

3. 2. 2. 2 海城プレート構造調査

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28年度業務目的

(2) 平成28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29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
	特任研究員	悪原 岳
	技術専門職員	八木 健夫
	技術専門職員	藤田 親亮
	技術職員	阿部 英二
	技術専門職員	増田 正孝
	技術職員	田中 伸一
	技術職員	西本 太郎
東京海洋大学	准教授	中東 和夫

(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ー解析を実施した。

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ためにトモグラフィ解析・レシーバ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 台程度の設置を行い、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。

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。最終年度であるので、成果をとりまとめる。

(e) 平成 28 年度業務目的

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 台を回収し、大和海盆での長期海底地震観測を終了する。プレート構造を明らかにする解析を実施する。

(2) 平成 28 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する必要があるが、海底では地震学的な雑微動が大きく、質のよい地震記録を多数得るためには、同一地点において数

年にわたる長期の観測を行い、規模の大きな地震を多数観測することが重要である。また、規模の大きな地震からの地震波は周波数が低く、広帯域地震観測を行わなければならない。以上のような背景と目的を踏まえて、日本海大和海盆および日本海盆における領域で広帯域海底地震観測を実施し、その観測データから地殻・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。これらの結果は、日本海側の海域から沿岸にかけての津波波源モデル及び震源断層モデルの構築に寄与する。また、得られた成果は、(1)地域の防災リテラシー向上に向けた取組に提供する。

平成 28 年度は、平成 27 年 8 月に開始した大和海盆での広帯域海底地震計と長期観測型海底地震計を用いた観測を継続した。平成 28 年 8 月に地震計の回収作業を行い、平成 25 年度から繰り返し継続してきた大和海盆での観測は終了した。回収した海底地震計は東京大学地震研究所にて耐圧容器から記録媒体を取り出し、データ再生処理を実施した。これまでの観測で得られた海底地震計データから地震波到達走時の読み取りを行い、陸上観測点データと統合処理し実体波トモグラフィ解析を行った。その結果、大和海盆中央部の深さ約 65 km の上部マントル内低速度異常が見られることがわかった。また、レーシーバー関数解析から Lithosphere Asthenosphere Boundary (LAB) の深さは 70 km が最適であるという結果が得られた。

(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、短周期観測型海底地震計 3 台、合わせて 6 台の長期観測型海底地震計¹⁾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。

日本海大和海盆下の深部速度構造を求めるにあたり、過去に行われた研究で得られた成果等^{2,3,4,5,6)}を考慮し、海底地震計の観測点配置を決定した。この時、日本列島に展開されている陸上観測網との併合処理も考慮した。海底地震計の回収作業にあたっては、現地関係機関（者）等と作業概要などの連絡調整を行った。

本業務では日本海大和海盆において平成 25 年から長期観測型海底地震計を用いた観測を行っている（図 1）。平成 28 年度は、平成 27 年 8 月に開始した広帯域海底地震計と長期観測型海底地震計を用いた観測を継続し（表 1、図 1）、平成 28 年 8 月に地震研究所備船「第 10 英祥丸」を用いて回収作業を行った（写真 1、2）。第 10 英祥丸は、平成 27 年 8 月 7 日に金沢港を出港し、設置されていた全 6 台の海底地震計を回収し 8 月 9 日に金沢港に入港した。この回収作業をもって平成 25 年 8 月から継続してきた大和海盆での繰り返し海底地震観測を終了した。回収した海底地震計は、地震研究所に輸送された後に、耐圧

球から記録媒体を取り出し、データ再生処理を行った。

その後、地震波到達走時を、WIN システム⁷⁾を用いてモニター上で目視により読み取り作業を行い、走時トモグラフィー解析を行った。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 2）からの到達走時を読み取ることが出来た。本委託研究での読み取りデータと先行研究⁸⁾により読み取りが行われた遠地地震 100 個を含む総計 6151 個の地震からの走時データを用いて走時トモグラフィー解析⁹⁾を行った（図 3）。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ことがわかった（図 4）。この特徴は陸上観測点で観測された表面波を用いた解析¹⁰⁾とも調和的である。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 5）を見ると本解析での日本海大和海盆下の解像度は高くないが、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。

また、平成 25 年に観測点 03 に設置した広帯域海底地震計（図 1）で得られた地震記録を用いてレシーバー関数解析を行った。解析には震央距離 30 度～60 度で発生した Mw6 以上の遠地地震で、海底地震計で得られた上下動の S/N 比が 7 以上の地震 11 個を使用した（図 6）。解析では海水・堆積層・上部地殻・下部地殻・マントルからなる 5 層構造を仮定し（図 7）、1 次元 S 波構造の推定を行った。その結果、20 km より浅部の構造のみで観測波形をおおむね説明可能である事が分かった。またグリッドサーチにより LAB の深さを推定したところ深さ 70 km が最適であるという結果が得られた（図 8、9）。この深さは走時トモグラフィー解析から得られた上部マントル内の低速度異常とも調和的である。今後解析を進め、解析結果の検証などを行い、さらに精度良く大和海盆周辺の上部マントル構造を明らかにする予定である。

(c) 結論ならびに今後の課題

平成 28 年度は前年度に設置した海底地震計の回収作業を行い、平成 25 年から継続してきた大和海盆での海底地震観測を終了した。回収した長期観測型海底地震計 6 台は東京大学地震研究所においてデータ再生作業を行った。平成 27 年度までに回収した海底地震計から得られたデータと陸上観測点データとを統合処理し地震波到達走時の読み取り作業を行い、実体波トモグラフィー解析を行った。その結果、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た。また、レシーバー関数解析から、LAB の深さを推定したところ深さ 70 km が最適であるという結果が得られた。この深さは走時トモグラフィー解析から得られた上部マントル内の低速度異常とも調和的である。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 2，61，S55-S68，2009.
- 2) Hirata, N., Tokuyama, H., Chung, T.W.: An anomalously thick layering of the crust

- of the Yamato Basin, southeastern Sea of Japan: the final stage of back-arc spreading, *Tectonophysics* 165, 303-314, 1989.
- 3) Kurashimo, E., Shinohara, M., Suyehiro, K., Kasahara, J., Hirata, N.: Seismic evidence for stretched continental crust fragment in the Japan Sea, *Geophysical Research Letters* 23, 3067-3070, 1996.
 - 4) Nakahigashi, K., Shinohara, M., Yamada, T., Uehira, K., Mochizuki, K., 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*, 67-68, 199-206, 2013.
 - 5) Sato, T., Takahashi, N., Miura, S., Fujie, G., Kang, D.-H., Kodaira, S., Kaneda, Y.: Last stage of the Japan Sea backarc opening deduced from the seismic velocity structure using wide-angle data, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 7, Q06004. <http://dx.doi.org/10.1029/2005GC001135>, 2006.
 - 6) Shinohara, M., Hirata, N., Nambu, H., Suyehiro, K., Kanazawa, T., Kinoshita, H.: Detailed crustal structure of northern Yamato Basin, *Proceedings of the Ocean Drilling Program Scientific Results* 127/128 Pt.2, 1075-1106, 1992.
 - 7) 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, 1, C22-P18, 1992.
 - 8) 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, *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 120, doi:10.1002/2014JB011781, 2015.
 - 9) Zhao, D., A. Hasegawa, and S. Horiuchi, Tomographic imaging of P and S wave velocity structure beneath northeastern Japan, *J. Geophys. Res.*, 97, 19,909-19,928, 1992.
 - 10) 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*, 183, 4-19, 2010.
 - 11) Kennett, B. L. N. and E. R. Engdahl, Traveltimes for global earthquake location and phase identification, *Geophys. J. Int.* 105 (2) 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
中東和夫、山下裕亮、山田知朗、望月公廣、塩原肇、篠原雅尚	日本海大和海盆下の上部マントル構造 (ポスター発表)	日本地震学会 2016 年度秋季大会	平成 28 年 10 月 5 日

K. Nakahigashi, T. Yamada, Y.Yamashita, K.Mochizuki, H.Shiobara, M.Shinohara	Mantle wedge structure beneath the Yamato Basin, southern part of the Japan Sea revealed by long-term seafloor seismic observations (ポスター発表)	2016 American Geophysical Union Fall meeting	平成 28 年 12 月 14 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 29 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 7 台程度の設置を行い、長期海底地震観測を開始する。これまでに本委託研究で得られた大和海盆での海底地震観測データおよび過去の実施された海底地震観測データを用いて、走時トモグラフィ解析、レシーバー関数解析などを実施し、大和海盆におけるプレート構造を推定する。

表 1 本研究業務による、平成 28 年度に回収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			記録収録設定情報		
			緯度	経度	水深(m)	切り離し コード	記録開始(JST)	記録停止(JST)
JS1501	1Hz	2015/08/11-04:22:13	38-17.40	135-35.00	2,980	684	2015/08/11-07:30:00	2016/10/01-00:00:00
JS1507	広帯域	2015/08/10-21:12:30	37-41.73	135-48.41	2,810	554	2015/08/11-10:00:00	2016/10/01-00:00:00
JS1503	広帯域	2015/08/11-10:47:14	37-54.77	134-37.22	2,970	555	2015/08/11-14:00:00	2016/10/01-00:00:00
JS1504	広帯域	2015/08/11-15:28:14	37-19.99	134-45.59	2,690	553	2015/08/11-18:30:00	2016/10/01-00:00:00
JS1505	1Hz	2015/08/11-20:14:29	36-59.99	134-05.99	1,960	717	2015/08/11-23:00:00	2016/10/01-00:00:00
JS1506	1Hz	2015/08/12-01:07:15	36-41.29	134-55.04	1,750	663	2015/08/12-01:58:00	2016/10/01-00:00:00



写真1 回収作業に使用した第10英祥丸（平成28年8月）

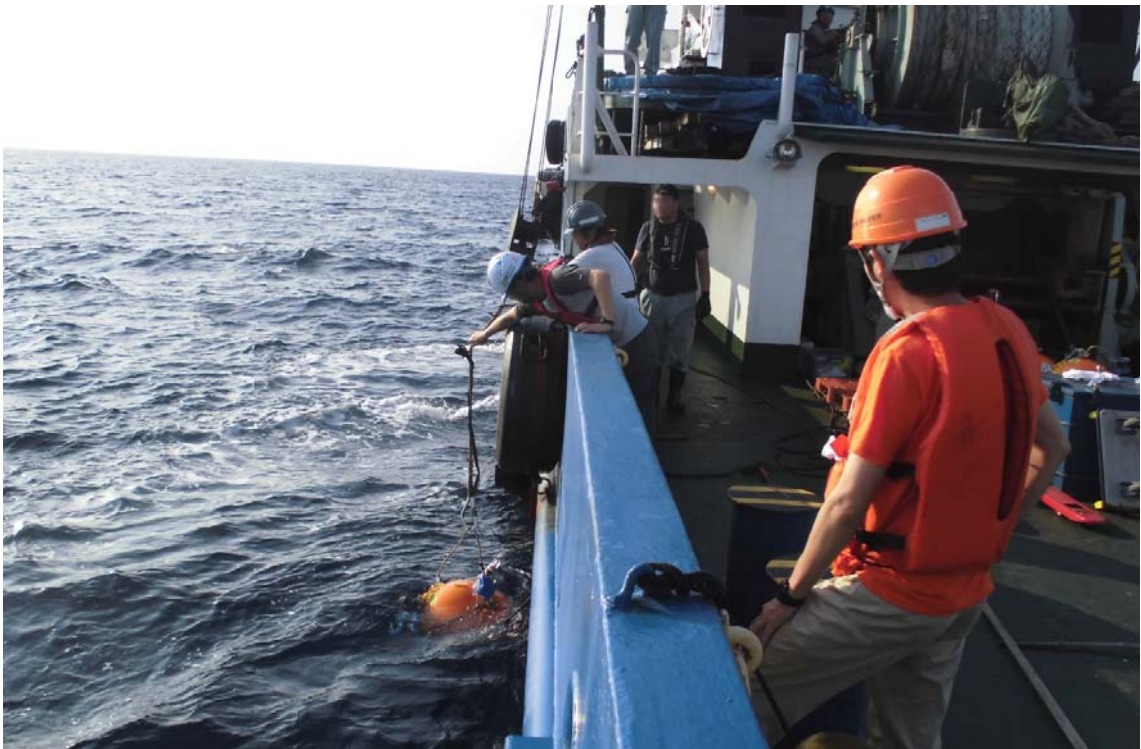


写真2 作業船での回収作業（平成28年8月）

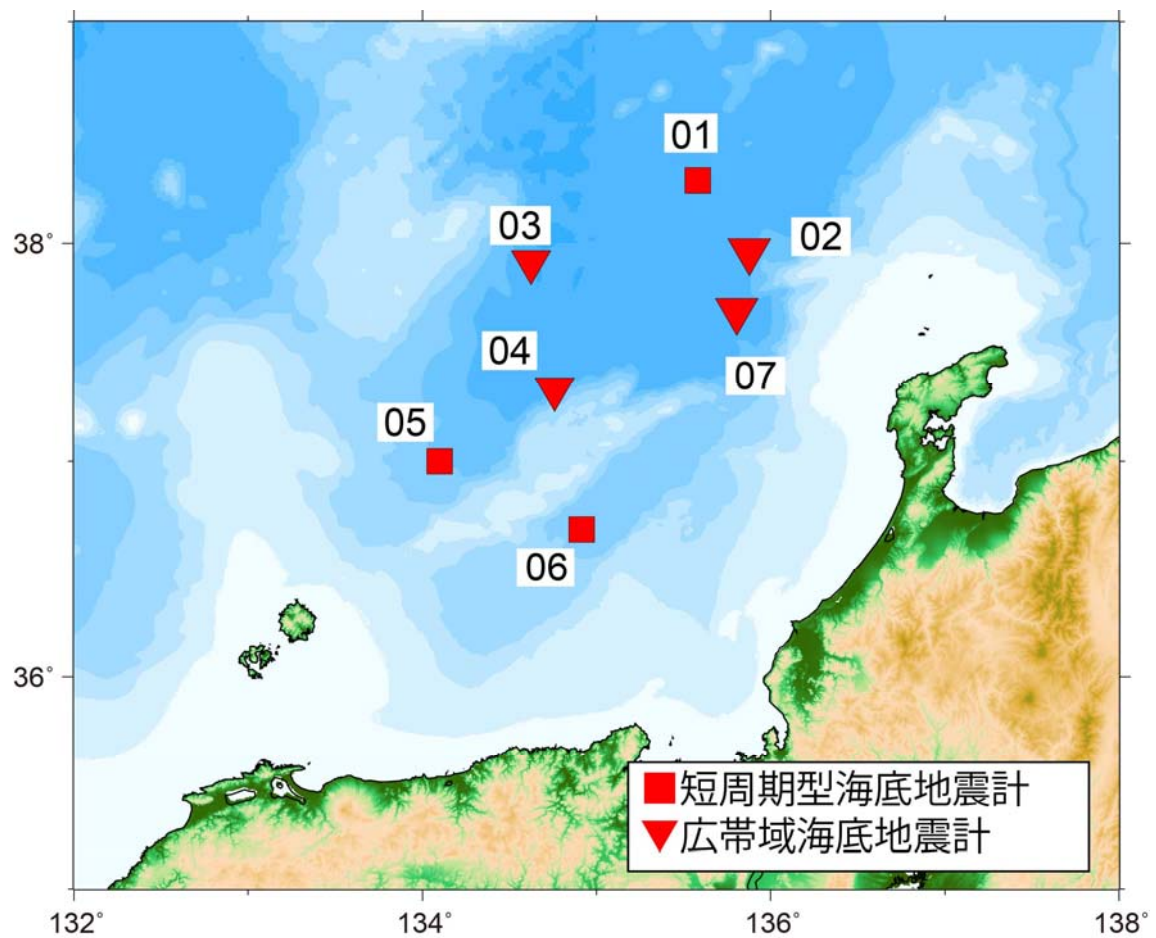


図1 これまでに設置した広帯域海底地震計と短周期型海底地震計の設置位置。逆三角形は広帯域海底地震計、四角は短周期型海底地震計を表す。観測点 02 については平成 25 年度、観測点 07 については平成 26、27 年度に海底地震計を設置した。その他の観測点は平成 25、26、27 年度とも同一地点に海底地震計を設置した。

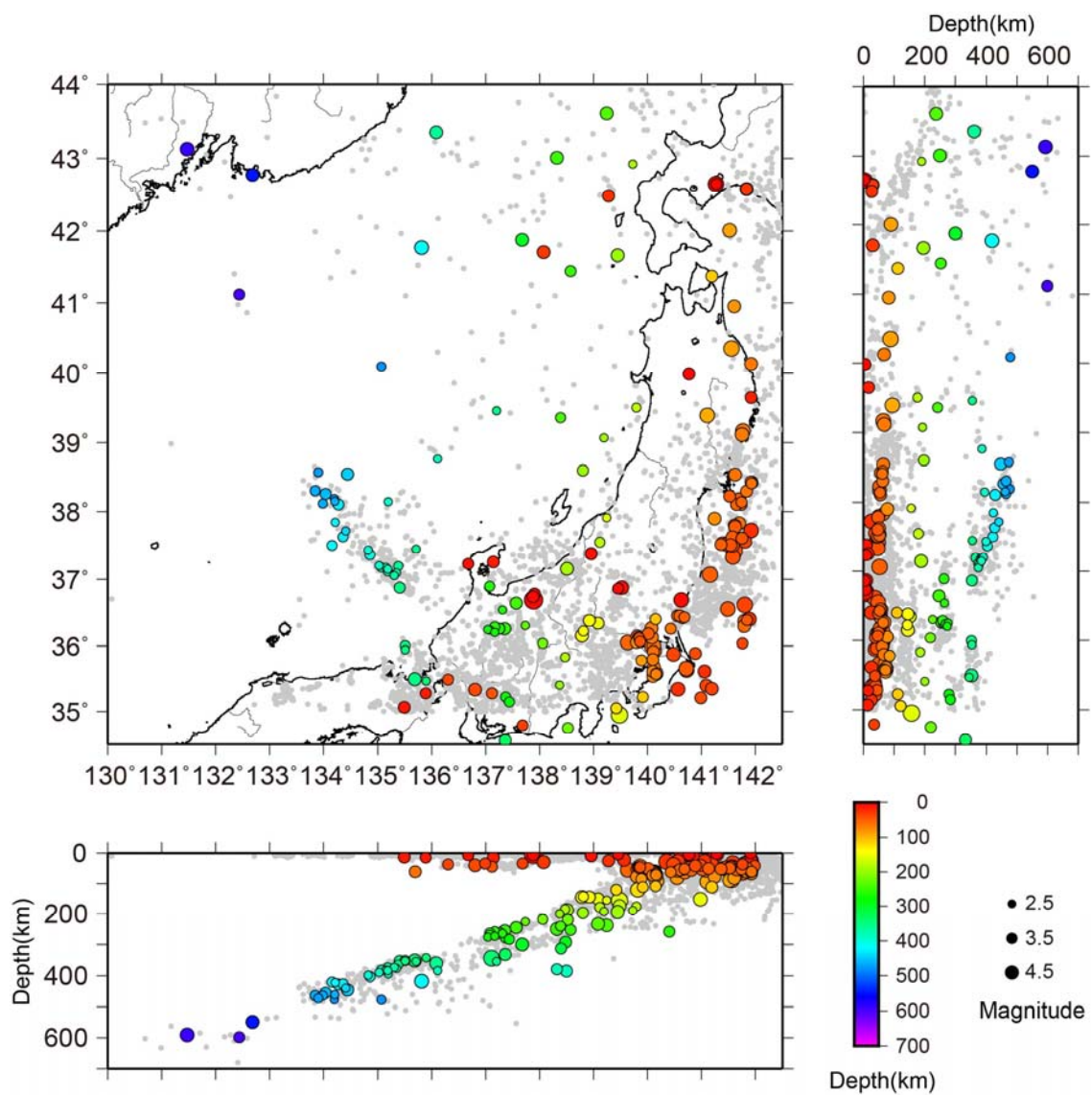


図2 実体波トモグラフィ解析に使用した近地地震の震源分布。色つき丸は海底地震計で初動走時の読み取りが出来た 251 個の地震 ($M > 2.5$)。丸の大きさはマグニチュードを、色は震源の深さをそれぞれ示す。灰色丸は陸上観測点で読み取りを行った 5800 個の地震。

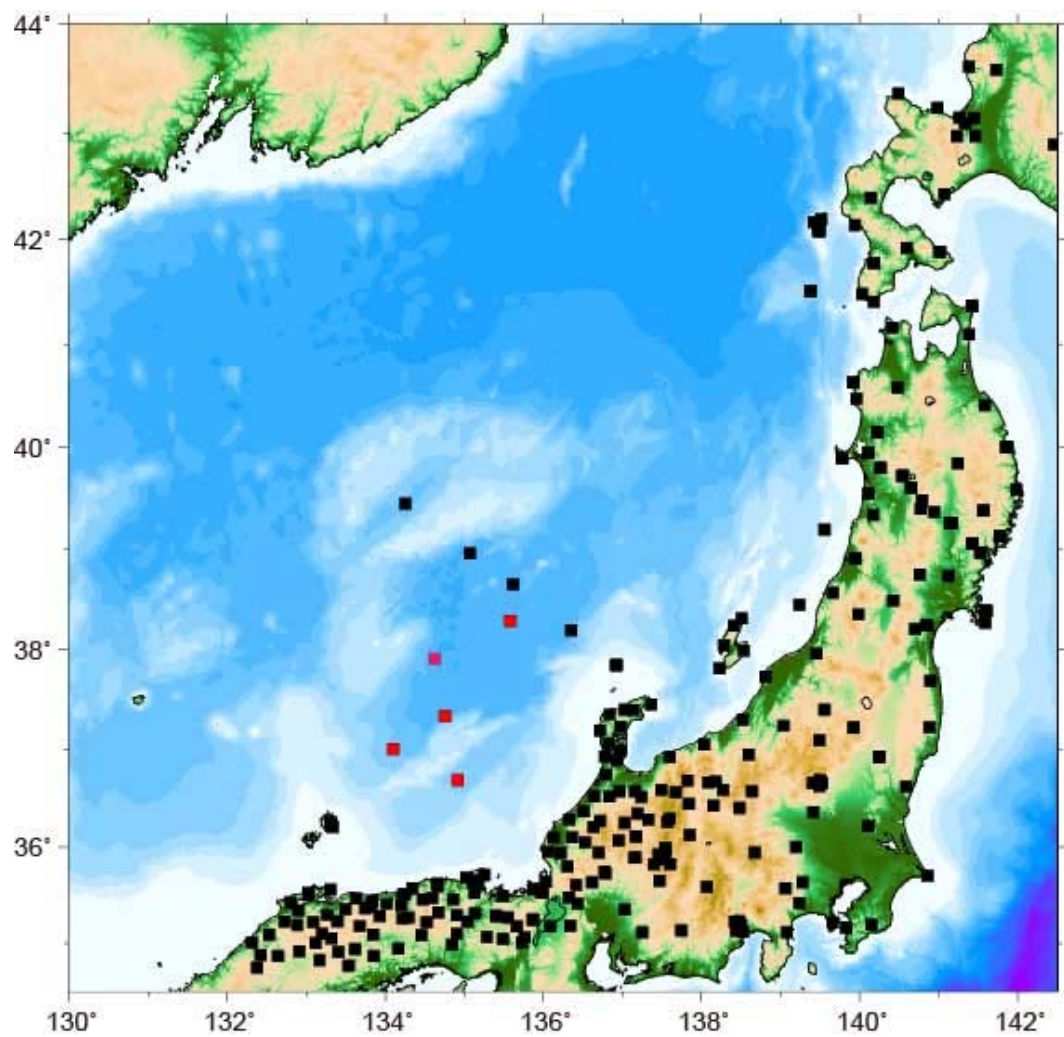


図 3 実体波トモグラフィー解析に使用した観測点配置。■は陸上観測および過去に行われた海底地震観測点、■は本委託研究で設置した海底地震観測点の位置。本委託研究による観測点は、先行研究では観測点が全くない領域であり、本委託研究のデータを用いることにより、大和海盆下のより詳細な構造が得られる。

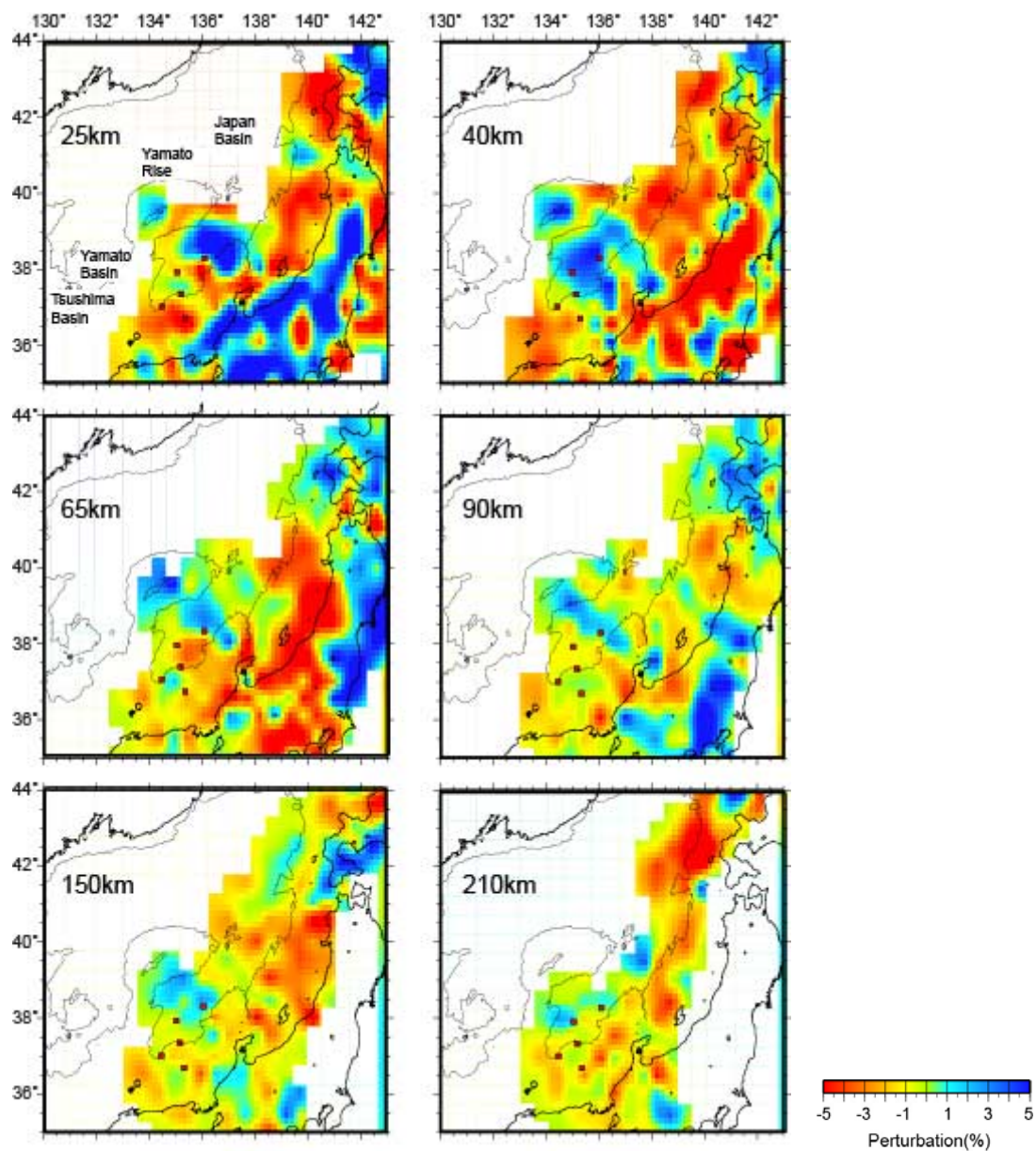


図4 実体波トモグラフィ解析で得られたP波速度構造の水平断面図。カースケールは iasp91 モデル¹¹⁾からの地震波速度のずれを示す。各図中の数字は深さを示す。

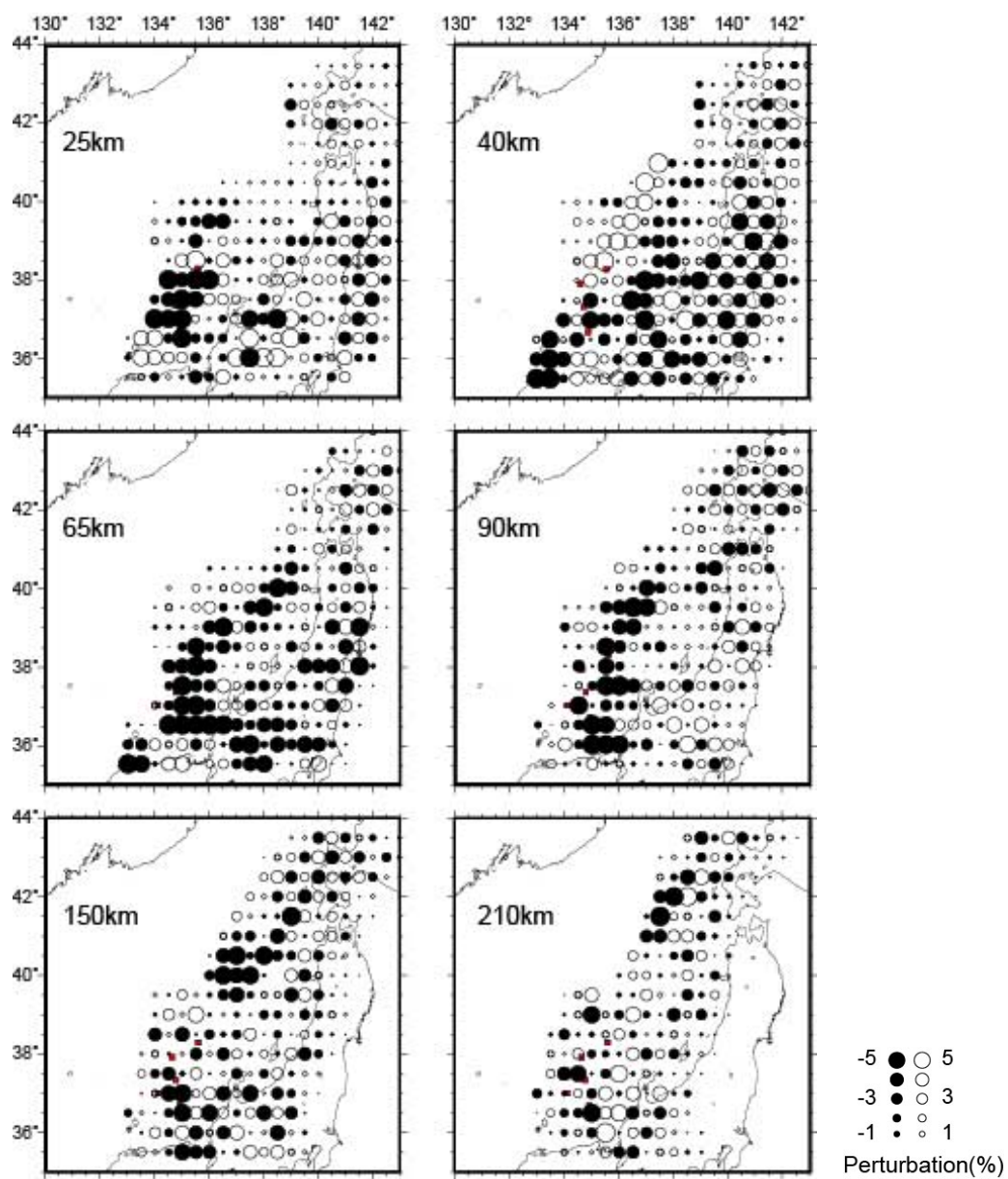


図5 チェッカーボードレゾリューションテストの結果。各図中の数字は深さを示す。

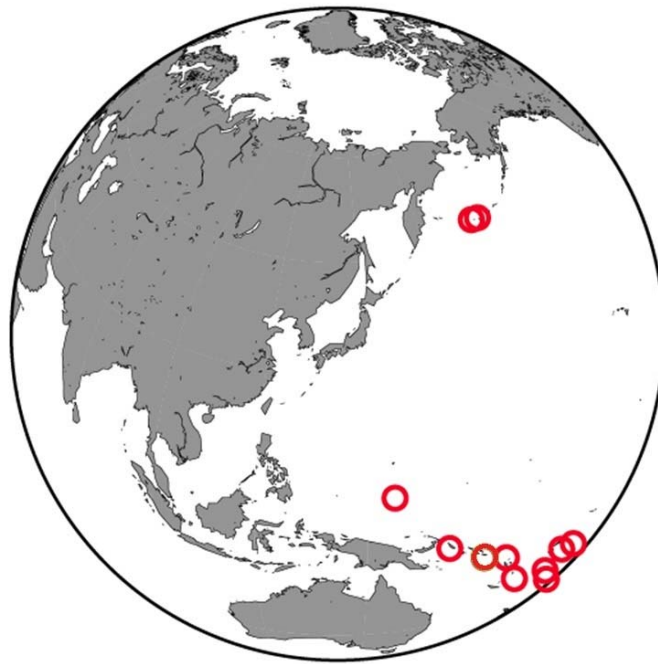


図 6 レシーバー関数解析で使した遠地地震の分布

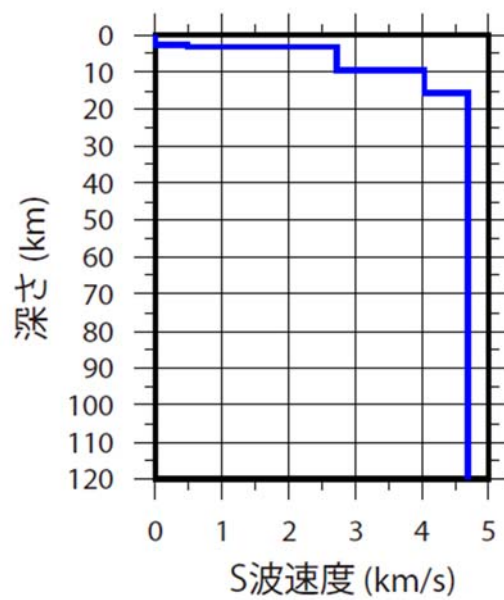


図 7 レシーバー関数解析で得られた 1 次元 S 波速度構造の初期モデル。海水層・堆積層・上部地殻・下部地殻・マントルの 5 層構造を仮定。

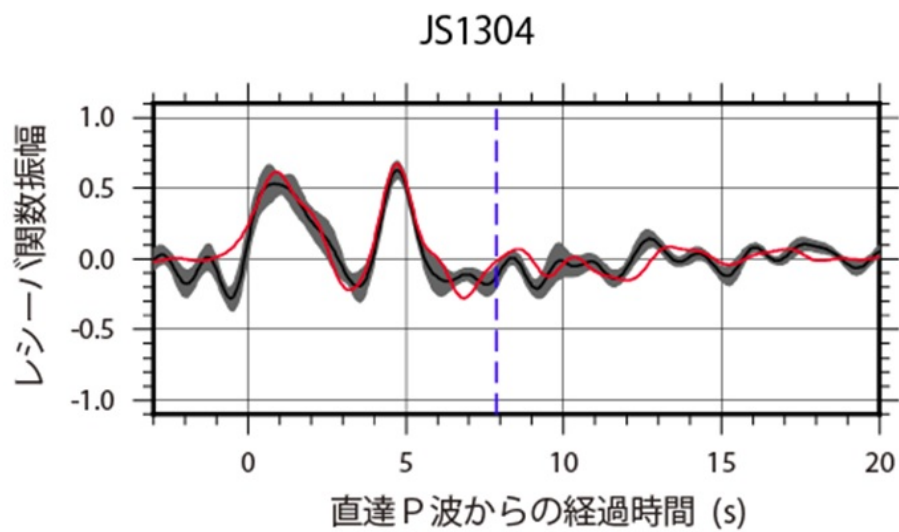


図8 レシーバー関数（黒線）と合成波形（赤線）。青破線は深さ 70 km に対応する直達 P 波からの経過時間を示す。

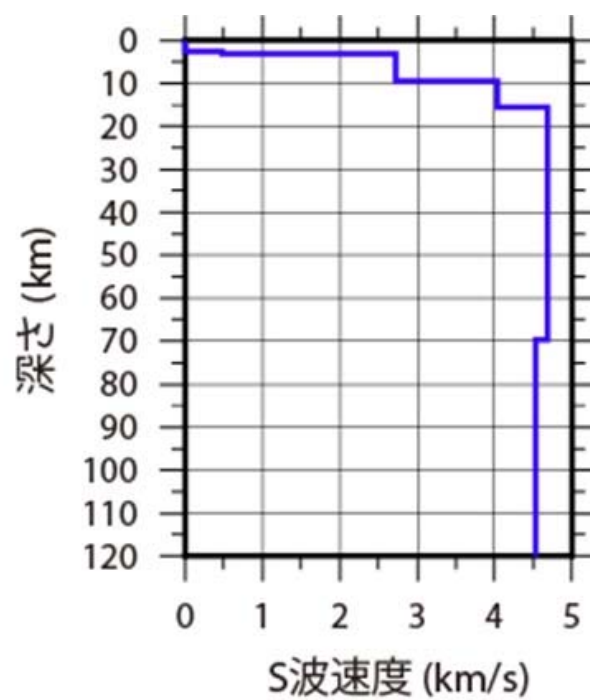


図9 レシーバー関数解析で得られた 1 次元 S 波速度構造。海水層・堆積層・上部地殻・下部地殻・マントル・アセノスフェアの 6 層構造を仮定。