

3. 3 地震活動から見たプレート構造

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 地震活動から見たプレート構造

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人防災科学技術研究所地震津波防災研究部門	主任研究員	松原 誠
同	副部門長	汐見 勝彦
同	主任研究員	木村 武志
同	特別研究員	ヤノ トモコ エリザベス

(c) 業務の目的

Hi-net などの定常観測点、本事業で実施する海底地震観測などの地震観測データをもとに、地震波トモグラフィによる速度構造解析、震源の高精度決定、繰り返し地震の抽出、発震機構解の検討、レシーバー関数解析などの総合的な検討により、より高い精度でフィリピン海プレート上面境界モデルを構築する。

(d) 3 ヶ年の年次実施業務の要約

1) 平成 29 年度：

より精度が高いプレート境界を明らかにするために、防災科学技術研究所（防災科研）高感度地震観測網（Hi-net）で検出した東海地域における地震を精密震源再決定法により決め直した。同時に、プレート境界特有の低角逆断層型の繰り返し発生する地震の抽出システムを構築した。

2) 平成 30 年度：

平成 29 年度に構築したシステムを用いて、波形相関に基づくプレート境界特有の低角逆断層型の繰り返し発生する地震を抽出する。海底観測データの地震波到達時刻を活用した三次元地震波速度構造解析に向けた準備として、防災科研 Hi-net による到達時刻データとの統合手法などを開発し、地震波速度構造解析の試行をし、浅部構造の解像度の向上可能性を検討する。

3) 平成 31 年度：

Hi-net などの定常観測点、本事業で実施する海底地震観測などの地震観測データをもとに、地震波トモグラフィによる速度構造解析、震源の高精度決定、繰り返し地震の抽出、発震機構解の検討、レシーバー関数解析などの総合的な検討により、より高い精度でフィリピン海プレート上面境界モデルを構築する。さらに、地震活動や地震波速度構造から富士川河口断層帯における地震発生層の下限を求める。

(2) 平成29年度の成果

(a) 業務の要約

より精度が高いプレート境界を明らかにするために、防災科研 Hi-net で検出した東海地域における地震を2種類の方法で再決定した。1つ目の方法として、波形相関を用いた Double-Difference 法という精密震源再決定法を用いて再決定し、浅部においては断層に沿って集約する分布が得られた。2つ目の方法として、三次元地震波速度構造を用いて再決定した。表層近くの地震は深く、深い地震は浅く震源再決定され、沿岸から海域の地震は概ね陸に近づく方向に再決定された。また、プレート境界特有の低角逆断層型の繰り返し発生する地震の抽出システムを構築した。当該地震から 0.1° 以内に発生した地震について、P波の1秒前からS波の5秒後までの波形を比較して相関係数を計算し、20 Hz の波形で相関係数 0.80 以上の観測点が存在した場合に、さらに 100 Hz の波形での相関係数を計算し、相関係数 0.95 以上の観測点が3観測点以上存在した場合に、その地震の組み合わせを相似地震として抽出した。

(b) 業務の実施方法

1) 東海地域における震源再決定

東海地域においては陸側プレート内、陸側プレートと沈み込むフィリピン海プレートの境界部、さらにフィリピン海プレート内部における地震活動が活発である。定常的な地震活動を精査するため、一次元速度構造を用いるが、断層などに集約した分布を得やすい波形相関を用いた Double-Difference 法 (DD法; Waldhauser and Ellsworth, 2000) による再決定と三次元地震波速度構造を用いた再決定を実施した。

2000年10月～2014年7月までのマグニチュード1.5以上の微小地震について、三次元地震波速度構造 (Matsubara and Obara, 2011) を用いて再決定した。また、2000年10月～2017年12月までのマグニチュード0以上の微小地震について、一次元地震波速度構造と DD法を用いて、震源再決定を実施した。

2) 低角逆断層型の繰り返し発生する地震の抽出システムの構築

プレート境界においては、低角逆断層型の地震が発生する。固着域の周囲では、ほぼ同じ規模の低角逆断層型の地震が周期的に同じ場所で発生している現象が東北地方の太平洋プレート上面において観測されている (Igarashi et al., 2003; Uchida et al., 2003; Matsubara et al., 2005)。フィリピン海プレート上面においても、静岡県藤枝市の下付近において同様の繰り返し地震が観測されている (Matsubara et al., 2006)。このような繰り返し地震の探索には複雑な処理・解析が必要であり、それらを効率的に処理するシステムを構築した。

(c) 業務の成果

1) 東海地域における震源再決定

防災科研 Hi-net の定常処理により決められた 2000 年 10 月～2017 年年 12 月の東海地域 (東経 $137^\circ\sim 139^\circ$ 、北緯 $34.5^\circ\sim 35.5^\circ$) における自動処理を含むマグニチュード (M) 0.0 以上の地震の震源分布を図 1 に示す。DD 法を用いて再決定された震源を図 2

に示す。浅部においては断層に沿って集約する分布が得られた。

防災科研 Hi-net の定常処理により決められた 2000 年 10 月～2014 年 7 月の東海地域（東経 137°～139°、北緯 34.5°～35.5°）における手動検出されたマグニチュード（M）1.5 以上の地震の震源分布を図 3 に示す。三次元地震波速度構造を用いて再決定された震源分布を図 4 に示す。表層近くの地震は深く、深い地震は浅く震源再決定され、沿岸から海域の地震は概ね陸に近づく方向に再決定された。

2) 低角逆断層型の繰り返し発生する地震の抽出システムの構築

既存の解析サーバーのメモリーをリプレースして増やした上で、システムを構築した。これまで、手作業で実施していた各段階の作業を自動的に行うようにシステム化した。これにより、繰り返し地震を抽出したい期間と範囲を入力するだけで、自動的に、処理に必要な未成ファイルの作成、相関係数計算処理、同一地震の判定処理などを実施することができるようになった。あるイベントと比較対象イベントの抽出過程を図 5 に示す。

解析手順としては、まず、win32 形式で蓄積されている地震波形を sac 形式に変換する。その際、生波形（100 Hz）に加えて 1-4 Hz, 1-8 Hz, 1-20 Hz のバンドパスフィルターをかけた波形ファイル、および 1-4Hz の波形については相関係数の計算時間短縮のために 20 Hz にダウンサンプリングした波形も作成する。当該地震から 0.1°以内に発生した地震について、1-4 Hz のバンドパスフィルターをかけた 20 Hz の各観測点の波形を用いて P 波の 1 秒前から S 波の 5 秒後までの波形を比較して相関係数を計算し、相関係数 0.80 以上の観測点が存在した場合はさらに 100 Hz の波形での相関係数を計算し、相関係数 0.95 以上の観測点が 3 観測点以上存在した場合に、その地震の組み合わせを相似地震として抽出する。

Matsubara et al. (2006)により抽出されている静岡県藤枝市付近の小繰り返し地震の抽出結果を図 6～7 に示す。繰り返し地震として抽出された地震の組み合わせの中で最も距離が離れた地震は 0.018°（約 2 km）であった。

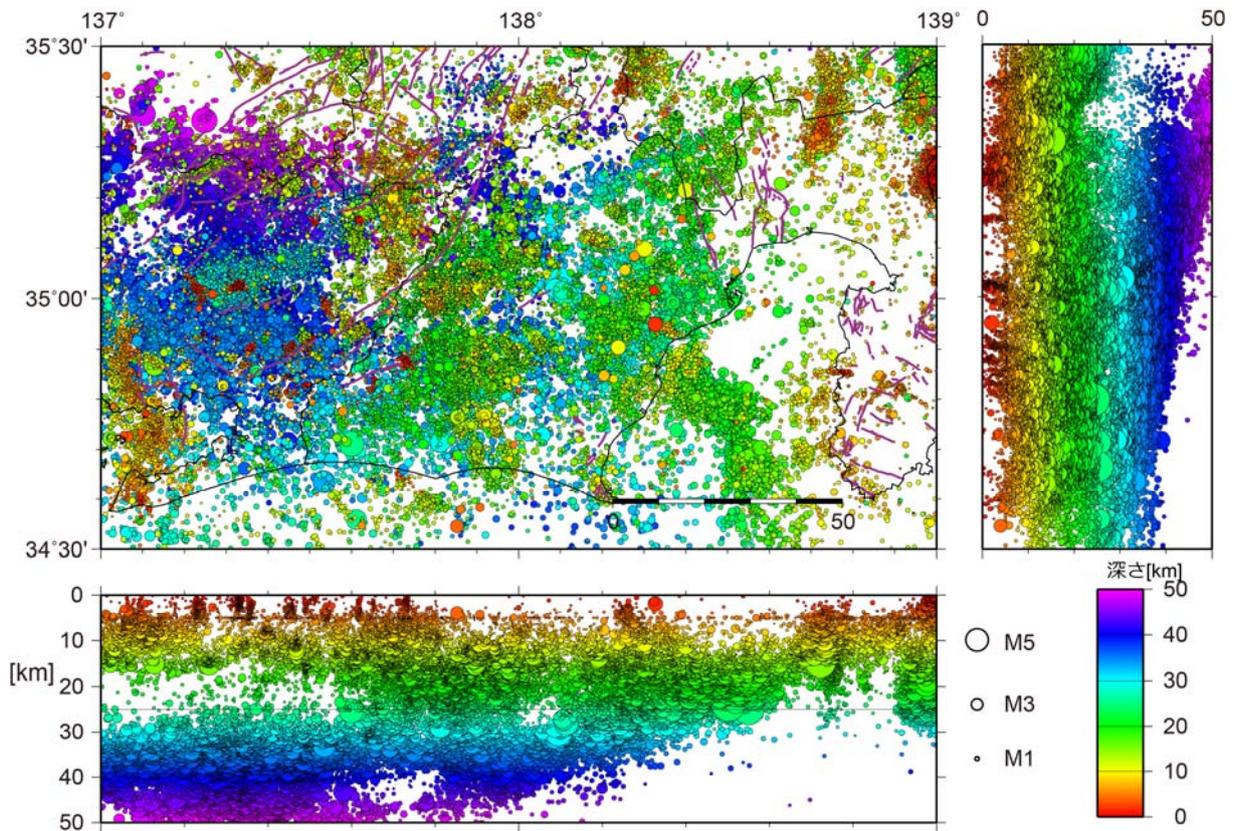


図1 防災科研 Hi-net の自動決定を含む定常処理により決められた 2000 年 10 月～2017 年 12 月の M0.0 以上の震源分布。

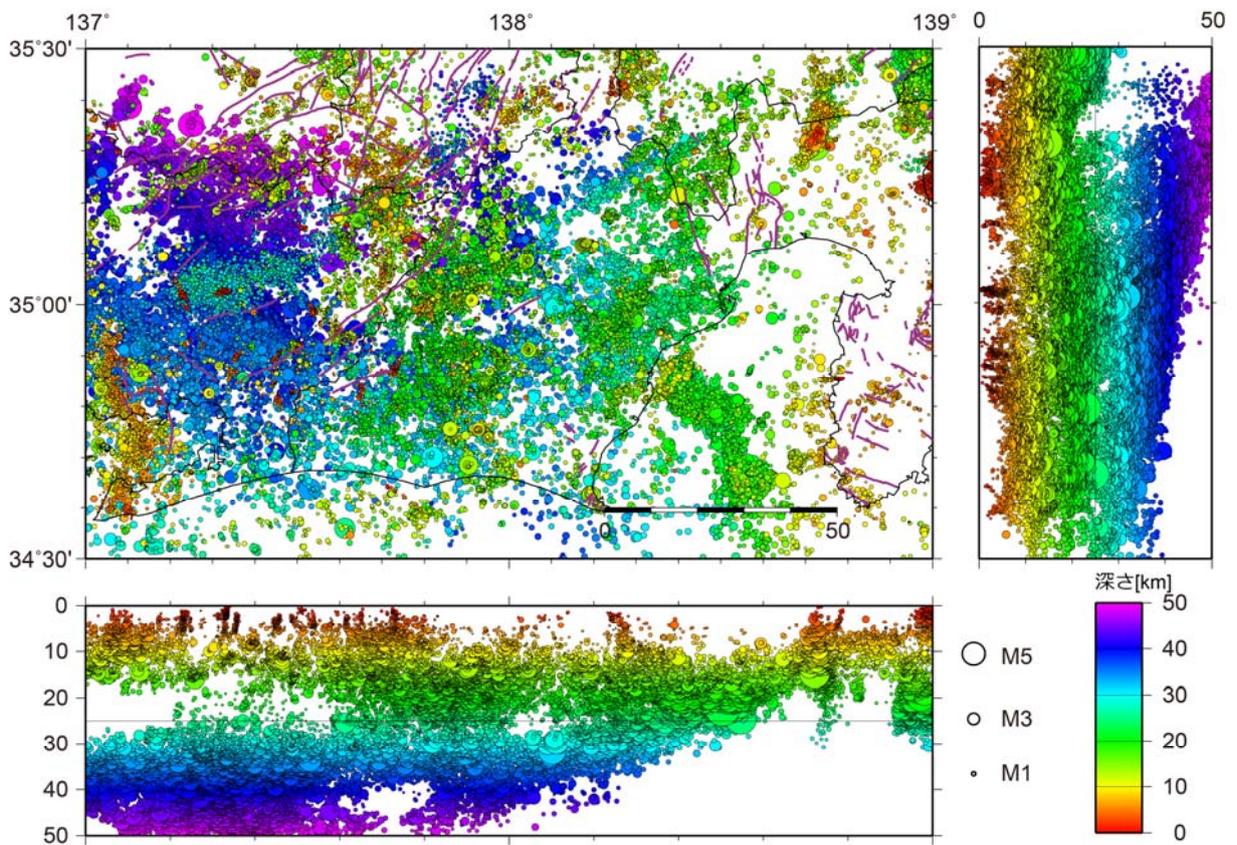


図2 波形相関を用いた DD 法により再決定された震源分布。

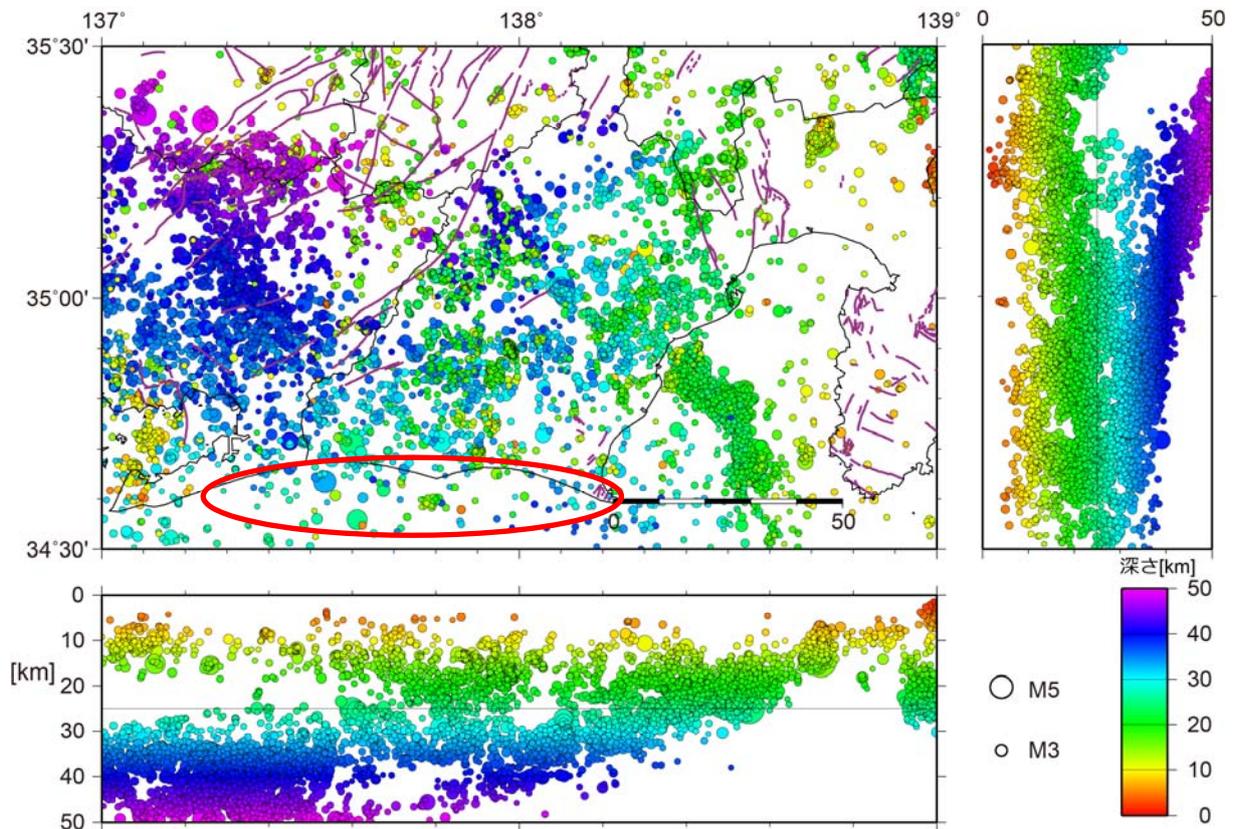


図3 防災科研 Hi-net の定常処理により手動検測された 2000 年 10 月～2014 年 7 月までの M1.5 以上の震源分布。赤楕円は再決定により陸に近づいた震源を示している。

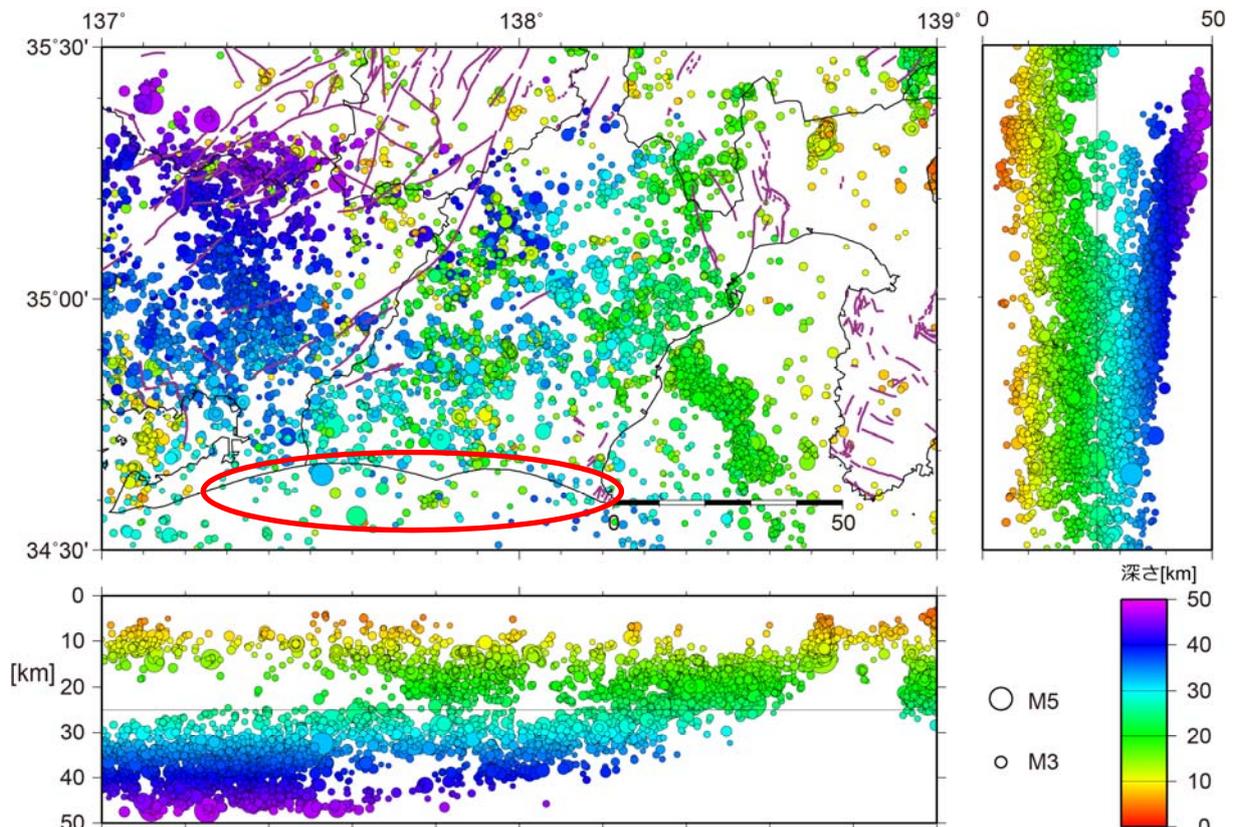


図4 三次元地震波速度構造を用いて再決定された震源分布。赤楕円は再決定により陸に近づいた震源を示している。

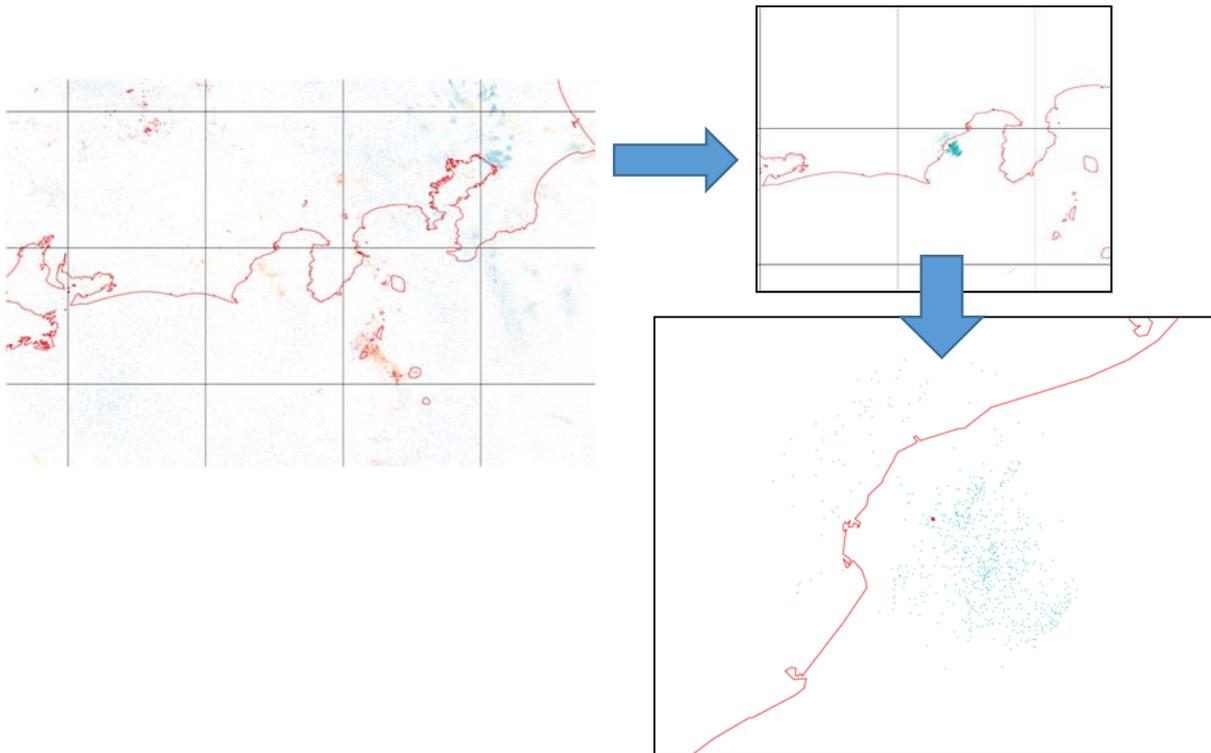


図5 波形を比較する対象イベントの抽出過程。解析対象全域の震源分布（左上）からあるイベントとその比較対象イベントを抽出した（右上）。その拡大図を右下に示す。

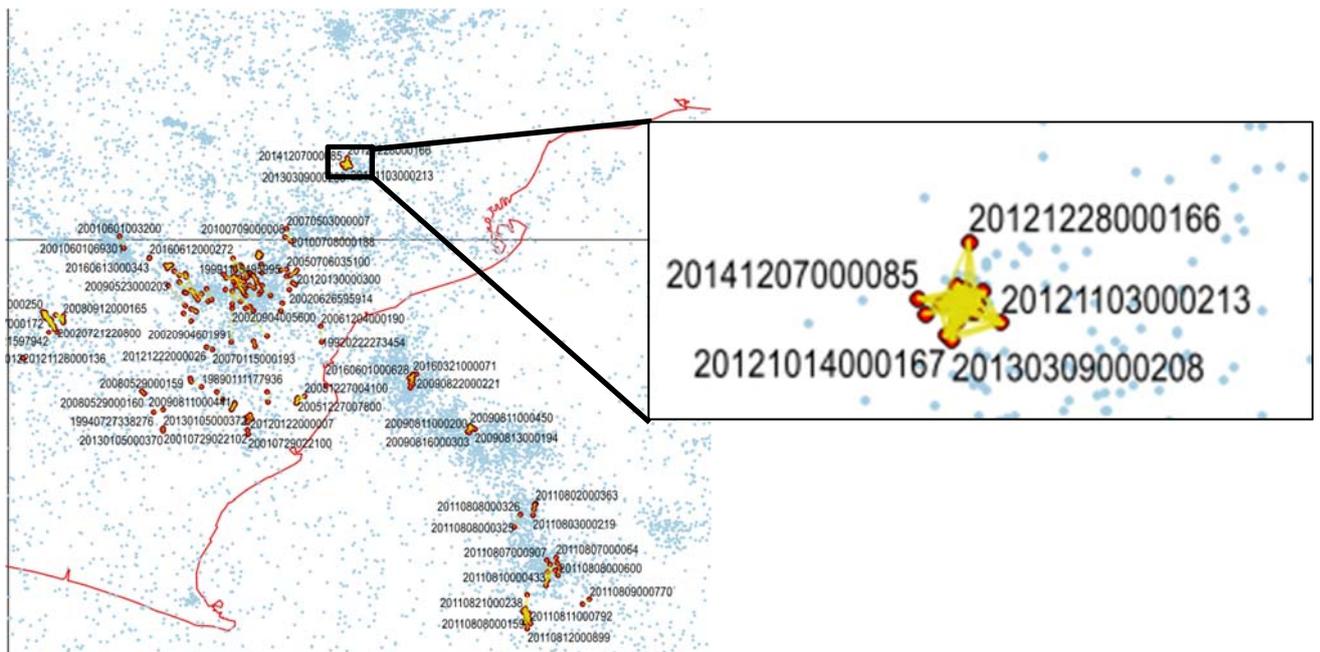


図6 相似地震として抽出された地震の組み合わせ例。薄青丸は比較対象の地震の震源を、赤丸が相似地震として抽出された地震の震源を、黄色の線は相似地震として抽出された地震の組み合わせを示す。

(d) 結論ならびに今後の課題

本解析により三次元地震波速度構造を用いた震源再決定により、深さ方向の精度が向上した。一方、DD法を用いた震源再決定により、断層などに集約する震源分布が得られた。深さの絶対的な位置は三次元地震波速度構造を用いた震源分布から、断層の形状についてはDD法を用いた震源分布を用いて議論できることが分かった。

また、プレート境界に特有の繰り返し発生する低角逆断層型の地震の抽出システムを構築した。今後、このシステムを活用して、フィリピン海プレート上面における低角逆断層型の地震を抽出し、プレート境界構造の推定に活用できると期待される。

(e) 引用文献

- Igarashi, T., T. Matsuzawa, and A. Hasegawa, Repeating earthquakes and interplate aseismic slip in the northeastern Japan subduction zone, *J. Geophys. Res.*, 108(B5), 2249, doi:10.1029/2002JB001920, 2003.
- Matsubara, M., H. Sato, K. Uehira, M. Mochizuki, and T. Kanazawa, Three-dimensional seismic velocity structure beneath Japanese Islands and surroundings based on NIED seismic networks using both inland and offshore events, *Journal of Disaster Research*, 12, 844-857, doi:10.20965/jdr.2017.p0844, 2017.
- Matsubara M. and K. Obara, The 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake related to a strong velocity gradient with the Pacific plate, *Earth Planets Space*, 63, 663-667, doi:10.5047/eps.2011.05.018, 2011.
- Matsubara, M., Y. Yagi, and K. Obara, Plate boundary slip associated with the 2003 Off-Tokachi earthquake based on small repeating earthquake data, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L08316, doi:10.1029/2004GL022310, 2005.
- Matsubara, M., K. Obara and K. Kasahara, Small repeating earthquake activity beneath the Kanto and Tokai region, central Japan, from 1979 to 2001 derived from NIED Kanto-Tokai seismic network, *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, T11G-04, 2006.
- Uchida, N., T. Matsuzawa, T. Igarashi, and A. Hasegawa, Interplate quasi-static slip off Sanriku, NE Japan, estimated from repeating earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, 30(15), 1801, doi:10.1029/2003GL017452, 2003.
- 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. doi:10.1785/0120000006, 2000.