

3. 2. 2. 2 海域プレート構造調査

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) 業務の成果
 - 1) 長期観測型海底地震計による観測および解析
- (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

2.2.2 海域プレート構造調査

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
東京大学地震研究所	教授	篠原 雅尚
	教授	塩原 肇
	准教授	望月 公廣
	助教	一瀬 建日
	助教	悪原 岳
	外来研究員	山田 知朗
	技術専門職員	八木 健夫
	技術専門職員	藤田 親亮
	技術専門職員	阿部 英二
	技術専門職員	増田 正孝
	技術専門職員	田中 伸一
	技術職員	池澤 賢志
	技術職員	大塚 宏徳
	技術職員	西本 太郎
東京海洋大学	准教授	中東 和夫
北海道大学	准教授	吉澤 和範

(c) 業務の目的

日本海海域において海底地震観測を行い、プレート構造を明らかにし、津波波源モデル・震源断層モデルや数値構造モデルに必要な基礎資料を得る。

(d) 8ヵ年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 平成 25 年度：

日本海大和海盆の領域において、広帯域海底地震計を含む長期観測型海底地震計計 6 台を設置し、長期海底地震観測を開始した。

2) 平成 26 年度：

日本海大和海盆の領域において、広帯域海底地震計を含む長期観測型海底地震計計 6 台を回収・再設置し、長期海底地震観測を継続した。プレート構造を明らかにする解析を実施すると共に、国内外の学会において、情報収集を行った。

3) 平成 27 年度：

日本海大和海盆の領域において、広帯域海底地震計を含む長期観測型海底地震計計 6 台

を回収・再設置し、長期海底地震観測を継続した。これまで得られた海底観測データと陸上観測点データと統合処理しトモグラフィ解析を実施した。

4) 平成 28 年度 :

日本海大和海盆の領域において、前年度設置し、1 年程度の観測を行った広帯域海底地震計を含む長期観測型海底地震計を回収し、大和海盆における長期海底地震観測を終了した。これまでに蓄積したデータを用いて、大和海盆域の地殻・上部マントルを含む海域プレートの構造を明らかにするためにトモグラフィ解析・レーザー関数解析を実施した。

5) 平成 29 年度 :

日本海盆の領域において、広帯域海底地震計を含む長期観測型海底地震計 7 台の設置を行い、長期海底地震観測を開始した。また、これまでに得られたデータから、プレート構造を明らかにする解析を実施した。

6) 平成 30 年度 :

日本海盆の領域において、前年度設置し、1 年程度の観測を行った広帯域海底地震計を含む長期観測型海底地震計を回収した。また、観測を継続するために、ほぼ同一地点に 7 台を再設置した。また、回収したデータの解析を開始した。

7) 平成 31 年度 (令和元年度) :

日本海盆の領域において、広帯域海底地震計を含む長期観測型海底地震計を回収し、観測を終了した。これまでに得られたデータを用いて、レーザー関数解析・実体波トモグラフィ解析を継続した。表面波のデータを組み込むために、ジョイントインバージョン解析に着手した。

8) 令和 2 年度 :

日本海盆の領域において、これまでに蓄積した約 2 年間のデータを用いて、日本海盆域の地殻・上部マントルを含む海域プレートの構造を明らかにする。大和海盆のデータとともに、日本海におけるプレート構造に関する成果をとりまとめる。

(e) 平成 31 年度 (令和元年度) 業務目的

日本海盆の領域において、広帯域海底地震計を含む長期観測型海底地震計を回収する。また、これまでに得られたデータから、プレート構造を明らかにする解析を実施する。

(2) 平成 31 年度 (令和元年度) の成果

(a) 業務の要約

日本海における地震および津波発生を考える上において、地殻・上部マントルを含むプレートの構造を明らかにすることは重要なデータとなる。特に脆性破壊を起こすリソスフェアの厚さ及びその構造は、津波波源モデル及び震源断層モデルの構築に必要である。深

部構造を求めるためには、遠地地震を含む多数の地震を観測できるように、同一地点において数年にわたる長期の観測を行うことが重要である。令和元年度は、日本海盆において、前年度に設置した4台の長期観測型海底地震計と3台の広帯域海底地震計の回収作業を実施した。これまでに得られた大和海盆のデータおよび新たに得られた日本海盆のデータを用いて、地震学の手法に基づく解析を行った。具体的には、実体波トモグラフィ解析によって、日本海北部域を新たに含む3次元P波・S波速度構造が推定された。また、S波レシーバ関数解析によって、リソスフェア・アセノスフェア境界（Lithosphere-Asthenosphere Boundary, LAB）由来のSp変換波による地下構造のイメージが得られた。得られたイメージをS波速度構造に変換するために、表面波とのジョイントインバージョンの解析コードを作成した。

(b) 業務の成果

1) 長期観測型海底地震計による観測および解析

本業務実施のため、平成30年に広帯域海底地震計3台、短周期海底地震計4台、合わせて7台の長期観測型海底地震計¹⁾を日本海盆に設置した。広帯域海底地震計は直径650mmのチタン合金製の耐圧容器、固有周期360秒の広帯域地震センサー、レコーダー、音響通信制御装置などから構成されている。短周期観測型海底地震計は直径500mmのチタン合金製の耐圧容器、マイクロコンピューター制御のジンバルシステムを持つ固有周期1秒の速度型地震計、レコーダー、音響通信制御装置などから構成されている。この他にラジオビーコン、フラッシュライトなどが外装されている。地震データはSDカード、またはハードディスクに収録され、電源には1年間の連続観測が可能な大容量のリチウム電池を使用している。これらの動作試験などは、昨年度の設置前に東京大学地震研究所にて実施した。

令和元年7月に東京大学地震研究所による備船「第三開洋丸」により、海底地震計の回収作業を行った。令和元年7月26日に函館港を出港し、27日28日の両日に海底地震計の回収作業を行った（表1、図1）。その後、7月29日に函館港へ入港した。本航海にあたっては、現地関係機関（者）等と作業概要などの連絡調整を行った。

表1 平成30年度から令和元年度に観測を行った長期観測型海底地震計

観測点名	センサー	設置位置（投入時の船舶座標）		
		緯度(度・分)	経度(度・分)	水深(m)
JS1801	短周期	40-47.46	138-35.40	3,336
JS1802	短周期	41-31.00	138-20.52	3,627
JS1803	短周期	42-16.13	138-50.21	3,631
JS1804	広帯域	42-39.34	138-02.97	3,611
JS1805	広帯域	41-55.74	137-23.82	3,613
JS1806	広帯域	41-08.12	137-02.30	3,318
JS1807	短周期	40-29.56	137-33.92	2,891

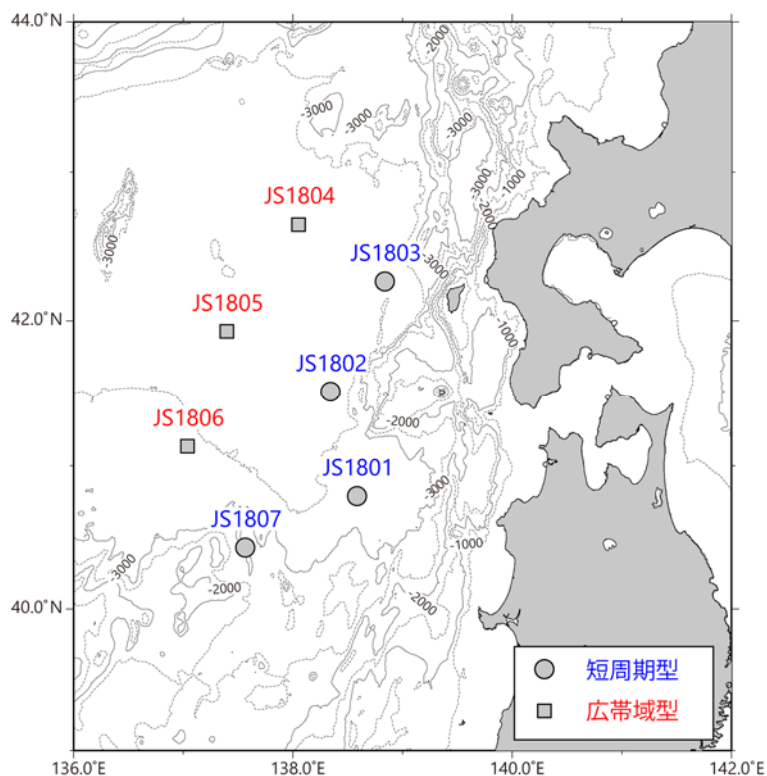


図1 平成30年度から令和元年度に観測を行った広帯域海底地震計と短周期海底地震計の位置。四角は広帯域海底地震計、丸は短周期測海底地震計を表す。灰色の線は水深を表す。

一般的に行われるレシーバ関数解析では、遠地地震のP波から、地下の不連続面で生じるPs変換波を抽出し、P波とPs変換波の到達時刻差から不連続面の深さが推定される。しかし、LABのように深い不連続面を調査する場合は、Ps変換波がP波の多重反射波と干渉して見えなくなる恐れがある。柔らかい堆積層が固い基盤層を覆っている海底では、この傾向が顕著になる。そのため、S波レシーバ関数解析を行い、広帯域観測点の遠地地震のS波コーダからSp変換波を抽出した。Sp変換波はS波やその多重反射波よりも早く到達するため、前述のような干渉が起こらない。

大和海盆および日本海盆に設置された広帯域海底地震計のデータにS波レシーバ関数解析を適用することで、モホ面やより浅部の不連続面由来と考えられる正のフェーズ、およびLAB由来のSp変換波と考えられる負のフェーズを確認することができた(図2)。正のフェーズでイメージされる範囲は、日本海盆(図2、観測点JPB4-6)、大和海盆(YMB3-4、JS2)、大和堆(JS4)の順に深くなっており、地殻構造の厚さを反映していると解釈できる。負のフェーズは深さおよそ40-60kmの範囲にイメージされ、大和堆の下(図2、観測点JS4の位置)でやや深くなっているように見える。この傾向は、先行研究²⁾と調和的である。より正確なLABの深度を求めるには、得られたレシーバ関数波形から、速度構造を求めることが望ましい。

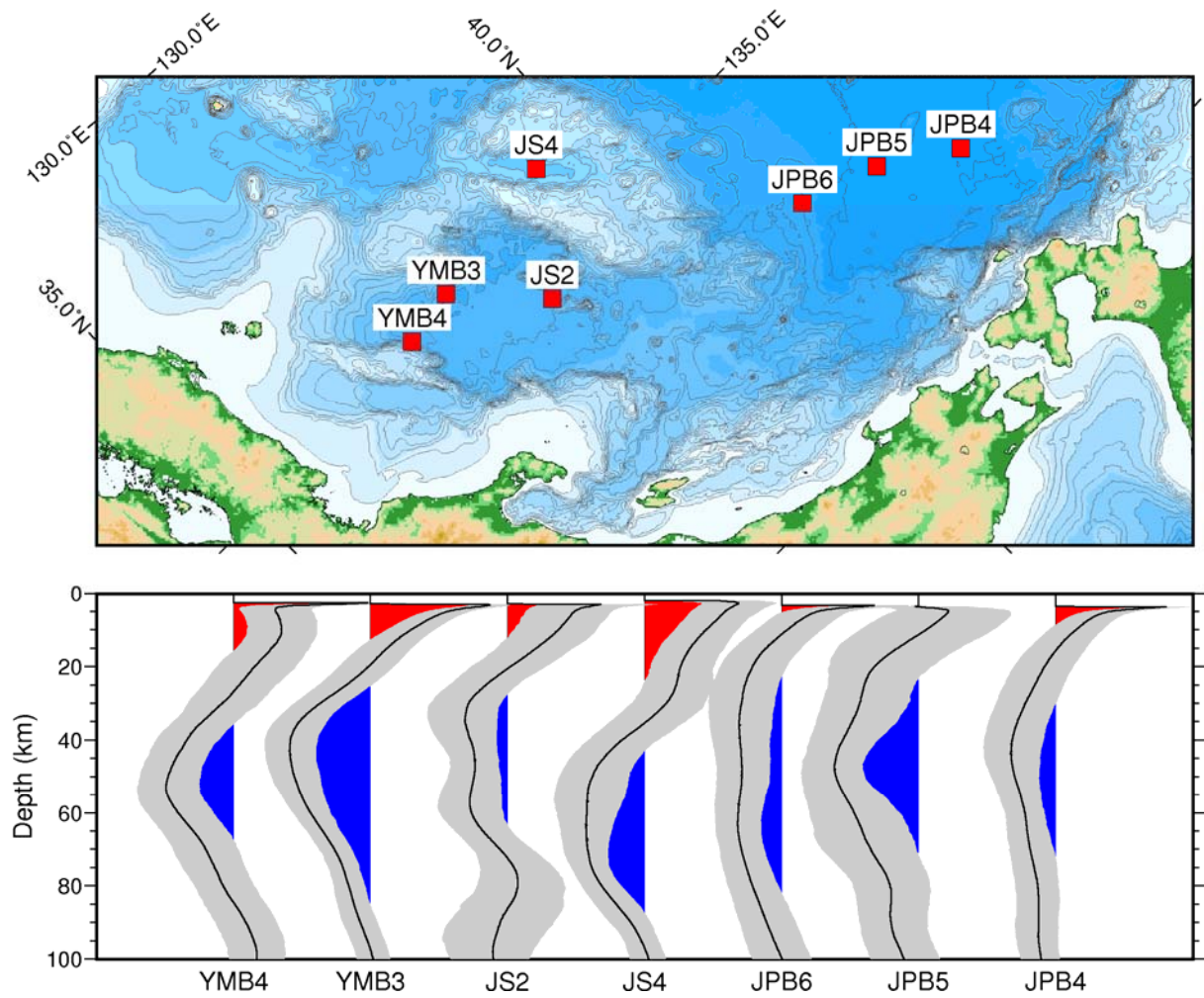


図2 広帯域地震計データへのS波レシーバ関数解析の適用結果。上段に観測点の配置図、下段にそれぞれの観測点でスタックしたS波レシーバ関数を示す。S波レシーバ関数は、正・負のフェーズがそれぞれ赤、青色で示されており、95%信頼区間を灰色で示す。深度変換にあたって、大和海盆で得られたP波速度構造³⁾を用いた。

レシーバ関数は速度不連続面の深さや、そこでの S 波速度比に感度がある一方で、S 波速度の絶対値に感度が低い。そのため、表面波の分散曲線とのジョイントインバージョンが良く行われる⁴⁾。このジョイントインバージョンを海底地震計のデータに適用するためには、海水層の影響を適切に取り扱う必要があるため、新たにソフトウェアの開発に着手した。インバージョンのアルゴリズムとしては、モデルパラメタ数の仮定を必要とせず、かつ誤差の推定が可能な非線形インバージョン手法を採用⁴⁾した。また、効率良い解の探索を行うために、パラレルテンパリング法⁵⁾と呼ばれる計算手法を導入した。数値実験での動作確認が終了し(図3)、来年度は、これまでに得られた P 波・S 波レシーバ関数に加え、先行研究⁶⁾で得られているレイリー波の位相速度を併せてジョイントインバージョンを行い、各観測点下の S 波速度構造を求める予定である。また、本委託業務で設置した海底地震計のデータを加えて、レイリー波の位相速度計測を更新する作業が進められている。

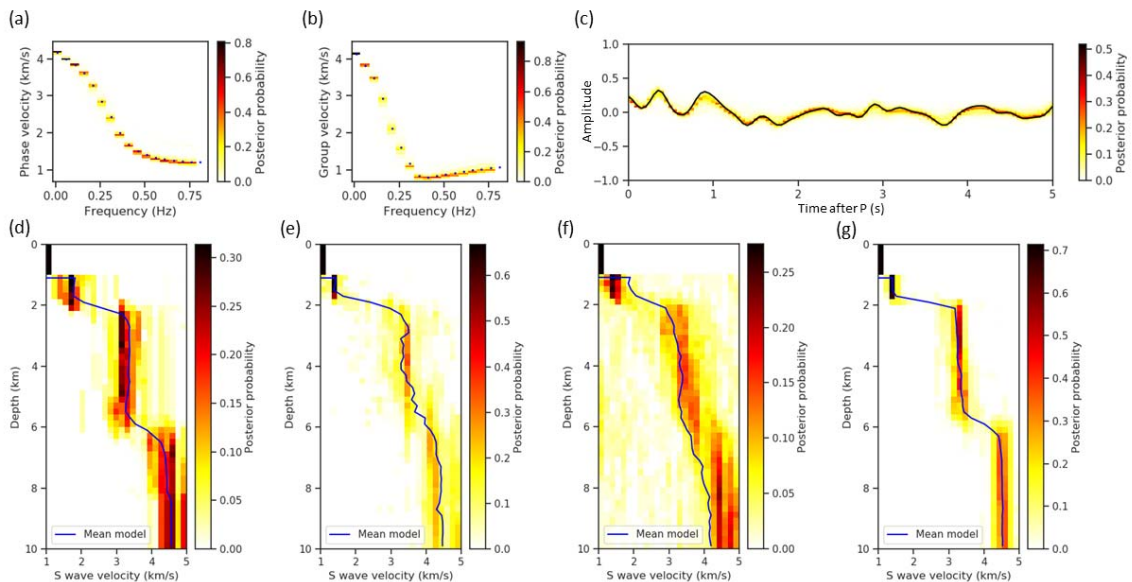


図3 レシーバ関数と表面波のジョイントインバージョン(数値実験)。(a)レイリー波位相速度の観測値(黒丸)と計算値の確率分布(黄一赤色)。(b)レイリー波群速度の観測値(黒丸)と計算値の確率分布(黄一赤色)。(c)レシーバ関数の観測値(黒線)と計算値の確率分布(黄一赤色)。(d-g)インバージョンによって求められた S 波速度の確率分布(黄一赤色)およびその平均値(青線)。(d)レシーバ関数のみを用いた場合。(e)表面波のみを用いた場合。(f)パラレルテンパリング法を用いない場合。(g)レシーバ関数と表面波、パラレルテンパリング法を用いた場合。

並行して、三次元の実体波トモグラフィ解析を行うことで、3次元P波・S波速度構造を求める作業が進められた。本年度は、日本海盆の領域に設置された海底地震計の波形記録から、近地地震および遠地地震のP波・S波初動を読み取り、インプットデータに加えた(図4)。トモグラフィ解析の詳細は、先行研究⁷⁾に従った。

トモグラフィ解析によって得られたP波速度構造を図5に示す。図中では、全球の平均的な速度構造モデルである、IASP91モデル⁸⁾からのずれを表していることに注意されたい。浅部(深さ25km)では、大和海盆に比べ、日本海盆で高速度となっている。このことは、大和海盆で海洋性地殻が厚くなっていることを反映していると考えられる。また、大和堆の直下では、高速度異常が日本海盆・大和海盆と比べて深くまで続いており、S波レシーバ関数で得られた傾向と整合的である。

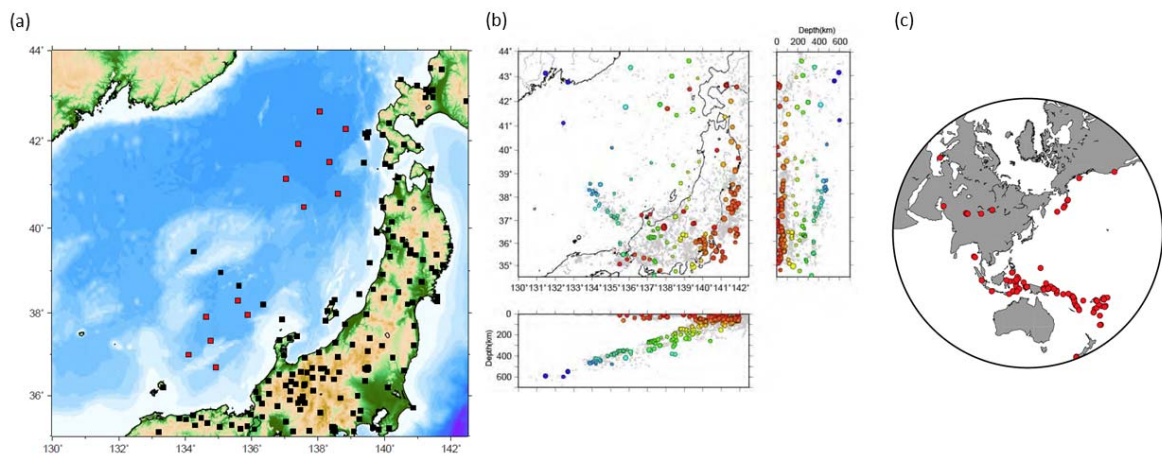


図4 実体波トモグラフィ解析に用いられたデータ。(a)観測点分布図。本委託業務で設置された海底地震計は赤色、その他の観測点が黒色の四角形で示されている。(b)解析で用いられた近地地震の分布。(c)解析で用いられた遠地地震の分布。

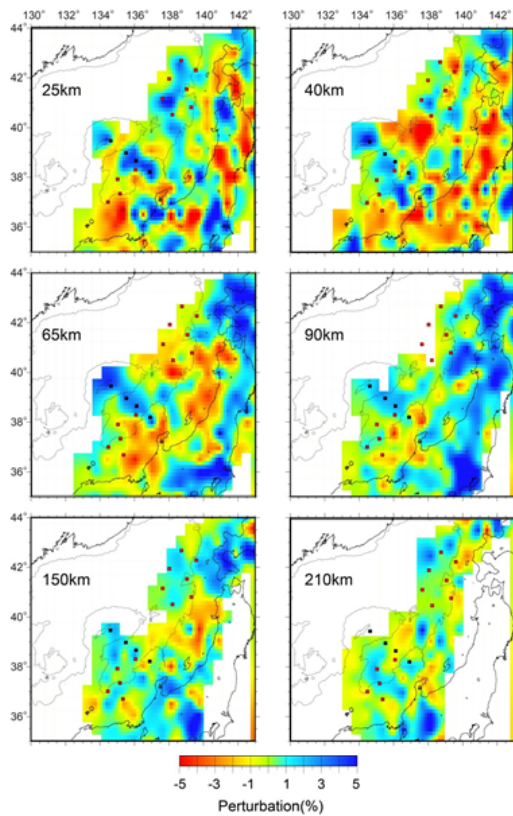


図 5 実体波トモグラフィ解析で得られた P 波速度構造。全球の平均的な一次元速度構造モデル (IASP91 モデル⁸⁾) からのずれを示している。

(c) 結論ならびに今後の課題

前年度に日本海盆に設置した海底地震計を回収し、本委託業務による海底地震観測はすべて終了した。大和海盆・日本海盆両方のデータについて、レシーバ関数解析および実体波トモグラフィ解析およびレシーバ関数解析を継続した。S 波レシーバ関数によるイメージングおよびトモグラフィ解析の結果は、いずれも大和堆の直下で LAB が深くなっていることを示唆している。より定量的な見積もりのために、レシーバ関数と表面波のジョイントインバージョンを行うためのソフトウェアを開発した。来年度は、このインバージョン解析により得られた観測点直下の詳細な S 波速度構造、およびトモグラフィ解析による広域的な 3 次元速度構造を併せて、日本海のマンテル構造を解釈する。

(d) 引用文献

- 1) 金沢敏彦, 篠原雅尚, 塩原肇: 海底地震観測の最近の進展－海底地震観測システムと海底における自然地震観測の進展について－, 地震 2, Vol.61, pp.S55-S68, 2009.
- 2) Zheng, Y., Shen, W., Zhou, L., Yang, Y., Xie, Z., and Ritzwoller, M. H.: Crust and uppermost mantle beneath the North China Craton, northeastern China, and the Sea of Japan from ambient noise tomography, Journal of Geophysical Research, Vol.116, pp.B12312, 2011.
- 3) Nakahigashi, K., Shinohara, M., Yamada, T., Uehira, K., Mochizuki, K., and Kanazawa, T.: Seismic structure of the extended continental crust in the Yamato Basin, Japan Sea, from ocean bottom seismometer survey, Journal of Asian Earth Sciences, Vol.67-68, pp.199-206, 2013.
- 4) Bodin, T., Sambridge, M., Tkalčić, H., Arroucau, P., Gallagher, K., and Rawlinson, N.: Transdimensional inversion of receiver functions and surface wave dispersion, Journal of Geophysical Research, Vol.117, pp.B02301, 2012.
- 5) Sambridge, M.: A Parallel Tempering algorithm for probabilistic sampling and multimodal optimization, Geophysical Journal International, Vol.196, No.1, pp.357–374, 2014.
- 6) Yoshizawa, K., Miyake, K., Yomogida, K.: 3D upper mantle structure beneath Japan and its surrounding region from inter-station dispersion measurements of surface waves, Physics of the Earth and Planetary Interiors, Vol.183, No.1–2, pp.4-19, 2010.
- 7) Nakahigashi, K., Shinohara, M., Yamada, T., Uehira, K., Sakai, S., Mochizuki, K., Shiobara, H., and Kanazawa, T.: Deep slab dehydration and large - scale upwelling flow in the upper mantle beneath the Japan Sea. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, Vol.120, pp.3278– 3292, 2015.
- 8) Kennett, B.L.N., and Engdahl, E.R.: Travel times for global earthquake location and phase association. Geophysical Journal International, Vol.105, pp.429-465, 1991.

(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
Nakahigashi, K., Akuhara, T., Yamada, T., Mochizuki, K., Shiobara, H., and Shinohara, M.	Upper mantle structure beneath the Japan Sea revealed by repeating long-term seafloor seismic observations (ポスター発表)	AGU 2019 Fall meeting (San Francisco)	令和元年 12月11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

日本海盆の領域において、これまでに蓄積した約2年間のデータを用いて、日本海盆地の地殻・上部マントルを含む海域プレートの構造を明らかにする。大和海盆のデータとともに、日本海におけるプレート構造に関する成果をとりまとめる。

