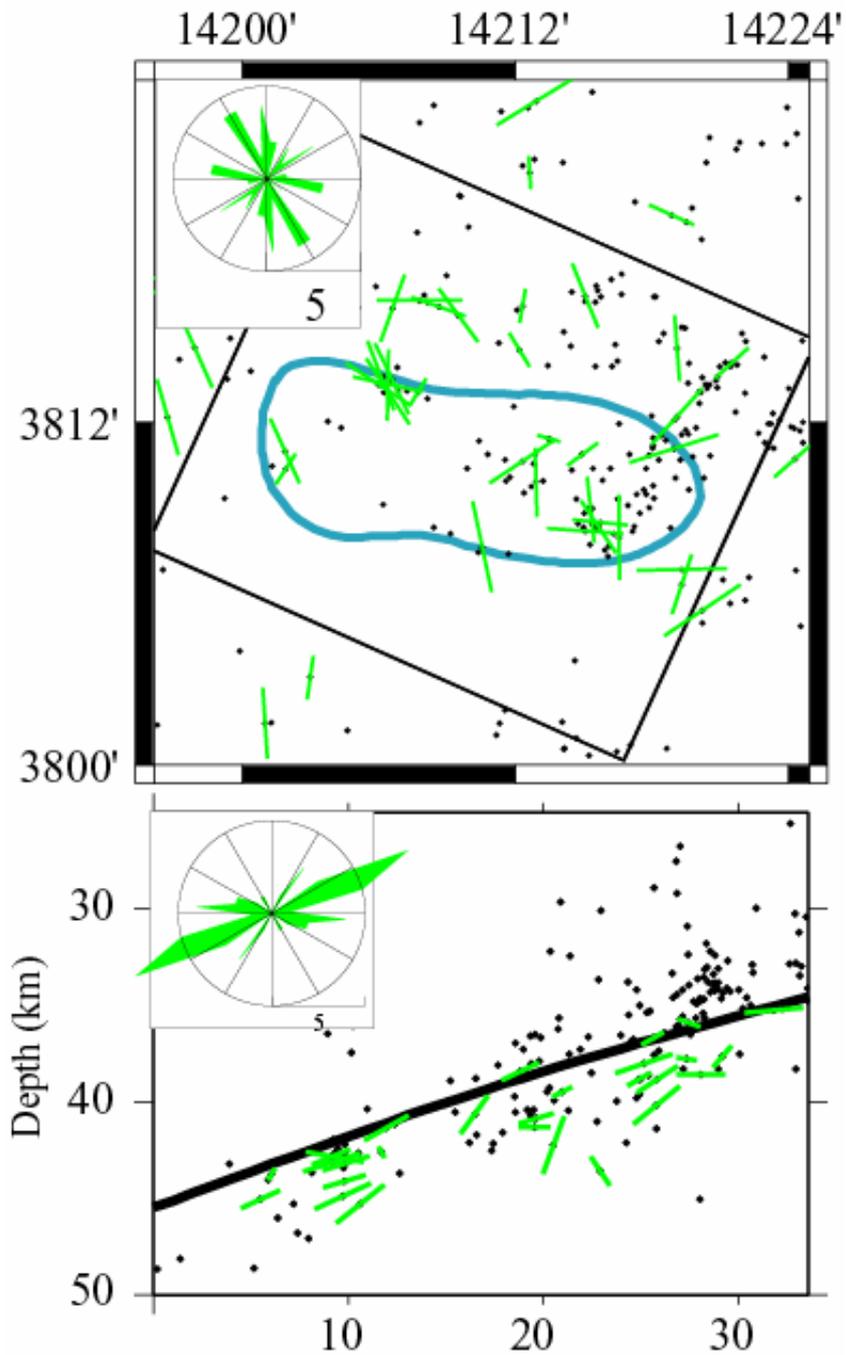


図 25(d) プレート境界よりも深いところで発生した、非プレート境界型地震の T 軸方向の分布図。上段の図中の黒四角内の地震について、プレート境界面に直交する面に投影したものが下段の断面図。青線は 2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震の破壊域。各パネル左上のローズダイアグラムは、軸方向の頻度分布を示す。スケールは、図中に示してあるように、半径に等しい長さで 5 つ。断面図中の黒実線はプレート境界。

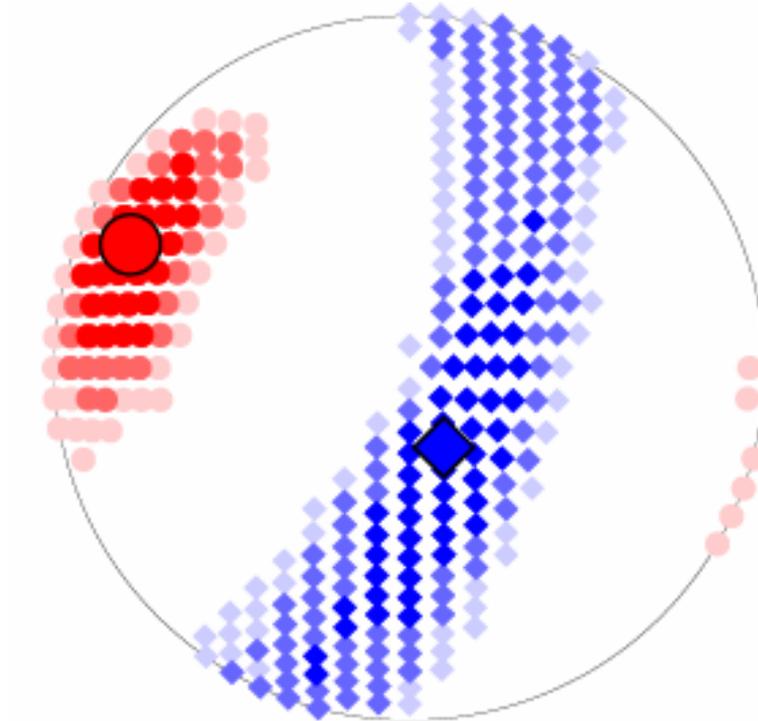


図 26 応力テンソルインバージョンにより推定された、本震近傍の平均的な応力場。下半球投影で示す。赤丸と青の菱形はそれぞれ最大主応力軸 (s_1) と最小主応力軸 (s_3) を表す。

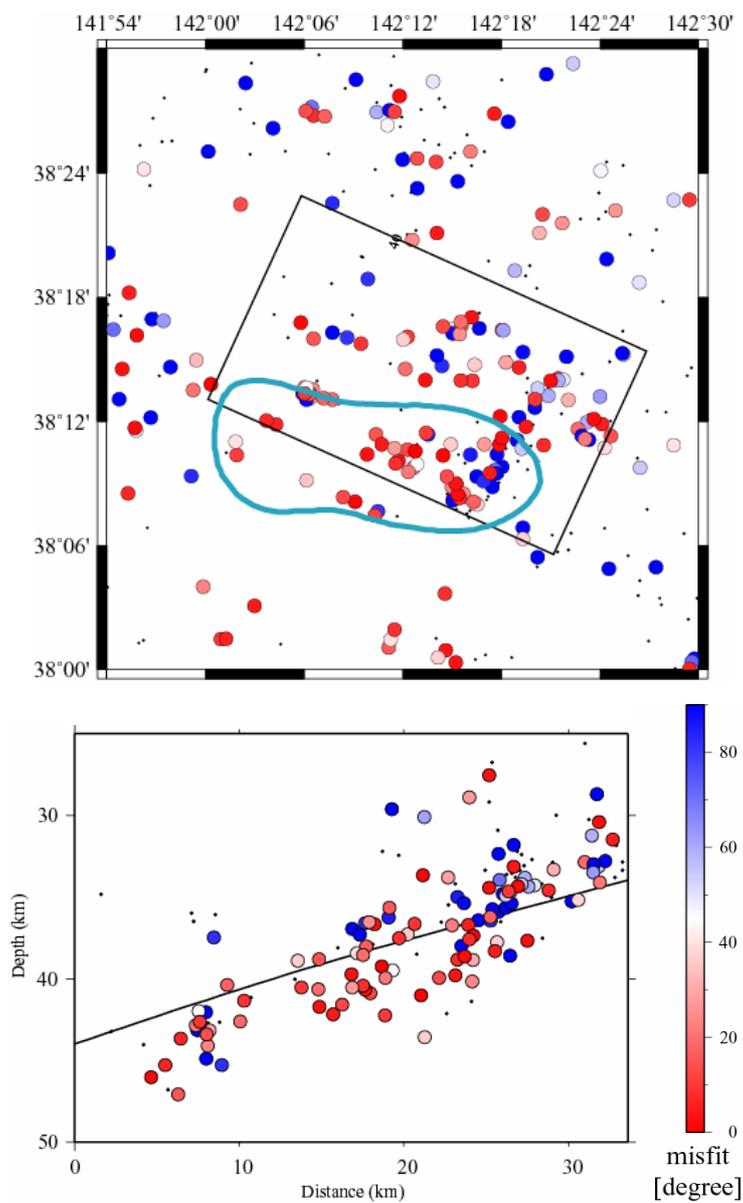


図 27 2005 年宮城県沖の地震震源域周辺の残差分布. 宮城県沖の平均的応力場からの残差をカラースケールで示す. (上) 水平断面図. (下) 水平断面図に示された矩形領域内の鉛直断面図. 青線は本震の破壊域。

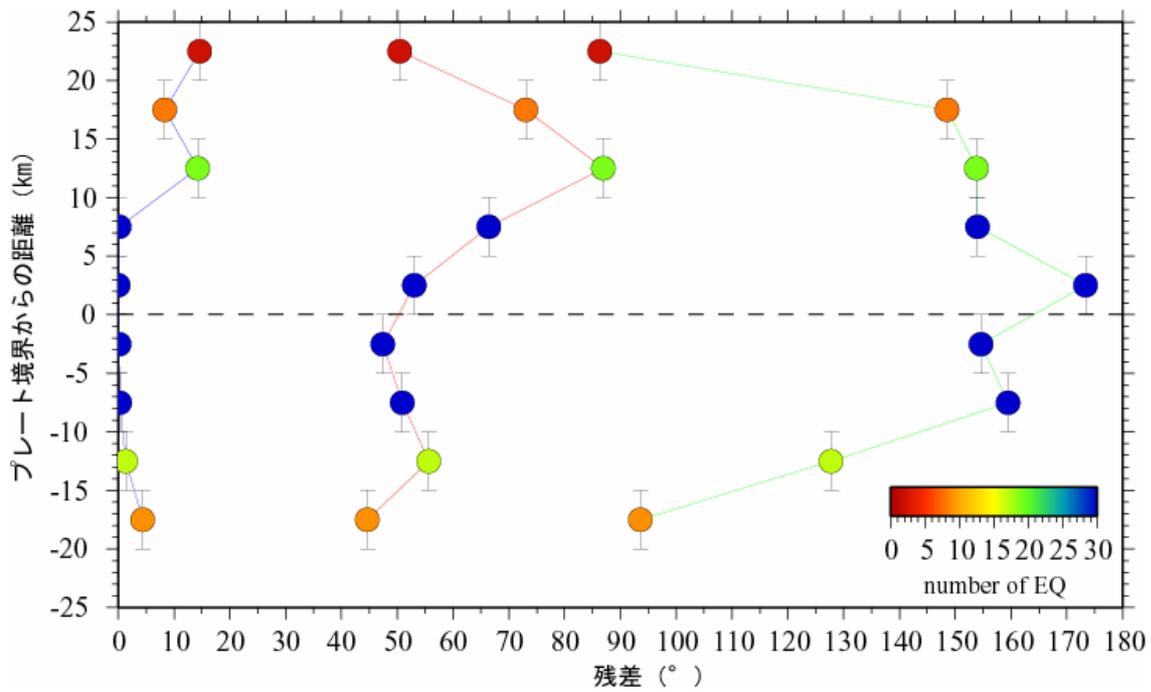


図 28 深さごとの残差分布. エラーバー内の深さの地震の残差を丸で示す. 色は各領域内の地震を表す. 青, 赤, 緑の実線はそれぞれ深さごとの最小, 平均, 最大の残差を示す.

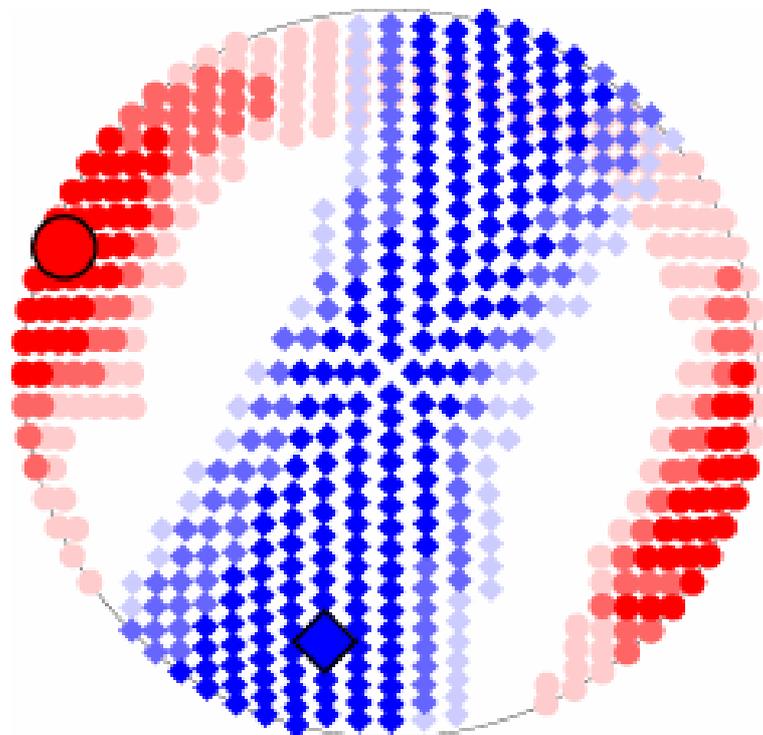


図 29(a) 応力テンソルインバージョンから推定された応力場。プレート境界よりも浅部の地震のみを用いた場合。

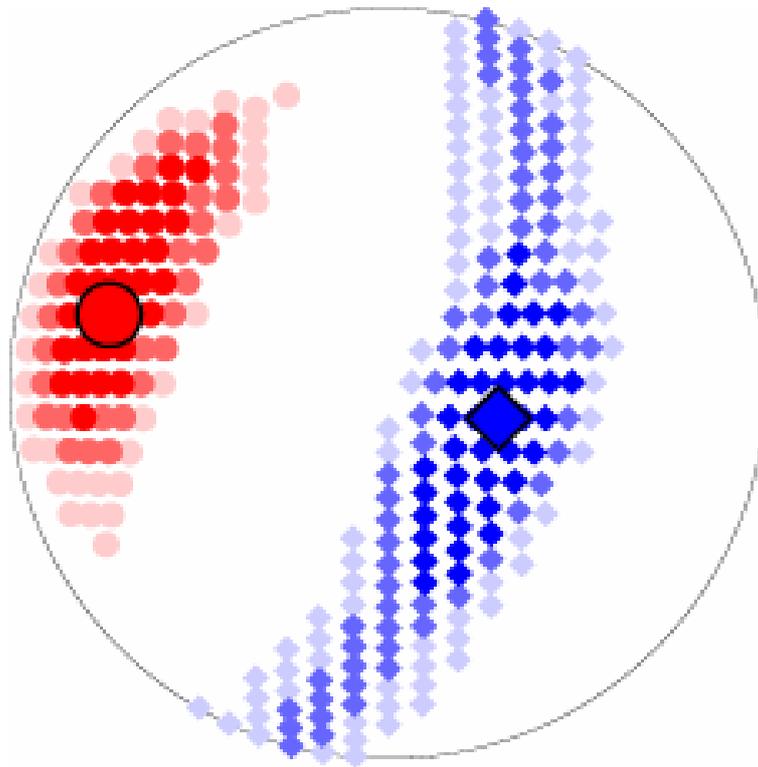


図 29(b) 応力テンソルインバージョンから推定された応力場。プレート境界よりも深部の地震のみを用いた場合。

(d) 結論ならびに今後の課題

今年度は、GPS 並びに相似地震データからのプレート間すべりの準リアルタイムモニタリングを実現するための手法の改良やデータ処理に取り組んだ。GPS データからプレート境界におけるすべりを推定するための時間依存逆解析手法の改良、並びに 2008 年岩手・宮城内陸地震の影響を取り除くための余効変動のモデル化を行なうとともに、相似地震モニタリングを継続し、宮城県沖周辺における準静的すべりの時空間発展を得た。

時間依存逆解析手法の改良を行ない、準静的すべりの時定数が大きく時間変化するような場合にも対応できるようになった。数値計算テストの結果、GPS データに基づくプレート間すべりの準リアルタイムモデリングのために基本的には有用であることが示されたが、遺伝的アルゴリズムを支配するパラメーターの設定法など、課題も残されている。一貫性を持った手法として確立し、実データへの適用を行なうのが次の課題の第一であり、さらに今後得られるデータに対して自動的に解析を行なうシステムを構築するのが第二の課題となる。

2008 年岩手・宮城内陸地震の余効変動を解析した結果、本震断層面上の余効すべり以外にも、隣接した活断層である出店断層の浅部において、準静的すべりが生じていたことが明らかになった。これらの本震後の準静的すべりは本震後一月程度でほぼ終息していると思われる、この影響を取り除いた GPS 連続観測データから、長期的なトレンドを最推定し、プレート境界での固着・すべり分布を求めることが次の課題となる。

相似地震モニタリングにより、宮城県沖に隣接した領域において、2008年に発生したM7クラスのプレート境界地震に関連した準静的すべりの加速を検出した。今後は、このようなすべりの進展のモニタとともに、宮城県沖等のアスペリティに及ぼす影響の推定が重要となる。相似地震から推定された準静的すべりと、ひずみ計のデータとの比較では、ひずみ計データの有用性が示された。今後はGPSを含めこのような比較事例を増やすことが必要となる。

地震活動及び応力場の推定により、2005年宮城県沖地震の本震破壊域東端ではプレート境界面外において応力擾乱に起因するような余震活動を見出した。また、プレート境界を境にして上盤側と下盤側で応力場が大きく異なる可能性が高いことから、少なくとも解析した期間内ではプレート間の固着が弱い可能性が示された。今後は、応力場の空間変化のより詳細なモニタとともに、時間変化のモニタが宮城県沖地震の発生機構の理解及び評価に重要となる。また、地震活動・応力場をGPS・相似地震から推定されるプレート間すべりと比較することが必要となる。

(e) 引用文献

- 1) 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.
- 2) 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年大会予稿集, S207-009, 2006.
- 3) 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.
- 4) Hatanaka, Y., T. Iizuka, M. Sawada, A. Yamagiwa, Y. Kikuta, J. M. Johnson and C. Rocken, Improvement of the Analysis Strategy of GEONET, *Bull. GSI*, 49, 11-37, 2003.
- 5) 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.
- 6) Suwa, Y., S. Miura, A. Hasegawa, T. Sato, and K. Tachibana, Interplate coupling beneath NE Japan inferred from three dimensional displacement field, *J. Geophys. Res.*, 111, B04402, doi:10.1029/2004JB003203, 2006.
- 7) 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.
- 8) 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.

- 9) Ozawa, S., M. Kaidzu, M. Murakami, T. Imakiire, and Y. Hatanaka, Coseismic and postseismic crustal deformation after the Mw 8 Tokachi-oki earthquake in Japan, *Earth Planets Space*, 56, 675-680, 2004.
- 10) 小沢慎三郎・水藤 尚・今給黎哲郎, 2003 年以降に見られる岩手付近のプレート間カップリングの変化, 日本地震学会 2006 年秋季大会予稿集, P019, 2006.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) Igarashi, T., T. Matsuzawa, N. Umino, and A. Hasegawa, 2001, Spatial distribution of focal mechanisms for interplate and intraplate earthquakes associated with the subducting Pacific plate beneath the northeastern Japan arc: A triple-plated deep seismic zone, *J. Geophys. Res.*, 106, 2177-2191.
- 14) Ueda, H., M. Ohtake, and H. Sato, 2001, Afterslip of the plate interface following the 1978 Miyagi-Oki, Japan, earthquake, as revealed from geodetic measurement data, *Tectonophys.*, 338, 45-57.
- 15) Yabuki, T., and M. Matsu'ura, 1992, Geodetic data inversion using a Bayesian information criterion for spatial distribution of fault slip, *Geophys. J. Int.* 109, 363-375.
- 16) 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.

(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
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	地球惑星科学連合 2008 年大会	平成 20 年 5 月 25-30 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	地球惑星科学連合 2008 年大会	平成 20 年 5 月 25-30 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	地球惑星科学連合 2008 年大会	平成 20 年 5 月 25-30 日
山本揚二郎, 日野亮太, 伊藤喜宏, 鈴木健	Three-dimensional seismic velocity	地球惑星科学連合 2008 年大会	平成 20 年 5 月 25-30 日

介, 山田知朗, 篠原雅尚, 金沢敏彦, 金沢敏彦, 田中昌之, 高波鐵夫・植平賢司・金田義行	structure in the off-Miyagi and off-Fukushima forearc region		
山本揚二郎, 日野亮太, 伊藤喜宏, 藤本博己	Tomographic imaging of seismic velocity structure in the NE Japan forearc region	地球惑星科学連合 2008 年大会	平成 20 年 5 月 25-30 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・篠原雅尚・金沢敏彦	Vp velocity structure of the crust and the slab mantle of the subducted Pacific Plate near the Japan Trench by airgun-OBS survey	地球惑星科学連合 2008 年大会	平成 20 年 5 月 25-30 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	地球惑星科学連合 2008 年大会	平成 20 年 5 月 25-30 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	宮城県沖海底地震観測による小地震の発震機構解の空間分布	地球惑星科学連合 2008 年大会	平成 20 年 5 月 25-30 日
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	地球惑星科学連合 2008 年大会	平成 20 年 5 月 25-30 日
Azuma, R. R, Hino, Y. Ito, T. Takanami, T. Miura, Y. 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 8-13 日
Hino, R., Y. Yamamoto, Y. Ito, R. Azuma, A. Hasegawa,	3D seismic structure of the forearc area in eastern Hokkaido,	13 th International symposium on	平成 20 年 6 月 8-13 日

T. Yamada, K. Nakahigashi, A. Kuwano, K. Mochizuki, S. Sakai, M. Shinohara, T. Kanazawa, T. Takanami, Y. Murai, S. Amamiya, and Y. Machida	Japan ,by using ocean bottom seismographic observation	deep seismic profiling of the continents and their margins	
Ito, Y., M. Matsubara, and J. Nakajima	Seismicity and tomography along Japan trench revealed by Hybrid method for hypocenterdetermination 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 8-13 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-dimensinal 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 8-13 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 20-22 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	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	平成年 10 月 22-24 日

晃・山口照寛・中尾茂			
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	平成年 10 月 22-24 日
Iinuma, T., M. Ohzono, Y. Ohta, S. Miura, S. 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	Postseismic deformation associated with the Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake in 2008	The 7 th General Assembly of Asian Seismological Commission	平成 20 年 11 月 24-27 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 24-27 日
Ohta, Y., M. Ohzono, S. Miura, T. Iinuma, K. Tachibana, K. Takatsuka, K. Miyao, T. Sato, 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 24-27 日
Suzuki, K, R. Hino, Y. Yamamoto, Y. Ito, T. Kanazawa, T. Yamada, M. Shinohara, K.	Precise hypocenters and focal mechanisms revealed by using 3D velocity structure in	The 7 th General Assembly of Asian Seismological	平成 20 年 11 月 24-27 日

Uehira, M. Tanaka, Y. Kaneda	the Miyagi-Oki region	Commission	
Uchida, N. , J. Nakajima, A. Hasegawa, 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 24-27 日
Yamamoto, Y., R. Hino, M. Shinohara, K. Suzuki, T. Yamada, 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 24-27 日
Uchida, N., M. Mishina, 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 24-27 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 the subducting Pacific Ocean slab near the Japan trench deduced by airgun-OBS surveys	The 7 th General Assembly of Asian Seismological Commission	平成 20 年 11 月 24-27 日
Uchida, N., A. Hasegawa, J. Nakajima, 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 15-19 日
Azuma, R., R. Hino, Y. Ito, T. Takanami, R.	Seismic velocity structure of subducting	AGU 2008 Fall meeting	平成 20 年 12 月 15-19 日

Miura, K. Ichijo, K. Mochizuki, T. Igarashi, K. Uehira, T. Sato, M. Shinohara and T. Kanazawa	Pacific Ocean slab near Japantrench deduced by airgun-OBS surveys		
Y. Ito, K. Obara, Y. Asano, H Fujimoto, R. Hino, J. Ashi, T. Tsuji	Shallow very-low-frequency earthquakes around Japan: Recent studies and observation	AGU 2008 Fall meeting	平成 20 年 12 月 15-19 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	BlueEarth09	平成 21 年 3 月 12-13 日
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.	印刷中
Mishina. M.	Distribution of crustal fluids in Northeast Japan as inferred from resistivity surveys	Gondwana Research	印刷中
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.	2009 年 doi:10.1029/ 2008GL036100

(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

(3) 平成 21 年度業務計画案

準静的すべりの時空間発展の準リアルタイム・モニタを実現するために、GPS 観測および相似地震観測データを準リアルタイムで処理するためのシステムの開発と実用化のための改良を継続して進める。本学が宮城県内を中心とした地域で整備しつつある陸上 GPS 観測点のデータと従来の観測点および GEONET のデータとの併合解析を進め、それにより得られる地表の変位速度場を用いた逆解析を高度化し、プレート間すべり分布の時空間変化を即時的に検知できるようなシステムの開発を継続して行う。また、リアルタイム収録されている陸上観測網の地震波形データから相似地震を同定し、その位置とすべり量を高精度かつ準リアルタイムで推定するための自動処理手法の開発を継続して行い、プロトタイプ・システムの完成を目指す。

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う。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て、前年度の結果をより深く議論する目的で詳細な震源決定を行う。特に波形相関を用いた震源決定を行うことで詳細に震源の相対位置の推定を試みる。また、小領域ごとに応力テンソルインバージョンを行うことで応力場、プレート間固着および摩擦特性と地震活動の関連性を議論するとともに、それらを相似地震・GPS から推定されるプレート間すべりと比較することによってプレート間すべりおよびそれに起因する応力擾乱がプレート境界面・面外で発生する地震に与える影響について考察を進める。