

雲仙火山における人工地震探査

—観測および初動の読みとり—

松島 健¹⁾・清水 洋¹⁾・西村裕一²⁾・植木真人³⁾・西村太志⁴⁾・青木重樹^{4)a}・早川俊彦⁴⁾
鍵山恒臣⁵⁾・三ヶ田 均^{5)b}・及川 純⁵⁾・北村健彦⁵⁾・宗包浩志⁵⁾・渡辺 了⁶⁾・熊谷博之⁷⁾
筒井智樹⁸⁾・西 潔⁹⁾・井口正人⁹⁾・宮町宏樹¹⁰⁾・高木朗充¹¹⁾・岡田 弘²⁾・前川徳光²⁾
青山 裕^{2)c}・干野 真^{2)d}・奥 喜明^{12)e}・為栗 健^{13)f}・森田裕一^{3)c}・橋本恵一³⁾
中道治久³⁾・佐藤峰司³⁾・平林順一¹⁴⁾・大場 武¹⁴⁾・野上健治¹⁴⁾・井田喜明⁵⁾・渡辺秀文⁵⁾
山科健一郎⁵⁾・沢田宗久⁵⁾・行田紀也⁵⁾・松本時子⁵⁾・増谷文雄⁵⁾・長田 昇⁵⁾・辻 浩⁵⁾
飯高 隆⁵⁾・武田哲也⁵⁾・伊藤 健^{5)g}・伊藤 渉^{5)h}・野津憲治¹⁵⁾・森 俊哉¹⁵⁾
戸松稔貴⁶⁾ⁱ・増山孝行^{6)j}・山岡耕春⁷⁾・奥田 隆⁷⁾・西原真仁⁷⁾・羽佐田葉子⁷⁾
前田実利^{16)k}・太田一也¹⁾・松尾のり道¹⁾・馬越孝道¹⁾・福井理作¹⁾・内田和也¹⁾
八木原寛¹¹⁾・岡松憲和^{1)m}・藤井雄士郎¹⁾・森 健彦¹⁷⁾・松本良浩¹⁷⁾ⁿ・中坊 真¹⁷⁾
吉川 慎⁸⁾・石原和弘⁹⁾・高山鐵朗⁹⁾・ムハマッド ヘンドラスト^{17)o}
アントニウス ラドモプルボ¹⁸⁾・平野舟一郎¹⁰⁾・平松秀行^{10)a}・永岡 修¹¹⁾・松島正哉¹¹⁾
青木恒生¹¹⁾・前中伸雄¹¹⁾・鳥巢啓多¹¹⁾・緒方 誠¹¹⁾・松末伸一¹¹⁾・福田信夫¹¹⁾
山下隆丞¹¹⁾・飯島 聖¹¹⁾・森 博一¹¹⁾

¹⁾九州大学理学部 ²⁾北海道大学理学部 ³⁾東北大学理学部 ⁴⁾東北大学大学院理学研究科 ⁵⁾東京大学
地震研究所 ⁶⁾富山大学理学部 ⁷⁾名古屋大学理学部 ⁸⁾京都大学理学部 ⁹⁾京都大学防災研究所 ¹⁰⁾鹿
児島大学理学部 ¹¹⁾気象庁 ¹²⁾弘前大学大学院理学研究科 ¹³⁾弘前大学理学部 ¹⁴⁾東京工業大学 ¹⁵⁾東
京大学理学部 ¹⁶⁾広島大学理学部 ¹⁷⁾京都大学大学院理学研究科 ¹⁸⁾インドネシア火山調査所
^a現在気象庁 ^b現在シュルンベルジェ株式会社 ^c現在東京大学地震研究所 ^d現在北海道大学大学院理
学研究科 ^e現在東京消防庁 ^f現在弘前大学大学院理学研究科 ^g現在神奈川県 ^h現在日本電信電話
株式会社 ⁱ現在名古屋大学理学部 ^j現在金沢大学理学部 ^k現在株式会社パスコ ^l現在鹿児島大学理学
部 ^m現在福岡県立八女高等学校 ⁿ現在海上保安庁 ^o現在インドネシア火山調査所

1995 Explosion Experiment in Unzen Volcano

Takeshi MATUSHIMA¹⁾, Hiroshi SHIMIZU¹⁾, Yuichi NISHIMURA²⁾, Sadato UEKI³⁾, Takeshi
NISHIMURA⁴⁾, Shigeki AOKI^{4)a}, Toshihiko HAYAKAWA⁴⁾, Tsuneomi KAGIYAMA⁵⁾, Hitoshi
MIKADA^{5)b}, Jun OIKAWA⁵⁾, Takehiko KITAMURA⁵⁾, Hiroshi MUNEKANE⁵⁾, Tohru
WATANABE⁶⁾, Hiroyuki KUMAGAI⁷⁾, Tomoki TSUTSUI⁸⁾, Kiyoshi NISHI⁹⁾, Masato IGUCHI⁹⁾,
Hiroyuki MIYAMACHI¹⁰⁾, Akimichi TAKAGI¹¹⁾, Hiromu OKADA²⁾, Tokumitsu MAEKAWA²⁾,
Hiroshi AOYAMA^{2)c}, Makoto HOSHINO^{2)d}, Yoshiaki OKU^{12)e}, Takeshi TAMEGURI^{13)f}, Yuichi
MORITA^{3)c}, Keiichi HASHIMOTO³⁾, Haruhisa NAKAMICHI³⁾, Minemori SATO³⁾, Jun-ichi
HIRABAYASHI¹⁴⁾, Takeshi OHBA¹⁴⁾, Kenji NOGAMI¹⁴⁾, Yoshiaki IDA⁵⁾, Hidefumi WATANABE⁵⁾,
Ken'ichiro YAMASHINA⁵⁾, Munehisa SAWADA⁵⁾, Noriya GYODA⁵⁾, Tokiko MATSUMOTO⁵⁾,
Fumio MASUTANI⁵⁾, Noboru OSADA⁵⁾, Hiroshi TSUJI⁵⁾, Takashi IIDAKA⁵⁾, Tetsuya
TAKEDA⁵⁾, Takeshi ITO^{5)g}, Wataru ITO^{5)h}, Kenji NOTSU¹⁵⁾, Toshiya MORI¹⁵⁾, Toshitaka
TOMATSU⁶⁾ⁱ, Takayuki MASUYAMA^{6)j}, Koshun YAMAOKA⁷⁾, Takashi OKUDA⁷⁾, Masahito

NISHIHARA⁷⁾, YOKO HASADA⁷⁾, Mitoshi MAEDA^{16)k}, Kazuya OHTA¹⁾, Norimichi MATSUWO¹⁾, Kodo UMAKOSHI¹⁾, Risaku FUKUI¹⁾, Kazunari UCHIDA¹⁾, Hiroshi YAKIWARA¹¹⁾, Norikazu OKAMATSU^{1)m}, Yushiro FUJII¹⁾, Takehiko MORI¹⁷⁾, Yoshihiro MATSUMOTO¹⁷⁾ⁿ, Makoto NAKABOH¹⁷⁾, Shin YOSHIKAWA⁸⁾, Kazuhiro ISHIHARA⁹⁾, Tetsuro TAKAYAMA⁹⁾, Muhamad HENDRASTO^{17)o}, Antonius RATDOMOPURBO¹⁸⁾, Shuichirou HIRANO¹⁰⁾, Hideyuki HIRAMATSU^{10)a}, Osamu NAGAOKA¹¹⁾, Masaya MATSUSHIMA¹¹⁾, Tsuneo AOKI¹¹⁾, Nobuo MAENAKA¹¹⁾, Keita TORISU¹¹⁾, Makoto OGATA¹¹⁾, Shin-ichi MATSUSUE¹¹⁾, Nobuo FUKUDA¹¹⁾, Takatsugu YAMASHITA¹¹⁾, Sei IJIMA¹¹⁾, Hirokazu MORI¹¹⁾

¹⁾ Faculty of Science, Kyushu University ²⁾ Faculty of Science, Hokkaido University ³⁾ Faculty of Science, Tohoku University ⁴⁾ Graduate School of Science, Tohoku University ⁵⁾ Earthquake Research Institute, University of Tokyo ⁶⁾ Faculty of Science, Toyama University ⁷⁾ School of Science, Nagoya University ⁸⁾ Faculty of Science, Kyoto University ⁹⁾ Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University ¹⁰⁾ Faculty of Science, Kagoshima University ¹¹⁾ Japan Meteorological Agency ¹²⁾ Graduate School of Science, Hirosaki University ¹³⁾ Faculty of Science, Hirosaki University ¹⁴⁾ Tokyo Institute of Technology ¹⁵⁾ Faculty of Science, Tokyo University ¹⁶⁾ Faculty of Science, Hiroshima University ¹⁷⁾ Graduate School of Science, Kyoto University ¹⁸⁾ Volcanological Survey of Indonesia

^a Now at Japan Meteorological Agency ^b Now at Schlumberger K.K. ^c Now at Earthquake Research Institute, University of Tokyo ^d Now at Graduate School of Science, Hokkaido University ^e Now at Tokyo Fire Department ^f Now at Graduate School of Science, Hirosaki University ^g Now at Kanagawa Prefectural Office ^h Now at Nippon Telegraph and Telephone Corporation ⁱ Now at School of Science, Nagoya University ^j Now at Faculty of Science, Kanazawa University ^k Now at Pasco Corporation ^l Now at Faculty of Science, Kagoshima University ^m Now at Yame Senior High School ⁿ Now at Maritime Safety Agency Japan ^o Now at Volcanological Survey of Indonesia

Abstract

In 1995, the second joint seismic experiment for investigations on the structures of volcanoes was conducted on Unzen Volcano, Western Kyushu, by a group of scientists from national universities and under the National Research Project for the Prediction of Volcanic Eruptions. Mt. Fugen, the main peak of Unzen volcano, abruptly started eruption in November, 1990, and the eruption continued till early 1995. A new lava dome was formed on the east side of Mt. Fugen and pyroclastic flows were generated from the lava dome. The estimated volume of magma erupted in this activity was $2 \times 10^8 \text{ m}^3$. To reveal the structure and the magma supply system under the volcano is one of the major aim of this experiment. A set of extensive explosion seismic experiments was conducted on November 30, 1995. Observations were made along a 26-km line and a 12-km line lying in the WNW-ESE and NNE-SSW directions respectively, and 5 small aperture arrays. The two lines cross on the western flank of the volcano. Six shots by chemical explosives with a charge size of 200–250 kg and 295 temporary seismic observations were arranged. All 6 shots were successfully fired, and clear onset and significant phases of seismic waves were recorded on compact data-loggers with precise GPS clock at most observation sites. The travel time curves of the first arrivals suggest that higher velocity region exists beneath the western flank of the volcano. In the observed records, we also found a number of remarkable later phases which are interpreted as reflected and scattered waves from the structure under the volcano. An outline of this experiments is given briefly in this paper, and detailed results of the experiments will be published later in separate papers.

Key words : Unzen volcano, Seismic explosion survey, Velocity structure of volcano

1. はじめに

1990年11月に約200年ぶりに噴火を再開した雲仙普賢岳は、翌1991年5月から粘性の高い溶岩を噴出させ巨大な溶岩ドームを形成した。そこから崩壊する溶岩は火砕流を発生させ、付近の住民や家屋に大きな災害をもたらしたが、1995年2月以降溶岩噴出は急速に衰えた。国土地理院(1994)によると、1994年9月の時点で山頂付近に存在する溶岩ドームの体積は約1億立方メートルであり、また火山活動にともない、山麓に堆積したり遠方に四散した火山灰の量は溶岩換算で約1億立方メートルと推定され、計約2億立方メートルのマグマが地下から噴出したことになる。

このような大量のマグマがどこに蓄積され、どのような経路で上昇してきたのかを知ることは、火山学的に、また次回の噴火を予知するという防災上の観点からも大変重要な課題である。

火山体の地下構造を推定する方法はいくつかあるが、人工地震を用いた探査はもっとも高精度・高分解能な推定法の1つであり、弾性波速度構造を把握するとともに、溶融体からの反射波や透過波をとらえ、その位置・規模を推定することができる。また求められた速度構造を使うことにより、火山性地震の高精度の震源決定が可能になる。

このため、大規模な人工地震を用いた火山体構造探査が火山噴火予知計画に基づいて1994年から毎年実施されており、第1回の霧島火山群に引き続いて1995年秋に雲仙火山で実施された。

本報告では、この人工地震探査の概要を述べるとともに、得られた地震波形記録、走時などの基本的なデータを示す。これらのデータから得られた地殻構造については、別に報告する予定である。

2. 人工地震探査の概要

人工地震探査は1995年11月30日未明に実施され、Fig. 1に示す6点で火薬の爆破が行われた。爆破点はすべて付近の三角点から多角測量および間接水準測量を行い、薬頭(火薬柱の上端)深度は検尺により測定している。爆破孔は、直径12cm以上、深さ40~45mであり、内径10.5cm、厚さ0.5cmの鋼鉄製パイプで底までケーシングされている。使用した爆薬は200~250kgの海底爆破用ダイナマイトで、各爆破孔底部まで装填の後、予定時刻に爆破された。それぞれの爆破点の爆破時刻、緯度、経度、薬頭の標高、薬量はTable 1に示すとおりである。爆破に関わる爆破孔のボーリングおよび爆破作業は、総合地質調査株式会社の請負で行われた。

これらの爆破による地震動を観測するためにFig. 1に示す様にM測線(西北西-東南東、約26km)105点、N測線(北北東-南南西、約12km)59点の臨時観測点を設置した。測線上の地震計間隔は200~300mである。2つの測線は雲仙岳の西山麓で交差している。各観測点にはMark Products社製L-22D型地震計(固有周波数2Hz、コイル抵抗約2.2k Ω)をダンピング定数0.7で用いた。

観測波形は白山工業社製Datamark LS8000SHにより分解能16bit、サンプリング間隔4msで収録された。本装置はGPSにより較正された時刻管理の下でデータを記録するため、すべてのデータは1msの精度が保証されている。ただし、数箇所において獣害等により時刻較正が不良な点があり、これらの点のデータは解析から除かれた。

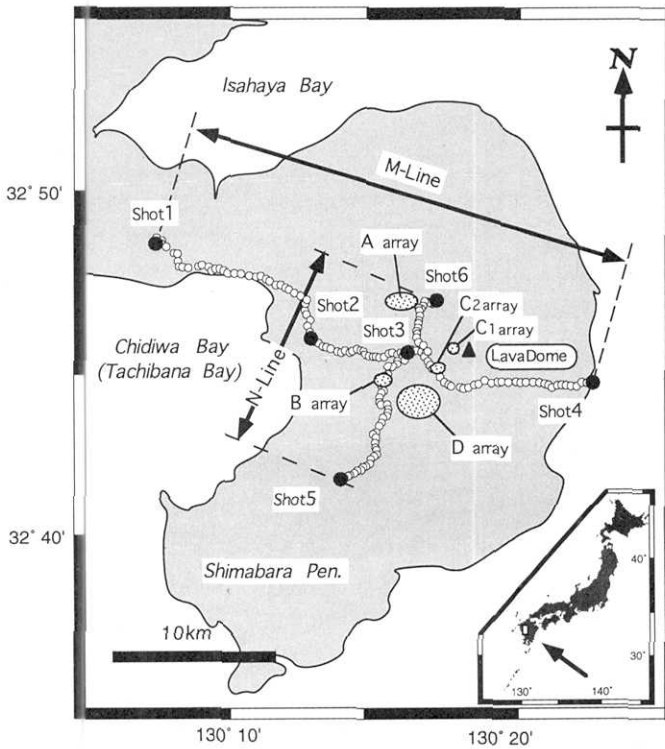


Fig. 1. Location map of the 1995 explosion experiment in Unzen volcano. Closed circles and open circles denote shot points and observation sites, respectively. M-Line (from Shot 1 to Shot 4, 26 km) lies in the WNW-ESE direction, and N-Line (from Shot 6 to Shot 5, 12 km) lies in the NNE-SSW direction. Locations of small aperture arrays were also plotted.

Table 1. Shot times, locations and charge size of 6 explosions in the 1995 Unzen experiment.

Shot	Date 1995	Time (JST)	Latitude (° ' ")	Longitude (° ' ")	Altitude (m)	Charge (kg)
1	Nov. 30	01:02:01.141	32 48 31.96	130 07 24.32	106.9	250
2	Nov. 30	01:12:10.898	32 45 46.67	130 12 44.81	185.0	200
3	Nov. 30	01:22:10.766	32 45 22.55	130 16 06.51	564.9	200
4	Nov. 30	01:32:10.088	32 44 30.42	130 22 34.47	-15.4	250
5	Nov. 30	01:42:10.923	32 41 41.24	130 13 46.72	357.4	200
6	Nov. 30	01:52:10.996	32 46 52.77	130 17 08.09	475.6	200

また、火山体の下からの反射波や散乱波の検出を目的に A アレイ (35 点), B アレイ (34 点), C₁ アレイ (14 点), C₂ アレイ (22 点), D アレイ (23 点) の 5 箇所のアレイが設置された。このうち A アレイの 30 点はデータ収録装置として物理探査用の BISON9048 A を用い、4.5 Hz 上下動地震計を CDP ケーブルを介して接続した (雲仙火山人工地震探査グループ, 1996)。その他のアレイは測線観測と同じ観測機材を用いている。A, B, C₁, C₂ アレイでは地震計を約 20 m 間隔で設置し、データのサンプリング間隔は 1 ms で記録した。A アレイの残り 5 点および D アレイの地震計間隔は約 250 m、データサンプリング 4 ms である。

さらに爆破点からほぼ 100 m 間隔で 6 台の地震計を展開する小測線を各爆破点について 3~4 本とり、地表付近の地震波速度の測定も実施した。

その他に火山体の減衰構造推定する目的で、広帯域地震計 (STS-2) を用いた観測が 3 地点で実施され、MAEDA *et al.* (1997) に報告されている。

各観測点の位置は GPS の高速静止測量法で決定され、その結果を Table 2 に示す。これは前回の霧島火山体における探査時と同様な方法 (松島他, 1995) であり、精度はほぼ 1 m 以内である。

記録されたデータはパーソナルコンピュータ (IBM 社製, ThinkPad230 Cs など) に回収した後、実験翌日にはワークステーションに集められ、参加者に 8 mm テープ等で配付された。

3. 観測結果

爆破点近傍の小測線における走時図を Fig. 2 に示す。表層の P 波速度は Shot 1, Shot 3 付近が 2.5~3.0 km/s であるが、Shot 2, Shot 4 付近は 1.5~1.9 km/s と遅くなっている。また Shot 5, Shot 6 付近は P 波速度が 1.0~1.5 km/s の非常に低速度の薄い層の下にみかけ P 波速度 2.0~2.5 km/s の層が存在することが分かった。

Fig. 3 に各爆破点の爆破に対応する M 測線や N 測線における震動波形を示す。それぞれの記録は各トレースの最大振幅で規格化してある。Shot 1 から Shot 6 までのすべての爆破で明瞭な初動を確認することができる。また反射波や散乱波と見られる連続性のあつた明瞭な後続波も数多く見られ非常に興味深い。

M 測線および N 測線の初動読み取り作業には 19 名があたり、各人が事前に読み取った値をワークステーションの画面上に波形とともに表示しながら全員が検討する方式で最終読み取り値を確定する作業を行った。

Table 3 に示す読み取りには、ノイズレベルや立ち上がりの明瞭度を考慮してその読み取り値のランクを付加している。ここで、ランク A は過半数の読み取り者が立ち上がり明瞭で読み取り精度が ± 10 ms 以内であると判断されたもの、ランク B は同様に読み取り精度が ± 30 ms 以内であると判断されたもの、ランク C はそれ以下の精度の読み取り値である。また S/N 比が悪いため、初動到達時刻が不明瞭な場合には、明らかに地震波の到達している時刻を読み取り、ランク L をつけた。

M, N 測線での読み取り値を Fig. 4 に示す。両測線とも雲仙岳西山麓に相当する Shot 3 付近に見掛け速度の早い部分がみられ、地殻変動データから推察されたマグマソース (たとえば HENDRASTO *et al.*, 1997) との関連が興味もたれる。また雲仙岳東山麓側は見掛け速

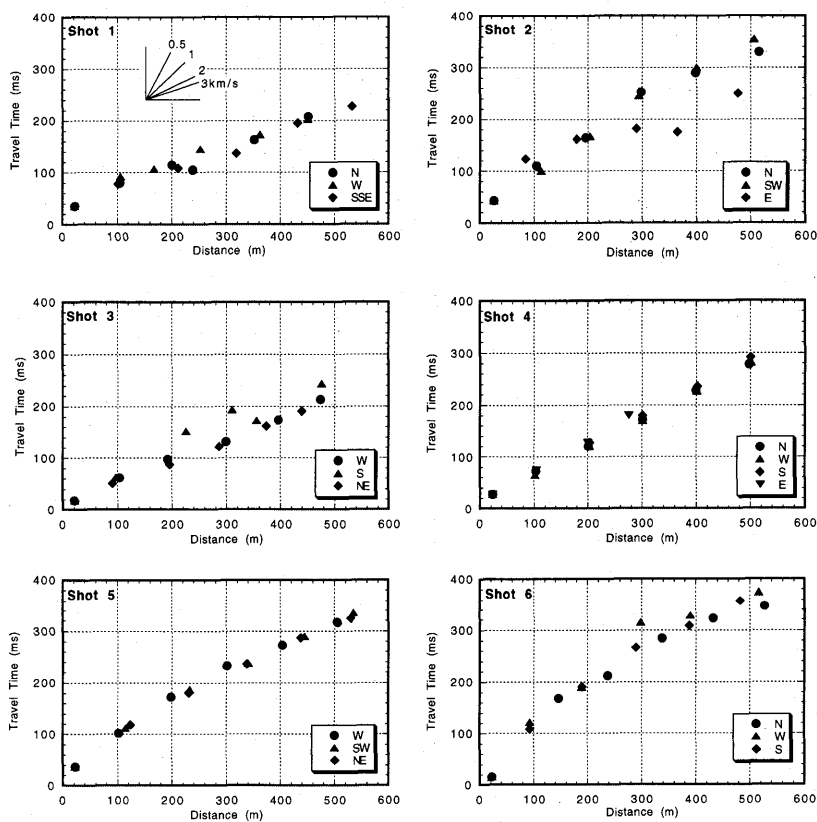


Fig. 2. Travel time diagrams near the shot points.

度が遅く、山体崩壊堆積物に厚く覆われていると推測される。

4. まとめ

1995年11月30日未明に雲仙火山において人工地震による構造探査を行った。観測は成功し、有意義なデータを得ることができた。初動の走時からは雲仙岳西山麓に基盤の盛り上がりが見られ、マグマソースとの関連が興味もたれる。これらの解析の詳しい結果は別の機会に報告する。

雲仙火山における人工地震探査

Table 2. Locations of temporary observation sites obtained through GPS survey. The coordinates are transformed to the Tokyo datum coordinate system.

Site	Latitude (° ' ")	Longitude (° ' ")	Altitude (m)	Site	Latitude (° ' ")	Longitude (° ' ")	Altitude (m)
M001	32 48 33.2	130 07 23.4	137	M045	32 45 28.5	130 13 25.6	215
M002	32 48 41.7	130 07 26.3	70	M046	32 45 23.1	130 13 40.4	209
M003	32 48 37.2	130 07 36.8	49	M047	32 45 21.5	130 13 48.5	217
M004	32 48 31.5	130 07 35.5	51	M048	32 45 24.6	130 13 55.7	234
M005	32 48 25.6	130 07 45.7	53	M049	32 45 21.5	130 14 05.6	250
M006	32 48 14.8	130 08 02.0	42	M050	32 45 24.5	130 14 11.4	257
M007	32 48 14.3	130 08 09.4	29	M051	32 45 27.3	130 14 20.8	275
M008	32 48 00.6	130 08 09.9	19	M052	32 45 25.3	130 14 28.9	290
M009	32 47 51.1	130 08 11.8	57	M053	32 45 24.1	130 14 35.2	314
M010	32 47 50.6	130 08 18.7	102	M054	32 45 19.1	130 14 37.8	342
M011	32 47 48.8	130 08 31.0	41	M055	32 45 16.5	130 14 46.5	357
M012	32 47 51.4	130 08 52.2	38	M056	32 45 15.7	130 14 55.1	365
M013	32 47 53.9	130 08 59.3	41	M057	32 45 15.4	130 15 01.5	374
M014	32 47 50.2	130 09 13.2	23	M058	32 45 13.9	130 15 07.6	388
M015	32 47 43.3	130 09 19.4	38	M059	32 45 14.9	130 15 17.7	416
M016	32 47 46.7	130 09 26.6	61	M060	32 45 20.7	130 15 27.6	442
M017	32 47 47.2	130 09 36.3	68	M061	32 45 22.6	130 15 35.0	466
M018	32 47 44.0	130 09 45.3	75	M062	32 45 19.0	130 15 45.5	502
M019	32 47 39.3	130 09 53.3	88	M063	32 45 22.4	130 15 52.6	531
M020	32 47 40.1	130 10 06.6	97	M064	32 45 22.9	130 15 59.9	563
M021	32 47 39.1	130 10 21.4	115	M065	32 45 22.5	130 16 06.2	587
M022	32 47 36.2	130 10 38.4	85	M066	32 45 28.1	130 16 09.9	615
M023	32 47 34.5	130 10 52.1	70	M067	32 45 27.7	130 16 15.0	638
M024	32 47 35.4	130 11 02.3	58	M068	32 45 26.2	130 16 25.1	681
M025	32 47 30.2	130 11 13.0	36	M069	32 45 23.1	130 16 36.5	836
M026	32 47 26.3	130 11 19.8	10	M070	32 45 21.6	130 16 45.3	886
M027	32 47 20.1	130 11 33.2	6	M071	32 45 14.7	130 16 42.2	898
M028	32 47 19.6	130 11 42.5	8	M072	32 45 06.2	130 16 49.2	943
M029	32 47 14.8	130 11 53.1	10	M073	32 45 00.7	130 16 53.6	996
M030	32 47 11.6	130 11 59.6	12	M074	32 44 53.9	130 16 59.8	977
M031	32 47 05.6	130 12 11.4	21	M075	32 44 53.3	130 17 09.8	1071
M032	32 47 00.2	130 12 24.5	47	M076	32 44 39.7	130 17 16.4	1053
M033	32 46 54.1	130 12 37.1	63	M077	32 44 30.2	130 17 25.4	1042
M034	32 46 46.7	130 12 33.7	57	M078	32 44 26.1	130 17 33.9	1034
M035	32 46 35.3	130 12 33.5	71	M079	32 44 23.5	130 17 39.4	1027
M036	32 46 28.1	130 12 36.0	121	M080	32 44 21.8	130 17 58.0	819
M037	32 46 18.3	130 12 43.6	162	M081	32 44 18.8	130 18 04.9	770
M038	32 46 07.8	130 12 38.0	147	M082	32 44 20.5	130 18 14.9	751
M039	32 45 57.0	130 12 42.9	202	M083	32 44 24.7	130 18 27.1	707
M040	32 45 46.8	130 12 44.3	208	M084	32 44 26.7	130 18 35.9	693
M041	32 45 41.2	130 12 51.9	181	M085	32 44 32.4	130 18 48.7	466
M042	32 45 38.9	130 13 00.6	164	M086	32 44 28.6	130 19 03.2	424
M043	32 45 32.5	130 13 10.4	183	M087	32 44 30.4	130 19 16.2	370
M044	32 45 31.3	130 13 16.6	184	M088	32 44 31.6	130 19 23.9	339

松島 健 他

Site	Latitude (° ' ")	Longitude (° ' ")	Altitude (m)
M089	32 44 30.7	130 19 37.6	298
M090	32 44 31.6	130 19 54.0	262
M091	32 44 30.3	130 20 03.6	240
M092	32 44 30.8	130 20 15.2	214
M093	32 44 31.0	130 20 30.2	186
M094	32 44 30.4	130 20 43.4	160
M095	32 44 28.2	130 20 53.9	140
M096	32 44 25.7	130 21 02.0	126
M097	32 44 21.7	130 21 08.7	113
M098	32 44 25.2	130 21 20.4	96
M099	32 44 25.6	130 21 29.1	81
M100	32 44 24.9	130 21 37.7	67
M101	32 44 24.3	130 21 48.3	54
M102	32 44 23.7	130 21 59.5	40
M103	32 44 30.1	130 22 11.1	27
M104	32 44 29.2	130 22 22.4	14
M105	32 44 30.6	130 22 31.9	6
N001	32 46 52.2	130 17 07.3	501
N002	32 46 46.8	130 16 59.3	540
N003	32 46 49.4	130 16 53.4	563
N004	32 46 51.6	130 16 43.2	572
N005	32 46 43.4	130 16 40.1	592
N006	32 46 38.1	130 16 36.4	611
N007	32 46 39.7	130 16 31.1	632
N008	32 46 35.5	130 16 31.9	645
N009	32 46 26.4	130 16 32.6	672
N010	32 46 18.4	130 16 30.6	697
N011	32 46 13.6	130 16 30.1	713
N012	32 46 05.6	130 16 29.1	744
N013	32 45 60.0	130 16 25.6	807
N014	32 45 54.3	130 16 26.7	825
N015	32 45 48.9	130 16 25.7	842
N016	32 45 40.3	130 16 29.8	867
N017	32 45 34.9	130 16 39.7	889
N018	32 45 24.6	130 16 48.7	873
N019	32 45 16.3	130 15 57.0	629
N020	32 45 08.8	130 16 01.0	622
N021	32 45 07.6	130 15 46.1	649
N022	32 45 02.4	130 15 44.7	640
N023	32 44 58.3	130 15 36.7	611
N024	32 44 59.1	130 15 27.2	610
N025	32 44 44.8	130 15 28.3	654
N026	32 44 42.0	130 15 20.7	654
N027	32 44 34.7	130 15 12.3	665

Site	Latitude (° ' ")	Longitude (° ' ")	Altitude (m)
N028	32 44 25.1	130 15 13.9	658
N029	32 44 16.0	130 15 18.9	749
N030	32 44 12.1	130 15 13.7	808
N031	32 44 04.6	130 15 10.5	854
N032	32 43 56.0	130 15 09.9	824
N033	32 43 51.7	130 15 13.1	796
N034	32 43 51.8	130 15 26.0	708
N035	32 43 44.6	130 15 28.4	712
N036	32 43 38.5	130 15 27.5	699
N037	32 43 32.5	130 15 24.9	647
N038	32 43 29.2	130 15 16.6	658
N039	32 43 21.2	130 15 13.7	638
N040	32 43 14.6	130 15 08.8	623
N041	32 43 03.9	130 15 02.7	593
N042	32 43 00.5	130 14 55.6	582
N043	32 42 54.7	130 15 02.3	536
N044	32 42 45.3	130 15 00.3	489
N045	32 42 36.5	130 15 01.1	502
N046	32 42 32.5	130 15 02.8	502
N047	32 42 25.2	130 15 03.9	499
N048	32 42 21.8	130 14 57.7	500
N049	32 42 16.2	130 14 51.3	504
N050	32 42 09.3	130 14 49.1	490
N051	32 42 05.0	130 14 41.3	473
N052	32 42 02.7	130 14 35.3	469
N053	32 41 58.1	130 14 30.4	450
N054	32 41 55.0	130 14 21.6	434
N055	32 41 51.4	130 14 16.4	427
N056	32 41 48.0	130 14 07.4	408
N057	32 41 46.3	130 14 03.2	402
N058	32 41 43.0	130 13 55.2	391
N059	32 41 40.9	130 13 44.5	381
A001	32 46 54.0	130 16 28.3	638
A002	32 46 58.8	130 16 19.8	634
A003	32 47 00.8	130 16 05.2	620
A004	32 47 03.5	130 15 53.2	617
A005	32 47 03.0	130 15 38.5	606
B001	32 44 41.2	130 15 19.8	654
B002	32 44 41.6	130 15 20.4	654
B003	32 44 42.1	130 15 21.1	654
B004	32 44 42.5	130 15 21.7	654
B005	32 44 43.0	130 15 22.4	654
B006	32 44 43.3	130 15 23.1	654
B007	32 44 43.7	130 15 23.9	656

雲仙火山における人工地震探査

Site	Latitude (° ' ")	Longitude (° ' ")	Altitude (m)
B008	32 44 44.1	130 15 24.4	658
B009	32 44 44.5	130 15 25.2	659
B010	32 44 44.7	130 15 25.9	659
B011	32 44 44.9	130 15 26.7	657
B012	32 44 44.9	130 15 27.4	655
B013	32 44 44.8	130 15 28.1	654
B014	32 44 44.9	130 15 28.9	654
B015	32 44 44.6	130 15 29.5	655
B016	32 44 44.3	130 15 30.1	657
B017	32 44 44.1	130 15 30.7	660
B018	32 44 43.9	130 15 31.4	662
B019	32 44 43.5	130 15 31.9	662
B020	32 44 42.9	130 15 32.1	663
B021	32 44 42.3	130 15 32.3	664
B022	32 44 41.8	130 15 32.6	666
B023	32 44 41.3	130 15 32.9	667
B024	32 44 40.8	130 15 33.3	668
B025	32 44 40.6	130 15 33.9	666
B026	32 44 40.4	130 15 34.6	661
B027	32 44 40.0	130 15 35.0	659
B028	32 44 39.6	130 15 35.6	659
B029	32 44 39.5	130 15 36.2	660
B030	32 44 39.2	130 15 37.0	663
B031	32 44 44.1	130 15 28.2	649
B032	32 44 43.5	130 15 27.6	646
B033	32 44 43.9	130 15 28.6	649
B034	32 44 43.2	130 15 28.4	646
C100	32 45 35.4	130 17 53.6	1323
C101	32 45 35.1	130 17 53.1	1327
C102	32 45 34.9	130 17 52.7	1331
C103	32 45 34.7	130 17 52.2	1333
C104	32 45 34.3	130 17 51.7	1334
C105	32 45 34.2	130 17 51.1	1334
C106	32 45 34.1	130 17 50.5	1339
C107	32 45 34.9	130 17 53.4	1329
C108	32 45 34.3	130 17 53.1	1331
C109	32 45 33.6	130 17 52.5	1333
C110	32 45 32.9	130 17 52.4	1335
C111	32 45 32.4	130 17 52.1	1336
C112	32 45 31.9	130 17 52.0	1336
C113	32 45 31.5	130 17 51.9	1337
C200	32 44 47.7	130 17 11.7	1063
C201	32 44 48.1	130 17 11.5	1063
C202	32 44 48.6	130 17 11.2	1063

Site	Latitude (° ' ")	Longitude (° ' ")	Altitude (m)
C203	32 44 49.0	130 17 11.0	1064
C204	32 44 49.5	130 17 10.7	1064
C205	32 44 49.9	130 17 10.6	1065
C206	32 44 50.4	130 17 10.4	1065
C207	32 44 50.9	130 17 10.3	1066
C208	32 44 51.3	130 17 10.1	1066
C209	32 44 51.8	130 17 10.0	1066
C210	32 44 52.3	130 17 09.9	1066
C211	32 44 52.7	130 17 09.6	1066
C212	32 44 53.2	130 17 09.3	1065
C220	32 44 49.5	130 17 11.3	1066
C221	32 44 49.5	130 17 11.9	1067
C222	32 44 49.5	130 17 12.4	1068
C223	32 44 49.5	130 17 13.0	1069
C224	32 44 49.6	130 17 13.6	1072
C225	32 44 49.7	130 17 14.1	1073
C226	32 44 49.6	130 17 14.7	1075
C227	32 44 49.5	130 17 15.2	1078
C228	32 44 49.8	130 17 15.9	1081
D001	32 43 43.6	130 15 49.5	640
D002	32 43 39.3	130 16 02.9	658
D003	32 43 36.7	130 16 09.0	686
D004	32 43 19.6	130 16 17.4	728
D005	32 43 32.3	130 16 17.9	724
D006	32 43 42.0	130 16 22.4	738
D007	32 43 51.3	130 16 26.8	742
D008	32 43 57.1	130 16 31.6	740
D009	32 44 05.1	130 16 37.4	741
D010	32 44 16.1	130 16 38.8	754
D011	32 44 19.2	130 16 52.5	777
D012	32 44 26.1	130 16 50.3	794
D013	32 44 35.6	130 16 51.0	814
D014	32 44 21.2	130 16 57.8	853
D015	32 44 12.3	130 17 12.4	922
D016	32 44 11.2	130 17 26.0	992
D017	32 44 45.1	130 16 40.9	820
D018	32 44 34.3	130 16 24.8	755
D019	32 44 19.8	130 16 17.5	758
D020	32 47 11.6	130 11 59.6	685
D021	32 47 05.6	130 12 11.4	1090
D022	32 47 00.2	130 12 24.5	1133
D023	32 46 54.1	130 12 37.1	635

松島 健 他

Table 3. Arrival-time, polarity and quality rank of the first arrival at each observation site. Ranks A, B, and C indicate accuracies of the first arrival time is 0.01s, 0.03s, and more than 0.03s, respectively. Rank L indicates very faint arrival signal, and its onset is considered to be earlier. Polarities U or D indicate whether the direction of arrival is upward or downward.

Site No.	Logger	Shot1			Shot2			Shot3			Shot4			Shot5			Shot6		
		Arrival time	Pol.	Rank	Arrival time	Pol.	Rank	Arrival time	Pol.	Rank	Arrival time	Pol.	Rank	Arrival time	Pol.	Rank	Arrival time	Pol.	Rank
M001	151	1.192	U	A	13.856	U	B	14.372	U	A	15.744	U	B	15.056	L		14.716	U	B
M002	152	1.264	U	A	13.828	U	B	14.348	U	A	15.656	U	B	14.928	L		14.688	U	B
M003	153	1.288	U	A	13.772	U	B	14.292	U	A	15.624	U	B	14.840	L		14.668	U	B
M004	154	1.288	U	A	13.752	U	A	14.292	U	A	15.656	U	B	14.796	U	C	14.668	U	B
M005	155	1.400	U	A	13.668	U	A	14.224	U	A	15.556	U	B	14.804	U	C	14.608	U	B
M006	006	1.588	U	A	13.584	U	A	14.140	U	A	15.580	U	A	14.784	U	C	14.532	U	B
M007	007	1.644	U	A	13.552	U	B	14.120	U	A	15.452	U	B	14.692	L		14.488	U	C
M008	008	1.752	U	A	13.492	U	A	14.080	U	A	15.444	U	B	14.624	L				
M009	009	1.864	U	A	13.456	U	A	14.068	U	A	15.436	U	B	14.752	U	C	14.472	U	B
M010	010	1.936	U	A	13.440	U	A	14.064	U	A	15.408	U	B	14.736	U	C	14.476	U	B
M011	011	1.988	U	A	13.328	U	A	13.980	U	A	15.364	U	B	14.656	U	B	14.372	U	B
M012	012	2.132	U	A	13.236	U	A	13.920	U	A	15.296	U	A	14.664	U	C	14.316	U	B
M013	013	2.160	U	A	13.212	U	A	13.892	U	A	15.208	U	A	14.648	U	C	14.280	U	B
M014	014	2.236	U	A	13.080	U	A	13.804	U	A	15.148	U	A	14.556	U	C	14.176	U	A
M015	015	2.344	U	A	13.056	U	A	13.776	U	A	15.120	U	A	14.544	U	C	14.180	U	B
M016	016	2.412	U	A	13.024	U	C	13.800	U	A	15.096	U	B	14.548	L		14.180	U	B
M017	017	2.468	U	A	12.996	U	B	13.780	U	A	15.096	U	C	14.700	U	C	14.148	U	B
M018	018	2.564	U	A	12.960	U	A	13.708	U	B	15.052	U	C	14.668	U	B	14.124	U	B
M019	019	2.648	U	A	12.872	U	B	13.672	U	B	15.064	U	B	14.632	U	B			
M020	020	2.708	U	A	12.824	U	A	13.608	U	B	14.996	U	B	14.612	U	B	13.920	U	C
M021	021	2.808	U	A	12.736	U	A	13.516	U	B	14.956	U	B	14.560	U	C	13.940	U	C
M022	022	2.940	U	A	12.644	U	A	13.460	U	B	14.808	U	B	14.532	U	C	13.820	U	B
M023	023	3.008	U	B	12.548	U	B	13.400	U	A	14.748	U	A	14.496	U	C	13.752	U	B
M024	024	3.056	U	A	12.504	U	A	13.324	U	A	14.688	U	A	14.384	U	B	13.700	U	B
M025	025	3.164	U	B	12.420	U	A	13.284	U	A	14.676	U	A	14.340	U	B	13.660	U	A
M026	026	3.184	U	B	12.360	U	A	13.220	U	A	14.612	U	B	14.240	L		13.588	U	C
M027	027	3.372	U	A	12.256	U	B	13.176	U	A	14.528	U	A	14.292	U	C	13.568	U	B
M028	028	3.424	U	A	12.236	U	B	13.132	U	B	14.488	U	A	14.140	U	B	13.520	U	B
M029	029	3.528	U	A	12.164	U	A	13.032	U	A	14.464	U	A	14.124	U	B	13.504	U	A
M030	030	3.596	U	A	12.112	U	A	12.952	U	B	14.436	U	B	13.992	L		13.520	L	
M031	031	3.708	U	A	11.996	U	A	12.828	U	A	14.324	U	A	13.996	U	B	13.400	U	A
M032	032	3.808	U	A	11.888	U	B	12.728	U	B	14.268	U	A	13.900	U	C	13.332	U	A
M033	033	3.884	U	A	11.796	U	A	12.584	U	A	14.208	U	A	13.896	U	A	13.284	U	A
M034	034	3.864	U	A	11.708	U	A	12.552	U	B	14.192	U	C	13.836	U	B	13.280	U	B
M035	035	3.896	U	A	11.572	U	A	12.532	U	A	14.232	U	A	13.768	U	B	13.248	U	B
M036	036	3.928	U	A	11.488	U	A	12.516	U	A	14.196	U	A	13.744	U	A	13.236	U	B
M037	037	4.016	U	A	11.368	U	A	12.432	U	A	14.140	U	A	13.700	U	A	13.192	U	A
M038	038	3.988	U	A	11.244	U	A	12.408	U	A	14.120	U	B	13.584	U	A	13.176	U	A
M039	039	4.040	U	B	11.136	U	A	12.376	U	A	14.080	U	B	13.576	U	A	13.192	U	A
M040	040	4.088	U	B	10.932	U	A	12.296	U	A	14.028	U	B	13.472	U	C	13.160	U	C
M041	041	4.160	U	B	11.044	U	A	12.220	U	A	13.992	U	C	13.364	U	B	13.316	L	
M042	042	4.228	U	B	11.112	U	A	12.168	U	A	13.996	U	C	13.356	U	B	13.160	L	
M043	043	4.256	U	B	11.220	U	A	12.132	U	A	13.868	U	A	13.316	U	A	13.036	U	A
M044	044	4.264	U	A	11.252	U	B	12.088	U	A	13.812	U	A	13.284	U	A	12.996	U	A
M045	045	4.252	U	A	11.320	U	A	12.000	U	A	13.748	U	B	13.208	U	B	12.912	U	A
M046	046	4.272	U	A	11.444	U	A	11.884	U	A	13.664	U	A	13.144	U	A	12.824	U	A
M047	047	4.292	L		11.508	U	B	11.816	U	A	13.612	U	A	13.124	U	C	12.804	U	B
M048	048	4.312	U	A	11.540	U	A	11.792	U	A	13.588	U	A	13.140	U	A	12.776	U	A
M049	049	4.348	U	A	11.608	U	B	11.704	U	A	13.540	U	A	13.068	U	B	12.724	U	A
M050	050	4.340	U	A	11.652	U	A	11.676	U	A	13.512	U	A	13.084	U	A	12.684	U	A
M051	051	4.392	U	A	11.716	U	A	11.608	U	A	13.456	U	A	13.096	U	A	12.644	U	A
M052	052	4.404	U	A	11.780	U	A	11.560	U	A	13.428	U	B	13.096	U	A	12.604	U	A
M053	053	4.424	U	A	11.832	U	B	11.528	U	A	13.436	U	A	13.116	U	B	12.592	U	A
M054	054	4.472	U	B	11.884	U	A	11.516	U	A	13.388	U	B	13.076	U	B	12.604	U	B
M055	055	4.488	U	C	11.924	U	A	11.440	U	A	13.344	U	C	13.036	U	C	12.560	U	A

雲仙火山における人工地震探査

Site No.	Log-ger	Shot1			Shot2			Shot3			Shot4			Shot5			Shot6		
		Arrival time	Pol.	Rank	Arrival time	Pol.	Rank	Arrival time	Pol.	Rank	Arrival time	Pol.	Rank	Arrival time	Pol.	Rank	Arrival time	Pol.	Rank
M056	186	4.496 U	A		11.976 U	A		11.372 U	A		13.320 U	A		13.032 U	A		12.492 U	B	
M057	172	4.480 U	B		12.000 U	A		11.324 U	A		13.288 U	B		13.032 U	B		12.472 U	A	
M058	187	4.516 U	A		12.036 U	A		11.276 U	A		13.268 U	A		13.012 U	A		12.448 U	A	
M059	174	4.536 U	A		12.112 U	A		11.220 U	A		13.248 U	A		13.048 U	B		12.412 U	A	
M060	175	4.564 U	C		12.156 U	B		11.112 U	A		13.216 U	A		13.080 U	B		12.352 U	A	
M061	176	4.600 U	C		12.216 U	B		11.056 U	A		13.192 U	A		13.088 U	C		12.296 U	A	
M062	177	4.632 U	B		12.248 U	B		10.980 U	A		13.140 U	A		13.104 U	B		12.268 U	A	
M063	178	4.688 U	A		12.328 U	B		10.912 U	A		13.140 U	A		13.152 U	B		12.248 U	A	
M064	179	4.716 U	B		12.380 U	B		10.852 U	A		13.120 U	A		13.184 U	A		12.228 U	A	
M065	180	4.724 L			12.428 U	B		10.780 U	A		13.124 U	B		13.192 U	B		12.220 U	A	
M066	181	4.740 U	A		12.444 U	A		10.840 U	A		13.088 U	A		13.216 U	A		12.164 U	A	
M067	182	4.768 U	A		12.460 U	A		10.880 U	A		13.084 U	A		13.248 U	A		12.144 U	A	
M068	183	4.848 U	A		12.572 U	A		11.004 U	A		13.088 U	A		13.312 U	A		12.156 U	A	
M069	184	4.876 L			12.680 U	B		11.164 U	A		13.100 U	A		13.360 U	A		12.228 U	A	
M070	185	4.972 L			12.728 U	B		11.248 U	A		13.080 U	A		13.344 U	C		12.212 U	A	
M071	071	5.024 U	A		12.744 U	A		11.224 U	A		13.080 U	A		13.340 U	A		12.280 U	A	
M072	072	5.088 U	A		12.816 U	B		11.356 U	A		13.048 U	A		13.344 U	A		12.344 U	A	
M073	073	5.136 L			12.852 U	B		11.412 U	A		13.068 U	A		13.336 U	B		12.364 U	B	
M074	074	5.164 U	A		12.904 U	A		11.512 U	A		12.984 U	B		13.268 U	C		12.416 U	A	
M075	075	5.212 U	B		12.996 U	A		11.616 U	A		13.060 U	B		13.368 U	B		12.464 U	A	
M076	076	5.308 U	B		13.084 U	B		11.728 U	A		13.008 U	B		13.404 U	A		12.572 U	A	
M077	077	5.292 U	C		13.076 U	B		11.768 U	A		12.980 U	A		13.348 U	A		12.592 U	A	
M078	078	5.360 L			13.176 U	B		11.860 U	A		12.832 U	B		13.396 U	B		12.652 U	A	
M079	079	5.436 L			13.240 U	B		11.972 U	A		12.924 U	A		13.460 U	B		12.748 U	A	
M080	080	5.592 L			13.728 L			12.040 U	A		12.668 U	B		13.432 U	C		12.728 U	A	
M081	081	5.480 U	C		13.292 U	C		12.056 U	A		12.608 U	B		13.388 U	C		12.728 U	A	
M082	082	5.508 U	B		13.348 U	B		12.104 U	A		12.536 U	B		13.500 U	B		12.748 U	A	
M083	083	5.516 L			13.356 U	C		12.164 U	A		12.532 U	A		13.572 U	C		12.756 U	A	
M084	084	5.532 L			13.388 U	B		12.192 U	A		12.444 U	A		13.596 U	C		12.736 U	A	
M085	085	5.496 U	B		13.384 U	C		12.180 U	A		12.248 U	A		13.572 U	B		12.648 U	A	
M086	086	5.556 U	B		13.492 U	A		12.328 U	A		12.136 U	A		13.648 U	B		12.768 U	A	
M087	087																		
M088	088	5.640 L			13.596 U	B		12.432 U	A		11.980 U	A		13.756 U	B		12.792 U	A	
M089	089	5.744 L			13.800 D			12.508 U	A		11.884 U	A		13.820 U	B		12.908 U	A	
M090	090	5.840 L			13.840 U	B		12.632 U	A		11.756 U	A		13.904 U	C		12.996 U	B	
M091	091	5.956 L			13.820 U	B		12.708 U	A		11.688 U	A		13.980 U	C		13.076 U	A	
M092	092	6.012 L			13.916 U	B		12.796 U	A		11.596 U	A		14.072 U	B		13.140 U	B	
M093	093	6.060 L			14.068 U	C		12.892 U	A		11.472 U	A		14.152 U	C		13.188 L		
M094	094	6.284 L			14.208 U	C		12.992 U	A		11.352 U	A		14.188 U	C		13.312 U	C	
M095	095	6.388 L			14.188 U	C		13.100 U	A		11.268 U	A		14.292 U	B		13.372 U	C	
M096	096	6.420 L			14.300 U	C		13.172 U	A		11.196 U	A		14.372 U	C		13.480 U	C	
M097	097																		
M098	098	6.540 L			14.432 U	C		13.308 U	A		11.020 U	A		14.516 L			13.724 L		
M099	099	6.584 U	C		14.524 U	C		13.372 U	A		10.924 U	A		14.464 U	C		13.764 L		
M100	100	6.624 L			14.608 U	C		13.420 U	A		10.836 U	A		14.516 U	C		13.828 L		
M101	101	6.672 L			14.612 U	C		13.484 U	B		10.716 U	A		14.632 U	B		13.936 L		
M102	102	6.704 L			14.592 U	C		13.680 U	A		10.584 U	A		14.720 U	C		13.988 L		
M103	103																		
M104	104							13.708 L			10.260 U	A		14.904 U	C		14.168 L		
M105	105							13.792 U	B		10.128 U	A		14.844 U	C		14.184 L		
N001	106	4.868 U	A		13.052 U	A		11.948 U	A		13.148 U	A		13.844 U	C		11.040 U	A	
N002	107	4.892 U	A		13.032 U	A		11.864 U	A		13.196 U	A		13.816 U	B		11.272 U	A	
N003	108	4.864 U	A		13.008 U	A		11.888 U	A		13.232 U	A		13.832 U	B		11.316 U	A	
N004	109	4.820 U	A		12.920 U	A		11.852 U	A		13.268 U	A		13.840 U	B		11.392 U	A	
N005	110	4.828 U	A		13.075 U	A													

松島 健 他

Site No.	Log-ger	Shot1			Shot2			Shot3			Shot4			Shot5			Shot6		
		Arrival time	Pol.	Rank	Arrival time	Pol.	Rank	Arrival time	Pol.	Rank	Arrival time	Pol.	Rank	Arrival time	Pol.	Rank	Arrival time	Pol.	Rank
N006	111	4.828	U	A	12.808	U	A	11.692	U	A	13.216	U	A	13.708	U	B	11.512	U	A
N007	112	4.768	U	A	12.768	U	A	11.688	U	A	13.224	U	A	13.692	U	B	11.544	U	A
N008	113	4.800	U	A	12.776	U	A	11.672	U	A	13.228	U	A	13.700	U	A	11.568	U	A
N009	114	4.792	U	A	12.732	U	A	11.588	U	A	13.188	U	A	13.640	U	A	11.632	U	A
N010	115																		
N011	116	4.856	U	A	12.724	U	A	11.448	U	A	13.176	U	A	13.572	U	A	11.772	U	A
N012	117	4.856	U	A	12.704	U	A	11.388	U	A	13.176	U	B	13.532	U	A	11.844	U	A
N013	118	4.864	U	A	12.688	U	A	11.336	U	A	13.196	U	B	13.472	U	B	11.928	U	A
N014	119	4.880	U	A	12.652	U	A	11.232	U	A	13.164	U	B	13.440	U	A	11.948	U	A
N015	120	4.876	U	B	12.632	U	A	11.204	U	A	13.160	U	A	13.436	U	A	12.000	U	A
N016	121	4.904	U	A	12.668	U	A	11.160	U	A	13.144	U	A	13.416	U	B	12.068	U	A
N017	122	4.952	U	B	12.736	U	B	11.236	U	A	13.140	U	A	13.448	U	A	12.108	U	A
N018	123	4.992	L	L	12.768	U	A	11.288	U	A	13.084	U	B	13.392	U	B	12.176	U	A
N019	124	4.760	U	A	12.408	U	A	10.952	U	B	13.172	U	B	13.168	U	A	12.316	U	A
N020	125	4.756	U	A	12.412	U	A	10.988	U	A	13.132	U	A	13.116	U	A	12.320	U	A
N021	126	4.772	U	A	12.368	U	A	11.116	U	A	13.232	U	A	13.116	U	A	12.376	U	A
N022	127	4.772	U	B	12.368	U	A	11.140	U	A	13.212	U	A	13.048	U	A	12.416	U	B
N023	128	4.708	U	A	12.300	U	A	11.184	U	A	13.208	U	A	12.996	U	A	12.444	U	A
N024	129	4.700	U	B	12.272	U	A	11.276	U	A	13.284	U	A	13.040	U	B	12.524	U	A
N025	130	4.812	U	A	12.356	U	A	11.368	U	A	13.264	U	A	12.892	U	B	12.604	U	A
N026	131	4.820	U	A	12.344	U	A	11.432	U	A	13.292	U	A	12.860	U	A	12.660	U	A
N027	132	4.788	U	A	12.288	U	A	11.524	U	A	13.288	U	A	12.744	U	B	12.724	U	A
N028	133	4.800	U	A	12.356	U	A	11.572	U	A	13.252	U	B	12.672	U	B	12.728	U	A
N029	134	4.832	U	B	12.424	U	A	11.592	U	A	13.268	U	B	12.652	U	B	12.764	U	A
N030	135	4.860	U	B	12.444	U	B	11.668	U	A	13.320	U	A	12.644	U	A	12.832	U	A
N031	136	4.924	U	B	12.512	U	A	11.760	U	A	13.392	U	B	12.652	U	A	12.928	U	A
N032	137	4.948	U	B	12.536	U	A	11.812	U	A	13.396	U	A	12.584	U	B	12.944	U	B
N033	138	4.952	U	B	12.540	U	A	11.800	U	A	13.360	U	A	12.508	U	B	12.936	U	B
N034	139	4.940	U	B	12.516	U	B	11.712	U	A	13.268	U	A	12.472	U	B	12.864	U	A
N035	140	5.004	U	A	12.576	U	A	11.796	U	A	13.284	U	A	12.424	U	B	12.908	U	A
N036	141	5.012	U	A	12.616	U	A	11.820	U	A	13.276	U	A	12.372	U	B	12.920	U	A
N037	142	5.008	U	A	12.620	U	A	11.844	U	A	13.264	U	A	12.252	U	C	12.956	U	A
N038	143	5.032	U	B	12.644	U	A	11.924	U	A	13.340	U	B	12.288	U	B	13.032	U	A
N039	144	5.080	U	C	12.716	U	A	11.984	U	A	13.372	U	B	12.248	U	B	13.080	U	B
N040	145	5.076	U	B	12.740	U	A	12.040	U	A	13.404	U	B	12.212	U	B	13.112	U	A
N041	146	5.132	U	B	12.800	U	A	12.120	U	A	13.436	U	A	12.100	U	A	13.208	U	A
N042	147	5.140	U	B	12.796	U	A	12.156	U	A	13.468	U	A	12.068	U	A	13.236	U	A
N043	148	5.180	U	B	12.840	U	A	12.180	U	A	13.468	U	A	12.056	U	A	13.248	U	A
N044	149	5.244	U	B	12.916	U	A	12.284	U	A	13.548	U	A	12.008	U	A	13.312	U	B
N045	150	5.260	U	B	13.000	U	B	12.340	U	A	13.568	U	A	11.972	U	B	13.416	U	B
N046	401	5.264	U	B	13.088	U	B	12.360	U	A	13.568	U	A	11.960	U	A	13.536	U	B
N047	402	5.288	L	L	13.132	U	B	12.448	U	A	13.560	U	A	11.924	U	A	13.520	U	B
N048	403	5.308	L	L	13.120	U	A	12.516	U	A	13.572	U	A	11.892	U	A	13.536	U	B
N049	404	5.300	L	L	13.136	U	A	12.536	U	A	13.612	U	A	11.852	U	A	13.568	U	B
N050	405	5.316	L	L	13.140	U	B	12.592	U	A	13.652	U	A	11.780	U	A	13.600	U	B
N051	406	5.332	L	L	13.168	U	B	12.624	U	A	13.692	U	B	11.680	U	A	13.620	U	C
N052	407	5.244	L	L	13.164	U	A	12.636	U	A	13.720	U	A	11.604	U	A	13.652	U	C
N053	408	5.284	U	C	13.236	U	A	12.692	U	B	13.752	U	A	11.528	U	A	13.688	U	B
N054	409	5.308	U	B	13.272	U	A	12.744	U	A	13.824	U	B	11.432	U	A	13.736	U	B
N055	410	5.340	U	B	13.288	U	A	12.784	U	B	13.892	U	B	11.372	U	A	13.800	U	B
N056	411	5.332	U	C	13.392	U	A	12.888	U	B	13.952	U	B	11.264	U	A	13.872	U	B
N057	412	5.316	U	B	13.412	U	A	12.928	U	B	13.996	U	A	11.196	U	A	13.900	U	B
N058	413	5.296	U	C	13.420	U	A	12.964	U	B	14.036	U	A	11.104	U	A	13.948	U	B
N059	005	5.276	L	L	13.436	U	B	13.048	U	A	14.108	U	B	10.980	U	A	13.996	U	C

雲仙火山における人工地震探査

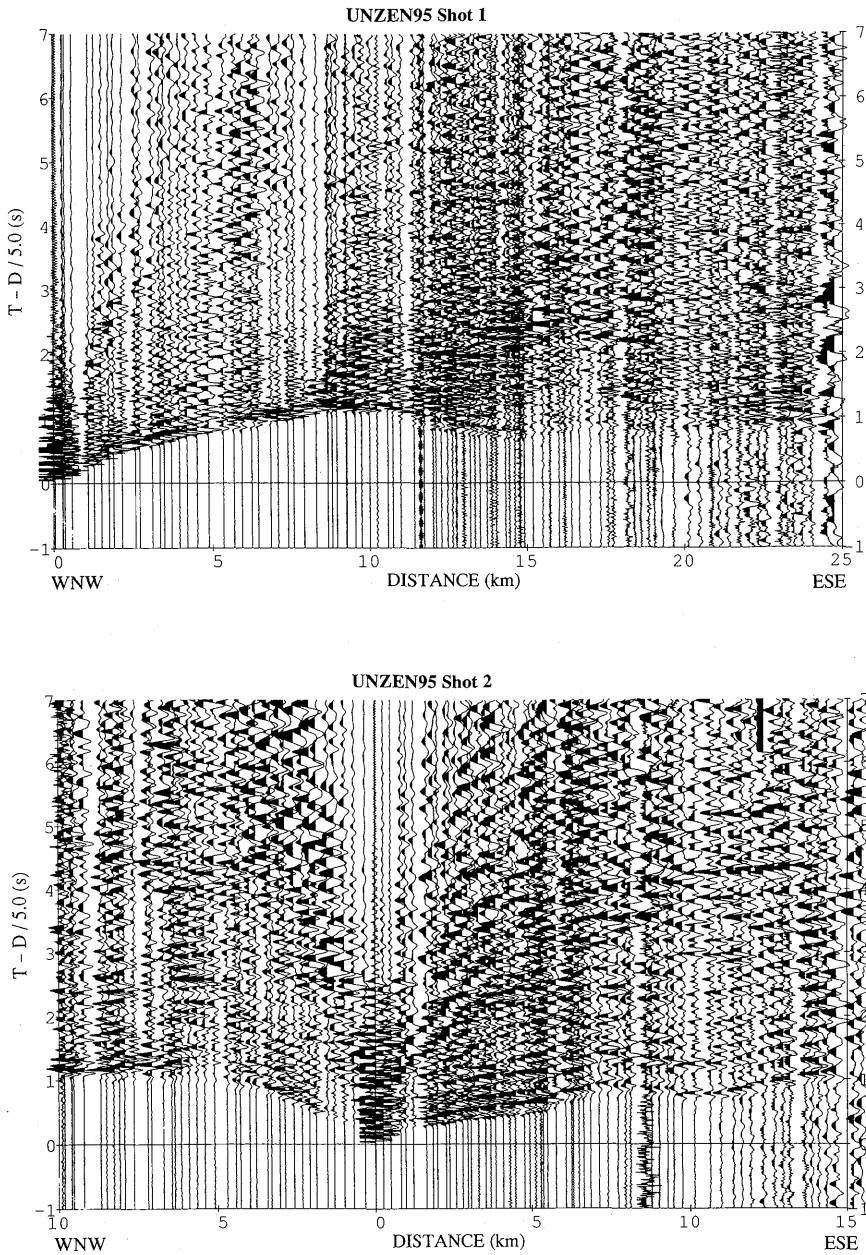
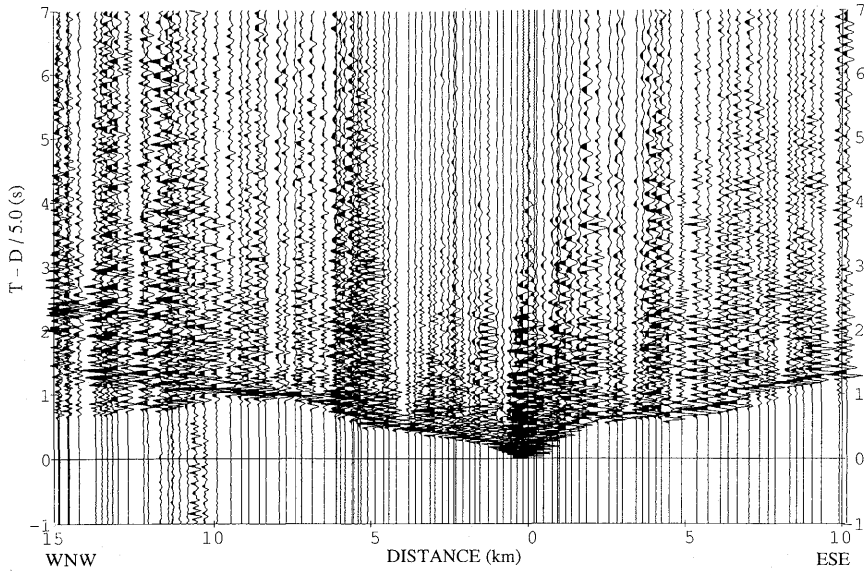


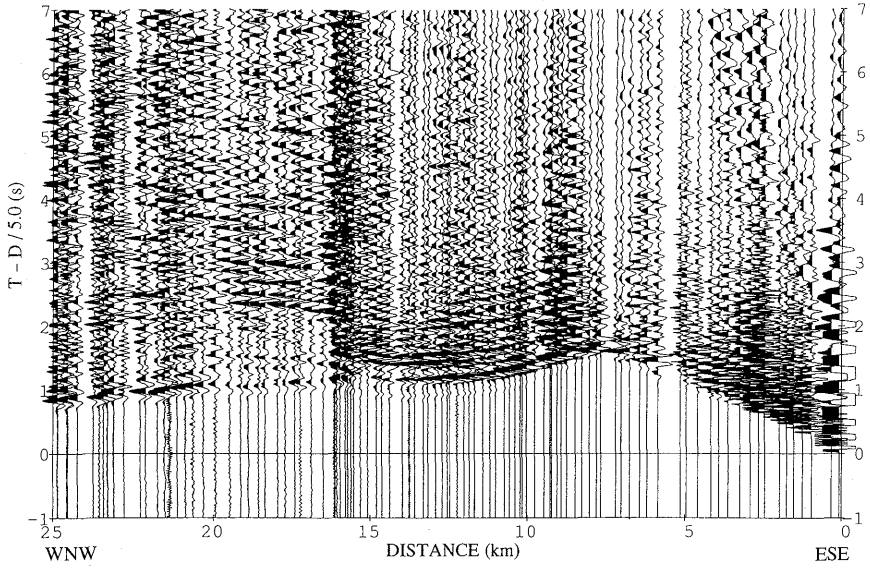
Fig. 3. Record sections of M-Line and N-Line for each shot. Each trace is normalized by its maximum amplitude. The reduction velocity is taken as 5.0 km/s.

松島 健 他

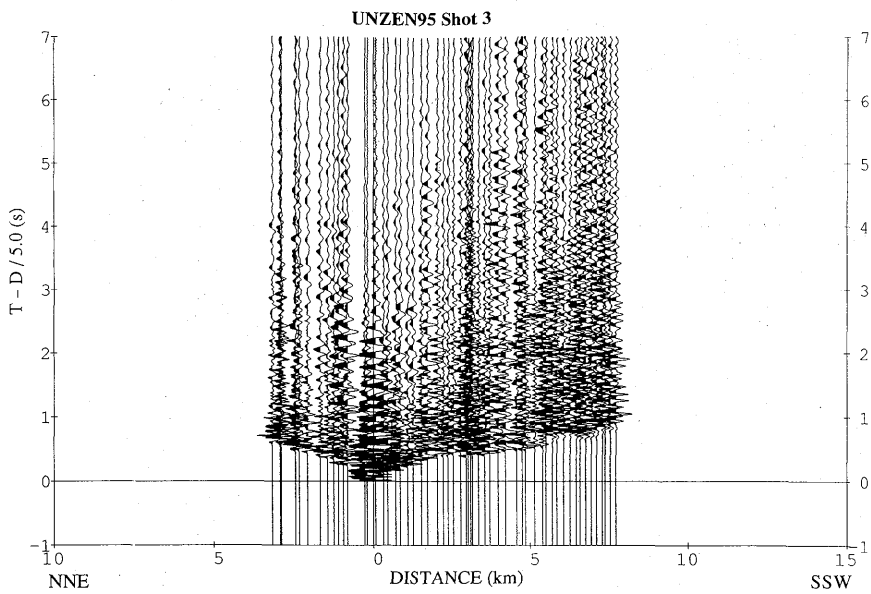
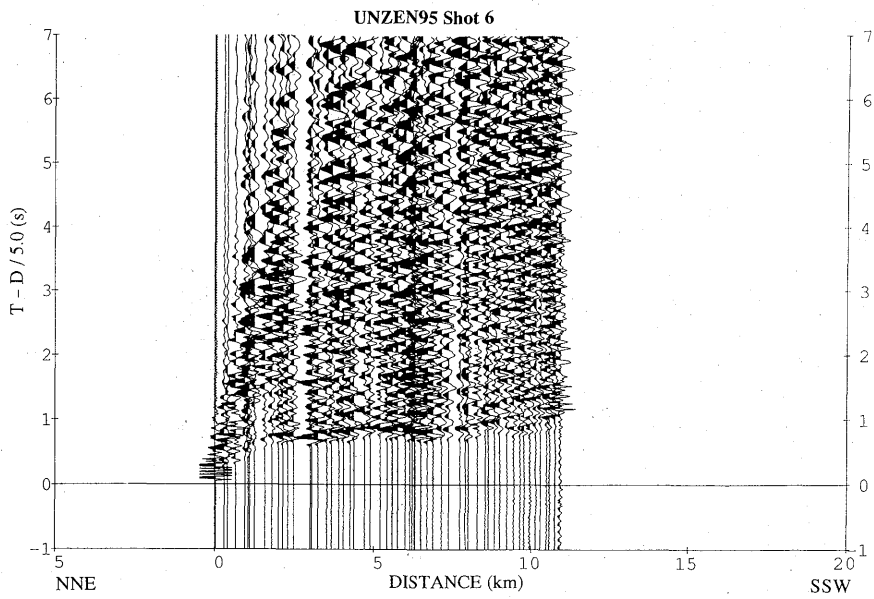
UNZEN95 Shot 3



UNZEN95 Shot 4



雲仙火山における人工地震探査



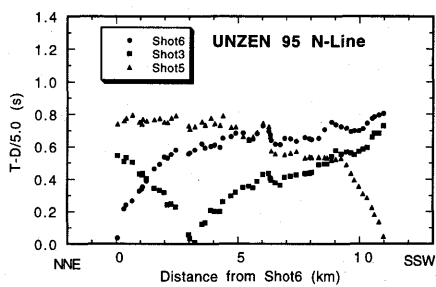
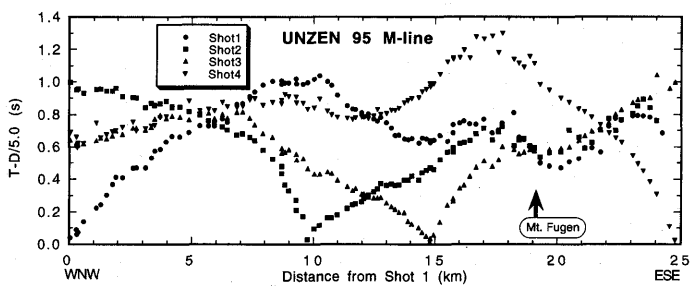
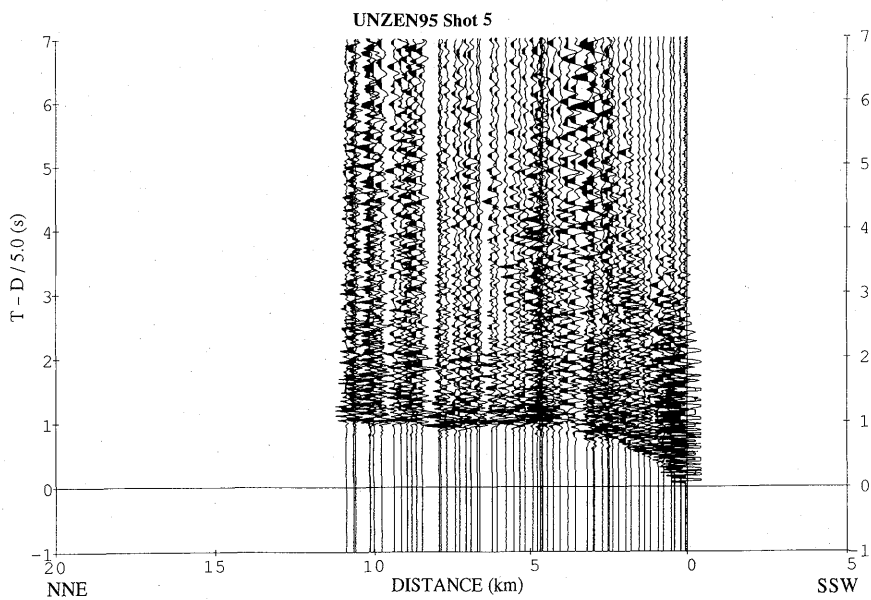


Fig. 4. Travel-time diagrams of M-Line and N-Line.

謝 辞

本調査を遂行するにあたり、以下の個人や機関の関係者の協力を得た。檜山孝志氏、雲仙天草国立公園雲仙温泉管理官事務所、長崎営林署、建設省雲仙復興工事事務所、長崎県総務部消防防災課、長崎県雲仙公園事務所、長崎県島原振興局、島原市役所、森山・千々石・小浜町役場、島原・国見・小浜警察署。さらに、東京大学地震研究所の岩崎貴哉助教授には本調査の際に多くの観測機材の提供をいただいた。これらの方々に謝意を表す。

本調査は火山噴火予知計画経費「火山体構造探査」および東京大学地震研究所平成7年度特定共同研究「火山体構造探査」(代表:井田喜明, 1995-A-01)により行われた。また本研究の一部は平成7年度文部省科学研究費補助金、重点領域(1)「雲仙火山の深部構造に関する地震学的研究」(代表者:清水 洋, 課題番号:07211101)を使用した。なお今回の実験の分担は次の通りである。

探査総責任者: 清水 洋

予備調査: 西村裕一, 植木貞人, 鍵山恒臣, 及川 純, 長田 昇, 山岡耕春, 渡辺 了, 筒井智樹, 清水 洋, 松尾のり道, 松島 健, 馬越孝道, 八木原寛, 福井理作, 内田和也, 高木朗充, 宮町宏樹, 井口正人

探査準備・交渉: 太田一也, 清水 洋, 鍵山恒臣, 松尾のり道, 松島 健, 福井理作

観測: 著者全員

記録整理解析: 西村裕一, 植木貞人, 西村太志, 青木重樹, 早川俊彦, 鍵山恒臣, 三ヶ田均, 及川 純, 宗包浩志, 北村健彦, 渡辺 了, 熊谷博之, 筒井智樹, 松島 健, 清水洋, 高木朗充, 宮町宏樹, 西 潔, 井口正人

本報告執筆: 松島 健

文 献

- HENDRSTO, M, T. ETO, F. KIMITA, T. MATSUSHIMA, and K. ISHIHARA, 1997, Magma Transport at Mt. Unzen Associated with the 1990-1995 Activity Inferred from Leveling Data, *Annals of the Disaster Prevention Research Inst. Kyoto Univ.*, **40**, B-1, 61-72.
- 国土地理院, 1994, 空中写真測量による雲仙岳の溶岩噴出量, 火山噴火予知連絡会会報, **60**, 92-98.
- MAEDA, M., K. YOMOGIDA, K. UMAKOSHI, N. OKAMATSU, Y. FUJII, and T. MATSUSHIMA, 1997, Broad-band Seismic Observation of 1995 Explosion Experiment in the Unzen Volcano, *Bull. Volcanol. Soc. Japan*, **42**, 331-343.
- 松島 健・井口正人・西村裕一・鍵山恒臣・渡辺秀文・三ヶ田均・及川 純・山本圭吾・山口 勝・増谷文雄・奥田 隆・筒井智樹・宮町宏樹, 1995, 1994年霧島火山群人工地震探査におけるGPSを用いた爆破点・観測点の位置測量, 地震研究所彙報, **70**, 61-68.
- 雲仙火山人工地震探査グループ, 1996, 雲仙火山における人工地震波のアレイ観測—田代原 A アレイ—, 日本火山学会講演予稿集, **2**, B47.

(Received January 12, 1998)

(Accepted February 25, 1998)