

### 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) 令和元年度
  - 8) 令和2年度
- (e) 平成30年度業務目的

##### (2) 平成30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) 九州沿岸地域で発生した地震の読み取り
  - 2) 近年発生した日本海沿岸での大地震に関する地震発生層の厚さ
  - 3) 三次元地震波速度構造モデルの改良
  - 4) 地震発生層の下限・応力場の推定
- (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) 令和元年度業務計画案

## (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) 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) 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 30 年度業務目的

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し、地震時すべり域や温度構造と比較する。平成 29 年度に実施した北海道・中国地方の読み取りデータを

取り入れ、三次元地震波速度構造モデルを改良する。震源再決定により地震発生層深度の更新・微小地震のメカニズム解の決定をふまえ、応力場を推定する。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を読み取る。

## (2) 平成30年度の成果

### (a) 業務の要約

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し、地震時すべり域や温度構造と比較した。平成29年度に実施した北海道・中国地方の読み取りデータを取り入れ、三次元地震波速度構造モデルを改良した。震源再決定により地震発生層深度の更新・微小地震のメカニズム解の決定をふまえ、応力場を推定した。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を読み取った。

### (b) 業務の実施方法および成果

#### 1) 九州沿岸地域で発生した地震の読み取り

##### a) はじめに

九州地方、防災科研 Hi-net の観測点に加えて、気象庁や九州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年以前の九州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年までの九州地方で発生した地震の読み取りについては平成29年度の中国地方の読み取りの際に震源計算フラグを ON にした観測点に加えて、九州に存在する観測点も新たに ON にして追加読み取りを実施した。追加読み取りをした観測点を図1に示す。

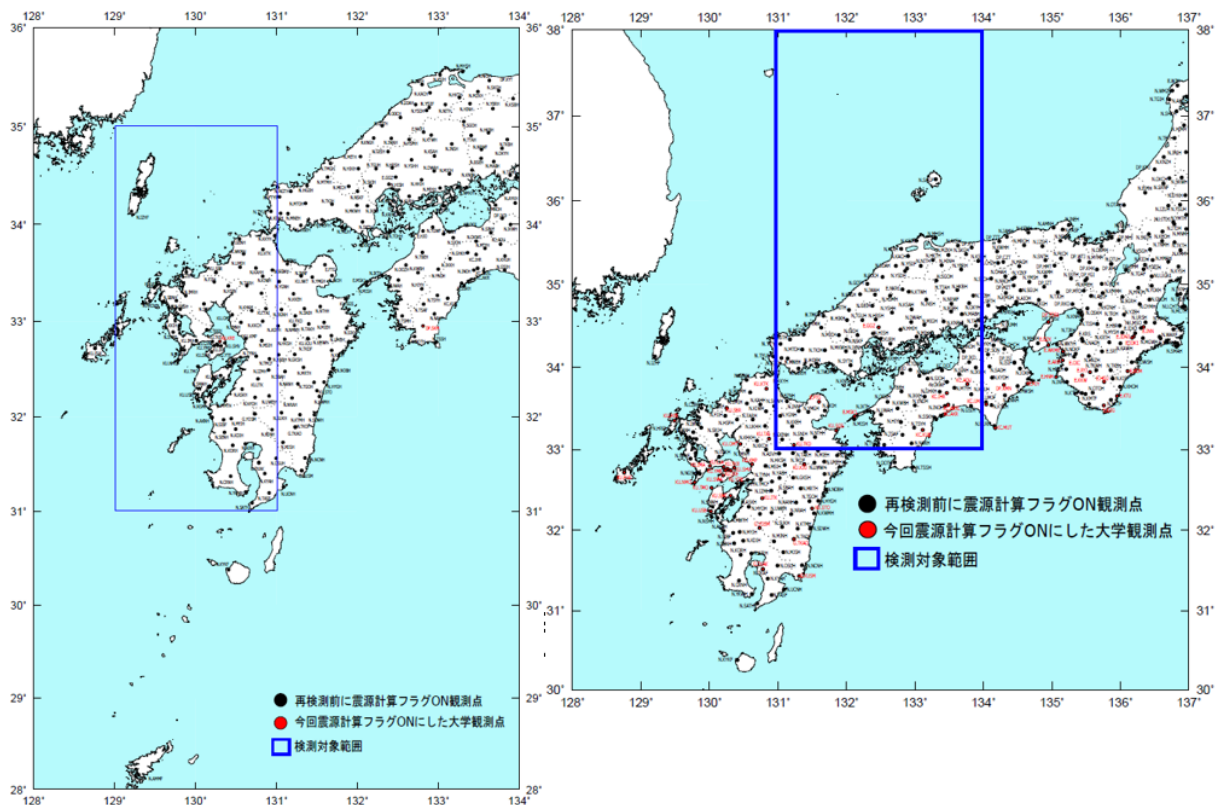


図 1 九州地方の地震の読み取りをする際に震源計算フラグを ON にした観測点の分布。

### c) 解析結果と議論

九州地方において震源再決定した結果を図 2 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、陸域の地震については震源の深さが精度良く再決定された。海域の地震については、浅く決め直される傾向があった。

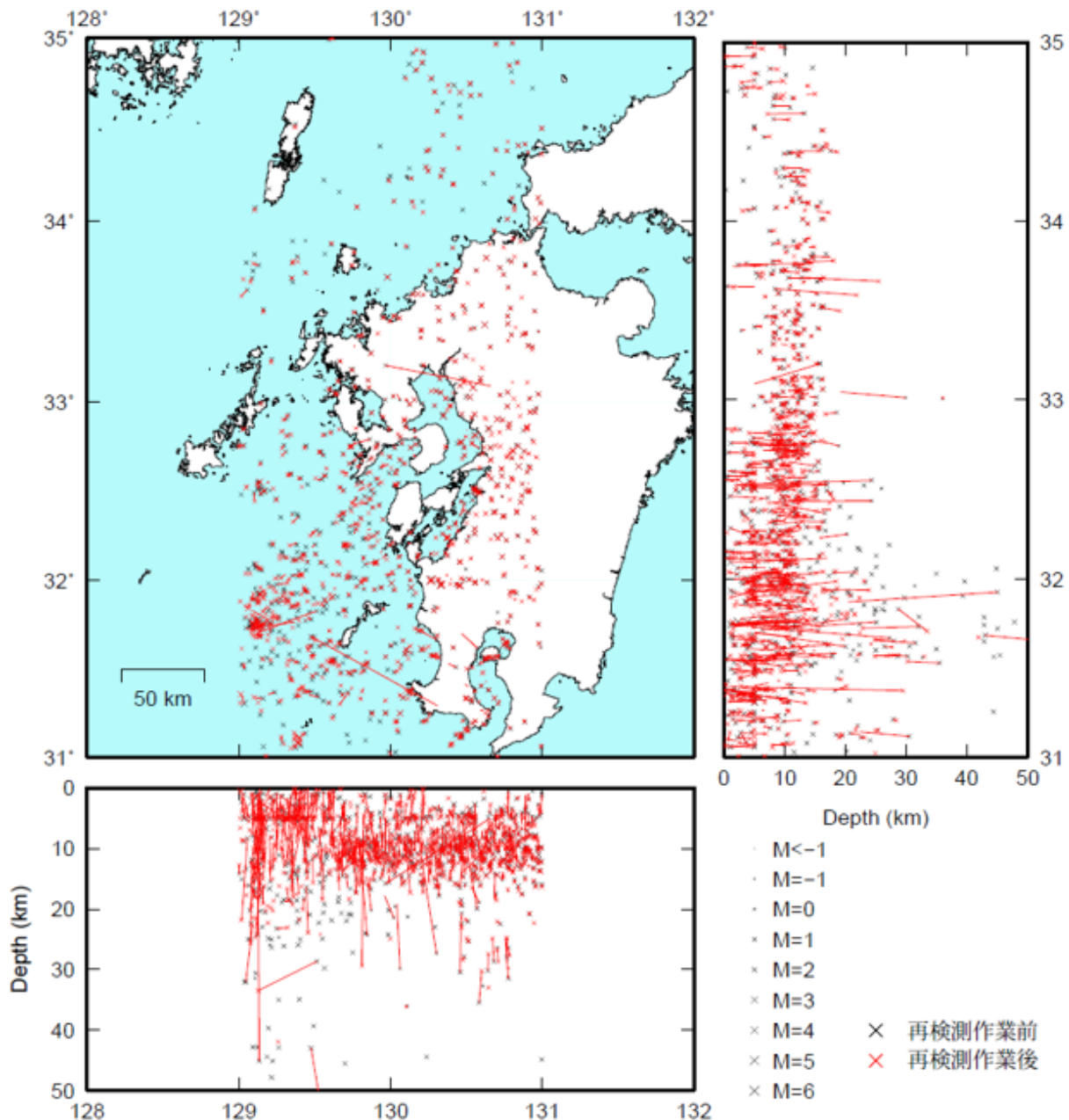


図2 九州地方の再決定した震源分布。

## 2) 近年発生した日本海沿岸での大地震に関する地震発生層の厚さ

### a) はじめに

地震の最大規模を推定するために地震発生層の下限を求めているが、実際に近年に起きた大地震が地震発生層の下限よりも浅いところで起きているかどうかを検証する必要がある。そこで、日本海沿岸で起きた大地震について、本震前の地震活動から推定した地震発生層の下限と本震の震源、余震分布、地下の温度構造を推定した。

### b) 手法およびデータ

2005年中越地震、2016年鳥取県中部の地震について、本震前の地震活動から地震発生層の下限を算出した。また、余震や地下の温度構造と比較した。また、胆振東部地震の余

震について、三次元地震波速度構造 (Matsubara et al., 2017<sup>2)</sup>) を用いて震源再決定した。

c) 解析結果と議論

2005年中越地震、2016年鳥取県中部の地震の結果をそれぞれ図3~4に示す。本震は本震前の地震活動から推定した地震発生層の下限かそれより浅いところで発生している。

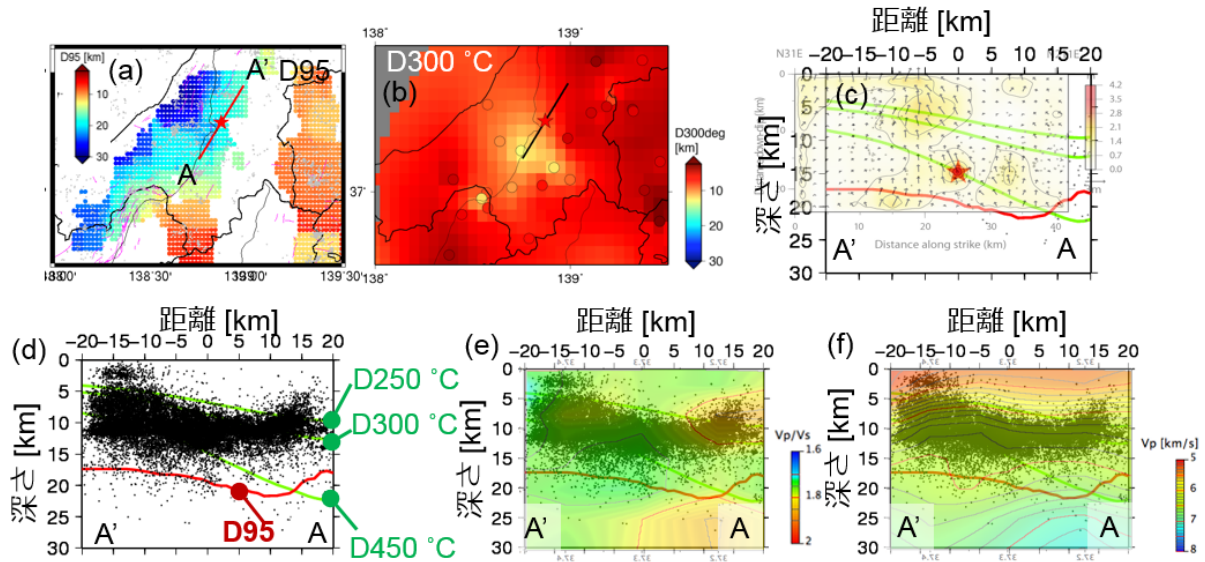


図3 2005年中越地震の地震発生層の下限、300°Cの深さ分布、および地震時滑り域や余震分布、三次元地震波速度構造との比較。(a)D90の分布。A-A'は(c)~(f)の断面図の位置を示す。(b)D300°Cの分布。(c)地震地すべり域(Honda et al., 2005<sup>1)</sup>)との比較。(d)余震分布との比較。(e)Vp/Vsとの比較(Matsubara et al., 2017<sup>2)</sup>)。(f)Vp(Matsubara et al., 2017<sup>2)</sup>)との比較。



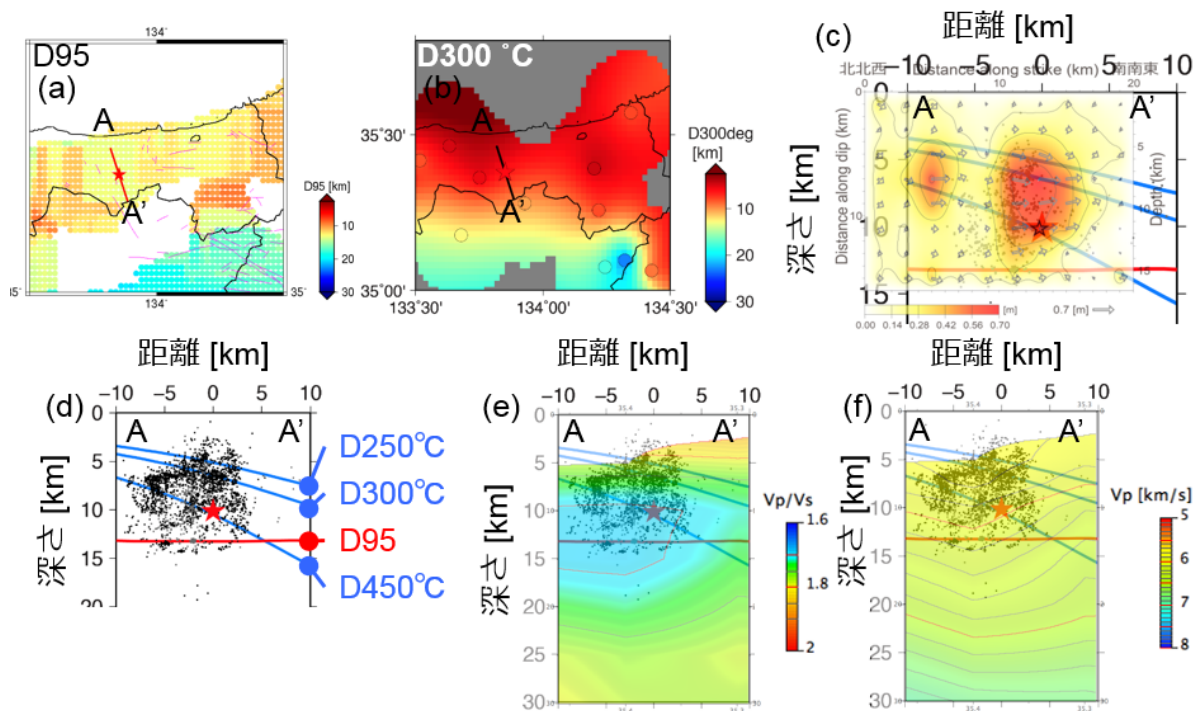


図4 2016年鳥取県中部の地震の地震発生層の下限、300°Cの深さ分布、および地震時滑り域や余震分布、三次元地震波速度構造との比較。(a)D95の分布。A-A'は(c)~(f)の断面図の位置を示す。(b)D300°Cの分布。(c)地震地すべり域(Kubo et al., 2016<sup>3)</sup>)との比較。(d)余震分布との比較。(e)Vp/Vsとの比較(Matsubara et al., 2017<sup>2)</sup>)。(f)Vp(Matsubara et al., 2017<sup>2)</sup>)との比較。

### 3) 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 et al., 2017<sup>2)</sup>）。そのデータに、平成29年度に読み取った北海道・中国地方の地震の読み取りを追加して三次元地震波速度構造を推定した。

#### b) 手法およびデータ

解析領域は東経123-148°、北緯23-48°であり、2000年10月から2014年12月までの223,119個の地震からの5,795,820個のP波、3,076,433個のS波の読取値を用いた。波線追跡法はKoketsu and Sekine (1998)<sup>4)</sup>のシュードベンディング法を用い、Zhao et al. (1982)<sup>5)</sup>のトモグラフィ法に観測点補正値とスムージングを導入した手法(Matsubara et al., 2004<sup>6)</sup>; Matsubara et al., 2005<sup>7)</sup>; Matsubara et al., 2008<sup>8)</sup>)を用いた(Matsubara et al., 2017<sup>2)</sup>)。初期速度構造は鶴川・他(1984)<sup>9)</sup>による速度構造を用いた。

#### c) 解析結果と議論

深さ15kmにおける北海道と中国地方のP波速度構造を図5~6に示す。図は防災科研



から公開されている松原 (2009) <sup>10</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。

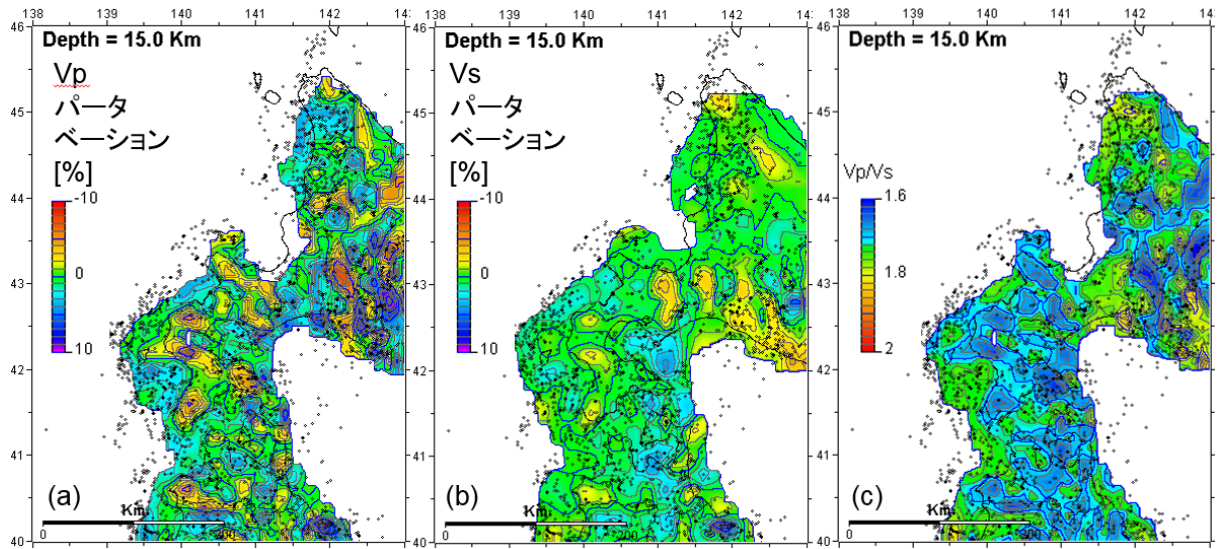


図 5 北海道地方の深さ 15 km の速度構造。

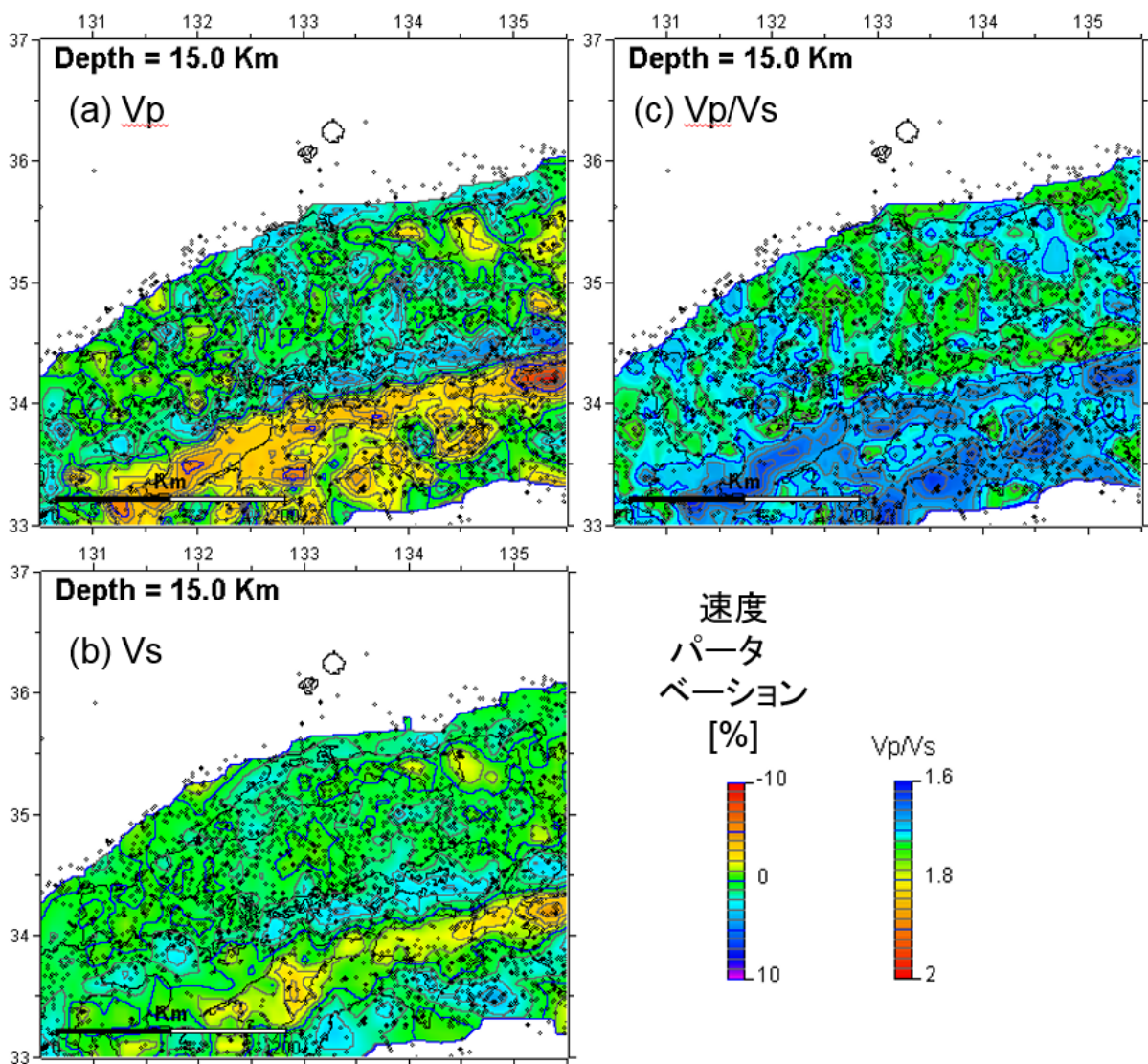


図 6 中国地方の深さ 15 km の速度構造。(a)P 波速度パータベーション、(b)S 波速度パータベーション、(c) $V_p/V_s$  を示す。

#### 4) 地震発生層の下限・応力場の推定

##### 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 日までの地震を三次元地震波速度構造を用いて再決定した震源カタログ (図 7(a)) を用いて、日本海沿岸の地震発生層の下限を推定した。周囲 $\pm 0.1^\circ$  四方の深さ 30 km 以浅の地震について、10 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。

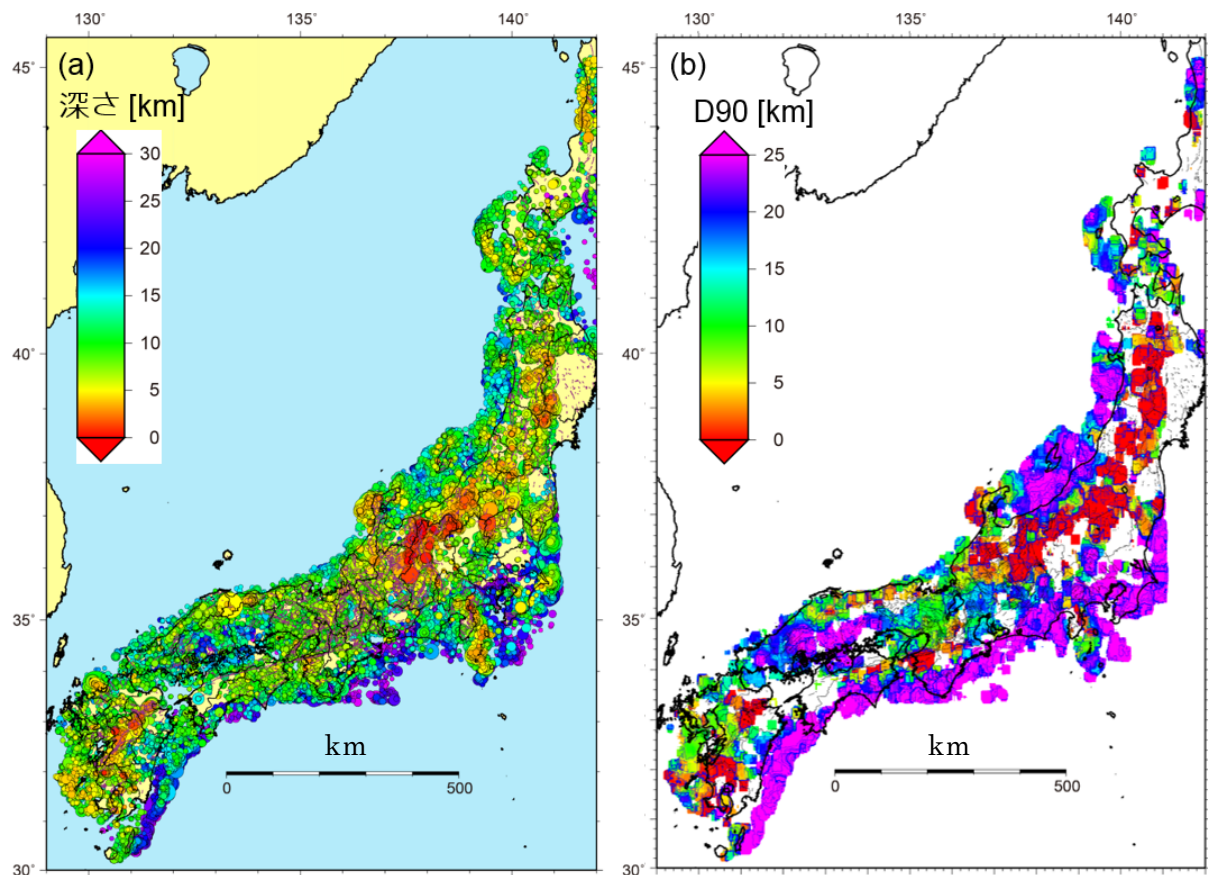


図 7 (a)三次元地震波速度構造で再決定した震源分布と(b)地震発生層の下限の分布。

##### c) 解析結果と議論

地震発生層の下限を図 7(b)に示す。脊梁山地や中部日本など火山地帯においては地震発生層の下限が浅い。日本海沿岸では、東北日本では地震発生層の下限は深い、西南日本においては浅い。

応力場を図 8 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。

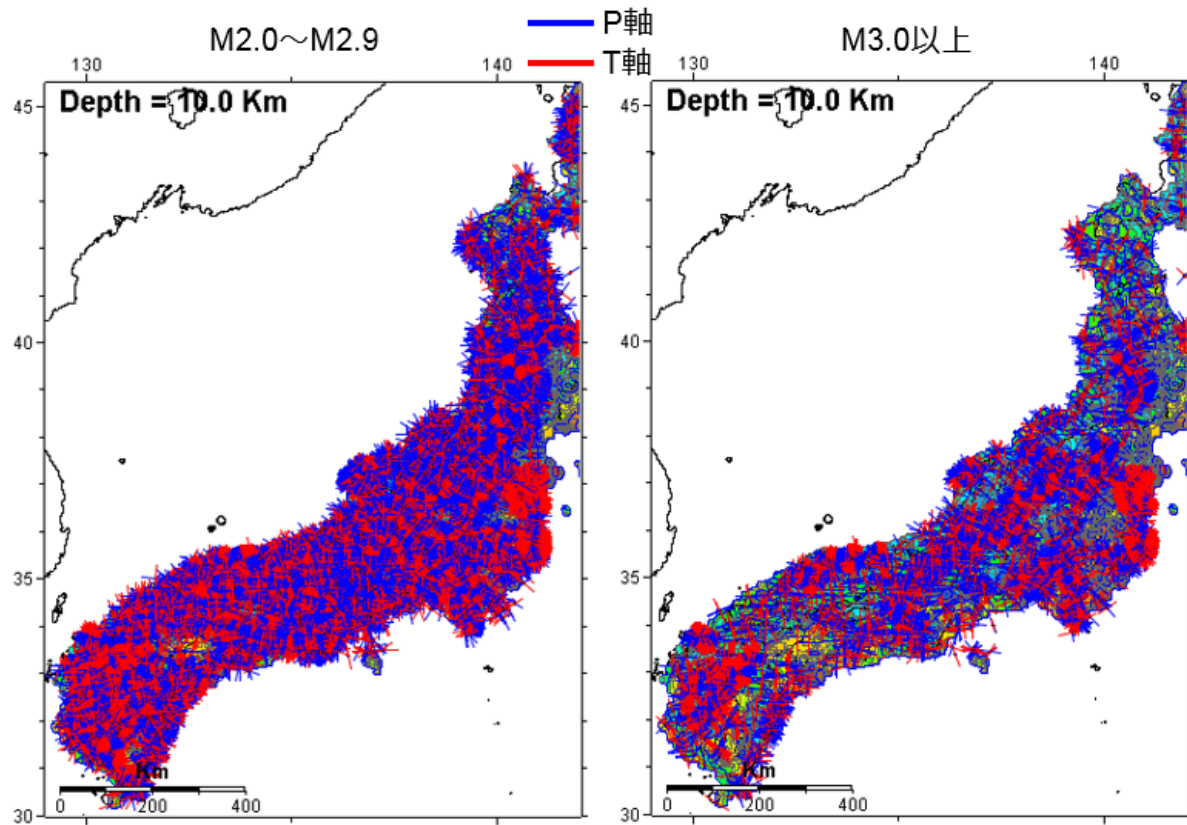


図 8 三次元地震波速度構造で再決定した発震機構解による P 軸や T 軸の分布。

(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) Honda, R., S. Aoi, N. Morikawa, H. Sekiguchi, T. Kunugi, and H. Fujiwara (2005) Ground motion and rupture process of the 2004 Mid Niigata Prefecture earthquake obtained from strong motion data of K-NET and KiK-net, Earth Planets Space, 57, 527-532.
- 2) Matsubara, M., H. Sato, K. Uehira, M. Mochizuki, and T. Kanazawa (2017) 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.
- 3) Kubo, H., W. Suzuki, S. Aoi, and H. Sekiguchi (2017) Source rupture process of the 2016 central Tottori, Japan, earthquake (M<sub>JMA</sub> 6.6) inferred from strong motion waveforms, *Earth Planets Space*, 69:127, doi:10.1186/s40623-017-0714-3.
  - 4) 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.
  - 5) 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.
  - 6) 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.
  - 7) 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.
  - 8) 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.
  - 9) 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.
  - 10) 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
Matsubara M. and H. Sato	Failed rift system in northern Honshu, Japan, imaged by the improved standard seismic velocity structure beneath the Japanese Islands using offshore earthquake events (ポスター発表)	2018 International SEISMIX Symposium; Cracow (ポーランド)	平成 30 年 6 月 18 日
Matsubara M. and H.	Configuration of Moho discontinuity beneath	2018 International SEISMIX Symposium;	平成 30 年 6 月 19 日

Sato	Japanese Islands characterized by failed rift system with shallow Moho derived from the standard three-dimensional seismic velocity structure obtained by seismic tomography (口頭発表)	Cracow (ポーランド)	
Yano T. E. and M. Matsubara	Crustal seismogenic layer beneath Japanese Islands estimated from highresolved hypocenter catalog and heat flux data (口頭発表)	日本地球惑星科学連合 2018 年大会 (千葉市)	平成 30 年 5 月 22 日
Matsubara M. and T. E. Yano	Lower limit of seismogenic zone beneath Kinki region based on hypocenter catalog determined with 3D velocity structure (口頭発表)	日本地球惑星科学連合 2018 年大会 (千葉市)	平成 30 年 5 月 22 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) 令和元年度業務計画案

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。

