

### 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) 業務の成果
  - 1) 長期観測型海底地震計の整備・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) 令和元年度業務計画案

## (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	山田 知朗
	助教	一瀬 建日
	助教	悪原 岳
	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た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・レシーバ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) 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、観測を終了する。また、これまでに得られたデータを整理するとともに、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。学会において成果公表および情報収集を行う。

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。最終年度であるので、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。学会において成果公表および情報収集を行う。

(e) 平成30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し、観測を継続するために、計7台程度を再設置する。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30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。平成 30 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を回収し、同じ地点に再び設置した。平成 29 年度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について、実体波・表面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。レシーバ関数解析については、遠地地震の S 波コーダに含まれる、リソスフェア・アセノスフェア境界 (Lithosphere-Asthenosphere Boundary, LAB) 由来の Sp 変換波を用いたイメージングに新たに着手した。また、浅部の堆積層構造を推定するために、海底地震計の高周波帯域データでも安定して P 波レシーバ関数を計算できる手法を開発した。

## (b) 業務の成果

### 1) 長期観測型海底地震計の整備・観測および解析

本業務は広帯域海底地震計 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<sup>1)</sup>を用いて行った。広帯域海底地震計は直径 650 mm 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 500 mm 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を外装した。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東京大学地震研究所で行った。

平成 30 年 7 月に地震研究所備船「第五開洋丸」に乗船して海底地震計の設置・回収作業を行った(写真 1)。第五開洋丸は、平成 30 年 7 月 14 日に函館港を出港し、7 台の海底地震計を設置・回収し 7 月 18 日に直江津港に入港した。すべての海底地震計を、前年度とほぼ同じ位置になるように設置した(表 1、図 1)。途中濃霧により海底地震計の設置作業を中断せざるを得ない状況になったため、当初の予定よりも 1 日長い航海となった。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。

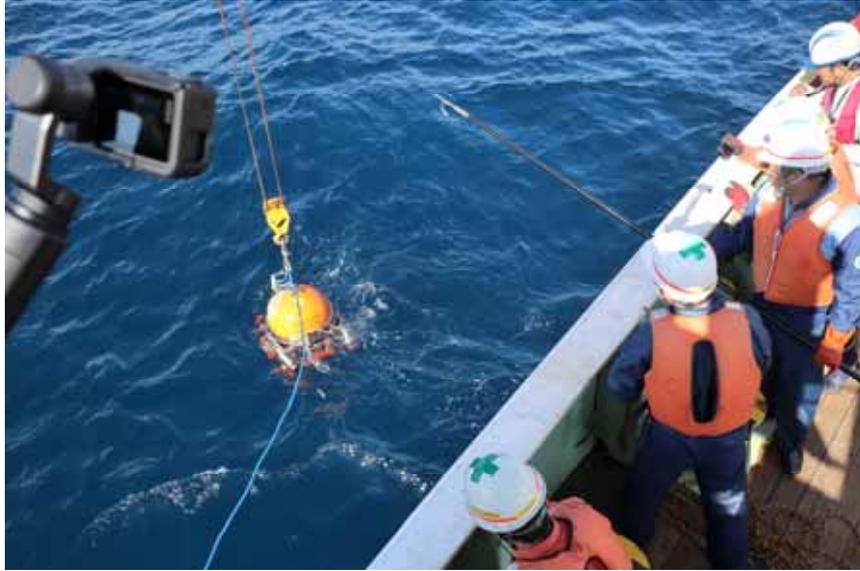


写真 1 作業船での設置作業（平成 30 年 7 月）

表 1 平成 30 年度に設置した長期観測型海底地震計の投入位置

観測点名	センサー	設置日時	投入位置		
		年月日-時分秒(JST)	緯度	経度	水深(m)
JS1801	短周期	2018/07/14-22:41:12	40-47.46	138-35.40	3,336
JS1802	短周期	2018/07/15-04:14:17	41-31.00	138-20.52	3,627
JS1803	短周期	2018/07/16-09:44:25	42-16.13	138-50.21	3,631
JS1804	広帯域	2018/07/16-04:14:57	42-39.34	138-02.97	3,611
JS1805	広帯域	2018/07/15-21:43:52	41-55.74	137-23.82	3,613
JS1806	広帯域	2018/07/15-15:58:21	41-08.12	137-02.30	3,318
JS1807	短周期	2018/07/15-12:04:18	40-29.56	137-33.92	2,891

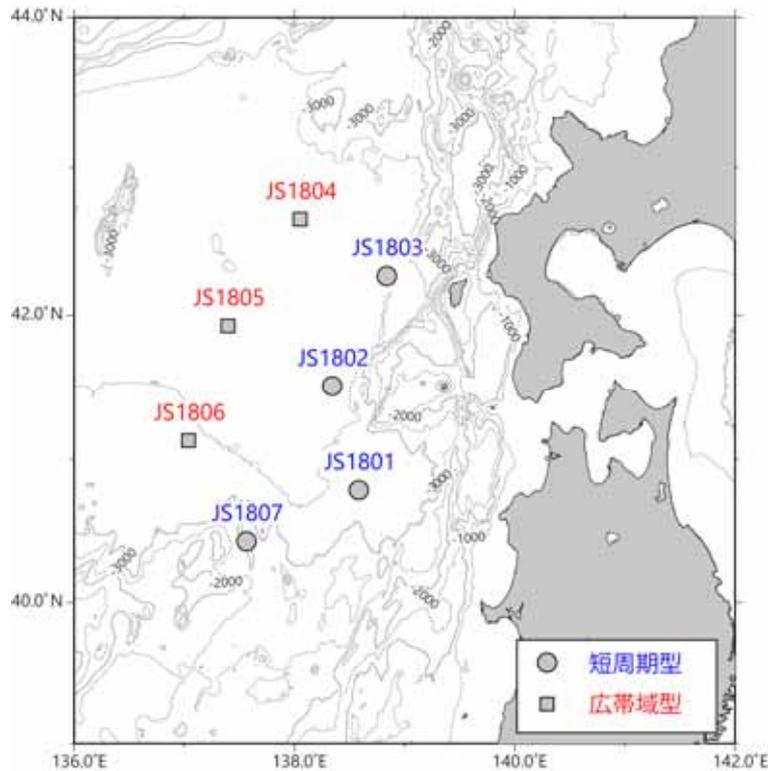


図1 平成30年度に設置した広帯域海底地震計と短周期海底地震計の位置。四角は広帯域海底地震計、丸は短周期測海底地震計を表す。灰色の線は水深を表す。

レシーバ関数解析は、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を推定する手法である。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。そこで、本年度はS波レシーバ関数解析を導入した。具体的には、広帯域観測点の遠地地震のS波コーダ(図2)から、地下の不連続面に由来するSp変換波を抽出する。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、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3)。暫定的な結果ではあるが、日本海盆のLABは大和海盆よりも浅く位置しているように見える。より確かな比較のためには、深度変換に用いる速度構造を観測点ごとに、統一された手法で作成されることが望ましい。とくに、浅部(<5km)のS波速度構造はこれまでにほとんど調査がされておらず、新たに推定する必要がある。堆積層は、一般的にポアソン比が地殻やマントルと比べて極端に高くなるため、レシーバ関数の深度変換に与える影響が厚さの割に大きいためである。

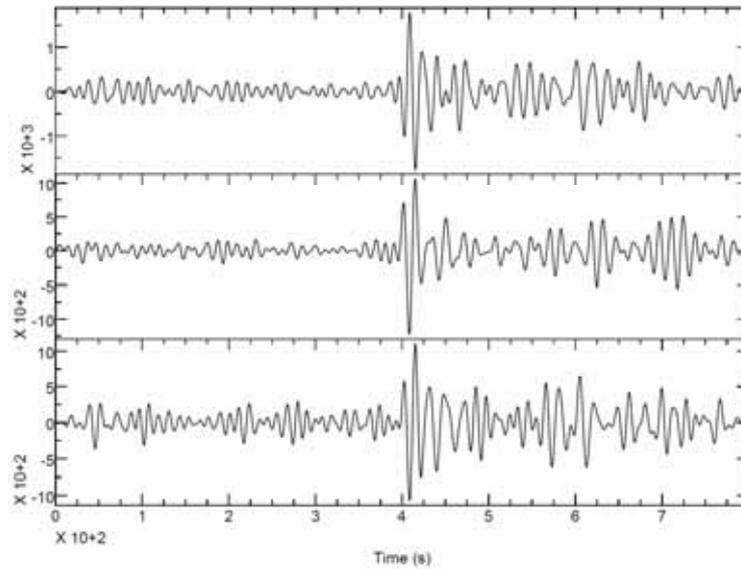


図2 回収した広帯域海底地震計 (JS1706) で記録された遠地 S 波の例。上段から順に、radial 成分、transverse 成分、vertical 成分の記録を表す。

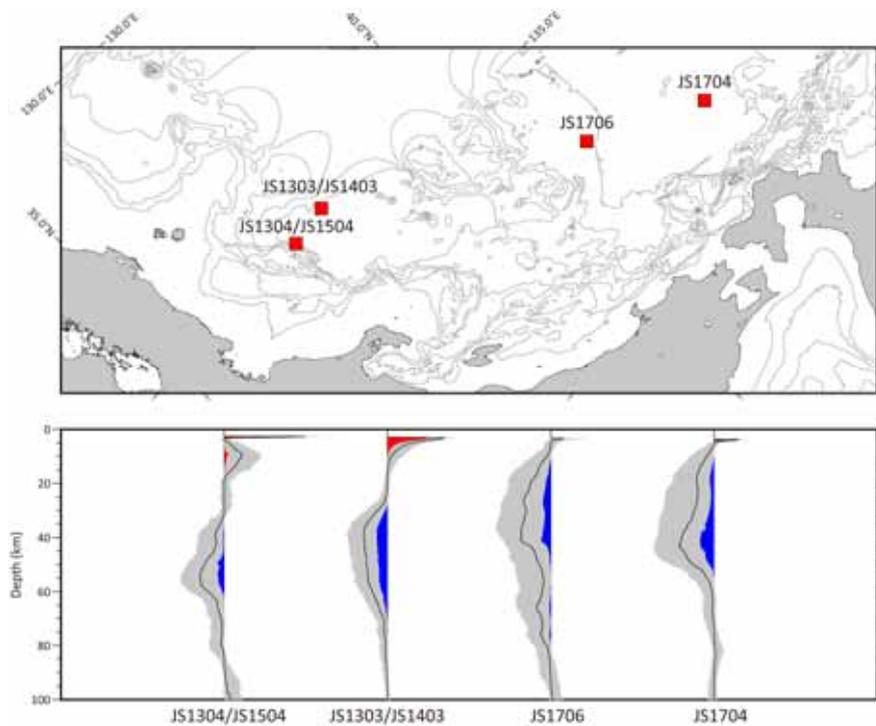


図3 広帯域地震計データへの S 波レシーバ関数解析の適用結果。上段に観測点の配置図、下段にそれぞれの観測点でスタックした S 波レシーバ関数を示す。S 波レシーバ関数は、正・負のフェーズがそれぞれ赤、青色で示されており、95%信頼区間を灰色で示す。S 波レシーバ関数は、大和海盆の P 波速度構造<sup>3)</sup>に基づいた暫定的な速度構造モデルを用いて、深度変換されていることに注意されたい。

浅部の堆積層構造を推定するために、ベイズ統計を活用したレシーバ関数の新たな計算手法を開発した<sup>2)</sup>。この手法は、従来の手法では難しいとされてきた、海底地震計の高周波帯域記録でも安定して計算を行うことができる。理論波形計算(図4)および、実際の海底地震計記録(図5)の両方で、新手法の有用性が示された。得られた高周波帯域のレシーバ関数を参考に、試行錯誤により大和海盆の堆積層構造を推定した(表2、図6)。推定結果の唯一性を主張することは難しいものの、堆積層内の不連続面の存在を強く示唆する結果が得られており、先行研究<sup>4)</sup>と調和的である。この結果は、高周波帯域レシーバ関数を用いた堆積層モデリングの可能性を示している。今後、このプロセスを自動化し、より客観性の強いものへと改良する予定である。

実体波および表面波トモグラフィ解析に関しては、本年度に回収された日本海盆のデータに適用するための準備を進めた。

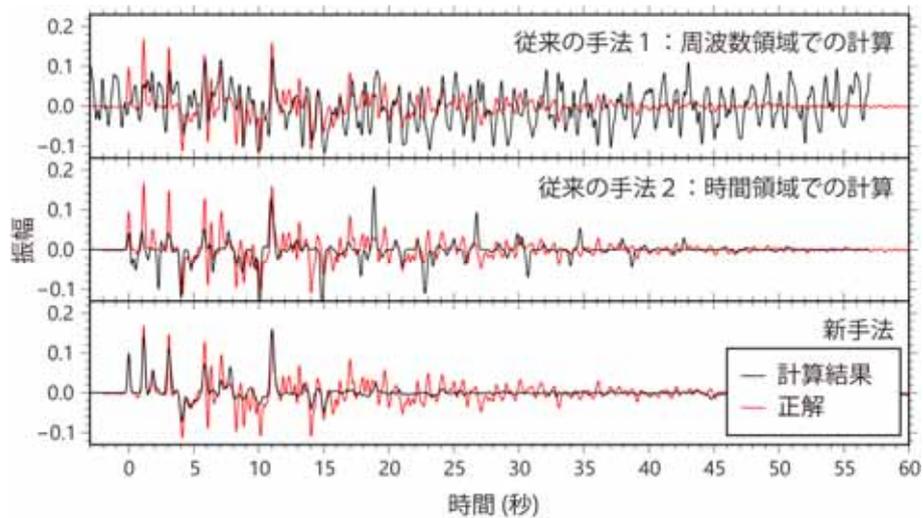


図4 理論波形計算によるレシーバ関数計算手法の比較。上・中段が従来広く使われている計算手法<sup>5,6)</sup>、下段が新しく開発した計算手法の結果を表す。赤色の線が期待されるレシーバ関数、黒色の線が実際に計算されたレシーバ関数を表す。両者が一致しているほど、優れた手法であるということが言える。

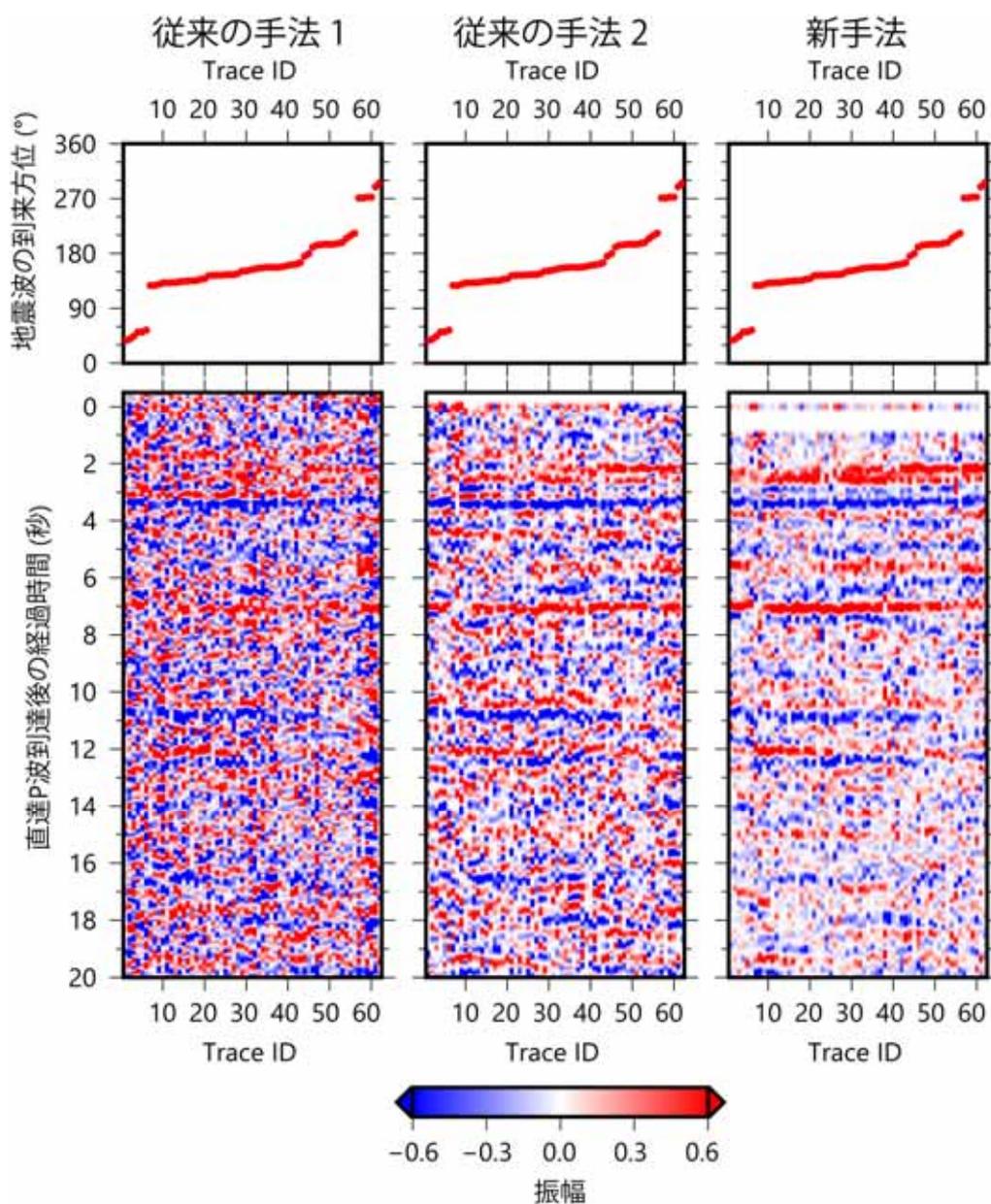


図 5 様々な手法で計算されたレシーバ関数の比較。レシーバ関数の計算には、大和海盆に設置された短周期海底地震計 (JS1401) の記録を用いた。従来の手法 (左・中列) に比べて、新手法 (右列) で計算されたレシーバ関数は、後続フェーズが明瞭に確認できる。

表 2 P 波レシーバ関数から推定された堆積層の構造

	P 波 速 度 ( km/s )	S 波 速 度 ( km/s )	密度 ( g/cm <sup>3</sup> )	厚 さ ( km )
海水層	1.5	-	1.0	2.976
堆積層 1	1.6	0.126	1.8	0.3
堆積層 2	2.1	0.533	2.2	0.25
基盤	4.5	2.7	2.7	-

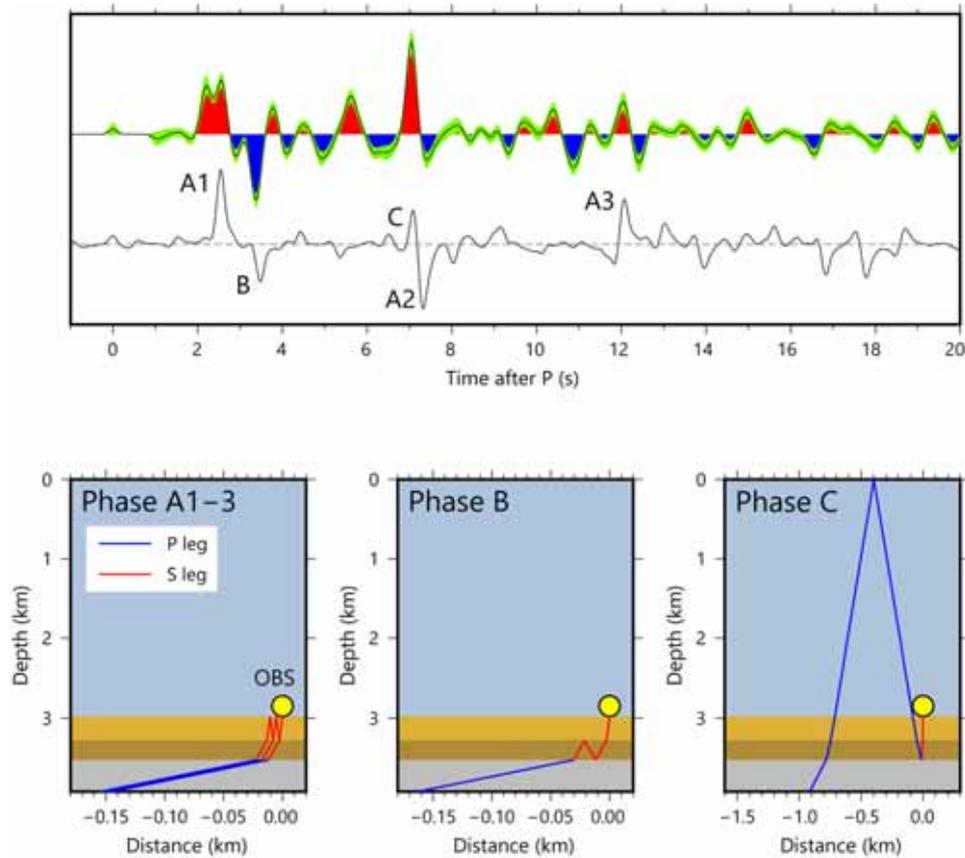


図6 P波レシーバ関数を用いた堆積層構造の推定。(上段)色付きの波形は大和海盆に設置された短周期海底地震計(JS1401)で計算されたレシーバ関数を、黒線の波形は推定された堆積層モデルで計算された理論レシーバ関数波形を表す。(下段)理論レシーバ関数波形に表れている代表的なフェーズの波線。

### (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・再設置し、日本海盆のデータ解析を開始した。設置した海底地震計は、令和元年度に回収予定である。大和海盆・日本海盆両方のデータについて、表面波・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ているが、日本海のプレートモデルを構築するためには、最終的にはそれぞれの解析手法の結果を統合する必要がある。S波レシーバ関数でLAB由来の $S_p$ 変換波が見えることが確かめられ、見通しが良くなった。S波レシーバ関数は不連続面に敏感であり、LABの深さ(すなわち、海洋プレートの厚さ)を推定する有力な手掛かりとなるが、地震波速度との間にトレードオフがある。トモグラフィ解析によって、速度構造を推定することで、このトレードオフを解消できると期待される。また、新たに開発した高周波帯域レシーバ関数の手法によって、トモグラフィ解析では解像が難しいような、浅部のS波速度構造が推定できるようになったことも好材料である。

(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) Akuhara, T., Bostock, M. G., Plourde, A. P., and Shinohara, M.: Beyond Receiver Functions: Green's Function Estimation by Transdimensional Inversion and Its Application to OBS Data, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, Vol.124, No.2, pp.1944-1961, 2019.
- 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, No.67-68, pp.199-206, 2013.
- 4) Tamaki, K., Pisciotto, K., and Allan, J., et al.: Site 797, Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports. Vol.127, pp.323-421, 1990.
- 5) Langston, C. A.: Structure under Mount Rainier, Washington, inferred from teleseismic body waves, Journal of Geophysical Research, Vol.84, No.B9, pp.4749-4762, 1979.
- 6) Ligorria, J. P., Ammon, C. J.: Iterative Deconvolution and Receiver-Function Estimation, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.89, No.5, pp.1395-1400, 1999.

(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
悪原岳, Bostock, M., Plourde, A., 篠原雅尚	次世代型レシーバ関数: Trans-Dimensional Inversion によるグリーン関 数の推定と海底地震計への応 用 (口頭発表)	日本地震学会秋季大会	平成 30 年 10 月 11 日
Akuhara, T., Bostock, M. G., Plourde, A. P., and Shinohara, M.	Beyond Receiver Functions: Green's Function Estimation by Trans- Dimensional Inversion and Its Application to OBS Data (口頭発表)	AGU 2018 Fall meeting ( Washington, D.C. )	平成 30 年 12 月 11 日
Akuhara, T., Bostock, M. G., Plourde, A. P., and Shinohara, M.	Beyond Receiver Functions: Green's Function Estimation by Transdimensional Inversion and Its Application to OBS Data (論文発表)	Journal of Geophysical Research: Solid Earth	平成 31 年 2 月 18 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

Takeshi Akuhara. (2019, January 25). Multichannel deconvolution by reversible-jump Markov-chain Monte Carlo (MC3deconv) (Version v1.0.1). Zenodo. <http://doi.org/10.5281/zenodo.2548974>

3) 仕様・標準等の策定

なし

**(3) 令和元年度業務計画案**

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、観測を終了する。また、これまでに得られたデータを整理するとともに、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。学会において成果公表および情報収集を行う。