

### 3. 2. 5. 2 沿岸域の地震活動の把握

#### 目 次

##### (1) 業務の内容

- (a) 業務題目
- (b) 担当者
- (c) 業務の目的
- (d) 8か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）
  - 1) 平成25年度
  - 2) 平成26年度
  - 3) 平成27年度
  - 4) 平成28年度
  - 5) 平成29年度
  - 6) 平成30年度
  - 7) 平成31年度
  - 8) 平成32年度
- (e) 平成29年度業務目的

##### (2) 平成29年度の成果

- (a) 業務の要約
- (b) 業務の実施方法および成果
  - 1) 三次元地震波速度構造モデルの改良
  - 2) 北海道地方および中国地方の追加読み取り
- (c) 結論ならびに今後の課題
- (d) 引用文献
- (e) 成果の論文発表・口頭発表等
- (f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

##### (3) 平成30年度業務計画案

## (1) 業務の内容

### (a) 業務題目

#### 2.5.2 沿岸域の地震活動の把握

### (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
	主任研究員	浅野 陽一
	副部門長	汐見 勝彦
	主任研究員	木村 尚紀
	総括主任 研究員	松本 拓己
	主任研究員	松澤 孝紀
	主任研究員	上野 友岳
	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

陸域の自然地震観測網のデータを基に、詳細な震源分布を明らかにし、地震発生層の下限をもとに断層面の深さについて推定する。また、発震機構解を基に断層面上のすべり角を推定する。

### (d) 8か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

#### 1) 平成25年度：

日本海沿岸域における地震活動データから、震源断層モデルにおいて重要なパラメータである地震発生層深度とすべり角の初期的情報を提供した。地震発生層深度は、ルーチン震源データに基づき、地震発生層の下限と上限の深さ（D90 と D10）の計算を実施した。その結果を基に他のサブテーマで推定された予備震源断層の位置・形状情報から、各震源断層における地震発生層深度の見積もりを行った。一方、すべり角は、既存の地殻応力研究の結果に基づいた日本島弧の広域応力場に基づき、前述の予備震源断層の位置・形状情報の走向・傾斜角のデータから、最適なすべり角を推定した。

#### 2) 平成26年度：

日本海沿岸域における地震発生層深度の改善を図ることを目的に、使用する地震波速度構造モデルとして信頼性のある三次元速度構造を用い、震源再決定を行った。これによって震源の精度（特に深さ方向）が向上することから、得られた結果を用いて地震発生層深度を推定し直し、前年度に推定した震源断層ごとのモデルパラメータの更新を行った。

3) 平成 27 年度 :

沿岸域での地震活動を詳細に把握するために、地震波速度構造モデルの高精度化を図った。既存の観測網で観測された海域の制御震源の記録と自然地震のデータを用いて、三次元地震波速度構造モデルを高度化した。平成 27 年度は、新潟沖周辺の地域を対象とした。

4) 平成 28 年度 :

新潟県を中心に改良された三次元地震波速度構造モデルを用いて震源再決定を実施して、震源断層モデルの地震発生層深度の情報を更新した。また、発震機構解を基に応力場を推定した。沿岸域での地震活動の詳細な把握に資する日本海沿岸の地震波速度構造の高精度化のため、既存の観測網で観測された東北地方南部および北陸・近畿地方における自然地震の直達地震波到達時刻の読み取りを行った。

5) 平成 29 年度 :

平成 28 年度に読み取られた東北地方と近畿・北陸地方の読み取りデータを中心に三次元地震波速度構造モデルを改良した。沿岸域での地震活動の詳細な把握に資する日本海沿岸の速度構造の高精度化のため、既存の観測網で観測された北海道・中国地方における自然地震の地震波到達時刻の読み取りを行った。

6) 平成 30 年度 :

近年発生した日本海沿岸での大地震について地震発生層の厚さを抽出するとともに、地震時すべり域や温度構造と比較する。平成 29 年度に読み取られた北海道・中国地方の読み取りデータを中心に、三次元地震波速度構造モデルを改良する。その構造に基づいて震源再決定を実施し、地震発生層深度を更新するとともに微小地震のメカニズム解の決定を行い、応力場を推定する。沿岸域での地震活動の詳細な把握に資する日本海沿岸の速度構造の高精度化のため、既存の観測網で観測された九州沿岸地域で発生した地震の直達波の読み取りを行う。

7) 平成 31 年度 :

平成 30 年度に読み取られた九州沿岸地域の読み取りデータを中心に、三次元地震波速度構造モデルを改良する。その構造に基づいて震源再決定を実施し、地震発生層深度を更新するとともに微小地震のメカニズム解の再決定を行い、応力場を推定する。

8) 平成 32 年度 :

これまでの調査結果を取り入れた震源再決定の結果に基づき、日本海側全域の地震発生層深度の最終的な情報を提供する。合わせて、これまで得られた微小地震メカニズム解を全て取り込み、断層すべり角の最終的な情報を提供する。

(e) 平成 29 年度業務目的

平成 28 年度に読み取られた東北地方と近畿・北陸地方の読み取りデータを中心に三次元地震波速度構造モデルを改良する。沿岸域での地震活動の詳細な把握に資する日本海沿

岸の速度構造の高精度化のため、既存の観測網で観測された北海道・中国地方における自然地震の地震波到達時刻の読み取りを行う。

## (2) 平成29年度の成果

### (a) 業務の要約

平成28年度に読み取られた東北地方と近畿・北陸地方の読み取りデータを中心に三次元地震波速度構造モデルを改良した。沿岸域での地震活動の詳細な把握に資する日本海沿岸の速度構造の高精度化のため、既存の観測網で観測された北海道・中国地方における自然地震の地震波到達時刻の読み取りを行った。

### (b) 業務の実施方法および成果

#### 1) 三次元地震波速度構造モデルの改良

##### a) はじめに

防災科学技術研究所（防災科研）の高感度地震観測網（Hi-net）のP波、S波の読取値と防災科研の広帯域観測網（F-net）のモーメントテンソル解による深さを用いて、海域の地震を活用した三次元地震波速度構造が推定された（Matsubara and Obara, 2011<sup>1)</sup>）。既存の研究では2009年までのデータを使った解析であったため、その後に起きた地震を含め2014年までの読取データと平成28年度に読み取られた東北地方と近畿・北陸地方の読取データをあわせ、陸域から海域に至る継ぎ目のない三次元地震波速度構造を推定した。

##### b) 手法およびデータ

防災科研 Hi-net により決められた震源分布は陸域の地震については精度良く決められるが、海域の地震の深さについては地震の直上に観測点が無いため大きな誤差を含んだものになる。一方、防災科研 F-net では波形を使ったインバージョンによりモーメントテンソル解を推定するため、海域の地震についても深さ方向の精度が良い（Okada et al., 2004<sup>2)</sup>; Obara et al. 2005<sup>3)</sup>）。そこで、陸域の地震については防災科研 Hi-net の読取値と震源カタログを、海域の地震については防災科研 Hi-net の読取値と震央位置および防災科研 F-net の震源の深さを用いることにより、これまで三次元地震波速度構造解析に用いられてこなかった海域の地震も活用して三次元地震波速度構造を推定した（Matsubara and Obara, 2011<sup>1)</sup>）。防災科研では、より信頼度の高い高感度加速度計を用いたモーメントテンソル解も推定しており（Asano et al., 2011<sup>4)</sup>）、この解析結果がある震源情報については高感度加速度計を用いた震源情報を用いた。Matsubara and Obara (2011)<sup>1)</sup> による解析では2000～2009年までのデータを用いた解析であったが、本研究では読み取りが概ね終了している2014年までの地震を活用した。さらに、2004年以前のデータについては大学などの観測点については地震波の到達時刻の読み取りをしていなかったため、平成28年度の本事業で実施した読み取りを追加して解析に用いた。

解析領域は東経 120-148°、北緯 20-48° であり、223,081 個の地震からの 5,795,093 個の P 波、3,076,047 個の S 波の読取値を用いた。波線追跡法は Koketsu and Sekine (1998)<sup>5)</sup> のシュードベンディング法を用い、Zhao et al. (1982)<sup>6)</sup> のトモグラフィ法に観測点補正值とスムージングを導入した手法（Matsubara et al., 2004<sup>7)</sup>; Matsubara et al.,

2005<sup>8)</sup>; Matsubara et al., 2008<sup>9)</sup>) を用いた (Matsubara et al., 2017<sup>10)</sup>)。初期速度構造は鶴川・他 (1984)<sup>11)</sup> を用いた。

#### c) 解析結果と議論

Matsubara and Obara (2011)<sup>1)</sup> と Matsubara et al. (2017)<sup>10)</sup> による東北地方および近畿・北陸地方の深さ 5 km および 20 km における P 波速度構造を図 1~4 に示す。図は防災科研から公開されている松原 (2009)<sup>12)</sup> のソフトウェアを用いて作成した。データの増加に伴い、特に浅い領域 (深さ 5 km) において解析可能となった領域が海側へ広がったことが分かる (図 1、3)。

#### 2) 北海道地方および中国地方の追加読み取り

##### a) はじめに

北海道地方や中国地方には、防災科研 Hi-net の観測点に加えて、気象庁や東京大学、東北大学などの観測点も存在する。2005 年以前の地震について、防災科研 Hi-net 以外の観測点における読み取りを用いていなかった。そのため、2005 年以前の北海道および中国地方の地震について読み取り作業を行った。

##### b) 手法およびデータ

2000~2005 年までの北海道地方については 592 個、中国地方については 473 個の地震について追加読み取りを実施した。それぞれの地域で追加読み取りをした観測点を図 5 と図 6 に示す。

#### c) 解析結果と議論

北海道および中国地方において震源再決定した結果を図 7 と図 8 に示す。読み取る観測点が増えることにより、地震直上の観測点も増えることから、陸の下における地震については震源の深さが精度良く再決定された。北海道・中国地方ともに深さ 10 km 以浅の地震は 1~5 km 深く、深さ 20-30 km の地震は 1~8 km 浅く再決定されている。海域の地震については、直上の観測点がないため、深さ方向はばらつきが依然として大きい。

#### (c) 結論ならびに今後の課題

2000年10月から2014年12月までのデータを用いて三次元地震波速度構造を解析した。データの増加に伴い、特に浅い領域 (深さ 5 km) において解析可能となった領域が海側へ広がった。

北海道および中国地方において 2000~2005 年の地震について追加読み取りおよび震源再決定を実施した。陸の下における地震については震源の深さが精度良く再決定され、北海道・中国地方ともに深さ 10 km 以浅の地震は 1~5 km 深く、深さ 20-30 km の地震は 1~8 km 浅く再決定されている。

三次元地震波速度構造が更新されたので、日本海側の地震について震源再決定を再度実施し、地震発生層の下限について情報を更新する必要がある。今年度追加された北海道や中国地方の読み取りを用いることで、さらに速度構造の解析領域の拡大が期待される。

(d) 引用文献

- 1) Matsubara, M. and Obara, K.: The 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake related to a strong velocity gradient with the Pacific plate, *Earth Planets Space*, 63, pp.663-667, 2011.
- 2) Okada, Y., K. Kasahara, S. Hori, K. Obara, S. Sekiguchi, H. Fujiwara, and A. Yamamoto: Recent progress of seismic observation networks in Japan -Hi-net, F-net, K-NET and KiK-net -, *Earth, Planets and Space*, 56, xv-xxviii, 2004.
- 3) Obara, K., K. Kasahara, S. Hori and Y. Okada: A densely distributed high-sensitivity seismograph network in Japan: Hi-net by National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, *Review of Scientific Instruments*, 76, 021301-doi:10.1063/1.1854197, 2005.
- 4) Asano, Y., T. Saito, Y. Ito, K. Shiomi, H. Hirose, T. Matsumoto, S. Aoi, S. Hori, and S. Sekiguchi: Spatial distribution and focal mechanisms of aftershocks of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, *Earth Planets Space*, 63, 669-673, 2011.
- 5) Koketsu, K. and S. Sekine: Pseudo-bending method for three-dimensional seismic ray tracing in a spherical earth with discontinuities, *Geophys. J. Int.*, 132, 339-346, 1998.
- 6) Zhao, D., A. Hasegawa, and S. Horiuchi: "Tomographic imaging of P and S wave velocity structure beneath northeastern Japan," *J. Geophys. Res.* Vol.97, pp.19,909-19,928, 1992.
- 7) Matsubara, M., Hirata, N., Sato, H., and Sakai, S.: 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.
- 8) Matsubara, M., Hayashi, H., Obara, K., and Kasahara, K.: 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.
- 9) Matsubara, M., K. Obara and K. Kasahara: Three-dimensional P- and S-wave velocity structures beneath the Japan Islands obtained by high-density seismic stations by seismic tomography, *Tectonophysics*, 454, 86-103, 2008.
- 10) 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.
- 11) 鶴川元雄, 石田瑞穂, 松村正三, 笠原敬司: 関東・東海地域地震観測網による震源決定方法について, 国立防災科学技術センター研究速報, Vol.53, pp.1-88, 1984.
- 12) 松原誠: 日本列島三次元地震波速度構造表示ソフトウェア, 防災科学技術研究所研究報告, 76, 1-9, 2009.

## (e) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
Yano T. E. and M. Matsubara	Seismogenic Layer within the Crust of Japanese Islands on the Japan Sea side using JUICE catalog (口頭発表)	日本地球惑星科学連合 2017年大会(千葉市)	平成29年5月25日
Matsubara M. and H. Sato	Failed rift system in northern Honshu, Japan, imaged by improved seismic velocity structure using offshore earthquake events (口頭発表)	IAG-IASPEI Joint Scientific Assembly (神戸)	平成29年8月3日
Matsubara M. and H. Sato	Shallow Moho along the failed rift on the coast of Japan Sea beneath Japanese Islands (ポスター発表)	IAG-IASPEI Joint Scientific Assembly (神戸)	平成29年8月3日
Yano T. E. and M. Matsubara	Seismogenic layer within the crust beneath Japanese Islands on the Japan Sea side - application of JUICE catalog (口頭発表)	IAG-IASPEI Joint Scientific Assembly (神戸)	平成29年8月3日
Yano T. E., M. Matsubara	Seismogenic Layer within the Crust beneath Japanese Islands on the Japan Sea Side - application of JUICE catalog (ポスター発表)	南カリフォルニア地震セン ター年次総会 (パームスプリングス)	平成29年9月10日
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 (論文発表)	Journal of Disaster Research	平成29年 10月1日
Matsubara M. and T. E. Yano	Deepest depth of seismogenic layer within the crust beneath Japanese Islands on the Japan Sea side using high resolved earthquake catalog and heat flux data (ポスター発表)	2017 American Geophysical Union Fall meeting (ニューオリンズ)	平成29年 12月15日

(f) 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30年度業務計画案**

近年発生した日本海沿岸での大地震について地震発生層の厚さを抽出するとともに、地震時すべり域や温度構造と比較する。平成29年度に読み取られた北海道・中国地方の読み取りデータを中心に、三次元地震波速度構造モデルを改良する。その構造に基づいて震源再決定を実施し、地震発生層深度を更新するとともに微小地震のメカニズム解の決定を行い、応力場を推定する。沿岸域での地震活動の詳細な把握に資する日本海沿岸の速度構造の高精度化のため、既存の観測網で観測された九州沿岸地域で発生した地震の直達波の読み取りを行う。

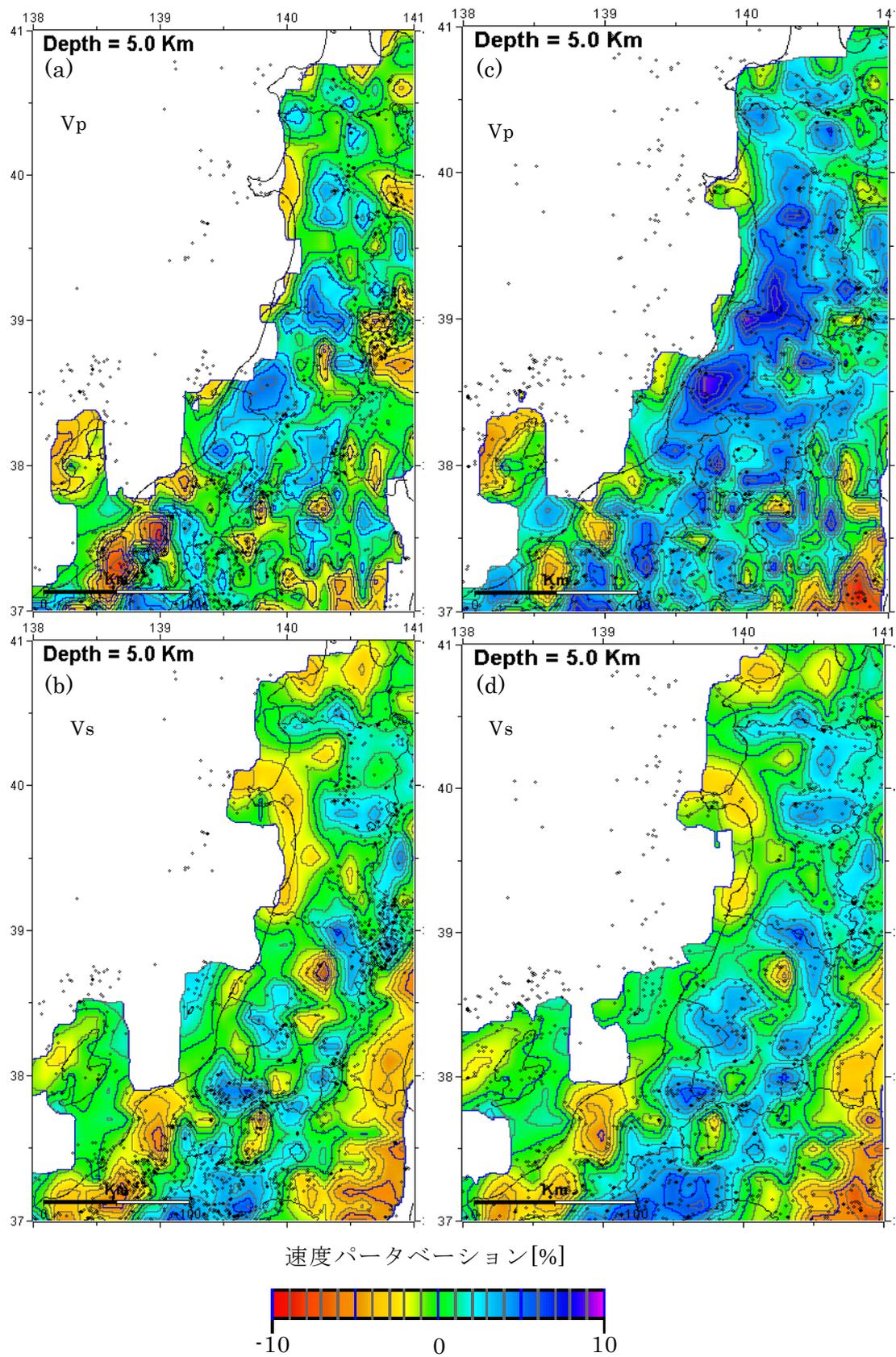


図1 東北地方の深さ5 kmにおける Matsubara and Obara (2011)<sup>1)</sup>による(a) P波および(b) S波速度パータベーション構造と Matsubara et al. (2017)<sup>10)</sup>による(c) P波および(d) S波速度パータベーション構造。黒丸は深さ±5 km以内の震源分布を示す。

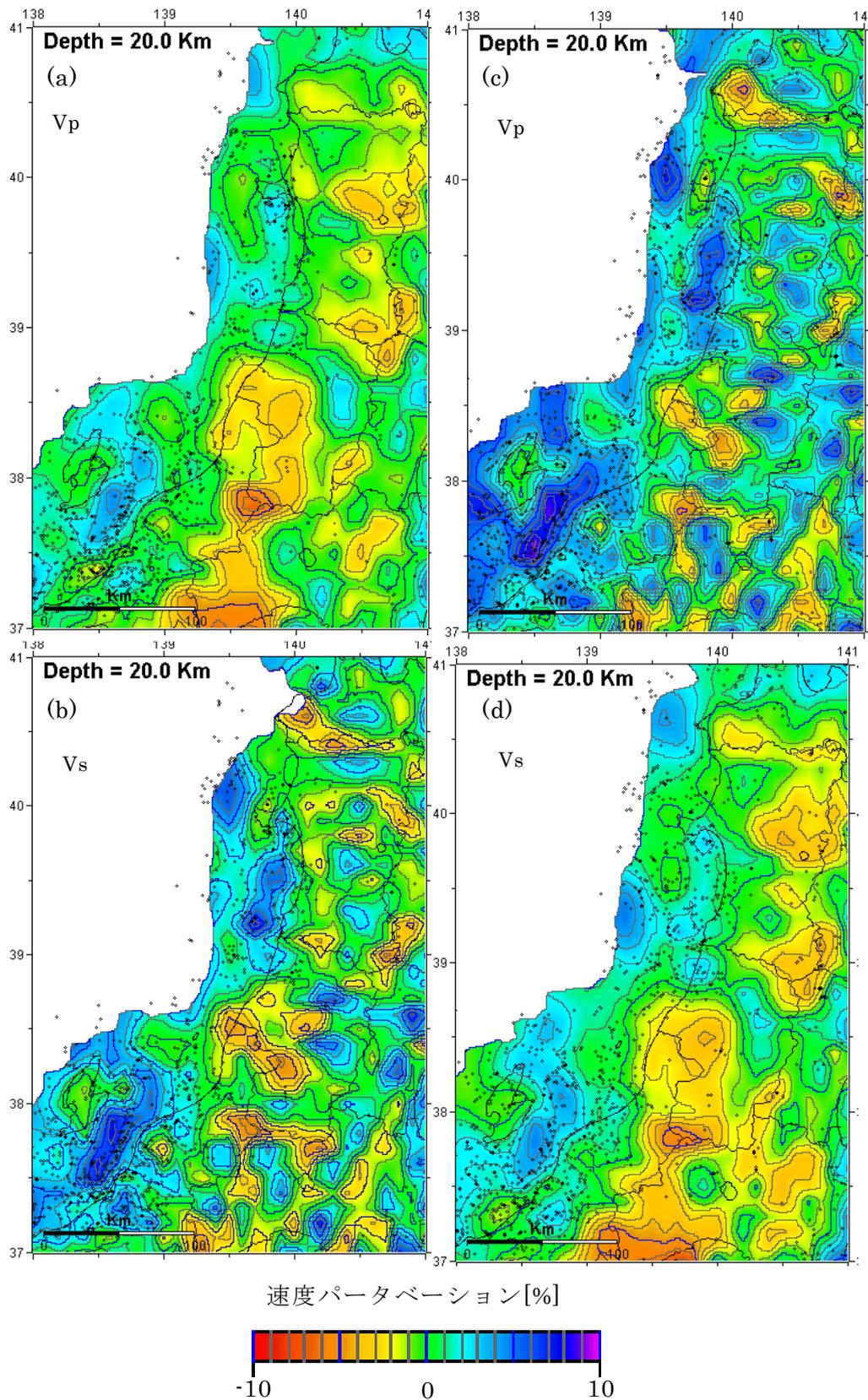


図2 東北地方の深さ 20 km における Matsubara and Obara (2011)<sup>1)</sup> による (a) P 波および (b) S 波速度パータベーション構造と Matsubara et al. (2017)<sup>10)</sup> による (c) P 波および (d) S 波速度パータベーション構造。黒丸は深さ ±5 km 以内の震源分布を示す。

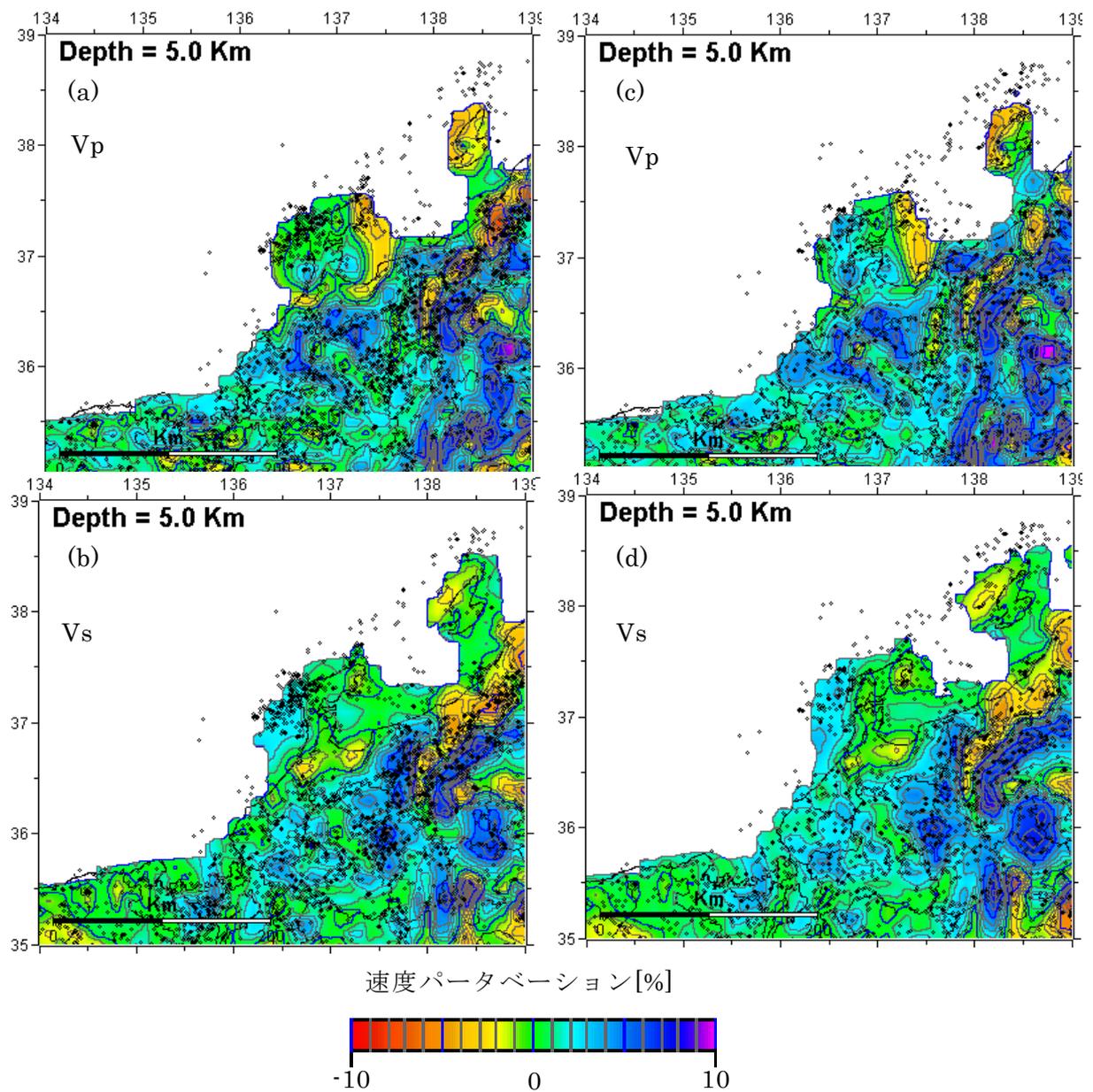


図3 近畿・北陸地方の深さ5 kmにおける Matsubara and Obara (2011)<sup>1)</sup>による(a) P波および(b) S波速度パータベーション構造と Matsubara et al. (2017)<sup>10)</sup>による(c) P波および(d) S波速度パータベーション構造。黒丸は深さ±5 km以内の震源分布を示す。

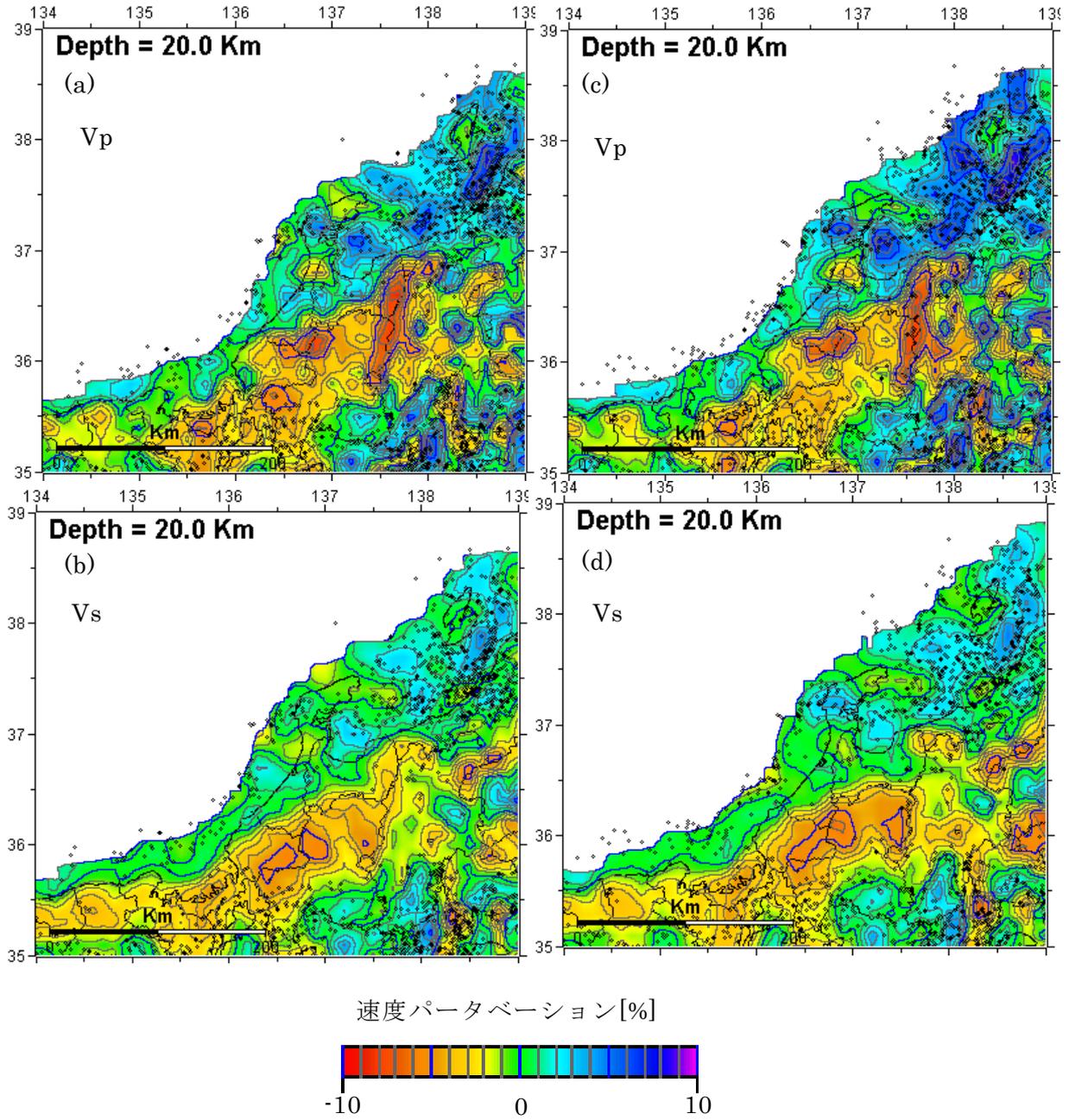


図4 近畿・北陸地方の深さ 20 km における Matsubara and Obara (2011)<sup>1)</sup> による(a) P 波および(b) S 波速度パータベーション構造と Matsubara et al. (2017)<sup>10)</sup> による(c) P 波および(d) S 波速度パータベーション構造。黒丸は深さ±5 km 以内の震源分布を示す。

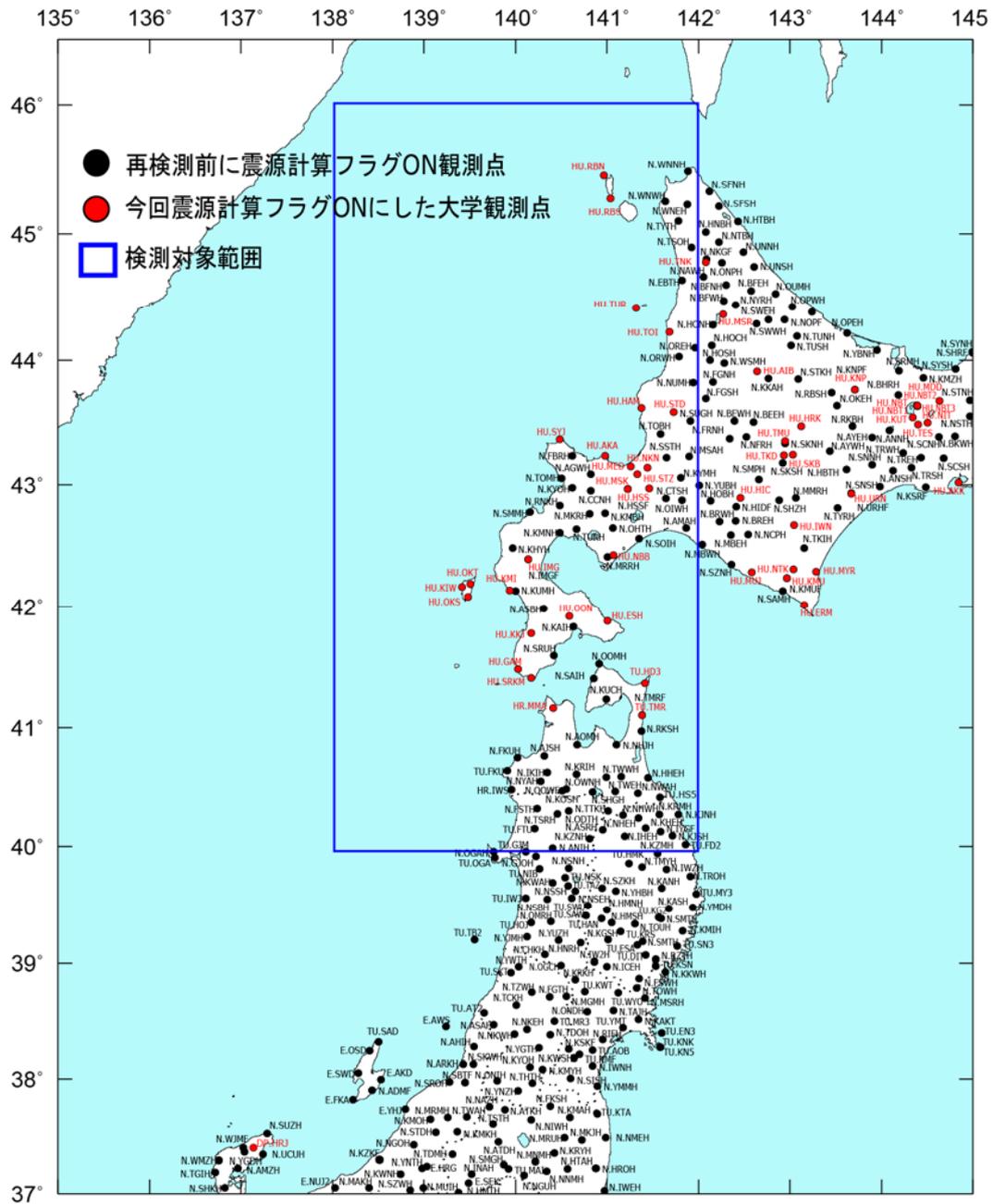


図5 北海道地方の地震の震源決定において読み取りした観測点分布。

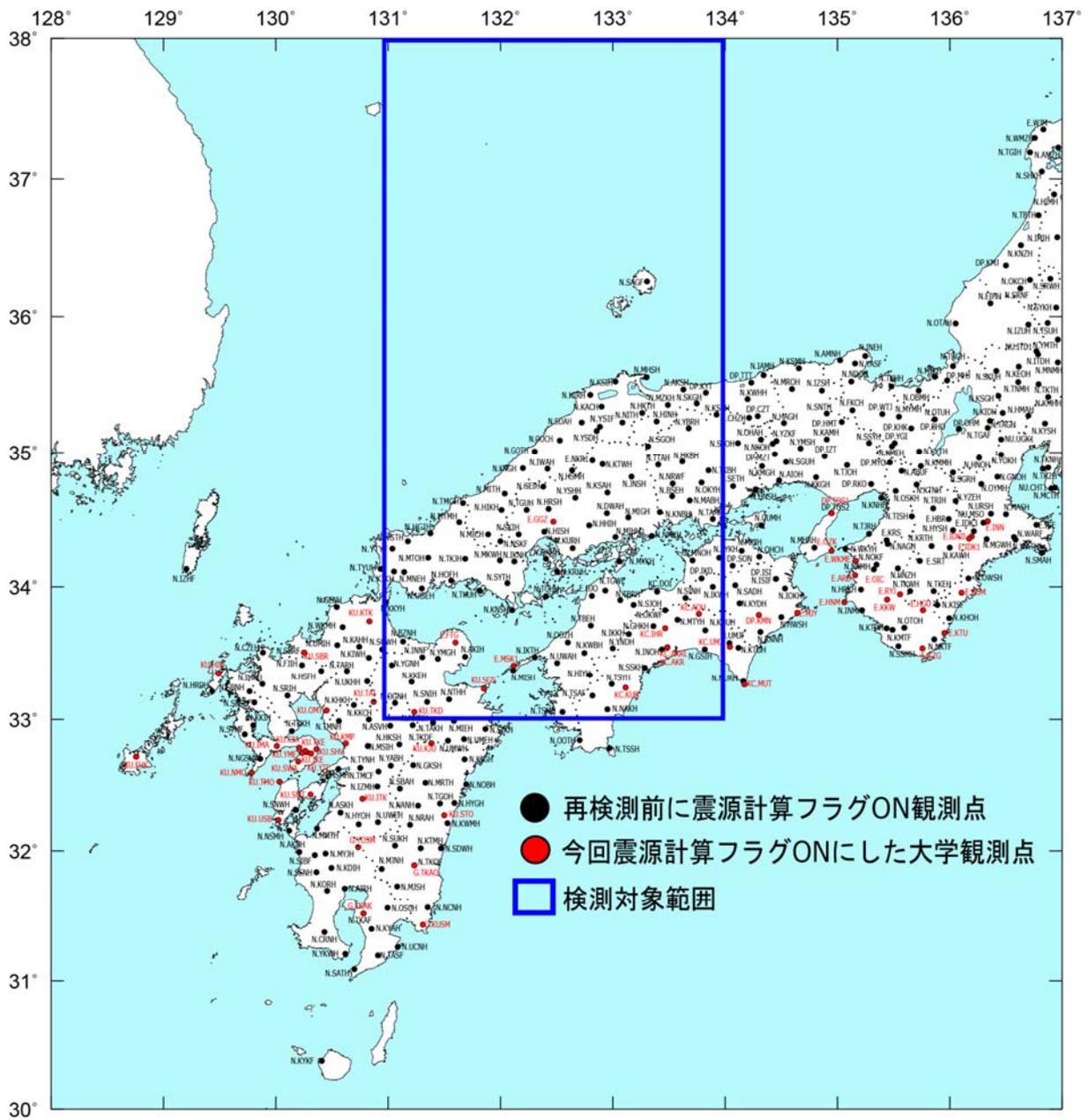


図 6 中国地方の地震の震源決定において読み取りした観測点分布。

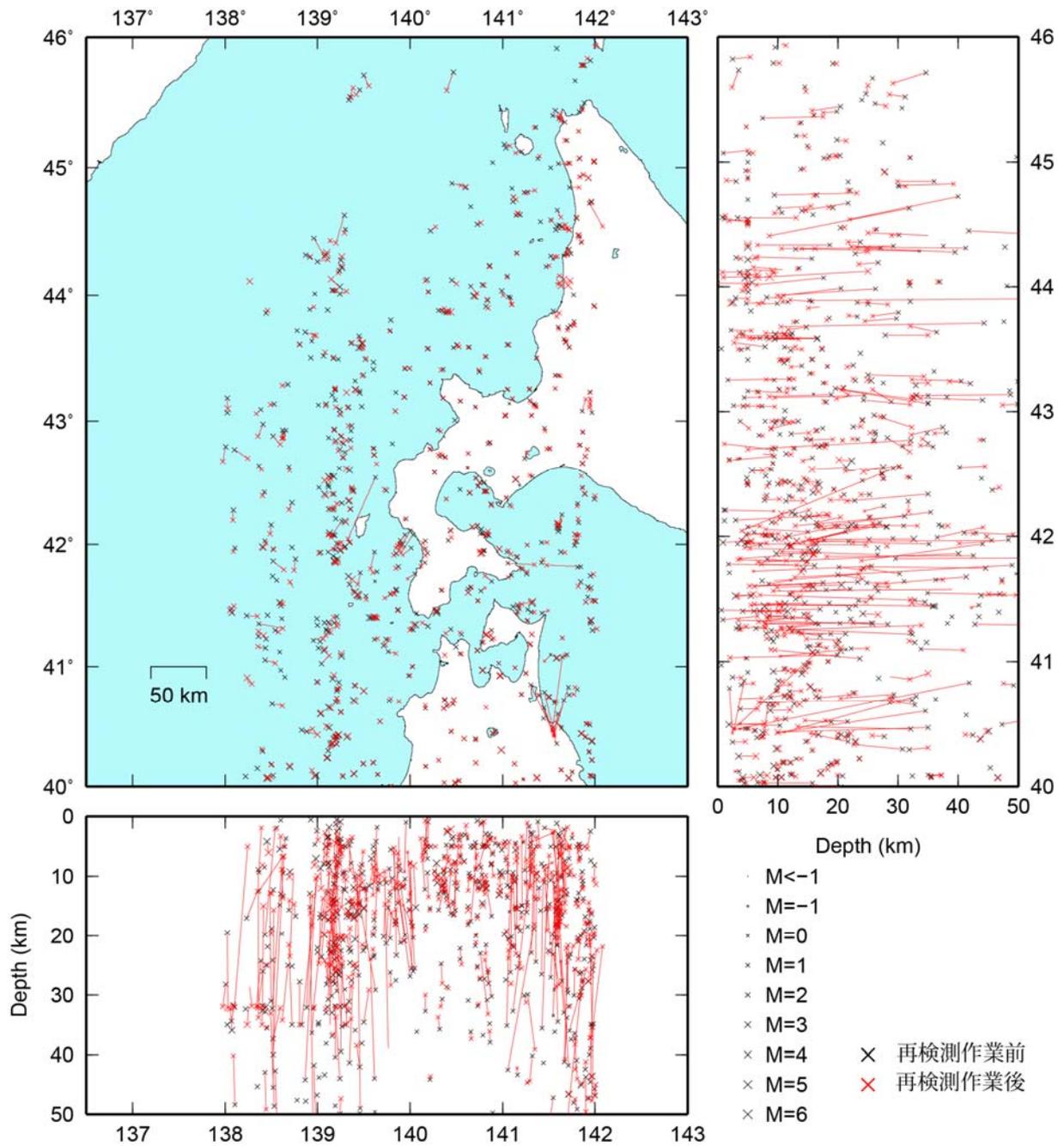


図7 北海道地方の震源再決定の結果。

海域に決定された震源については、速度構造境界に決められた地震も含まれている。

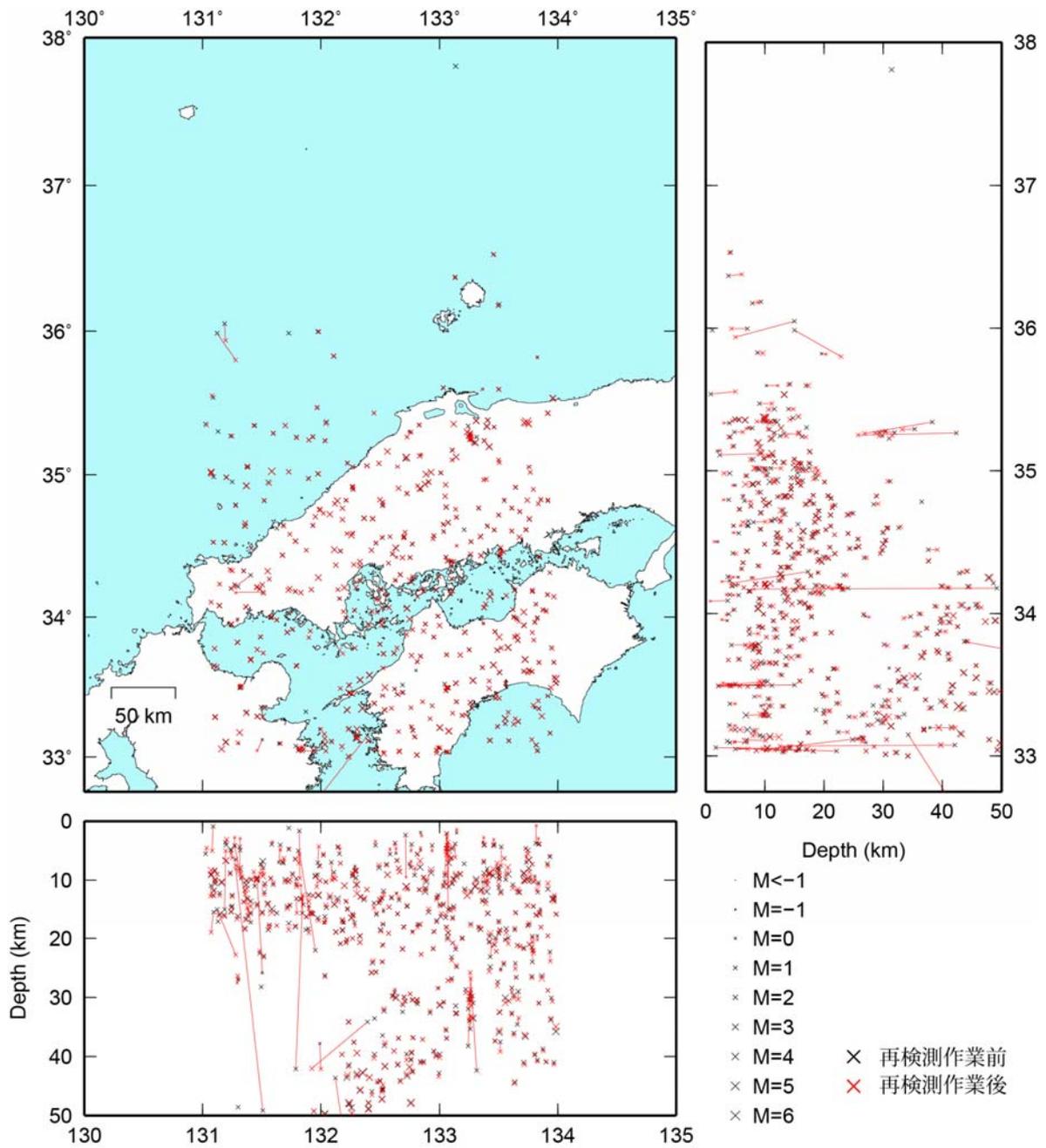


図 8 中国地方の震源再決定の結果。