

三重県鈴鹿市における浅部反射法地震探査の実施 Shallow seismic reflection survey at Suzuka City in Mie prefecture, central Japan

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

Abstract: Though a number of reverse faults with the strike direction of north-south are estimated in the Ise plain, Mie prefecture, Japan, the location and the structure of faults are different among previous studies. We conducted two shallow seismic reflection surveys near Kanasai River and Horikiri River to clarify the spatial distribution of the Chisato Fault whose location is debatable and the location of the southern end of Yokkaichi Fault. Preliminary results show clear reflections to about 0.5 seconds two-way travel times. We aim to further analyses to gain more insight into the geological information around the coastal zone of the Ise Bay.

Keywords: seismic reflection survey, Yokkaichi Fault, Chisato Fault

要 旨

三重県の伊勢平野には主に南北走向の多くの断層が存在すると考えられているが、その位置や構造は先行研究によって解釈が異なる。我々は、研究により推定位置が異なる千里断層の構造を解明し、また四日市断層が今まで推定された場所よりも南部へ延長するかを解明するために三重県鈴鹿市の金沢川周辺と堀切川周辺で浅部反射法探査を行った。予備的な解析では往復走時 0.5 秒まで反射波が確認できた。今後データ処理を進め、伊勢湾沿岸域の地質情報の整備を行う。

1. はじめに

沿岸域の地質・活断層プロジェクトは日本全国の大都市圏沿岸域で、海洋・沿岸・陸域におけるシームレスな地質情報の整備を行うことを目標としており、平成 29 年度から 31 年度は伊勢湾・三河湾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る。本報告では、伊勢湾沿岸域調査の一環として、平成 29 年度に三重県鈴鹿市で行った浅部反射法探査のデータ取得に関してまとめる。なお、平成 29 年度の陸域地震探査は、三河湾沿岸域調査の一環として愛知県高浜断層を対象とした調査も行っている（木下ほか、2018、本報告）。

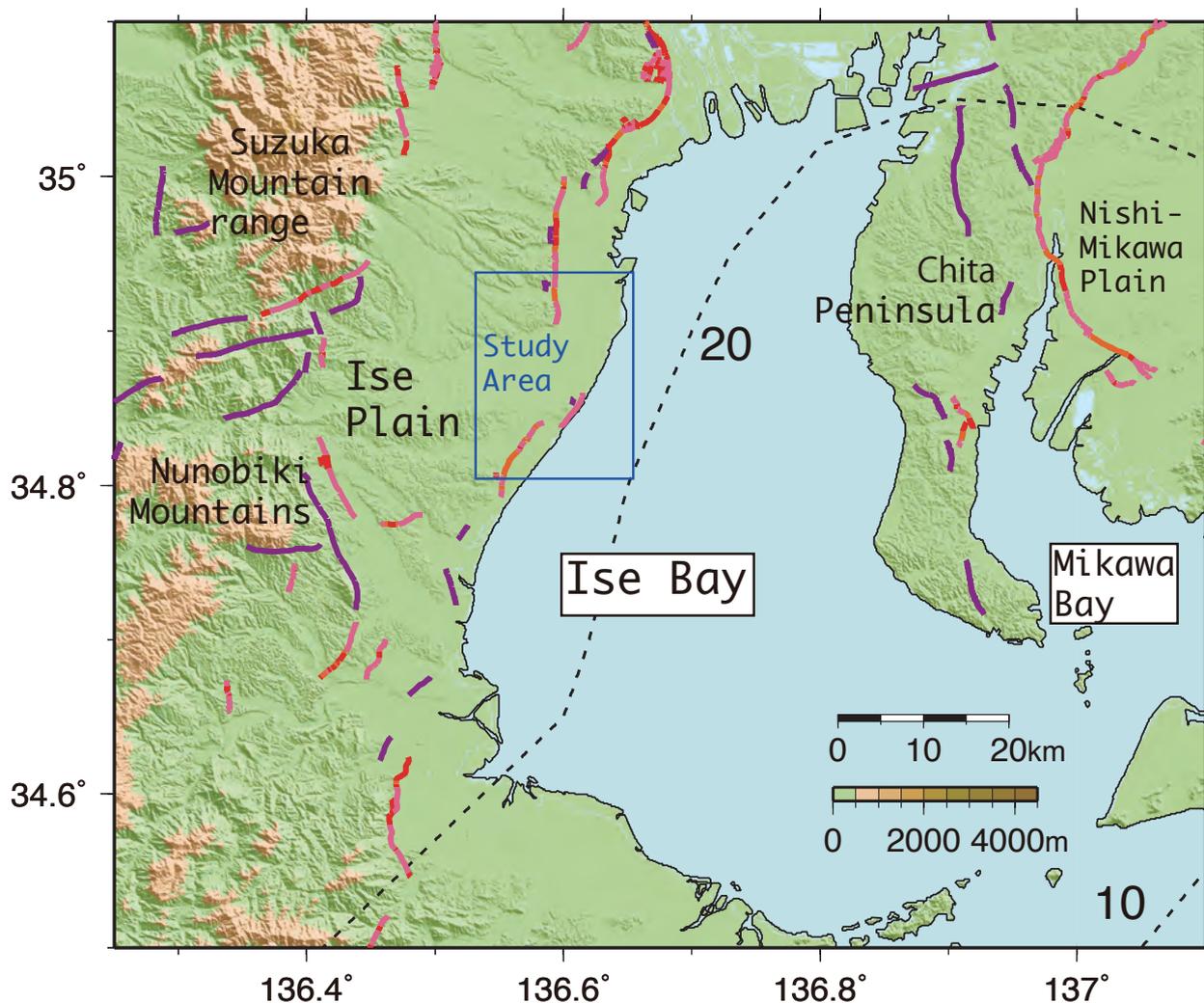
伊勢湾西部沿岸域には南北が約 100 km、東西が約 20 km と南北に細長い形状をした伊勢平野が分布している（第 1 図）。伊勢平野は三重県北部から中部に位置し、北は養老山地、西は鈴鹿山脈と布引山地、南は中央構造線を境界として朝熊山地に囲まれている。伊勢平野

は主に海岸付近の海岸低地と河成低地、内陸の扇状地や段丘などの台地、丘陵で構成されていて（吉田ほか、1983, 1986）、山地と台地の間、台地や丘陵と低地の間にほぼ南北走向の多数の断層が存在することが知られている。例えば、養老山地と濃尾平野の境界を通り四日市市にかけては養老一桑名一四日市断層帯、鈴鹿山脈と伊勢平野の境界には鈴鹿東縁断層帯、布引山地と伊勢平野の境界には布引山地東縁断層帯が分布している（地震調査研究推進本部、2004、第 1 図）。それぞれの断層帯は複数のセグメントに分かれていると考えられ（中田・今泉、2002；鈴木ほか、2010a, b）、数 km 程度の長さで分断している場所もあるなど、非常に複雑な断層構造になっていると考えられている。

これまで伊勢平野では、断層の構造や強震動予測のために反射法地震探査による地下構造調査が複数回行われてきた。例えば、三重県が行った伊勢平野に関する地下構造調査では、鈴鹿山脈から四日市市へ東西約 21 km の測線における反射法地震探査により、鈴鹿東縁断層より東側で基盤深度は 1,500 ~ 2,000 m 程度と非常に深くなっていることを明らかにした（三重県、2003, 2004）。さらに、鈴鹿市から津市に至る南北約 12 km の測線での反射法探査により、白子一野間断層が陸域まで延長している可能性を示している。また、大都市大震災軽減化特別プロジェクトによる大阪一鈴鹿測線の地殻構造探査では、大阪府の淀川河口から滋賀県を経て三重県の鈴鹿川河口まで約 135 km に渡って大規模な反射法探査を行い、四日市撓曲による変位が鈴鹿川以南にまで延長することを初めて明瞭に示した（佐藤ほか、2004）。

*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 伊勢湾沿岸域の地形とプレート深度（標高データは国土地理院の数値地図250 mメッシュ標高を使用）。赤、オレンジ、ピンク、紫の実線は中田・今泉（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）、活断層（位置不明）、推定活断層を表す。青色の四角は本調査領域を表す。

Fig. 1 Tectonic setting around the coastal area of Ise Bay. Depth contours indicate the upper surface of the subducting Philippine Sea (PHS) plate from Hirose et al. (2008). Colors indicate digital elevation model (250m grid) from Geospatial Information Authority of Japan (GSI). Red, orange, pink, and purple solid lines represent spatial distributions of active faults, active faults whose location are indecisive, active faults whose location are concealed, and estimated active faults from Nakata and Imaizumi eds. (2002), respectively. A blue square represent survey regions.

しかし、今まで鈴鹿川以南における伊勢平野の東側に関しては、地形・地質学的情報から推定されている断層が複数あるにも関わらず、断層に直交する東西方向での反射法探査はほとんど行われておらず、断層構造は研究によって解釈が異なる。例えば、上記の通り、佐藤ほか（2004）によって四日市断層が鈴鹿川以南に連続する可能性が示唆され、鈴木ほか（2010a）では近鉄鈴鹿線付近まで断層が延長すると解釈されているが、その南にも推定断層が断続的に分布しており、四日市断層がさらに南部まで連続している可能性も否定できない。また、中田・今泉（2002）と鈴木ほか（2010a）では金沢川河口付近にも南北に断層が存在すると解釈

しているが、その分布は両者で異なる。さらに、中田・今泉（2002）では海岸線から約2 kmの場所に堀切川や中ノ川を南北に縦断するような断層が分布すると解釈しており、その断層は南部にある千里撓曲まで連続していると解釈しているが、鈴木ほか（2010b）では、この断層は堀切川の北までしか続かず、千里撓曲とは分断していると解釈している。地震調査委員会（2004）などでは、四日市断層より南の複数の断層を合わせて布引山地東縁断層帯としているが、鈴鹿市における断層の分布図は上記研究と解釈が異なる。

以上の背景をふまえると、伊勢平野の鈴鹿川以南においては断層の位置や長さなどの解釈が一致していな



第2図 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。実線に関しては第 1 図同様断層を表す。緑は中田・今泉（2002）による活撓曲の領域を示す。

Fig. 2 Digital Map 25,000 from GSI with Seamless Digital Geological Map of Japan (1:200,000) from AIST (2015). Blue solid lines represent survey lines. Red, orange, pink, and purple solid lines are the same as Fig. 1. Green areas indicate active flexures.

い場所も多く、さらなる調査が必要である。そこで、伊勢湾西部の沿岸域の地質情報を整備するため、本調査では以下の 2 つの項目を明らかにする。

- 1) 四日市断層の南部延長の可能性
- 2) 千里断層の位置解明

以上 2 つの項目を調査するため、2018 年 1～2 月に三重県鈴鹿市の金沢川周辺と堀切川周辺において浅部反射法地震探査を行った。第 2 図は、本調査の測線を示したものであるが、今後は金沢川周辺の測線を金沢測線、堀切川周辺の測線を堀切測線と表記する。

2. 調査概要

本調査は 2018 年 1 月 29 日から 2 月 17 日の合計 20 日間行った。1 月 29 日から 2 月 7 日は金沢川周辺（金沢測線、第 3 図）で行い、2 月 8 日から 2 月 17 日は堀切川周辺（堀切測線、第 4 図）で行った。調査の様子は第 5 図に示す。震源は地球科学総合研究所製の P 波油圧インパクト（JMI-200）を用いたが、堀切測線の一部は道路の幅が非常に狭いため、JMI-200 より小さい P 波油圧インパクト（JMI-Mini65）を使用した。発震

の間隔は 2 m で、発震回数は JMI-Mini65 は各点 20 回、JMI-200 の場合は各点 5 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。受振器は固有周波数 28Hz の上下動シングルジオフォン（Geospace 社製 GS-20DM 内蔵）を使用し、2 m 間隔に設置した。波形は 0.5 秒サンプリングで 2 秒間記録し、収録にはテレメトリ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。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。金沢測線、堀切測線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。

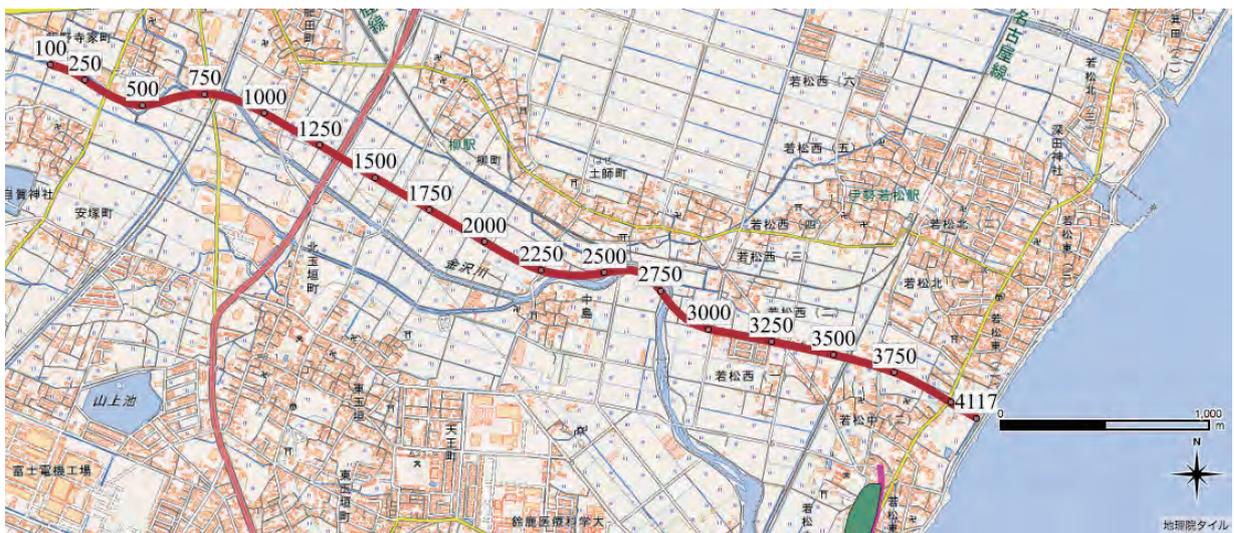
2.1 金沢測線について

金沢川は鈴鹿市東部の丘陵を水源とし、市街地をぬけて伊勢湾にそそぐ約 2.6 km の二級河川である。金沢測線は、金沢川と伊勢鉄道が交差する場所から西に約 700 m 進んだ場所から始まり、川沿いの堤防や農道を通り、海岸近くまで、ほぼ東西に設定し、測線の総受振点数は 2,112 点、総延長は 4,222 m とした（第 1 表、第 2、3 図）。測線の途中で国道や線路を横切る時はケーブルを迂回させ道路や線路の下を通すなどして、全区間

(a)



(b)



第3図 金沢測線の詳細図。

(a) 測線1周辺の地図。青線と数値は測点・発震点番号(2 m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1図と同様。(b) aと同様で赤線と数値はCMP重合点を表す。

Fig. 3 Detailed information of Kanasai line. (a) Line 1 with Digital Map 25,000 (Map Image) from GSI. Numbers represent receiver and shot points. (b) Same as (a). Numbers represent CMPs.

有線でデータを取得した。

この測線は、西側で鈴木ほか(2010a)による四日市断層の南方延長と交差し、東側で中田・今泉(2002)や鈴木ほか(2010a)によって推定されている海岸近辺にある断層の北方延長と交差している。そのため、四日市断層の南部延長の可能性、また海岸付近に想定されている断層との連続性を調べるのに適した測線である。

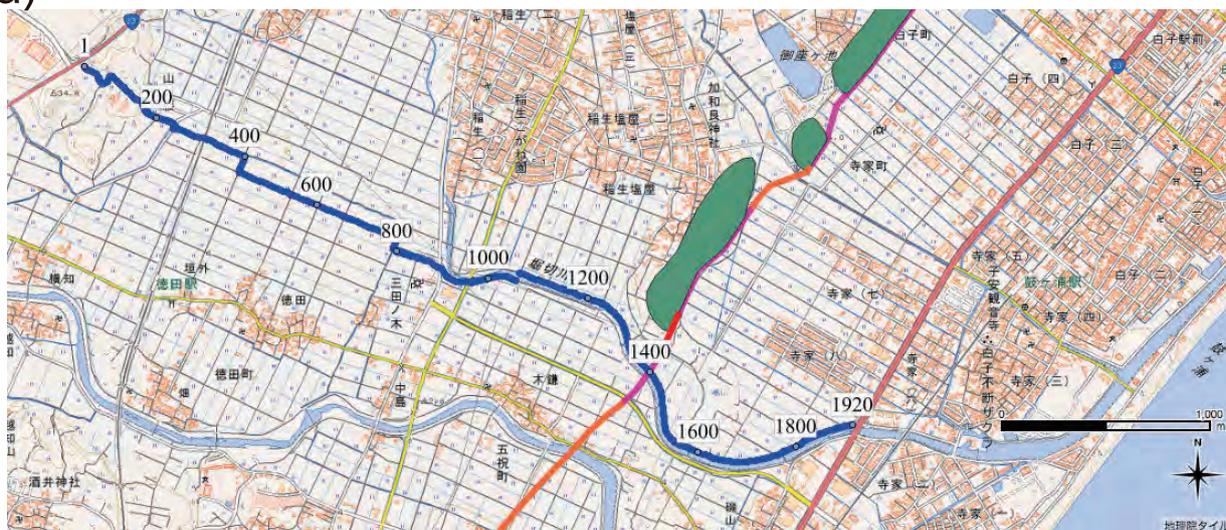
金沢測線は基本的には5回ずつ発震した。測線の途中で、水路の上、交通量の多い国道・県道の上、水道管の上、アスファルトが弱い場所、震源車両が通れな

い場所などでは発震をスキップするか、発震回数を減らした。測線は未舗装の場所とアスファルト舗装の場所があり、受振器のスパイクは基本的には道の端に刺し、橋の下など土がなくスパイクが刺せなかった場所に関しては、パテを使用して受振器を固定した。

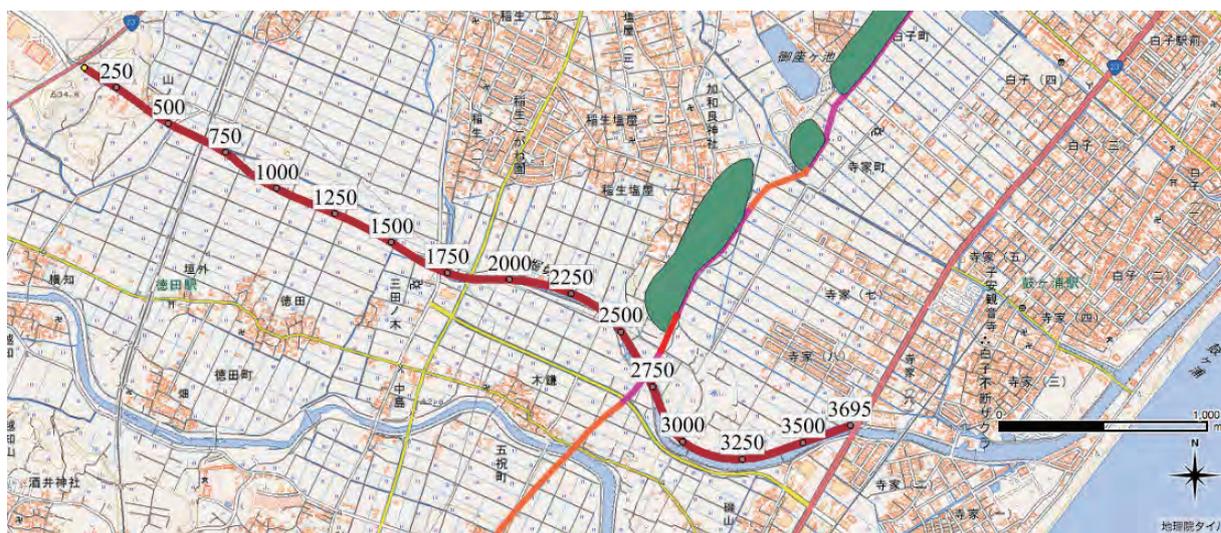
2.2 堀切測線について

堀切川は金沢川同様に、鈴鹿市東部の丘陵を水源とし、白子の市街地をぬけて伊勢湾にそそぐ流路約4.8 kmの二級河川である。堀切測線は、堀切川が県道645号線と交差する場所から西に約2 kmの場所(国道23

(a)



(b)



第4図 堀切測線の詳細図。(a) (b) の点や線は第3図と同様。

Fig. 4 Detailed information of Horikiri line. Parameters are the same as Fig. 3.

線中勢バイパスの手前) から始まり、伊勢鉄道を越えて農道を通り、堀切川の堤防沿いを国道23線に到達する場所までほぼ東西に設定し、測線の総受振点数は1,920点、総延長は3,838mとした(第2表、第2、4図)。この測線は中田・今泉(2002)によって位置が不確かと記述されている断層(第2図)や、鈴木ほか(2010b)による四日市撓曲と千里撓曲の間にある断層の延長線に交わるため、四日市断層や千里断層の複雑な構造を明らかにするのに適した測線である。

堀切測線は金沢測線同様に基本的には5回ずつ発震した。ただし、上述の通り、堀切測線の一部(発震点番号241から816まで)は、JMI-200が通れない幅の狭い農道を使用したため、JMI-Mini65を用いた。JMI-

Mini65はJMI-200と比較して打撃エネルギーが小さいため、発震回数を15から20回にした。その他は全て金沢測線と同じように調査を実施した。

3. 取得データ

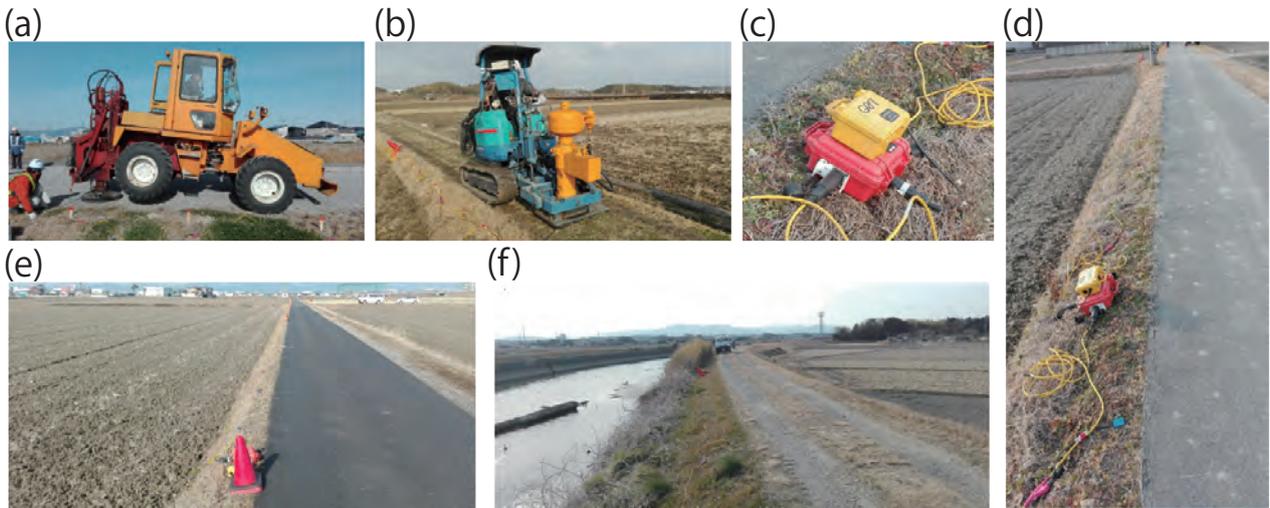
DSS-12は現場で発震原記録の確認やスタックなどの簡単な処理ができるため、調査は発震記録を確認しながら行った。今回の探査における主なノイズ源は、人(徒歩やランニング)、トラクター、一般車両による振動、ヘリコプターの音などであったが、ほとんどのノイズはスタックによって軽減することを現地で確認した。第6、7図は金沢、堀切測線における発震原記録の

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

測線名	金沢測線
調査地域	金沢川周辺
調査期間	2018年1月29日から2月7日
測線長	4222m
受振点数	2112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)
発震点数	2112点
発震間隔	2m
発震回数	5回(道路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)
記録長	2秒
サンプリング間隔	0.5ms

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

測線名	堀切測線
調査地域	堀切川周辺
調査期間	2018年2月8日から2月17日
測線長	3838m
受振点数	1920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-Mini65)
発震点数	1920点
発震間隔	2m
発震回数	5回(道路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)
記録長	2秒
サンプリング間隔	0.5ms



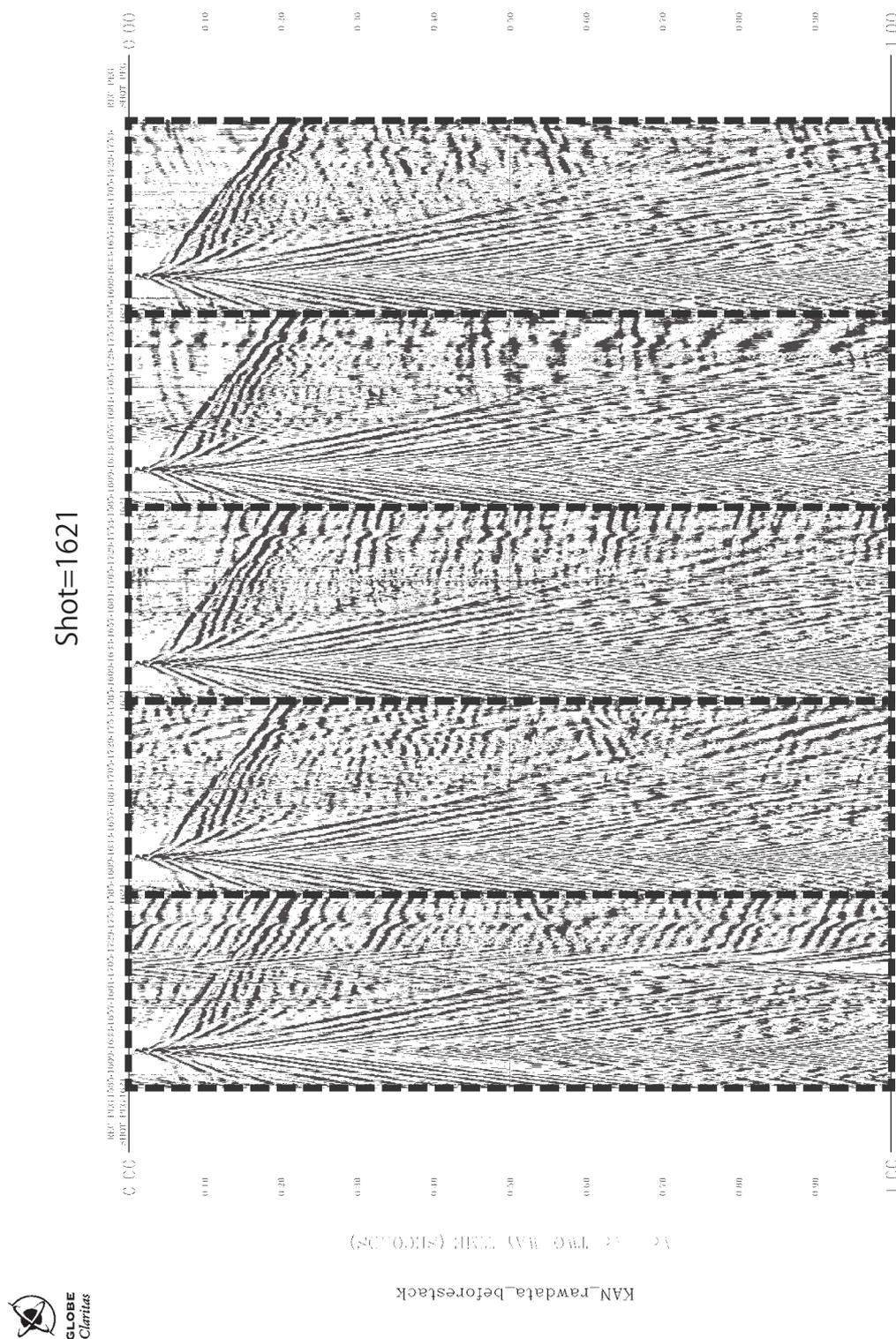
第5図 調査機器, 現場調査の様子. (a) JMI-200 (地球科学総合研究所), (b) JMI-Mini65 (地球科学総合研究所), (c) (d) DSS-12 (サンコーコンサルタント社製), (e) 金沢測線, (f) 堀切測線.
Fig. 5 Survey systems and field operations. (a) JMI-200 (JGI, Inc.), (b) JMI-Mini65(JGI, inc.), (c) (d) DSS-12 system (Suncoch Consultants), (e) Kanasai Line, (f) Horikiri Line.

例である. 両測線とも初動は測点の端までとどいており, 記録波形は概ね良好である. 第8, 9図は発震原記録をダイバーシティスタックにより垂直重合したものであり, スタックによってノイズは軽減し, 良好な記録になることがわかった. 第10, 11図は垂直重合後にジオメトリを設定し, $V_p=1,800$ m/sを仮定してNMO補正を行い, CMP重合した予備的な時間断面図である. 金沢・堀切両測線ともに往復走時約0.5秒まで明瞭な反射波を確認した. 今後解析をすすめ, 断層や撓曲が存

在するの否か, あるいはどこに存在するの否かを明らかにする予定である. さらに, 本調査の結果を先行研究やボーリングデータと比較し, 四日市断層と千里断層の構造を明らかにする予定である.

4. まとめ

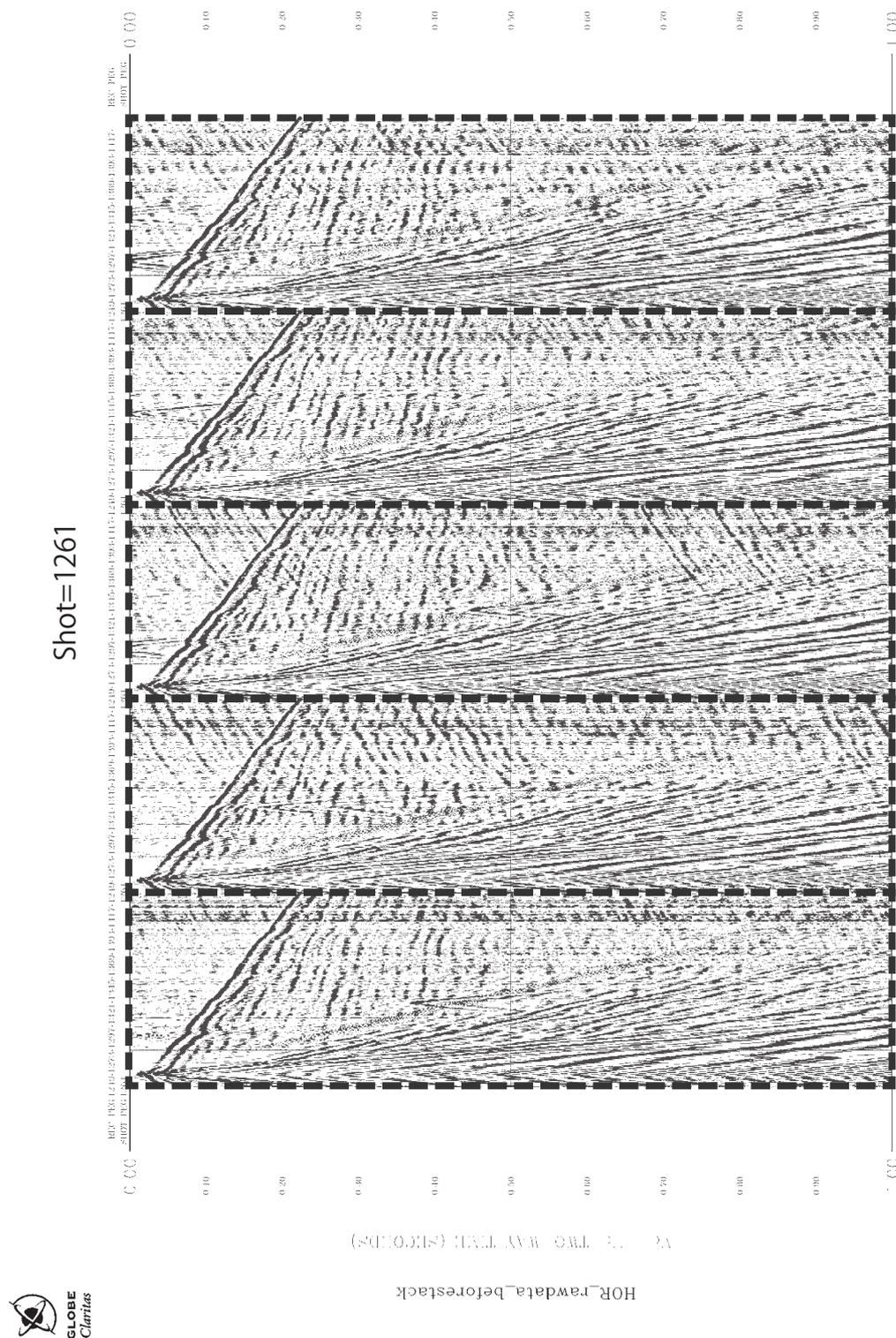
本調査では, 三重県鈴鹿市において, 四日市断層の南部延長・伊勢湾近傍の沖積低地に推定されている断層



第6図 金沢測線における発震記録（発震点 1,621）
 Fig. 6 Examples of shot records at shot-number 1,621 for Kanasai Line.
 Vertical and Horizontal axes are receiver channel and two-way travelttime, respectively.

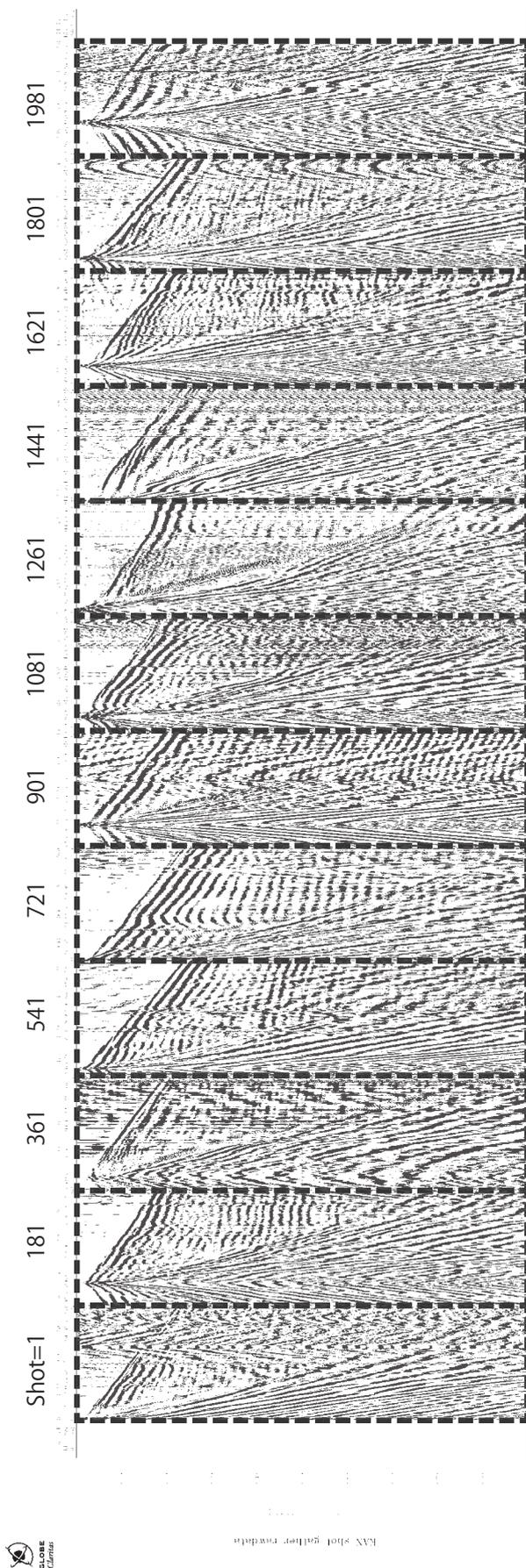
の構造・千里断層の構造を解明するために、金沢・堀切測線で浅部反射法探査を実施した。両測線共にデータは良好で、往復走時約 0.5 秒まで明瞭な反射波が検出された。今後データ処理を進め、先行研究やボーリングデータと比較することで、本調査地域の断層構造を明らかにする予定である。

謝辞：本調査の測線設定に際し地質情報研究部門の水野清秀氏、佐藤善輝氏から助言をいただいた。調査の実施にあたり、三重県鈴鹿建設事務所、鈴鹿市役所、鈴鹿川沿岸土地改良区、近畿日本鉄道株式会社、中尾建設株式会社、測線が通る 14 地区の自治会長の皆様、6 地区の農業委員の皆様にご協力いただいた。現地での



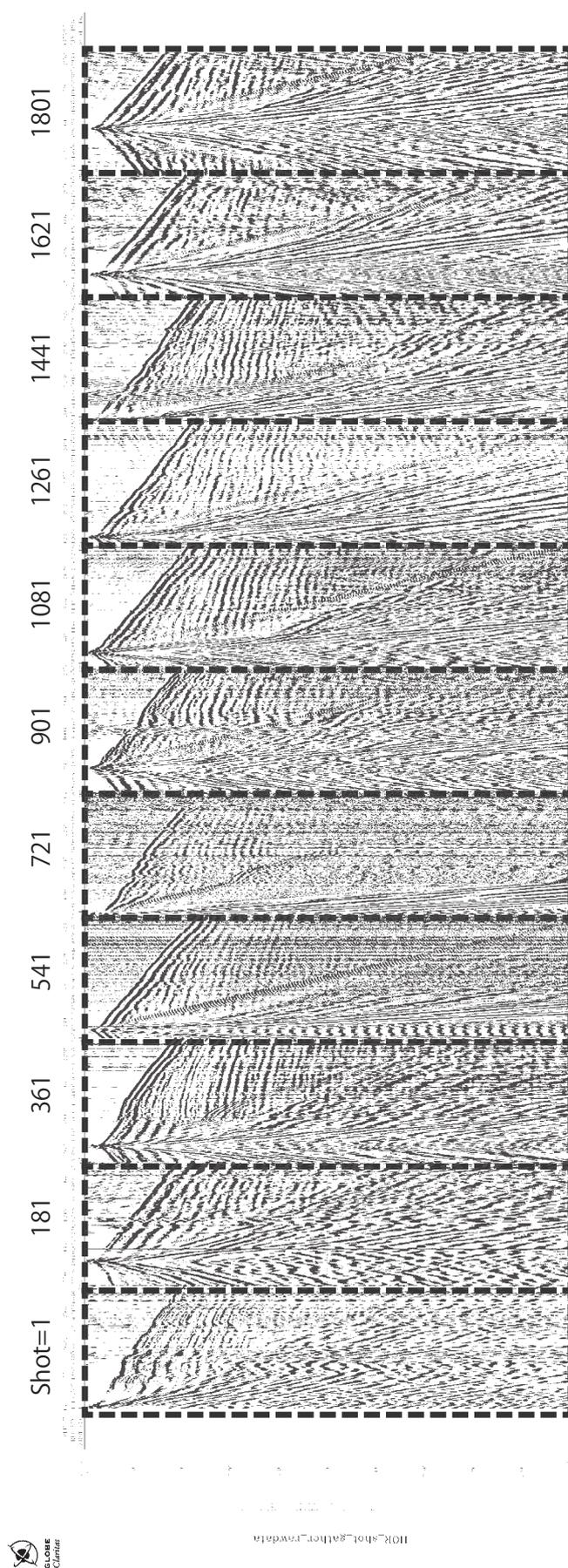
第7図 堀切測線における発震記録（発震点1,261）。
 Fig. 7 Examples of shot records at shot-number 801 for Horikiri Line.
 Parameters are the same as Fig. 6 but for Horikiri Line.

データ取得に関しては（株）ジオシスにご協力いただいた。また反射法のデータ解析と図の作成には Claritas (GNS, New Zealand), 一部の図の作成には QGIS, GMT mapping tools (Wessel and Smith, 1998) を使用した。記して感謝の意を表す。



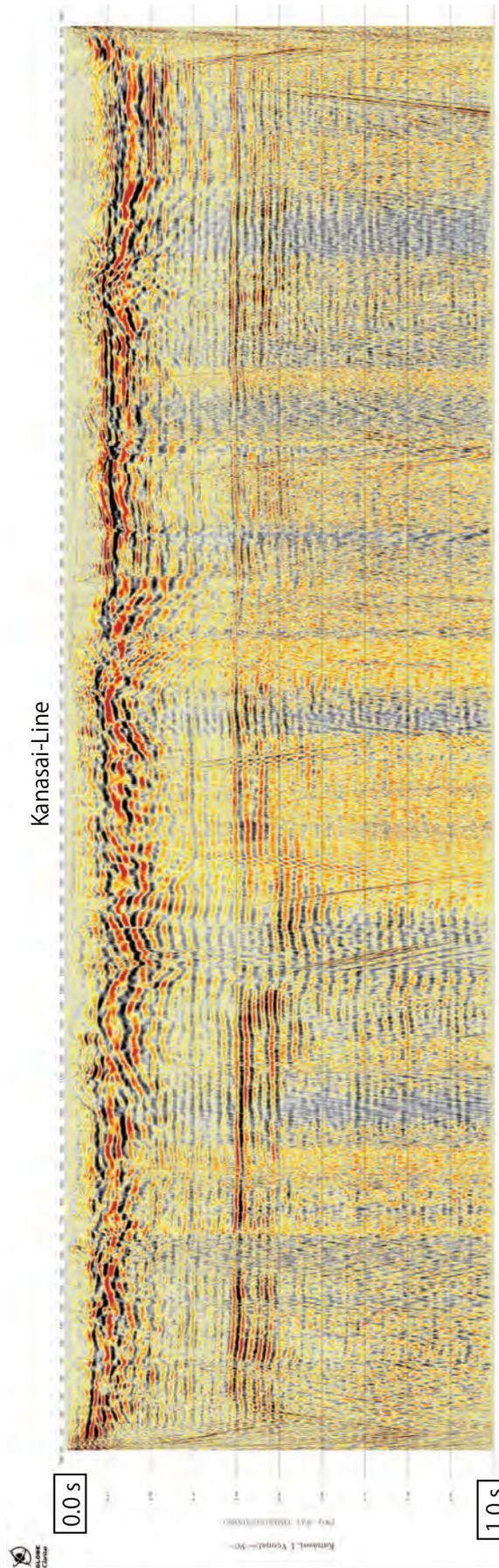
第 8 図 金沢測線における発震記録を垂直重合し、振幅調整を行った波形（発震点 1, 181, 361, 541, 721, 901, 1081, 1261, 1441, 1621, 1801, 1981）。

Fig. 8 Stacked shot records with gain control after diversity stack of 5-times shot gathers at shot-number 1, 181, 361, 541, 721, 901, 1081, 1261, 1441, 1621, 1801, and 1981 for Kanasai Line. Parameters are the same as Fig. 6.



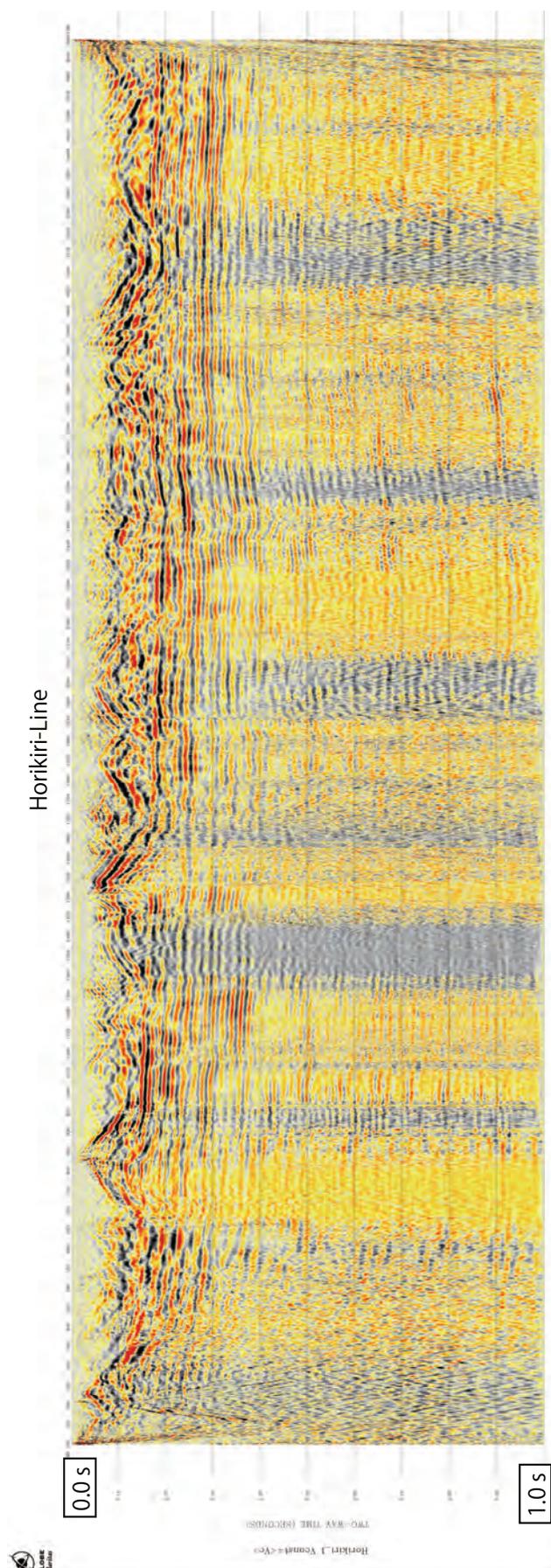
第9図 堀切測線における発震記録を垂直重合し、振幅調整を行った波形（発震点1, 181, 361, 541, 721, 901, 1081, 1261, 1441, 1621, 1801）.

Fig. 9 Stacked shot records with gain control after diversity stack of 5-times shot gathers at shot-number 1, 181, 361, 541, 721, 901, 1081, 1261, 1441, 1621, 1801, and 1981 for Horikiri Line. Parameters are the same as Fig. 6.



第10図 金沢測線における予備的な断面図。Vp=1.8km/sでNMO補正を行い、CMP重合をした。横軸の数字はCMPの位置を表す。

Fig. 10 CMP stacking with NMO corrections using 1.8 km/s for P wave velocity at Kanasai Line. Numbers of the horizontal axis represent locations of CMP points.



第 11 図 堀切測線における予備的な断面図. $V_p=1.8\text{km/s}$ で NMO 補正を行い, CMP 重合をした.
横軸の数字は CMP の位置を表す.

Fig. 11 CMP stacking with NMO corrections using 1.8 km/s for P wave velocity at Horikiri Line.
Numbers of the horizontal axis represent locations of CMP points.

文 献

- Hirose, F., J. Nakajima, and A. Hasegawa (2008) Three-dimensional seismic velocity structure and configuration of the Philippine Sea slab in southwestern Japan estimated by double-difference tomography. *J. Geophys. Res.*, **113**, B09315, doi:10.1029/2007JB005274.
- 木下佐和子・山口和雄・伊藤 忍・住田達哉 (2018) 高浜断層周辺における浅部地下構造調査の実施. 平成 29 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. 76, 59-71.
- 三重県 (2003) 平成 15 年度地震関係基礎調査交付金. 伊勢平野に関する地下構造調査に関する調査成果報告書. <http://www.hp1039.jishin.go.jp/kozo/Mie8frm.htm> (確認日 2018 年 4 月 20 日)
- 三重県 (2004) 平成 16 年度地震関係基礎調査交付金. 伊勢平野に関する地下構造調査に関する調査成果報告書. <http://www.hp1039.jishin.go.jp/kozo/Mie9frm.htm> (確認日 2018 年 4 月 20 日)
- 中田 高・今泉俊文 (2002) 活断層詳細デジタルマップ. 東京大学出版会, DVD-ROM 2 枚・60p. 付図 1 葉.
- 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. <https://gbank.gsj.jp/seamless/> (確認日 2018 年 4 月 20 日)
- 佐藤比呂志・伊藤 潔・平田 直・岩崎貴哉・額継一起・伊藤谷生・笠原敬司 (2004) 近畿圏大深度弾性波探査 (大阪-鈴鹿線), 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 16 年度成果報告書, 113-121.
- 鈴木康弘・千田 昇・渡辺満久 (2010a) 1:25,000 都市圏活断層図「四日市第 2 版」. 国土地理院技術資料 D1-No.542.
- 鈴木康弘・八木浩司・岡田篤正・中田 高 (2010b) 1:25,000 都市圏活断層図「津第 2 版」. 国土地理院技術資料 D1-No.542.
- Wessel, P. and Smith, W. H. F. (1998) New, improved version of generic mapping tools released. *EOS Trans. American Geophysical Union*, **79**, 579.
- 吉田史郎 (1983) 四日市地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 81p.
- 吉田史郎 (1986) 津東部地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 72p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2004) 布引山地東縁断層帯の長期評価について, 27p.