

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カ年の年次実施計画（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（令和元年度）
 - 8) 令和 2 年度
- (e) 平成 31 年度（令和元年度）業務目的

(2) 平成 31 年度（令和元年度）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更新
 - 2) 地震発生層の下限の推定
- (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) 令和 2 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カ年の年次実施計画（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した。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した。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九州沿岸地域で発生した地震の直達波の読み取りを行った。

7) 平成 31 年度 (令和元年度) :

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した。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、応力場を推定した。

8) 令和 2 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 31 年度 (令和元年度) 業務目的

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含めた速度構造解析を実施し、三次元地震波速度構造モデルを改良する。さらに、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した。三次元構造に基づいた波線を活用した発震機構解の再決定を行い、応力場を推定する。

(2) 平成 31 年度（令和元年度）の成果

(a) 業務の要約

既往の地震波速度構造解析に用いられてきたデータに、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なども加えて三次元地震波速度構造解析を実施し、速度構造モデルを改良した。新たな速度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、微小地震の発震機構解の再決定を行い、応力場を推定した。

(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更新

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 波の読取值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 et al., 2017¹⁾）。既存の研究に、防災科研の日本海溝海底地震津波観測網（S-net）のデータや平成 30 年度に読み取られた九州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震央を観測点が囲むので水平位置や深さについて精度良く決められる。一方、海域の地震の深さについては震源の直上に観測点が無いため大きな誤差を含んだ解となる。防災科研 F-net は波形を用い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., 2004²⁾; Obara et al. 2005³⁾）。そこで、陸域の地震については防災科研 Hi-net の読取值と震源カタログを、海域の地震については防災科研 Hi-net の読取值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、海域の地震も活用した三次元地震波速度構造の推定が行われた（Matsubara and Obara, 2011⁴⁾; Matsubara et al., 2017¹⁾）。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 30 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。さらに 2016 年度以降の防災科研 S-net のデータも活用し、日本海から太平洋までの切れ目のない速度構造を推定した（Matsubara et al., 2019⁵⁾）。

解析領域は東経 120-148°、北緯 20-48° であり、32,952 個の地震からの 1,782,425 個の P 波、1,528,733 個の S 波の読取值を用いた。波線追跡法は Koketsu and Sekine (1998)⁵⁾ のシュードベンディング法を用い、Zhao et al. (1982)⁶⁾ 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., 2004⁷⁾; Matsubara et al., 2005⁸⁾; Matsubara et al., 2008⁹⁾）を用いた（Matsubara et al., 2019¹⁰⁾）。初期速度構造は鶴川・他 (1984)¹¹⁾ を用いた。

c) 解析結果と議論

Matsubara et al. (2019)⁵⁾ による九州地方の深さ 5 km および 20 km における P 波速度構造を図 1~2 に示す。図は防災科研から公開されている松原 (2009)¹²⁾ のソフトウェアを用いて作成した。深さ 5 km の上部地殻では高速度域が主であり、この結果は Saiga et al. (2010)¹³⁾ と調和的である (図 1)。深さ 20 km の下部地殻では、九重から阿蘇にかけてと雲仙の活火山の領域で P 波も S 波も低速度領域となっているが、特に P 波の低速度が顕著であり、 V_p/V_s では小さい結果が得られた。この結果も Saiga et al. (2010)¹³⁾ と調和的である (図 2)。

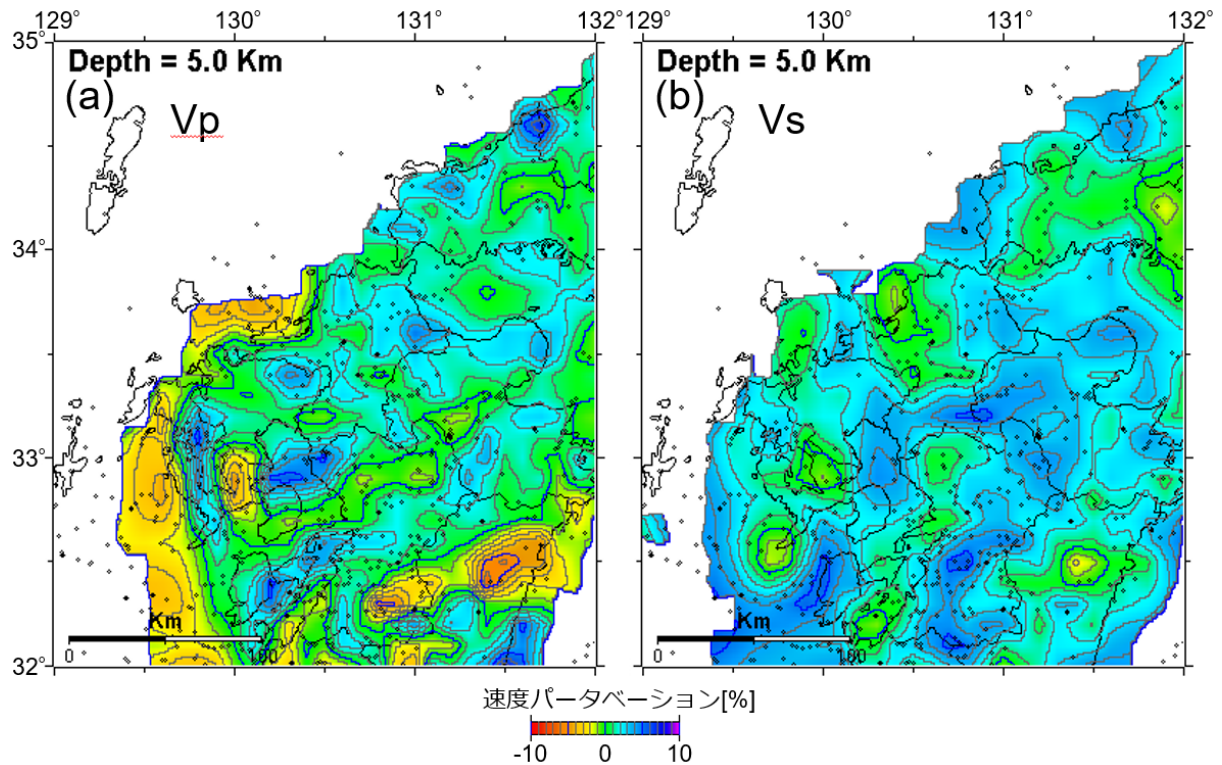


図 1 九州地方の深さ 5 km における (a) P 波および (b) S 波速度パータベーション構造 Matsubara et al. (2019)¹⁰⁾。黒丸は深さ ±5 km 以内の震源分布を示す。

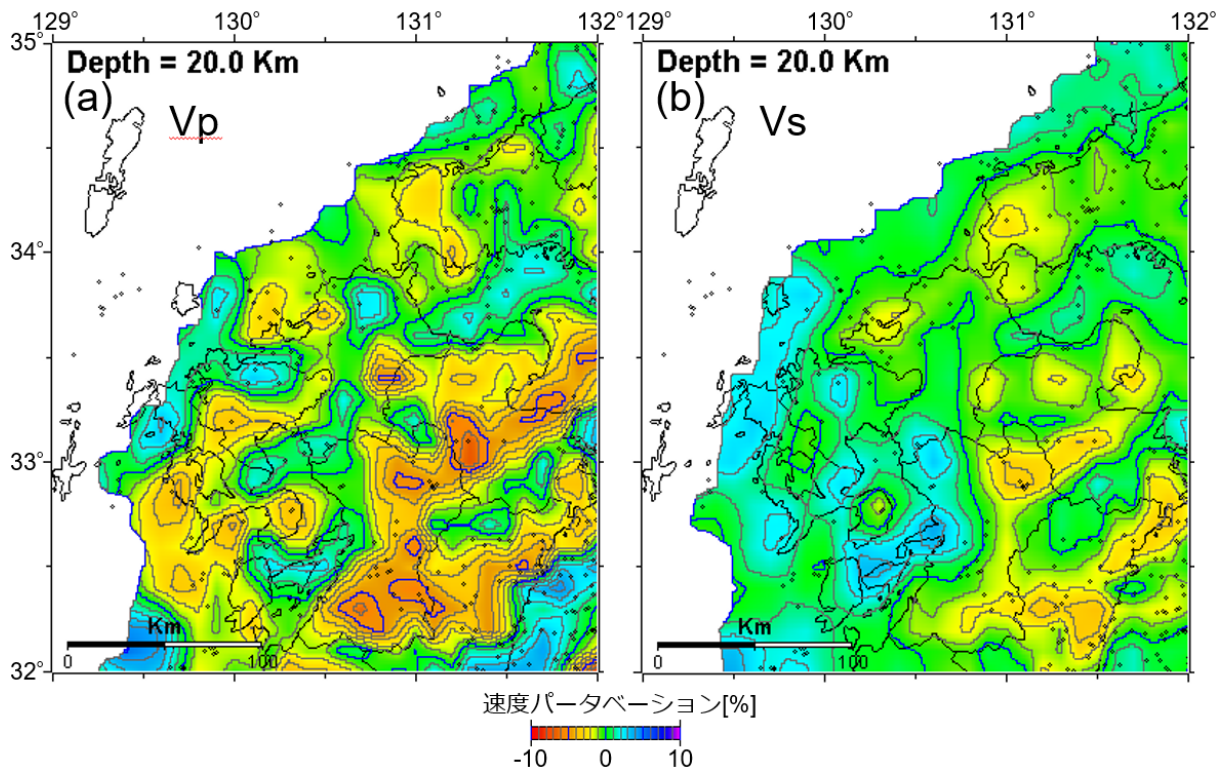


図 2 九州地方の深さ 20 km における(a) P 波および(b) S 波速度パータベーション構造 Matsubara et al. (2019) ¹⁰⁾。黒丸は深さ±5 km 以内の震源分布を示す。

2) 地震発生層の下限の推定

a) はじめに

活断層に起因する地震の最大地震の規模を推定するため、地震発生層の下限を推定する必要がある。三次元地震波速度構造の更新に伴い、地震発生層の下限と応力場を推定した。

b) 手法およびデータ

2000 年 10 月 1 日～2017 年 12 月 31 日までの防災科研 Hi-net により決められた M1.5 以上の地震について三次元地震波速度構造を用いて再決定した。その震源カタログ(図 3)を用いて、日本海沿岸の地震発生層の下限を推定した。あるグリッドの周囲±0.1° や 0.2° 四方の深さ 25 km 以浅の地震について、11 個以上の地震がある場合に、地表から 10%の地震が起きた深さを地震発生層の上限 (D10)、90%の地震が起きた深さを地震発生層の下限 (D90) を推定した。また、三次元地震波速度構造を用いて再決定した発震機構解を用いて応力場を推定した。

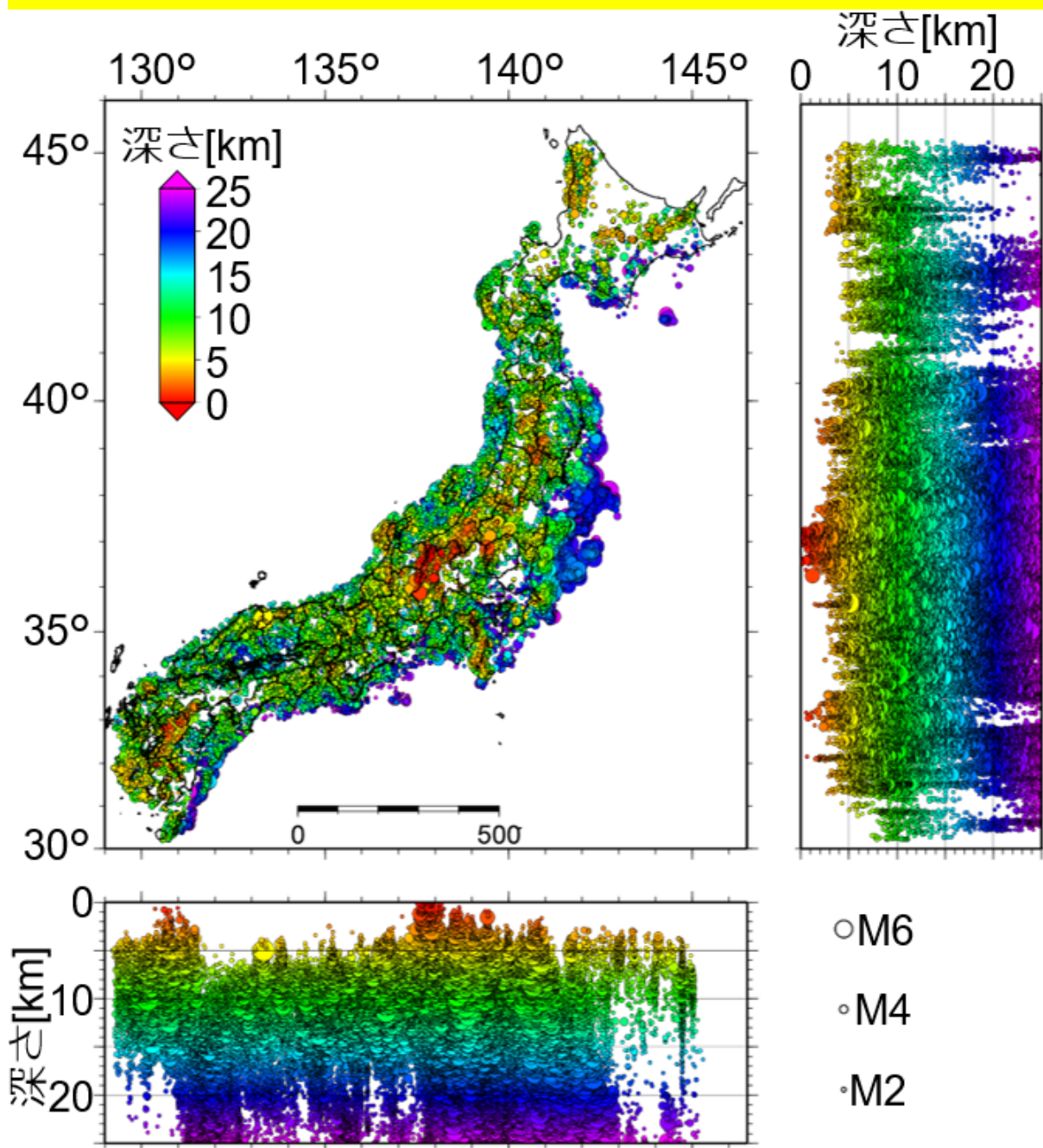


図3 D90の解析に用いた震源分布。

c) 解析結果と議論

日本海沿岸の D90 を図 4 に示す。断層近傍の地震活動に着目する場合は $\pm 0.1^\circ$ の結果を、地域的な地震活動の下限に着目する場合は $\pm 0.2^\circ$ の結果をみる。D90 は北海道北部では深く 20 km 以深まで達する。東北地方の脊梁部では活火山の下で深い但那以外では 10 km 前後であり、日本海側は深さ 20 km まで達する。新潟県の本州と佐渡の間では 20 km 以深まで達するが、佐渡では 17 km 程度と浅くなる。能登半島以西では 12 km 前後とさらに浅くなる。近畿地方は全体として 12~16 km である。中国地方は日本海側では 10~16 km であり、東北日本と比べて非常に浅い。九州地方では活火山の下では 12 km 以浅だが、熊本地震の領域では 12~14 km 程度である。

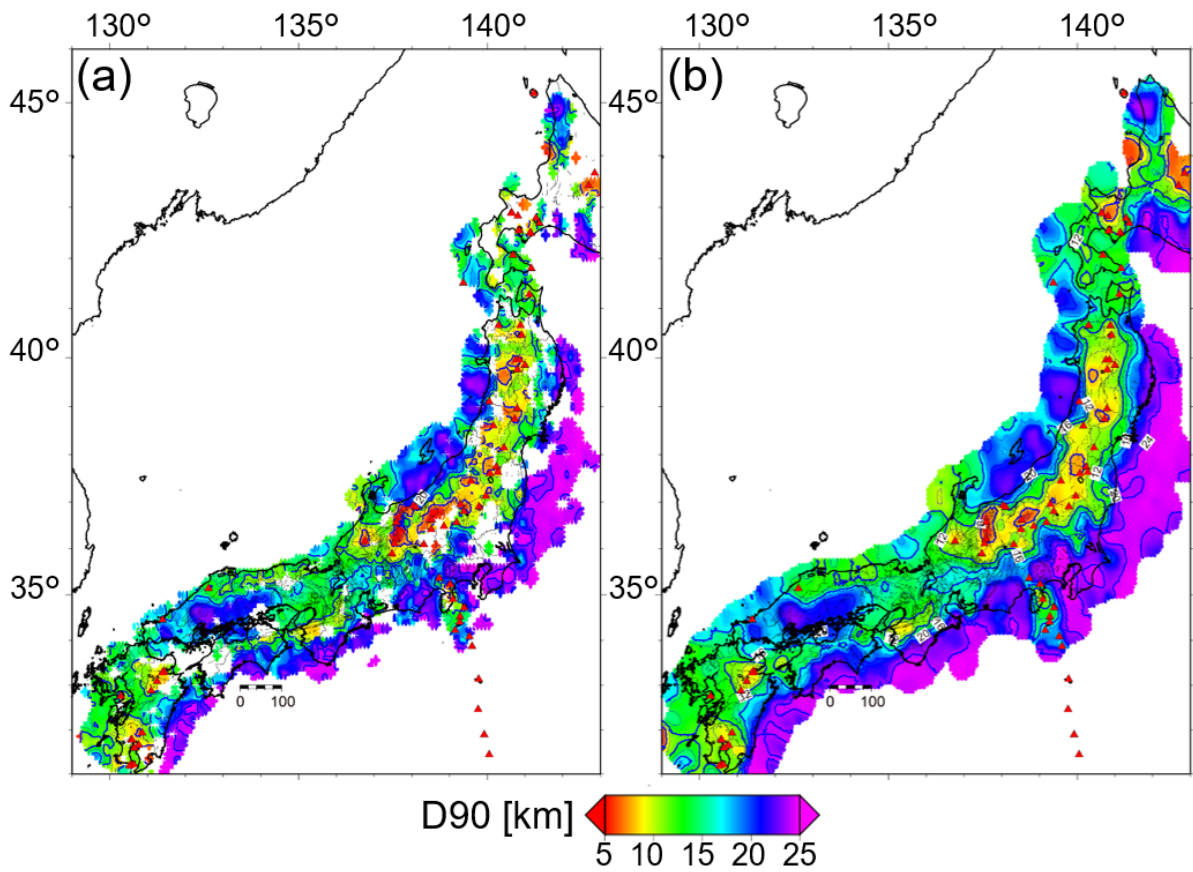


図4 D90の分布。(a)±0.1° および(b)±0.2° の領域の結果。

三次元地震波速度構造による波線を用いて決定した発震機構解に基づく P 軸と T 軸の分布を図 5 に示す。P 軸は東西が主であるが、T 軸は東北日本では鉛直に、西南日本では主に南北の傾向がある。

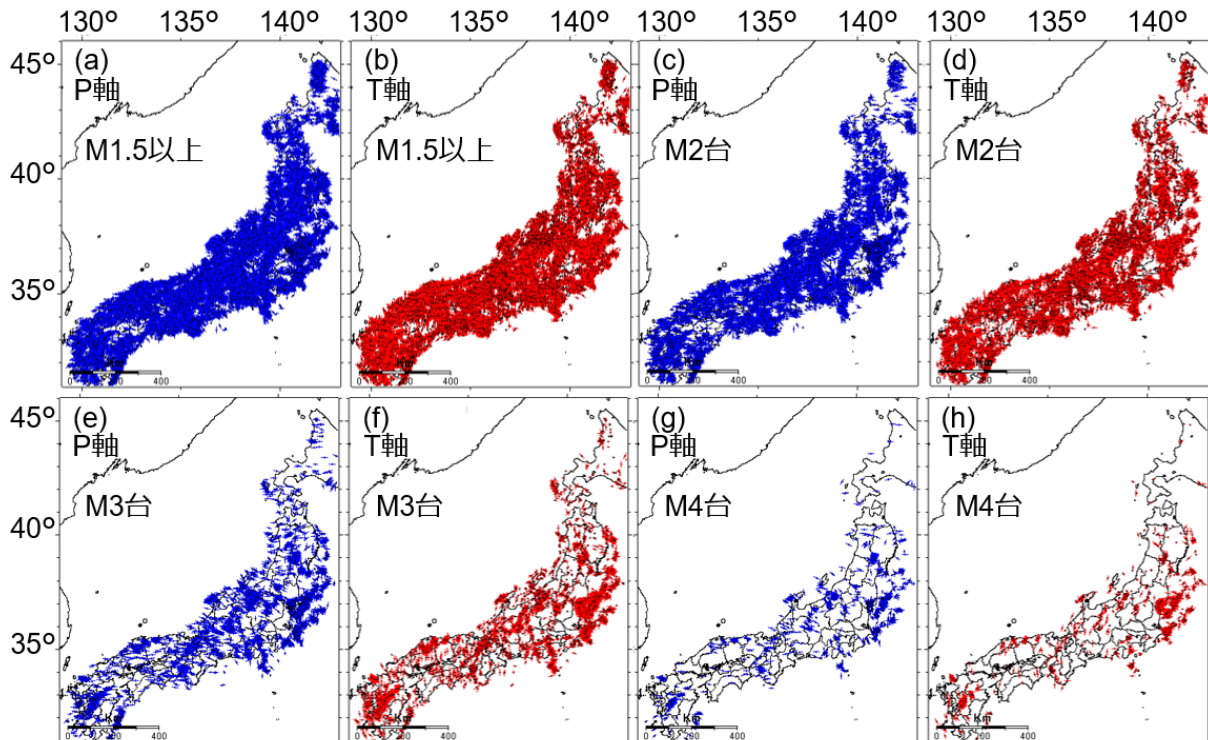


図 5 三次元地震波速度構造で再決定した発震機構解による P 軸や T 軸の分布。

(c) 結論ならびに今後の課題

2000 年 10 月～2017 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。九州地方の追加読み取りや防災科研 S-net の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。

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、地震発生層の下限や応力場の分布について情報を更新した。日本海沿岸では東北日本では深さ 20 km 以深まで達するが、西南日本では 10～12 km 程度と浅い。応力場は圧縮軸は東西方向であるが、伸長場は東北日本では南北、西南日本では東西の傾向が強い。

日本海沿岸ではエアガン探査が実施されている。これらのデータは陸域定常観測網でも捉えられている。重合処理することによりこれらのデータを読み取り、トモグラフィ解析に追加することにより、海域浅部の構造の更新が期待される。

(d) 引用文献

- 1) Matsubara, M., Sato, H., Uehira, K., Mochizuki, M., and Kanazawa, T.: 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.
- 2) Okada, Y., Kasahara, K., Hori, S., Obara, K., Sekiguchi, S., Fujiwara, H., and Yamamoto A.: 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, Kasahara, K., Hori, S., and Okada, Y.: 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) 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.
 - 5) Koketsu K. and Sekine S.: 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., Hasegawa, A., and Horiuchi, S.: 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 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.
 - 9) Matsubara, M., Obara K., and Kasahara, K.: 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., Sato, H., Uehira, K., Mochizuki, M., Kanazawa, T., Takahashi, N., Suzuki, K. and Kamiya, S.: Seismic velocity structure in and around the Japanese Island arc derived from seismic tomography including NIED MOWLAS Hi-net and S-net data, Seismic Waves - Probing Earth System, IntechOpen, 1-19, doi:10.5772/intechopen.86936, 2019.
 - 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.
 - 13) Saiga, A., Matsumoto, S., Uehira, K., Matsushima, T., Shimizu, H.: Velocity structure in the crust beneath the Kyushu area, Earth Planets Space, 62, 449-462, doi:10.5047/eps.2010.02.003.

(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
Matsubara M. and H.	Three dimensional seismic velocity structure beneath	2019 Seismological Society of America;	平成 31 年 4 月 25 日

Sato	Japanese Islands from Sea of Japan to Pacific Ocean including NIED S-net data (口頭発表)	Seattle (ポーランド)	
松原誠, 佐藤比呂志, 植平賢司, 望月将志, 金澤敏彦, 高橋成実, 鈴木健介, 神谷眞一郎	防災科研 S-net データを活用した日本列島下および太平洋下を含めた三次元地震波速度構造 (口頭発表)	日本地球惑星科学連合 2019年大会 (千葉市)	令和元年 5月 29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) 令和2年度業務計画案

陸域定常観測点で観測された日本海沿岸におけるエアガンデータを処理し読み取ることにより、沿岸浅部の構造を改良する。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。

