

### 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) 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) 平成30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	西本 太郎
	技術職員	諏訪 祥士
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する。また、観測を継続するために、ほぼ同一地点に計6台程度を再設置する。また、回収したデータの解析を開始する。

7) 平成31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する。また、観測を継続するために、ほぼ同一地点に計6台程度を再設置する。また、回収したデータの解析を継続する。

8) 平成32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、日本海盆における長期海底地震観測を終了する。これまでに蓄積した約3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、成果をとりまとめる。

(e) 平成29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7台程度を設置し、日本海盆における長期海底地震観測を開始する。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29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 29 年度は、日本海盆において、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設置作業を行った。前年度までに得られた大和海盆のデータについては、実体波・表面波トモグラフィ解析および、レシーバー関数解析を継続した。このうち、レシーバー関数解析では、より客観的に速度構造を推定するために、リバーシブルジャンプマルコフ連鎖モンテカルロ法を用いたインバージョン手法を導入した。いずれの解析においても、深さ約 60–70 km より深いところに低速度領域が存在することが示唆されている。

## (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、短周期観測型海底地震計 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。

日本海盆下の深部速度構造を求めるにあたり、海底地形の影響や、実施する解析の特性を考慮し、海底地震計の観測点配置を決定した(表 1、図 1)。高品質のデータが期待される広帯域海底地震計 3 台は、性能を十分に発揮できるよう、目立った海底地形が少ない海盆中央部へ設置することとした。海底地震計の設置作業にあたっては、現地関係機関(者)等と作業概要などの連絡調整を行った。

平成 29 年 7 月に地震研究所備船「第五開洋丸」を用いて設置作業を行った(写真 1、2)。第五開洋丸は、平成 29 年 7 月 15 日に函館港を出港し、5 台の海底地震計を設置し 7 月 18 日に新潟港に入港した。この航海では、海底地震計の切り離し装置に不具合があったため、2 台の設置を見送った。そのため、平成 29 年 9 月 25 日から 27 日にかけて、設置できなかった 2 台の地震計の設置作業を追加で行った。船舶は再び第五海洋丸を使用し、秋田港から出港、函館港に入港した。

前年度に引き続き、平成 25–27 年に大和海盆に設置した海底地震計(図 2)の波形記録を用いて実体波・表面波トモグラフィ解析およびレシーバー関数解析を行った。レシーバー関数解析では、速度構造モデルを構築するために、リバーシブルジャンプマルコフ連鎖モンテカルロ法を用いたインバージョン手法<sup>2)</sup>を適用するための準備を進めた。この手法は、モデルパラメタの数(速度不連続面の数)を未知数として扱うことができたため、観測データからリソスフェア・アセノスフェア境界(Lithosphere-Asthenosphere Boundary, LAB)の存在が期待されるかどうかを客観的に判断することができる。また、局所最適解に陥ることを防ぐため、パラレルテンパリング法と呼ばれる非線形問題の効率的な探索手法<sup>3)</sup>も併せて採用した。陸上の F-net 輪島観測点(図 2)に同手法を適用したところ、コンラド面やモホ面、LAB と解釈できる地震波速度不連続面の深さを制約できることが確認

できた（図 3）。大和海盆に設置した海底地震計へ同手法を適用したところ、堆積層内の多重反射の影響を受けるために、解が非現実的な速度構造に収束してしまう結果となった。堆積層に関する先見情報をインバージョンの拘束条件として取り入れる工夫により、尤もらしい解を求めることができた（図 4）。暫定的な結果ではあるが、深さ 70 km 以深に低速度領域が位置する S 波速度構造モデルが得られ、先行研究<sup>4),5)</sup>の結果と調和的となっている。

実体波トモグラフィ解析については、これまでに得られた結果に関して考察を行った。地震波到達走時を、WIN システム<sup>6)</sup>を用いてモニター上で目視により読み取り作業を行っている。これまでに、平成 26 年度及び平成 27 年度に実施した観測を併せて、合計で 251 個の近地地震（図 5）からの到達走時を読みとった。さらに、本委託研究での読み取りデータと先行研究<sup>7)</sup>により読み取りが行われた遠地地震 100 個を含む総計 6,151 個の地震からの走時データを用いて走時トモグラフィ解析<sup>8)</sup>を行った（図 6）。得られた P 波速度構造は暫定的な結果であるが、大和海盆中央部の深さ約 65 km の上部マントル内に低速度異常が見られる（図 7）。理論値を用いた構造の解像度試験（チェッカーボードレゾリューションテスト）の結果（図 8）では本解析での日本海大和海盆下の解像度は高くはないが、上部マントル内に低速度異常が存在する特徴は陸上観測点で観測された表面波を用いた解析<sup>4)</sup>とも調和的であり、さらに、本委託研究によるレシーバー関数解析の結果と傾向は一致する。今後、陸上観測点を含めた走時データの蓄積、解析領域の広域化などを行い、解析を進める予定である。また、日本海に設置された海底地震計と日本海周辺域の地震観測点で記録された地震波を用いた表面波トモグラフィ解析を実施する準備を開始した。

#### (c) 結論ならびに今後の課題

平成 29 年度は新たに日本海盆における海底地震観測を開始した。今後、3 年間にわたって同一地点での繰り返し観測を行い、できるだけ多くの地震波形データを収集する。平成 27 年度まで継続してきた大和海盆での海底地震計のデータを利用し、表面波・実体波トモグラフィ解析およびレシーバー関数解析を前年度から引き続き実施した。レシーバー関数解析では、より客観的な構造推定を行うために、リバーシブルジャンプマルコフ連鎖モンテカルロ法を用いたインバージョン手法を適用するための準備を進めてきた。暫定的な結果として、深さ約 70 km 以深に低速度領域があるモデルが得られている。実体波トモグラフィ解析の結果からは、大和海盆中央部の深さ約 65 km の上部マントル内に低速度異常が見られることがわかってきた。今後も解析を進め、より詳細な深部構造を明らかにしていく予定である。

#### (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) Bodin T., Sambridge M., Tkalčić H., Arroucau P., Gallagher K., Rawlinson N.: Transdimensional inversion of receiver functions and surface wave dispersion, J. Geophys. Res. Vol.117, No.2, pp.B02301, 2012

- 3) Sambridge M.: A parallel tempering algorithm for probabilistic sampling and multimodal optimization, *Geophys. J. Int.* Vol.196, No.1, pp.357–374, 2014
- 4) Yoshizawa K., Miyake, K., Yomogida, K.: 3D upper mantle structure beneath Japan and its surrounding region from inter-station dispersion measurements of surface waves, *Phys. Earth Planet. Inter.*, Vol.183, No.1-2, pp.4-19, 2010.
- 5) Zheng Y., Shen W., Zhou L., Yang Y., Xie Z., Ritzwoller M.: Crust and uppermost mantle beneath the North China Craton, northeastern China, and the Sea of Japan from ambient noise tomography. *J. Geophys. Res.* Vol.116, No.B12, pp.B12312, 2011
- 6) ト部卓, 東田進也 : win-微小地震観測網波形観測支援のためのワークステーション・プログラム (強化版) , 地震学会講演予稿集, C22-P18, 1992.
- 7) Nakahigashi, K., Yamada, T., Uehira, K., Sakai, S., Mochizuki, K., Shiobara, H., Kanazawa, T.: Deep slab dehydration and large-scale upwelling flow in the upper mantle beneath the Japan Sea, *J. Geophys. Res.* Vol.120, No.5, pp.3278-3292, 2015.
- 8) Zhao, D., Hasegawa A., and Horiuchi S.: Tomographic imaging of P and S wave velocity structure beneath northeastern Japan, *J. Geophys. Res.* Vol.97, No.B13, pp.19,909-19,928, 1992.
- 9) Kennett B. and Engdahl E.: Traveltimes for global earthquake location and phase identification, *Geophys. J. Int.* Vol.105, No.2 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
悪原岳, 中東和夫, 篠原雅尚, 山田知朗, 山下裕亮, 塩原肇, 望月公廣	レシーバー関数による大和海盆下のリソスフェア構造 (ポスター発表)	日本地球惑星科学連合 2017年大会 (千葉市)	平成 29 年 5 月 24 日
T. Akuhara, K. Nakahigashi, M. Shinohara, T. Yamada, Y. Yamashita, H. Shiobara, K. Mochizuki	Lithospheric Structure of the Yamato Basin Inferred from Trans-dimensional Inversion of Receiver Functions (口頭発表)	2017 American Geophysical Union Fall meeting (ニューオリンズ)	平成 29 年 12 月 13 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

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。

表 1 本研究業務による、平成 29 年度に設置した長期観測型海底地震計の投入位置  
(水深は海図からの読み取り値)

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
JS1701	1 Hz	2017/07/16-00:34:10	40-47.45	138-35.42	3,360
JS1702	1 Hz	2017/07/16-05:26:31	41-30.98	138-20.56	3,607
JS1703	1 Hz	2017/09/26-09:42:39	42-16.08	138-50.28	3,656
JS1704	広帯域	2017/07/16-14:15:11	42-39.33	138-02.94	3,664
JS1705	広帯域	2017/07/16-19:37:31	41-55.71	137-23.84	3,629
JS1706	広帯域	2017/07/17-00:50:20	41-08.09	137-02.36	3,395
JS1707	1 Hz	2017/09/25-22:26:20	40-29.47	137-34.01	3,049



写真 1 設置作業に使用した第五開洋丸（平成 29 年 7 月）



写真 2 作業船での設置作業（平成 29 年 7 月）

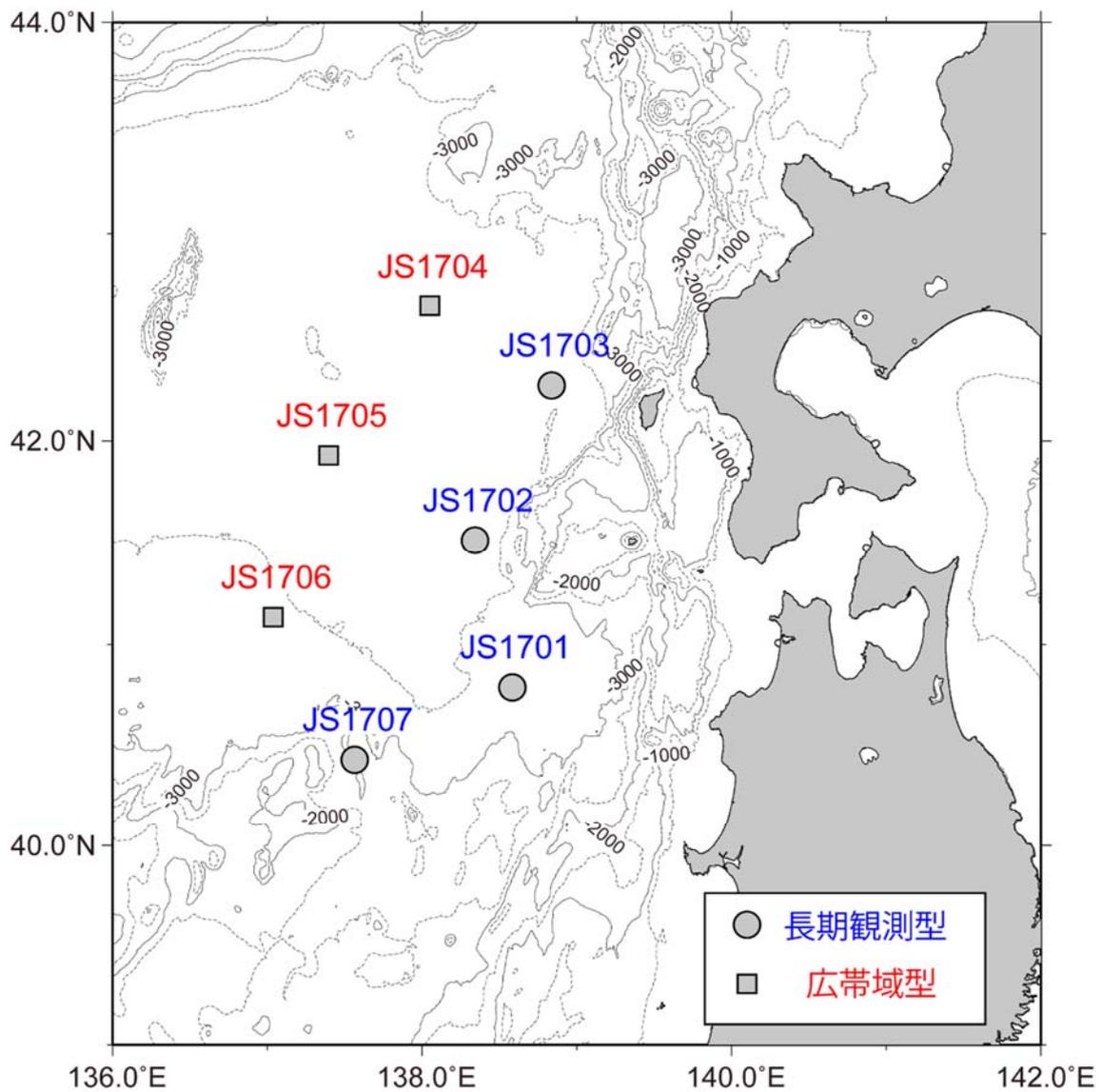


図1 平成29年度に設置した広帯域海底地震計と短周期型海底地震計の位置。四角は広帯域海底地震計、丸は長期観測型海底地震計を表す。観測点JS1703およびJS1707は9月、そのほかの観測点は7月に設置作業を行った。灰色の線は水深を表す。

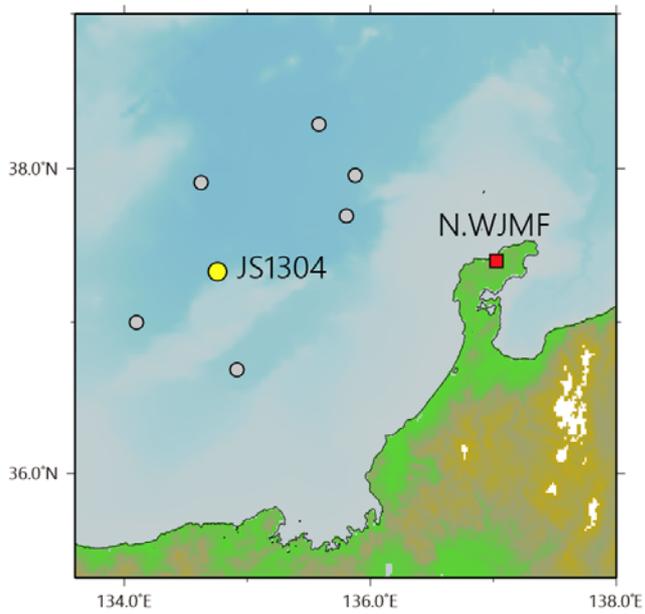


図2 平成25-27年度にわたって大和海盆に設置された海底地震計（丸）およびF-net 輪島(N.WJMF)観測点(四角)。平成25年度に設置されたJS1304観測点および、N.WJMF観測点について、レシーバー関数のインバージョン解析を行った。

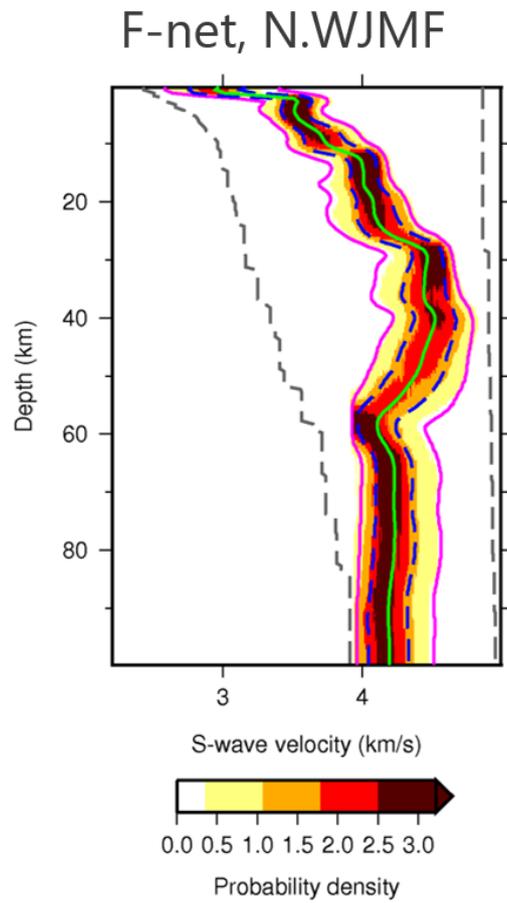
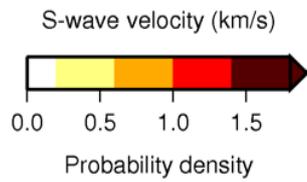
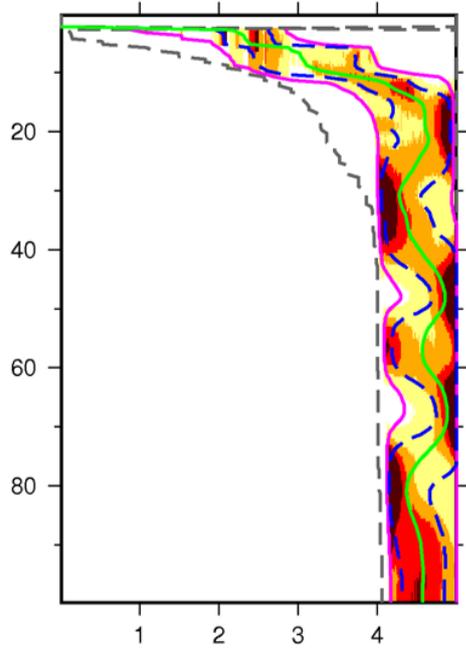


図 3 レシーバー関数インバージョン解析により求められた F-net 輪島 (N.WJMF) 観測点下の S 波速速度構造の確率分布。背景色が事後確率を示している。黄緑色実線、青色破線、桃色実線、灰色破線はそれぞれ平均値、68%信頼区間、95%信頼区間、全搜索範囲を表す。

JS1304

堆積層の先見情報：なし



JS1304

堆積層の先見情報：あり

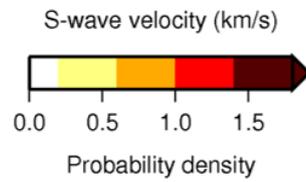
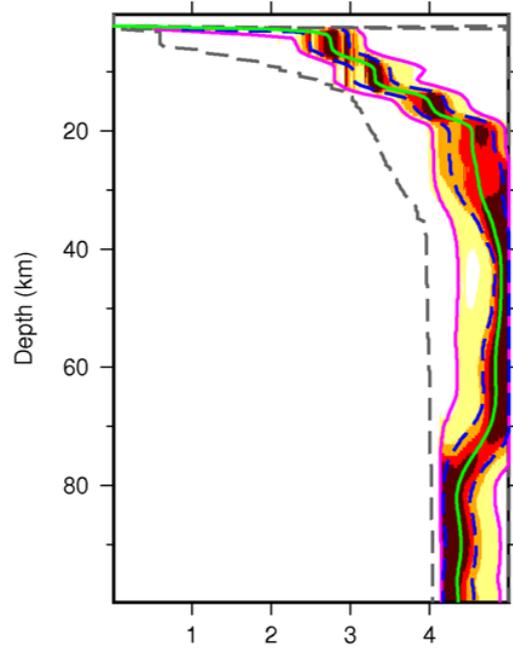


図4 レシーバー関数インバージョン解析により求められた JS1304 観測点下の S 波速速度構造の確率分布。左右の図は、堆積層に関する先見情報をインバージョンの拘束条件として用いない場合・用いた場合の結果をそれぞれ示している。その他の表記に関しては、図3と共通である。

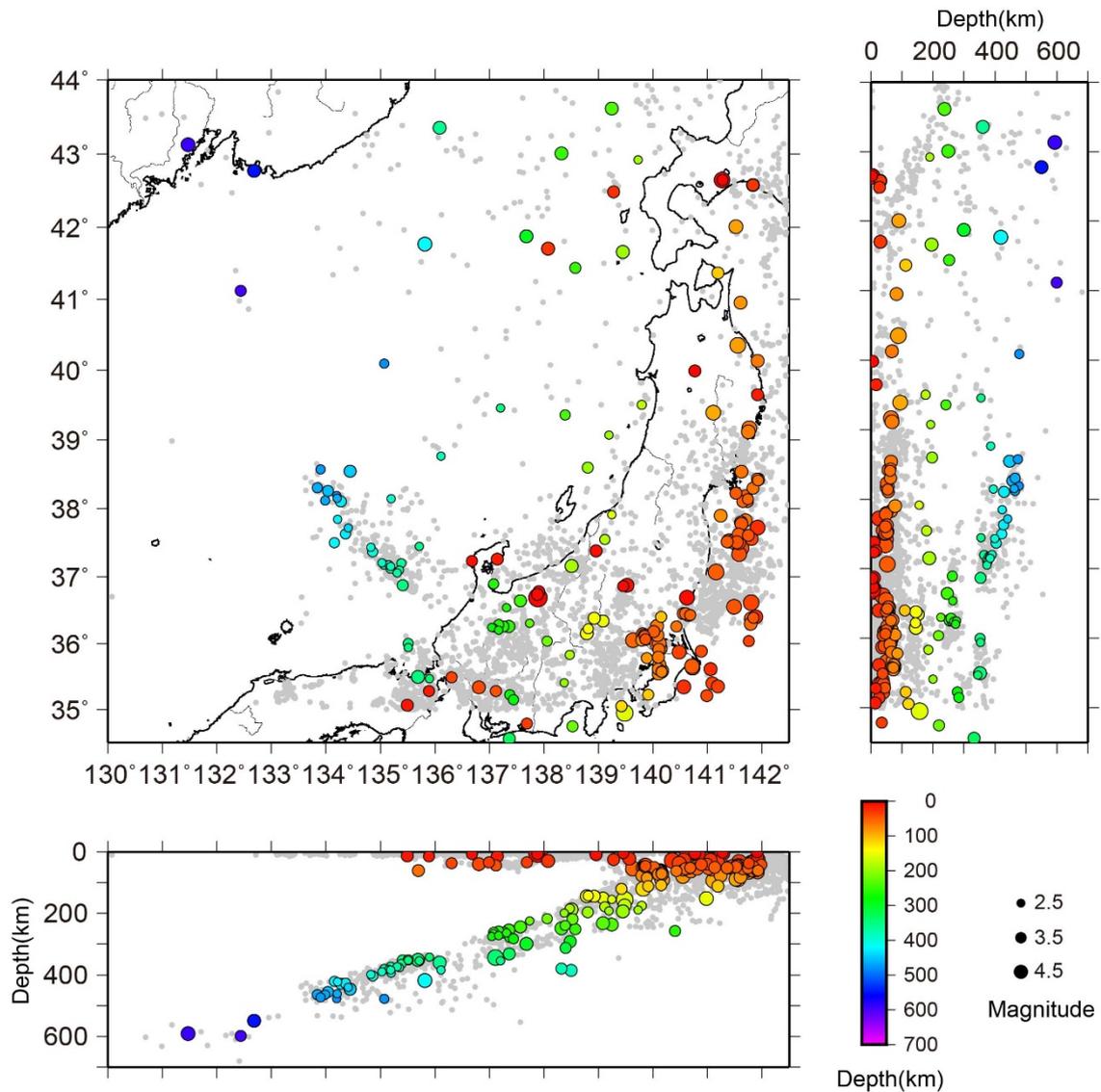


図5 実体波トモグラフィ解析に使用した近地地震の震源分布。色つき丸は海底地震計で初動走時の読み取りが出来た 251 個の地震 ( $M > 2.5$ )。丸の大きさはマグニチュードを、色は震源の深さをそれぞれ示す。灰色丸は陸上観測点で読み取りを行った 5,800 個の地震。

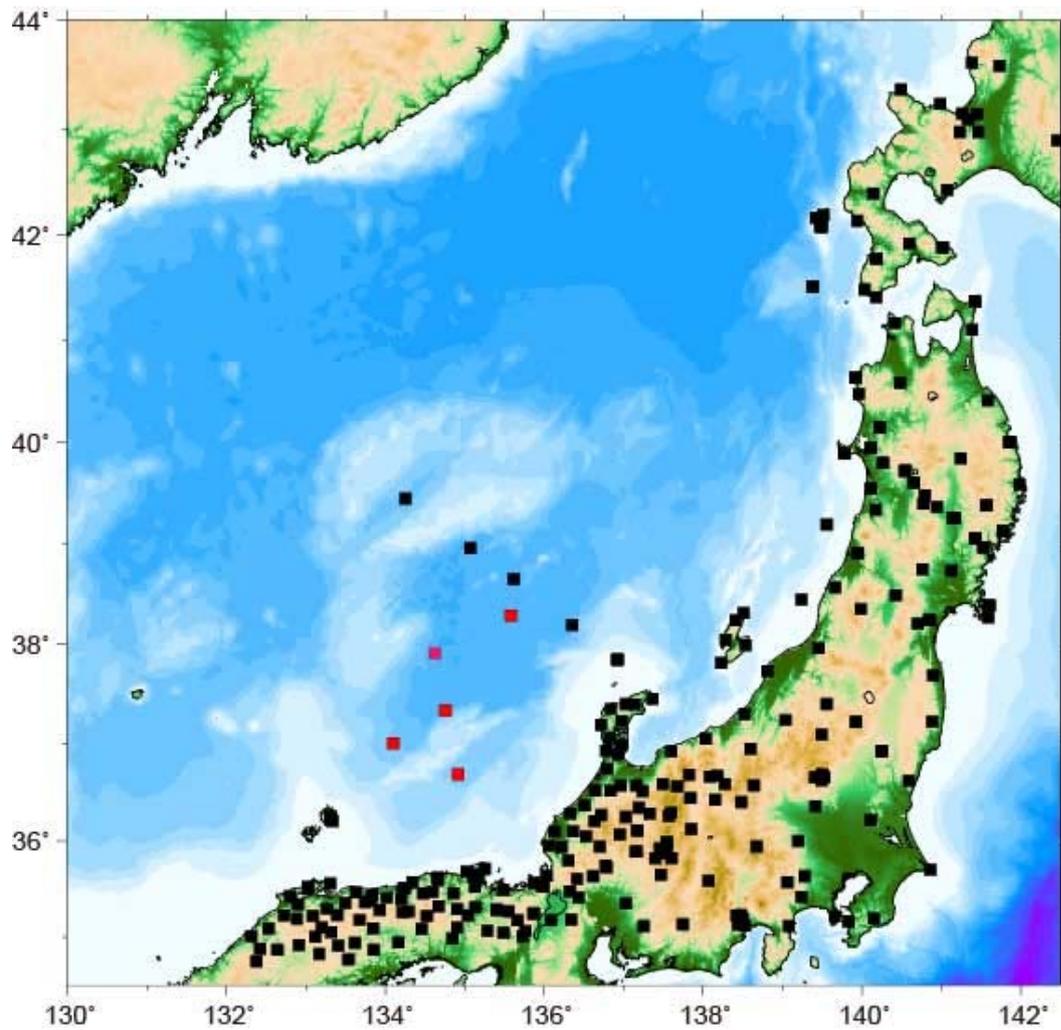


図 6 実体波トモグラフィ解析に使用した観測点配置。■は陸上観測および過去に行われた海底地震観測点、■は本委託研究で設置した海底地震観測点の位置。本委託研究による観測点は、先行研究では観測点が全くない領域であり、本委託研究のデータを用いることにより、大和海盆下のより詳細な構造が得られる。

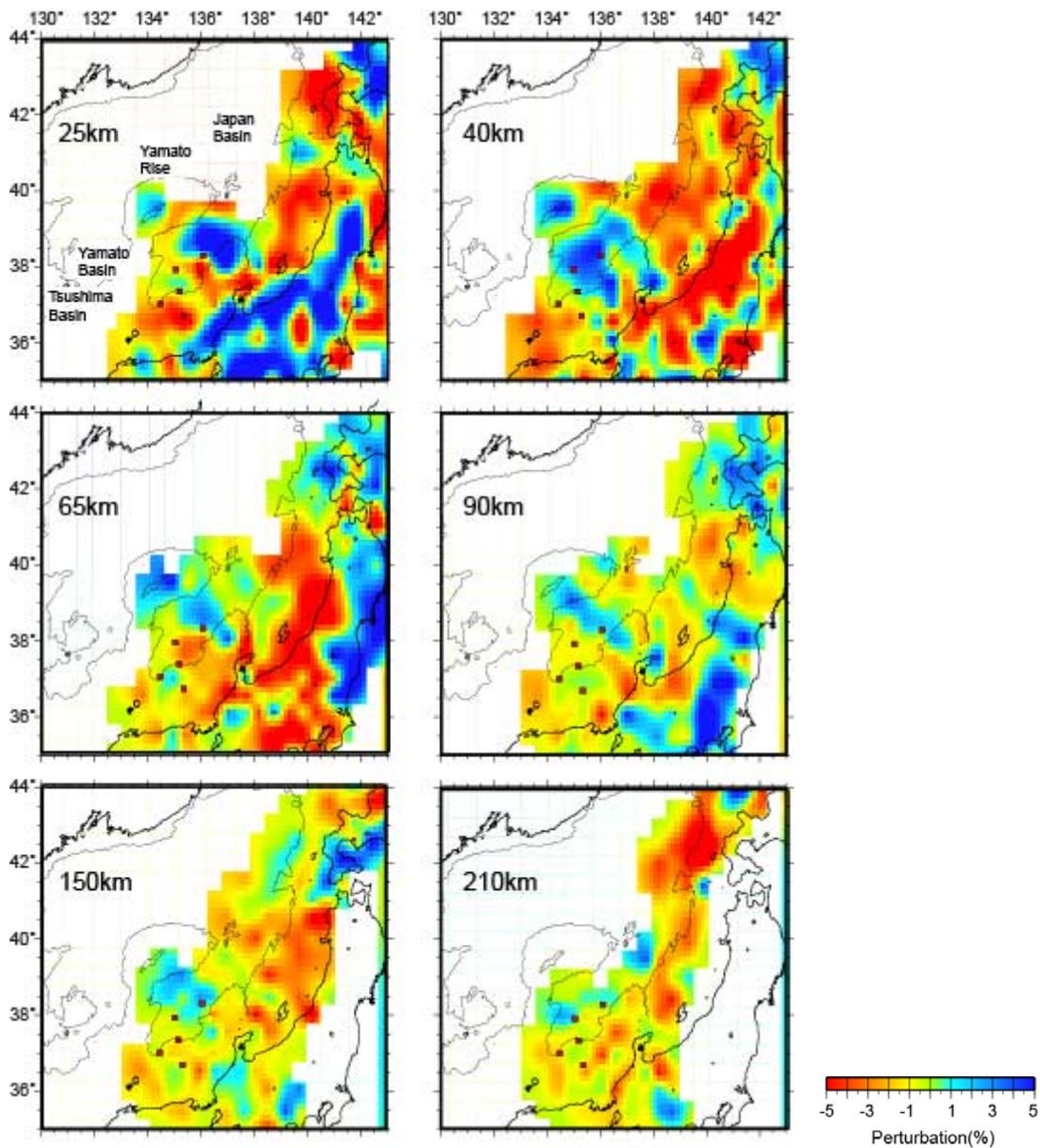


図7 実体波トモグラフィ解析で得られたP波速度構造の水平断面図。カースケールはiasp91モデル<sup>9)</sup>からの地震波速度のずれを示す。各図中の数字は深さを示す。

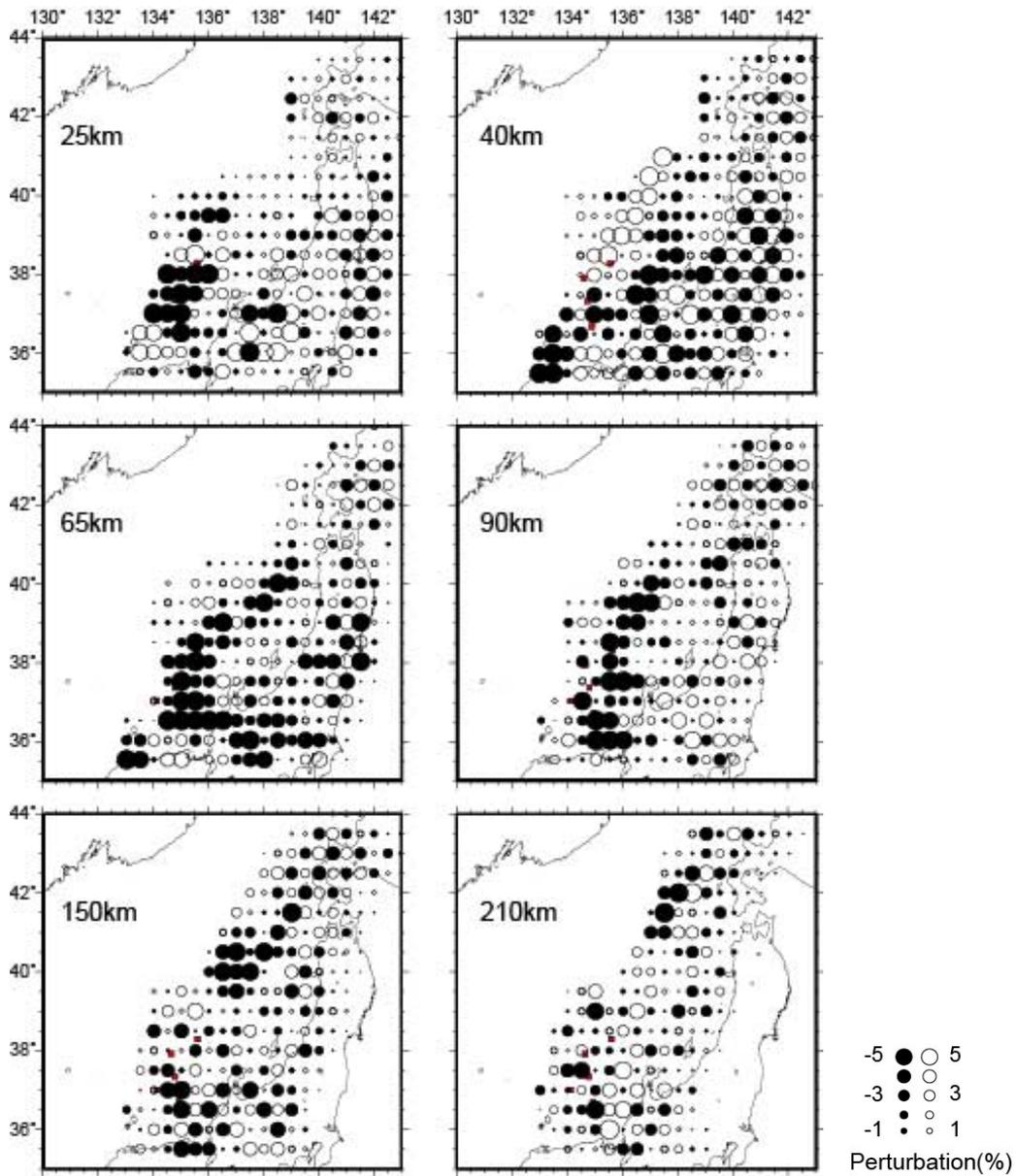


図8 チェッカーボードレゾリューションテストの結果。各図中の数字は深さを示す。