

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 地震津波火山ネットワークセンター	主任研究員	松原 誠
	副部門長	汐見 勝彦
	主任研究員	木村 武志
	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した。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した。

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 30 年度の成果

(a) 業務の要約

平成29年度に構築し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用いて、波形相関に基づくプレート境界で特有に発生する低角逆断層型の小繰り返し地震を抽出した。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した。

(b) 業務の実施方法

1) 低角逆断層型繰り返し地震の抽出

平成 29 年度に構築し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用いて、波形相関に基づくプレート境界で特有に発生する低角逆断層型の小繰り返し地震を抽出した。関東東海観測網および防災科研 Hi-net により決められたマグニチュード 1.5 以上の地震の震源分布をそれぞれ図 1,2 に、両者を合わせた分布を図 3 に活断層のトレース（活断層研究会，1991）と共に示す。

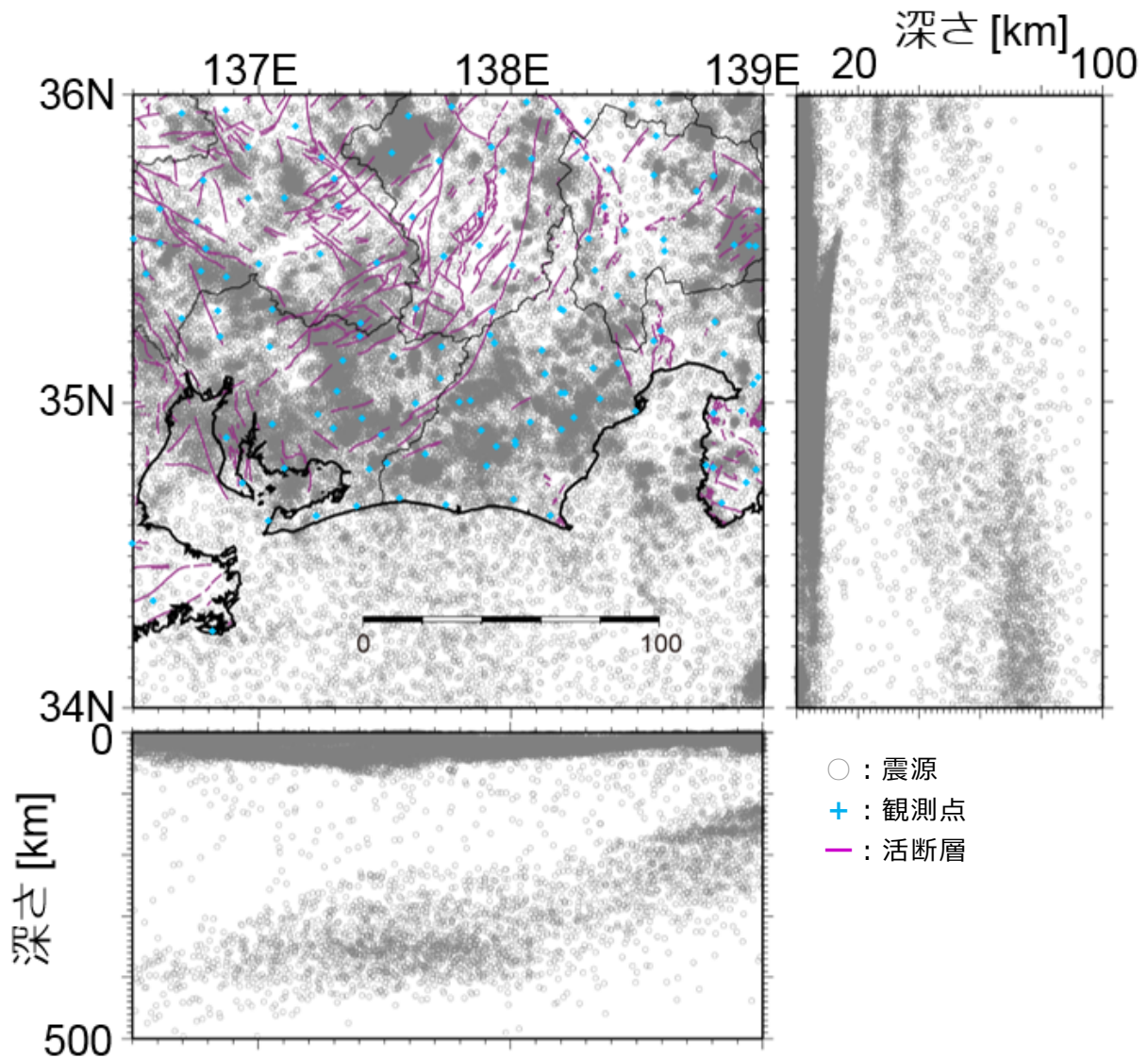


図 1 関東東海観測網による 1979 年～2002 年の震源分布。

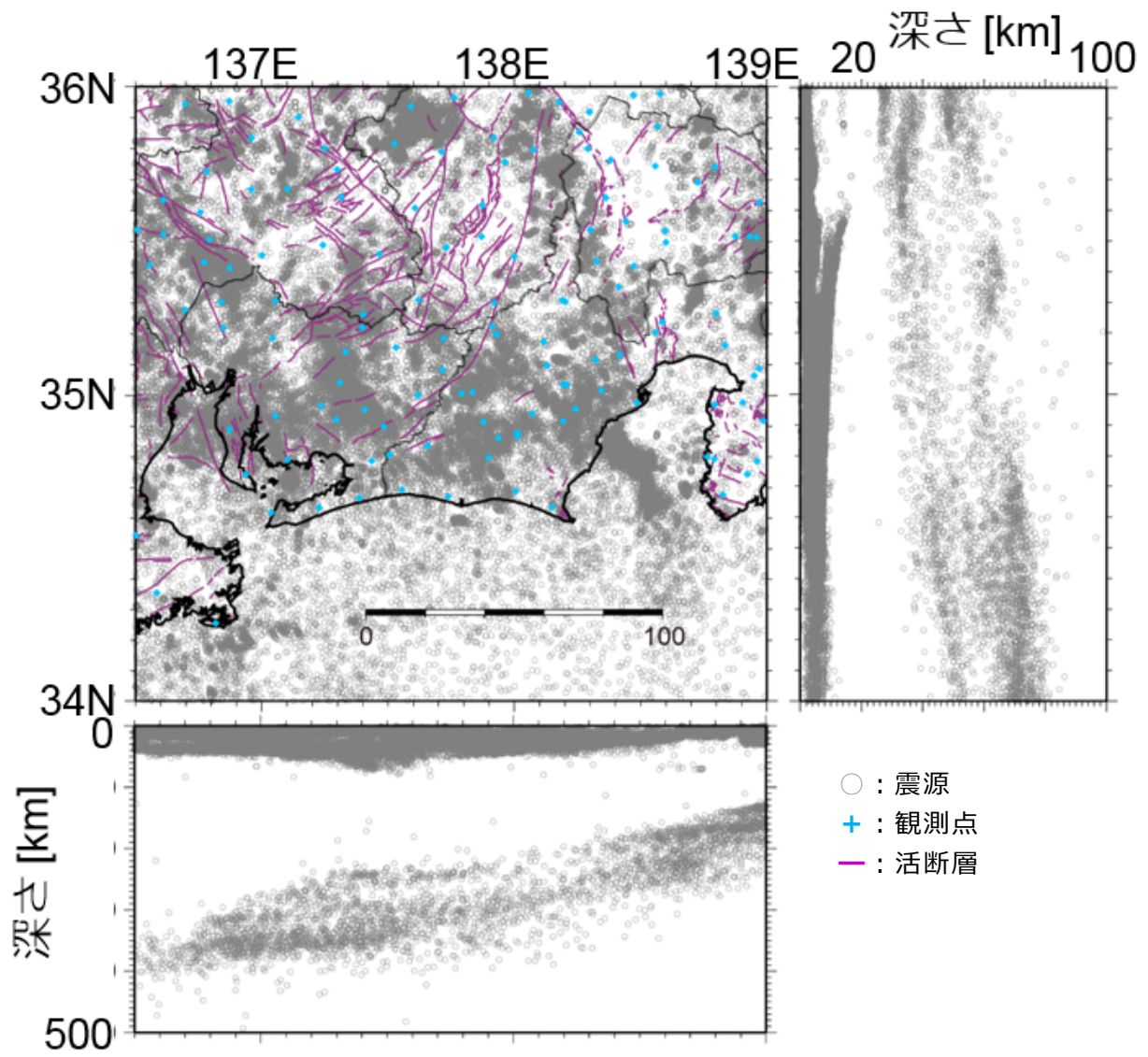


図2 防災科研 Hi-net による 2000 年～2018 年の震源分布。

防災科研 Hi-net の観測点における上下動成分の 1~8 Hz のバンドパスフィルターを適用した波形について、P 波の到達の 1 秒前から S 波の到達の 5 秒後までもしくは、S 波の読み取りが無い場合は P 波の到達の 1 秒前から 40 秒間の波形について相関係数を計算した。陸域に囲まれた領域も含めて、震央距離 100 km 以内の 3 観測点以上で 0.95 以上の相関係数を持つ波形が観測された地震の組み合わせを相似地震として抽出した (Matsubara et al. 2005)。

2) 海域観測データを活用した三次元地震波速度構造解析の準備

平成 29 年度の平成 30 年 1 月~3 月に東海大学により駿河湾で実施された海底地震計を用いた観測結果と同時期の防災科研 Hi-net により捉えられた震源分布を比較した。また、海底地震計のデータと Hi-net のデータの統合方法について検討した。

防災科研 Hi-net に蓄積された地震波の走時データを用いて、三次元地震波速度構造解析を実施すると共に、海底地震計により捉えられた地震の走時データや平成 30 年度に東大地震研等により実施された発破の走時データなどを合わせた三次元地震波速度構造解析を実施した。東経 136°~139°、北緯 34~36°を解析領域として、防災科研 Hi-net・海底地震

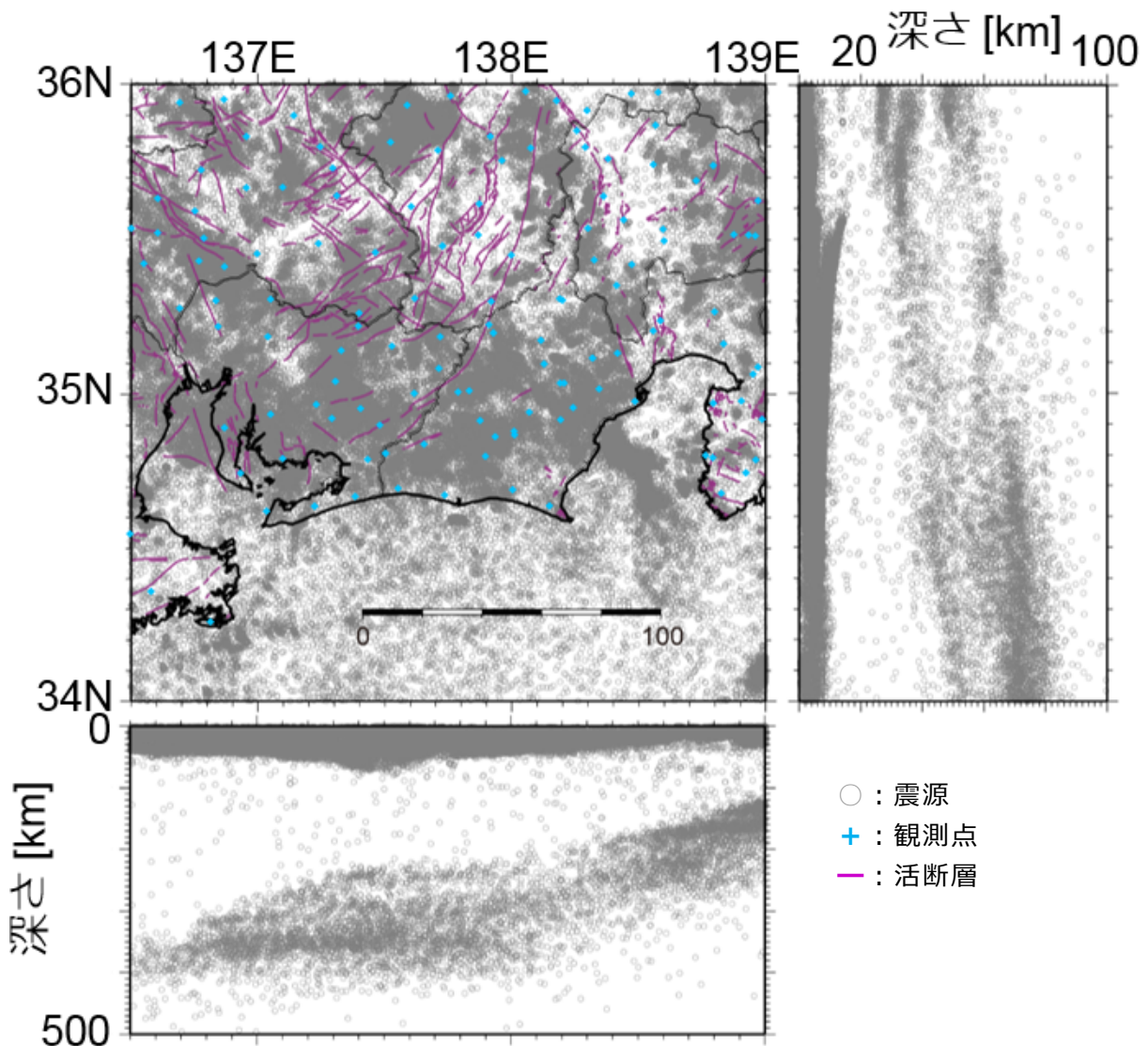


図 3 関東東海観測網と防災科研 Hi-net による震源分布を合わせた分布。

計のデータを合わせた地震波速度構造解析を実施した。防災科研 Hi-net の震源カタログから読み取り数の多い地震を 0.01° 四方、深さ 1 km 毎のブロックから 1 つずつ選ぶことにより、36,632 個の地震を用いた (図 4)。走時数は P 波・S 波を合わせて 3,025,189 個であった。さらに、平成 30 年 10 月 1 日に実施された 4 発の発破による振動の P 波の走時データ 92 個 (図 5)、および東海大学の海底地震計で捉えられた 181 個の地震からの P 波・S 波を合わせた 1,526 個の走時データを用いた (図 6)。Zhao et al. (1992) のトモグラフィー法に観測点補正值 やスムージングを導入した手法 (Matsubara et al., 2004; 2005) を用いた。

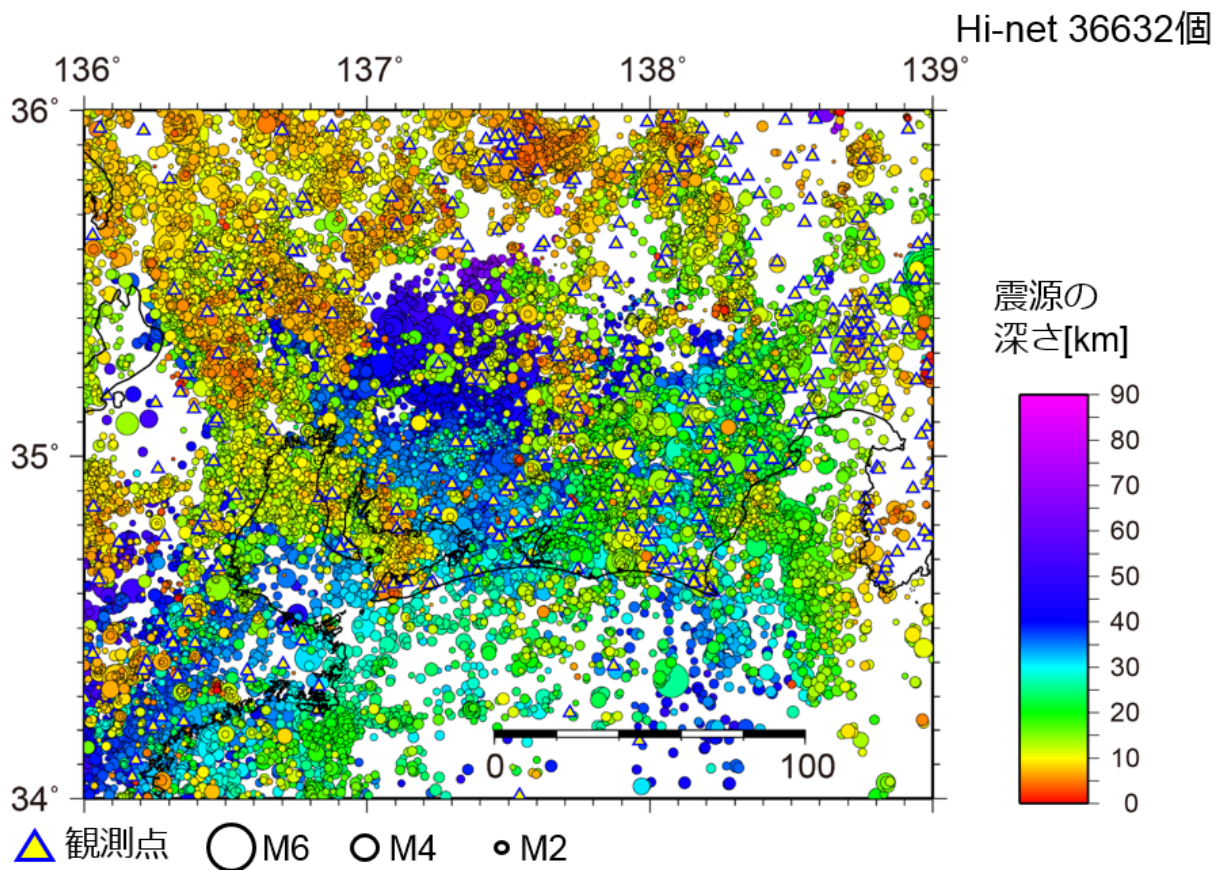


図 4 地震波速度構造解析に用いた防災科研 Hi-net の震源分布。

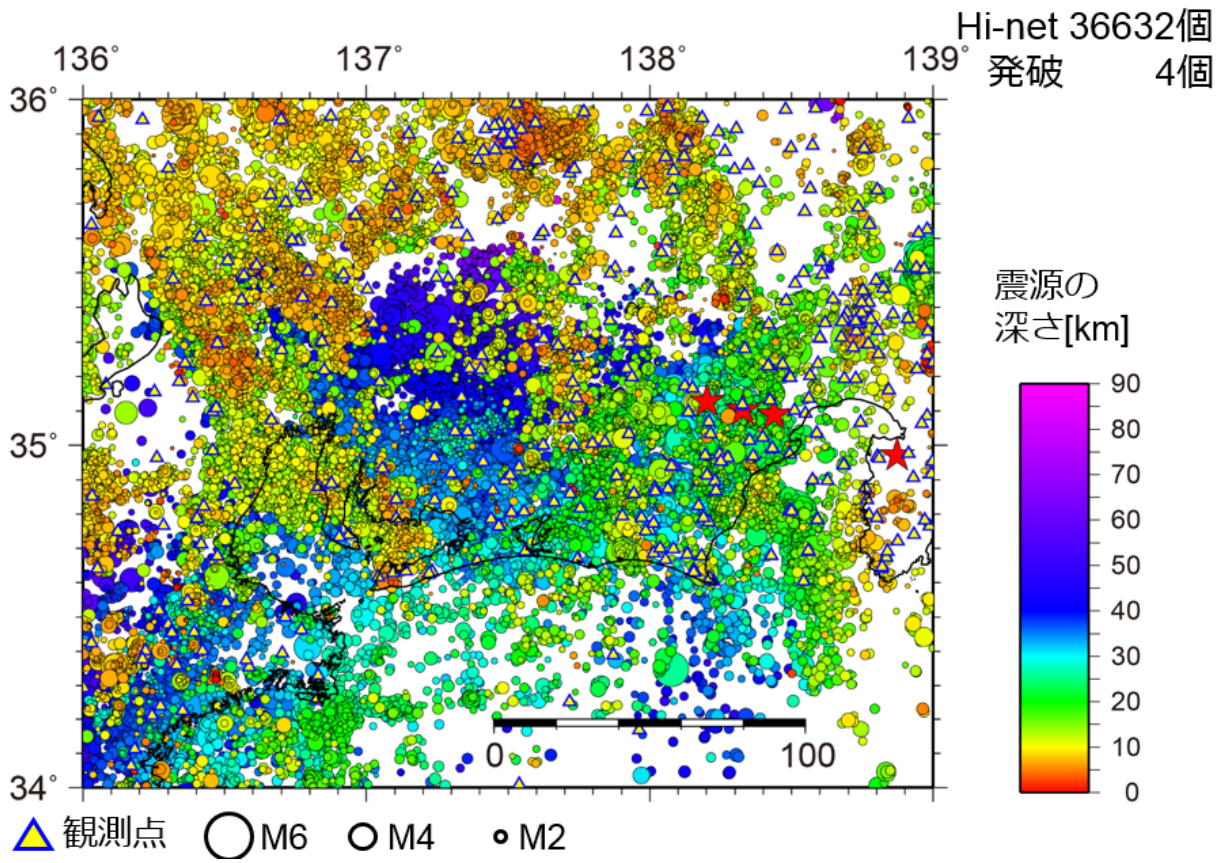


図 5 地震波速度構造解析に用いた防災科研 Hi-net と発破の震源分布。

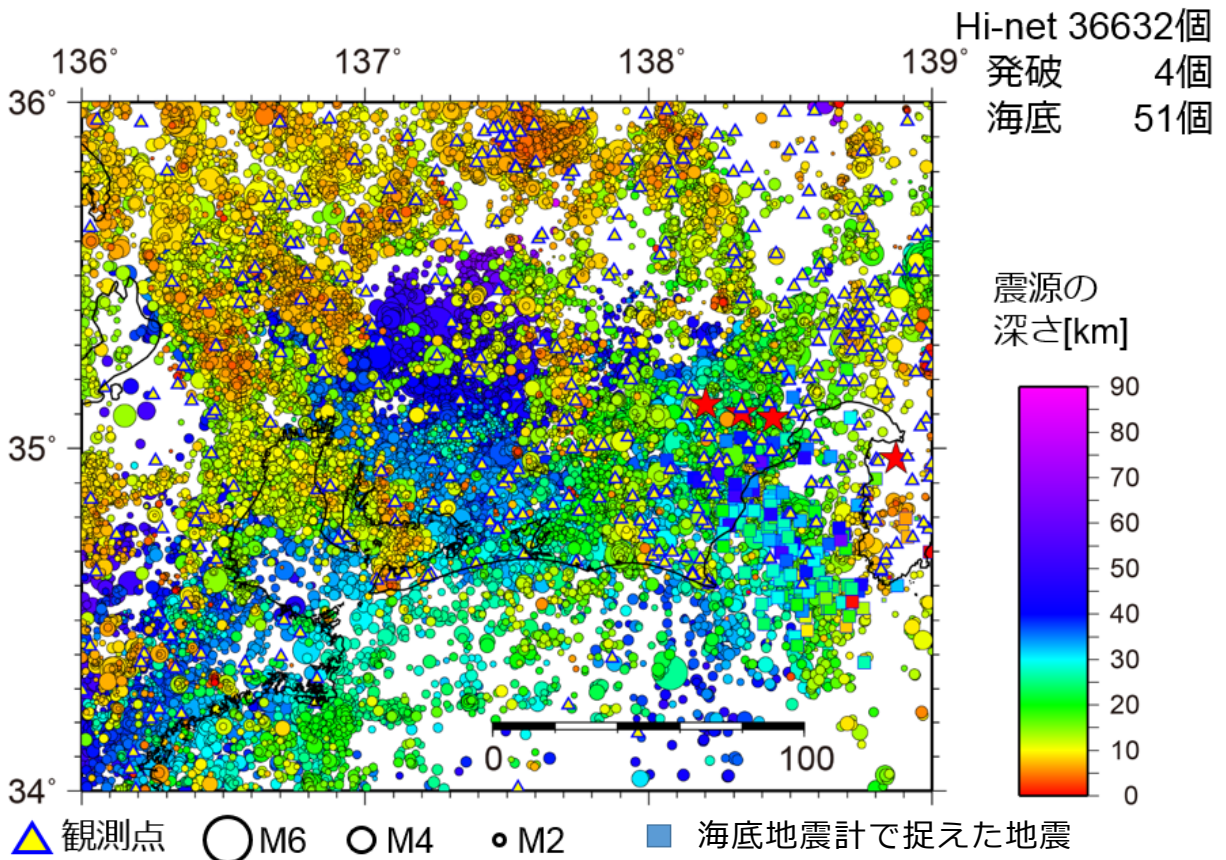


図 6 地震波速度構造解析に用いた防災科研 Hi-net、発破および海底地震観測で決められた地震の震源分布。

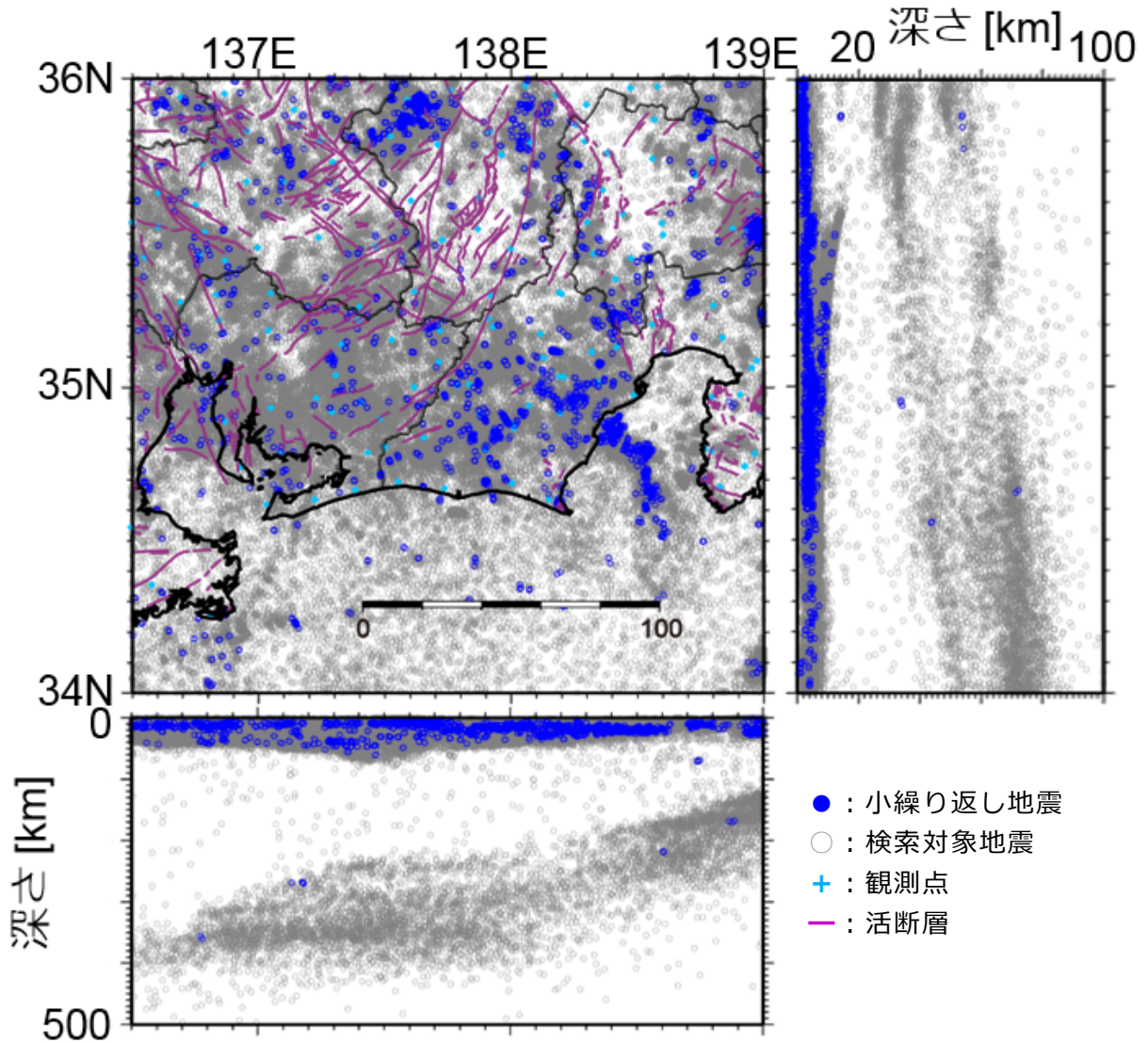


図 7 小繰り返し地震の分布。

(c) 業務の成果

1) 低角逆断層型繰り返し地震の抽出

1979年8月1日～2018年3月31日までの期間の東海地域(東経137°～139°、北緯34°～36°)における小繰り返し地震を抽出した。その結果、3,525個の地震からなる1,072グループの小繰り返し地震の組み合わせが得られた(図7)。その中から2年以上継続している小繰り返し地震は3,489個の地震からなる1,059グループでありその重心の位置を図8に示す。深さ15～25kmのフィリピン海プレート上面境界で発生していると考えられる低角逆断層型の小繰り返し地震は藤枝市付近や森町付近および山梨県南部で発生していた(図9)。このうち、森町付近の発震機構解はトラフから離れているが深さ17km付近でありプレート境界とした場合の沈み込む方向が西南西の低角逆断層であることから、この小繰り返し地震はプレート境界ではなく内陸の微小地震と考えられる。プレート境界で発生している小繰り返し地震についてNadeau and Johnson(1998)による式を仮定してすべり履歴を推定すると、藤枝付近では0.2cm/年であり、山梨県南部では1.4cm/年であった(図10)。これらは、フィリピン海プレートの沈み込み速度である4.2cm/年(Seno et al.,

1993) よりもかなり遅い速度である (図 11)。

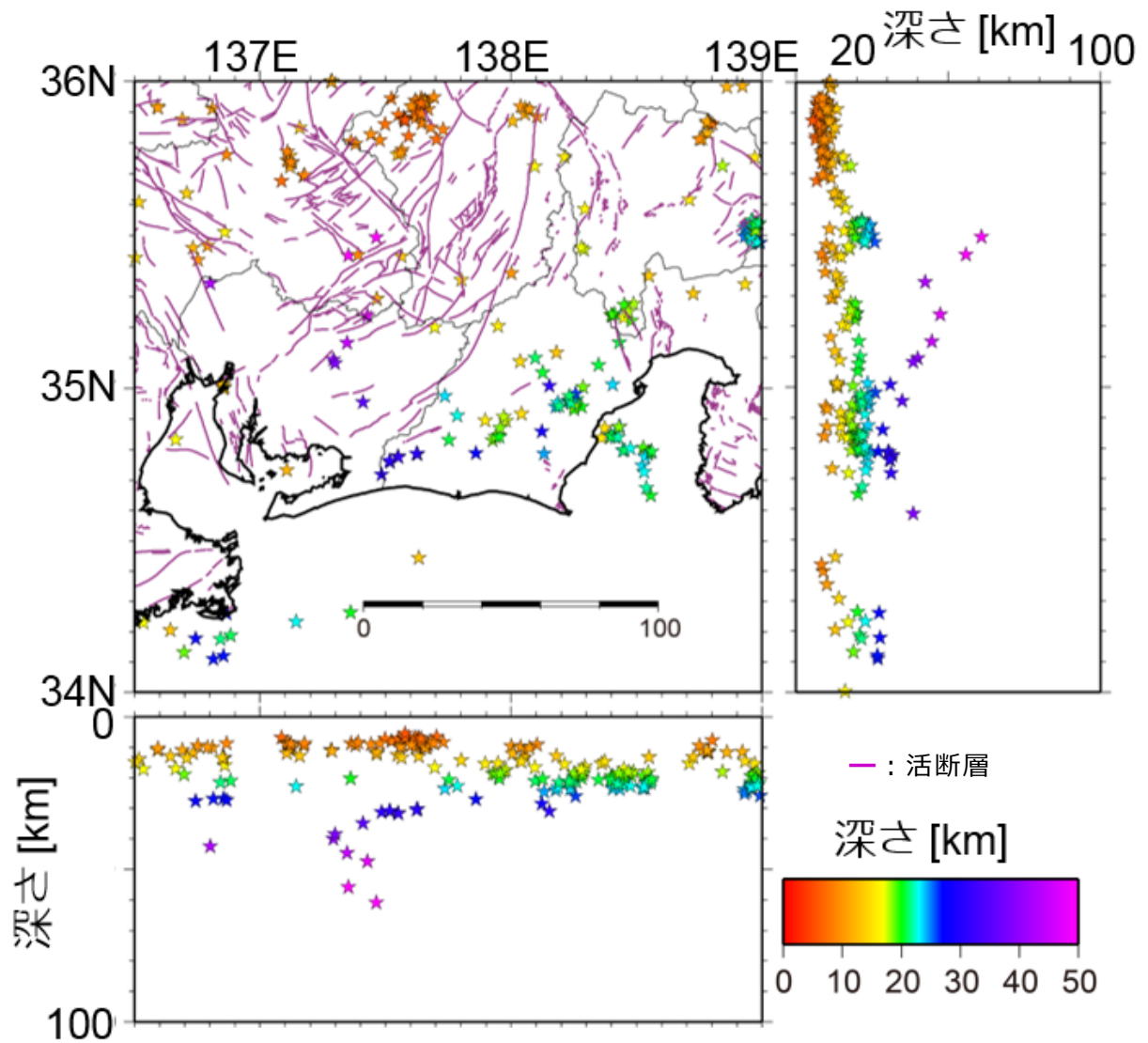


図 8 継続期間が 2 年以上の小繰り返し地震のグループの重心位置。

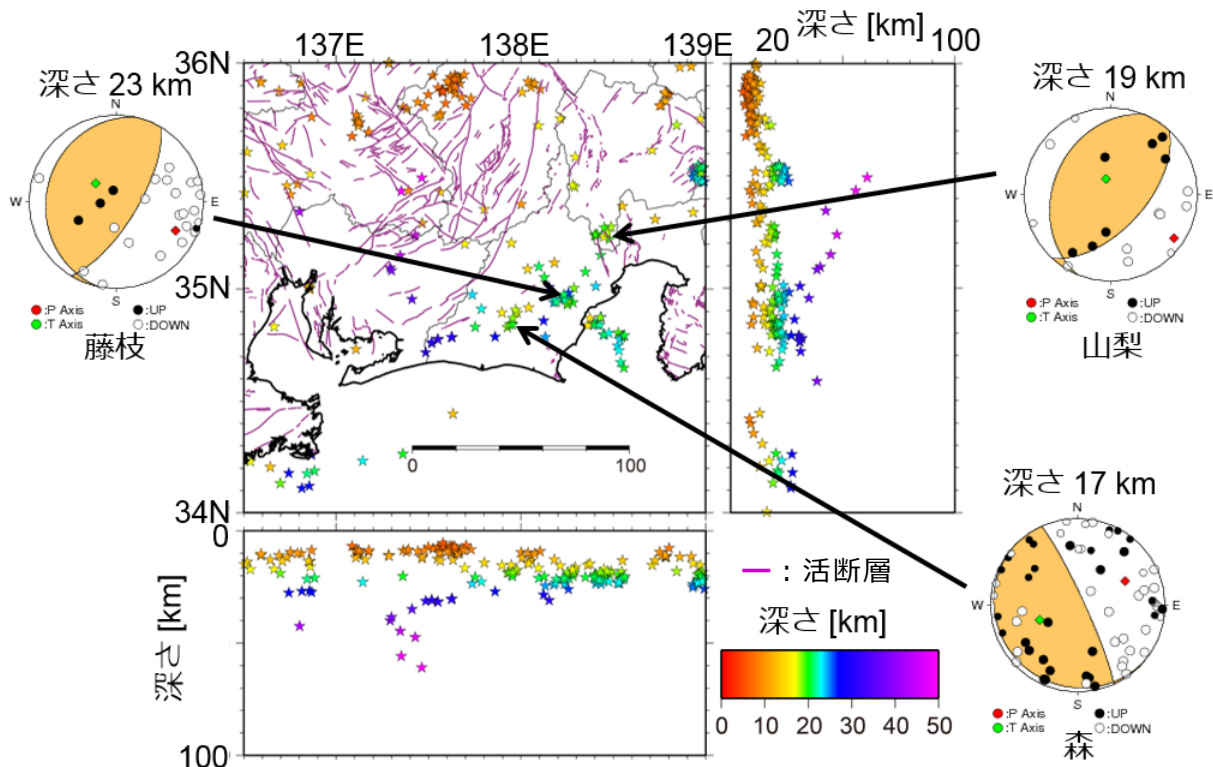


図 9 低角逆断層型のメカニズム解を持つ小繰り返し地震。

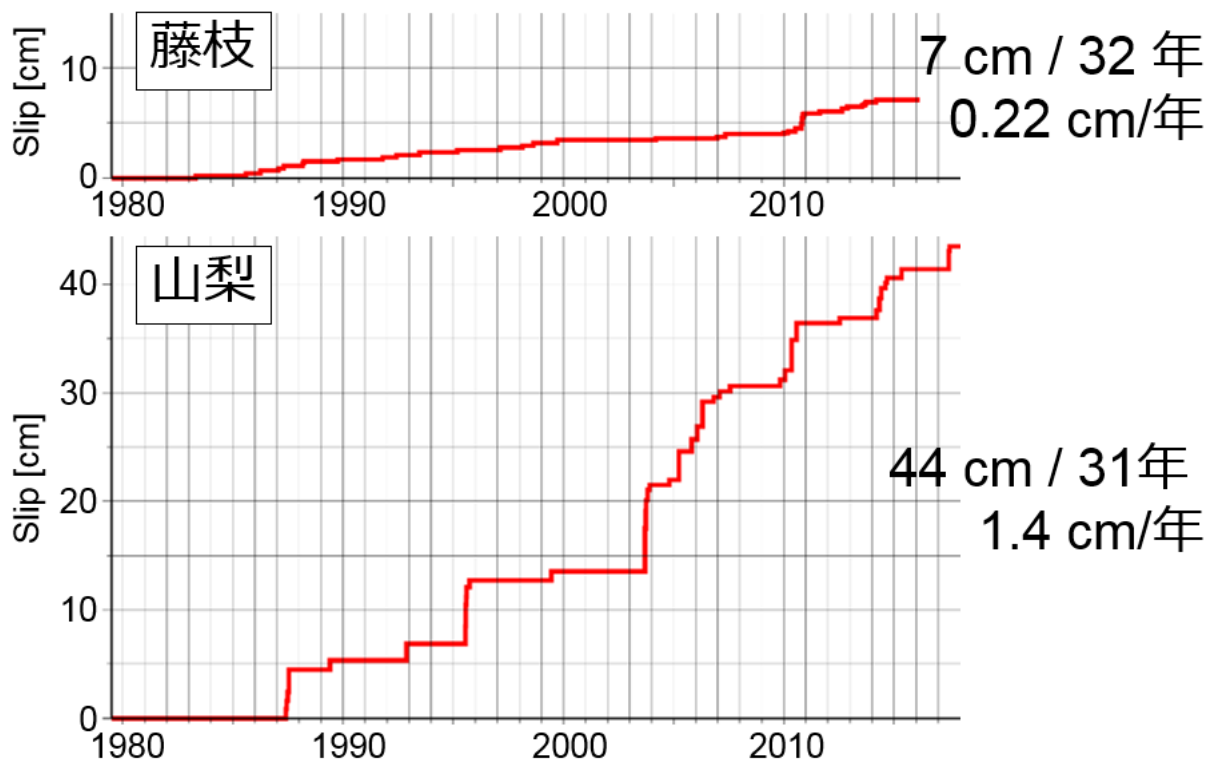


図 10 藤枝付近と山梨県南部の低角逆断層型の相似地震の分布

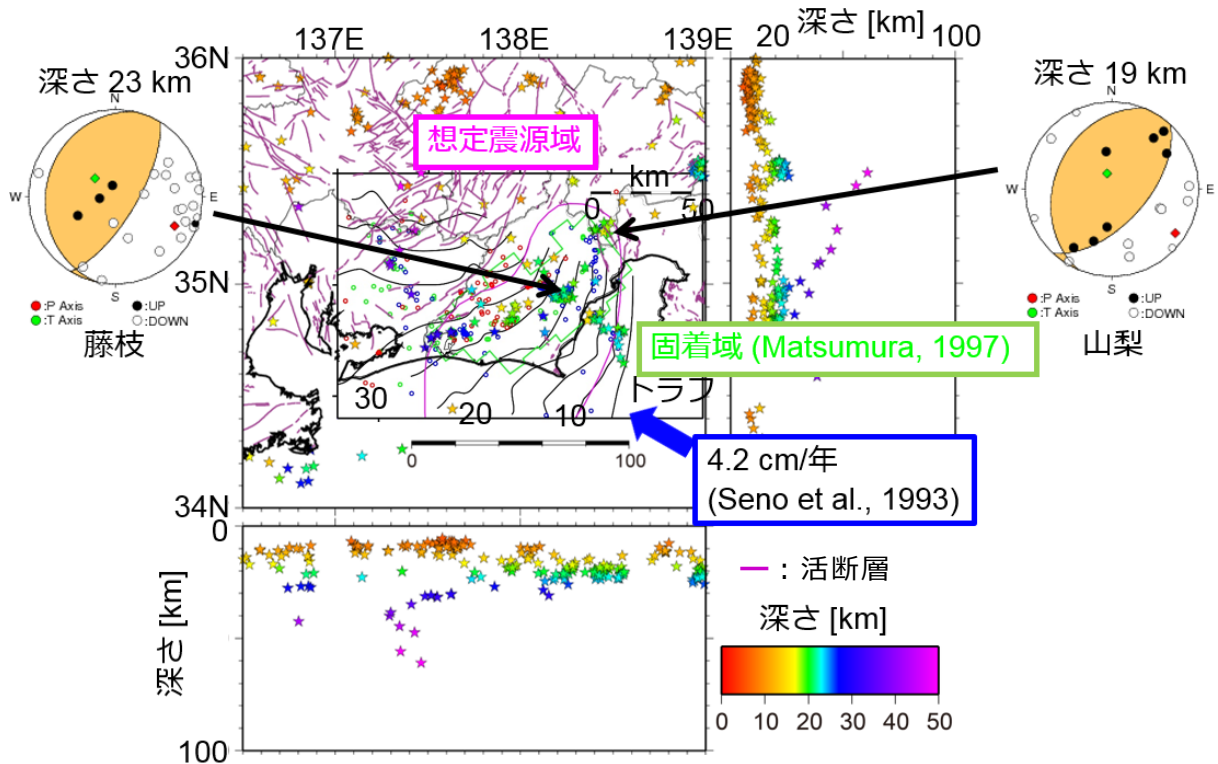


図 11 小繰り返し地震の分布と東海地震の想定震源域との比較。桃色は東海地震の想定震源域、緑色は Matsumura (1997)による東海地震の固着域を示す。黒線の等深度線は Matsubara et al. (2006)によるフィリピン海プレート上面の深さを 5km 毎に示す。

2) 海域観測データを活用した三次元地震波速度構造解析の準備

平成 29 年度の平成 30 年 1 月～3 月に東海大学等により実施された海底地震計を用いた観測により、160 個の地震の震源が決められた (図 12)。同時期に防災科研 Hi-net で観測された地震を図 13 に示す。震源時 10 秒以内という条件で照合した結果、57 個の地震が重複している可能性がある。海底地震計の震源情報をもとに防災科研 Hi-net の連続データから波形を切り出し、読み取り作業を実施することにより、海底地震計のデータと防災科研 Hi-net のデータのマージ作業をすることが最良という考えに至った。

地震波速度構造解析を実施した結果を図に示す。解像度が良い領域の実を示しているが、防災科研 Hi-net のみを用いた結果では深さ 5 km および 10 km の水平断面図については駿河湾下の解像度は北部のみ良い結果である (図 14)。一方、海底地震計も用いた結果では、駿河湾の下も解像度が良く、速度構造が得られている。深さ 10 km 以深では、両者の結果は調和的である (図 15)。

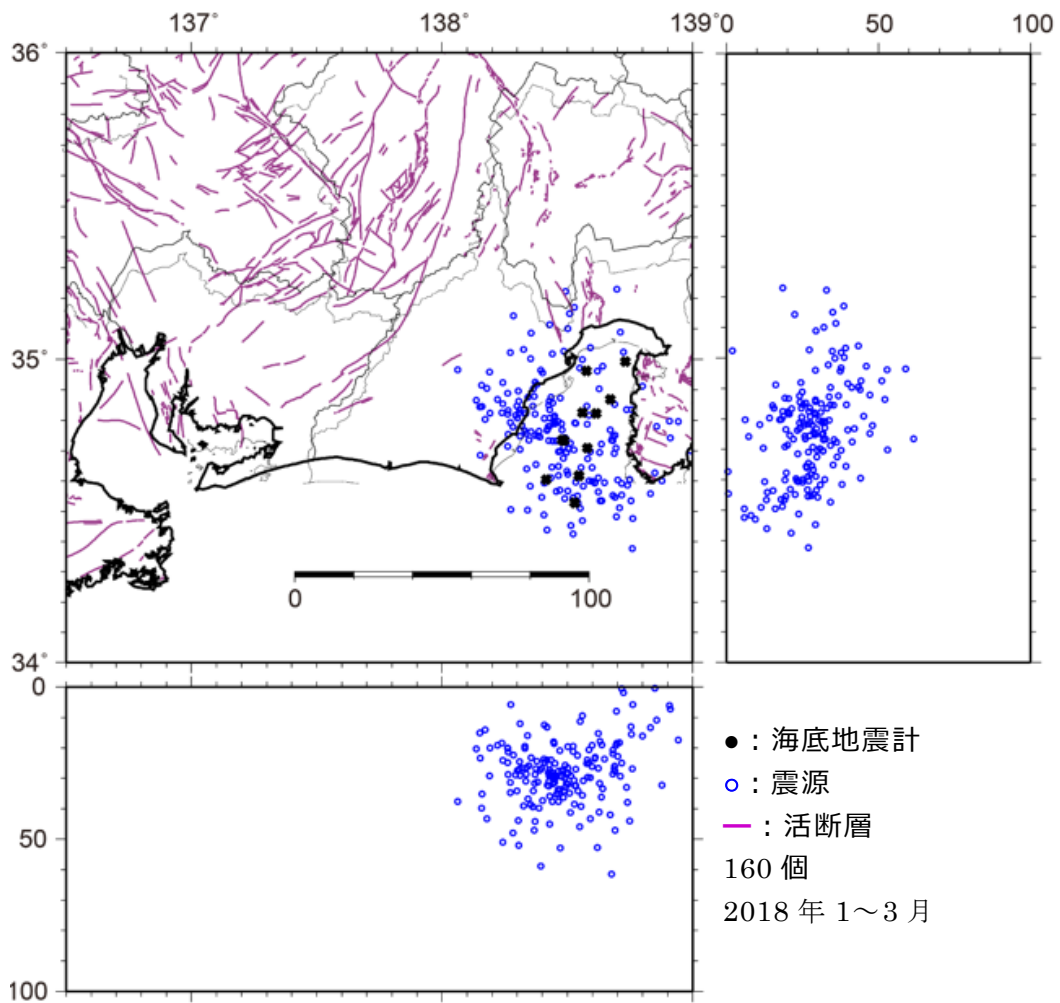


図 12 海底地震計により決められた震源分布。

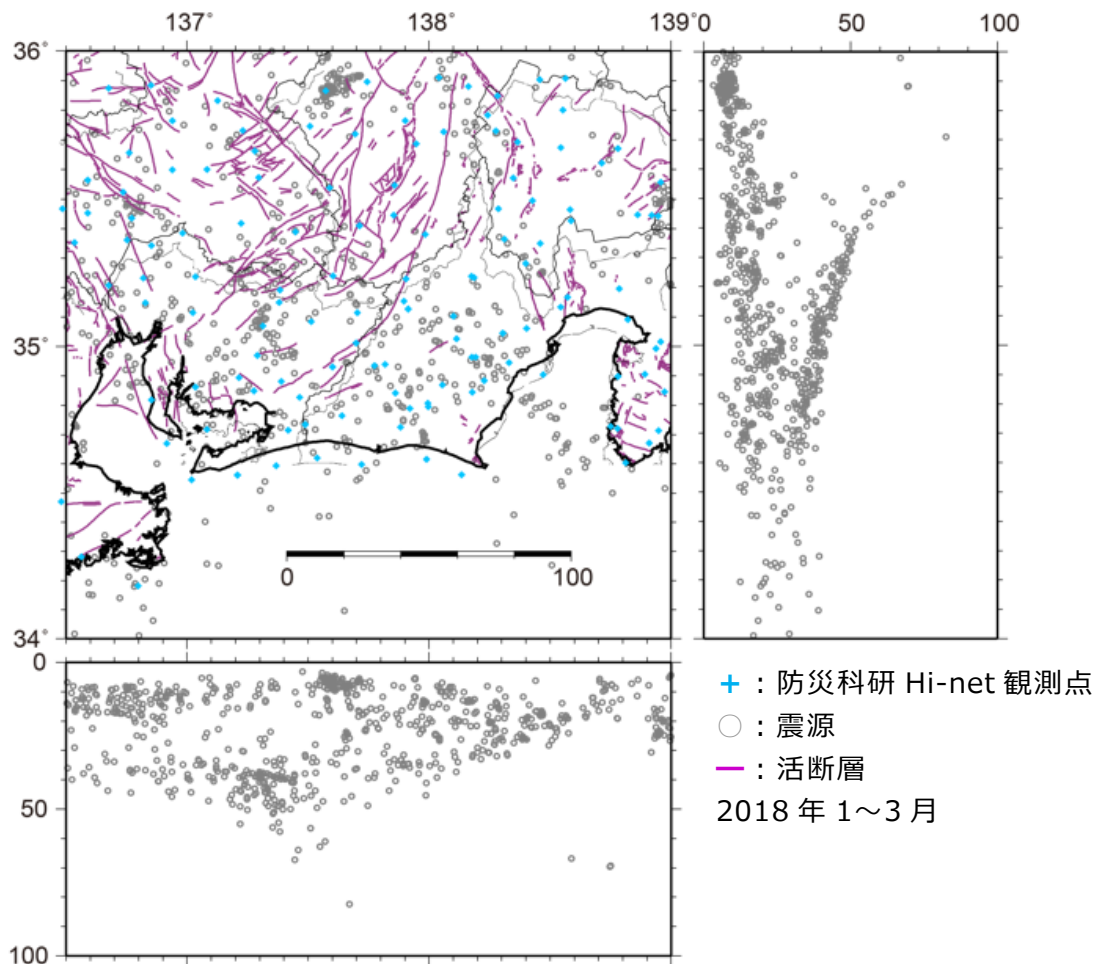


図 13 防災科研 Hi-net により決められた震源分布。

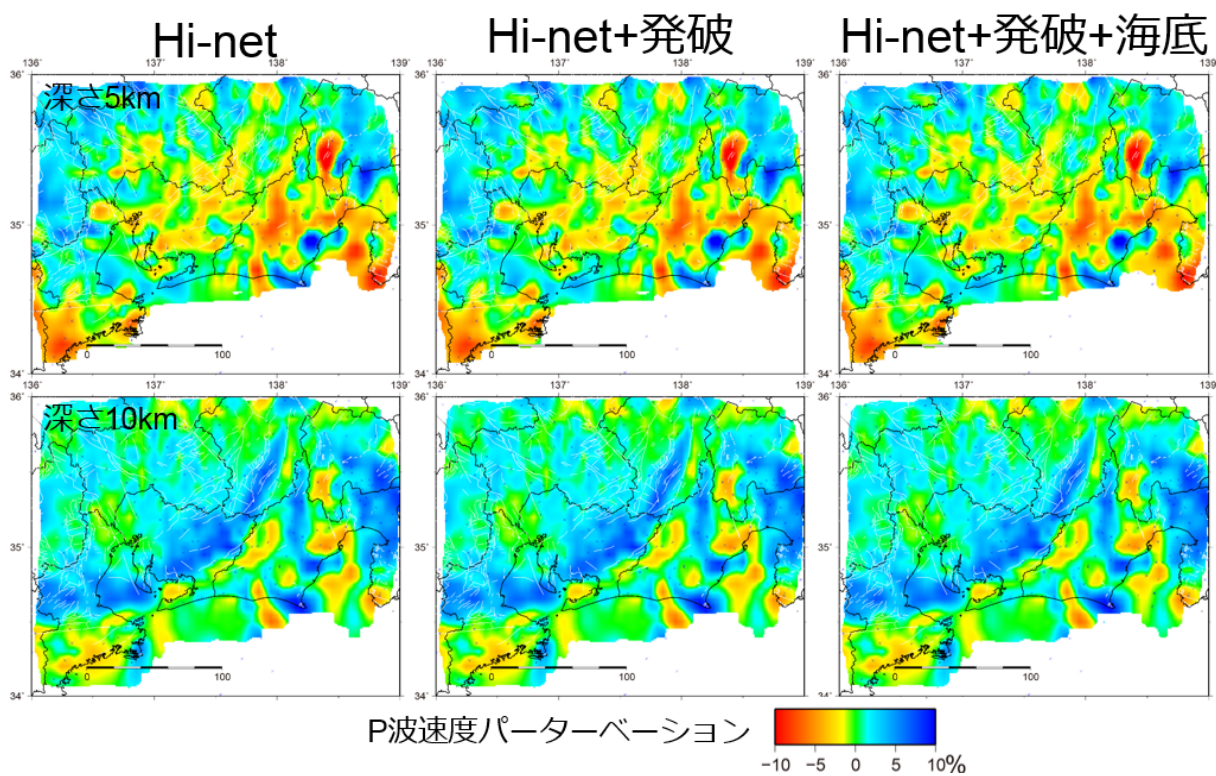


図 14 深さ 5 km、10 km における P 波速度パーターベーション。

(d) 結論ならびに今後の課題

低角逆断層型の小繰り返し地震が藤枝と山梨県南部の深さ 15~25 km 付近で抽出された。プレート間すべり速度はそれぞれ 0.2 cm/年、1.2cm/年と推定された。防災科研 Hi-net による連続データが蓄積されているので、引き続き平成 30 年度のデータを用いた小繰り返し地震を抽出し、プレート境界面の深さの精度向上に結び付けられると考えられる。

本年度は防災科研 Hi-net の走時データに、海底地震計により得られた走時データを加えた地震波速度構造解析を実施した。海底地震計のデータを加えることにより、駿河湾の下の浅部における地震波速度構造解析の解像度は向上することが分かった。海底地震計のデータと防災科研 Hi-net のデータの照合は、海底地震計のデータをもとに防災科研 Hi-net の連続データから切り出し、読み取りを実施することが最良と考えられた。平成 31 年度にこの照合作業を実施することにより、同じ地震について海底地震計と防災科研 Hi-net の観測点の走時データが統合されること、また、海底地震計のみで決められている地震については防災科研 Hi-net の観測点の走時データが追加されることが期待される。そのため、駿河湾から陸域の浅部における地震波速度構造の解像度はさらに向上することが期待される。

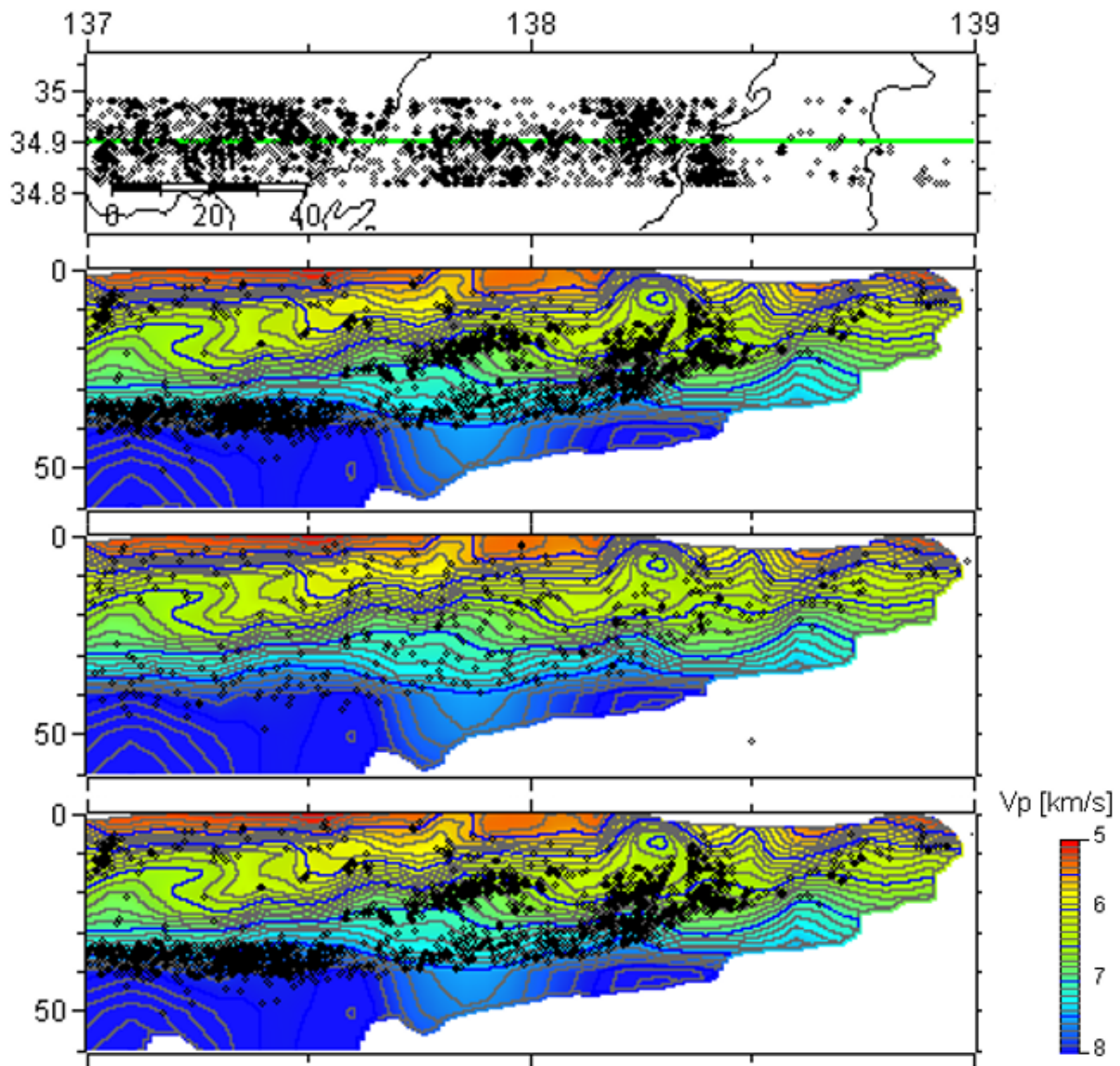


図 15 北緯 34.9° における P 波速度構造。上から Hi-net のみ、Hi-net と発破、および Hi-net ・ 発破 ・ 海底地震計のデータを用いた結果。

(e) 引用文献

活断層研究会, 新編 日本の活断層, 東京大学出版会, 440 頁, 1991.

Matsubara, M., N. Hirata, H. Sato, and S. Sakai, Lower crustal fluid distribution in the northeastern Japan arc revealed by high resolution 3D seismic tomography, *Tectonophysics*, 388, 33-45, doi:10.1016/j.tecto.2004.07.046, 2004.

Matsubara, M., H. Hayashi, K. Obara, and K. Kasahara, Low-velocity oceanic crust at the top of the Philippine Sea and Pacific plates beneath the Kanto region, central Japan, imaged by seismic tomography, *J. Geophys. Res.*, 110, B12304, doi:10.1029/2005JB003673, 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 Trans. AGU*, 87, T41H-0410, 2006,

- Matsumura, S., Focal zone of a future Tokai earthquake inferred from the seismicity pattern around the plate interface, *Tectonophysics*, 273, 271-291, doi:10.1016/S0040-1951(96)00277-6, 1997.
- 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. Seism. Soc. Am.*, 88, 790-814, 1998.
- Seno, T., A Model for the motion of the Philippine Sea plate consistent with NUVEL-1 and geological data, *J. Geophys. Res.*, 98, 17,941-17,948, 1993.
- Zhao, D., A. Hasegawa, and S. Horiuchi, Tomographic imaging of P and S wave velocity structure beneath northeastern Japan, *J. Geophys. Res.* 97, 19,909-19,928, 1992.