

相模湾北部沿岸域における浅部反射法地震探査の実施 Shallow seismic reflection survey at the coastal zone of the Sagami Bay area, central Japan

木下佐和子^{1*}・伊藤 忍¹・山口和雄¹・横倉隆伸¹
Sawako Kinoshita^{1*}, Shinobu Ito¹, Kazuo Yamaguchi¹ and Takanobu Yokokura¹

Abstract: Though a number of faults are estimated around the coastal zone of the northern Sagami Bay area, central Japan, the spatial distributions of faults are debatable. We conducted P-wave shallow reflection survey along two survey lines in Hiratsuka City, Kanagawa Prefecture, central Japan, to clarify the spatial distribution of the southern end of Isehara Fault and the northern end of Guzo fault, and the existence of an active structure near the Hanamizu River mouth where the base of the Alluvium is undulating. The shot records show high signal-to-noise ratio throughout both survey lines. Further analysis need to be conducted to gain more insight into the geological information around the coastal zone of the northern Sagami Bay.

Keywords: seismic reflection survey, Isehara Fault, Guzo Fault

要 旨

相模湾北部沿岸域には多数の断層の存在が示唆されているが、その位置や構造の解釈には議論の余地がある。そこで、伊勢原断層の南部構造と、公所断層の北部構造の解明、及び花水川近傍に存在する沖積層崖の成因の解明を目指して、神奈川県平塚市において2つの測線で浅部反射法探査を行った。両測線ともに良好なデータが得られたので、今後さらにデータ処理をすすめ、相模湾北部沿岸域の地質情報の整備を行う予定である。

1. はじめに

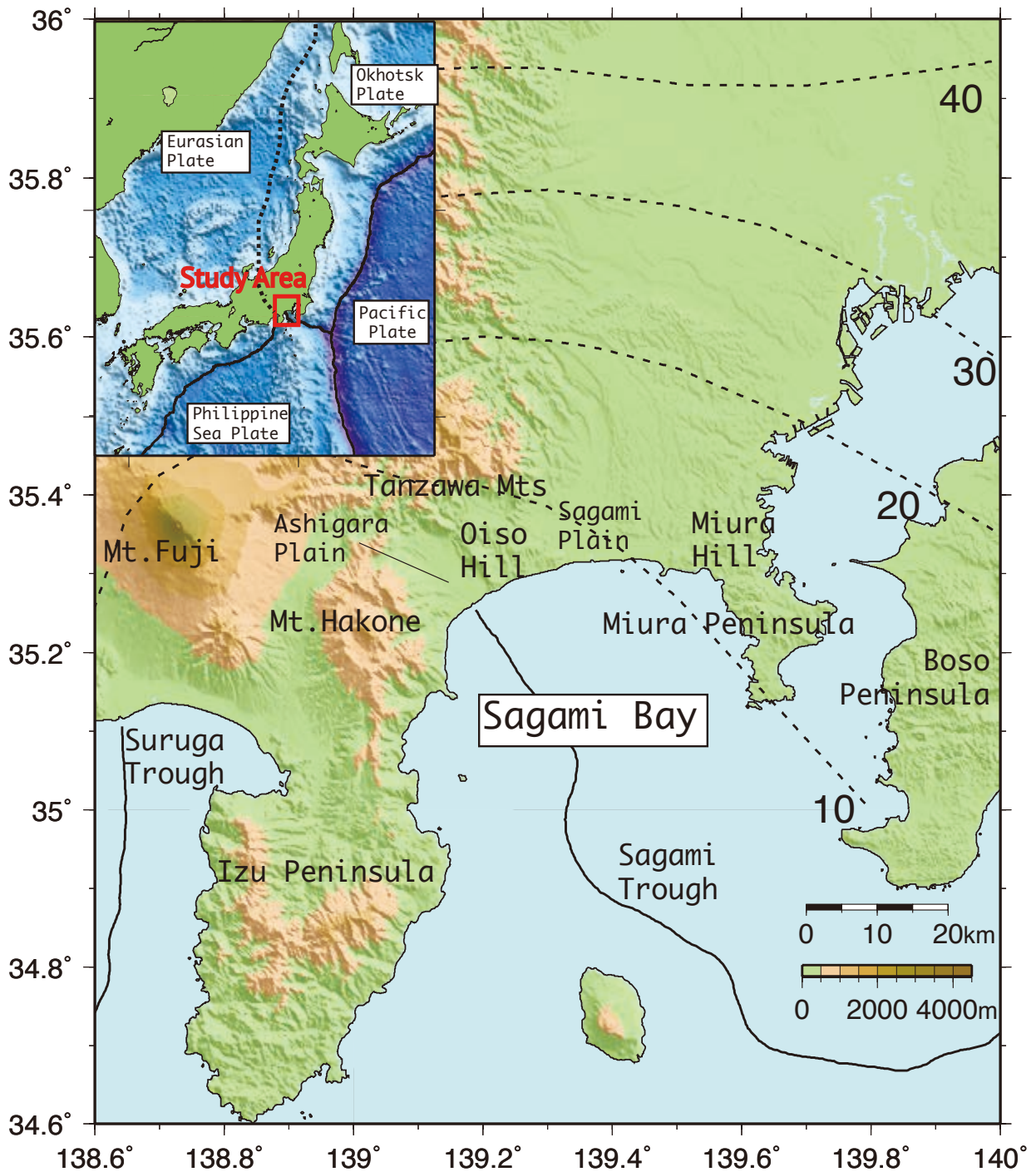
平成 26 年度に開始した「沿岸域の地質・活断層調査」は太平洋側の大都市圏沿岸地域と沿岸海域の地質・地盤情報の整備を行うことを目的としており、平成 26 年度から 28 年度は関東平野南部沿岸域を対象に様々な手法で地質情報の調査研究が行われている。本報告では、相模湾北部の沿岸域調査の一環として、平成 28 年度に神奈川県平塚市で行った浅部反射法探査に関してまとめる。なお、陸域の地震探査は平成 26～28 年度に千葉県九十九里低地の沿岸陸域及び神奈川県足柄平野を対象とした調査も行っている（山口・伊藤, 2015, 2016, 2017）。

相模湾沿岸には西から伊豆半島、箱根火山、足柄平野（酒匂川低地）、大磯丘陵、相模平野（相模川低地）、三浦丘陵が分布しており、起伏に富む地形が広

がっている（第 1 図）。相模湾では相模トラフにおいてフィリピン海プレートが北東方向に大陸プレートの下に沈み込み、伊豆半島では太平洋プレートがフィリピン海プレート下に沈み込むことで生じた伊豆島弧が本州と衝突して北方向に沈み込んでいる。衝突した島弧は過去に隆起しているため、相模湾沿岸域西側では地表に第三紀の深成岩が露出している場所も多い（例えばシームレス地質図（産業技術総合研究所, 2015）など）。相模湾沿岸域には台地や丘陵と低地の間を中心に多数の断層が分布していることが知られており（中田・今泉編, 2002；東郷ほか, 1996a, b；宮内ほか, 2008, 2009）、例えば足柄平野と大磯丘陵の間には公所断層や小向断層が分布している。一般に断層など構造境界の位置は、空中地形判読やトレンチ調査などの地形・地質学的情報を複合的に解釈して推定されている。そのため、研究ごとに解釈が異なる場合も多い。さらに推定された断層位置が地形の侵食により実際の断層位置とずれている可能性や、そもそも地形判読で認められない断層が地下に存在する可能性なども否定できない。断層の詳細な構造や正確な位置を知るためには反射法地震探査を用いた地下構造調査は有用な手段のひとつであるが、神縄・国府津一松田断層帯周辺は非常に多くの探査が行われているのに対し、相模湾北部沿岸域の大磯丘陵東端から三浦半島にかけては既存の反射法探査が限られている。現在までに大磯丘陵東端から相模平野にかけての地域で行われている主な反射法探査として、神奈川県による伊勢原断層の調査（神奈川

*Correspondence

1 産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

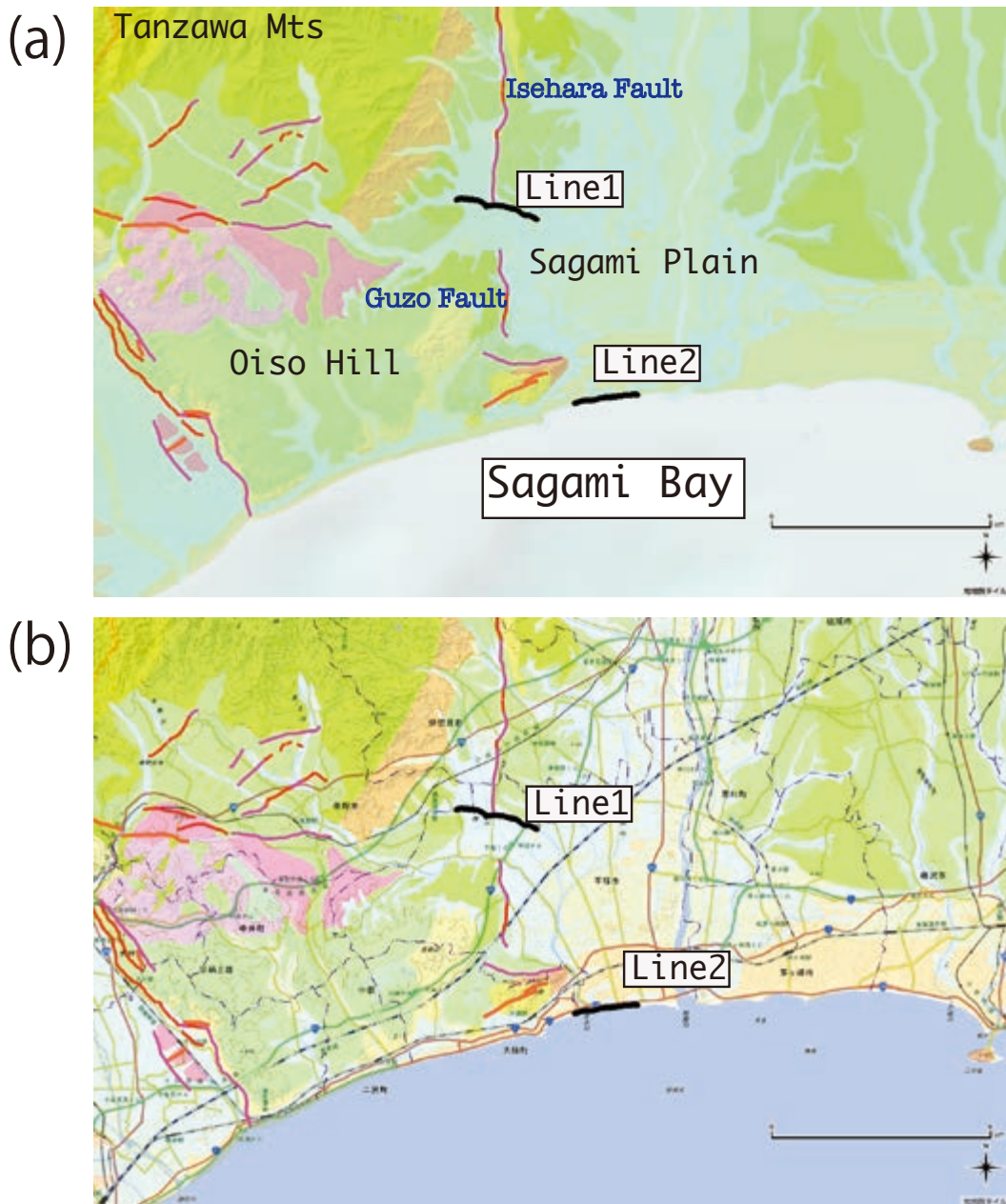


第1図 本調査の背景。(左)日本周辺のプレート境界(プレート境界は Seno *et al.*, 1996 より)。(右)相模湾沿岸域の地形と標高。等深線は沈み込むフィリピン海プレート上面の深さ(Nakajima *et al.*, 2009), 色は国土地理院の数値地図 250 m メッシュ標高を表す。

Fig 1. The tectonic background around Sagami Bay. (left) Plate boundaries around the Japanese islands. Black lines represent plate boundaries from Seno *et al.* (1996). (right) Tectonic setting around the coastal area of Sagami Bay. Depth contours indicate the upper surface of the subducting Philippine Sea (PHS) plate from Nakajima *et al.* 2009. Colors indicate digital elevation model (250 m grid) from Geospatial Information Authority of Japan (GSI).

県, 1996), 大都市大震災軽減化特別プロジェクトによる相模湾沿岸測線の地殻構造探査(佐藤ほか, 2003, 2011)が挙げられるが, 地形・地質学的情報から推定

されている断層全てに対して十分な調査が行われているとはいえない。中田・今泉編(2002)による活断層分布, 東郷ほか(1996a, b), 宮内ほか(2008)による都市



第2図 調査地域の詳細。(a) 調査測線周辺の標高図(国土地理院発行色別標高地図)。基図に20万分の1シームレス地質図(産業技術総合研究所,2015)を使用した。赤、ピンク、オレンジの実線は中田・今泉編(2002)による断層位置を表し、それぞれ活断層、活断層(位置不明確)、推定活断層を表す。黒実線(LINE1,2)は本調査の測線を表す。(b) 調査路線周辺の地図(国土地理院発行数値地図25,000地図画像)、基図に20万分の1シームレス地質図(産業技術総合研究所,2015)を用いた。実線に関してはaと同様。

Fig. 2 Geological information around the survey area. (a) Survey lines (black solid lines) with the elevation map from GSI and Seamless Digital Geological Map of Japan (1:200,000) from AIST (2015). Red, pink, and orange solid lines represent spatial distributions of active faults, active faults whose location are indecisive, and estimated faults from Nakata and Imaizumi eds. (2002), respectively. (b) Same as (a), but with Digital Map 25,000 (Map Image) from GSI.

圏活断層図,平塚市博物館による地盤図(平塚市博物館,2007)を比較すると断層の位置や長さなどの解釈が一致されていない場所も多いため,さらなる調査が必要である。そこで本調査では相模湾沿岸域の地質情報を整備するため,以下の2つの目的を設定した。

1) 金目川低地における伊勢原断層・公所断層の構造の

調査

2) 花水川近傍に存在する沖積層崖の成因の解明と構造境界の有無の調査

以上2つの目的を達成するため,神奈川県平塚市において2つの測線で反射法地震探査を行った。以下それぞれの目的の背景を記す。第2図は,本調査の測線

を示したものであるが、今後目的1に対応する測線を測線1、目的2に対応する測線を測線2と表記する。

1.1 金目川低地における伊勢原断層・公所断層の構造の調査

活断層デジタルマップ(中田・今泉編, 2002)や都市圏活断層図(東郷ほか, 1996a, b; 宮内ほか, 2008, 2009)によると、伊勢原台地西縁にほぼ南北走向で西側低下の逆断層である伊勢原断層が存在する。この地域には丹沢山地を構成する丹沢層群と愛川層群が分布しており、伊勢原断層の場所はこの地質境界にほぼ一致する(高田ほか, 2003)。松田ほか(1988)はボーリングデータを用いて、元禄2年(西暦878年)の相模・武蔵地震の震源が伊勢原断層である可能性を示唆している。伊勢原断層の南部は金目川低地の堆積物で覆われており、断層南部の構造は研究によって解釈が異なる。活断層デジタルマップ(中田・今泉編, 2002)では金目川水系の大根川と鈴川の合流地点を断層の南端としているのに対し(第2図)、活断層研究会(1991)では大根川と鈴川の合流地点をさらに南に1 km 進んだ場所を南端としており、平塚市博物館(2007)は金目川低地におけるトレンチ調査の結果をふまえて、金目川南の大磯丘陵まで断層が連続して続いているというモデルを提唱した。

また、金目川低地の南に広がる大磯丘陵の東端にはほぼ南北走向の東側低下の逆断層である公所断層が分布している(第2図)。公所断層も上記研究によって分布の解釈が異なり、特に北部は金目川低地の堆積物に覆われているため、解釈が難しい。金目川低地における反射法地震探査は神奈川県が1996年に実施したものに限られており、その探査は伊勢原断層のみを対象にしたため測線長が短く、全体的な構造はわかっていない(神奈川県, 1996)。金目川低地における伊勢原断層と公所断層の分布を詳細に調べるために、本調査では、長さ2 kmを超える測線で反射法探査を行った。

1.2 花水川近傍に存在する沖積層崖の成因の解明と構造境界の有無の調査

大磯丘陵東端の高麗山や湘南平では高麗山層群の岩盤が地表に露出している場所がある。高麗山から東に約2 kmの平塚市錦町における大深度温泉井の資料によると、この場所では高麗山層群の上面は海拔-455 mに存在する(小沢・江藤, 2005)。また、相模平野の沖積層の基底地形によると、花水川を隔てて高麗山層が急激に深くなり、沖積層基底の直線的な谷地形が認められる(平塚市博物館, 2007)。以上の背景より、高麗山東方の花水川河口付近に構造境界が存在する可能性がある。大都市大震災軽減化特別プロジェクト相模湾沿

岸測線(佐藤ほか, 2003, 2011)は花水川河口を横切って反射法探査がなされているが、この調査は発震点間隔50~100 m、受振点間隔50 mで深さ約10 km程度を対象にしたものであったため、花水川河口付近に構造境界は推定されていない。そこで本調査では、受振・発震間隔を狭くして深度1 kmまでの浅層を対象として花水川河口付近で反射法探査調査を行い、構造境界の有無を調べた(第2図)。

2. 調査概要

本調査は2017年1月30日から2月15日の合計17日間行った。1月30日から2月9日は大根川・鈴川沿いの堤防上(大半はサイクリングロード、測線1)で行い、2月9日から2月15日は平塚市・大磯町境界付近から平塚ビーチパークにかけて海岸(測線2)で行った。受振器は固有周波数28 Hzの上下動ジオフォン(Geospace社製GS-20DM内蔵)を使用し、2 m間隔に設置した。波形は2秒間記録し、収録にはテレメトリー型地震探査システムDSS-12(サンコーコンサルタント社製)を使用した。測線2における花水川を横切る場所ではDSS-12に加えて独立型探査システムGSX(Geospace社製)を使用した。受振器は192点を同時に設置し、48点ずつ展開移動して記録を収録した。震源にはP波油圧インパクト(JMI-200, JMI-400)を用い、発震間隔は2 m、発震回数は各点10回を基本とし、路面の状況などに応じて発震回数を調整した。測線1、測線2における調査機器の詳細を第1表、第2表に記し、以下にそれぞれの測線におけるデータ収録状況を示す。

2.1 測線1について

伊勢原断層と公所断層の間にある断層の空白域を流れる金目川水系の大根川・鈴川は共に丹沢山系に源流を持ち、県道63号線付近で大根川は鈴川に合流する。測線は大根川から鈴川へほぼ東西に伸びるサイクリングロード沿いに設定し、総延長は2,974 m、総受振点数は1,488点とした(第1表、第2, 3, 4図)。この測線は中田・今泉編(2002)による伊勢原断層を南に延長した場所、公所断層を北に延長した場所と交わるため、これらの断層が南部、北部へそれぞれ延長しているかを調べるのに適した場所である。測線はほぼ東西に伸びているが、県道63号線に交差する直前の発震点537~561は測線に直交するほぼ南北の道であったため、発震は1回ずつとした。また測線の途中の暗渠や水路、交通量が多い箇所、インパクトが通れない場所などでは発震を行わなかった(第1表)。残りの点に関しては基本的には10回ずつ発震し、路面の舗装状況などに応じて少し場所をずらして3回(または5回)を2セッ

第1表 測線1における調査パラメータ詳細.
Table 1 Field parameters for Line 1.

| 測線名 | 測線1 |
|----------|---|
| 調査地域 | 大根川・鈴川沿いサイクリングロード |
| 調査期間 | 2017年1月30日から2月9日 |
| 測線長 | 2974m |
| 受振点数 | 1488点 |
| 受振点間隔 | 2m |
| 受振点展開方法 | 192チャンネルを同時展開し48点ずつ移動 |
| 震源 | P波油圧インパクト(JMI-200,JMI-400) |
| 発震点数 | 1423点 |
| 発震間隔 | 2m |
| 発震回数 | 10回(路面の状況に応じて3回,5回など回数を変えて対応) |
| 受振器 | GS20-DM(GeoSpace製) |
| 受振器固有周波数 | 28Hz |
| 収録装置 | DSS-12(サンコーコンサルタント) |
| 記録長 | 2秒 |
| サンプリング間隔 | 1ms |
| 発震なし | ch540-541(暗渠),562-587(道幅狭),691-699(県道63号線),1005(路面弱),1093-1096(交通量多),1273-1277(橋の下),1283-1286(水路),1292-1295(橋の下),1484-1488(道幅狭) |

第2表 測線2における調査パラメータ詳細.
Table 2 Field parameters for Line 2.

| 測線名 | 測線2 |
|----------|--------------------------------------|
| 調査地域 | 平塚海岸 |
| 調査期間 | 2017年2月9日から2月15日 |
| 測線長 | 2158m |
| 受振点数 | 1080点(241-290は設置なし) |
| 受振点間隔 | 2m |
| 受振点展開方法 | 192チャンネルを同時展開し48点ずつ移動 |
| 震源 | P波油圧インパクト(JMI-200,JMI-400) |
| 発震点数 | 1030点 |
| 発震間隔 | 2m |
| 発震回数 | 10回(海岸の状況に応じて適宜調節) |
| 受振器 | GS20-DM(GeoSpace社製) |
| 受振器固有周波数 | 28Hz |
| 収録装置 | DSS-12(サンコーコンサルタント製),GSX(GeoSpace社製) |
| 記録長 | 2秒 |
| サンプリング間隔 | 1ms |
| 発震なし | ch241-290(花水川) |

ト行方など、発震回数を調節した。測線は未舗装の部分とアスファルトで舗装されている部分があり、受振器のスパイクは道の端に挿し、スパイクが挿せなかった場所はパテを使用して受振器を固定した(第5図)。測線上には橋が数ヶ所あり、発震は橋の取付道路上で行ったが、受振器は測線の状況に応じて橋の下を通す、または橋の取付道路上にパテで固定した。インパクトは調査途中で機材の不調などもあった関係でJMI-200(発震点番号1~112, 588~1,483)とJMI-400(発震点番号112~561)の2種類を適宜使い分けた。

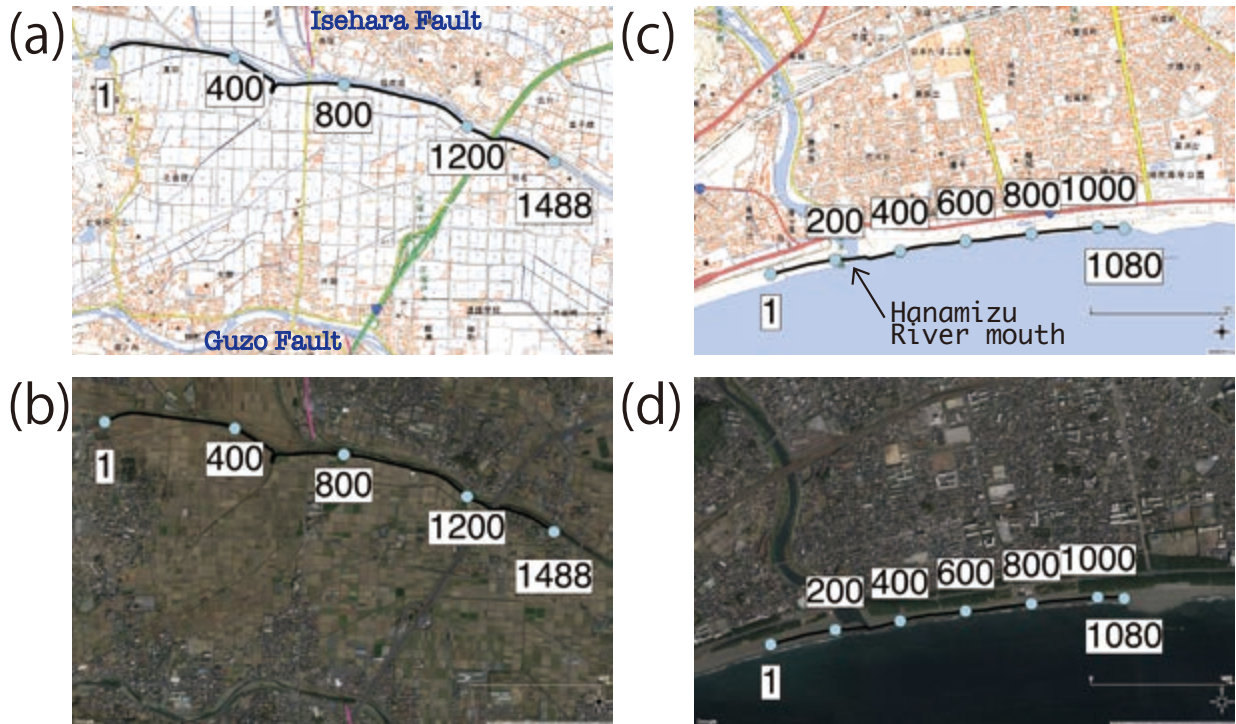
2.2 測線2について

花水川周辺に構造境界がある可能性があるため、測線は花水川河口の西約500mにある平塚市と大磯町の境界付近をスタート地点として花水川を越えて平塚ビーチパークまで2,158mの海岸線上に設定した(第2表, 第2, 3, 4図)。測線のスタート地点は高麗山の位置を南に延長した場所よりも西側にあり、測線は花水川を越えて十分長い距離に設定したため、想定される構造境界は測線上に含まれると期待される。収録システムは花水川河口付近(受振点番号193~240と291~384)のみ独立型システムGSX(Geospace社製)を使用し、残りは全てDSS-12を用い、合計1,030点に受振

器を設置した(第5図)。ただし、川を横切る測点番号241~290は受振器を設置せず発震もしなかった。測線1同様、受振器は192点を同時に設置し、48点ずつ展開移動して記録を収録したが、測線の東端の測点865~1,056は24点ずつ展開移動して調節した。受振器は海岸の砂浜に設置し、記録波形のSN比を上げるためにスパイクに長さ20cmまたは30cmのロングスパイクを取り付けた。発震は2m間隔で行い、インパクトはJMI-400を用いて各点10回ずつ行った。

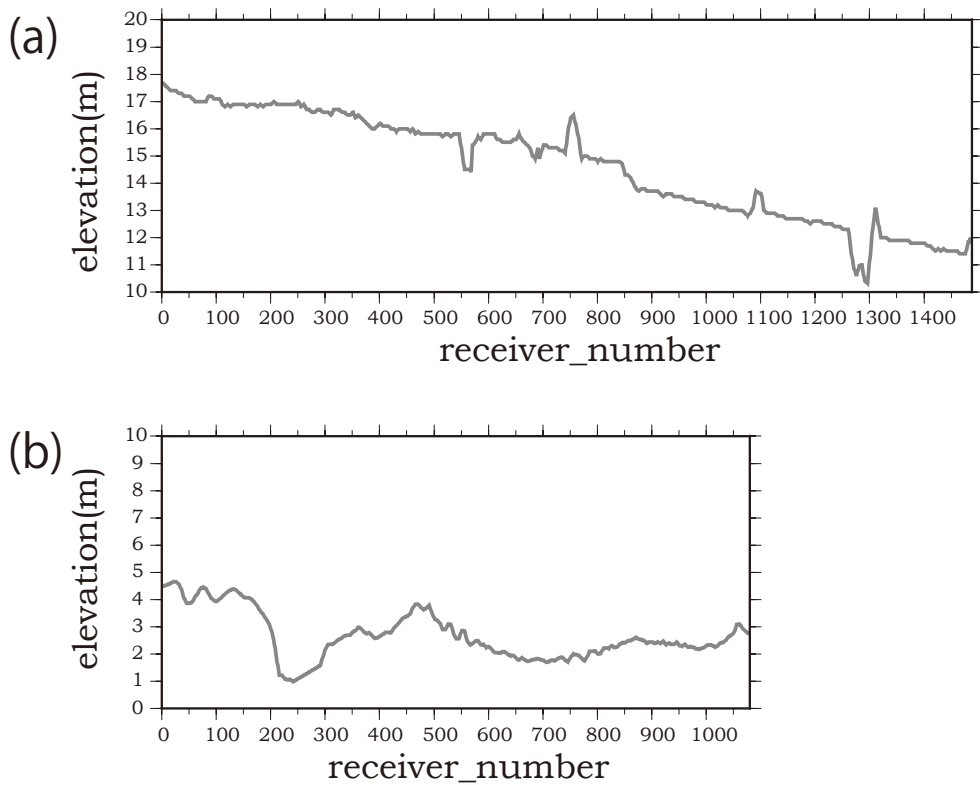
3. 取得データ

DSS-12は現場で発震原記録の確認やスタックなどの簡単な処理ができるため、調査は発震記録を確認しながら行った。今回の探査における主なノイズ源は、人(徒歩やランニング)、車の雑音、ヘリコプターの音などであったが、ほとんどのノイズはダイバーシティスタックによって軽減することを現地で確認した。第6, 7, 8図は測線1, 2における発震原記録の例である。初動が測点の端までとどき、記録波形は概ね良好であった。第6, 7図は発震原記録をダイバーシティスタックしたものであり、スタックによってノイズが軽減し、良好な記録になることがわかる。両測線ともに全体を通し



第3図 調査測線の詳細図。(a) 測線1周辺の地図。数値は測点・発震点番号(2m間隔)。基図に国土地理院発行数値地図25,000(地図画像)を用いた。赤, ピンク, オレンジの実線は第2図と同様。(b) aと同様で基図にGoogle Earthを使用した。(c) 測線2周辺の地図。基図などはaと同様。(d) cと同様で基図はbと同様。

Fig. 3 Detailed information of survey lines. (a) Line 1 with Digital Map 25,000 (Map Image) from GSI. Numbers represent receiver and shot points. (b) Same as a, but with Google Satellite Map. (c) Same as a, but for Line 2. (d) Same as b, but for Line 2.



第4図 調査測線の標高。(a) 測線1。(b) 測線2。
Fig. 4 Elevations along (a) Line 1 and (b) Line 2.

て良好な記録が得られたため、今後解析をすすめ先行研究やボーリングデータとの比較を行う予定である。

4. まとめ

本調査では、伊勢原断層の南部・公所断層の北部の構造、花水川付近の沖積層崖の成因を解明するために、神奈川県平塚市において2つの測線で浅部反射法探査を実施した。両測線共にデータは良好で、今後詳細なデータ処理を進め、反射断面を作成して先行研究、ボーリングデータとの比較を行う予定である。

謝辞：本調査の測線設定に際し地質情報研究部門水野清秀氏、佐藤善輝氏から助言をいただいた。調査の実施にあたり、神奈川県平塚土木事務所の河川砂防第一課、河川砂防第二課、許認可指導課、平塚市役所の土木総務課、緑公園水辺課、秦野市役所の建設部建設管理課にご協力いただいた。また図の作成にあたり、GMT mapping tools (Wessel and Smith,1998)を使用した。記して感謝の意を表す。

文 献

平塚市博物館 (2007) 平塚周辺の地盤と活断層。平塚市博物館夏期特別展展示解説書。

神奈川県 (1996) 平成7年度地震調査研究交付金 伊勢原断層に関する調査成果報告書。219p.

活断層研究会 (1991) 新編日本の活断層 分布図と資料。東京大学出版会, 437p.

松田時彦・由井将雄・松島義章・今永 勇・平田大二・東郷正美・鹿島 薫・松原彰子・中井信之・中村俊夫・松岡数充 (1988) 伊勢原断層 (神奈川県) の試錐による地下調査—過去約7,000年間の堆積環境と元慶2年地震の変位—。地震研究所彙報, **63**, 145-182.

宮内崇裕・池田安隆・今泉俊文・佐藤比呂志・東郷正美 (2008) 1:25,000 都市圏活断層図「秦野第2版」。国土地理院技術資料 D1-No.502.

宮内崇裕・池田安隆・今泉俊文・佐藤比呂志・東郷正美 (2009) 1:25,000 都市圏活断層図「小田原第2版」。国土地理院技術資料 D1-No.524.

中田 高・今泉俊文編 (2002) 活断層詳細デジタルマップ。東京大学出版会, DVD-ROM2 枚・60p. 付図1葉。

Nakajima, J., F. Hirose, and A. Hasegawa (2009) Seismotectonics beneath the Tokyo metropolitan area, Japan: Effect of slab-slab contact and overlap on seismicity, *J. Geophys. Res.*, **114**, B08309, doi:10.1029/2008JB006101.

小沢 清・江藤哲人 (2005) 神奈川県中・東部地域の大

深度温泉井の地質および地下地質構造。神奈川県温泉地学研究所報告, 第37巻, 15-38, 2005.

産業技術総合研究所地質調査総合センター (編) (2015) 20万分の1日本シームレス地質図 2015年5月29日版。産業技術総合研究所地質調査総合センター。

高田圭太・原口 強・早田 勉 (2003) ボーリング調査により明らかとなった伊勢原断層の性状。活断層研究, **23**, 37-44.

東郷正美・宮内崇裕・佐藤比呂志 (1996a) 1:25,000 都市圏活断層図「平塚」。国土地理院技術資料 D1-No.333.

東郷正美・宮内崇裕・佐藤比呂志 (1996b) 1:25,000 都市圏活断層図「藤沢」。国土地理院技術資料 D1-No.333.

佐藤比呂志・平田 直・伊藤谷生・岩崎貴哉・額額一起・笠原敬司・伊藤 潔 (2003) 大深度弾性波探査 相模測線における地殻構造探査。大都市大震災軽減化特別プロジェクト1地震動(強い揺れ)の予測「大都市圏地殻構造調査研究」平成14年度成果報告書, 88-137.

佐藤比呂志・岩崎貴哉・飯高 隆・石山達也・蔵下英司 (2011) 断層帯の三次元的計状・断層帯周辺への地殻構造解明のための調査観測 制御震源地震探査による地殻構造の解明。神縄・国府津—松田断層帯における重点的な調査観測 平成21-23年度成果報告書3.1.

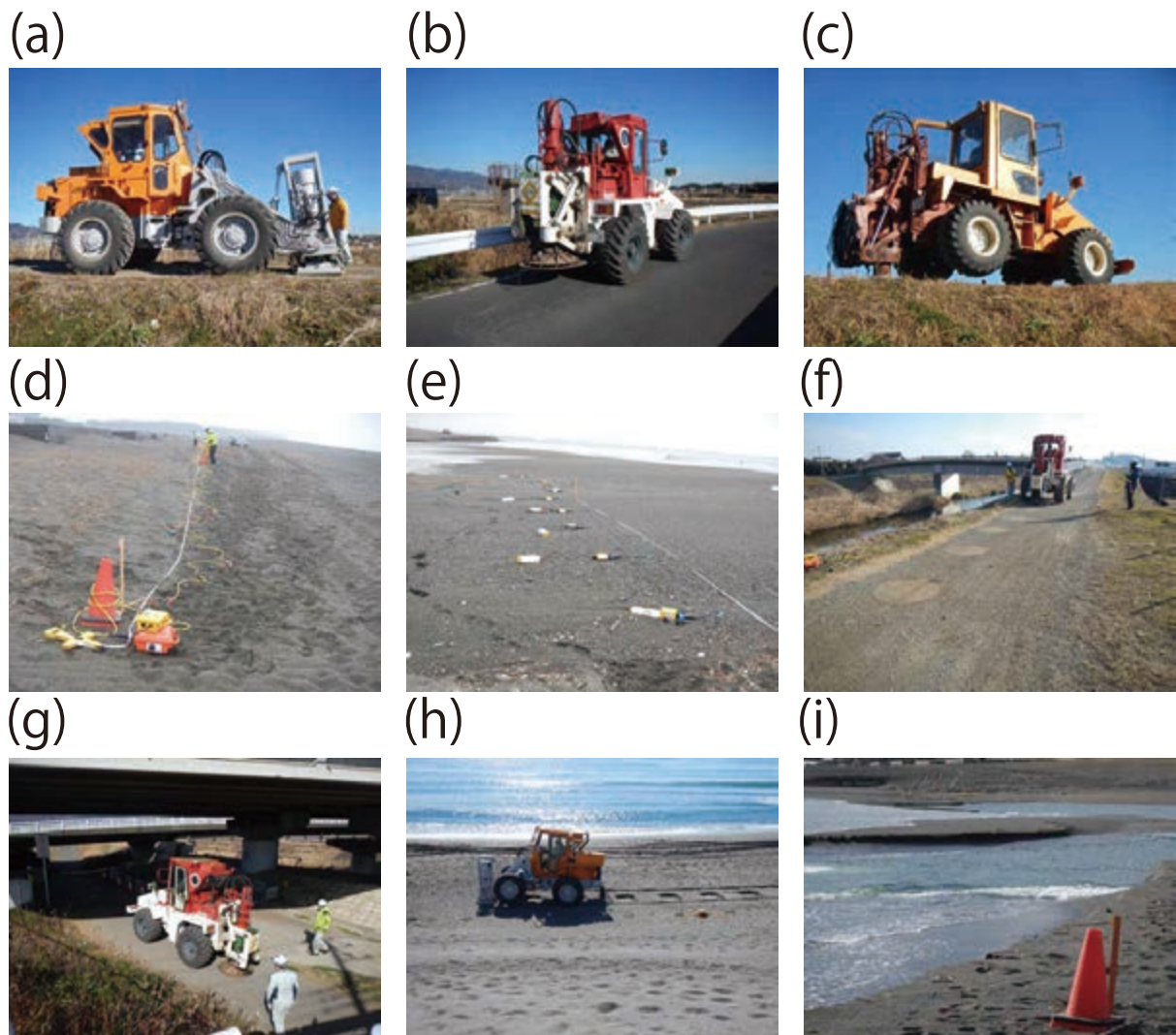
Seno, T., T. Sakurai, and S. Stein (1996) Can the Okhotsk plate be discriminated from the North American plate?, *J. Geophys. Res.*, **101**, 11,305–11,315, doi:10.1029/96JB00532.

山口和雄・伊藤 忍 (2015) 九十九里低地(真亀一片貝地区)沿岸陸域における浅部地下構造調査 —データ取得—。平成26年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 産業技術総合研究所地質調査総合センター速報, no.68, 19-25.

山口和雄・伊藤 忍 (2016) 足柄平野における浅部地下構造調査 —データ取得—。平成27年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 産業技術総合研究所地質調査総合センター速報, no.71, 161-169.

山口和雄・伊藤 忍 (2017) 九十九里低地(旭市矢指ヶ浦)沿岸陸域における浅部地下構造調査。平成28年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 産業技術総合研究所地質調査総合センター速報, 本報告書。

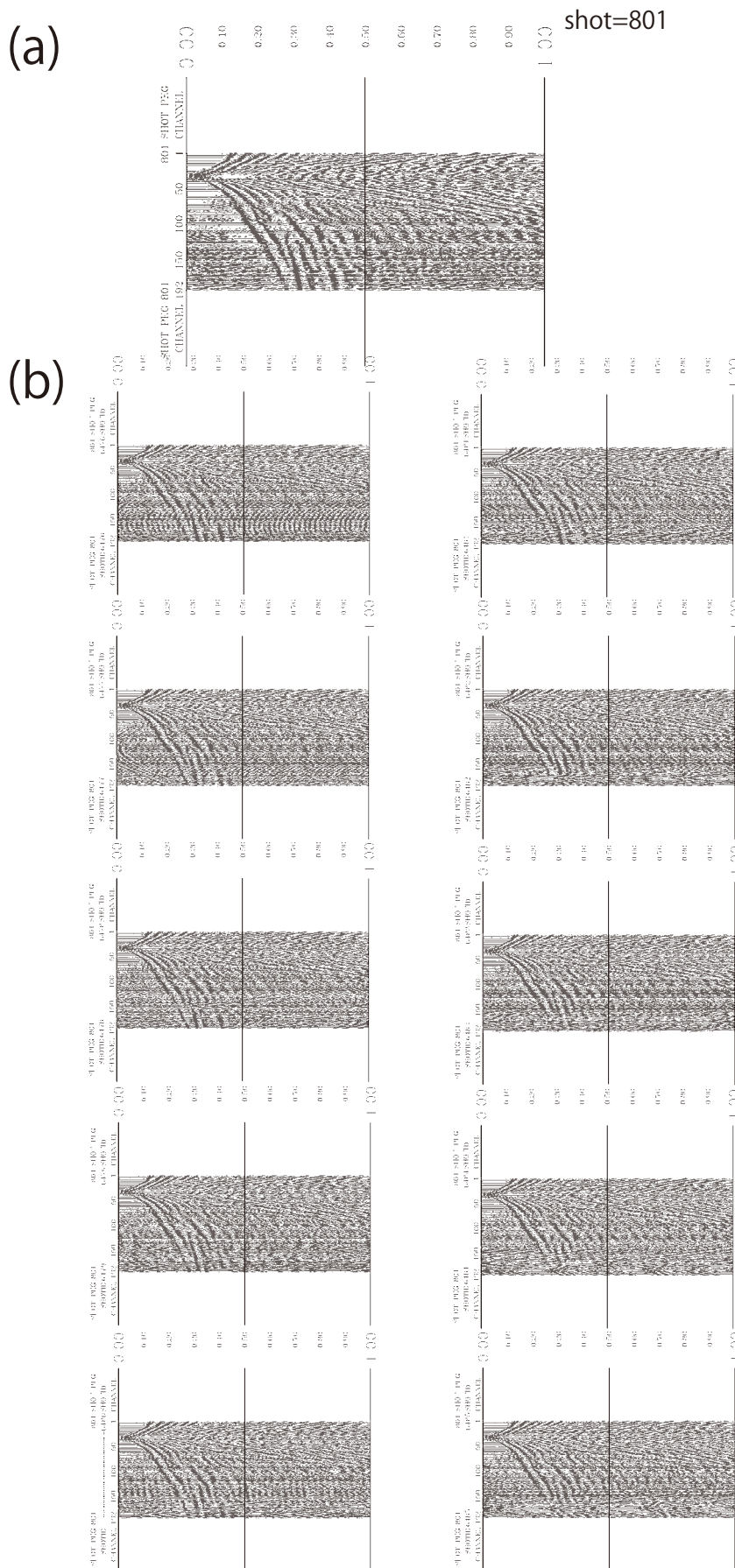
Wessel, P. and Smith, W. H. F. (1998) New, improved version of generic mapping tools released. *EOS Trans. American Geophysical Union*, **79**, 579.



第5図 調査機器，現場調査の様子。

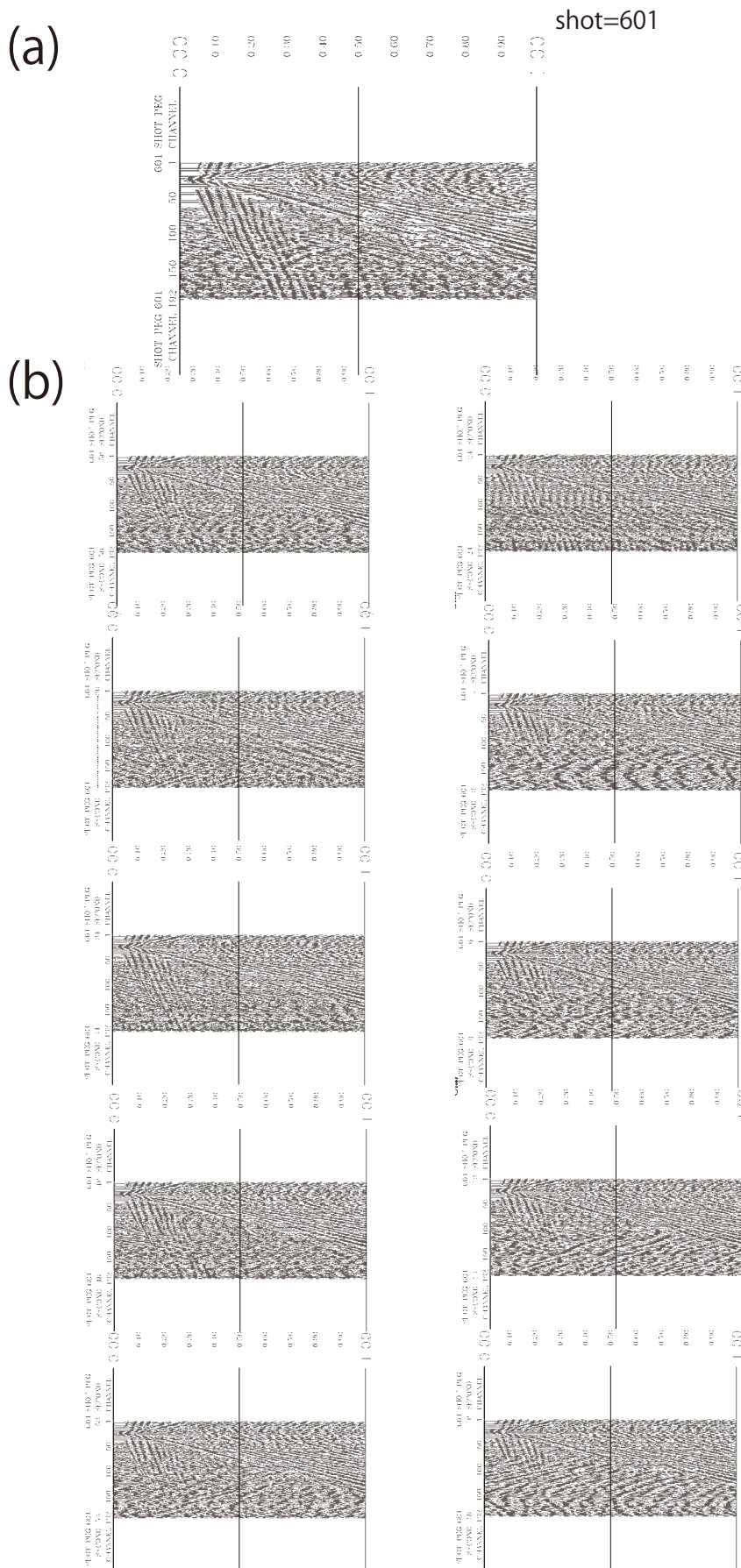
(a) JMI-400 (地球科学総合研究所). (b) JMI-200 (阪神コンサルタント). (c) JMI-200 (地球科学総合研究所).
(d) DSS-12 (サンコーコンサルタント社製) (e) GSX (Geospace 社製) (f), (g) Line 1. (h), (i) Line 2.

Fig. 5 Survey systems and field operations. (a) JMI-400 (JGI, Inc.). (b) JMI-200 (Hanshin Consultants). (c) JMI-200 (JGI, Inc.).
(d) DSS-12 system (Suncoh Consultants) (e) GSX system (Geospace) (f), (g) Line 1. (h), (i) Line 2.



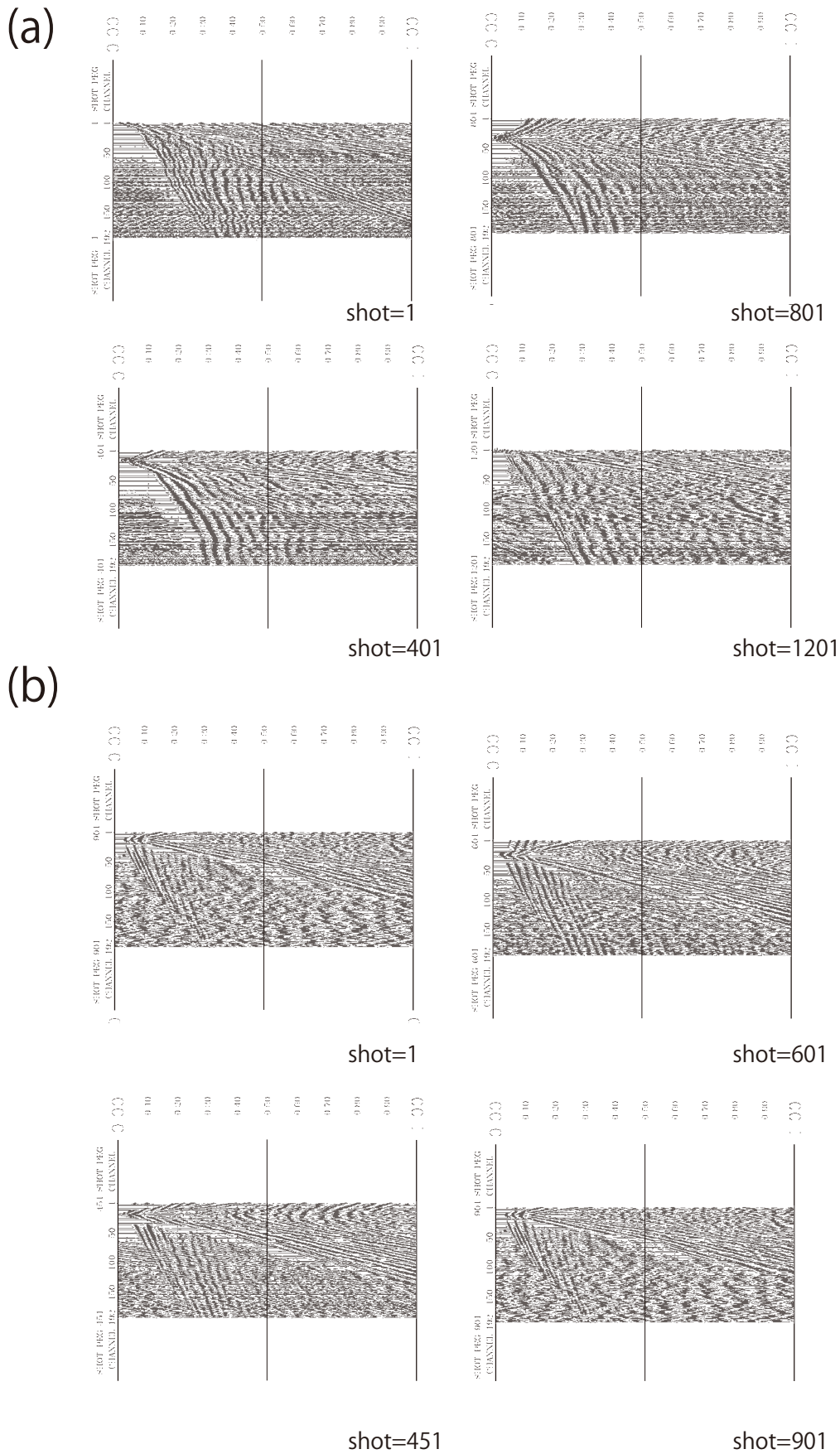
第6図 測線1(発震点801)における発震記録とスタック波形の比較。(a)10回の記録を垂直重合(ダイバーシティスタック)した後振幅調整を行った波形。(b)10回の記録。

Fig. 6 Examples of shot records at shot-number 801 for Line 1. Vertical and Horizontal axes are receiver channel and two-way traveltime, respectively. (a) Stacked shot records with gain control after diversity stack of 10-times shot gathers. (b) 10-times shot gathers with gain control.



第7図 測線2(発震点601)における発震記録とスタック波形の比較. パラメータなどは第6図と同様.

Fig. 7 Examples of shot records at shot-number 601 for Line 2. Parameters are same as Fig. 6 but for Line2.



第8図 垂直重合，振幅調整後の発震記録例．数字は発震点番号を表す．縦軸，横軸は第6図と同様．(a) 測線1. (b) 測線2.

Fig. 8 Examples of shot records with gain control after diversity stack of 10-times shot gathers of (a) Line 1 and (b) Line 2. Parameters are same as Fig. 6 and numbers represent locations of shot points.