

## 1999年伊豆大島における人工地震探査 —観測および初動走時データによる3次元地震波速度構造—

渡辺秀文<sup>1)</sup>・鍵山恒臣<sup>1)</sup>・坂下至功<sup>1)</sup>・及川 純<sup>1)</sup>・大湊隆雄<sup>1)</sup>・小山悦郎<sup>1)</sup>・辻 浩<sup>1)</sup>・  
宗包浩志<sup>1)</sup>・松下誠司<sup>1)</sup>・萩原道徳<sup>1)</sup>・竹田豊太郎<sup>1)</sup>・長田 昇<sup>1)</sup>・井本良子<sup>1)</sup>・青山 裕<sup>1)</sup>・  
浜田盛久<sup>1)</sup>・趙 燕来<sup>1)</sup>・Mossa Hesham<sup>1)</sup>・福満修一郎<sup>2)</sup>・青木重樹<sup>2)</sup>・藤原健治<sup>3)</sup>・  
池田 靖<sup>4)</sup>・加治屋秋実<sup>4)</sup>・安藤 忍<sup>4)</sup>・亀井 守<sup>4)</sup>・古田雅和<sup>4)</sup>・浅沼光輝<sup>4)</sup>・佐藤勝良<sup>4)</sup>・  
山賀一章<sup>4)</sup>・石脇 誠<sup>4)</sup>・広瀬淳司<sup>4)</sup>・干場三寛<sup>4)</sup>・福田 直<sup>4)</sup>・坂 勝仁<sup>4)</sup>・森 濟<sup>5)</sup>・  
勝俣 啓<sup>5)</sup>・前川徳光<sup>5)</sup>・岡田 弘<sup>5)</sup>・田中 聡<sup>6)\*</sup>・山脇輝夫<sup>6)</sup>・仁田交市<sup>6)</sup>・橋野弘憲<sup>6)</sup>・  
野津憲治<sup>7)</sup>・Pedro A. Hernandez<sup>7)</sup>・下池洋一<sup>7)</sup>・R. Noemi Lima<sup>7)</sup>・野上健治<sup>8)</sup>・平林順一<sup>8)</sup>・  
鈴木 隆<sup>8)</sup>・熊谷博之<sup>9)</sup>・奥田 隆<sup>9)</sup>・戸松稔貴<sup>9)</sup>・河村 将<sup>9)</sup>・松島 健<sup>10)</sup>・栗山 都<sup>10)</sup>・  
永野 一<sup>10)</sup>・高木朗充<sup>10)</sup>・筒井智樹<sup>11)</sup>・須藤靖明<sup>11)</sup>・吉川 慎<sup>11)</sup>・吉川美由紀<sup>11)</sup>・  
John Macario Londono<sup>11)</sup>・井口正人<sup>12)</sup>・為栗 健<sup>12)</sup>・Januar Herry Setiawan<sup>12)</sup>・  
宮町宏樹<sup>13)</sup>・平野舟一郎<sup>13)</sup>・水原健太郎<sup>13)</sup>・鶴我佳代子<sup>14)</sup>

<sup>1)</sup> 東京大学地震研究所・<sup>2)</sup> 気象庁地震火山部・<sup>3)</sup> 気象庁気象研究所・<sup>4)</sup> 気象庁大島測候所・<sup>5)</sup> 北海道大学  
大学院理学研究科・<sup>6)</sup> 東北大学大学院理学研究科・<sup>7)</sup> 東京大学大学院理学系研究科・<sup>8)</sup> 東京工業大学火山  
流体研究センター・<sup>9)</sup> 名古屋大学大学院理学研究科・<sup>10)</sup> 九州大学大学院理学研究院・<sup>11)</sup> 京都大学大学院  
理学研究科・<sup>12)</sup> 京都大学防災研究所・<sup>13)</sup> 鹿児島大学理学部・<sup>14)</sup> 核燃料サイクル機構  
ただし、所属は1999年10月時点のもの。

## Seismic Exploration at Izu-Oshima Volcano with Active Sources in 1999 —Outline of Experiment and Three-dimensional Seismic Velocity Structure Obtained from First Arrival Time Data—

Hidefumi Watanabe<sup>1)</sup>, Tsuneomi Kagiya<sup>1)</sup>, Shiko Sakashita<sup>1)</sup>, Jun Oikawa<sup>1)</sup>, Takao Ohminato<sup>1)</sup>,  
Etsuro Koyama<sup>1)</sup>, Hiroshi Tsuji<sup>1)</sup>, Hiroshi Munekane<sup>1)</sup>, Seiji Matsushita<sup>1)</sup>, Michinori Hagiwara<sup>1)</sup>,  
Toyotaro Takeda<sup>1)</sup>, Noboru Osada<sup>1)</sup>, Yoshiko Imoto<sup>1)</sup>, Hiroshi Aoyama<sup>1)</sup>, Morihisa Hamada<sup>1)</sup>,  
Yanlai Zhao<sup>1)</sup>, Mossa Hesham<sup>1)</sup>, Shuichiro Fukumitsu<sup>2)</sup>, Shigeki Aoki<sup>2)</sup>, Kenji Fujiwara<sup>3)</sup>,  
Yasushi Ikeda<sup>4)</sup>, Akimi Kajiya<sup>4)</sup>, Shinobu Ando<sup>4)</sup>, Mamoru Kamei<sup>4)</sup>, Masakazu Furuta<sup>4)</sup>,  
Mitsuteru Asanuma<sup>4)</sup>, Katsuyoshi Sato<sup>4)</sup>, Kazuaki Yamaga<sup>4)</sup>, Makoto Ishiwaki<sup>4)</sup>, Junji Hirose<sup>4)</sup>,  
Mitsuhiro Hoshiba<sup>4)</sup>, Naoshi Fukuda<sup>4)</sup>, Katsuhito Ban<sup>4)</sup>, Hitoshi Mori<sup>5)</sup>, Kei Katsumata<sup>5)</sup>,  
Tokumitsu Maekawa<sup>5)</sup>, Hiromu Okada<sup>5)</sup>, Satoru Tanaka<sup>6)\*</sup>, Teruo Yamawaki<sup>6)</sup>, Koichi Nida<sup>6)</sup>,  
Hironori Hashino<sup>6)</sup>, Kenji Notsu<sup>7)</sup>, Pedro A. Hernandez<sup>7)</sup>, Yoichi Shimoike<sup>7)</sup>, R. Noemi Lima<sup>7)</sup>,  
Kenji Nogami<sup>8)</sup>, Jun-ichi Hirabayashi<sup>8)</sup>, Takashi Suzuki<sup>8)</sup>, Hiroyuki Kumagai<sup>9)</sup>, Takashi Okuda<sup>9)</sup>,  
Toshitaka Tomatsu<sup>9)</sup>, Masashi Kawamura<sup>9)</sup>, Takeshi Matsushima<sup>10)</sup>, Miyako Kuriyama<sup>10)</sup>,  
Hajime Nagano<sup>10)</sup>, Akimichi Takagi<sup>10)</sup>, Tomoki Tsutsui<sup>11)</sup>, Yasuaki Sudo<sup>11)</sup>, Shin Yoshikawa<sup>11)</sup>,  
Miyuki Yoshikawa<sup>11)</sup>, John Macario Londono<sup>11)</sup>, Masato Iguchi<sup>12)</sup>, Takeshi Tameguri<sup>12)</sup>, Januar  
Herry Setiawan<sup>12)</sup>, Hiroki Miyamachi<sup>13)</sup>, Shuichiro Hirano<sup>13)</sup>, Kentaro Mizuhara<sup>13)</sup> and Kayoko  
Tsuruga<sup>14)</sup>

<sup>1)</sup> Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

<sup>2)</sup> Division of Earthquakes and Volcanoes, Japan Meteorological Agency

<sup>3)</sup> Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency

- 4) Oshima Observatory, Japan Meteorological Agency
- 5) Graduate School of Science, Hokkaido University
- 6) Graduate School of Science, Tohoku University
- 7) Graduate School of Science, The University of Tokyo
- 8) Volcanic Fluids Research Center, Tokyo Institute of Technology
- 9) Graduate School of Science, Nagoya University
- 10) Graduate School of Science, Kyushu University
- 11) Graduate School of Science, Kyoto University
- 12) Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University
- 13) Faculty of Science, Kagoshima University
- 14) The Japan Nuclear Cycle Development Institute

Affiliations are as of October, 1999

## Abstract

Seismic exploration at Izu-Oshima volcano was conducted from the end of October to the beginning of November, 1999. We deployed 256 temporary seismic stations and fired six artificial sources with dynamite. We carefully picked the first motions from the seismograms to obtain 1481 arrival times. Using these data, we inferred the 3D shallow seismic structure of Izu-Oshima volcano. However, we did not include the data that were obtained by the permanent stations in Izu-Oshima and those obtained by sea-shots. More data and further analyses are required to confirm the shallow structure of Izu-Oshima volcano.

**Keywords** : Izu-Oshima, seismic exploration, seismic tomography

## 1. はじめに

伊豆大島は東京から南南西に約 110 km の距離に位置し、北北西-南南東方向の長さが約 15 km、東北東-西南西方向の長さが約 9 km の大きさを持つ伊豆諸島で最大の島である (Fig. 1a)。同島は、主に玄武岩質マグマで形成された成層火山であり、山頂付近に直径 3-4 km のカルデラを持つ。伊豆大島における火山活動は、現在のカルデラ地形形成時期を基準に先カルデラ・カルデラ形成・後カルデラで区分される (川辺, 1998)。約 30,000-40,000 年前に先カルデラ火山古期山体を形成した海底噴火活動があり、約 20,000 年前から約 1,500 年前に先カルデラ火山新期山体が形成され、約 1,300-1,500 年前に山頂のカルデラが形成され、その後に中央火口丘である三原山が成長した (Nakamura, 1964 ; 川辺, 1998; 浜田, 2016)。火山爆発指数 (VEI) 4 と推定される 1777 年~1792 年の活動の噴火以降、最近 200-300 年間は VEI2~3 の噴火を 30~40 年間隔で繰り返し (例えば、川辺, 1998)、1986-1987 年の活動がこの規模の噴火としてはもっとも最近のものである (例えば、気象庁, 2013)。

活動期に入った火山においては、浅部における地震活動はマグマ貫入に伴うと考えられ、火山活動の推移を把握する上で重要な指標となりうる (例えば、山岡・他, 1988; Onizawa *et al.*, 2002; Tanaka *et al.*, 2002a)。しか

しながら、通常の地震観測網で震源決定に用いられる地震波速度構造は、必ずしも火山近傍には適応しておらず、マグマ活動に伴う震源の移動を追跡するために重要な情報となる震源の位置や深さについては、複雑な構造を持つ火山の下では真の値から大きくずれる可能性が指摘され、この問題を解決するためには、火山直下の複雑な構造を制御震源を用いた構造探査で推定することが有効である (例えば、Lomax *et al.*, 2001; 西・石原, 2003; Yamawaki *et al.*, 2004)。さらに、地震活動の発生場所は過去の火山活動によって貫入して冷えたマグマの位置や形状ならびに基盤構造と密接に関係することも指摘されており (例えば、Tanaka *et al.*, 2002b; Onizawa *et al.*, 2007; 森田・他, 2021)、火山地下浅部の構造を明らかにする意義は大きい。

これまでに伊豆大島では、噴火活動やマグマ供給系を理解しマグマ溜まりを検出するために、人工地震や自然地震を用いて地下構造調査が実施されてきた (例えば、田中・他, 1969; Ikami, 1978; 浅野・他, 1979; 伊藤・他, 1981; 長谷川・他, 1987; 伊神・他, 1989; Mikada *et al.*, 1997; Onizawa *et al.*, 2002; 伊東, 2004; 森田・他, 2021)。人工的な震源を用いた 2 次元地震波速度構造解析結果からは、山体中央部直下における基盤の盛り上がり が指摘されている (例えば、長谷川・他, 1987; 伊

神・他, 1989; 伊東, 2004; 森田・他, 2021). 自然地震による3次元構造解析からは島の中央部浅部をほぼ南北に走る地震波高速度帯の存在 (Onizawa *et al.*, 2002) が指摘され, 自然地震の後続波によって深さ約 10 km における地震波散乱帯 (Mikada *et al.*, 1997) が検出されている.

これらの多くは陸上での観測網による研究成果だが, 伊豆大島とその周辺における海陸合同の探査が 1999 年と 2009 年に実施され, 2009 年の経緯と成果は森田・他 (2021) によって報告されている. 一方, 1999 年の探査については, 伊東 (2004) によって成果の一部が報告されたにとどまっており, 実施から 20 年以上経った今日でも全体像については未報告である. ここでは, 陸域のデータを取りまとめたので報告する. まだ, 当時の定常観測網によるデータや海域データなど, 埋もれているデータがあるが, 手許にあるデータを用いて伊豆大島地下浅部の 3 次元 P 波速度構造を推定したので合わせて報告する.

## 2. 人工地震探査の概要

1999 年に実施された人工地震探査の目標は, 1) 深さ

1~2 km までの浅部 3 次元地震波速度・減衰構造の推定, 2) 伊豆大島を北北西-南南東に横切る深さ数キロメートル程度までの 2 次元地震波速度構造, 3) 伊豆大島カルデラ下の異常領域 (例えば, Mikada *et al.*, 1997) からの反射波・散乱波の検出である. これらの目的を達成するために, 1999 年 10 月 28 日から 30 日に伊豆大島島内の 256 地点に地震計を設置し, 10 月 31 日未明に Fig. 1b に示す 6 地点で陸上爆破を実施した.

爆破点は大島を北西-南東に縦断する線上に 4 点, およびそれと直交する方向の南西沿岸および北東沿岸の 2 点に設定した. 爆破点の座標は GPS のクイックスタティック測量とトータルステーションの併用で決めた. 爆破孔は, 直径 100 mm 以上, 深さ 40 m (S3, S4, S5, S6) または 45 m (S1, S2) であり, 外形 114.3 mm, 厚さ 4.5 mm の鋼管で孔底までケーシングされている. 使用した爆薬は 250 kg (S1, S2) または 200 kg (S3, S4, S5, S6) の海底発破用爆薬で, 各爆破孔底部まで装填後, 予定時刻に爆破された. 各爆破点の番号, ロガー番号, 緯度, 経度, 標高, 爆破時刻を Table 1 に示す. 爆破に関する爆破孔の掘削および爆破作業は応用地質株式会社 が請け負った.

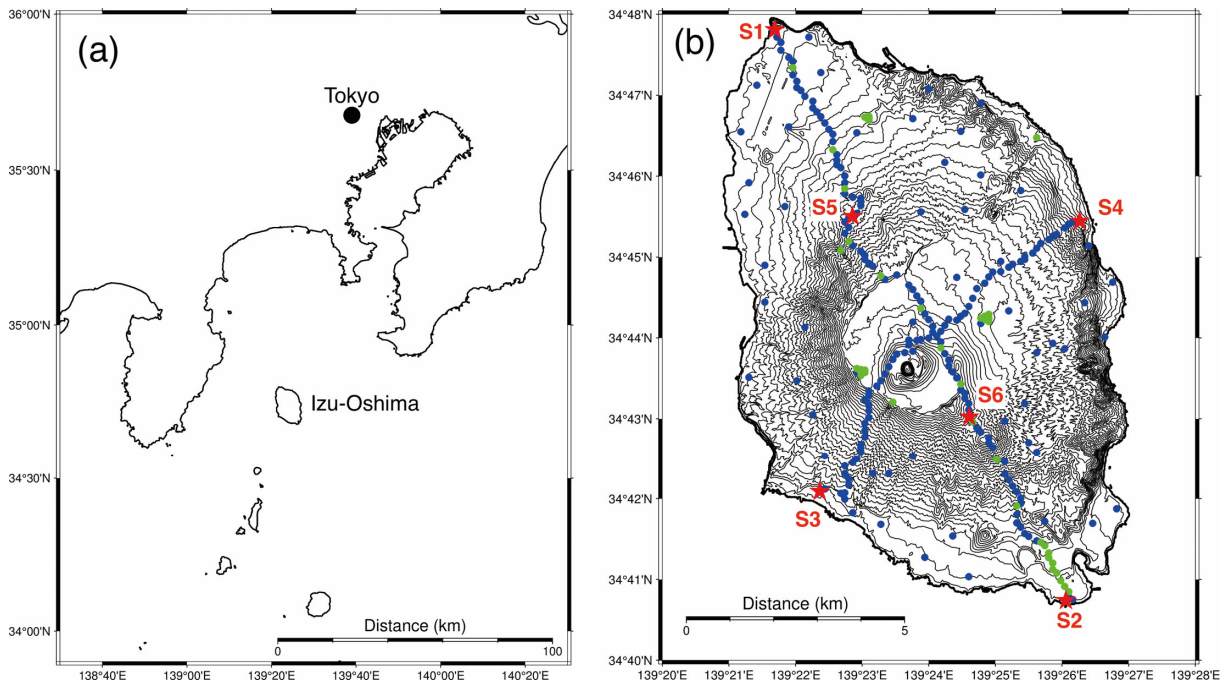


Fig. 1. (a) Location of Izu-Oshima island south of central Tokyo. (b) Geographical configuration of the seismic experiment on Izu-Oshima island. Blue and green circles are temporary stations with one and two or three components, respectively. Red stars represent shot points. Topography data are taken from Geospatial Information Authority of Japan. Contour interval is 20 m.

Table 1. Shot locations, times, and charge sizes of 6 explosions. Coordinates are given in WGS84.

Shot	Data logger	Lat. (WGS)			Long. (WGS)			E. Height (m) (WGS)	Shot time		Charge (kg)
		Degree	Minute	Second	Degree	Minute	Second		Date	Hour:Minute:Second	
S01	836	34	47	48.59975	139	21	41.39786	47.7600	1999/10/31	01:02:00.4370	250
S02	837	34	40	44.42770	139	26	03.48839	59.5000	1999/10/31	01:12:01.6570	250
S03	838	34	42	05.43394	139	22	21.78024	67.5391	1999/10/31	01:22:01.2760	200
S04	839	34	45	26.57678	139	26	15.85007	110.1331	1999/10/31	01:32:02.7080	200
S05	840	34	45	30.16255	139	22	51.24514	342.9532	1999/10/31	01:41:59.8390	200
S06	841	34	43	01.43520	139	24	36.36076	650.0881	1999/10/31	01:52:03.3300	200

臨時地震観測網は、線状配置、面的配置および小口径アレイで構成されている。線状配置としては、大島を北西-南東および南西-北東に縦断する線上に約 150m 間隔で 177 点に上下動地震計を設置した（ただし、そのうち 21 点は 3 成分、さらにそのうち 2 箇所は上下動と水平 1 成分のみ有効な記録が得られた）。面的配置としては、定常観測網を補完するように 49 点を設置した。ただし、本報告には定常観測点のデータは含まれていない。3 成分地震計 10 点で構成する小口径アレイは、カルデラ内の西部と東部および北麓の 3 ヶ所に設置した。ほとんどの観測点では、固有周波数 2Hz、コイル抵抗約 2.2k $\Omega$  の地震計（Mark Products 社（当時）製 L-22D）をダンピング定数 0.7 で用いた。例外として、面的配置のうち観測点コード P では 1Hz の 3 成分地震計を用いた。また、小口径アレイについては、カルデラ内の東（観測点コード X）と西（観測点コード Y）では 1Hz の 3 成分地震計、北麓（観測点コード Z）では 2Hz の 3 成分地震計を 10 点ずつ使用した。観測点の緯度・経度・高度は GPS のクイックスタティック測量とトータルステーションの併用で決め、一部は DGPS を用いた。データ収録には白山工業社製 Datamark LS8000SH（森田・浜口, 1996）を用い、サンプリング間隔 4ms、分解能 16bit で波形を記録した。爆破予定時刻（予備を含む）の 10 秒前から波形収録を開始した。データロガーの記録容量や収録チャンネル数によって波形の収録時間は約 62 秒から約 137 秒まで幅がある。また、このデータロガーは GPS 信号を用いた時刻補正が可能であり、爆破点 S1 の爆破前の午前 0 時 50 分と 55 分の 2 回、さらに爆破点 S6 の爆破後の午前 2 時 20 分と 25 分の 2 回、実施した。Table 2 に観測点コード、ロガー番号、座標、有効なデータ得られた成分数などの観測点情報をまとめた。

### 3. 観測結果

各爆破ごとに、得られた人工地震波形記録を Fig. 2（上下動成分）、Fig. 3（水平動成分）に示す。各トレースの時間軸から見掛け速度 5km/s を減じ、爆破点からの距離で並べ、振幅を各トレースの最大振幅で規格化した。

初動の読み取り作業には記録解析担当の 9 名が当たった。ワークステーションの画面上に波形とともに各自の読み取り値を表示させ、最終読み取り値を決定した。初動立ち上がりの鋭さやノイズレベルを考慮し、筒井・他（1995）の基準に従って、読み取り値にランクを付加した。ランク A（662 個）は読み取り値の精度が  $\pm 10$ ms 以内、ランク B（319 個）は  $\pm 30$ ms 以内である。ランク C（167 個）は  $\pm 30$ ms 以内では確定できないが極性が明確な場合である。さらに、初動の立ち上がりを  $\pm 30$ ms 以内で確定できず、初動としての極性は判別できないものの、周囲の記録からの類推によって信号の到達が認められる場合をランク L、信号の到来が認められない場合が読み取りができない場合をランク X とした。ただし、本探査では従来のランク L を以下のように再分類した。ランク E（2 個）は  $\pm 10$ ms 以内でフェイズの位置が確定できるもの、ランク F（103 個）は  $\pm 30$ ms 以内でフェイズの位置が確定できるもの、ランク G（128 個）は  $\pm 30$ ms 以内よりも広い範囲でしかフェイズの位置を特定し得ないもの、最終的なランク L（100 個）は明瞭なフェイズが無いが、信号の到来は認められるもの、とした。さらにランク E, F, G のデータには極性が上向きの場合は U、下向きの場合は D を付した。各観測点における初動立ち上がり時間を各爆破毎に Table 3 に示す。得られた全走時を Fig. 4 に、各爆破ごとの走時を Fig. 5 に示す。ランク X 以外の総データ数は 1481 個である。

Table 2. Locations of temporary stations. Coordinates are given in WGS84.

Station code	Data logger	Lat. (WGS)			Long. (WGS)			Height (WGS)	No. Comp.	Pendulum frequency (except for 2 Hz)
		Degree	Minute	Second	Degree	Minute	Second	m		
A01	201	34	47	48.001310	139	21	41.397800	46.6100	1	
A02	202	34	47	43.158530	139	21	44.872520	53.2100	1	
A03	203	34	47	39.177880	139	21	47.654750	57.0300	1	
A04	204	34	47	33.267030	139	21	47.764710	60.3000	1	
A05	205	34	47	27.793700	139	21	54.968850	77.6500	1	
A06	206	34	47	24.975570	139	21	56.924600	77.6300	1	
A07	207	34	47	20.336770	139	21	56.224540	76.9900	3	
A08	208	34	47	14.925810	139	21	58.555640	77.4800	1	
A09	209	34	47	10.312270	139	22	0.665540	82.3700	1	
A10	210	34	47	5.594230	139	22	2.346690	85.7800	1	
A11	211	34	47	3.301750	139	22	5.460660	94.4000	1	
A12	212	34	46	59.168000	139	22	8.494810	100.3200	1	
A13	213	34	46	55.706430	139	22	14.466330	106.6200	1	
A14	214	34	46	50.527500	139	22	17.173650	113.1000	1	
A15	215	34	46	47.586770	139	22	20.014730	120.4400	1	
A16	216	34	46	44.086660	139	22	23.486760	129.6700	1	
A17	217	34	46	39.449450	139	22	26.086920	144.6700	1	
A18	218	34	46	34.796190	139	22	28.837710	156.4400	1	
A19	219	34	46	30.940870	139	22	32.251120	168.0000	1	
A20	220	34	46	25.683330	139	22	32.732120	178.0900	1	
B01	001	34	46	19.475360	139	22	33.390050	186.0086	2	
B02	002	34	46	16.058370	139	22	37.832926	197.8791	1	
B03	003	34	46	11.792360	139	22	36.373120	207.1533	1	
B04	004	34	46	8.229680	139	22	38.005560	221.4813	1	
B05	005	34	46	6.211030	139	22	42.322280	241.9271	1	
B06	006	34	45	59.955830	139	22	43.485160	247.6268	1	
B07	007	34	45	55.111852	139	22	45.826275	257.6212	1	
B08	008	34	45	50.891410	139	22	43.440360	271.0777	2	
B09	009	34	45	46.626350	139	22	45.946090	293.0703	1	
B10	010	34	45	44.424545	139	22	51.248031	305.1643	1	
B11	011	34	45	43.482470	139	22	57.532330	318.8070	1	
B12	012	34	45	41.056727	139	22	59.647367	332.2275	1	
B13	013	34	45	38.139260	139	22	59.029260	337.8186	1	
B14	014	34	45	32.414393	139	22	55.361603	341.1702	1	
B15	015	34	45	30.210173	139	22	51.882080	342.3781	1	
B16	016	34	45	29.158227	139	22	48.041958	337.7662	1	

Table 2. (continued)

Station code	Data logger	Lat. (WGS)			Long. (WGS)			Height (WGS)	No. Comp.	Pendulum frequency (except for 2 Hz)
		Degree	Minute	Second	Degree	Minute	Second	m		
B17	017	34	45	26.012280	139	22	44.381780	332.3110	1	
B18	018	34	45	21.974733	139	22	46.579045	343.3278	1	
B19	019	34	45	17.535660	139	22	44.561645	351.7205	1	
C01	086	34	45	11.641439	139	22	49.415248	418.5240	3	
C02	087	34	45	8.126115	139	22	52.959406	430.1490	1	
C03	088	34	45	4.212881	139	22	58.027687	480.3500	1	
C04	089	34	45	0.988972	139	23	1.194814	513.1310	1	
C05	090	34	44	58.281543	139	23	3.822548	529.9280	1	
C06	091	34	44	55.407178	139	23	5.820874	536.6280	1	
C07	092	34	44	53.151695	139	23	8.750633	545.0570	1	
C08	093	34	44	46.047803	139	23	15.150708	600.7450	3	
C09	094	34	44	43.564490	139	23	19.885805	598.7050	1	
C10	095	34	44	46.656363	139	23	29.553329	597.5740	1	
D01	020	34	44	38.972000	139	23	41.366000	550.0000	1	
D02	021	34	44	36.026000	139	23	44.985000	547.0000	1	
D03	022	34	44	31.341000	139	23	47.947000	551.0000	1	
D04	023	34	44	27.134000	139	23	51.194000	560.0000	1	
D05	024	34	44	21.731000	139	23	54.240000	565.0000	3	
D06	025	34	44	17.730000	139	23	56.798000	564.0000	1	
D07	401	34	44	13.522000	139	23	59.768000	575.0000	1	
D08	402	34	44	8.689000	139	24	2.320000	594.0000	1	
D09	403	34	44	4.152000	139	24	5.369000	596.0000	1	
D10	404	34	44	1.158000	139	24	7.004000	595.0000	1	
D11	405	34	43	56.923000	139	24	9.780000	608.0000	1	
D12	406	34	43	52.680000	139	24	12.510000	628.0000	3	
D13	407	34	43	48.280000	139	24	15.030000	642.0000	1	
D14	408	34	43	43.755000	139	24	17.475000	652.0000	1	
D15	409	34	43	38.863000	139	24	19.641000	656.0000	1	
E01	821	34	43	34.728260	139	24	22.036970	668.2000	1	
E02	822	34	43	30.402180	139	24	24.756500	666.0000	1	
E03	823	34	43	25.650380	139	24	27.279520	677.3000	3	
E04	824	34	43	21.441540	139	24	30.064790	692.3000	1	
E05	825	34	43	18.663670	139	24	32.390190	687.0000	1	
E06	826	34	43	15.096650	139	24	33.386690	678.3000	1	
E07	827	34	43	11.106160	139	24	35.575180	670.0000	1	
E08	828	34	43	6.450200	139	24	34.314570	656.5000	1	

Table 2. (continued)

Station code	Data logger	Lat. (WGS)			Long. (WGS)			Height (WGS)	No. Comp.	Pendulum frequency (except for 2 Hz)
		Degree	Minute	Second	Degree	Minute	Second	m		
E09	829	34	43	2.344680	139	24	35.869970	647.3000	1	
E10	830	34	42	57.430420	139	24	40.737290	640.9000	3	
E11	831	34	42	53.344640	139	24	43.164960	637.5000	1	
E12	832	34	42	50.179940	139	24	46.922470	634.3000	1	
E13	833	34	42	45.622910	139	24	53.140330	662.9000	1	
E14	834	34	42	42.132220	139	24	53.140330	662.9000	1	
E15	835	34	42	38.382270	139	24	56.877620	615.3000	1	
F01	056	34	42	29.020000	139	25	2.030000	464.0000	3	
F02	057	34	42	27.830000	139	25	6.850000	461.0000	1	
F03	058	34	42	18.240000	139	25	9.130000	342.0000	1	
F04	059	34	42	13.980000	139	25	11.520000	303.0000	1	
F05	060	34	42	9.490000	139	25	16.780000	290.0000	1	
F06	061	34	42	4.930000	139	25	19.940000	273.0000	1	
F07	062	34	42	0.500000	139	25	22.350000	259.0000	1	
F08	063	34	41	56.320000	139	25	21.650000	245.0000	1	
F09	064	34	41	54.550000	139	25	17.630000	226.0000	3	
F10	096	34	41	47.970000	139	25	18.270000	200.0000	1	
F11	097	34	41	42.140000	139	25	19.920000	180.0000	1	
F12	098	34	41	38.600000	139	25	22.880000	169.0000	1	
F13	099	34	41	33.990000	139	25	25.410000	154.0000	1	
F14	100	34	41	31.820000	139	25	29.010000	143.0000	1	
F15	101	34	41	28.670000	139	25	36.190000	137.0000	1	
G01	221	34	41	27.728390	139	25	40.691810	130.6000	3	
G02	222	34	41	25.155440	139	25	44.103820	124.3000	3	
G03	223	34	41	19.622180	139	25	47.122250	117.3000	3	
G04	224	34	41	16.130840	139	25	49.762100	113.4000	3	
G05	225	34	41	12.093100	139	25	51.630720	110.5000	3	
G06	226	34	41	7.594480	139	25	53.371110	110.5000	3	
G07	227	34	41	4.820770	139	25	56.394410	91.2000	3	
G08	228	34	40	59.150080	139	25	59.318930	78.0000	3	
G09	229	34	40	54.913670	139	26	3.416960	71.4000	3	
G10	230	34	40	50.786770	139	26	5.732640	64.8000	3	
G11	410	34	40	46.983970	139	26	7.336480	61.5000	1	
G12	411	34	40	44.950260	139	26	8.238500	58.9000	1	
G13	186	34	41	52.470510	139	26	47.868760	64.0000	1	
G14	187	34	41	41.588080	139	26	26.447180	85.2000	1	

Table 2. (continued)

Station code	Data logger	Lat. (WGS)			Long. (WGS)			Height (WGS)	No. Comp.	Pendulum frequency (except for 2 Hz)
		Degree	Minute	Second	Degree	Minute	Second	m		
G15	188	34	41	42.985480	139	25	45.618050	229.3000	1	
G16	189	34	41	32.333610	139	24	22.716460	108.3000	1	
G17	190	34	41	2.132990	139	24	35.376970	76.8000	1	
G18	191	34	41	16.320370	139	23	57.565050	75.6000	1	
G19	192	34	41	41.071310	139	23	15.696260	64.3000	1	
H01	106	34	42	6.092710	139	22	22.310120	68.4075	1	
H02	107	34	42	7.100430	139	22	25.891220	77.8191	1	
H03	108	34	42	4.068000	139	22	40.620000	93.0000	1	
H04	109	34	41	59.640000	139	22	42.888000	91.7000	1	
H05	110	34	42	4.424400	139	22	43.593570	127.5798	1	
H06	111	34	42	9.962330	139	22	48.059790	147.5957	1	
H07	112	34	42	14.918460	139	22	48.208820	170.7100	1	
H08	113	34	42	18.730260	139	22	45.272740	187.5495	1	
H09	114	34	42	24.408000	139	22	45.084000	212.0000	1	
H10	115	34	42	27.005810	139	22	52.639970	219.3938	1	
H11	116	34	42	29.737440	139	22	54.374340	225.2162	1	
H12	117	34	42	35.103540	139	22	57.190740	250.1102	1	
H13	118	34	42	38.416270	139	22	58.904930	271.3018	1	
H14	119	34	42	40.799450	139	22	59.778310	279.6666	1	
I01	120	34	42	46.404000	139	23	2.112000	325.0000	1	
I02	041	34	42	51.300000	139	23	2.400000	358.0000	1	
I03	042	34	42	56.340000	139	23	3.300000	386.0000	1	
I04	043	34	43	0.840000	139	23	5.892000	416.0000	1	
I05	044	34	43	5.880000	139	23	6.540000	454.0000	1	
I06	045	34	43	10.416000	139	23	5.676000	485.0000	1	
I07	046	34	43	14.268000	139	23	3.228000	521.0000	1	
I08	047	34	43	17.040000	139	23	4.956000	555.0000	1	
I09	048	34	43	20.604000	139	23	7.116000	597.0000	1	
I10	049	34	43	24.096000	139	23	11.508000	602.0000	1	
I11	050	34	43	28.308000	139	23	16.872000	624.0000	1	
I12	051	34	43	33.195170	139	23	22.033110	690.4712	1	
I13	052	34	43	38.584400	139	23	24.299890	719.9623	1	
J01	053	34	43	44.146800	139	23	26.779930	720.2328	1	
J02	054	34	43	48.015310	139	23	30.467560	719.7151	1	
J03	055	34	43	49.093650	139	23	37.966100	721.9753	1	
J04	026	34	43	50.294250	139	23	44.141630	718.5172	1	



Table 2. (continued)

Station code	Data logger	Lat. (WGS)			Long. (WGS)			Height (WGS)	No. Comp.	Pendulum frequency (except for 2 Hz)
		Degree	Minute	Second	Degree	Minute	Second	m		
J05	027	34	43	54.972790	139	23	43.212420	690.7610	1	
J06	028	34	43	58.291100	139	23	43.762690	660.6228	1	
J07	029	34	43	57.921820	139	23	48.943840	650.5543	1	
J08	030	34	43	58.888310	139	23	53.697980	631.6022	1	
J09	031	34	43	59.848780	139	24	0.953810	604.4702	1	
J10	032	34	44	4.819440	139	24	11.116750	586.4662	1	
J11	033	34	44	9.143280	139	24	13.945690	576.1025	1	
J12	034	34	44	13.834760	139	24	16.401120	561.1790	1	
J13	035	34	44	13.234240	139	24	25.266880	542.9165	1	
J14	036	34	44	16.160180	139	24	29.770280	532.1150	1	
J15	037	34	44	18.065790	139	24	32.637330	527.6553	1	
J16	038	34	44	23.102630	139	24	36.319790	512.6226	1	
J17	039	34	44	29.544800	139	24	40.224520	504.6129	1	
J18	040	34	44	36.467390	139	24	43.905750	502.6437	1	
K01	121	34	44	40.585010	139	24	49.395110	494.6000	1	
K02	122	34	44	45.064000	139	24	54.316350	485.1000	1	
K03	123	34	44	48.959010	139	24	59.255960	475.0000	1	
K04	124	34	44	49.041880	139	25	3.829380	461.6000	1	
K05	125	34	44	52.418630	139	25	10.363030	445.9000	1	
K06	126	34	44	54.774420	139	25	15.311560	435.6000	1	
K07	127	34	44	56.849680	139	25	21.336930	425.2000	1	
K08	128	34	44	58.050860	139	25	25.442960	417.0000	1	
K09	129	34	45	0.385220	139	25	27.387400	409.1000	1	
K10	130	34	45	3.001420	139	25	31.889510	402.7000	1	
K11	131	34	45	6.605440	139	25	37.185380	388.7000	1	
K12	132	34	45	9.997550	139	25	42.476240	366.9000	1	
K13	133	34	45	13.139830	139	25	46.618620	337.9000	1	
K14	134	34	45	15.455300	139	25	50.583590	307.8000	1	
K15	135	34	45	17.043180	139	25	55.598570	278.4000	1	
K16	136	34	45	21.698050	139	26	0.822340	242.5000	1	
K17	137	34	45	24.326160	139	26	5.433480	200.8000	1	
K18	138	34	45	26.087620	139	26	10.334990	153.0000	1	
K19	139	34	45	26.404660	139	26	13.965480	117.5000	1	
L01	140	34	44	26.615750	139	21	33.747650	97.0000	1	
L02	141	34	44	7.765830	139	22	9.728710	246.0000	1	
L03	142	34	43	28.133810	139	22	0.192810	213.0000	1	

Table 2. (continued)

Station code	Data logger	Lat. (WGS)			Long. (WGS)			Height (WGS)	No. Comp.	Pendulum frequency (except for 2 Hz)
		Degree	Minute	Second	Degree	Minute	Second	m		
L04	143	34	43	2.959710	139	22	17.026240	254.0000	1	
L05	144	34	42	31.870570	139	22	27.253360	197.0000	1	
L06	145	34	42	18.737020	139	23	7.813730	217.0000	1	
L07	146	34	42	18.681600	139	23	23.962280	262.0000	1	
L08	147	34	42	31.606410	139	23	43.900450	383.0000	1	
L09	148	34	42	42.031130	139	25	30.224850	422.0000	1	
L10	149	34	42	58.290900	139	25	8.924420	500.0000	1	
L11	150	34	43	11.277020	139	25	25.271380	474.0000	1	
L12	151	34	42	34.928230	139	25	36.687100	419.0000	1	
L13	152	34	41	49.624300	139	22	50.808930	77.0000	1	
L14	153	34	43	30.801790	139	21	16.776980	77.0000	1	
M01	154	34	44	53.829560	139	21	31.191980	78.1559	1	
M02	155	34	45	31.827350	139	21	14.626650	66.7537	1	
M03	156	34	45	37.532860	139	21	48.631050	123.7818	1	
M04	157	34	45	55.216850	139	21	19.339190	57.6614	1	
M05	158	34	46	33.050800	139	21	11.673390	67.2435	1	
M06	159	34	47	7.422690	139	21	26.528960	64.8909	1	
M07	160	34	46	36.315560	139	21	55.181850	109.4049	1	
M08	161	34	47	43.063980	139	22	12.166950	62.2416	1	
M09	162	34	47	16.732840	139	22	22.193400	94.6126	1	
M10	163	34	46	31.999470	139	22	54.928270	194.5922	1	
M11	164	34	46	42.744230	139	23	45.061570	222.0442	1	
M12	165	34	47	4.717180	139	24	1.186550	94.9840	1	
M13	166	34	46	33.271180	139	24	29.490110	262.0101	1	
M14	167	34	46	10.131980	139	24	15.281430	311.6301	1	
M15	168	34	46	0.921430	139	24	46.896290	302.8373	1	
M16	169	34	46	53.987150	139	24	45.515460	90.2420	1	
N01	170	34	45	49.300000	139	25	23.300000	292.1000	1	
N02	171	34	45	35.200000	139	24	33.300000	394.2000	1	
N03	172	34	45	33.600000	139	23	53.600000	459.6000	1	
N04	173	34	44	44.900000	139	24	25.700000	510.2000	1	
N05	174	34	44	56.900000	139	25	5.800000	449.5000	1	
N06	175	34	45	8.200000	139	26	24.600000	52.4000	1	
N07	176	34	44	41.200000	139	26	45.000000	72.8000	1	
N08	177	34	44	26.300000	139	26	21.000000	287.6000	1	
N09	178	34	44	0.600000	139	26	38.800000	42.5000	1	

Table 2. (continued)

Station code	Data logger	Lat. (WGS)			Long. (WGS)			Height (WGS)	No. Comp.	Pendulum frequency (except for 2 Hz)
		Degree	Minute	Second	Degree	Minute	Second	m		
N10	179	34	43	56.000000	139	25	50.700000	400.9000	1	
N11	180	34	44	20.100000	139	25	12.600000	473.1000	1	
N12	181	34	44	10.800000	139	24	45.600000	495.2000	1	
N13	182	34	44	11.700000	139	23	47.000000	611.4000	1	
N14	183	34	43	51.800000	139	26	2.900000	382.4000	1	
N15	184	34	43	49.100000	139	25	37.200000	425.5000	1	
N16	185	34	43	33.953000	139	22	54.377000	605.0000	1	
P01	412	34	43	12.187640	139	23	28.735890	638.1253	3	1 Hz
P02	413	34	45	5.216490	139	22	40.430330	362.5130	3	1 Hz
P03	414	34	46	28.712410	139	25	36.669430	78.5981	3	1 Hz
X01	416	34	44	14.726128	139	24	47.373526	494.0716	3	1 Hz
X02	417	34	44	17.388543	139	24	52.836744	483.3896	3	1 Hz
X03	418	34	44	12.174464	139	24	52.898399	484.3976	3	1 Hz
X04	419	34	44	13.411730	139	24	50.134490	488.1600	3	1 Hz
X05	420	34	44	16.025542	139	24	50.093548	487.2616	3	1 Hz
X06	421	34	44	14.788500	139	24	52.845110	484.2127	3	1 Hz
X07	422	34	44	14.093127	139	24	51.475693	486.1066	3	1 Hz
X08	423	34	44	14.727290	139	24	50.114223	487.9536	3	1 Hz
X09	424	34	44	15.402968	139	24	51.468032	485.2396	3	1 Hz
X10	425	34	44	14.740357	139	24	51.007233	486.2166	3	1 Hz
Y01	426	34	43	36.018130	139	23	3.033658	586.0797	3	1 Hz
Y02	427	34	43	32.259020	139	22	58.775670	585.5672	3	1 Hz
Y03	428	34	43	37.220167	139	22	56.787900	583.2487	3	1 Hz
Y04	429	34	43	36.639639	139	22	59.891610	585.8817	3	1 Hz
Y05	430	34	43	34.151960	139	23	0.884300	586.9900	3	1 Hz
Y06	701	34	43	34.724362	139	22	57.771203	584.8777	3	1 Hz
Y07	702	34	43	35.713791	139	22	58.812288	584.3817	3	1 Hz
Y08	703	34	43	35.392661	139	23	0.350921	586.5837	3	1 Hz
Y09	704	34	43	34.444249	139	22	59.308520	585.7337	3	1 Hz
Y10	708	34	43	35.153720	139	22	59.496465	584.2777	3	1 Hz
Z01	065	34	46	44.531471	139	23	6.135808	161.1630	3	
Z02	066	34	46	43.095488	139	23	5.869258	161.2520	3	
Z03	067	34	46	41.653641	139	23	5.601161	161.1900	3	
Z04	068	34	46	42.598294	139	23	4.204226	161.3840	3	
Z05	069	34	46	43.564228	139	23	2.802776	161.2730	3	
Z06	070	34	46	44.051968	139	23	4.474183	161.1580	3	

Table 2. (continued)

Station code	Data logger	Lat. (WGS)			Long. (WGS)			Height (WGS)	No. Comp.	Pendulum frequency (except for 2 Hz)
		Degree	Minute	Second	Degree	Minute	Second	m		
Z07	103	34	46	43.570234	139	23	5.180113	161.1200	1	
Z08	104	34	46	42.842551	139	23	5.043336	161.3930	1	
Z09	105	34	46	43.329782	139	23	4.342877	161.3640	1	
Z10	415	34	46	43.250486	139	23	4.846564	161.2110	1	

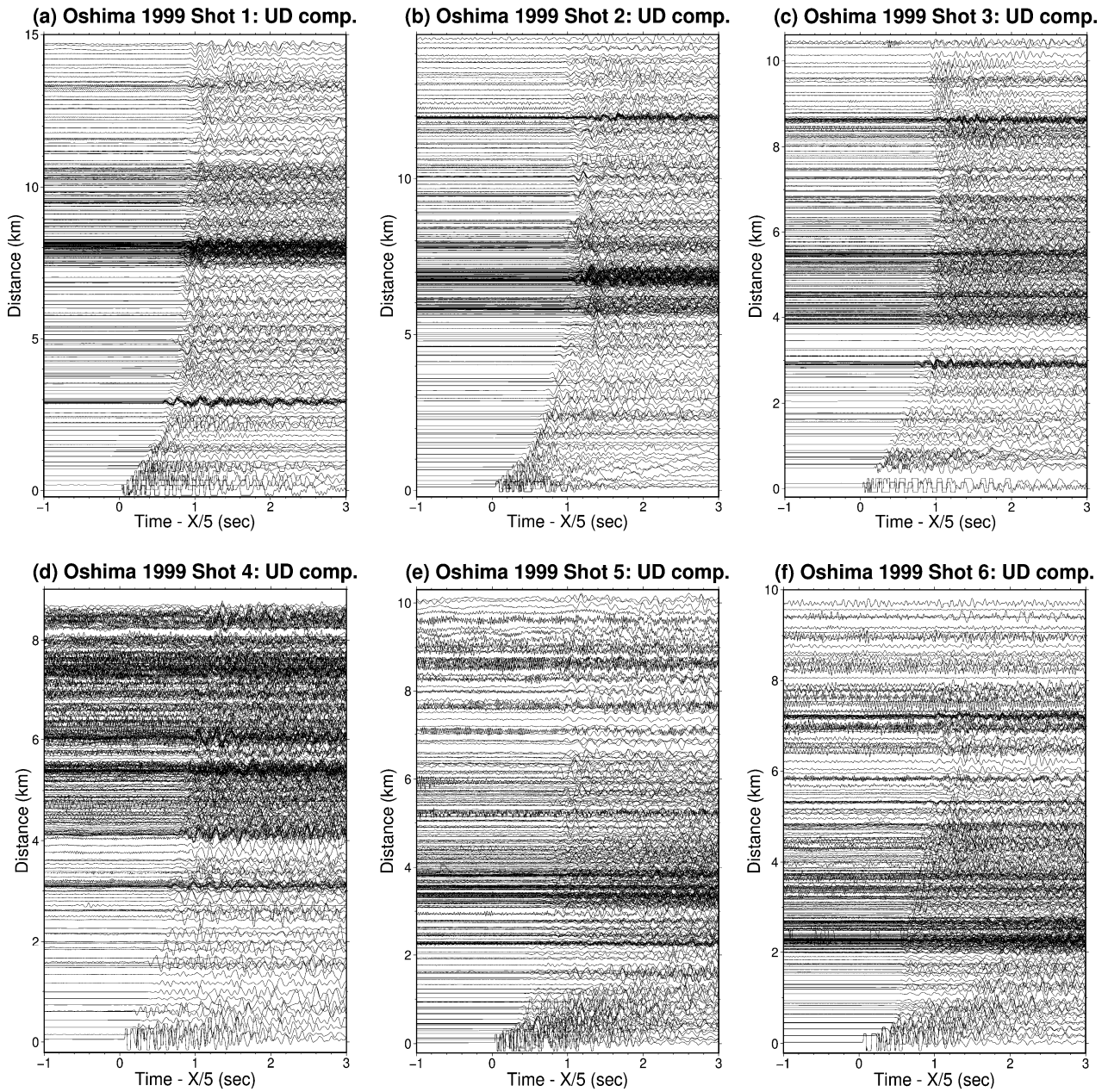


Fig. 2. Record sections of UD seismograms for shots (a)1, (b) 2, (c) 3, (d) 4, (e) 5, and (f) 6. Travel times are reduced by a velocity of 5 km/s.

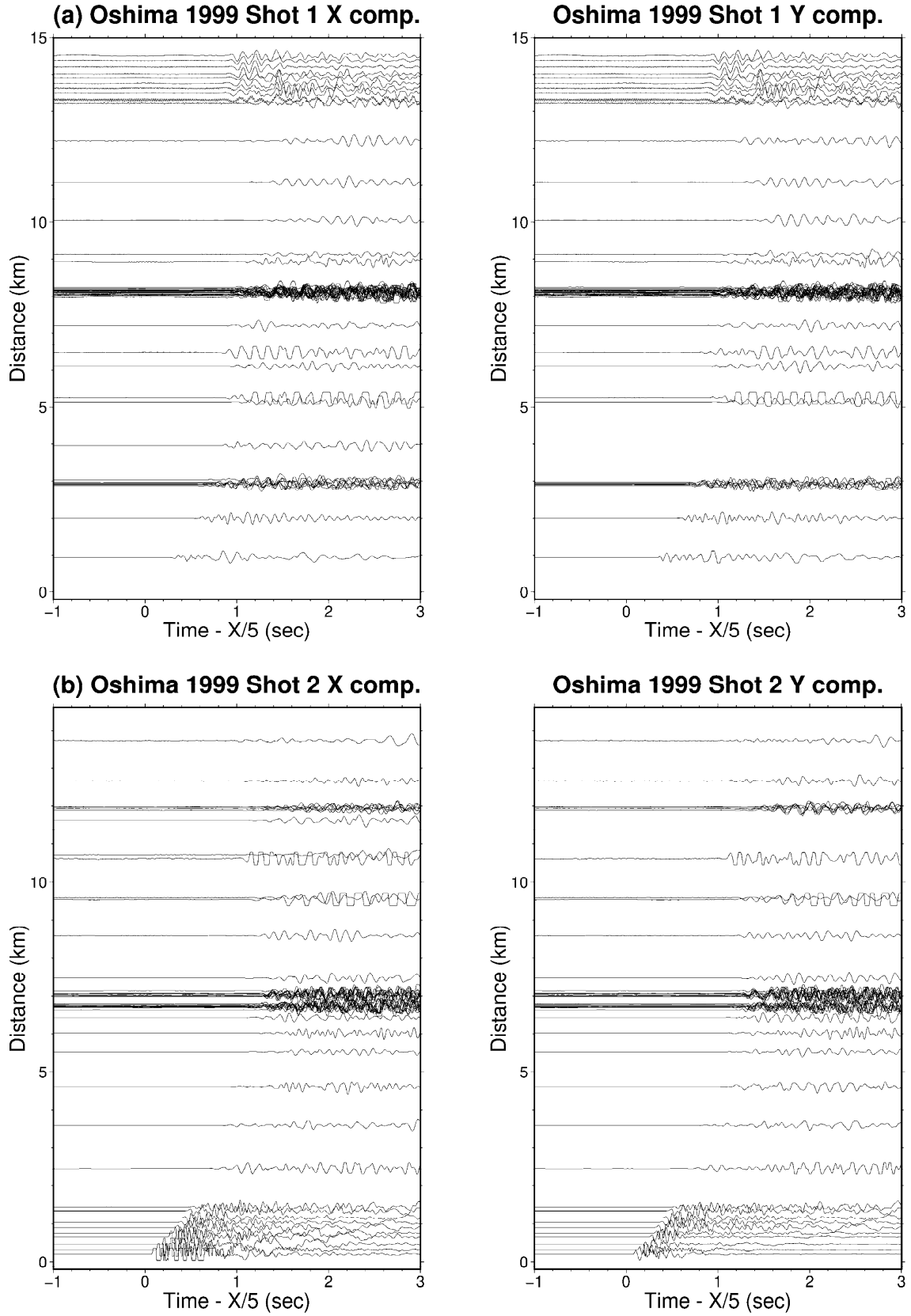


Fig. 3. Record sections of horizontal seismograms for shots (a) 1, (b) 2, (c) 3, (d) 4, (e) 5, and (f) 6. Travel times are reduced by a velocity of 5 km/s. Left column: X-component, Right column: Y-component.

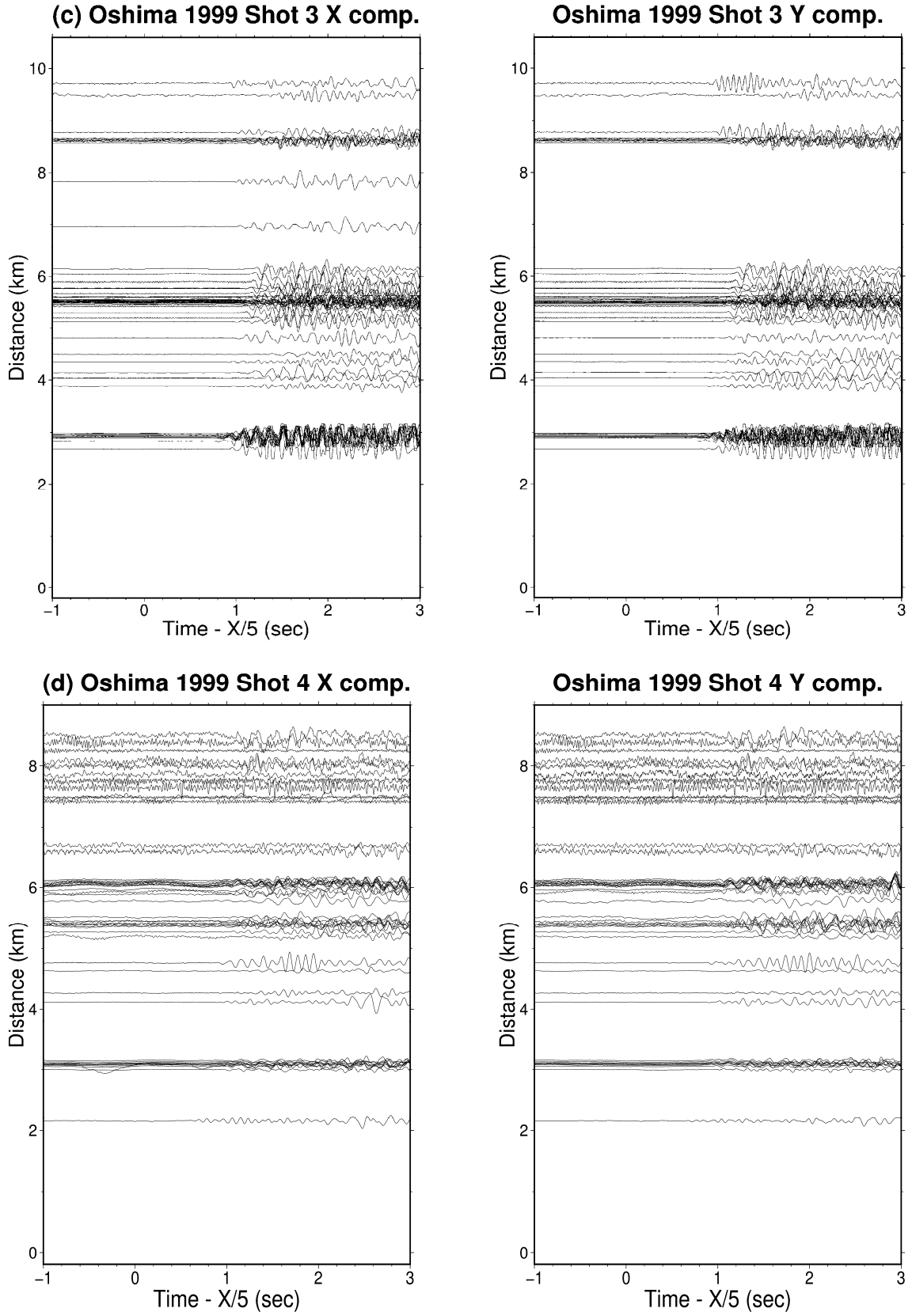


Fig. 3. Continued.

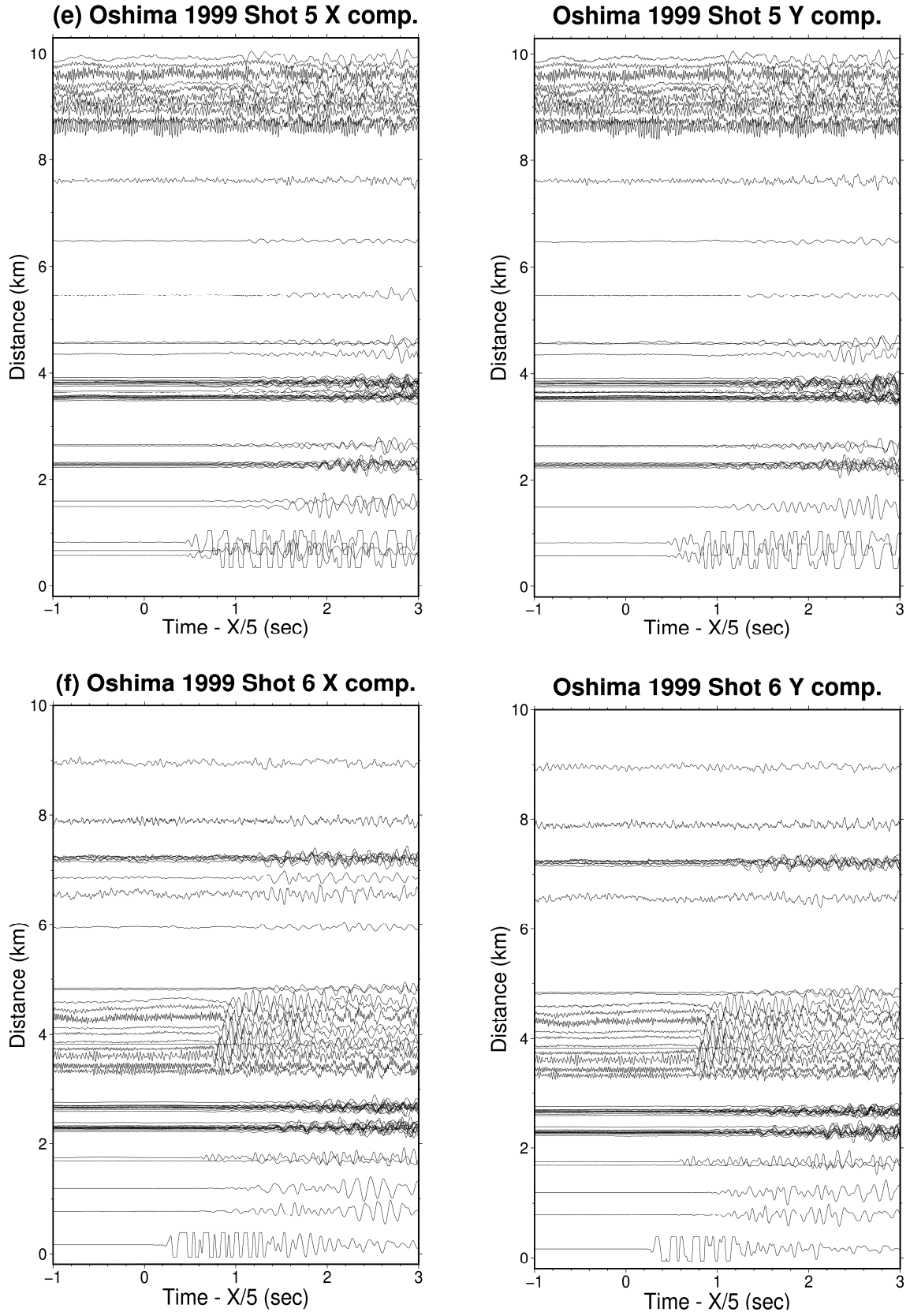


Fig. 3. Continued.

Table 3. Arrival times and quality ranks of the first motion at each station for shots 1 to 6. Ranks A and B indicate that accuracy of first arrival times is within  $\pm 10$  ms and  $\pm 30$  ms, respectively, and polarity is determined. Rank C indicates that accuracy is beyond  $\pm 30$  ms and polarity is clearly identified. Rank L indicates that accuracy is beyond  $\pm 30$  ms and polarity is undetermined. For ranks E, F, and G, polarity is added as up (U) or down (D).

Station Code	S1			S2			S3			Station Code	S4			S5			S6		
	Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank		Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank
	km	Second		km	Second		km	Second			km	Second		km	Second		km	Second	
A01	0.018	0.464	A	14.659	-	X	10.608	-	X	A01	8.231	-	X	4.605	-	X	9.890	-	X
A02	0.190	0.568	A	14.486	5.452	C	10.451	4.236	B	A02	8.077	-	X	4.433	1.516	L	9.717	-	X
A03	0.331	0.644	A	14.344	5.458	C	10.323	4.228	B	A03	7.953	5.432	L	4.293	1.476	C	9.576	-	X
A04	0.500	0.724	A	14.181	5.412	C	10.141	4.188	A	A04	7.859	-	X	4.123	1.420	C	9.412	-	X
A05	0.728	0.804	A	13.947	5.372	B	9.959	4.128	A	A05	7.616	5.324	L	3.898	1.364	C	9.179	-	X
A06	0.828	0.844	A	13.847	5.332	B	9.869	4.104	A	A06	7.530	5.072	L	3.799	1.340	C	9.079	-	X
A07	0.949	0.864	A	13.728	5.312	B	9.727	4.108	A	A07	7.478	5.132	L	3.673	1.328	B	8.959	-	X
A08	1.126	0.952	A	13.553	5.288	B	9.557	4.080	A	A08	7.348	5.136	L	3.496	1.296	B	8.784	-	X
A09	1.278	1.032	A	13.402	5.272	B	9.412	4.052	A	A09	7.236	5.096	L	3.344	1.252	B	8.633	-	X
A10	1.429	1.100	A	13.253	5.232	B	9.264	4.040	A	A10	7.135	5.108	L	3.193	1.216	B	8.484	-	X
A11	1.524	1.148	A	13.154	5.236	B	9.190	4.012	A	A11	7.033	5.080	L	3.098	1.180	B	8.385	-	X
A12	1.672	1.192	A	13.005	5.204	B	9.059	3.976	A	A12	6.910	4.992	L	2.951	1.124	C	8.236	-	X
A13	1.834	1.232	A	12.841	5.184	C	8.948	3.960	A	A13	6.727	4.980	L	2.798	1.064	B	8.072	-	X
A14	2.008	1.300	A	12.667	5.140	B	8.787	3.936	A	A14	6.600	4.972	L	2.624	1.008	B	7.899	5.936	L
A15	2.122	1.364	A	12.554	5.116	B	8.696	3.916	A	A15	6.498	4.980	L	2.515	0.980	C	7.785	5.860	L
A16	2.258	1.416	A	12.418	5.068	C	8.588	3.884	A	A16	6.376	4.944	L	2.385	0.940	B	7.650	5.904	L
A17	2.415	1.476	A	12.260	5.060	C	8.446	3.872	B	A17	6.262	4.896	L	2.229	0.872	C	7.492	-	X
A18	2.575	1.508	A	12.101	5.048	B	8.304	3.828	A	A18	6.146	4.856	L	2.072	0.812	C	7.333	5.816	L
A19	2.721	1.560	A	11.955	5.020	B	8.187	3.812	A	A19	6.024	4.820	L	1.935	0.740	C	7.188	5.668	L
A20	2.870	1.608	A	11.805	5.004	C	8.026	3.808	A	A20	5.961	4.844	L	1.775	0.680	C	7.037	-	X
B01	3.049	1.640	A	11.627	4.984	A	7.835	3.776	A	B01	5.890	4.800	GU	1.586	0.500	B	6.859	5.704	GD
B02	3.193	1.700	A	11.482	4.968	B	7.735	3.760	A	B02	5.752	4.788	GU	1.455	0.480	A	6.714	5.688	GU
B03	3.295	1.736	A	11.382	4.956	B	7.602	3.756	A	B03	5.755	4.816	GU	1.338	0.468	B	6.613	5.640	GD
B04	3.412	1.756	A	11.266	4.920	B	7.494	3.744	A	B04	5.689	4.808	GU	1.221	0.440	A	6.497	5.564	C
B05	3.516	1.788	A	11.160	4.884	B	7.439	3.708	A	B05	5.568	4.688	GU	1.134	0.432	A	6.391	5.528	C
B06	3.702	1.836	A	10.975	4.852	B	7.249	3.640	A	B06	5.500	4.744	GU	0.939	0.356	A	6.206	5.500	C
B07	3.863	1.892	A	10.815	4.824	A	7.105	3.604	A	B07	5.415	4.724	GU	0.781	0.312	A	6.046	5.460	C
B08	3.956	1.944	A	10.729	4.812	A	6.970	3.564	A	B08	5.455	4.700	GU	0.669	0.276	A	5.961	5.724	GU
B09	4.102	1.960	A	10.583	4.768	A	6.845	3.544	A	B09	5.376	4.672	GU	0.525	0.244	A	5.815	5.464	L
B10	4.220	1.972	A	10.460	4.740	B	6.791	3.524	A	B10	5.234	4.860	GU	0.440	0.220	A	5.691	5.284	C
B11	4.315	1.996	A	10.360	4.716	B	6.782	3.516	A	B11	5.072	4.504	GD	0.441	0.224	A	5.591	5.264	C
B12	4.406	2.032	A	10.269	4.696	A	6.715	3.504	A	B12	5.011	4.472	FD	0.398	0.172	A	5.500	5.232	C
B13	4.480	2.064	A	10.196	4.688	B	6.624	3.456	A	B13	5.020	4.516	FD	0.316	0.128	A	5.427	5.192	C



Table 3. (continued)

Station Code	S1			S2			S3			Station Code	S4			S5			S6		
	Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank		Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank
	km	Second		km	Second		km	Second			km	Second		km	Second		km	Second	
B14	4.600	2.100	A	10.084	4.660	A	6.436	3.420	A	B14	5.104	4.632	FU	0.126	-0.036	A	5.315	5.208	C
B15	4.627	2.116	A	10.067	4.652	B	6.357	3.412	A	B15	5.190	4.564	FD	0.016	-0.128	A	5.300	5.184	C
B16	4.620	2.108	A	10.086	4.648	B	6.314	3.392	B	B16	5.287	4.588	GD	0.087	-0.044	A	5.322	5.144	C
B17	4.678	2.116	A	10.048	4.652	A	6.209	3.364	A	B17	5.380	4.544	GU	0.216	0.044	A	5.289	5.144	C
B18	4.814	2.164	B	9.913	4.636	B	6.090	3.320	B	B18	5.326	4.608	FD	0.279	0.100	A	5.154	5.072	C
B19	4.925	2.204	A	9.821	4.632	A	5.949	3.292	A	B19	5.382	4.620	FD	0.425	0.204	A	5.068	5.084	C
C01	5.138	2.288	A	9.602	4.572	B	5.782	3.292	A	C01	5.272	4.628	FD	0.573	0.268	A	4.848	5.044	B
C02	5.270	2.304	A	9.463	4.544	A	5.686	3.224	B	C02	5.193	4.592	FD	0.681	0.300	A	4.708	5.000	B
C03	5.429	2.368	A	9.293	4.544	B	5.587	3.216	A	C03	5.080	4.496	FU	0.818	0.364	A	4.536	4.984	B
C04	5.550	2.416	A	9.167	4.544	C	5.503	3.220	B	C04	5.014	4.588	L	0.934	0.432	A	4.409	4.964	C
C05	5.653	2.420	A	9.061	4.512	B	5.433	3.204	B	C05	4.962	4.528	FD	1.033	0.472	A	4.302	4.916	B
C06	5.754	2.460	A	8.959	4.500	B	5.357	3.156	A	C06	4.929	4.536	FD	1.134	0.516	A	4.200	4.884	B
C07	5.846	2.488	A	8.861	4.476	B	5.305	3.188	B	C07	4.870	4.524	FD	1.225	0.556	A	4.102	4.844	B
C08	6.111	2.536	A	8.590	4.428	B	5.133	3.148	A	C08	4.764	4.496	FD	1.489	0.592	A	3.829	4.816	C
C09	6.229	2.536	A	8.464	4.400	B	5.093	3.132	A	C09	4.669	4.436	FD	1.610	0.656	C	3.700	4.736	C
C10	6.246	2.504	A	8.430	4.376	B	5.260	3.172	B	C10	4.406	4.328	GU	1.658	0.648	B	3.661	4.692	B
D01	6.593	2.512	A	8.082	4.236	A	5.147	3.076	A	D01	4.195	4.260	FD	2.029	0.664	A	3.316	4.564	A
D02	6.716	2.540	A	7.960	4.180	B	5.101	3.032	A	D02	4.142	4.228	FD	2.157	0.692	A	3.195	4.516	B
D03	6.879	2.584	A	7.797	4.136	A	5.003	3.012	A	D03	4.130	4.252	FD	2.317	0.736	A	3.032	4.512	B
D04	7.033	2.620	A	7.645	4.120	A	4.924	3.024	A	D04	4.111	4.264	FD	2.470	0.800	A	2.880	4.468	B
D05	7.216	2.688	A	7.461	4.076	A	4.814	2.972	A	D05	4.120	4.300	FU	2.649	0.856	A	2.697	4.372	B
D06	7.355	2.728	A	7.322	4.036	A	4.740	2.956	B	D06	4.125	4.276	FU	2.787	0.908	A	2.558	4.352	B
D07	7.505	2.784	A	7.172	4.016	A	4.669	2.960	A	D07	4.130	4.300	FU	2.936	0.960	A	2.409	4.336	B
D08	7.667	2.804	A	7.010	3.956	A	4.580	2.936	A	D08	4.160	4.296	FU	3.094	1.012	B	2.246	4.300	A
D09	7.827	2.828	A	6.850	3.932	B	4.509	2.944	B	D09	4.180	4.292	FU	3.253	1.060	A	2.088	4.268	A
D10	7.928	2.856	A	6.749	3.916	A	4.459	2.936	B	D10	4.204	4.308	FU	3.352	1.096	A	1.986	4.236	B
D11	8.077	2.896	A	6.600	3.900	B	4.399	2.936	A	D11	4.233	4.452	GU	3.500	1.140	B	1.839	4.232	B
D12	8.225	2.956	A	6.452	3.864	B	4.343	2.936	A	D12	4.269	4.368	GU	3.647	1.188	C	1.692	4.220	A
D13	8.375	2.972	A	6.302	3.836	A	4.283	2.912	B	D13	4.316	4.396	GU	3.795	1.224	C	1.542	4.172	A
D14	8.527	2.984	A	6.150	3.812	A	4.224	2.868	A	D14	4.372	4.424	GU	3.946	1.224	B	1.390	4.128	A
D15	8.686	3.012	A	5.990	3.752	A	4.157	2.828	A	D15	4.445	4.360	GU	4.102	1.284	C	1.229	4.064	A
E01	8.827	3.068	A	5.849	3.756	A	4.115	2.884	A	E01	4.502	4.480	GU	4.242	1.308	B	1.089	4.032	B
E02	8.977	3.124	A	5.699	3.716	A	4.080	2.880	A	E02	4.562	4.504	GU	4.391	1.328	B	0.940	3.996	A
E03	9.137	3.152	A	5.539	3.648	A	4.038	2.868	A	E03	4.639	4.516	FD	4.549	1.360	B	0.781	3.924	A
E04	9.285	3.160	A	5.391	3.604	A	4.017	2.828	A	E04	4.703	4.540	FD	4.697	1.412	B	0.637	3.892	A
E05	9.388	3.164	B	5.288	3.580	A	4.017	2.852	A	E05	4.740	4.540	FD	4.801	1.460	C	0.541	3.872	A

Table 3. (continued)

Station Code	S1			S2			S3			Station Code	S4			S5			S6		
	Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank		Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank
	km	Second		km	Second		km	Second			km	Second		km	Second		km	Second	
E06	9.497	3.164	A	5.179	3.552	A	3.977	2.852	A	E06	4.818	4.540	FD	4.907	1.500	C	0.428	3.812	A
E07	9.632	3.176	B	5.044	3.508	A	3.960	2.860	A	E07	4.893	4.540	GD	5.041	1.548	C	0.299	3.712	A
E08	9.745	3.172	B	4.930	3.472	A	3.861	2.828	A	E08	5.032	4.584	GD	5.147	1.540	C	0.163	3.576	A
E09	9.876	3.192	B	4.800	3.440	A	3.836	2.816	A	E09	5.121	4.580	FD	5.276	1.580	C	0.031	3.380	A
E10	10.067	3.240	A	4.608	3.392	A	3.881	2.828	B	E10	5.195	4.548	GU	5.470	1.616	C	0.166	3.540	A
E11	10.207	3.260	B	4.468	3.352	A	3.888	2.828	A	E11	5.279	4.648	L	5.609	1.680	C	0.304	3.712	A
E12	10.338	3.280	B	4.338	3.328	A	3.942	2.908	B	E12	5.325	4.592	L	5.742	1.760	C	0.439	3.768	A
E13	10.535	3.324	B	4.142	3.276	A	4.045	2.936	B	E13	5.388	4.976	L	5.944	1.780	L	0.648	3.884	A
E14	10.631	3.336	B	4.045	3.248	A	4.013	2.928	B	E14	5.488	4.948	L	6.036	1.792	C	0.732	3.916	A
E15	10.777	3.356	B	3.900	3.220	A	4.074	2.936	A	E15	5.559	5.048	L	6.184	1.832	C	0.882	3.916	A
F01	11.093	3.392	A	3.583	3.104	A	4.141	2.964	A	F01	5.786	5.148	GU	6.499	1.912	C	1.194	4.012	A
F02	11.183	3.424	A	3.497	3.108	A	4.256	3.028	A	F02	5.782	5.196	GU	6.594	1.936	C	1.294	4.084	A
F03	11.471	3.444	A	3.205	2.968	A	4.276	3.000	B	F03	6.048	5.212	GU	6.877	2.000	C	1.571	4.132	A
F04	11.616	3.492	A	3.060	2.952	A	4.326	3.032	A	F04	6.157	5.020	GU	7.021	2.032	C	1.714	4.200	A
F05	11.801	3.552	B	2.878	2.904	A	4.454	3.080	A	F05	6.257	4.736	L	7.208	2.084	C	1.903	4.252	B
F06	11.962	3.556	B	2.717	2.848	A	4.532	3.092	A	F06	6.375	5.468	L	7.370	2.140	C	2.064	4.276	B
F07	12.112	3.628	A	2.568	2.840	A	4.596	3.116	B	F07	6.495	5.804	L	7.519	2.160	C	2.213	4.324	B
F08	12.218	3.640	B	2.458	2.760	A	4.584	3.128	A	F08	6.625	5.168	L	7.621	2.196	C	2.314	4.336	B
F09	12.220	3.644	B	2.456	2.756	A	4.486	3.080	A	F09	6.700	5.460	L	7.618	2.268	L	2.313	4.344	B
F10	12.409	3.656	B	2.271	2.692	A	4.522	3.124	A	F10	6.895	5.068	L	7.803	2.232	C	2.503	4.392	B
F11	12.588	3.692	C	2.096	2.620	A	4.588	3.184	A	F11	7.062	4.968	L	7.981	2.272	C	2.683	4.452	B
F12	12.719	3.756	B	1.963	2.576	A	4.681	3.188	A	F12	7.154	4.980	L	8.113	2.320	C	2.814	4.464	B
F13	12.875	3.800	A	1.809	2.532	A	4.771	3.240	A	F13	7.282	5.720	L	8.268	2.352	L	2.970	4.552	B
F14	12.976	3.840	A	1.704	2.500	A	4.874	3.260	A	F14	7.333	5.384	L	8.371	2.388	C	3.070	4.576	B
F15	13.145	3.872	B	1.530	2.444	A	5.074	3.308	A	F15	7.401	-	X	8.544	2.432	C	3.239	4.608	C
G01	13.223	3.892	B	1.455	2.408	A	5.192	3.352	A	G01	7.415	-	X	8.626	2.448	L	3.320	4.644	C
G02	13.334	3.892	B	1.349	2.356	A	5.295	3.364	A	G02	7.484	-	X	8.738	2.484	C	3.431	4.664	C
G03	13.520	3.944	B	1.162	2.244	A	5.411	3.424	B	G03	7.646	-	X	8.924	2.556	C	3.618	4.732	C
G04	13.647	3.968	B	1.038	2.204	A	5.505	3.448	A	G04	7.747	-	X	9.051	2.588	C	3.744	4.744	C
G05	13.779	4.020	A	0.904	2.132	A	5.586	3.480	B	G05	7.867	5.520	L	9.183	2.604	C	3.876	4.816	C
G06	13.922	4.080	B	0.759	2.080	A	5.670	3.524	B	G06	8.002	5.444	L	9.325	2.660	C	4.018	4.880	C
G07	14.034	4.112	A	0.654	1.996	A	5.771	3.540	A	G07	8.082	5.428	L	9.437	2.700	C	4.131	4.916	C
G08	14.223	4.148	C	0.466	1.920	A	5.899	3.592	B	G08	8.253	5.496	L	9.626	2.756	L	4.320	4.980	C
G09	14.387	4.208	B	0.323	1.812	A	6.043	3.624	A	G09	8.379	5.452	L	9.791	3.424	L	4.484	5.024	C
G10	14.527	4.208	A	0.204	1.756	A	6.144	3.668	A	G10	8.504	5.480	L	9.931	2.828	C	4.624	5.088	C
G11	14.650	4.232	A	0.126	1.720	A	6.227	3.692	A	G11	8.620	5.492	L	10.053	2.876	C	4.746	5.148	C

Table 3. (continued)

Station Code	S1			S2			S3			Station Code	S4			S5			S6		
	Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank		Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank
	km	Second		km	Second		km	Second			km	Second		km	Second		km	Second	
G12	14.716	4.240	B	0.122	1.716	A	6.272	3.704	A	G12	8.682	5.288	L	10.118	2.916	L	4.812	5.176	C
G13	13.463	3.800	A	2.382	2.740	A	6.781	3.596	B	G13	6.649	-	X	9.014	2.528	L	3.964	5.156	GD
G14	13.436	3.800	A	1.856	2.540	A	6.268	3.480	B	G14	6.939	4.876	L	8.922	2.774	L	3.728	-	X
G15	12.868	3.824	A	1.861	2.600	A	5.232	3.356	A	G15	6.934	5.484	L	8.289	2.404	C	2.992	4.556	FU
G16	12.301	3.768	B	2.958	3.024	A	3.241	2.896	B	G16	7.772	5.368	L	7.690	2.568	L	2.768	4.656	GU
G17	13.286	4.000	A	2.307	2.812	A	3.919	3.112	B	G17	8.542	5.484	L	8.675	2.748	FU	3.677	-	X
G18	12.577	3.860	A	3.351	3.248	A	2.869	2.636	A	G18	8.477	5.512	L	8.003	2.628	FU	3.387	5.020	GU
G19	11.578	3.572	B	4.612	3.692	B	1.564	2.012	A	G19	8.325	-	X	7.088	2.328	GU	3.216	4.848	GD
H01	10.607	3.412	A	6.164	4.072	A	0.024	1.304	A	H01	8.572	5.452	FU	6.332	2.132	FU	3.813	4.912	C
H02	10.586	3.416	A	6.094	4.056	A	0.117	1.380	A	H02	8.486	5.620	GU	6.292	2.128	FU	3.718	4.896	C
H03	10.725	3.416	A	5.715	3.984	A	0.481	1.536	A	H03	8.303	5.340	GU	6.358	2.136	FU	3.434	4.688	B
H04	10.868	3.448	A	5.605	3.988	A	0.566	1.592	B	H04	8.368	5.396	GU	6.492	2.196	FU	3.458	4.756	C
H05	10.725	3.440	A	5.651	3.984	A	0.556	1.608	A	H05	8.245	5.400	GU	6.344	2.152	FU	3.364	4.772	C
H06	10.574	3.380	A	5.627	3.960	A	0.683	1.664	A	H06	8.041	5.280	GU	6.171	2.080	FU	3.179	4.724	B
H07	10.424	3.352	A	5.697	3.948	A	0.733	1.684	A	H07	7.924	5.248	GU	6.018	2.060	FU	3.102	4.636	C
H08	10.296	3.344	A	5.820	3.988	A	0.725	1.696	A	H08	7.888	5.188	L	5.902	2.036	FU	3.118	4.648	C
H09	10.122	3.304	A	5.914	4.004	A	0.833	1.736	B	H09	7.763	5.240	GU	5.727	1.788	FU	3.052	4.636	C
H10	10.076	3.236	A	5.794	3.912	A	1.029	1.832	B	H10	7.573	5.172	GU	5.645	1.824	FU	2.844	4.528	C
H11	10.001	3.208	A	5.803	3.864	A	1.117	1.860	A	H11	7.482	5.112	GU	5.561	1.808	FU	2.772	4.496	B
H12	9.852	3.132	A	5.839	3.828	A	1.284	1.916	B	H12	7.312	5.048	GU	5.397	1.824	FU	2.650	4.384	C
H13	9.761	3.120	A	5.865	3.832	A	1.388	1.972	A	H13	7.209	5.064	FU	5.297	1.812	GU	2.579	4.340	B
H14	9.694	3.124	A	5.891	3.844	A	1.457	1.976	B	H14	7.140	-	X	5.224	-	X	2.538	-	X
I01	9.537	3.100	A	5.952	3.836	A	1.627	2.068	A	I01	6.976	5.064	FU	5.055	1.472	C	2.442	4.432	A
I02	9.392	3.072	A	6.043	3.852	B	1.751	2.124	A	I02	6.865	5.004	GD	4.904	1.424	C	2.411	4.380	B
I03	9.245	3.080	A	6.127	3.864	A	1.891	2.184	A	I03	6.741	4.988	GD	4.751	1.812	L	2.373	4.368	B
I04	9.126	3.032	A	6.172	3.872	A	2.043	2.236	A	I04	6.598	4.952	FD	4.617	1.376	C	2.302	4.360	A
I05	8.979	3.032	A	6.267	3.892	A	2.183	2.300	A	I05	6.481	4.952	GD	4.464	1.364	C	2.289	4.340	A
I06	8.838	3.024	A	6.380	3.920	A	2.293	2.336	A	I06	6.404	4.944	FD	4.323	1.344	C	2.324	4.344	A
I07	8.707	3.024	A	6.508	3.948	B	2.369	2.364	A	I07	6.375	4.932	FD	4.199	1.328	C	2.402	4.388	A
I08	8.635	3.004	A	6.538	3.960	B	2.465	2.408	A	I08	6.287	4.932	GD	4.118	1.312	C	2.375	4.380	A
I09	8.543	2.964	A	6.580	3.968	B	2.588	2.452	A	I09	6.175	4.924	FD	4.013	1.296	B	2.346	4.316	A
I10	8.468	2.948	A	6.585	3.920	B	2.735	2.500	A	I10	6.020	4.840	GD	3.919	1.272	B	2.269	4.276	B
I11	8.382	2.912	A	6.594	3.928	B	2.913	2.568	A	I11	5.832	4.820	GD	3.812	1.240	B	2.185	4.244	B
I12	8.277	2.936	A	6.628	3.916	A	3.109	2.624	A	I12	5.636	4.828	GU	3.689	1.204	B	2.129	4.240	A
I13	8.138	2.900	A	6.724	3.924	B	3.282	2.632	A	I13	5.489	4.800	GU	3.540	1.140	B	2.161	4.240	A
J01	7.997	2.844	A	6.824	3.912	A	3.463	2.648	A	J01	5.335	4.644	GU	3.390	1.084	B	2.206	4.248	A

Table 3. (continued)

Station Code	S1			S2			S3			Station Code	S4			S5			S6		
	Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank		Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank
	km	Second		km	Second		km	Second			km	Second		km	Second		km	Second	
J02	7.917	2.840	A	6.868	3.908	A	3.612	2.688	A	J02	5.189	4.560	GD	3.303	1.100	B	2.207	4.276	A
J03	7.955	2.840	A	6.790	3.892	A	3.737	2.696	B	J03	5.016	4.476	GU	3.334	1.076	B	2.089	4.216	A
J04	7.981	2.896	A	6.737	3.868	B	3.852	2.736	A	J04	4.868	4.624	GD	3.359	1.248	ED	2.008	4.184	B
J05	7.839	2.888	A	6.872	3.900	A	3.961	2.800	A	J05	4.801	4.468	L	3.218	1.112	B	2.133	4.276	B
J06	7.751	2.880	A	6.952	3.928	A	4.056	2.816	A	J06	4.730	5.432	L	3.131	1.056	C	2.205	4.280	B
J07	7.815	2.856	A	6.876	3.940	A	4.115	2.824	A	J07	4.630	5.020	L	3.199	1.024	B	2.118	4.240	B
J08	7.839	2.860	A	6.843	3.920	B	4.207	2.856	A	J08	4.515	4.404	GU	3.231	1.044	B	2.077	4.244	B
J09	7.894	2.864	A	6.782	3.924	A	4.336	2.872	A	J09	4.350	4.344	GU	3.300	1.064	A	2.013	4.260	A
J10	7.879	2.856	A	6.806	3.936	B	4.613	3.000	A	J10	4.052	4.300	GU	3.324	1.072	B	2.056	4.288	A
J11	7.798	2.840	A	6.897	3.964	B	4.762	3.032	B	J11	3.913	4.252	GU	3.265	1.088	B	2.163	4.320	A
J12	7.705	2.820	A	7.005	4.000	B	4.916	3.072	A	J12	3.776	4.100	GU	3.198	1.064	B	2.288	4.356	B
J13	7.838	2.848	A	6.904	4.000	A	5.038	3.084	A	J13	3.609	3.960	GU	3.368	1.084	A	2.231	4.336	B
J14	7.824	2.812	A	6.947	4.008	A	5.180	3.124	A	J14	3.463	3.948	GU	3.389	1.080	A	2.309	4.360	B
J15	7.815	2.804	A	6.978	4.000	A	5.272	3.140	A	J15	3.369	4.048	GU	3.405	1.088	A	2.364	4.364	B
J16	7.740	2.772	A	7.095	4.032	A	5.451	3.148	A	J16	3.200	3.972	GU	3.379	1.040	B	2.517	4.376	A
J17	7.638	2.724	A	7.254	4.052	A	5.668	3.168	B	J17	3.001	3.860	GD	3.343	1.004	B	2.717	4.396	A
J18	7.525	2.688	A	7.433	4.076	A	5.894	3.232	A	J18	2.803	3.808	GD	3.310	0.996	B	2.935	4.448	B
K01	7.513	2.696	A	7.518	4.108	A	6.080	3.264	A	K01	2.617	3.792	FD	3.372	1.032	B	3.074	4.480	B
K02	7.489	2.696	A	7.622	4.148	A	6.266	3.316	B	K02	2.437	3.764	FD	3.426	1.060	B	3.226	4.568	GD
K03	7.483	2.684	A	7.712	4.152	A	6.438	3.416	A	K03	2.267	3.740	FD	3.495	1.104	B	3.365	4.628	B
K04	7.559	2.728	A	7.690	4.156	A	6.513	3.432	A	K04	2.167	3.680	FD	3.603	1.148	B	3.389	4.608	C
K05	7.599	2.732	A	7.762	4.152	A	6.699	3.564	A	K05	1.971	3.668	FD	3.725	1.200	C	3.528	4.656	C
K06	7.636	2.704	A	7.812	4.152	A	6.836	3.572	A	K06	1.826	3.552	GD	3.824	1.224	FU	3.631	4.636	C
K07	7.702	2.712	A	7.853	4.148	A	6.984	3.612	A	K07	1.662	3.504	GD	3.954	1.268	FU	3.737	4.608	C
K08	7.753	2.748	A	7.876	4.160	A	7.081	3.612	A	K08	1.555	3.488	GU	4.046	1.296	FU	3.805	4.672	C
K09	7.741	2.744	A	7.942	4.168	A	7.167	3.616	A	K09	1.474	3.396	C	4.077	1.300	FU	3.889	4.780	GD
K10	7.774	2.768	A	8.010	4.192	A	7.303	3.660	A	K10	1.334	3.344	B	4.172	1.328	FU	4.004	4.772	GU
K11	7.804	2.772	A	8.108	4.224	A	7.476	3.684	A	K11	1.160	3.308	B	4.283	1.368	FU	4.157	5.020	L
K12	7.843	2.776	A	8.202	4.220	A	7.644	3.668	A	K12	0.991	3.240	B	4.400	1.400	FU	4.305	5.056	GD
K13	7.866	2.768	A	8.293	4.244	A	7.786	3.712	B	K13	0.851	3.168	B	4.492	1.416	FU	4.435	5.000	GD
K14	7.903	2.788	A	8.360	4.276	A	7.907	3.700	B	K14	0.728	3.136	A	4.585	1.464	FU	4.542	5.040	L
K15	7.977	2.828	A	8.404	4.288	A	8.029	3.748	B	K15	0.593	3.092	A	4.707	1.484	FU	4.640	5.040	GD
K16	8.003	2.856	A	8.546	4.324	A	8.224	3.800	B	K16	0.411	3.000	A	4.830	1.544	FU	4.827	5.172	GD
K17	8.055	2.824	A	8.627	4.320	A	8.364	3.816	C	K17	0.274	2.920	A	4.943	1.556	FU	4.953	5.156	GU
K18	8.130	2.836	A	8.683	4.332	A	8.488	3.916	C	K18	0.141	2.852	A	5.066	1.616	FU	5.059	5.292	L
K19	8.203	2.848	A	8.695	4.320	A	8.559	3.924	C	K19	0.048	2.776	A	5.159	1.628	FU	5.112	5.192	L

Table 3. (continued)

Station Code	S1			S2			S3			Station Code	S4			S5			S6		
	Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank		Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank
	km	Second		km	Second		km	Second			km	Second		km	Second		km	Second	
L01	6.228	2.636	A	9.694	4.624	A	4.520	3.064	A	L01	7.411	4.952	L	2.779	0.880	C	5.336	5.288	GU
L02	6.844	2.656	A	8.639	4.340	A	3.783	2.792	A	L02	6.716	4.956	FU	2.750	0.856	B	4.254	4.788	C
L03	8.042	2.976	A	7.985	4.368	A	2.607	2.424	A	L03	7.458	5.228	FU	3.979	1.508	FU	4.057	4.928	GD
L04	8.850	3.080	A	7.171	4.188	A	1.777	2.136	A	L04	7.517	5.216	FU	4.620	1.468	C	3.545	4.764	GD
L05	9.831	3.284	A	6.421	4.140	A	0.827	1.756	A	L05	7.925	5.404	GD	5.529	1.612	L	3.409	4.744	C
L06	10.401	3.288	A	5.331	3.788	A	1.241	1.912	A	L06	7.510	5.096	GU	5.915	1.980	L	2.609	4.516	GD
L07	10.498	3.284	B	4.991	3.644	B	1.634	2.084	A	L07	7.256	5.084	L	5.960	1.744	L	2.265	4.376	L
L08	10.255	3.272	A	4.850	3.512	A	2.239	2.344	A	L08	6.635	4.996	FU	5.664	1.860	FU	1.621	4.196	C
L09	11.098	3.424	A	3.722	3.140	A	4.925	3.132	A	L09	5.202	4.520	GU	6.573	2.020	FU	1.495	4.120	C
L10	10.389	3.388	B	4.353	3.352	A	4.554	3.036	A	L10	4.877	4.516	GD	5.846	2.080	FU	0.834	3.972	A
L11	10.271	3.348	A	4.629	3.416	A	5.090	3.152	C	L11	4.364	4.380	FU	5.803	1.980	FD	1.281	4.088	B
L12	11.370	3.480	A	3.473	3.112	A	5.041	3.240	B	L12	5.383	4.632	L	6.847	2.060	FU	1.739	4.224	C
L13	11.204	3.528	A	5.298	3.932	A	0.885	1.728	A	L13	8.480	5.616	GD	6.797	2.264	FU	3.480	-	X
L14	7.970	2.956	A	8.916	4.568	A	3.108	2.564	B	L14	8.404		X	4.394	1.668	FD	5.157	5.012	C
M01	5.393	2.408	A	10.347	4.716	B	5.347	3.312	A	M01	7.312	5.232	L	2.324	0.996	GU	5.847	5.272	L
M02	4.270	2.128	A	11.509	4.976	B	6.586	3.632	A	M02	7.665		X	2.459	0.984	B	6.915	-	X
M03	4.044	2.024	A	11.119	4.856	B	6.591	3.572	A	M03	6.806	4.896	L	1.609	0.504	B	6.431	-	X
M04	3.539	1.920	A	12.000	5.076	L	7.258	3.788	B	M04	7.595		X	2.462	1.116	B	7.335	-	X
M05	2.448	1.552	A	13.060	5.260	B	8.439	3.980	A	M05	8.005		X	3.190	1.252	B	8.346	-	X
M06	1.324	1.064	A	13.747	5.352	C	9.413	4.108	A	M06	7.990	5.204	L	3.692	1.356	B	8.989	-	X
M07	2.255	1.472	A	12.551	5.172	B	8.376	3.952	A	M07	6.971	5.028	L	2.488	1.008	B	7.789	5.996	L
M08	0.801	0.864	A	14.181	5.392	B	10.409	4.228	A	M08	7.492	5.044	L	4.215	1.468	B	9.423	-	X
M09	1.429	1.072	A	13.337	5.204	C	9.594	4.028	B	M09	6.845	5.120	L	3.367	1.204	B	8.577	-	X
M10	3.012	1.636	A	11.737	4.948	B	8.259	3.812	B	M10	5.495	4.700	L	1.908	0.748	B	6.984	5.660	L
M11	3.744	1.752	A	11.591	4.852	B	8.805	3.852	B	M11	4.497	4.720	L	2.623	1.048	C	6.944	5.696	FD
M12	3.805	1.716	A	12.126	4.876	C	9.564	3.940	C	M12	4.570	4.344	L	3.414	1.192	B	7.551	5.796	GD
M13	4.866	2.072	A	11.014	4.796	B	8.871	4.052	C	M13	3.398	4.256	FU	3.167	1.144	B	6.531	5.680	GD
M14	4.953	2.072	A	10.409	4.656	B	8.075	3.736	B	M14	3.348	4.196	FU	2.467	0.968	B	5.840	5.504	GD
M15	5.769	2.308	A	9.947	4.636	B	8.143	3.768	C	M15	2.498	3.800	GU	3.091	1.268	FU	5.538	5.504	FD
M16	4.977	2.040	A	11.561	4.816	C	9.616	4.072	L	M16	3.541	4.136	GU	3.889	1.272	B	7.171	-	X
N01	6.737	2.532	A	9.452	4.528	A	8.302	3.836	L	N01	1.509	3.460	B	3.913	1.356	FU	5.310	5.312	C
N02	6.002	2.340	A	9.251	4.484	A	7.279	3.536	C	N02	2.622	3.864	FD	2.601	0.780	B	4.740	5.016	C
N03	5.350	2.232	A	9.505	4.556	A	6.828	3.508	B	N03	3.625	4.140	FU	1.590	0.588	A	4.814	5.208	GU
N04	7.037	2.580	A	7.818	4.140	B	5.839	3.212	B	N04	3.083	3.880	FD	2.779	0.836	A	3.200	4.508	B
N05	7.419	2.672	A	7.918	4.196	A	6.733	3.568	B	N05	2.003	3.652	FD	3.573	1.176	FU	3.637	4.756	B
N06	8.738	2.908	A	8.147	4.128	A	8.360	3.904	L	N06	0.609	2.968	B	5.470	1.620	B	4.780	5.024	GD

Table 3. (continued)

Station Code	S1			S2			S3			Station Code	S4			S5			S6		
	Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank		Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank
	km	Second		km	Second		km	Second			km	Second		km	Second		km	Second	
N07	9.644	3.072	A	7.373	4.040	B	8.239	3.692	L	N07	1.583	3.356	C	6.135	1.764	B	4.490	5.024	L
N08	9.459	3.036	A	6.853	3.932	B	7.476	3.596	B	N08	1.862	3.516	C	5.688	1.748	A	3.732	4.832	C
N09	10.326	3.260	C	6.112	3.940	EU	7.440	3.500	B	N09	2.713	-	X	6.413	-	X	3.609	-	X
N10	9.572	3.084	B	5.913	3.772	A	6.314	3.472	B	N10	2.864	3.884	C	5.410	1.756	A	2.531	4.628	B
N11	8.376	2.940	A	6.772	3.976	A	6.009	3.304	B	N11	2.605	3.812	FD	4.195	1.332	B	2.594	4.444	B
N12	8.186	2.904	A	6.662	3.952	A	5.321	3.136	B	N12	3.275	3.968	FD	3.801	1.196	B	2.151	4.336	B
N13	7.409	2.764	A	7.271	4.044	B	4.455	2.940	B	N13	4.435	4.408	GD	2.804	0.908	B	2.503	4.368	B
N14	9.875	3.120	A	5.775	3.716	A	6.511	3.484	A	N14	2.940	3.924	GD	5.741	1.800	B	2.694	4.640	A
N15	9.512	3.140	A	5.731	3.716	A	5.910	3.416	B	N15	3.161	3.972	C	5.247	1.728	B	2.134	4.352	C
N16	8.065	2.900	A	7.102	4.032	B	2.851	2.548	A	N16	6.190	4.912	GD	3.582	1.120	C	2.781	4.512	GD
P01	8.946	3.024	A	6.020	3.772	B	2.671	2.488	A	P01	5.935	4.904	FU	4.358	1.520	L	1.752	4.188	A
P02	5.255	2.312	A	9.554	4.512	B	5.561	3.216	B	P02	5.520	4.644	FD	0.817	0.352	A	4.822	4.980	C
P03	6.472	2.456	A	10.633	4.724	B	9.509	4.148	L	P03	2.159	3.688	C	4.579	1.412	C	6.570	5.684	L
X01	8.114	2.876	A	6.764	3.976	A	5.440	3.148	B	X01	3.158	3.944	C	3.759	1.172	A	2.276	4.328	B
X02	8.130	2.888	A	6.805	3.988	A	5.595	3.196	A	X02	3.001	3.900	C	3.821	1.192	A	2.378	4.352	B
X03	8.260	2.928	A	6.650	3.952	B	5.481	3.172	A	X03	3.116	3.928	C	3.919	1.216	A	2.220	4.336	A
X04	8.188	2.916	A	6.706	3.964	B	5.459	3.168	A	X04	3.137	3.936	C	3.840	1.208	A	2.246	4.356	B
X05	8.122	2.904	A	6.783	3.984	A	5.517	3.168	A	X05	3.080	3.888	C	3.790	1.180	A	2.325	4.368	B
X06	8.194	2.904	A	6.728	3.972	A	5.537	3.188	A	X06	3.058	3.920	C	3.869	1.208	A	2.299	4.356	B
X07	8.191	2.904	A	6.717	3.976	B	5.498	3.164	A	X07	3.098	3.904	C	3.854	1.204	B	2.272	4.352	B
X08	8.155	2.900	A	6.745	3.980	A	5.488	3.168	A	X08	3.108	3.920	C	3.814	1.192	B	2.286	4.348	B
X09	8.158	-	X	6.755	-	X	5.527	-	X	X09	3.069	-	X	3.829	-	X	2.312	-	X
X10	8.168	2.900	A	6.739	3.988	B	5.504	3.184	A	X10	3.092	3.920	C	3.832	1.204	B	2.290	4.356	B
Y01	8.057	2.840	A	7.003	4.000	B	2.983	2.540	A	Y01	5.973	4.812	FD	3.531	1.100	A	2.603	4.364	B
Y02	8.142	2.896	A	6.988	4.016	B	2.837	2.512	A	Y02	6.128	4.844	GD	3.639	1.148	A	2.658	4.416	C
Y03	7.981	2.860	A	7.136	4.040	A	2.966	2.544	A	Y03	6.083	4.852	FD	3.484	1.112	A	2.763	4.424	C
Y04	8.018	2.852	A	7.070	4.012	A	2.973	2.536	A	Y04	6.028	4.844	GD	3.506	1.104	A	2.683	4.400	C
Y05	8.099	2.876	A	6.996	4.000	A	2.910	2.528	A	Y05	6.050	4.852	GD	3.584	1.124	B	2.630	4.392	C
Y06	8.062	2.884	A	7.062	4.020	B	2.900	2.540	A	Y06	6.105	4.880	FD	3.562	1.132	A	2.710	4.424	C
Y07	8.039	2.860	A	7.067	4.012	B	2.938	2.520	A	Y07	6.066	4.848	FD	3.533	1.120	A	2.697	4.412	C
Y08	8.058	2.860	A	7.034	4.012	B	2.941	2.544	A	Y08	6.040	4.832	GD	3.545	1.120	A	2.657	4.392	C
Y09	8.080	2.872	A	7.029	4.016	B	2.905	2.536	A	Y09	6.078	4.848	GD	3.572	1.128	B	2.670	4.420	C
Y10	8.060	2.868	A	7.042	4.016	A	2.927	2.536	A	Y10	6.062	4.832	GD	3.551	1.108	B	2.674	4.404	C
Z01	2.923	1.576	A	11.980	4.936	C	8.675	3.832	C	Z01	5.391	4.604	GU	2.323	0.940	A	7.249	5.796	FU
Z02	2.949	1.572	A	11.942	4.924	B	8.631	3.796	B	Z02	5.378	4.600	GU	2.278	0.936	A	7.209	5.744	GD
Z03	2.974	1.576	A	11.903	4.928	B	8.586	3.816	B	Z03	5.365	4.572	GU	2.233	0.920	A	7.169	5.748	GD

Table 3. (continued)

Station Code	S1			S2			S3			Station Code	S4			S5			S6		
	Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank		Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank	Distance	Arrival time	Rank
	km	Second		km	Second		km	Second			km	Second		km	Second		km	Second	
Z04	2.928	1.564	A	11.944	4.940	B	8.610	3.796	B	Z04	5.409	4.620	GU	2.257	0.908	A	7.208	5.696	GD
Z05	2.882	1.516	A	11.985	4.928	B	8.635	3.804	A	Z05	5.454	4.628	GU	2.281	0.896	A	7.248	5.696	GD
Z06	2.902	1.560	A	11.983	4.940	B	8.655	3.800	B	Z06	5.423	4.604	GU	2.302	0.904	A	7.248	5.740	GD
Z07	2.926	1.564	A	11.962	4.932	B	8.643	3.800	B	Z07	5.400	4.624	GU	2.290	0.916	B	7.228	5.748	GD
Z08	2.939	1.564	A	11.943	4.924	C	8.620	3.808	B	Z08	5.393	4.628	GU	2.267	0.924	A	7.208	5.732	GD
Z09	2.915	1.548	A	11.963	4.924	C	8.633	3.812	C	Z09	5.416	4.624	GU	2.279	0.916	B	7.228	5.704	GD
Z10	2.926	1.556	A	11.956	4.924	B	8.632	3.824	B	Z10	5.403	4.640	GU	2.279	0.912	B	7.222	5.784	GU

#### 4. 3次元 P 波速度構造

得られた走時データを用いて 3 次元 P 波速度構造を推定した。ここでは火山直下特有の複雑な構造における波線計算を安定に行うために差分法の一つである Fast Marching 法 (Rawlinson *et al.*, 2006; de Kool *et al.*, 2006) とその走時計算法を取り込んだトモグラフィックコード FMTOMO (Rawlinson and Urvoy, 2006) を採用した。Fast Marching 法は差分法の一つであり、波面が震源から時間とともに前進していくことを前提に、波面を更新しながら走時場の計算を進め、震源と観測点を結ぶ際に波面と直行する経路を波線として決定する方法である。ここでは、走時計算のためのグリッド間隔を水平方向に 0.001 度、鉛直方向に 0.05 km、速度構造を与えるグリッド間隔を水平方向に約 0.01 度、鉛直方向に約 0.5 km とした。

次に以下の手順で初期構造を求めた。Fig. 4 に示す全体の走時データから、距離 0.5 km ごとのメディアン値を求め、3 本の直線を当てはめた。直線の傾きから決めたスローネス (各層の P 波速度の逆数) と切片を用いる Tau-P 法 (Shearer, 2009) を適用して層厚を推定し、1 次元速度構造を得た (Fig. 6a の黒線)。さらに推定した 3 層構造をトモグラフィック解析用にスムージングした P 波速度構造を用いた (Fig. 6a の赤線)。さらにトモグラフィックの初期構造モデルとするために、これまでの火山体構造探査の成果 (例えば, Tanaka *et al.*, 2002b; Yamawaki *et al.*, 2004) に倣い、標高 0 km から深さと共に増加する水平成層構造から地表面からの深さによって地震波速度が増加する擬似的な 3 次元構造に変換した (Fig. 6b)。すなわち、まずモデル領域内の空中と海中に相当するグリッドに P 波速度 1.5 km/s を与え、各地点の緯度経度における標高を深さ 0 km とみなし、ス

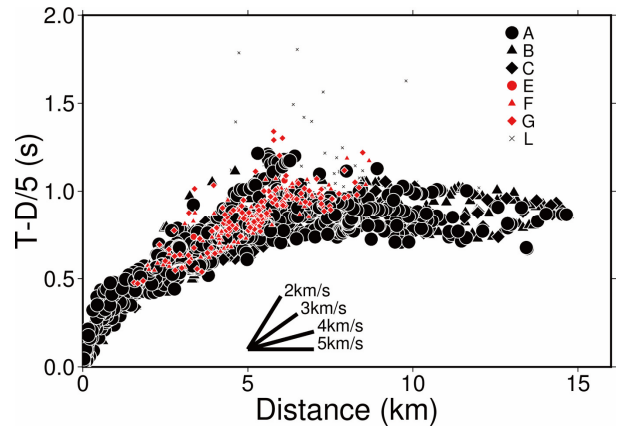


Fig. 4. Travel times from all the shots. Rank A: Black circles; Rank B: Black triangles, Rank C: Black diamonds, Rank E: Red circles, Rank F: Red triangles, Rank G: Red diamonds, Rank L: Small crosses.

ムージングした速度構造に基づいて各鉛直グリッドに P 波速度を与えた。

FMTOMO はサブスペースインバージョン (Sambridge, 1990) を採用し、以下の目的関数  $S(\mathbf{m})$  を最小にする構造モデル  $\mathbf{m}$  を推定する。

$$S(\mathbf{m}) = (\mathbf{g}(\mathbf{m}) - \mathbf{d}_{obs})^T \mathbf{C}_d^{-1} (\mathbf{g}(\mathbf{m}) - \mathbf{d}_{obs}) + \epsilon (\mathbf{m} - \mathbf{m}_0)^T \mathbf{C}_m^{-1} (\mathbf{m} - \mathbf{m}_0) + \eta \mathbf{m}^T \mathbf{D}^T \mathbf{D} \mathbf{m}$$

ここで、 $\mathbf{d}_{obs}$  は走時データ、 $\mathbf{g}(\mathbf{m})$  は構造モデルから計算される走時、 $\mathbf{m}_0$  は初期モデル、 $\mathbf{C}_d$  はデータ共分散、 $\mathbf{C}_m$  はモデル共分散、 $\mathbf{D}$  は空間微分行列、 $\epsilon$  はダンピングファクター、 $\eta$  はスムージングファクター、上付きの T は転置行列を意味する。最小読み取り誤差 10 ms を走時データの重みで割ることによって読み取り誤差を再定義し、その値を二乗してデータ共分散の対角成分に与え

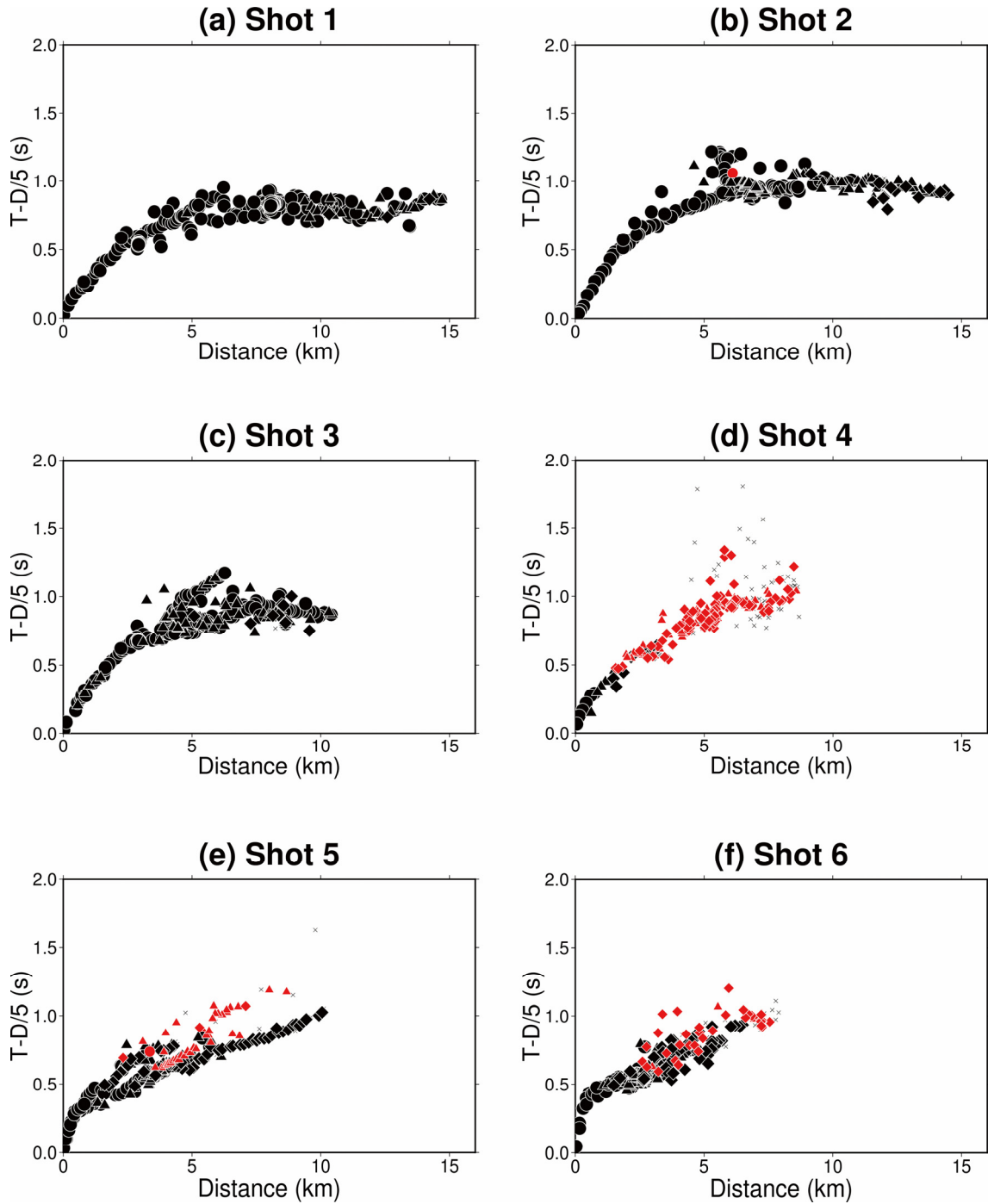


Fig. 5. Travel times reduced with 5 km/s obtained for shots of (a) 1, (b) 2, (c) 3, (d) 4, (e) 5, and (f) 6. Rank A: Black circles, Rank B: Black triangles, Rank C: Black diamonds, Rank E: Red circles, Rank F: Red triangles, Rank G: Red diamonds, Rank L: Small crosses.

た. ここでは, Table 3 で示されるランク A の走時データに重み 1 (読み取り誤差 10 ms), ランク B に重み 0.5 (読み取り誤差 20 ms), ランク C に重み 0.25 (読み取り誤差 40 ms), ランク E, F, G に重み 0.25 (読み取り誤差 40 ms), ランク L を重み 0.1 (読み取り誤差 100 ms) を与えた. ランク E, F, G の定義は, 本来初動として

の極性を判断できないものの類推によって信号の到達が認められる場合としているが, Fig. 4 と Fig. 5 のプロットからランク C の同等の初動データとして扱えると判断した. インバージョンに用いる走時データの総数は 1481 個である.

データ数に比べて構造モデルの未知数が多いので, ダ



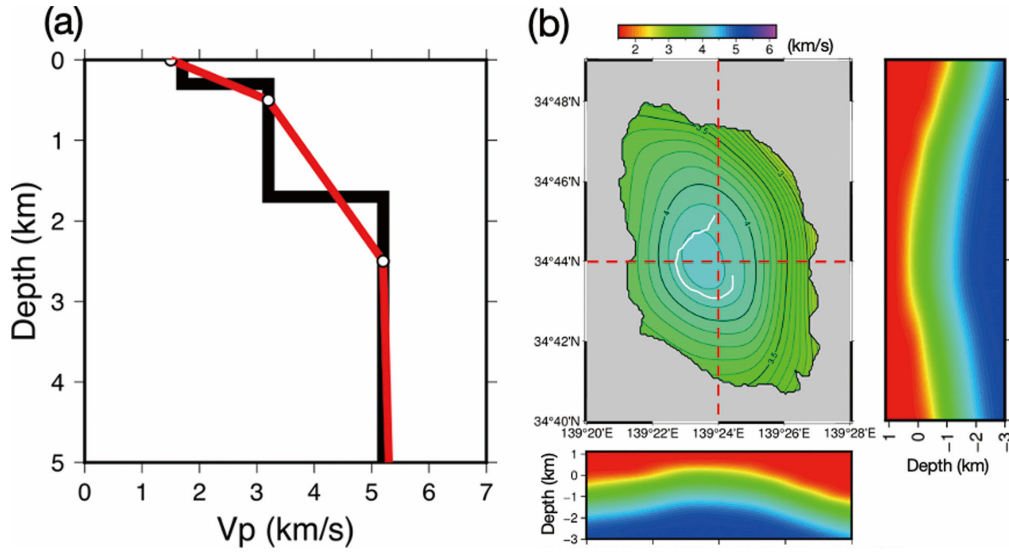


Fig. 6. Initial velocity model. (a) One-dimensional P-wave velocity structure. The black line indicates a 3-layer structure derived from the travel time data; the red line is a smoothed structure. (b) Initial 3D structure for the tomographic inversion showing horizontal cross-section at depth of 1 km, vertical cross-sections along the latitude of 34°44' N, and the longitude of 139°24' E. The white line in the horizontal cross-section represents the caldera rim.

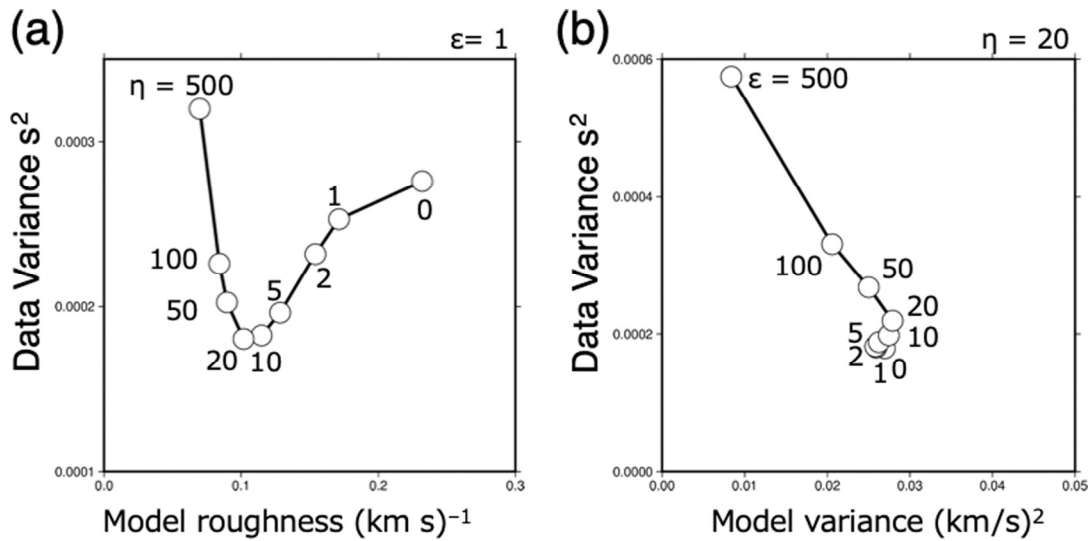


Fig. 7. Trade-off curves for (a) data variance vs. roughness of velocity structure and (b) data variance vs. model variance.

ンピングファクター $\epsilon$ とスムージングファクター $\eta$ を事前に決める必要がある。そこで、最初に $\epsilon=1$ に固定して、 $\eta$ を段階的に変えて、イタレーション5回後における走時残差の分散とモデルの経度方向平滑さのトレードオフ曲線から最適な $\eta$ を20と決めた (Fig. 7a)。次に $\eta$ を20に固定して、 $\epsilon$ を変化させて走時残差の分散と初期モデルと最終モデルの差の分散のトレードオフ曲線を作成した (Fig. 7b)。スムージングの影響のために、 $\epsilon$ が10を越えるとモデル分散の増加は見られないため、最適な $\epsilon$ として10を採用し、イタレーションを10回

Table 4. Average P-wave velocity at each grid depth.

Depth (km)	$V_p$ (km/s)
-0.614	1.622
-0.109	2.036
0.396	3.218
0.901	3.658
1.406	4.170
1.911	4.752
2.416	5.159
2.921	5.221

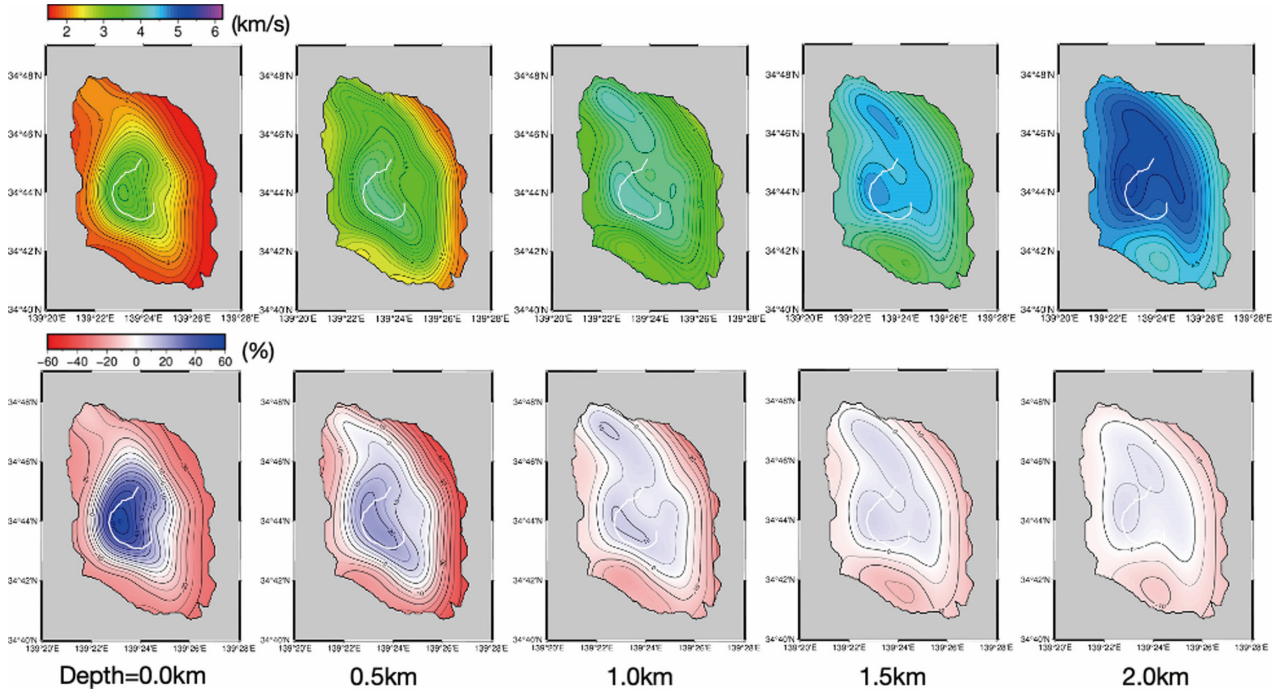


Fig. 8. (Upper panels) Horizontal cross-sections of P-wave velocity structure at depths of 0.0, 0.5, 1.0, 1.5, and 2.0 km. The contour interval is 0.1 km/s. (Lower panels) Difference of P-wave velocity from average velocity at each depth. The contour interval is 5%. The white lines represent the caldera rim.

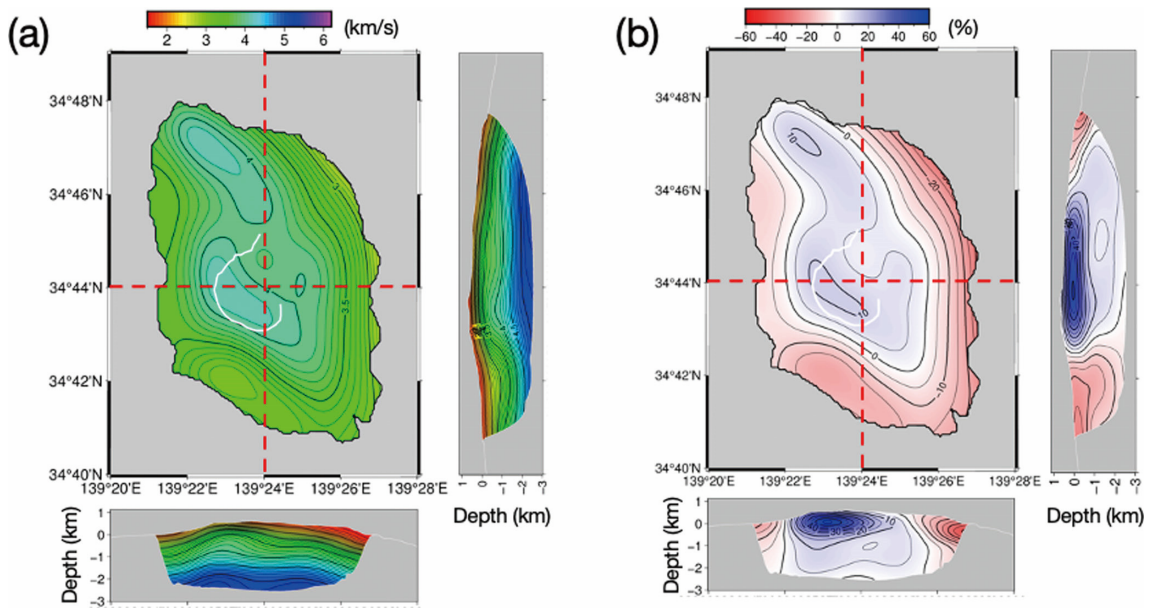


Fig. 9. (a) P-wave velocity structures on the horizontal plane at depth of 1 km and cross-sections passing through the latitude of 34°44'N and longitude of 139°24'E presented by the red broken lines. The contour interval is 0.1 km/s. In the vertical sections, the areas without seismic ray paths are shown in gray. (b) Same as (a), except for the velocity differences between the velocities of the final model and the average velocity at each depth. The contour interval is 5%.

行った後の解を最終的な解とした。RMS 残差は 135 ms から 94 ms まで減少した。

インバージョンの結果で得られた各深さグリッド点に

おける平均速度を Table 4 に示す。ただし、深さ -0.6 km での速度平均値は標高 500 m 以上の範囲、それより深い地点では標高 0 m の範囲における速度グリッドの平

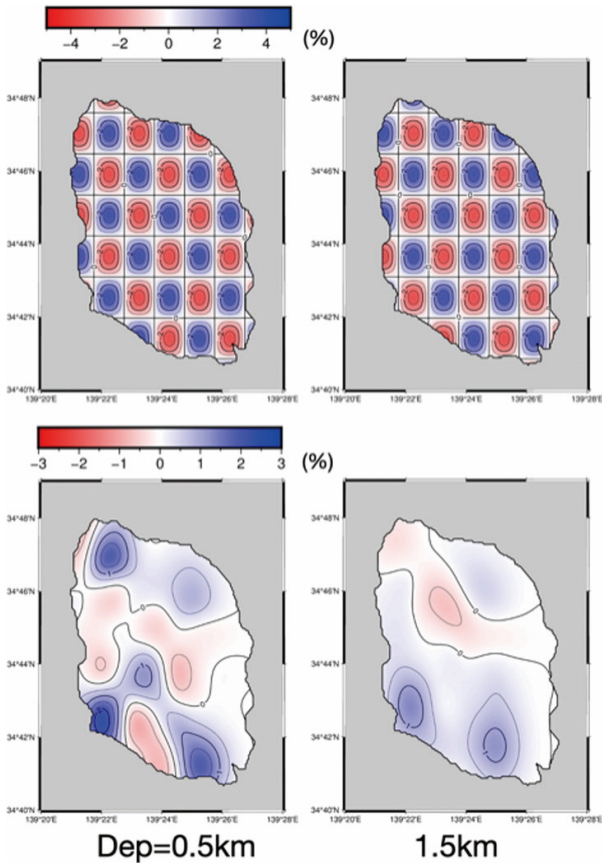


Fig. 10. Results of the checkerboard test. The left and right panels show the horizontal cross-sections at the depths of 0.5 and 1.5 km, respectively. The upper panels and lower panels show the input and output patterns, respectively. The intervals of the checkerboard patterns are 1 km and  $0.02^\circ$  for the vertical and horizontal directions, respectively. The contour interval is 2%.

均をとった。Fig. 8に深さ0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 kmにおけるP波速度(絶対速度と平均速度からの差)の水平断面図を, Fig. 9に深さ1.0 kmにおけるP波速度の水平断面図とカルデラの中央部を通る南北断面と東西断面を示す。得られた構造の特徴は以下の通りである。(1) P波速度構造の高速度域がカルデラ壁の直下深さ0.0 kmから2 kmまで確認できる。(2) 伊豆大島北西部から南東部に連なるP波速度高速度域が深さ0.5 kmから2 kmまで確認できる。(3) P波速度低速度域が伊豆大島南西部に確認できる。(4) カルデラ北部深さ1.0 kmに直径約1 kmの低速度域が確認できる。この低速度域のP波速度は、カルデラ壁直下のそれと比べると最大で約0.2 km/s(約5%)遅い。これらの特徴の有意性を判断するためにチェッカーボードテストを行い、その結果をFig. 10とFig. 11に示す。ここでは得られた最終モデルに $\pm 5\%$ の速度パーターベーションを与えて走時を計算

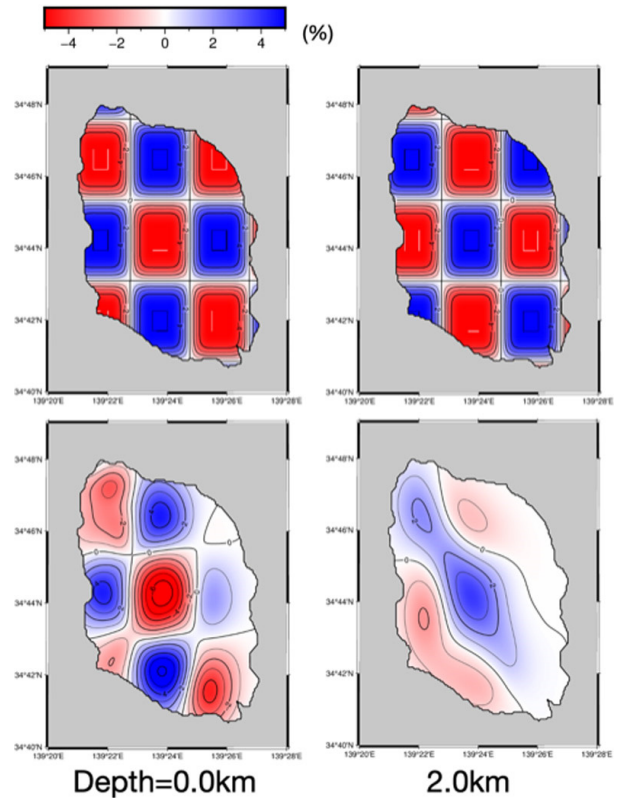


Fig. 11. Same as Fig. 10 except the horizontal cross-sections are at depths of 0.0 and 2.0 km and the checkerboard intervals are 2 km and  $0.04^\circ$  for the vertical and horizontal directions, respectively. The contour interval is 1%.

し、 $\varepsilon$ と $\eta$ や反復回数を実データと同じ条件の下で、走時には人工的なノイズを与えずにインバージョンを実行した。Fig. 10ではチェッカーボードパターンの間隔が鉛直1 km, 水平 $0.02^\circ$ , Fig. 11では鉛直2 km, 水平 $0.04^\circ$ の入力パターンと得られた解を示す。このチェッカーボードテストからは、水平方向に $0.04^\circ$ (約4 km)の分解能ならば、島の東海岸部を除いて深さ2 kmまでは信頼できるものの、水平方向で $0.02^\circ$ (約2 km)の分解能を実現しているのは、深さ0.5 kmより浅部かつ島の中央部から西側に限定されることが見て取れる。チェッカーボードテストの結果と合わせて、最終的な3次元P波速度構造の結果を見直すと、特徴(1), (2), (3)のような比較的大規模な構造は有意のものともみなすことができる。また、これらの特徴はOnizawa *et al* (2002)の結果とも調和的である。一方、特徴(4)については、チェッカーボードの回復が芳しくなく、比較的

小さい領域の異常なので、有意な結果とはみなせない。本報告で取り込めなかった未発掘の定常観測点や海上爆破によるデータを用いることによって、この低速度域の真偽を確認する必要がある。

## 5. ま と め

1999 年に実施された伊豆大島構造探査によって得られた陸域の爆破ならびに臨時地震観測の概要をまとめた。さらに初動走時から伊豆大島直下浅部における 3 次元 P 波速度構造を推定した。伊豆大島のカルデラ壁直下や大島の北西部から南東部に連なる P 波速度高速度域の存在を確認した。

## 謝 辞

本調査を遂行するにあたり、東京都大島町、東京都大島支庁土木課管理係・東京都公園事務所産業課林務係、藤田観光、東海汽船、および同和鉱業の関係者の協力を得た。

## 参考文献

- 浅野周三・一ノ瀬洋一郎・長谷川功・飯塚 進・鈴木宏芳, 1979, 爆破地震動観測資料による南関東の地殻構造, *地震*, **32**, 41-55.
- de Kool, M., N. Rawlinson and M. Sambridge, 2006, A practical grid based method for tracking multiple refraction and reflection phases in 3D heterogeneous media, *Geophys. J. Int.*, **167**, 253-270.
- 浜田盛久, 2016, 岩石学的にみた伊豆大島火山のマグマ供給系, *地震研究所彙報*, **91**, 41-54.
- 長谷川功・伊藤公介・小野晃司・相原輝雄・楠瀬勤一郎・佐藤隆司, 1987, 爆破地震による伊豆大島の地下構造—横断測線, *地質調査所月報*, **38**, 741-753.
- 伊藤公介・長谷川功・小野晃司, 1981, 地震探査による伊豆大島の地下構造, *物理探査*, **34**, 37-46.
- Ikami, A., 1978, Crustal structure in Shizuoka district, central Japan as derived from explosion seismic observations, *J. Phys. Earth*, **26**, 299-331.
- 伊神 輝・國友孝洋・古本宗允・井上 公・佐々木嘉三・末広潔, 1989, エアガンによる伊豆大島の表層構造の調査, *地震*, **42**, 219-226.
- 伊東正和, 2004, 制御震源を用いた伊豆大島及び周辺海域の地震波速度構造, 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻 2003 年度修士論文.
- 川辺禎久, 1998, 伊豆大島火山地質図, 火山地質図 10, 地質調査所.
- 気象庁編, 2013, 伊豆大島, 日本活火山総覧 (第 4 版), 気象庁.
- Lomax, A., A. Zollo, P. Capuano and J. Vireux, 2001, Precise, absolute earthquake location under Somma-Vesuvius volcano using a new three-dimensional velocity model, *Geophys. J. Int.*, **146**, 313-331.
- Mikada, H., H. Watanabe and S. Sakashita, 1997, Evidence for subsurface magma bodies beneath Izu-Oshima volcano inferred from a seismic scattering analysis and possible interpretation of the magma plumbing system of the 1986 eruptive activity, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **104**, 257-269.
- 森田裕一・浜口博之, 1996, 火山体構造探査のための高精度小型データロガーの開発, *火山*, **41**, 127-139.
- 森田裕一・2009 年伊豆大島構造探査実験グループ, 2021, 2009 年海中爆破実験による伊豆大島及びその周辺の地震波速度構造, *地震研究所彙報*, **96**, 11-27.
- Nakamura, K., 1964, Volcano-stratigraphic study of Oshima volcano, Izu, *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, **42**, 649-728.
- 西 潔・石原和弘, 2003, 火山地域における震源計算についての提案, *火山*, **48**, 407-413.
- Onizawa, S., H. Mikada, H. Watanabe and S. Sakashita, 2002, A method for simultaneous velocity and density inversion and its application to exploration of subsurface structure beneath Izu-Oshima volcano, Japan, *Earth Planet. Space*, **54**, 803-817.
- Onizawa, S., H. Oshima, H. Aoyama, H.Y. Mori, T. Maekawa, A. Suzuki, T. Tsutsui, N. Matsuwo, J. Oikawa, T. Ohminato, K. Yamamoto, T. Mori, T. Taira, H. Miyamachi and H. Okada, 2007, P-wave velocity structure of Usu volcano: Implication of structural controls on magma movements and eruption locations, *J. Vol. Geotherm. Res.*, **160**, 175-194.
- Rawlinson, N., M. de Kool and M. Sambridge, 2006, Seismic wavefront tracking in 3-D heterogeneous media: applications with multiple data classes, *Explor. Geophys.*, **37**, 322-330.
- Rawlinson, N. and M. Urvoy, 2006, Simultaneous inversion of active and passive source datasets for 3-D seismic structure with application to Tasmania, *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L24313, doi:10.1029/2006GL028105.
- Sambridge, M., 1990, Non-linear arrival time inversion: constraining velocity anomalies by seeking smooth models in 3-D, *Geophys. J. Int.*, **102**, 653-671.
- Shearer, P.M., 2009, Introduction to Seismology, 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge, 396 pp.
- Tanaka, S., H. Hamaguchi, S. Ueki, M. Sato and H. Nakamichi, 2002a, Migration of seismic activity during the 1998 volcanic unrest at Iwate volcano, northeastern Japan, with reference to P and S wave velocity anomaly and crustal deformation, *J. Vol. Geotherm. Res.*, **113**, 399-414.
- Tanaka, S., H. Hamaguchi, T. Nishimura, T. Yamawaki, S. Ueki, H. Nakamichi, T. Tsutsui, H. Miyamachi, N. Matsuwo, J. Oikawa, T. Ohminato, K. Miyaoka, S. Onizawa, T. Mori and K. Aizawa, 2002b, Three-dimensional P-wave velocity structure of Iwate volcano, Japan from active seismic survey, *Geophys. Res. Lett.*, **29**, doi:10.1029/2002GL014983.
- 田中康裕・清野政明・田沢堅太郎・赤羽俊郎, 1969, 伊豆大島の地震波速度と地下構造について, *火山*, 第 2 集, **14**, 84-96.
- 筒井智樹・森田裕一・三ヶ田均, 1995, 火山構造探査グループの人工地震記録読みとり用標準ソフトについて, *地震研究所彙報*, **70**, 81-90.
- Yamawaki, T., S. Tanaka, S. Ueki, H. Hamaguchi, H. Nakamichi, T. Nishimura, J. Oikawa, T. Tsutsui, K. Nishi, H. Shimizu, S. Yamaguchi, H. Miyamachi, H. Yamasato and Y. Hayashi, 2004, Three-dimensional P-wave velocity structure of Bandai volcano in northeastern Japan inferred from active seismic survey, *J. Vol. Geotherm. Res.*, **138**, 267-282.

山岡耕春・渡辺秀文・坂下至功, 1988, 1986 年伊豆大島噴火  
前後の地震活動, 火山, 第 2 集, **33**, S91-S101.

(Received July 11, 2023)

(Accepted October 26, 2023)

---

役割分担

探査総括責任者：渡辺秀文 探査準備・交渉：渡辺秀文, 及川 純, 坂下  
至功 観測：著者全員 予備調査：渡辺秀文, 及川 純, 坂下至功  
記録解析：及川 純, 松下 誠, 渡辺秀文, 田中 聡, 熊谷博之, 戸松  
稔貴, 栗山 都, 松島 健, 藤原健治 本文執筆ならびに 3 次元地震波  
速度構造解析：田中 聡