

平成 24 年度年次報告

課題番号：1443

(1) 実施機関名：

東京大学地震研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

海域観測による超巨大プレート境界地震震源域の実体解明

(3) 最も関連の深い建議の項目：

5. 超巨大地震に関する当面実施すべき観測研究の推進

(1) 超巨大地震とそれに起因する現象の解明のための観測研究

イ. 超巨大地震の発生とその前後の過程の解明

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

イ. 上部マントルとマグマの発生場

ウ. 広域の地殻構造と地殻流体の分布

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-1) 地震準備過程

ア. アスペリティの実体

イ. 非地震性滑りの時空間変化とアスペリティの相互作用

エ. スラブ内地震の発生機構

3. 新たな観測技術の開発

(1) 海底における観測技術の開発と高度化

イ. 海底地震観測技術

(5) 本課題の 5か年の到達目標：

平成 23 年東北地方太平洋沖地震は、従来考えられていたアスペリティの空間的広がりを遙かに超えた震源域を持っている。また、超巨大地震発生により、プレート境界域および、その周辺において、地震発生前から応力状態が大きく変化し、地殻活動に変化が生じたことが推定される。超巨大地震の発生様式を考える上において、従来考えられていたアスペリティの拡がりを超える震源域の実体を明らかにすることは、震源過程の解明のために、また、発生後の地殻活動を明らかにすることは、地震発生サイクルと関連して、重要である。

本観測研究計画は、海底観測を軸とした

1. 震源域における構造不均質の解明のための大規模制御震源構造調査

2. 正確な地殻活動把握のための長期繰り返し海底地震観測とデータ解析

3. プレート境界における滑り特性解明のための海底超広帯域地震データの解析

を実施することにより、超巨大地震の震源域の実体解明、更には超巨大地震の発生機構解明に貢献することを目指す。また、これまでに実施されてきた「アスペリティの実体解明」により蓄積されたデー

タ・結果と比較・検討を行うことにより、地殻活動の時空間変化に着目し、超巨大地震発生域におけるカップリングの回復過程を推定を試みる。

(6) 本課題の5か年計画の概要 :

1. 震源域における構造不均質の解明のための大規模制御震源構造調査（平成 25 年度実施）

今回の地震震源域において、制御震源地震探査を自然地震観測、海底ケーブル観測、GPS 音響測位等による地殻変動観測との密接な連携のもとに実施する。地震発生後における構造、特に不均質性、流体の分布特性と地震発生様式及び地震断層面における滑り分布との関連性を明らかにするとともに、測線位置をこれまでの構造探査と一致させることにより、地震発生以前の構造との比較を行い、地震前後の構造の差異の検出、震源域の空間拡がり及びプレート間固着の特性抽出を目指す。制御震源構造探査は、全国の大学・機関と連携し、大容量エアガン・火薬と海底地震計 30 台程度を用いる。なお、この観測研究は、拠点としての地震研究所の機能を最大限に活かして、全国の大学・機関の研究者との共同研究として実施する。実施対象地域は、震源域内でこれまでの測線が存在する宮城沖、福島沖、茨城沖などから選定する。

2. 正確な地殻活動把握のための長期繰り返し海底地震観測（平成 24, 25 年度実施）

今回の地震震源域直上である海底において、長期観測型海底地震計による地震観測を行い、地震発生後の時間経過による地殻活動の時空間変化の実体を明らかにする。本震発生以前の 2004 年から 5 か年にわたって、今回の震源域では、長期観測型海底地震計を用いた海底地震観測が行われており、詳細な震源分布が得られている。さらに、震源域直上では、発生直後から多数の海底地震計を空間的に高密度に展開し、詳細な余震分布が得られている。本課題では、平成 23 年度に設置された長期観測型海底地震計を回収し、解析を行うと共に、この観測に引き続き、1 年間連続観測可能な長期観測型海底地震計を震源域直上に設置し、詳細な震源分布を求める。これらの結果から、超巨大地震発生前後の地震活動の差異、及び地震発生後の地震活動の時空間変化を明らかにすることにより、超巨大地震発生域におけるカップリングの回復過程を推定する。

3. プレート境界における滑り特性解明のための海底超広帯域観測（平成 24, 25 年度実施）

本課題は、これまでの余震観測や調査観測で得られた、地震帶域から測地帶域までの超広帯域地震データを解析し、プレート境界におけるゆっくり滑りや低周波イベント等の特異な現象を含めた、より詳細な地殻活動を明らかにする。これらの結果を、1. の大規模構造調査、2. の海底地震観測の結果と比較・検討することにより、プレート間固着の特性抽出を試みる。

【現建議で行っている課題研究計画の変更点】

本観測研究計画は、「海域から陸域までの総合的調査・観測によるアスペリティの実体解明（課題番号：1416）」の計画の一部を変更し、本観測研究課題に移行するものである。このため、「アスペリティの実体解明」で計画していた

1. 大規模制御震源構造調査によるアスペリティー非アスペリティ境界域における構造不均質の解明
2. 海底地震観測ネットワーク及び陸上テレメータ観測による、地震活動の解明
3. 海底測地観測によるプレート固着域のマッピングと非地震性滑りの検出

については、新たな観測は実施せずに、平成 23 年度までに得られているデータの解析を引き続き実施し、目標の達成を行う。また、

4. 重力及び GPS 観測によるプレート境界固着部のマッピング
5. 精密地殻変動観測

については、これまでの予定通りに実施する予定である。

(7) 平成 24 年度成果の概要 :

2011 年 3 月 11 日 M9.0 である平成 23 年度東北地方太平洋沖地震が発生した。本震発生に伴う余震の震源位置を正確に決定することは、本震の震源断層の位置、形状を正確に明らかにするために必要である。また、余震活動の時空間変化を調べることで、本震の破壊様式や今後の余震活動の推移を推

定するための重要な情報となる。そのために、海域である震源域直上に自己浮上式海底地震計を多数設置し、余震分布を高精度で決定した。

本震発生時には、震源域の一部に、50台程度の海底地震計が設置されており、定常的な海底地震観測を実施中であった。これらの地震計に加えて、本震発生後4日目から、計72台の海底地震計の震源域への設置を行った。これにより、本震発生以前からの海底地震計と併せて、120点を超える海底地震観測網が完成し、観測を開始した（図1）。設置した海底地震計の一部は、ほぼ1か月間の観測を行った後、順次回収した。回収地点には、新規の海底地震計を再設置し、観測を継続すると共に、観測網を広げるために、新たな観測点を設けた。その結果、計77台の海底地震計を5月初旬までに設置した。この海底地震計の大部分は、約1か月間の観測後、6月に回収された。観測域は、陸上観測網から活発な地震活動が求められている、ほぼ $500\text{ km} \times 200\text{ km}$ の領域とし、海底地震計の設置間隔は約25kmである。この観測網により震源域ほぼ全域をカバーすることができた。海底地震計には、いくつかの種類を用いた。もっとも数が多いものは、ST-OBSである。その後、より精度の高い余震分布を求めるために、空間的な密度を高くした海底地震計観測網を、本震付近である宮城県沖と、本震震源域の南部である茨城県沖・千葉県沖に6月に展開して、9月まで観測を行った。海底での海底地震計の位置は、GPSによる観測船位置及び音響通信装置を用いた測距により、決定した。

回収された海底地震計のデータにより、余震の震源決定を行った。なお、解析対象とした地震は、観測期間内に、気象庁が陸上観測網のデータを用いて、震源決定した地震のうち、海底地震計観測網近傍で発生していると思われる地震である。読み取った到着時刻により、震源決定を行った。速度構造には、過去に行われた速度構造探査の結果を用いた。また、観測点補正も行った。また、震源決定は、1次元構造を用いて行うために、広い領域を一度に震源決定すると誤差を生じる。そのために、観測域を北部、中部、南部の3つの領域に分けて、それぞれの領域で、震源決定を行った後に、結果を統合することで、全体の震源分布を作成した。その際、精度の高い余震分布を求めるために、震源決定の誤差が大きい余震については、結果を採用しないこととした。その結果、2011年3月12日から9月3日までの期間に、深さ方向の誤差が3km以下、水平方向の誤差が5km以内の余震を、1210個求めることができた（図2）。求められた震源分布は、時間的及び空間的に均質ではないので、注意が必要であるが、それぞれの余震の震源位置の精度は高い。海底地震計観測網で再決定された余震と、気象庁が陸上観測網から求めた震源位置の差異を図3に示す。

海底地震計観測網で求められた余震分布は、海溝から日本列島に向かって、その深さが深くなっている。しかしながら、プレート境界以外にも、陸側プレート内にも活発な活動がある。深さが25km程度よりも深いプレート境界付近で発生している余震は、海洋プレート沈み込みを示す逆断層型の地震が多いが、陸側プレート内の地震は、正断層型または横ずれ型の発震機構を持つ地震が卓越する。本震発生前は、陸側プレート内でも、逆断層型の地震が多数を占めていたので、発生様式が変化した可能性がある。また、本震時に大きな滑りが推定されている本震付近では、余震活動が低調であることも分かる（図4）。

海溝軸付近は、地震活動が低調であるが、大きな津波の発生域であると推定されている宮城県はるか沖の海溝軸付近には、余震が発生している。これらの余震は、沈み込む海洋プレート内で発生していることが、分かった。また、海溝より海側では、正断層型の地震が多数発生していることが、やはり海底観測より明らかとなった。陸側プレート内の余震活動が、本震発生以前に比べ、活発になったことと比べ、陸側斜面下の海洋プレート内の活動度は、それほど変化していないように見える。

今回の余震分布を過去の構造探査実験結果と比較した。宮城県沖では、2006年に、今回の本震付近を横切る構造探査が行われており、詳細なプレート境界の位置などが求められている。本震付近では、余震活動は低調であるが、その数少ない余震のほとんどは、陸側プレート内で発生しており、震源断層であるプレート境界で、発生している余震はほとんどない。沈み込む海洋プレートは、深さ25km付近で沈み込み角が大きくなるが、余震域の端がこの折れ曲がり点とほぼ一致している。折れ曲がり点より深いプレート境界では、余震が多く発生していることも分かる。

福島県沖から千葉県房総半島沖の震源域南部では、海溝軸に平行な測線による構造探査が行われて

いる。日本列島の陸側プレートと太平洋プレートの境界は、深さ 20km 程度に存在する。更に南部では、日本列島の下に沈み込む太平洋プレートに、南から日本列島の下に沈み込むフィリピン海プレートが接触していることが推定されている。この構造断面に、測線からの水平距離が 10 km 以内の余震を投影すると、プレート境界付近の余震発生域の南限は、本震時のデータから推定されている震源域南限と一致しており、本震時の破壊がこの付近で停止したことが推定される。

(8) 平成 24 年度の成果に関連の深いもので、平成 24 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

- Nakahigashi, K., M. Shinohara, K. Mochizuki, T. Yamada, R. Hino, T. Sato, K. Uehira, Y. Ito, Y. Murai, and T. Kanazawa, P-wave velocity structure in the southernmost source region of the 2011 Tohoku earthquakes, off the Boso Peninsula deduced by an ocean bottom seismographic survey, Earth Planets Space, 64, 1149-1156, 2012.
- Obana, K., G. Fujie, T. Takahashi, Y. Yamamoto, Y. Nakamura, S. Kodaira, N. Takahashi, Y. Kaneda, and M. Shinohara, Normal-faulting earthquakes beneath the outer slope of the Japan Trench after the 2011 Tohoku earthquake: Implications for the stress regime in the incoming Pacific plate, Geophys. Res. Lett., 39, L00G25, doi:10.1029/2011GL050399, 2012.
- Shinohara, M., Y. Machida, T. Yamada, K. Nakahigashi, T. Shinbo, K. Mochizuki, Y. Murai, R. Hino, Y. Ito, T. Sato, H. Shiobara, K. Uehira, H. Yakiwara, K. Obana, N. Takahashi, S. Kodaira, K. Hirata, H. Tsushima, and T. Iwasaki, Precise aftershock distribution of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake revealed by ocean bottom seismometer network, Earth Planets Space, 64, 1137-1148, 2012.
- Suzuki, K., R. Hino, Y. Ito, Y. Yamamoto, S. Suzuki, H. Fujimoto, M. Shinohara, M. Abe, Y. Kawaharada, Y. Hasegawa, and Y. Kaneda, Seismicity near the hypocenter of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake deduced by using ocean bottom seismographic data, Earth Planets Space, 64, 1125-1135, 2012.

(9) 平成 25 年度実施計画の概要：

1. 震源域における構造不均質の解明のための制御震源海底構造探査実験
 2. 正確な地殻活動把握のための長期繰り返し海底地震観測とデータ解析
 3. プレート境界における滑り特性解明のための海底超広帯域地震データの解析
- を実施することにより、震源域及び周辺の地殻活動を明らかにすると共に、超巨大地震の震源域の実体解明に貢献する。

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

1. 大規模制御震源構造調査
篠原雅尚・塩原肇・望月公廣・山田知朗・一瀬建日
2. 海底地震観測
篠原雅尚・塩原肇・望月公廣・山田知朗・一瀬建日
3. 海底超広帯域観測
篠原雅尚・塩原肇・望月公廣・山田知朗・一瀬建日

他機関との共同研究の有無：有

1. 大規模制御震源構造調査
北海道大学（村井芳夫），東北大学（日野亮太・伊藤喜宏），九州大学（植平賢司），鹿児島大学（八木原寛），千葉大学（佐藤利典）
2. 海底地震観測
北海道大学（村井芳夫），東北大学（日野亮太・伊藤喜宏），九州大学（植平賢司），鹿児島大学（八木原寛），千葉大学（佐藤利典）
3. 海底超広帯域観測

北海道大学（村井芳夫），東北大学（日野亮太・伊藤喜宏），九州大学（植平賢司），鹿児島大学（八木原寛），千葉大学（佐藤利典）

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：東京大学地震研究所

電話：03-5841-5712

e-mail : yotikikaku@eri.u-tokyo.ac.jp

URL :

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：篠原雅尚

所属：東京大学地震研究所

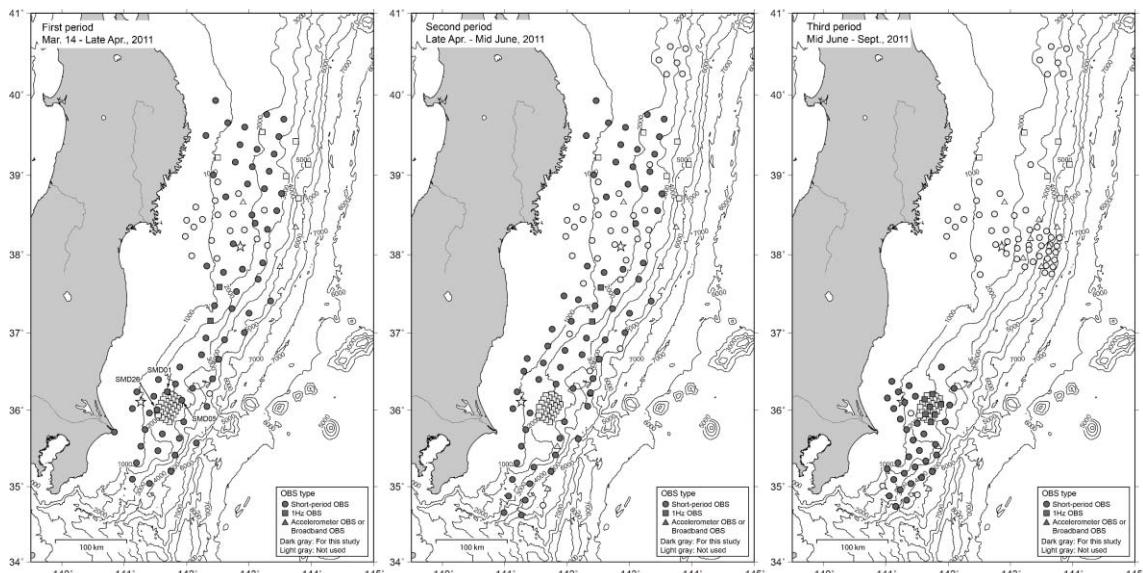


図 1

海底地震計の配置。丸、四角及び三角が海底地震計の位置を示す。暗い灰色は本研究に用いた観測点である。左：本震直後から 4 月下旬、中央：4 月下旬から 6 月中旬、右：6 月中旬から 9 月。

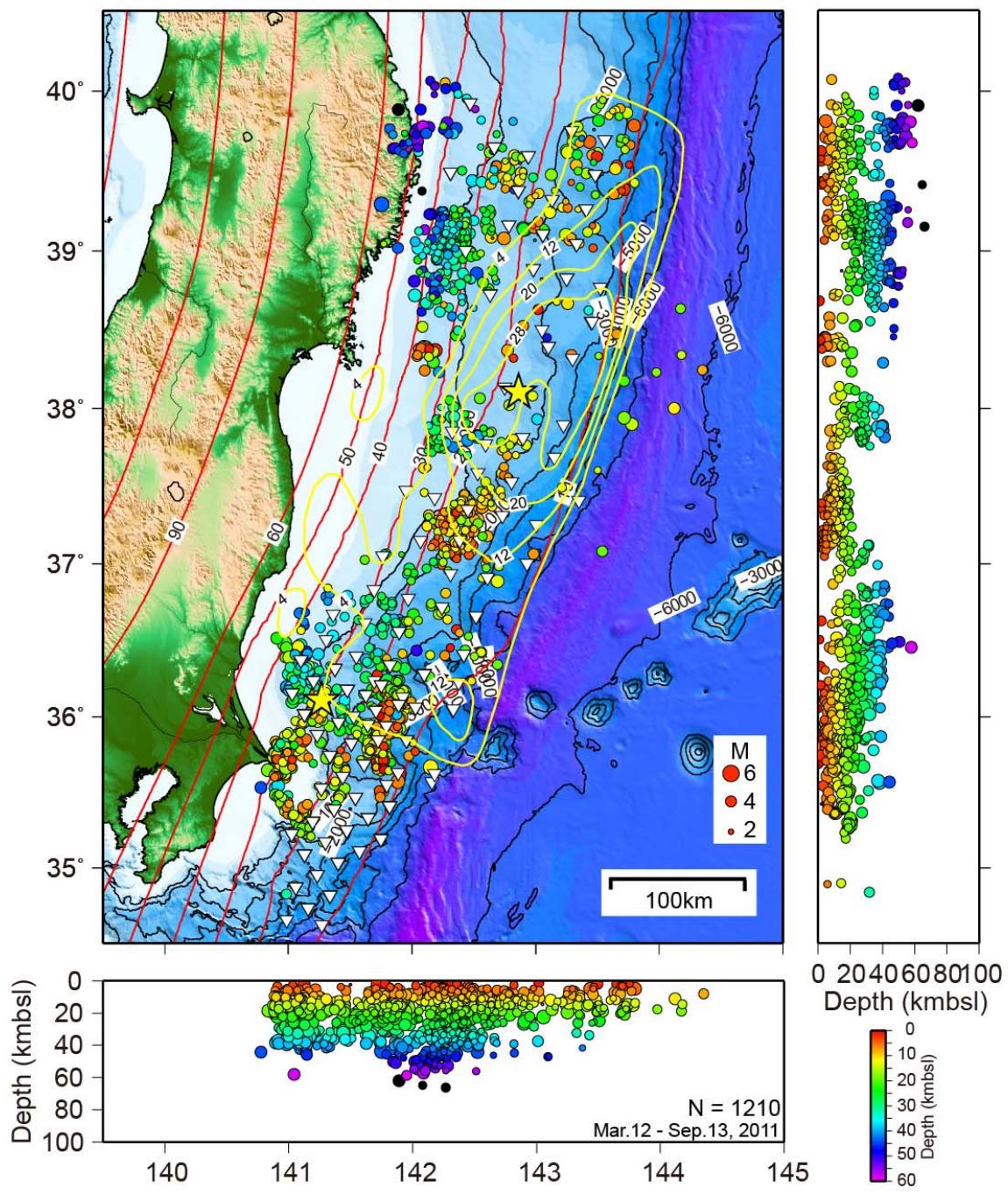


図2

海底地震計で再決定した東北地方太平洋沖地震の余震分布。決定精度のよい余震だけを表示してあるので、空間的には部分的であることに注意。灰色太線は、本震時の滑り量分布を表す。また、黒線は、過去に行われた構造探査測線の位置。

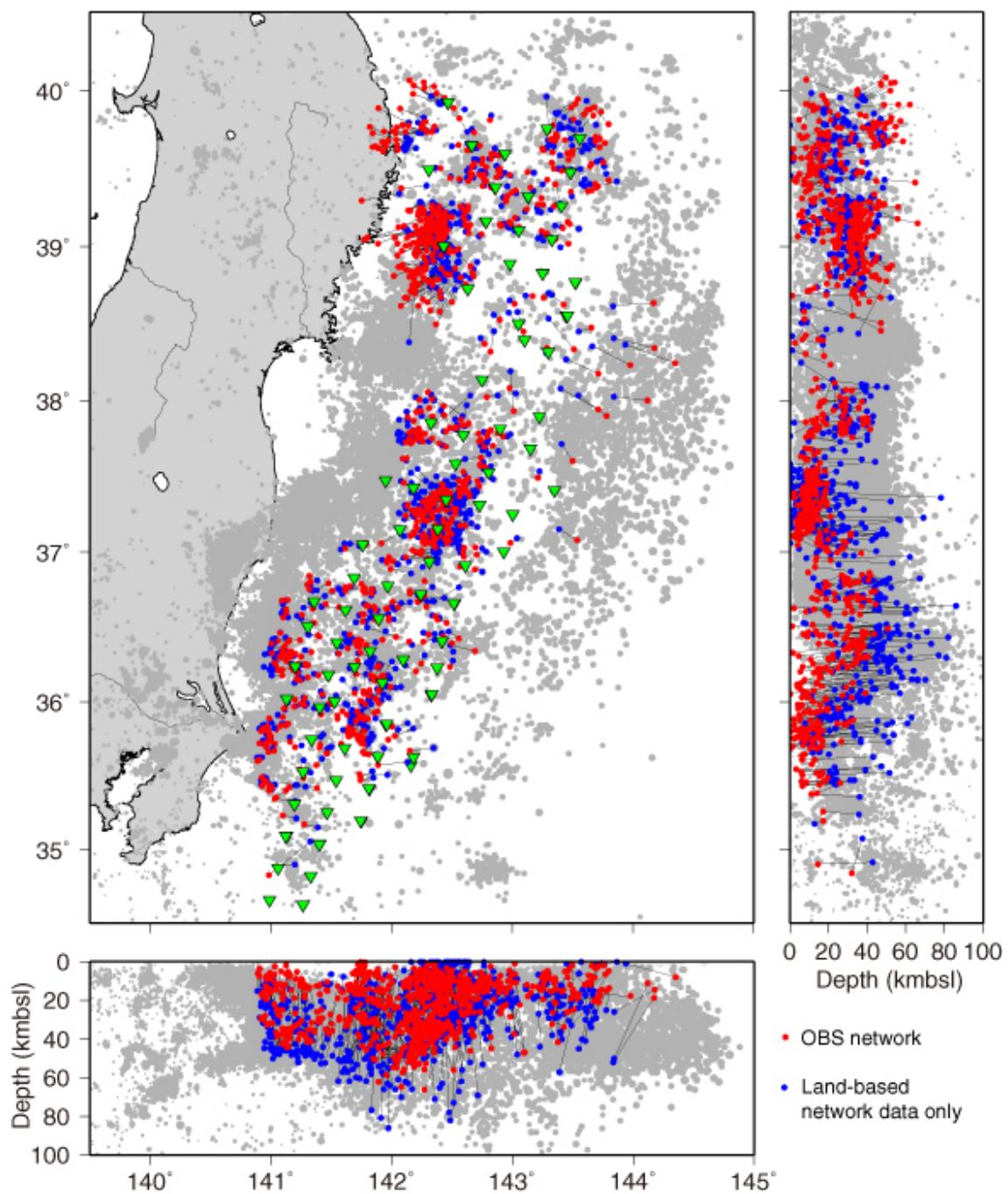


図 3.

海底地震計で再決定した余震位置（白丸）と、気象庁が陸上観測網から決定した余震位置（黒丸）の比較。一般に、海底地震計で再決定した余震は浅くなる。

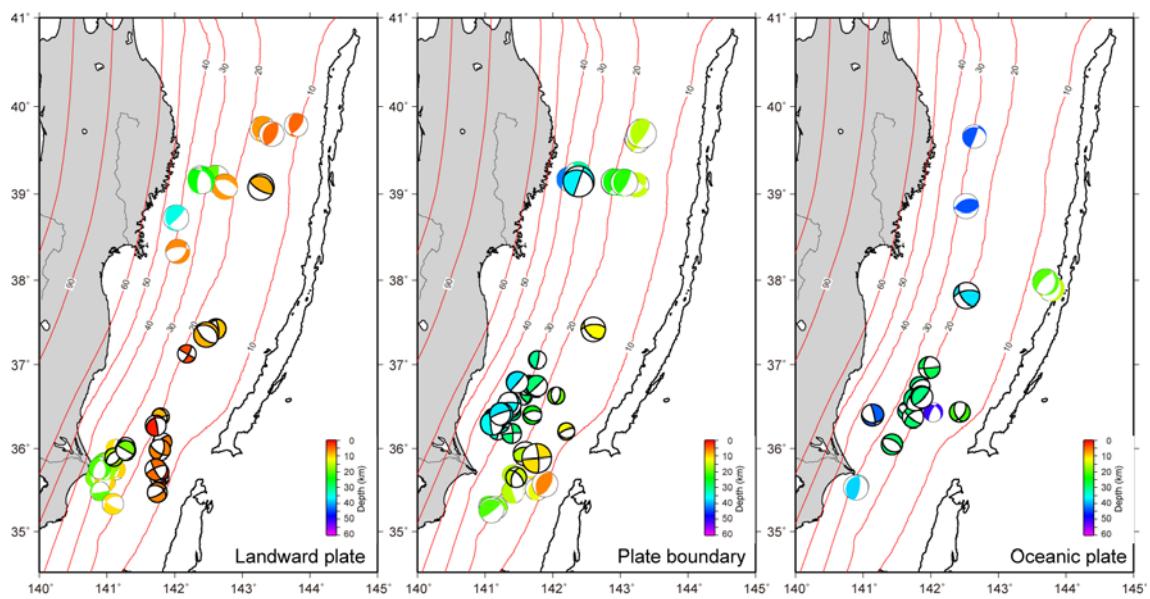


図4

海底地震計に記録された初動極性による発震機構解。プレート境界との距離が 5km 以内である地震をプレート境界地震に分類している。F-net による発震機構解（薄色）も併せて示している。