

## 西之島における浅部地殻の地震学的構造<sup>†</sup>

岡田千明<sup>\*1</sup>, 及川光弘<sup>\*2</sup>, 西澤あずさ<sup>\*1</sup>

Shallow seismic crustal structure around Nishinoshima volcano<sup>†</sup>

Chiaki OKADA<sup>\*1</sup>, Mitsuhiro OIKAWA<sup>\*2</sup>, and Azusa NISHIZAWA<sup>\*1</sup>

### Abstract

We carried out a seismic survey to estimate the shallow crustal structure around Nishinoshima volcano in July 2015. Five seismic lines, on each of which were deployed two ocean bottom seismographs, were shot with an airgun array as a controlled seismic source. We obtained simple P-wave velocity ( $V_p$ ) models for the four seismic lines around Nishinoshima volcano. Each model consists of four layers with  $V_p$  of  $\sim 2$  km/s, 3.4–3.5 km/s, 4.7 km/s, and 6.0 km/s, from top to bottom. Ascending materials with higher  $V_p > \sim 4$  km/s were detected beneath the bathymetric high at the northwest of Nishinoshima volcano and immediately below the Nishinoshima-Minami Knoll.

### 1 はじめに

西之島は、東京から約 1000 km 離れた伊豆・小笠原島弧-海溝系の火山フロントに存在する火山である (Fig. 1)。2013 年 11 月に約 40 年ぶりに噴火を開始してから、溶岩の流出を伴う活発な火山活動が約 2 年間継続した。2015 年 11 月を最後に噴火は確認されていなかったが、2017 年 4 月に噴火活動が再開し、2017 年 6 月現在においても活発な火山活動が継続している。海上保安庁では、海上交通安全の確保を目的として、航空機や測量船等を使用して海底火山や火山島である海域火山を、定期的に監視・観測している (例えば、小野・他, 2015; 西澤・他, (2000, 2001, 2002 等))。西之島においても、火山活動が継続していた 2015 年 6 月から 7 月にかけて測量船

「昭洋」を用いた総合的な海洋調査 (平成 27 年度海域火山基礎情報調査「西之島」) を行った。その際に海底地震観測を行い、自然地震活動および人工震源を用いた fan-shooting の結果を岡田・他 (2016) にとりまとめた。本稿では、同調査時に実施した、西之島周辺の浅部地殻構造を推定するための小規模な地震波速度構造探査の解析結果について報告する。

### 2 調査概要

調査は、2015 年 (平成 27 年) 7 月 4 日と 5 日に実施した。海上保安庁の海底地震計 (Ocean Bottom Seismograph : OBS) は噴火警戒区域外 (当時火口より半径 4 km 以遠) で西之島を囲むように 4 点、および南側の西之島南海丘上に 1 点

<sup>†</sup> Received July 12, 2017; Accepted September 19, 2017

\* 1 技術・国際課 海洋研究室 Ocean Research Laboratory, Technology Planning and International Affairs Division

\* 2 海洋情報課 Oceanographic Data and Information Division

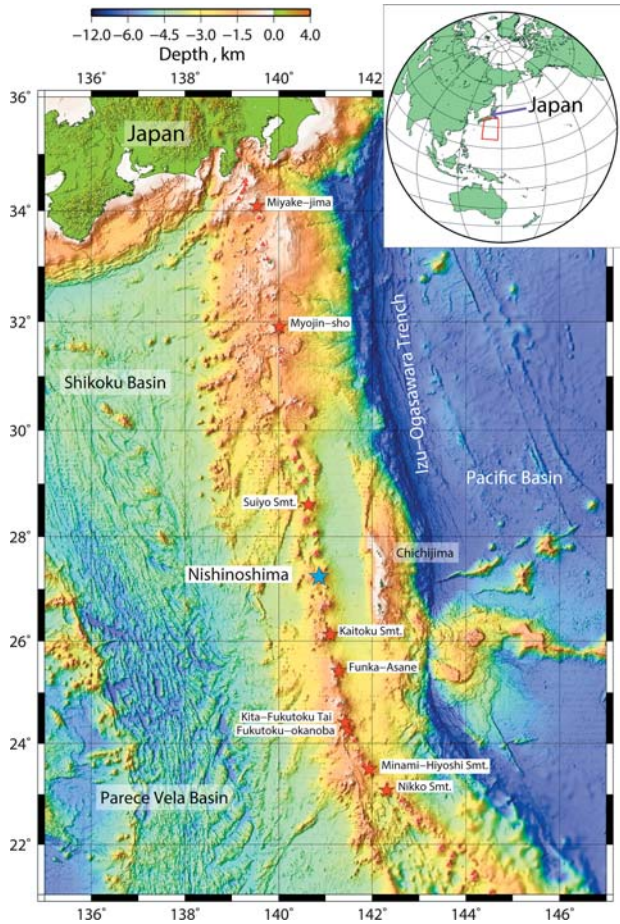


Fig. 1. Distribution of active volcanoes (red triangles) on the Izu-Ogasawara-Mariana island arc, located in the south of the main island of Japan. Asterisks are the active submarine volcanoes where JCG carried out ocean bottom seismic observations. The largest blue asterisk indicates Nishinoshima volcano.

図1. 本州南方の伊豆・小笠原・マリアナ島弧域における活動的な火山の分布(赤三角). 星印の火山においては、以前に海上保安庁による海底地震観測を実施した。青色の星印は西之島の位置を示す。

設置されており (Fig. 2), OBS とエアガンアレイを使用した屈折法地震探査を行った。また、シングルチャンネルストリーマケーブル (イール) も同時に測量船で曳航し、反射法地震探査も実施した。OBS の位置およびエアガン測線位置を Table 1 および Table 2 に示す。当庁の OBS の直上を通る測線は 5 本あり、4 本は西之島近傍に設置された OBS の直上を井桁状に取り囲むようにして通っている。残りの 1 本は、西之島の西側に

設置された OBS と西之島南海丘上に設置された OBS の直上を通る測線である。一筆書きになるように測線を設定したため、S1 測線開始から S5 測線終了まで連続で発震している。発震間隔は 40 秒で、1500 inch<sup>3</sup> (約 24.5 L) のエアガンを 3 基 (総容量 73.7 L) 使用した。7 月 4 日の調査中、S2 測線においてエアガン発震中に No.1 エアガンがエア漏れを起こしたので、以降はエアガンを 2 基 (総容量 49.1 L) のみ使用した。エアガン発震は連続して行われ、S2 測線を含めて、各測線において測線途中での出線および再入線は実施していない。エアガンの発震総数は、5 測線調査中および測線の移動時を含めて 1411 ショットであった。エアガンおよびイールはそれぞれ深度約 10 m で曳航した。使用した OBS の機器仕様については、岡田・他 (2016) を参照されたい。

### 3 解析概要

P 波速度構造解析は、各測線の各 OBS についてレコードセクションの作成、屈折波初動および反射波走時の読取、初期モデルの作成、フォワードモデリングによるモデルの改良 (Fujie et al., 2000; Kubota et al., 2009) の順で実施した。

まず、各 OBS の連続記録から、測量船上で取得したエアガン発震時刻より 40 秒間の記録を切り出し、エアガンと各 OBS の間の距離を横軸とするレコードセクションを作成した。次に、これらのレコードセクションから、屈折波初動および後続波の読み取りを行った。

初期構造モデルの作成において、本調査時に合わせて実施した海底地形調査のデータから測線に沿う海底地形データを抽出して、初期モデルに取り入れた。また、最浅部の構造はシングルチャンネル反射法地震探査で得られた堆積層の厚さ分布を参照した。シングルチャンネル反射法地震探査記録を Fig. 3 に示す。各図の縦軸は往復走時 (秒) を示し、横軸はショット番号で、ショットした順番に左側から並べている。往復走時 1.0–3.0 秒の間で確認される強い信号が海底面を表している。通常、地震反射断面図は最浅部堆積構造の推定に有

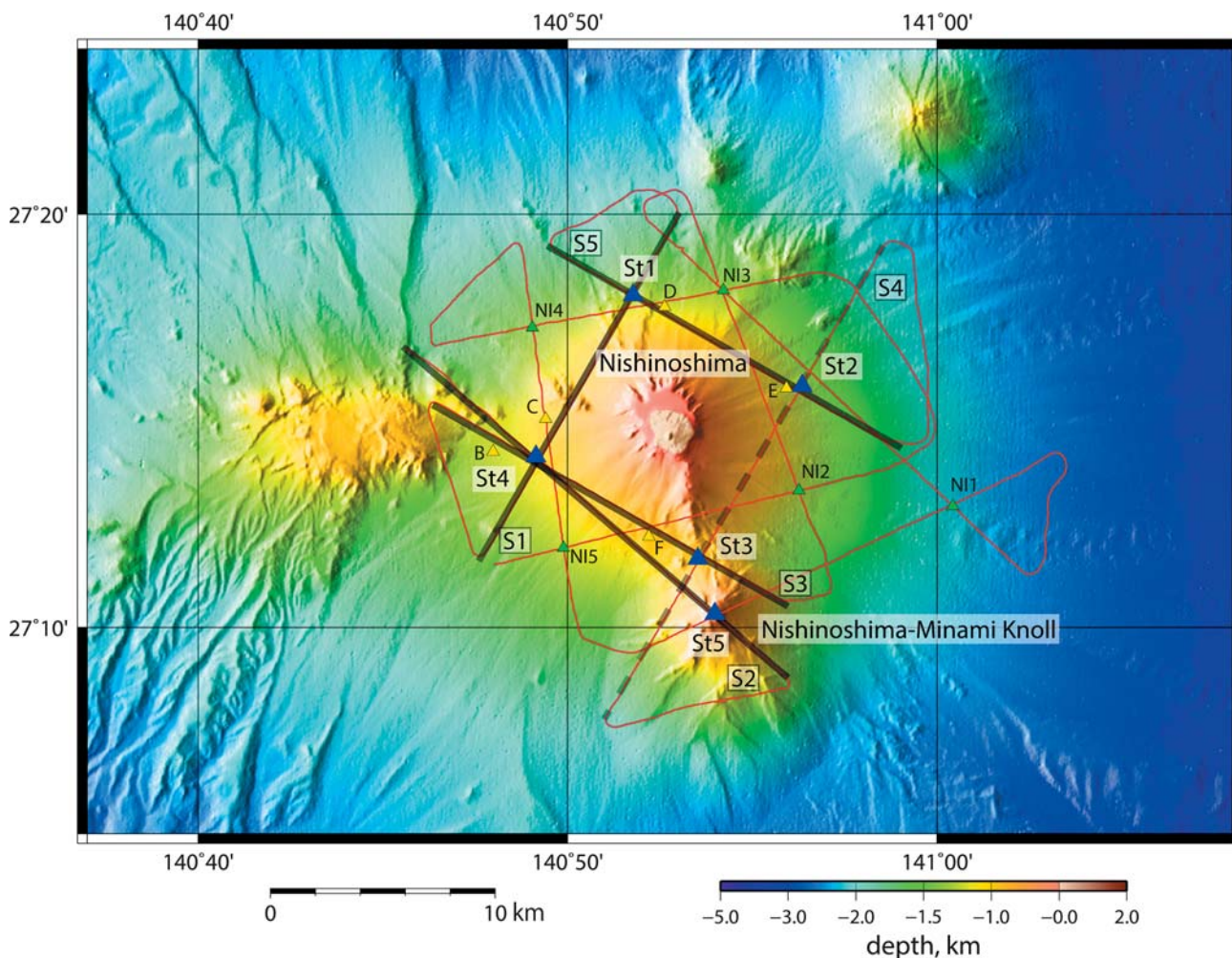


Fig. 2. Positions of the OBS (triangle) and airgun shooting track (red line) on the shaded bathymetry around Nishinoshima volcano. Each OBS belongs to the following organizations: blue: JCG, yellow: Metrological Research Institute, green: Earthquake Research Institute of the University of Tokyo. P-wave velocity models were obtained for the thick black lines in this study. Only OBS records without a P-wave velocity model are shown for line S4 (black dotted line).

図 2. 海底地震計（三角）およびエアガン測線（赤線）の位置。各地震計の所属は以下のとおり：青：海上保安庁，黄：気象研究所，緑：東京大学地震研究所。本報告においては，黒太線測線について速度構造解析を実施した。黒の点線で示した S4 測線は，海底地震計の記録のみ示す。

Table 1. List of OBS parameters.

表 1. OBS のパラメーターリスト。

OBS name	position		Depth (m)	deployment		retrieval	
	N	E		date	Time (JST)	date	Time (JST)
St1	27° 18.046'	140° 51.780'	1307	2015/6/25	11:33	2015/7/6	10:37
St2	27° 15.850'	140° 56.346'	1310	2015/6/25	10:55	2015/7/6	12:36
St3	27° 11.659'	140° 53.531'	890	2015/6/25	09:13	2015/7/6	14:59
St4	27° 14.140'	140° 49.146'	1051	2015/6/25	08:26	2015/7/6	16:25
St5	27° 10.332'	140° 53.992'	213	2015/6/25	09:59	2015/7/6	13:57

Table 2. List of seismic survey lines.

表 2. 地震探査測線のリスト。

Line name	Direction of survey line	Position of the starting point	Position of the end point	Total length of the survey line
S1	NE-SW	27°20.1218'N	27°11.4654'N	18.0 km
		140°52.5594'E	140°47.4466'E	
S2	NW-SE	27°16.4655'N	27°08.4272'N	22.5 km
		140°45.3546'E	140°55.5837'E	
S3	NW-SE	27°15.1479'N	27°10.4353'N	19.8 km
		140°46.1403'E	140°56.3908'E	
S4	SW-NE	27°07.3538'N	27°19.1172'N	24.8 km
		140°51.1446'E	140°59.1421'E	
S5	SE-NW	27°14.3103'N	27°19.2187'N	18.9 km
		140°59.3609'E	140°49.3307'E	

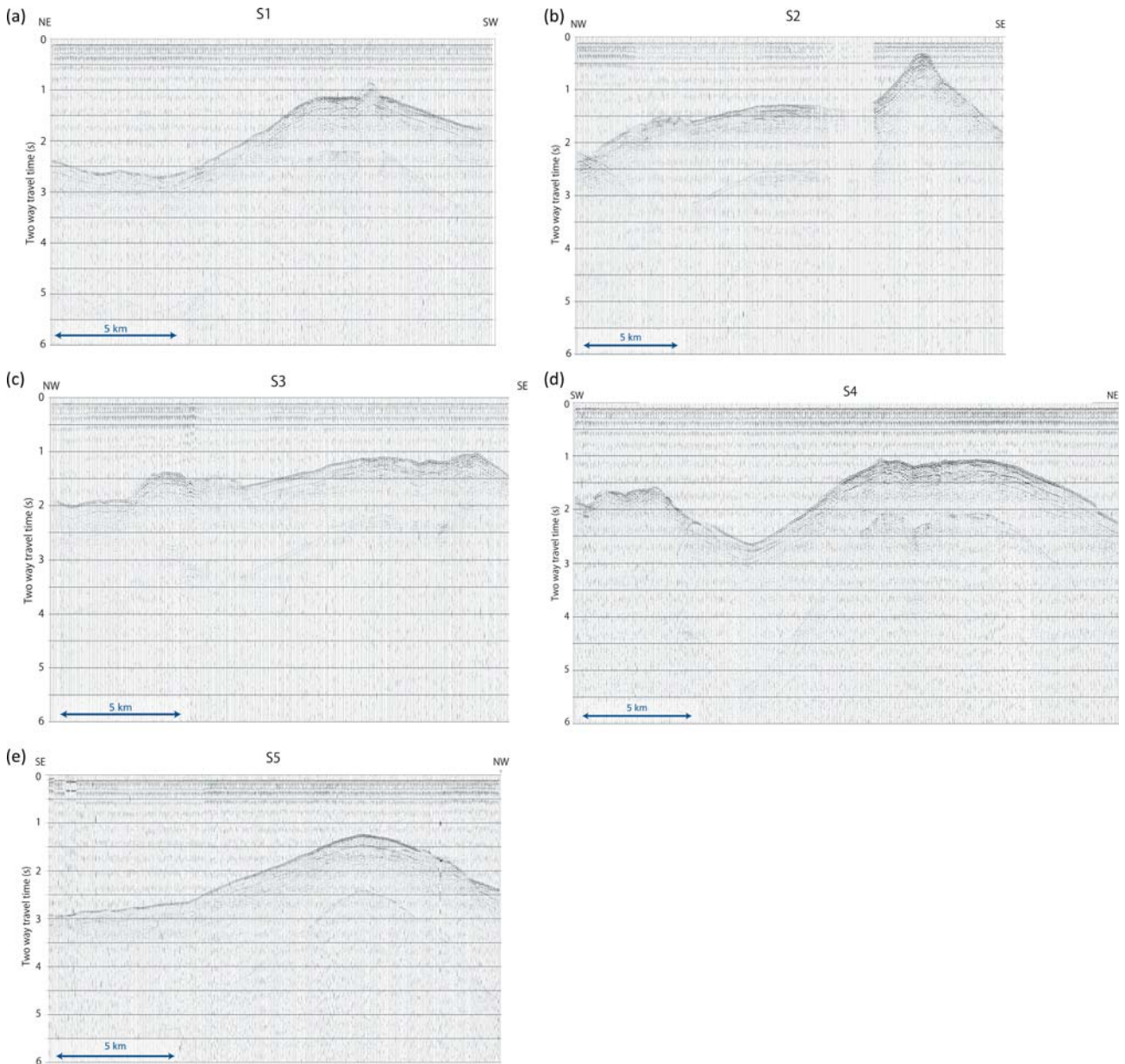


Fig. 3. Single channel seismic profiles obtained from each line. (a) line S1, (b) line S2, (c) line S3, (d) line S4, and (e) line S5.

図 3. 各測線で得られたシングルチャンネル反射断面図。(a) S1 測線, (b) S2 測線, (c) S3 測線, (d) S4 測線, (e) S5 測線。

効であるが、本調査においては、海底面下概ね 0.2 秒後に海底面に平行に見られるエアガンバブルをデコンボリューション処理により十分に抑えることができず、詳細な堆積層構造を得ることが困難であった。通常のシングルチャンネル探査に比べて、エアガンの容量が大きく、ショット間隔が大きすぎることも、良好な記録が得られなかった原因であると考えられる。

フォワードモデリング解析では、計算走時が

OBS レコードセクションの観測走時に合うように、初期モデルを試行錯誤によって修正することにより、最終速度構造モデルを求めた。海水中の速度は、本調査中に実施した XCTD (Expendable Conductivity-Temperature-Depth profiler) 観測で得られた水中音速度構造から、OBS が設置してある水深約 1000 m までの平均音速度を算出し、その値を参考とした。また、OBS のレコードセクションにおける水中直達波の走時に合うように

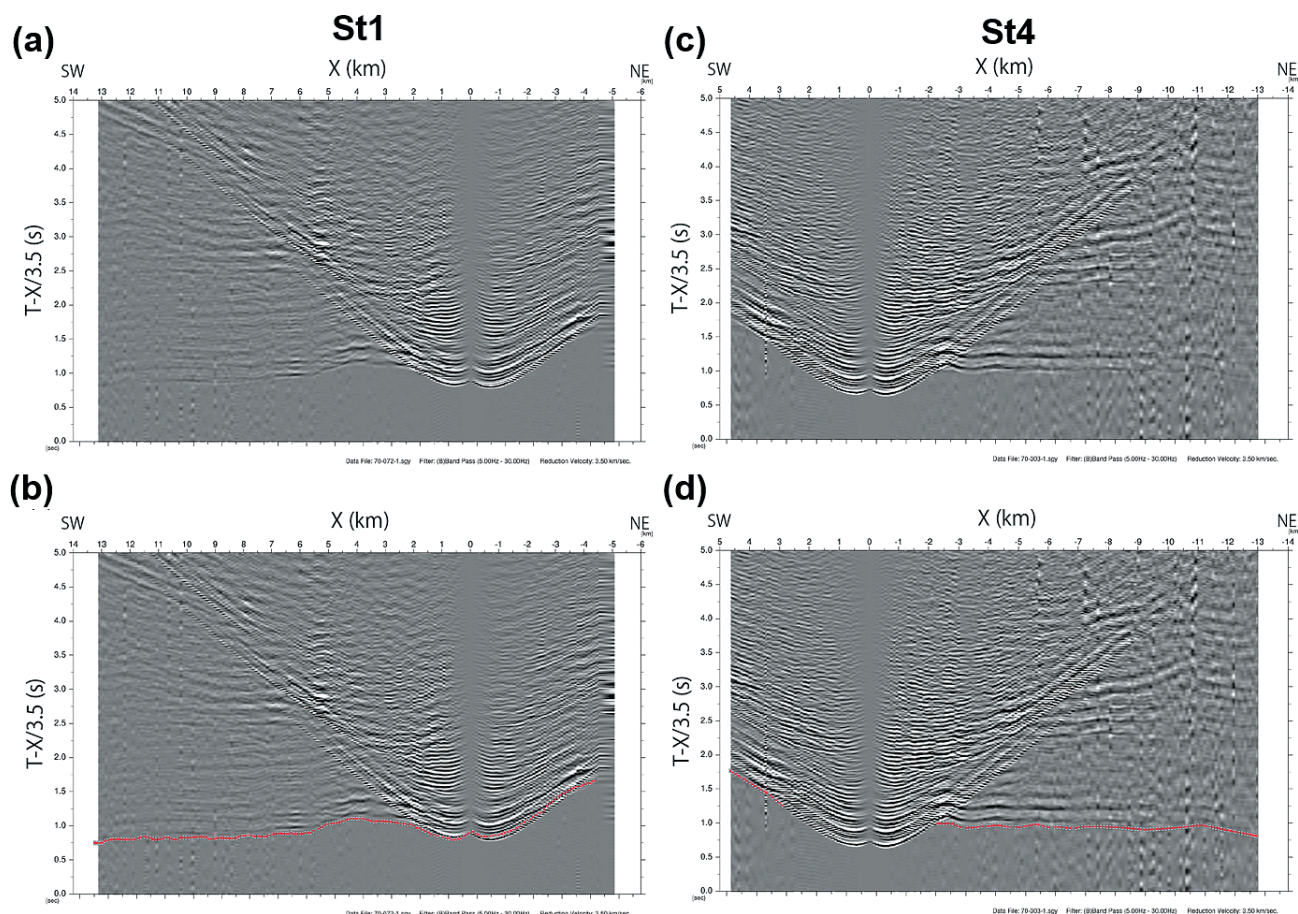


Fig. 4. OBS data observed along line S1. (a) vertical record section for St1, (b) travel time picks of first arrival times (red dots) on the record section (a), (c) vertical record section for St4, (d) travel time picks of first arrival times (red dots) on the record section (c). The OBS data were band pass filtered at 5–30 Hz. A gain factor proportional to distance has been used to enhance the distant seismograms. Reduction velocity is 3.5 km/s.

図4. S1測線における上下動地震計のレコードセクション。(a) St1におけるレコードセクション。(b) (a)に初動の読み取り値(赤点)をプロットした図。(c) St4におけるレコードセクション。(d) (c)に初動の読み取り値(赤点)をプロットした図。OBS記録には5–30 Hzのバンドパスフィルターをかけ、遠方での信号を検出するために、振幅は距離に比例して大きくなるようにプロットした。リダクション速度は3.5 km/sである。

海水中の音速度を求めたところ、最終的には1.52 km/sとなった。なお、今回は各測線にOBSが2台ずつしか配置されておらず、詳細な構造解析を実施するにはデータ量が非常に少ない。そのため、堆積層を除いてほぼ一定の速度を持つ層が積み重なる構造を仮定し、1つの層内では水平および垂直方向に速度が変化しない極めて単純なモデルの推定を実施した。また、屈折波初動到達後に確認される後続波および反射波の走時も考慮して速度構造を求めた。

## 4 結果

### 4.1 OBSで記録したレコードセクションの特徴

各OBSで得られたレコードセクションをFigs. 4–8に示す。Figs. 4–8は、固有周期4.5 Hzの速度地震計上下動成分(ch1)の記録に5–30 Hzのバンドパスフィルターをかけて作成した。各図で、(a)と(c)は観測記録、(b)と(d)は観測記録に屈折波初動の読み取り値を載せたものである。(a)–(d)はいずれも、縦軸は3.5 km/sのリダクション速度を適用した走時(秒)、横軸はOBSの設置位置とエアガン間のオフセット距離(km)である。各測線の特徴を下記項目で説

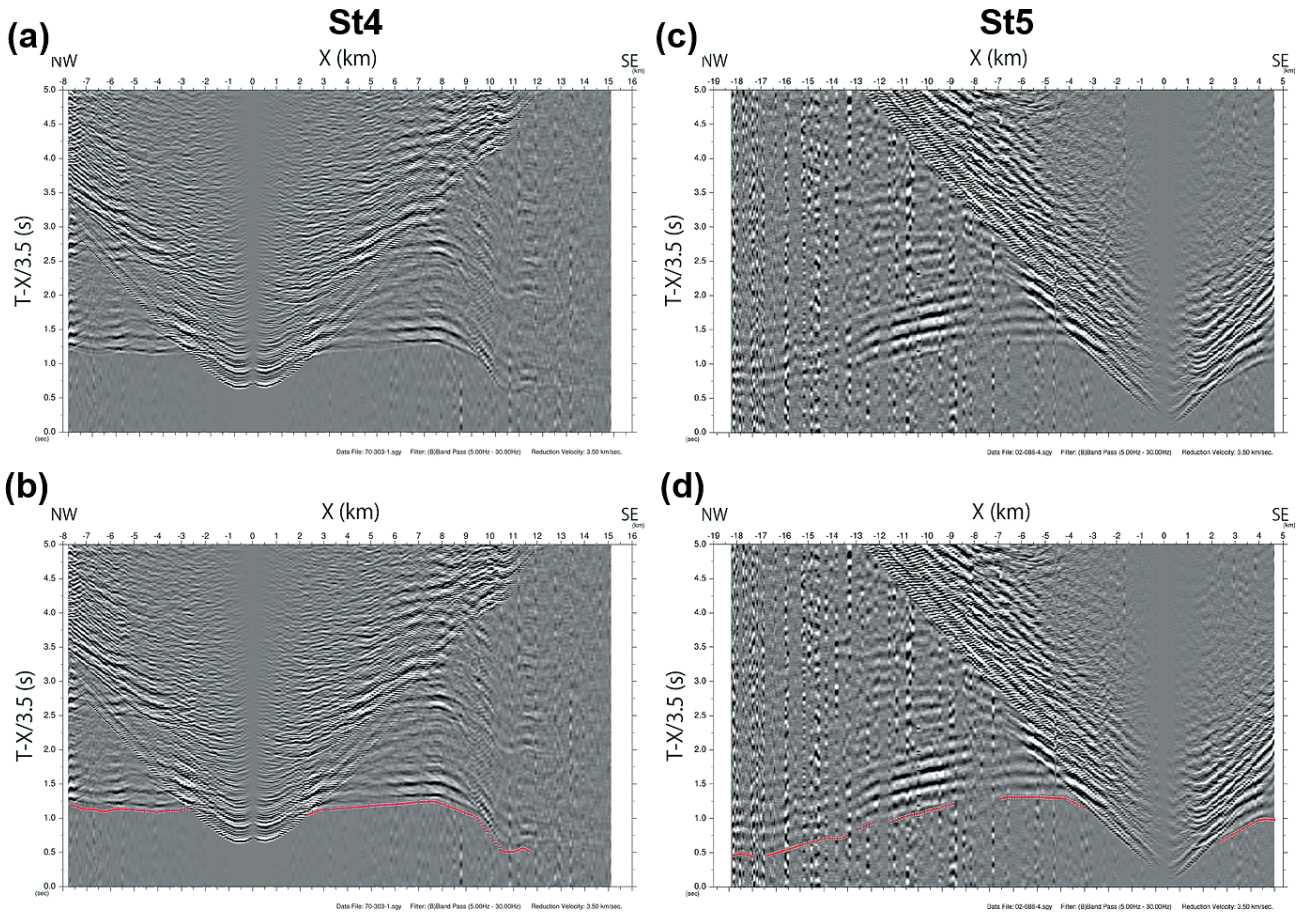


Fig. 5. OBS data observed along line S2. (a) vertical record section for St4, (b) travel time picks of first arrival times (red dots) on the record section (a), (c) vertical record section for St5, (d) travel time picks of first arrival times (red dots) on the record section (c). The OBS data were band pass filtered at 5–30 Hz. A gain factor proportional to distance has been used to enhance the distant seismograms. Reduction velocity is 3.5 km/s.

図5. S2測線における上下動地震計のレコードセクション。(a) St4におけるレコードセクション。(b) (a)に初動の読み取り値(赤点)をプロットした図。(c) St5における上下動地震計のレコードセクション。(d) (c)に初動の読み取り値(赤点)をプロットした図。OBS記録には5–30 Hzのバンドパスフィルターをかけ、遠方での信号を検出するために、振幅は距離に比例して大きくなるようにプロットした。リダクション速度は3.5 km/sである。

明する。

#### 4.1.1 S1 測線 (St4–St1 測線)

St1の記録と屈折波初動の読取りをFig. 4 (a)と(b)に、St4についてはFig. 4 (c)と(d)にそれぞれ示す。オフセット距離が正のときに南西側を示している。St1は当測線の北東側に設置しており、南西端からの測線距離は14.1 kmである。OBSの設置地点からのオフセット距離-5–+13 kmに初動が確認できた。また、St4は当測線の南西側に設置しており、南西端からの測線距離は5.6 kmである。オフセット距離-13–+5 kmに初

動が確認できており、S1測線上では全範囲で屈折波初動が確認された。

#### 4.1.2 S2 測線 (St4–St5 測線)

St4の記録および屈折波初動の読取りをFig. 5 (a)と(b)に、St5についてはFig. 5 (c)と(d)に示す。オフセット距離が正のときに南東側を示している。St4は当測線の北西側に設置しており、北西端からの測線距離は8.0 kmである。オフセット距離-8–+12 kmに初動が確認できた。また、St5は当測線の南東側に設置しており、北西端からの測線距離は18.1 kmである。OBSの設置位

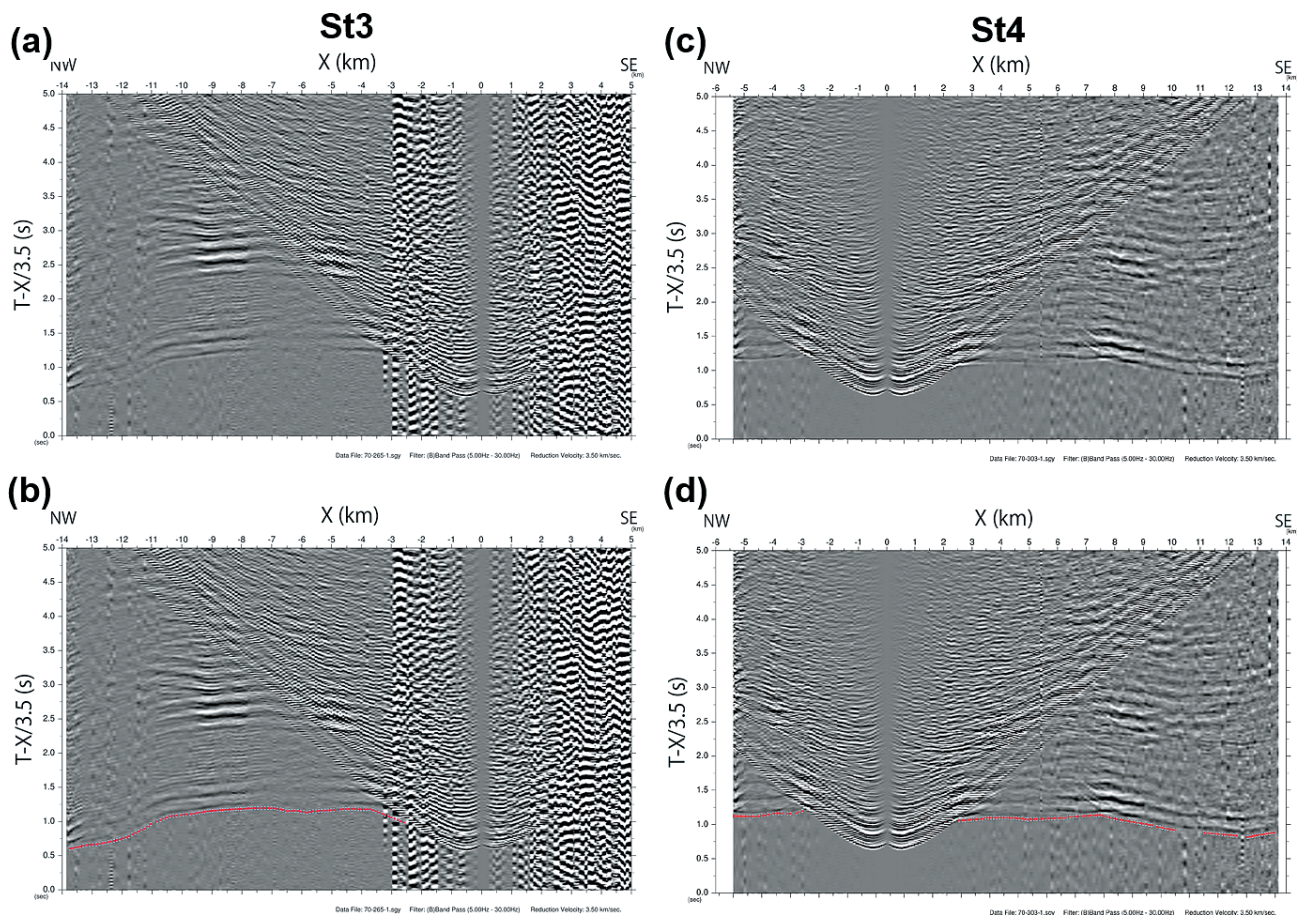


Fig. 6. OBS data observed along line S3. (a) vertical record section for St3, (b) travel time picks of first arrival times (red dots) on the record section (a), (c) vertical record section for St4, (d) travel time picks of first arrival times (red dots) on the record section (c). The OBS data were band pass filtered at 5–30 Hz. A gain factor proportional to distance has been used to enhance the distant seismograms. Reduction velocity is 3.5 km/s.

図 6. S3 測線における上下動地震計のレコードセクション. (a) St3 におけるレコードセクション. (b) (a) に初動の読み取り値 (赤点) をプロットした図. (c) St4 におけるレコードセクション. (d) (c) に初動の読み取り値 (赤点) をプロットした図. OBS 記録には 5–30 Hz のバンドパスフィルターをかけ、遠方での信号を検出するために、振幅は距離に比例して大きくなるようにプロットした. リダクション速度は 3.5 km/s である.

置を決定するために、投入後本船からの水中音波による距離測定を実施している. St5 は他の OBS に比べて測距データのばらつきが大きく、設置位置の推定の誤差が大きくなった. St5 の設置地点は西之島南海丘の頂上付近にあたり、水深が浅く海底の起伏が大きかったことから、周囲の地形からの反射や多重反射の信号を拾ってしまい、位置決め誤差が大きかったと推定される. 得られたレコードセクションはオフセット距離の誤差が大きいことを解析時には留意する必要がある. オフセット距離 -18 +5 km に屈折波初動が確認できているが、-18 -3 km の範囲では部分的に信号

が確認できない範囲もある.

#### 4.1.3 S3 測線 (St3–St4 測線)

St3 の記録と屈折波初動の読取を Fig. 6 (a) と (b) に、St4 については Fig. 6 (c) と (d) に示す. オフセット距離が正のときに南東側を示している. St3 は当測線の南東側に設置してあり、北西端からの測線距離は 13.5 km である. オフセット距離 -14 -3 km の範囲で初動が確認できているが、St3 の東側は雑信号が多くほとんど屈折波の信号を読み取ることができなかった. また、St4 は当測線の北西側に設置してあり、北西端か

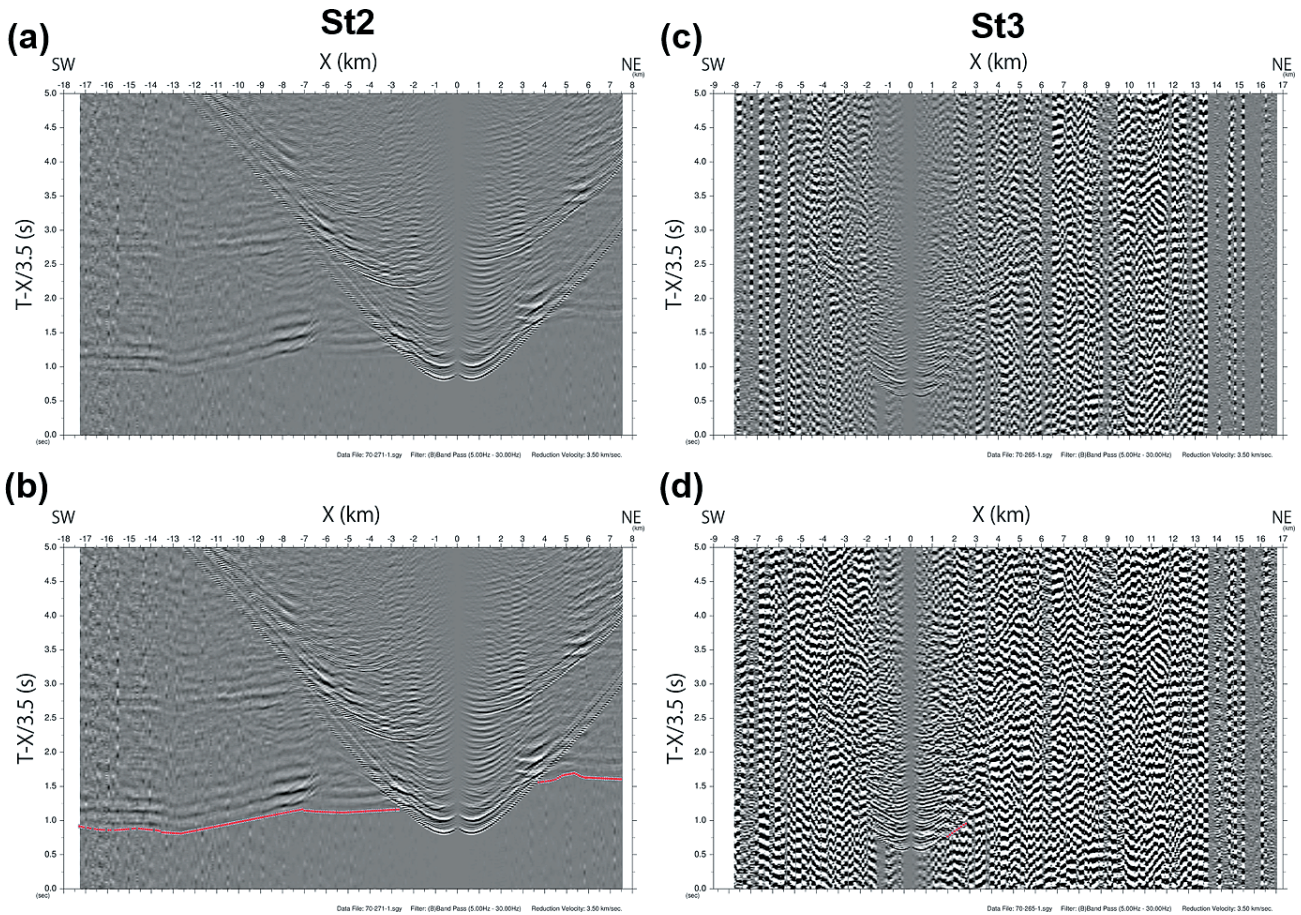


Fig. 7. OBS data observed along line S4. (a) vertical record section for St2, (b) travel time picks of first arrival times (red dots) on the record section (a), (c) vertical record section for St3, (d) travel time picks of first arrival times (red dots) on the record section (c). The OBS data were band pass filtered at 5–30 Hz. A gain factor proportional to distance has been used to enhance the distant seismograms. Reduction velocity is 3.5 km/s.

図 7. S4 測線における上下動地震計のレコードセクション. (a) St2 におけるレコードセクション. (b) (a) に初動の読み取り値 (赤点) をプロットした図. (c) St3 におけるレコードセクション. (d) (c) に初動の読み取り値 (赤点) をプロットした図. OBS 記録には 5–30 Hz のバンドパスフィルターをかけ、遠方での信号を検出するために、振幅は距離に比例して大きくなるようにプロットした. リダクション速度は 3.5 km/s である.

らの測線距離は 5.3 km である. オフセット距離  $-5 + 13$  km で初動が確認できており, S3 測線上では全範囲で屈折波初動が確認された.

#### 4.1.4 S4 測線 (St2–St3 測線)

St2 の記録および屈折波初動の読取りを Fig. 7 (a) と (b) に, St3 については Fig. 7 (c) と (d) に示す. オフセット距離が正のときに北東側を示している. St2 は当測線の北東側に設置してあり, 南西端からの測線距離は 17.2 km である. オフセット距離  $-17 + 7$  km に初動が確認できた. また, St3 は当測線の南西側に設置してあり, 南西

端からの測線距離は 8.0 km である. St3 の観測記録では雑信号が多く, エアガンからの波の伝播がほとんど確認できなかった. 屈折波初動が確認できたのは,  $-2 + 2$  km の範囲のみとなった.

#### 4.1.5 S5 測線 (St1–St2 測線)

St1 の記録と屈折波初動の読取りを Fig. 8 (a) と (b) に, St2 については Fig. 8 (c) と (d) に示す. オフセット距離が正のときに南東側を示している. St1 は当測線の北西側に設置してあり, 南東端からの測線距離は 4.6 km である. オフセット距離  $-12 + 4$  km に初動が確認できた. また,



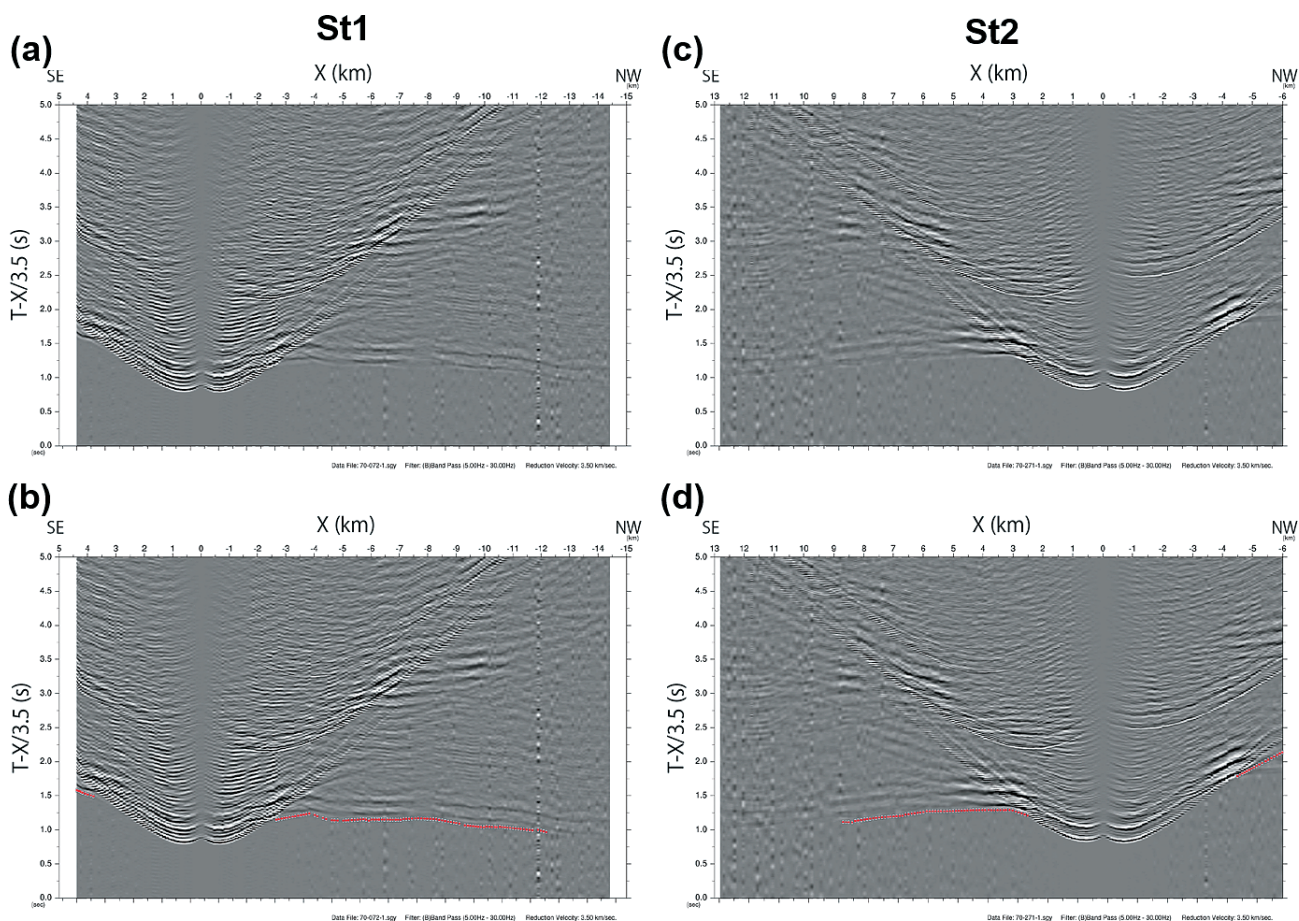


Fig. 8. OBS data observed along line S5. (a) vertical record section for St1, (b) travel time picks of first arrival times (red dots) on the record section (a), (c) vertical record section for St2, (d) travel time picks of first arrival times (red dots) on the record section (c). The OBS data were band pass filtered at 5–30 Hz. A gain factor proportional to distance has been used to enhance the distant seismograms. Reduction velocity is 3.5 km/s.

図 8. S5 測線における上下動地震計の記録セクション。(a) St1 における記録セクション。(b) (a) に初動の読み取り値 (赤点) をプロットした図。(c) St2 における記録セクション。(d) (c) に初動の読み取り値 (赤点) をプロットした図。OBS 記録には 5–30 Hz のバンドパスフィルターをかけ、遠方での信号を検出するために、振幅は距離に比例して大きくなるようにプロットした。リダクション速度は 3.5 km/s である。

St2 は当測線の南東側に設置してあり、南東端からの測線距離は 13.1 km である。オフセット距離 -6 +9 km に屈折波初動が確認できた。

#### 4.2 各測線の P 波速度構造モデル

フォワードモデリングから推定された P 波速度構造モデルを Figs. 9–12 に示す。縦軸は海面からの深さ (km)、横軸は測線距離 (km) を示す。

S4 測線は St3 の記録に雑信号が多く、屈折波の走時が読み取れなかったため構造モデルを求めることができなかった。S4 を除いた 4 測線で推

定された速度構造の特徴は以下の通りである。

① 4 測線で推定された速度構造は、屈折波初動走時の見かけ速度の傾きの変化、および後続反射波の信号に基づき、いずれも浅部より最上部堆積層、3.4 km/s 層、4.7 km/s 層、6.0 km/s 層の 4 層に分けることができる。各測線において推定された構造モデルに対して、屈折波初動の計算走時曲線を緑色、最上部堆積層と 3.4 km/s 層間からの反射波の計算走時曲線を青色、3.4 km/s 層と 4.7 km/s 層間の反射波をピンク色、4.7 km/s 層と 6.0 km/s 層間の反射波をオレンジ色で、Figs. 9–12 の (c), (d) に示した。

②最上部にある堆積層は、P波速度は概ね1.9–2.1 km/sとなっている。厚さは約1 kmであるが、測線を通して一様な厚さを示している測線と、厚さに変化がある測線に分かれている。

③堆積層の下にある層は、速度3.4–3.5 km/sのほぼ定速度層となった。厚さは1–2 kmで測線ごとにばらつきが見られる。

④3.4 km/s層の下位には、速度4.7 km/sの一定層の存在が認められた。厚さは1–2 kmであるが、堆積層や3.4 km/s層よりも4.7 km/s層が厚い測線が多い。

⑤OBSの記録セクションにおいて、オフセット距離約10 km以遠では、屈折波初動の見かけ速度の傾きの変化（例えば、Fig. 10 (d)のオフセット距離–18 kmから–14 kmの範囲、Fig. 11 (d)の–14 kmから–10 kmの範囲、Fig. 12 (c)の9 km–14 kmの範囲）が見られる。また、例えば、Fig. 12 (c)のオフセット距離8–10 kmで、オレンジ色の計算走時に合わせたように4.7 km/s層底部からの反射波が確認され、4.7 km/s層下にさらに速度の速い層が存在していると推定された。この層は、速度6.0 km/sとすることで説明することが可能である。しかし、測線上の2台のOBSに対する波線図（Fig. 12b）を見ると、6.0 km/s層を通過した屈折波の波線が2台のOBSで重なる範囲が狭く、測線の中央部のみに限定されていることから、中央部以外の範囲においては推定精度が低い。また、Figs. 9–12のオレンジ色の計算走時曲線で示している信号よりも後に到達した反射波の信号が確認できなかったため、この層の下端の深さと速度は決定できなかった。

⑥堆積層（海底面）から4.7 km/s層までの厚さは、概ね3–4 kmである。

各測線の詳細な特徴については、下記項目で説明する。

#### 4.2.1 S1 測線 (St4–St1 測線)

S1 測線は西之島の北西側を通る北東–南西方向の測線で、水深範囲は0.70–1.90 kmである。測線の中央部が浅く、北東端・南西端に向かうに

つれて水深が深くなる。測線南西端から約8 kmのところには比高400 m程度の高まりが確認されている。

この測線の速度構造（Fig. 9 (a)）は、海底地形と同様に中央部が浅い山なりの形状をしている。厚さは堆積層・3.4 km/s層が0.5–1 km、4.7 km/s層が1.0–1.5 kmであるが中央部が極端に薄く約0.4 kmである。4.7 km/s層までの厚さは測線中央部を除いて3.5 km、測線中央部では1.5 kmとなった。4.7 km/s層までの厚さが非常に薄い部分は、測線南東端から約8 kmのところのみみられる高まりと一致する。この領域下では、モデルの4.7 km/s層と6 km/s層が上昇しており、火山性物質の存在に対応すると推定される。

#### 4.2.2 S2 測線 (St4–St5 測線)

S2 測線は西之島の南西側と西之島南海丘の直上を通る北西–南東方向の測線で、水深は0.41–1.53 kmである。水深は、西之島南海丘の周辺が浅くなっているが、測線を通して約1.1 kmではほぼ平らである。測線の北西端は約1.5 kmと少し深くなっている。

速度構造モデル（Fig. 10 (a)）は、西之島南海丘の直下でP波速度4.7 km/s層が浅いところまで貫入していることが特徴的である。堆積層の厚さは測線を通して約1 kmであるが、測線北西端と西之島南海丘の直下で0.1–0.2 kmと非常に薄い。P波速度3.4–3.5 km/s層の厚さは、測線南東端で0.8 kmであることを除くと、概ね1.5 kmの厚さを持つ。4.7 km/s層の厚さは測線全体で大きな変化はなく、約2.5 kmである。ただし、4.7 km/s層を通過する波が少なく、測線の端は波線が通ってない部分も多いため、4.7 km/s層の下側境界の形状は必ずしも明確になっていない。4.7 km/s層までの厚さは測線全体で約4.5–5.0 kmである。

#### 4.2.3 S3 測線 (St3–St4 測線)

S3 測線は西之島の南西側を通る北西–南東方向の測線で、水深は0.78–1.68 kmである。S2 測

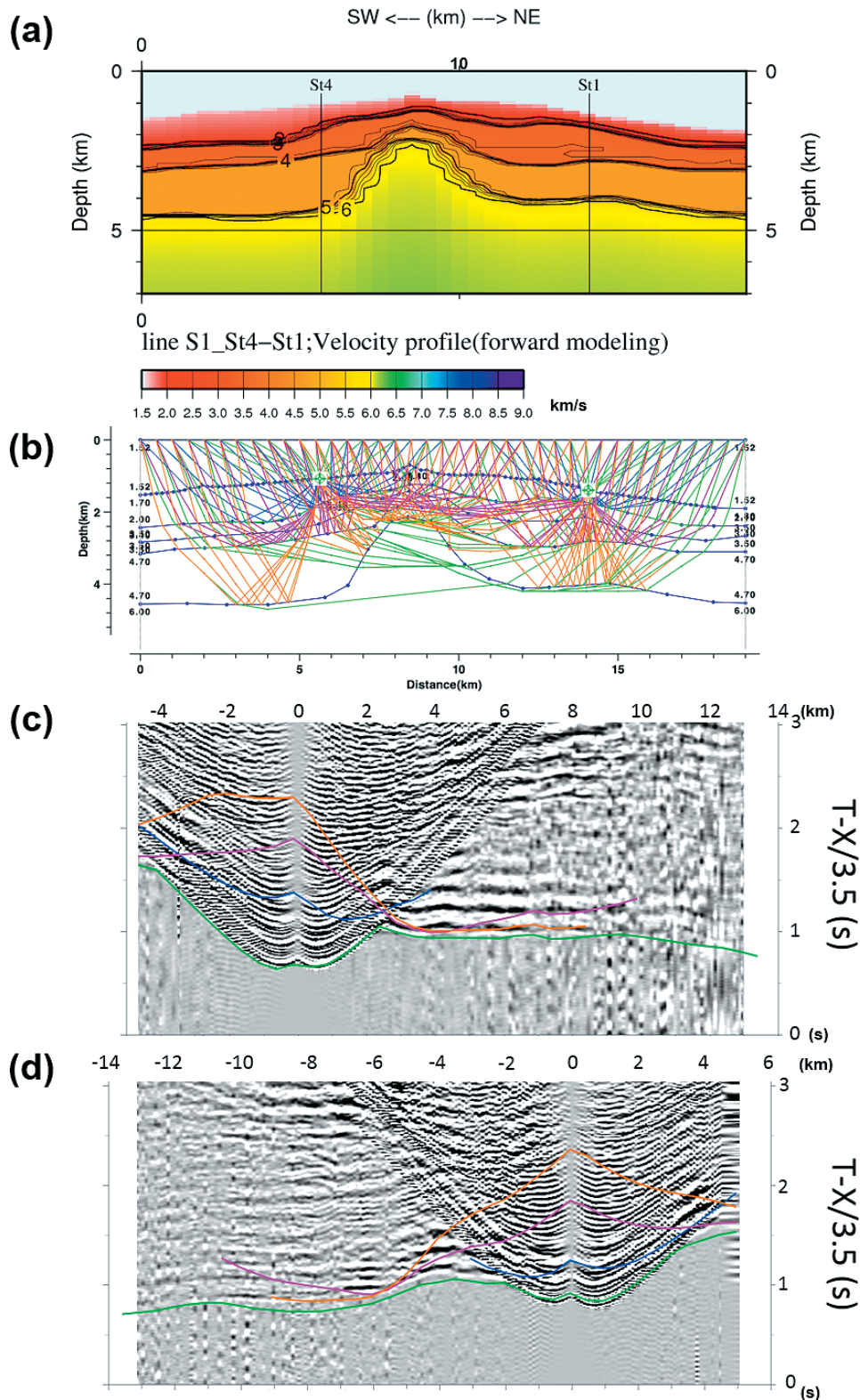


Fig. 9. (a) P-wave velocity model for line S1. The contours show the velocity of every 0.25 km/s from 2.0 to 6.0 km/s. (b) Ray diagram for St1 and St4. The blue lines indicate the interfaces between each layer in the structure. (c) Calculated travel times for the P-wave velocity model in (a) on the record section obtained at St4. (d) Same as (c) for St1.

図9 (a) S1 測線の P 波速度構造モデル。コンターは、0.25 km/s ごとの等速度線を示す (2-6 km/s の範囲)。 (b) 2つの OBS に対する波線図。青線は、各層の境界線を示す。 (c) St4 で得られた記録セクション上に計算走時をプロットしたもの。 (d) St1 で得られた記録セクション上に計算走時をプロットしたもの。

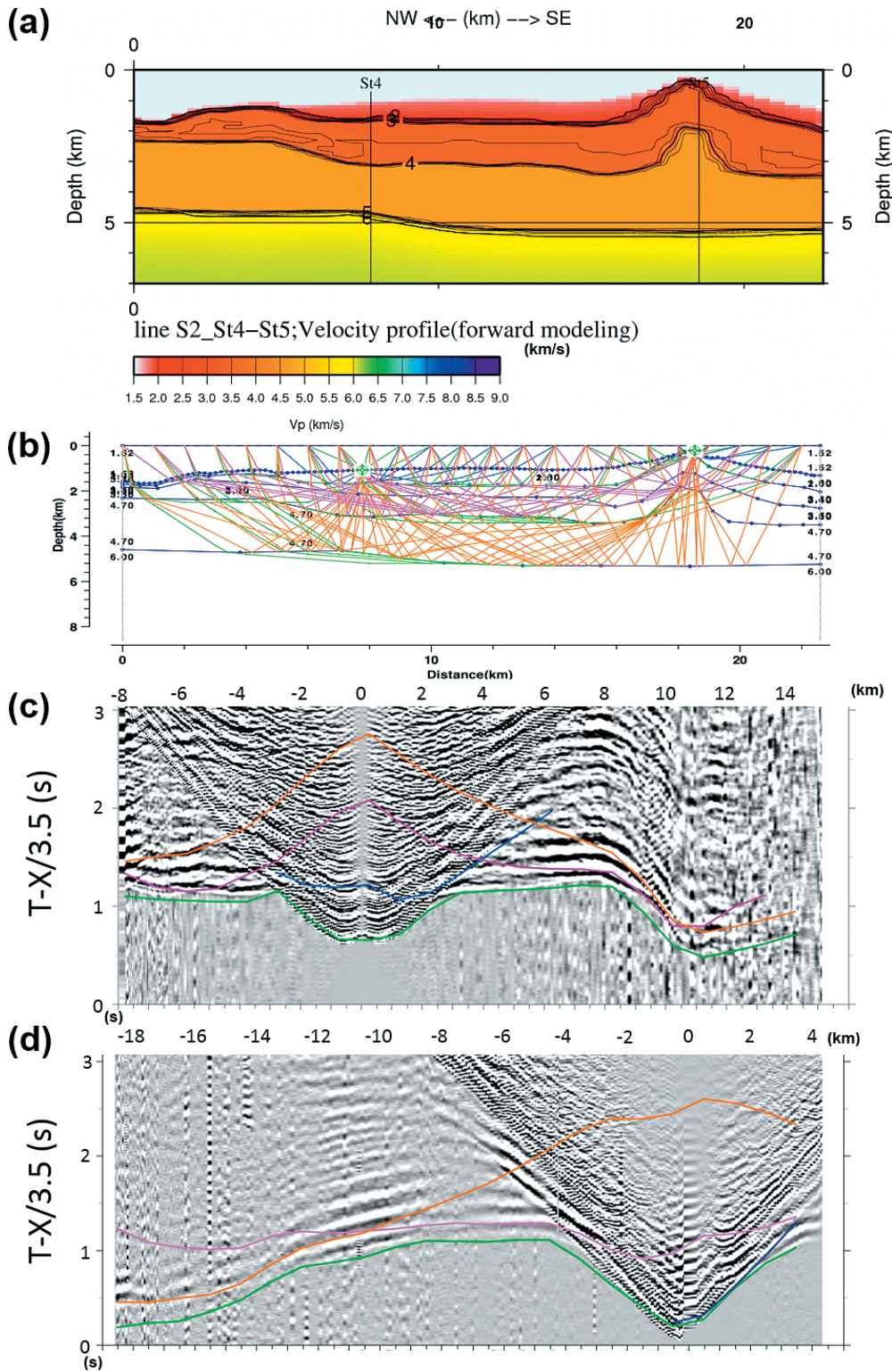


Fig. 10. (a) P-wave velocity model for line S2. The contours show the velocity of every 0.25 km/s from 2.0 to 6.0 km/s. (b) Ray diagram for St4 and St5. The blue lines indicate the interfaces between each layer in the structure. (c) Calculated travel times for the P-wave velocity model in (a) on the record section obtained at St4. (d) Same as (c) for St5.

図 10. (a) S2 測線の P 波速度構造モデル。コンターは、0.25 km/s ごとの等速度線を示す (2–6 km/s の範囲)。 (b) 2 つの OBS に対する波線図。青線は、各層の境界線を示す。 (c) St4 で得られた記録セクション上に計算走時をプロットしたもの。 (d) St5 で得られた記録セクション上に計算走時をプロットしたもの。

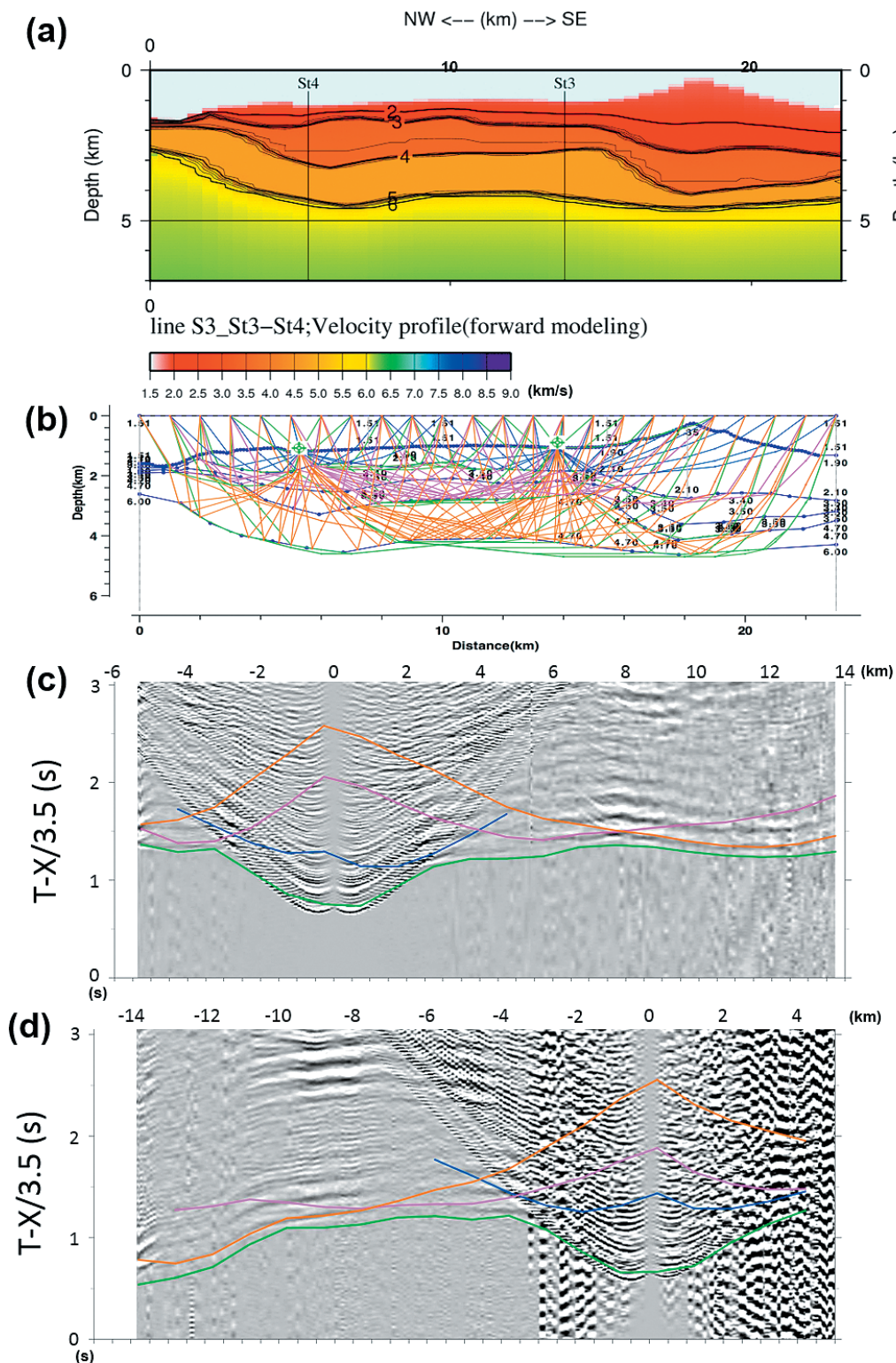


Fig. 11. (a) P-wave velocity model for line S3. The contours show the velocity of every 0.25 km/s from 2.0 to 6.0 km/s. (b) Ray diagram for St3 and St4. The blue lines indicate the interfaces between each layer in the structure. (c) Calculated travel times for the P-wave velocity model in (a) on the record section obtained at St4. (d) Same as (c) for St3.

図 11. (a) S3 測線の P 波速度構造モデル。コンターは、0.25 km/s ごとの等速度線を示す (2-6 km/s の範囲)。 (b) 2つの OBS に対する波線図。青線は、各層の境界線を示す。 (c) St4 で得られた記録セクション上に計算走時をプロットしたもの。 (d) St3 で得られた記録セクション上に計算走時をプロットしたもの。

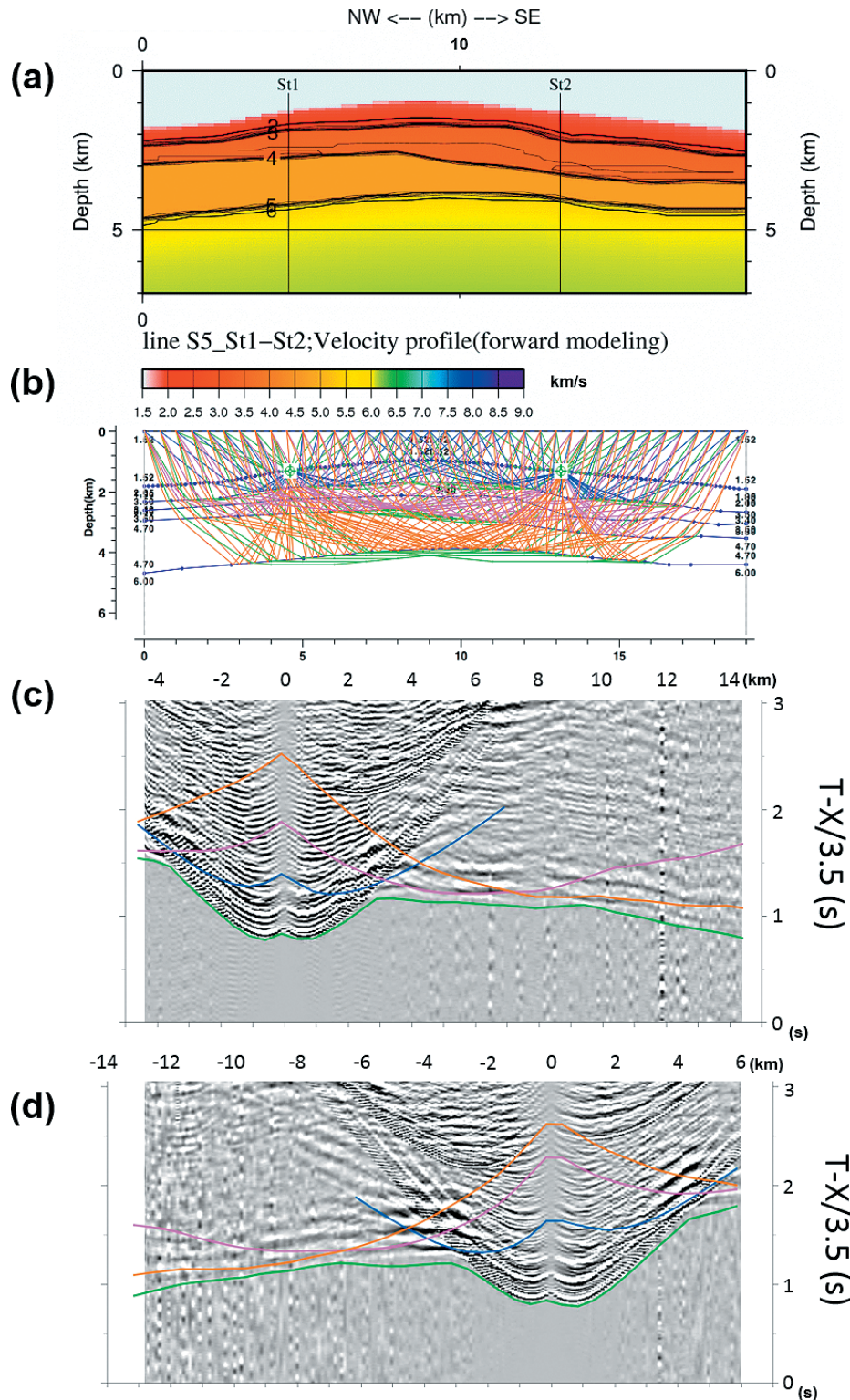


Fig. 12. (a) P-wave velocity model for line S5. The contours show the velocity of every 0.25 km/s from 2.0 to 6.0 km/s. (b) Ray diagram for St1 and St2. The blue lines indicate the interfaces between each layer in the structure. (c) Calculated travel times for the P-wave velocity model in (a) on the record section obtained at St1. (d) Same as (c) for St2.

図 12. (a) S5 測線の P 波速度構造モデル。コンターは、0.25 km/s ごとの等速度線を示す (2-6 km/s の範囲)。 (b) 2 つの OBS に対する波線図。青線は、各層の境界線を示す。 (c) St1 で得られた記録セクション上に計算走時をプロットしたもの。 (d) St2 で得られた記録セクション上に計算走時をプロットしたもの。

線同様、西之島南海丘の周辺が浅くなっているが、測線の中央部は水深約 1.1 km でほぼ平らになっている。

速度構造モデル (Fig. 11 (a)) は、西之島南海丘斜面の高まりの下では、S1 や S2 測線で得られたような地形の高まり下での高速度域の上昇が見られない。堆積層は測線を通して厚さの変化が大きく、測線北西端の斜面では 0.1–0.2 km と非常に薄いにもかかわらず、南東側の高まりでは約 3 km と厚くなっている。測線の両端を除いた範囲の厚さは、約 1 km である。3.4 km/s 層は起伏が大きく、厚さは一様ではない。測線北西端では 0.4–0.8 km、北西端から 6 km の最も厚い部分では 2.5 km、St3 の直下では約 1 km、南東端では 1.5 km である。4.7 km/s 層の厚さは概ね 1.2 km 程度であるが、南東側の高まりの直下では約 0.5 km と推定された。4.7 km/s 層までの厚さは北西端で 2.5 km、その他の範囲では約 3.2 km である。本測線南東側の高まりは、西之島の中心部から約 5 km、西之島南海丘の中心部から 2 km 程度離れた場所にある。西之島と西之島南海丘を結ぶ線上には、火砕丘を伴う火口状の地形が連なっていることより (小野・他, 2018)、この高まり周辺では以前の火山活動で放出された火砕物が堆積していると推定される。加えて、西之島や西之島南海丘周辺から運ばれた堆積物等が集積されていると考えられ、高まりの直下では比較的 P 波速度が遅くなっていると考えられる。最上部堆積層も含めて、各層がどのような物質から成っているかを検討するのは、今後の課題である。

#### 4.2.4 S5 測線 (St1–St2 測線)

S5 測線は西之島の北東側を通る北西–南東方向の測線で、水深は 0.95–1.90 km である。海底地形は S1 測線と類似した特徴を持ち、測線の中央部が浅く、北西端・南東端に向かうにつれてならだかに水深が深くなる。

この測線の速度構造モデル (Fig. 12 (a)) では、等速度線は、海底地形と同様に中央部が浅い山なりの形状をしており、起伏はほぼ見られない。厚

さは堆積層が約 0.5 km、3.4 km/s 層が 1.0–1.5 km、4.7 km/s 層が 1.0–2.0 km であるが中央部が極端に薄く約 0.4 km の厚さである。4.7 km/s 層までの厚さは 3–4 km となった。

## 5 まとめ

2015 年 6 月から 7 月にかけて行われた平成 27 年度海域火山基礎情報図調査「西之島」において、人工震源としてエアガンアレイ、受信器として OBS を使用した浅部地震波速度構造調査を実施した。西之島周辺に設定した 4 測線の P 波速度構造は、ほぼ一定速度層から成る 4 層モデルで表すことができた。各層の P 波速度は、約 2.0 km/s の最上部の堆積層から深部へ 3.4–3.5 km/s、4.7 km/s、6.0 km/s であり、堆積層から 4.7 km/s 層までの全体の厚さは概ね 3–4 km である。西之島北西およそ 5 km にある地形の高まりと西之島南海丘直下において、周辺よりも上昇した高速度域 (ここでは 4.7 km/s 層) の存在が検出できた。本調査結果は、今後の震源決定精度向上のための観測点補正の推定等に貢献できると考えられる。なお今回の解析では、堆積層を除き、1 つの層内では水平および垂直方向に速度が変化しない極めて単純なモデルの推定を実施した。火山体の構造は 3 次元的に不均質であるため、不均質性を反映させたより詳細な構造を推定するには、OBS を密に設置しさらに多くのデータを取得することが必要と考えられる。

## 謝 辞

本調査にあたり、測量船「昭洋」の船長を始め乗組員の方々には、調査機器の運用を安全に遂行していただいたことに感謝いたします。また、技術・国際課の森下泰成地震調査官 (現 第三管区海上保安本部海洋情報部長)、海洋調査課海洋防災調査室の小野智三海洋防災調査官 (現 海上保安学校)、濱崎翔五海洋防災調査官付 (現 海上保安大学校)、高橋日登美海洋防災調査官付 (現 技術・国際課) には、測量船「昭洋」に乗船し、現地で適切に調査機器を運用し貴重なデータを取

得していただきました。匿名の査読者には、原稿を改善するために有益な助言をいただきました。海底地形図や航跡図の作成には GMT (Generic Mapping Tools; Wessel and Smith, 1998) を使用しました。ここに記して感謝いたします。

## 文 献

- Fujie, G., J. Kasahara, T. Sato, and K. Mochizuki (2000) Traveltime and raypath computation: a new method in a heterogeneous medium, *J. Soc. Explor. Geophys. Jpn.*, 53, 1-11.
- Kubota, R., E. Nishiyama, K. Murase, and J. Kasahara (2009) Traveltime estimation of first arrivals and later phases using the modified graph method for a crustal structure analysis, *Explor. Geophys.*, 40, 105-113.
- 西澤あずさ・小野智三・大谷康夫・古川博康 (2000) 明神礁における海底地震観測, 水路部研究報告, 36, 37-56.
- 西澤あずさ・小野智三・大谷康夫・志岐俊郎 (2001) 2000年7月の三宅島・神津島・新島近海における海底地震観測 (速報), 水路部研究報告, 37, 57-71.
- 西澤あずさ・小野智三・坂本平治・松本良浩・大谷康夫 (2002) 福徳岡ノ場における海底地震観測, 水路部研究報告, 38, 101-124.
- 岡田千明・小野智三・濱崎翔五・高橋日登美・森下泰成・糸井洋人・田代俊治・西澤あずさ (2016) 西之島における海底地震観測速報, 海洋情報部研究報告, 53, 29-44.
- 小野智三・濱崎翔五・矢島広樹・伊藤弘志・野上健治 (2015) 西之島火山の2013-2014年噴火活動, 海洋情報部研究報告, 52, 56-78.
- 小野智三・佐藤泉・森下泰成・福山一郎・吉岡真一・中村圭佑・山野寛之・白根宏道・小川遥・山川峻・野上健治 (2018) 2013-2015年噴火活動による西之島火山の地形変化, 海洋情報部研究報告, 55, 77-84.
- Wessel, P. and W. H. F. Smith (1998) New, improved version of the Generic Mapping

Tools released, *EOS Trans. AGU*, 79, 579.

## 要 旨

2013年11月におよそ40年ぶりに火山活動を開始し、断続的に活発な噴火活動を繰り返す伊豆・小笠原島弧の火山フロント上にある西之島火山周辺域において、2015年7月に浅部地震波速度構造調査を実施した。西之島火山を取り巻く4測線において、一定速度4層 (最浅部から深部へ約2.0 km/s, 3.4-3.5 km/s, 4.7 km/s, 6.0 km/s) からなる単純なP波速度構造モデルを推定した。西之島北西およそ5 kmにある地形の高まりと西之島南海丘直下において、高速度域 (ここでは4.7 km/s層) の上昇を検出した。