

令和4年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告

Annual Report of Investigations on Geology and Active Faults
in the Coastal Zone of Japan (FY2022)

板木拓也（編）

ITAKI Takuya (Editor)

令和5年12月
December 2023

緒 言

地質情報研究部門 沿岸域プロジェクトリーダー

板木拓也

産業技術総合研究所地質調査総合センターでは、平成19年の3月に発生した能登半島地震と7月に発生した中越沖地震が海岸線に近い浅海の沿岸部で発生したことを重視し、沿岸域の地下地質情報を整備する目的の「沿岸域の地質・活断層調査（沿岸域プロジェクト）」を平成20年より開始しました。沿岸域には人口や産業インフラが集中し、港湾の埋立地などが位置しています。また、大型風力発電所や石油備蓄施設、工場などの大型施設の立地も可能な地域でもあります。沿岸域は平野や浅海であることが多いので、産業立地や生活圏としての利便性がよいという一方で、海岸や河川域が近いことで、地震や大雨などの自然災害を強く受けます。そのため、活断層や地震、台風などによる自然災害を軽減するという目的での、私たちの生活に密接した平野沿岸域における地質情報の整備は重要なものといえます。また、近年では公害物質やマイクロプラスチックなど、人為起源の汚染の影響も懸念されており、その重要性は多義に渡るものとなっています。

沿岸域プロジェクトではこれまでに、能登半島北部、新潟、福岡、石狩低地帯南部、駿河湾北部、房総半島東部、相模湾、伊勢湾・三河湾と調査を進め、陸域から海域へと分布する地層や活構造を明らかにするという成果を上げてきました。成果については、海陸シームレス地質情報集という地質図と研究論文からなる情報集を随時公開しています。さらに令和2年度からは紀伊水道沿岸域の地質調査が開始されました。

本報告は、令和4年度に紀伊水道沿岸域で実施された主に陸域調査・研究活動について3編の原稿を収録したものです。田辺・石原は、和歌山平野における838本のボーリング柱状図を利用して、最終氷期最盛期までに形成された開析谷の形状を明らかにしました。羽田ほかは、徳島県鳴門市の海岸で発見された大阪層群相当層について層相観察と花粉化石分析、大型植物分析を実施し、堆積年代の推定を試みました。木下・伊藤は、兵庫県南あわじ市の2測線で実施したS波・P波反射法探査、表面波探査、微動観測と2カ所で実施したサイスミックコーン貫入試験の結果を報告しています。

海域調査として、紀伊水道におけるブーマー音源による反射法音波探査（有元）と採泥調査（天野ほか）、採泥調査で採取された海洋プラスチックに関する報告（天野ほか、小玉ほか）、陸域調査として、徳島平野と淡路島で掘削された第四系ボーリングの記載（羽田ほか、中谷ほか）が掲載されています。

本報告は速報として調査終了直後に作成されたため、データの解析やそれに基づく解釈は十分とは言えませんが、本調査の現状を示し、沿岸域の地質調査の進展と社会への研究成果の迅速な還元を進めるものです。ご高覧いただき、調査・研究内容や成果についてご理解いただくとともに、忌憚のないご意見を賜りたくお願い申し上げます。

令和4年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告
目次

緒言・・・板木拓也

和歌山平野における沖積層の基盤地形 田辺 晋・石原与四郎	1
徳島県鳴門市里浦町の海岸に分布する大阪層群相当層の堆積年代 羽田裕貴・中谷是崇・小松原 琢・阿部朋弥・水野清秀・中島 礼 西山賢一・中尾賢一	9
兵庫県南あわじ市における浅部地下構造調査の概要 木下佐和子・伊藤 忍	21

Annual Report of Investigations of Geology and Active Faults in the Coastal Zone of Japan (FY2022)

Contents

Preface ITAKI Takuya

Basal topography of the post-LGM incised valley fill beneath the Wakayama Plain
TANABE Susumu and ISHIHARA Yoshiro 1

Depositional age of the Osaka Group equivalent deposit along the northern coast
in Satoura Town, Naruto City, Tokushima Prefecture
HANEDA Yuki, NAKATANI Koretake, KOMATSUBARA Taku, ABE Tomoya, MIZUNO Kiyohide,
NAKASHIMA Rei, NISHIYAMA Ken-ichi and NAKAO Ken-ichi 9

Shallow structure surveys at Minami-Awaji City in Hyogo Prefecture
KINOSHITA Sawako and ITO Shinobu 21

和歌山平野における沖積層の基盤地形 Basal topography of the post-LGM incised valley fill beneath the Wakayama Plain

田辺 晋^{1*}・石原与四郎²
TANABE Susumu^{1*} and ISHIHARA Yoshiro²

Abstract: Wakayama Plain is situated on a sedimentary basin along the Median Tectonic Line. Two studies have been performed on this coastal plain reconstructing the incise-valley topography formed until the Last Glacial Maximum (LGM). The reconstructed valley topographies are obviously different among the two studies. In this study, we used 838 borehole logs, of which number has been increased during the past 40 years owing to the urban development, to reconstruct the valley topography in detail. The Kinokawa Valley formed until the LGM distribute on the north of the present Kinokawa River, and the valley deepens to 44 m below the present sea level in maximum. The valley topography is broad shaped similar to that observed in the Nobi Plain. No incised valley was identified along the Wakagawa River as it suggested by the previous study.

Keywords:Wakayama Plain, Kinokawa River, Basal Gravel bed, borehole log, voxel model, incised valley

要 旨

和歌山平野は中央構造線に沿って分布する堆積盆である。この堆積盆の最上部を構成する沖積層の基盤地形に関する研究は、過去に2例あり、復元された基盤地形は研究者によって大きく異なる。本研究では、直近の40年間の都市開発に伴って、その数が大幅に増えた838本のボーリング柱状図を利用して、最終氷期最盛期までに形成された開析谷の形状を明らかにした。最終氷期最盛期にかけて形成された紀の川開析谷は、現在の紀の川の北部に分布し、その最大深度は標高-44 mを示す。また、開析谷の谷地形は、濃尾平野におけるそれと同様に、なだらかな形状を有する。なお、これまでの研究によってその存在が示された和歌川沿いの開析谷は認められなかった。

1. はじめに

和歌山平野を、標高18 mの船戸^{ふなと}を頂点とした、紀の川に沿って西に広がる沿岸平野と定義した場合、その面積は104 km²になる(第1図)。最終氷期最盛期以降に形成された沖積低地の面積は、この値から埋立て地や扇状地を除いた72 km²となる。

紀の川の平均流量は59.3 m³/s、最大流量は7,800 m³/sである(国土交通省河川局, 2009)。和歌山平野の

沿岸における有義波高は0.4 m、平均潮差は0.9 mであり、Davis and Hayes (1984)の区分に基づくと、波浪の卓越した潮汐・波浪混合型の沿岸環境に分類される。

和歌山平野の地形は、紀の川の上流から下流にかけて、扇状地、氾濫原、浜堤列に大分される(額田, 1988)。なかでも浜堤列は、現在の海岸に沿って4列発達する(趙ほか, 2021)。完新世において和歌山平野は、海進期のバリアーラグーンシステムもしくはエスチュアリーシステムから現在のデルタシステムへと変遷したと考えられている(Saito *et al.*, 2016)。

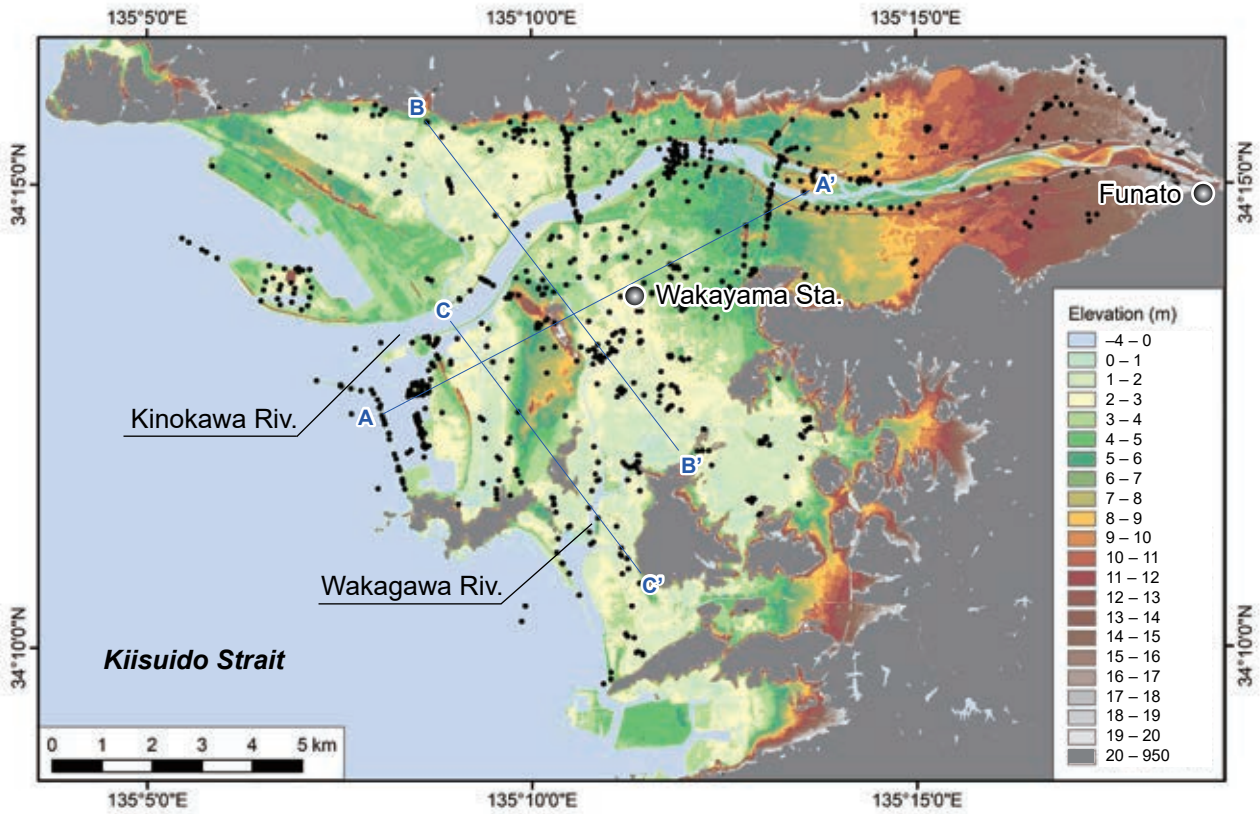
和歌山平野は、中央構造線に沿って分布する堆積盆に立地しており、その北部には和泉層群の砂岩泥岩、南部には三波川帯の結晶片岩が広く分布する(宮田ほか, 1993; 水野ほか, 1999; 牧本ほか, 2004)。当該平野の地下には、菖蒲谷層群^{しやうぶたに}と呼ばれる層厚が800 mを超える未固結堆積物が分布しており、その形成年代は3.6 Maまで遡る可能性がある(水野ほか, 1999)。

和歌山平野における沖積層の基盤地形については、山川(1986)とKG-NET・関西圏地盤研究会(2011)による研究がある。山川(1986)は、現在の紀の川と和歌川(第1図)に沿った、最終氷期最盛期にかけて形成された2つの開析谷の存在を示した。これらの開析谷の深度は標高-40 mに及ぶ。しかし、KG-NET・関西圏地盤研究会(2011)は、和歌川沿いの標高-20 m以深に分布する泥層が沖積層よりも古い更新統である

*Corresponding author: TANABE, S., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. E-mail: s.tanabe@aist.go.jp

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)

2 福岡大学 理学部 地球圏科学科 (Fukuoka University, Faculty of Science, Department of Earth System Science)



第1図 調査地点の位置図

黒い点は本研究で用いたボーリング柱状図の地点を示す。デジタル標高モデルは国土地理院（2023）を使用した。

Fig. 1 Location map of this study.

Black dots indicate position of borehole logs used in this study. Digital elevation model is after Geospatial Information Authority (2023).

ことを解明し、和歌川沿いの開析谷の存在を否定した。KG-NET・関西圏地盤研究会（2011）は、沖積層の基底深度の地点分布を図示しているが、開析谷の形状は復元していない。そこで、本研究では、山川（1986）以降の都市開発に伴い、大幅にその数が増加したボーリング柱状図を利用することで、開析谷の形状、すなわち沖積層の基盤地形の復元を試みる。

2. 研究方法

本研究では、KG-NET・関西圏地盤情報協議会と関西圏地盤DB運営機構の「関西圏地盤情報データベース2022年度ダウンロード版」に収録されている700本、「国土地盤情報検索サイト（Kunijiban）」（土木研究所，2022）にて公開されている138本のボーリング柱状図を利用した（第1図）。

合計838本のボーリング柱状図の電子ファイルは、XML形式に統一し、石原ほか（2013）の補間方法を用いて、250 m×250 m×1 mのボクセルモデルを作成した。

このボクセルモデルからは岩相とN値の断面図を作成した。

日下（1980）やKG-NET・関西圏地盤研究会（2011）、趙ほか（2021）などによると、紀の川に沿って分布する沖積層の基底には礫層が分布する。これは日本列島における一般的な沖積層基底礫層（Basal Gravel bed : BG）に対比される（井関，1975）。

本研究では、ボクセルモデルから作成した地質断面図においてBGを認定し、それを面的に広げることで、沖積層の基盤地形を明らかにした。なお、和歌山平野ではBGを貫くボーリング柱状図がほとんど存在しないことから、便宜上、BGの上面を沖積層の基底としている。また、和歌川に沿った地域ではBGが存在せず、海洋酸素同位体ステージ（Marine Isotope Stage: MIS）5eに相当する海成泥層を沖積層の海成泥層が覆う（KG-NET・関西圏地盤研究会，2011）。MIS 5eの海成泥層はN値が3～5で、沖積層の海成泥層のN値がほぼ0であるのと比べ、若干固結している。BGが分布しない地域では、このようなN値の違いに基づいて、沖積層の

基底を認定した。

本研究では、838本のボーリング柱状図から沖積層の基底深度を読み取り、読み取った深度をArcGIS 10.8のSpatial Analystツールの内挿(クリギング)を用いて補間し、沖積層の基盤地形の面的な分布を描写した。

3. 地質断面図の解釈

本研究では、紀の川を縦断する1つの断面図とそれを横断する2つの断面図を作成した(第2図)。以下に各断面図の岩相とN値の解釈を記す。

AA'断面は紀の川に沿った北東から南西方向の縦断面である(第1図)。この断面図における岩相とN値は、下位より礫層(N値40以上)、泥層(N値5以下)、砂泥層(N値5~10)、砂層(N値10~20)、礫層(N値20~30)から構成される(第2図)。泥層及び砂泥層は貝化石を含み、N値が極めて小さいことから、沖積層の海成泥層と解釈される(KG-NET・関西圏地盤研究会, 2011; 趙ほか, 2021)。この海成泥層の下位に分布する礫層はBGと解釈される(井関, 1975)。

BB'断面は紀の川を横断する北西・南東方向の断面図である(第1図)。この断面図では礫層(N値40以上)に砂泥層(N値5~10)、砂層(N値10~20)、泥層(N値5以下)が累重する(第2図)。このうち、砂泥層についてはAA'断面図の沖積層の海成泥層に対比される。従って、この海成泥層の下位の礫層がBGと解釈される。なお、本断面図の南東端ではBGが欠如し、N値5~10の泥層をN値5以下の泥層が覆う。前者についてはMIS 5eの海成泥層、後者については沖積層の海成泥層に対比される(KG-NET・関西圏地盤研究会, 2011)。本断面図では、BGを含めた沖積層が北西方向に傾動するように見える(第2図)。BGに累重する砂泥層の上面深度は、本断面図の南東部において標高-18m、北西部において-22mである。BGにオンラップすると考えられるこの砂泥層の形成年代を1万年前前後とみなし、形成時の古水深が等しかったと仮定すると、その分布深度からは、約0.4m/kyrの変位速度が計算できる。

CC'断面は紀の川の南部における北西・南東方向の横断面図である(第1図)。この断面図では礫層(N値40以上)の上位に泥層(N値5以下)と砂泥層(N値5~10)、砂層(N値10~20)が累重する(第2図)。このうち、泥層と砂泥層が沖積層の海成泥層と対比され、その下位の礫層がBGに相当する。和歌川に沿った地域では、断面図BB'と同様に、MIS 5eの海成泥層(N値5~10)に沖積層の海成泥層(N値5以下)が覆う(KG-NET・関西圏地盤研究会, 2011)。本断面図においても、沖積層が北西方向に傾動するように見える。

4. 沖積層の基盤地形

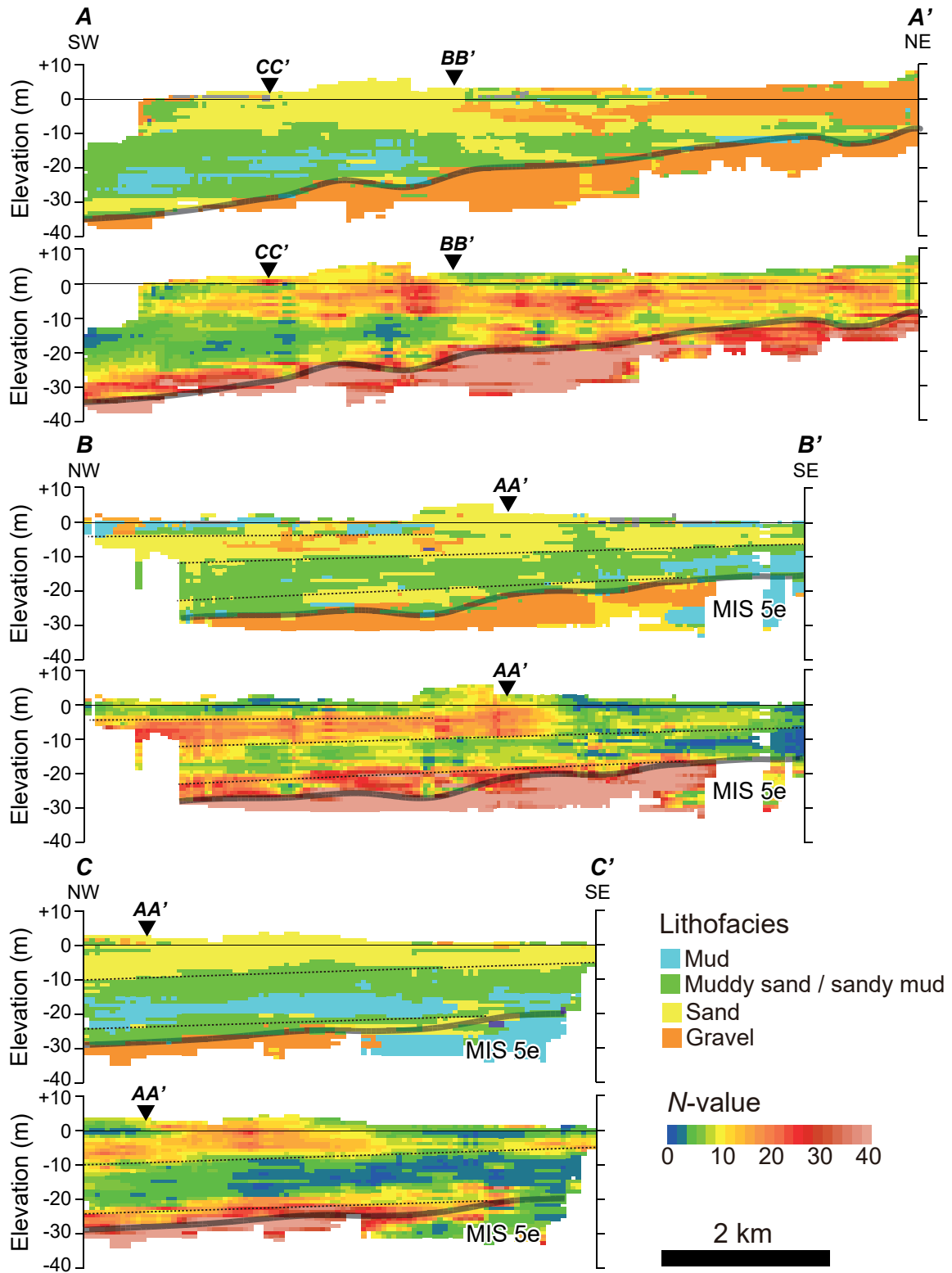
第3図は、和歌山平野における最終氷期最盛期にかけて形成された沖積層の基盤地形を示す。この図によると、開析谷の谷筋は現在の紀の川の北部に位置し、その最深部は沿岸の埋立て地において標高-44mに及ぶ。この開析谷は関東平野中央部のそのように明瞭な谷壁を有さず、濃尾平野のそれと類似した、なだらかな谷地形を示す(羽佐田, 2015; 田辺, 2021; 牧野内ほか, 2022)。このような谷地形の形状の違いは、関東平野中央部が相対的に隆起、和歌山平野と濃尾平野が相対的に沈降することによると考えられる。和歌山平野では、相対的な沈降の結果、MIS 3の埋没段丘礫層とBGが癒着し、なだらかな谷地形が形成された可能性がある。なお、このような沈降は第2図のBB'断面とCC'断面において見られる傾動と関連すると考えられる。

第4図は、沖積層の基底にBGが確認された地点とそれが確認されなかった地点を示す。紀の川に沿った地域には広くBGが確認される。しかし、和歌川沿いや和田盆地ではBGが存在せず、MIS 5eの海成泥層に沖積層が覆う。これらの地域にBGが存在しないのは、開析谷の谷筋から大きく離れた基盤の高まりに位置し、最終氷期最盛期にかけて礫質網状河川が流下しなかったためと考えられる。なお、和歌山平野の北縁にもBGが存在しない地域がある(第4図)。当該地域では、和泉層群を沖積層が覆い、断層崖に沿った急斜面のため、礫が堆積しなかったと考えられる。

5. まとめ

本研究では、838本のボーリング柱状図を用いて、最終氷期最盛期にかけて形成された沖積層の基盤地形を明らかにした。最終氷期最盛期における紀の川開析谷は、現在の紀の川の北部に位置した。その形状は、濃尾平野と同様になだらかな谷地形を有し、最大深度は標高-44mに及ぶ。和歌川に沿った地域には、BGが分布せず、MIS 5eの海成泥層に沖積層の海成泥層が覆う。本研究で復元した沖積層の基盤地形は、山川(1986)のものとは大きく異なるが、KG-NET・関西圏地盤研究会(2011)のものとは概ね調和的である。

謝辞：和歌山市文化振興課の大木 要氏には、ボーリング柱状図の情報収集に際してお世話になりました。記して謝意を表します。



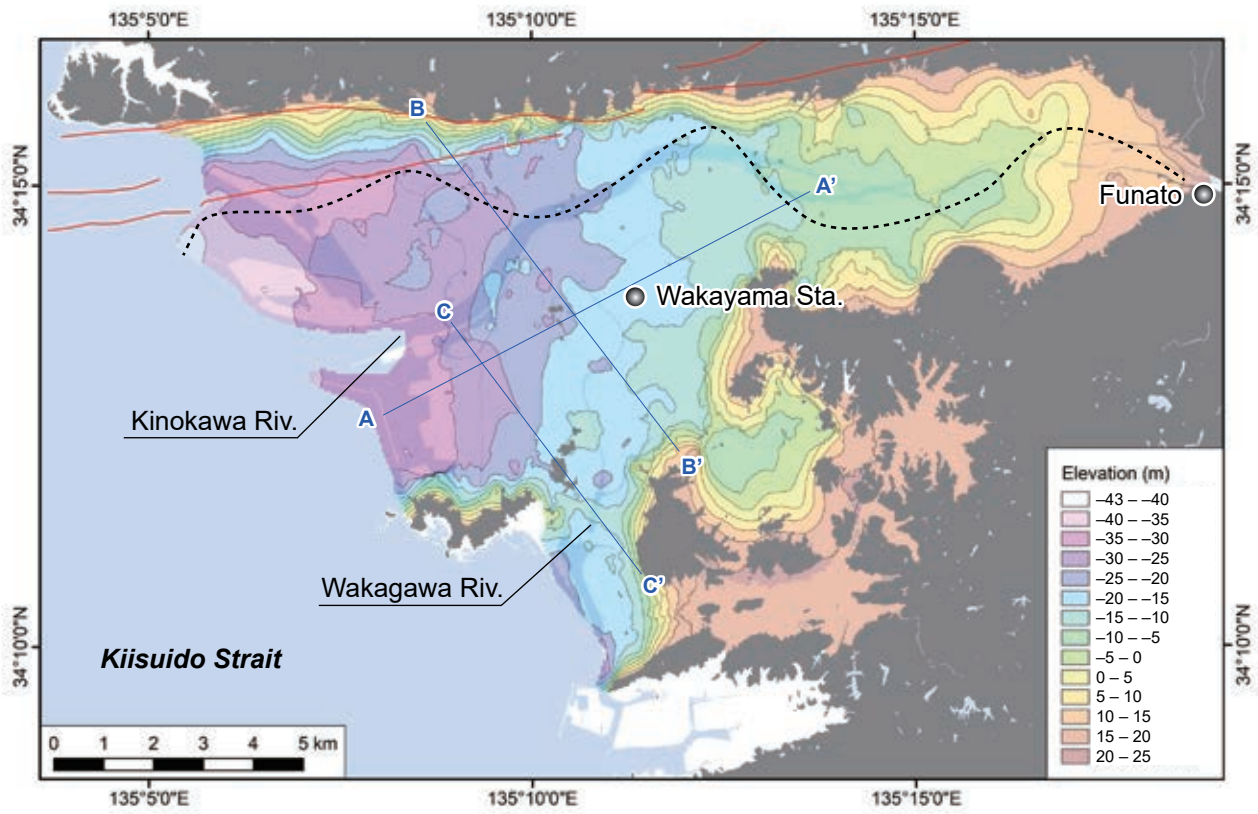
第2図 岩相と N 値の断面図

上図は岩相, 下図は N 値の断面図を示す. 灰色の線は沖積層の基底を示す. MIS 5e は MIS 5e の海成泥層の分布を示す. 黒い点線は傾動の可能性のある岩相境界を示す. 測線の位置は第1図を参照のこと.

Fig. 2 Lithology and N -value cross sections.

Upper and lower panels show lithology and N -value cross sections, respectively. Gray line indicates the base of the post-LGM sediments. MIS 5e suggests distribution of the MIS 5e marine mud. Black dotted lines show lithological boundaries, which might suggest tilting. See Fig. 1 for location.

和歌山平野における沖積層の基盤地形

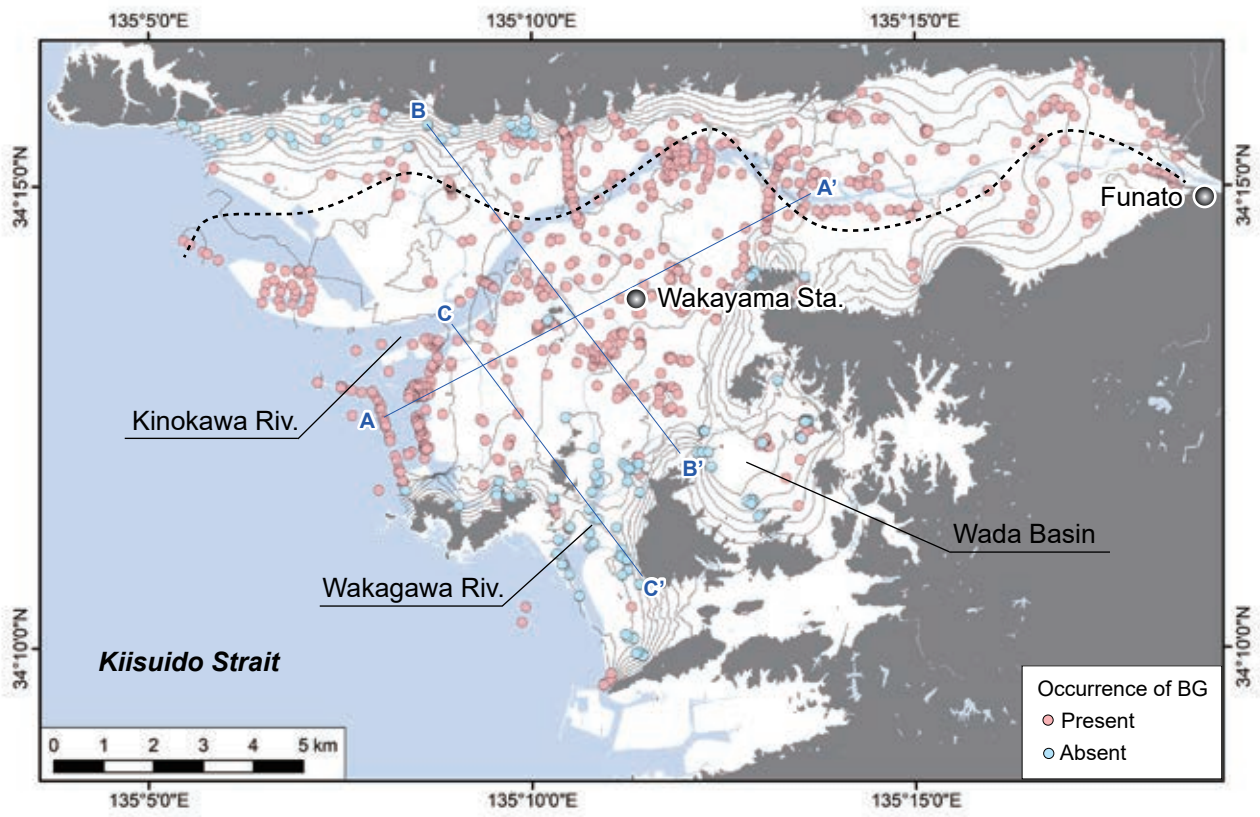


第3図 沖積層の基盤地形

黒い点線は最終氷期最盛期にかけて形成された紀の川開析谷の谷筋を示す。コンターの間隔は5 m。赤い線は根来活動セグメントと紀伊水道活動セグメントの分布を示す（産総研地質調査総合センター，2023）。

Fig. 3 Basal topography of the post-LGM incised valley fill.

Black dotted line indicates axis of the Kinokawa Valley formed until the LGM. Intervals of the counters are 5 m. Red lines show the Negoro and Kiisuido active fault segments (Geological Survey of Japan, AIST, 2023).



第4図 BGの有無

黒い点線は最終氷期最盛期にかけて形成された紀の川開析谷の谷筋を示す。コンターの間隔は5 m。

Fig. 4 Occurrence of the BG.

Black dotted line indicates axis of the Kinokawa Valley formed until the LGM. Intervals of the counters are 5 m.

文 献

- 趙 哲済・藤藪勝則・菊井佳弥 (2021) 和歌山平野の海岸砂丘を巡る, 眺める. 地球科学, **75**, 173–184.
- Davis Jr., R.A. and Hayes, M.O. (1984) What is a wave-dominated coast? *Marine Geology*, **60**, 313–329.
- 土木研究所 (2022) 国土地盤情報検索サイト (Kunijiban). <http://www.kunijiban.pwri.go.jp> (閲覧日: 2022年1月25日).
- 羽佐田絃大 (2015) GISを用いたボーリングデータ解析に基づく濃尾平野の3次元構造と堆積土砂量の復原. 地理学評論, **88**, 118–137.
- 井関弘太郎 (1975) 沖積層基底礫層について. 地学雑誌, **84**, 1–18.
- 石原与四郎・宮崎友紀・江藤稚佳子・福岡詩織・木村克己 (2013) 東京港湾地域のボーリング情報を用いた浅層3次元地質・地盤モデル. 地質学雑誌, **119**, 554–566.
- KG-NET・関西圏地盤研究会 (2011) 新関西地盤—和歌山平野—. 208 p.
- 国土地理院 (2023) 基盤地図情報数値標高モデル. <https://www.gsi.go.jp/kiban/> (閲覧日: 2023年6月30日)
- 国土交通省河川局 (2009) 流量年表. 日本河川協会.
- 日下雅義 (1980) 歴史時代の地形環境. 古今書院, 392 p.
- 牧本 博・宮田隆夫・水野清秀・寒川 旭 (2004) 5万分の1地質図幅「粉河」. 産総研地質調査総合センター.
- 牧野内猛・壇原 徹・堀 和明・野々垣徹 (2022) 濃尾平野臨海部における沖積層・熱田層の広域テフラ層序と派生した問題. 瑞浪市化石博物館研究報告, no. 49, 145–165.
- 宮田隆夫・牧本 博・寒川 旭・市川浩一郎 (1993) 5万分の1地質図幅「和歌山及び尾崎」. 地質調査所.
- 水野清秀・佃 栄吉・高橋 誠・百原 新・内山 高 (1999) 和歌山平野根来地区深層ボーリング調査から明らかになった平野地下の地質. 地質学雑誌, **105**, 235–238.
- 額田雅裕 (1988) 第2章 和泉山脈と和歌山平野. 和歌山地理, no. 8, 11–24.
- Saito, Y., Ikehara, K. and Tamura, T. (2016) Coastal geology and oceanography. In: Moreno, T., Wallis, S., Kojima, T. and Gibbons, W., eds., *The Geology of Japan*. Geological Society, London, 409–430.
- 産総研地質調査総合センター (2023) 活断層データベース. <https://gbank.gsj.jp/activefault/> (閲覧日: 2023年7月19日)
- 田辺 晋 (2021) 関東平野中央部における沖積層の基盤地形. 地質学雑誌, **127**, 635–648.
- 山川雅裕 (1986) 1.8万年前頃の地形環境復原図. 和歌山市立博物館紀要, no. 1, 62–64.

徳島県鳴門市里浦町の海岸に分布する大阪層群相当層の堆積年代 Depositional age of the Osaka Group equivalent deposit along the northern coast in Satoura Town, Naruto City, Tokushima Prefecture

羽田裕貴^{1*}・中谷是崇¹・小松原 琢¹・阿部朋弥¹・水野清秀¹・中島 礼¹
西山賢一²・中尾賢一³

HANEDA Yuki^{1*}, NAKATANI Koretaka¹, KOMATSUBARA Taku¹, Abe Tomoya¹,
MIZUNO Kiyohide¹, NAKASHIMA Rei¹, NISHIYAMA Ken-ichi² and NAKAO Ken-ichi³

Abstract: In this paper, we conducted lithological observation and fossil pollen and plant macrofossil analyses for the Osaka Group equivalent deposit, distributed along the northern coast in Satoura Town, Naruto City, Tokushima Prefecture, to constrain its depositional age. The stratum mainly consists of mud-sand beds with sandy gravel, organic mud and humus beds, and lacks distinct sedimentary structures, which allows us to determine the stratum up and down. The fossil pollen analysis observed *Cathaya*, *Keteleeria*, *Cunninghamia*, *Glyptostrobus*, *Metasequoia*, *Carya*, *Hemiptelea*, *Liquidambar*, and *Nyssa*, which are now extinct in Japan and accounted for 2.6%–44.5% of the total count of arboreal pollen. Additionally, a humus bed yielded *Picea koribai*. Based on the stratigraphic distribution of pollen fossils and plant macrofossils in the Osaka Group, the Osaka Group equivalent deposit is correlated to the Sennan Formation and/or Atago Formation, and thus its age is constrained between the Piacenzian (Late Pliocene)–Gelasian (Early Pleistocene).

Keywords: Pliocene, Pleistocene, Osaka Group, Pollen fossil, Plant macrofossil

要 旨

本稿では、1998年に徳島県鳴門市里浦町の海岸で発見された大阪層群相当層について層相観察と花粉化石分析、大型植物化石分析を実施し、堆積年代の推定を試みた。地層は、泥層～砂層を主体として、砂礫層、有機質泥層、腐植質層を挟むが、明瞭な堆積構造は見られず、地層の上下判定は困難である。花粉化石分析の結果、現在の日本列島には自生していない消滅属である *Cathaya*, *Keteleeria*, *Cunninghamia*, *Glyptostrobus*, *Metasequoia*, *Carya*, *Hemiptelea*, *Liquidambar*, *Nyssa* が木本花粉化石の総数の2.6%～44.5%を占める。また、腐植質層から *Picea koribai* の葉が産出した。大阪層群の花粉化石層序及び大型植物化石層序に基づく、里浦の大阪層群相当層は泉南地域の泉南層や淡路島南部の愛宕層に対比され、その堆積年代はピアセンジアン期（後期鮮新世）～ジェラシアン期（前期更新世）である。

1. はじめに

1998年に、徳島県鳴門市里浦町^{さとうら}里浦北東端^{おおいそさき}の大磯埼灯台北の海岸から固結度の低い泥質の地層が発見され

た（中尾ほか、2022；第1図）。中尾ほか（2022）は、地層の固結度と層相が長崎県島原半島南部に分布する陸成の下部更新統である口之津層群大屋層に類似していること、大阪層群のブナーコナラ超帯（本郷、2009）に対比される花粉化石の産出から、この地層の堆積年代を前期更新世末～中期更新世前半と推定し、「里浦の大阪層群相当層」と呼んだ。しかし、その堆積年代は一層準からの花粉化石群集に基づいており、分析層準を増やしてより詳細な検討を行う必要がある（中尾ほか、2022）。

そこで本研究では、里浦北東端の大磯埼灯台北の海岸にて野外調査を実施し、「里浦の大阪層群相当層」を可能な限り露出させ、ルートマップの作成と花粉化石、大型植物化石、珪藻化石及び火山灰分析用の試料採取を実施した。珪藻化石と火山灰層を見出すことはできなかったが、複数層準で有意な数の花粉化石と一つの層準で大型植物化石を得ることができた。そこで、得られた花粉化石群集を西日本に分布する鮮新～更新統の花粉化石及び大型植物化石群集と比較することで、「里浦の大阪層群相当層」の堆積年代制約を試みた。

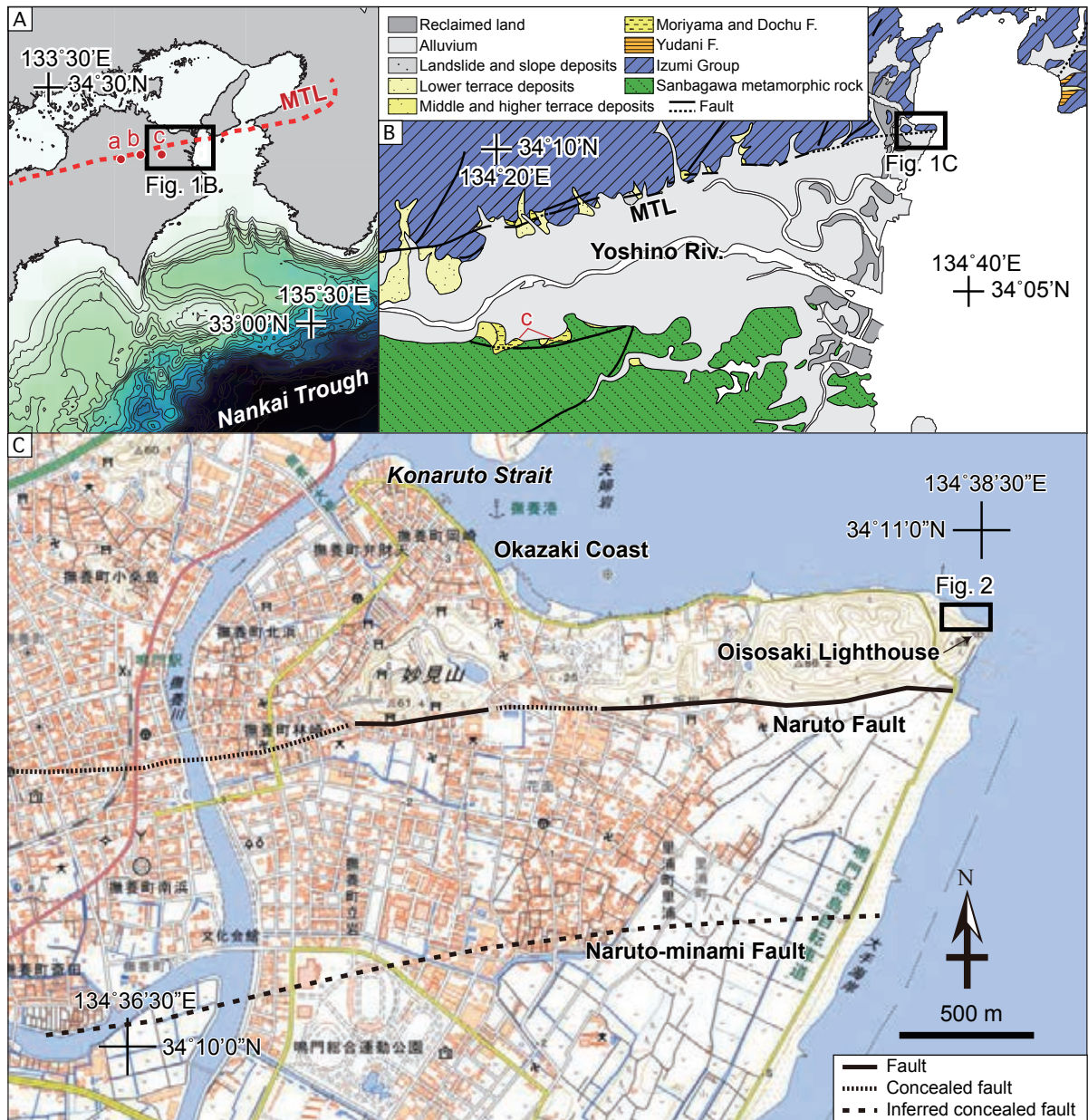
なお、本調査地域は瀬戸内海国立公園に含まれるため、地質調査にあたっては環境省中国四国地方環境事務所四国事務所より適切な許可を得ている。

*Corresponding author: Haneda, Y., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. E-mail: y.haneda@aist.go.jp

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)

2 徳島大学 (Tokushima University)

3 徳島県立博物館 (Tokushima Prefectural Museum)



第1図 調査地点の位置と周辺の地質図。A：調査地域周辺の地図と海底地形。海域の等水深線は水深200 m～4,800 mまでを200 mおきに示した。a: 徳島県美馬市の土柱層, b: 徳島県阿波市の土柱層, c: 徳島県吉野川市の森山層。B：徳島平野周辺の地質分布図。20万分の1日本シームレス地質図(産総研地質調査総合センター, 2018)に基づいて作成。C：調査地点周辺の地形図。鳴門断層及び鳴門南断層の位置はそれぞれ水野ほか(1993), 岡田ほか(2014)に基づく。電子地形図25,000(国土地理院)に加筆。MTL: 中央構造線断層帯。

Fig. 1 Locality of the studied site and geological map around the Tokushima Plain. A: Map and bathymetric chart around the Tokushima Plain. a: Dochu Formation in Mima City, Tokushima Prefecture, b: Dochu Formation in Awa City, Tokushima Prefecture, c: Moriama Formation in Yoshinogawa City, Tokushima Prefecture. B: Geological map around the Tokushima Plain based on the Seamless Digital Geological Map of Japan, 1: 200,000 (Geological Survey of Japan, AIST, 2018). C: Topographical map around the studied site, modified from Topographical map of 1:25,000 by Geospatial Information Authority of Japan. Localities of the Naruto and Naruto-minami faults are from Mizuno *et al.* (1993) and Okada *et al.* (2014), respectively. MTL: Median Tectonic Line.

2. 調査及び分析方法

2.1 調査地と露頭の概要

露頭が発見された徳島県鳴門市里浦町は徳島平野沿岸部の北縁に位置し、北側は小鳴門海峡こなるとに面する（第1図）。里浦町の大部分は沖積低地が占め、北側には和泉層群によって構成される丘陵が分布する。調査地周辺の和泉層群はNW-SEの走向を示し、NE-SW走向でNW傾斜の断層が発達する（平山・田中, 1952；牧本ほか, 1995）。和泉層群によって構成される丘陵の南縁には中央構造線断層帯を構成する鳴門断層がほぼEW方向に走る（第1C図；水野ほか, 1993）。また、鳴門断層の約800m南には、ほぼ平行に鳴門南断層が走る（第1C図；岡田ほか, 2014）。なお、本研究の調査地の西に隣接する小鳴門海峡沿いにおいては、ボーリング資料を用いた地下地質の検討により、深度約-40m付近からAT火山灰層が見いだされており、その下位には、更新統と考えられる粘土・砂・礫の互層が、基盤の和泉層群を覆って堆積している（西山ほか, 2017；西山, 2022）。

本研究では、大磯埼灯台北側の約200mの範囲の礫浜で調査を行った（第1C図；第2図）。礫浜とその背後の海食崖には、主に和泉層群の硬質砂岩及び硬質泥岩が分布する。調査地周辺の和泉層群はおおむねNW-SEからWNW-ESE走向でNEないしNNE方向に60°～80°傾斜する。大阪層群相当層が露出する地点より約40m東の海食崖に露出する和泉層群には、NE-SW走向・NW傾斜の断層が発達するほか、NW-SE走向やN-S走向の断層も認められる。海食崖の和泉層群中に認められる断層の破碎物質は固結粘土状（カタクレーサイト：第3A図）を呈するが、大阪層群相当層の分布する波食棚上では一部が未固結でより強度に破碎されたせん断帯（第3B図）が認められる。このせん断帯は、幅1m程度の、弱固結で細粒（肉眼で識別できる岩片の割合の低い）のガウジと多数のせん断面で破碎されているものの固結度の高い角礫（第3B図）が混在し、全体としてN70°W走向の帯状をなす。しかし、断層の連続性やその属性については不明である。

大阪層群相当層は、崩積土で被覆された海食崖の正面に位置する（第2図）。地層は海浜の巨礫で覆われることから露出に乏しく、満潮時には海面下に水没するため、その分布範囲は明らかではない。そこで、干潮時に地層を覆う巨礫を可能な限り取り除き、大阪層群相当層を露出させた。その結果、WNW-ESE方向に少なくとも約30mの範囲で、大阪層群相当層を観察することができた（第4図；第5図）。地層は、泥層～砂層を主体として砂礫層、有機質泥層、腐植質層を挟む。泥質層はオリーブ灰色を呈する。観察した区間では、

地層中に明瞭な堆積構造は見られず、地層の上下を判定することはできなかった。各地層は、NE-SWからENE-WSWの走向をもち、SEないしNW方向に60°～87°で傾斜する。一方で、不規則に湾曲した層理面も認められる。大阪層群相当層の構造がSE及びNWの急傾斜を示すこと、及び層理面が初生的堆積構造とは考え難い方向に不規則に湾曲することは、大阪層群相当層も断層によって著しく変形していることを示す。

2.2 花粉化石分析

泥質層及び腐植質層を対象に、17点（試料番号P0～16）から花粉化石分析用の試料を採取した（第4図）。花粉化石分析は、有限会社アルプス調査所に依頼した。

花粉・孢子化石の分離と観察は、以下の手順で行った。水酸化カリウム処理により試料を泥化・分散させる。1μm振動篩で粘土鉱物を分離・除去する。大型時計皿処理により植物質を濃集する。フッ化水素酸処理により珪酸塩鉱物を分解除去する。重液（塩化亜鉛、比重約1.9）を用いて比重分離し、植物質を濃集する。酢酸処理を行った後、アセトリシス処理（濃硫酸：無水酢酸＝1:9の混合液を加え、1分間湯煎）によりセルロースを分解・除去する。酢酸処理及び水洗を行った後、分離試料をグリセリンジェリーで封入する。封入材の乾燥を防ぐため、カバーガラスの周囲をネイルエナメルで密封する。花粉化石の形態観察及び同定は、生物顕微鏡600倍を用いて行った。花粉化石の計数は同定された花粉・孢子化石のうち、完全形または破片の場合は半分以上残っていたものを対象とした。木本植物の花粉化石総数が1試料につき200粒を越えるまで計数した。また、この過程で観察される草本植物の花粉化石及びシダ・コケ植物の孢子化石も集計した。

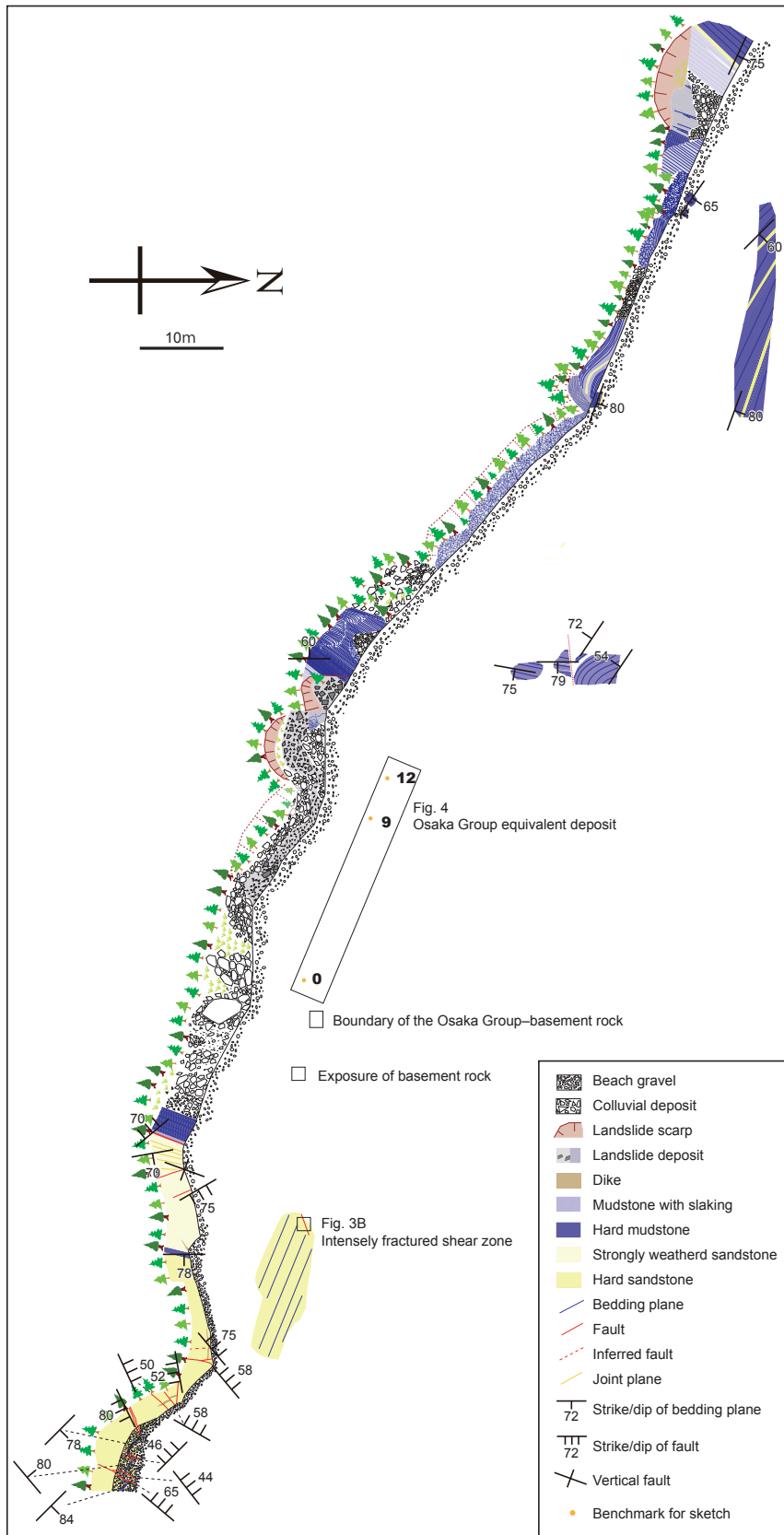
2.3 大型植物化石

花粉分析用試料P5を採取した腐植質層から（第4図；第5A図）、大型植物化石用の試料を採取した。産出した化石の鑑定は、千葉大学の百原 新博士に依頼した。

3. 結果・議論

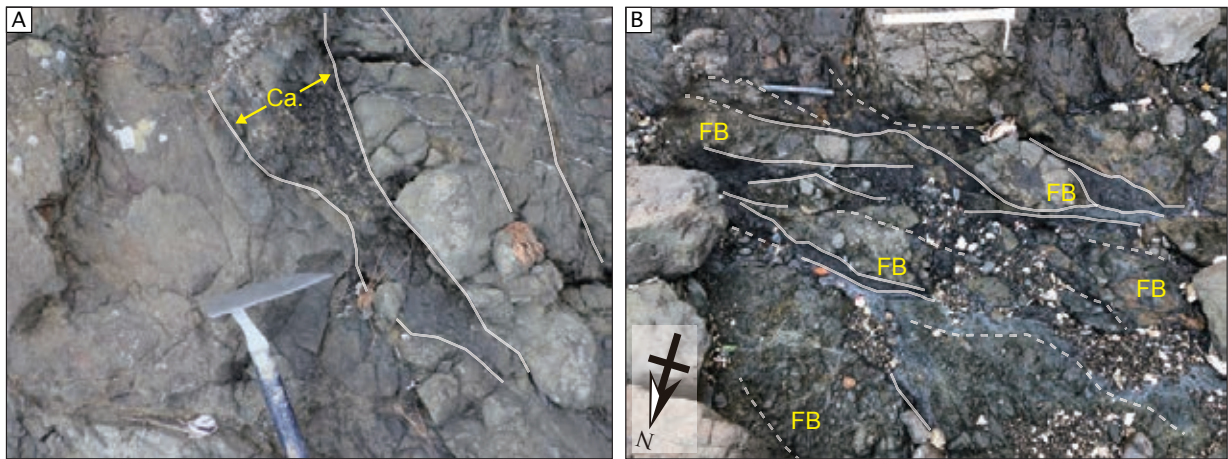
3.1 花粉化石群集

花粉化石分析の結果を第1表に示す。花粉・孢子化石の産出数は19～832粒であり、17試料のうち、P3～P5、P9～P14の9試料から200個体以上の木本花粉を同定することができた。200粒以上の木本花粉を同定することができた試料では、花粉・孢子化石の総数に対して、木本花粉が35.8%～73.9%、草本花粉が4.3%～47.3%、シダ・コケが4.0%～55.0%、同定不明・不能花粉が4.6%～21.4%含まれる。



第 2 図 調査地点周辺のルートマップ。

Fig. 2 Route map around the studied site.



第3図 和泉層群に発達する断層の写真。A: 海食崖の和泉層群の砂岩に認められる断層。断層の破砕物質は固結粘土状（カタクレサイト：Ca.）を呈する。ねじり鎌の刃渡は15 cm。B: 波食棚上の和泉層群に認められる強度に破碎されたせん断帯。固結度が弱く細粒の黒色ガウジと、固結度が高い角礫（断層角礫：FB）が混在する。スケールは20 cm。
 Fig. 3 Close-up photo images of faults in the Izumi Group. A: A fault in the coastal cliff, which consists of sandstone and cataclasite. The blade length of the sickle is 15 cm. B: An intensely fractured shear zone in the wave-cut bench, which consists of partially consolidated, fine grain size and black gouges, and hard breccias. The scale is 20 cm. Ca.: cataclasite. FB: fault breccia.

第6図には、木本花粉化石の総数を基数とした各木本花粉化石の相対産出頻度を示した。木本植物花粉の主な分類群は、常緑針葉樹の *Abies*（モミ属）（0%～11.4%）、200個体以上の木本花粉が得られた試料における相対産出頻度。以下同様）、*Picea*（トウヒ属）（0%～29.5%）、*Tsuga*（ツガ属）（0%～35.7%）、*Pinus*（マツ属）（1.9%～17.4%）、*Cryptomeria*（スギ属）（0%～8.4%）、落葉広葉樹の *Alnus*（ハンノキ属）（0%～10.3%）、*Fagus*（ブナ属）（2.9%～16.8%）、*Quercus* subgen. *Lepidobalanus*（コナラ属コナラ亜属）（8.2%～25.4%）及び常緑広葉樹の *Q.* (subgen. *Cyclobalanopsis*；コナラ属アカガシ亜属）（0%～48.0%）などであった。また、P1、P3～P5、P8～P14、P16からは現在の日本列島には自生していない消滅属である *Cathaya*（カタヤ属）（0%～5.0%）、*Keteleeria*（ユサン属）（0%～0.5%）、*Cunninghamia*（コウヨウザン属）（0%～5.5%）、*Glyptostrobus*（スイショウ属）（0%～2.7%）、*Metasequoia*（メタセコイア属）（0%～33.6%）、*Carya*（ペカン属）（0%～1.9%）、*Hemiptelea*（ハリゲヤキ属）（0%～4.8%）、*Liquidambar*（フウ属）（0%～1.7%）、*Nyssa*（ヌマミズキ属）（0%～1.8%）が産出した。

草本植物の主な分類群は Gramineae（イネ科）及び Cyperaceae（カヤツリグサ科）であった。シダ植物の主な分類群は単条口型孢子及び三条口型孢子が産出した。

3.2 大型植物化石

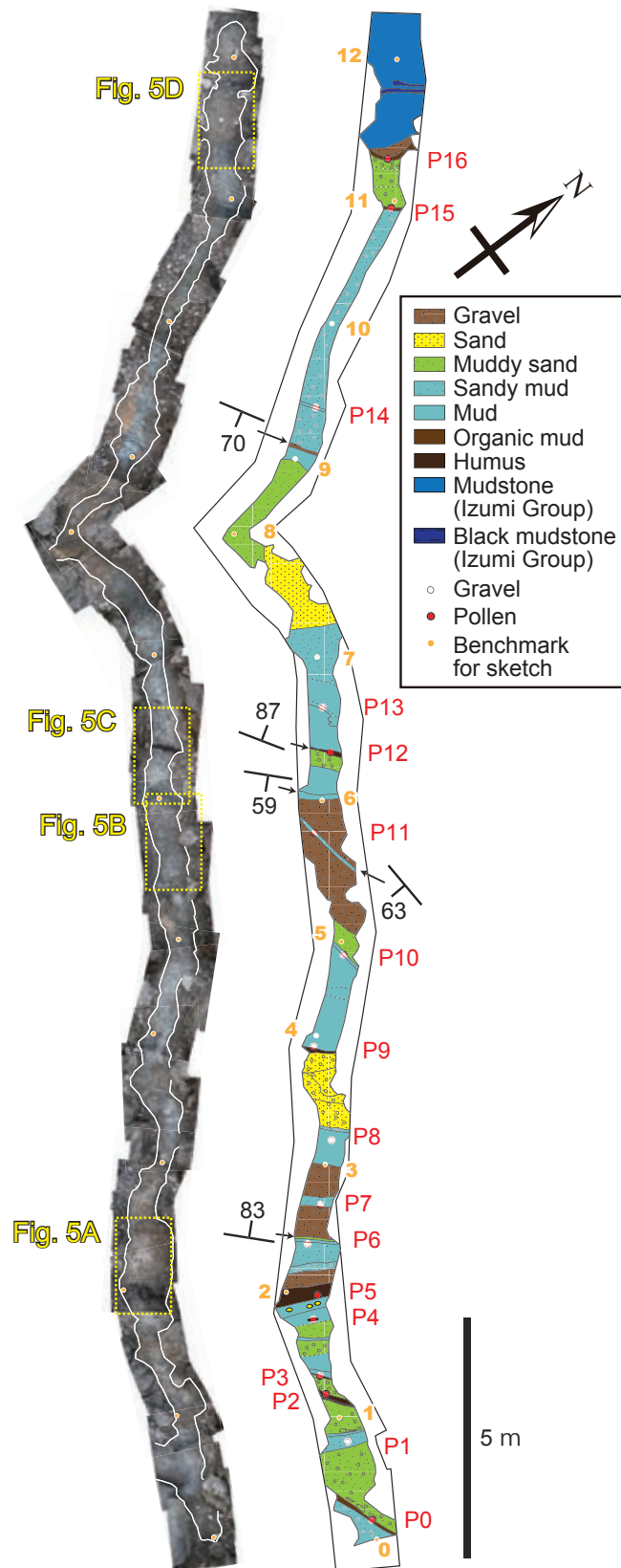
P5の腐植質層からは以下のような大型植物化石が産出した。*Sequoia*?（セコイア?）の球果、*Stewartia* sp.（ヒメシャラ）の果実、*Fagus microcarpa*（ヒメブナ）

の殻斗・堅果、*Quercus* sp.（クヌギ類）の殻斗・堅果、*Picea koribai*（オオバラモミ）の葉。

3.3 花粉化石群集による堆積年代の推定

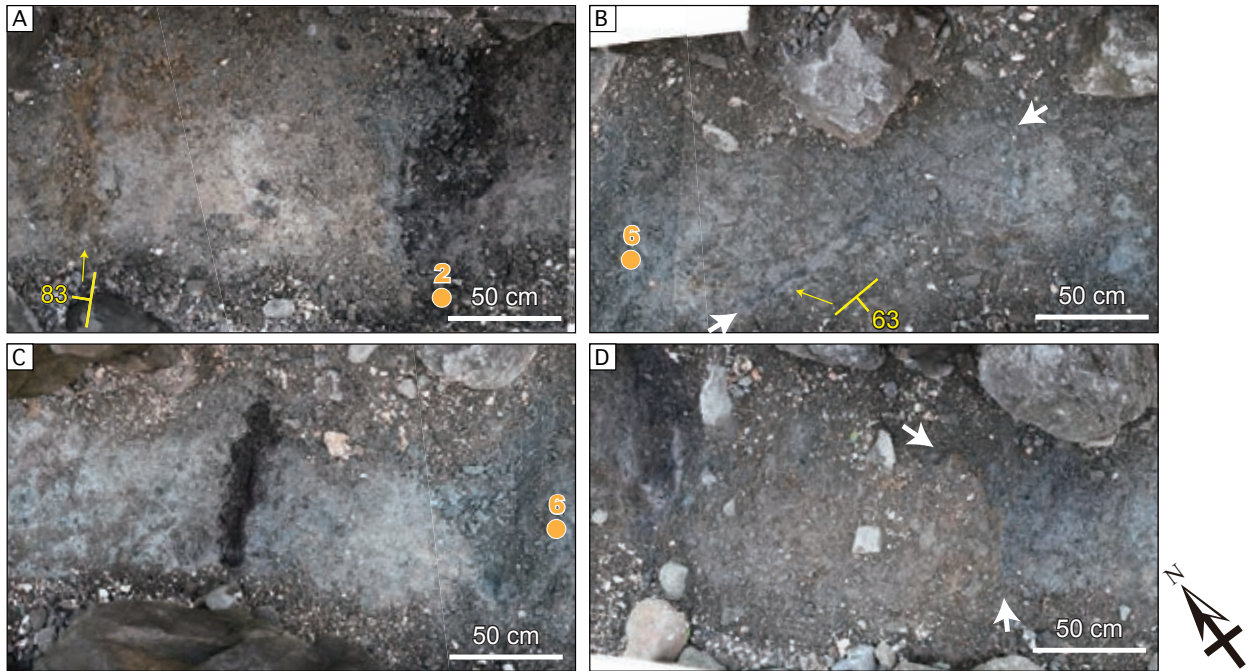
大阪層群や古琵琶湖層群、東海層群など西日本の鮮新～更新統では、花粉化石や大型植物化石による層序がまとめられている（島倉，1966；田井，1966a；1966b；那須，1970；Tai，1973；Momohara，1989；1992；Momohara and Mizuno，1999など）。一方、徳島県に分布する鮮新～更新統では模式的な花粉化石層序は構築されていないが、吉野川中流域の土柱層や森山層では、花粉化石、大型植物化石及び火山灰層からその堆積年代が推定されている（山崎，1985；水野，1987；1992；阿子島・須槍，1989）。本章では、里浦の大阪層群相当層から得られた花粉化石群集を西日本の花粉化石及び大型植物化石の群集と比較することで（第7図）、その堆積年代を制約した。

吉野川中流域に分布する鮮新～更新統である土柱層と森山層は、花粉化石や大型植物化石、火山灰層対比やそのフィッシュン・トラック年代によって大阪層群との対比が行われている（第7図）。土柱層は吉野川低地北縁沿いの三好市～阿波市にかけて分布する（水野，1992など）。土柱層からは複数の火山灰層が報告されており、土柱火山灰層と井出口火山灰層はそれぞれ大阪層群のピンク火山灰層（猪牟田-ピンク、Ss-Pnk）と梅火山灰層（誓願寺-梅、Se-Tg）に対比される（水野，1987，1992；石田ほか，2010；森江ほか，2010）。美馬市の土柱層中に挟まる泥炭層からは（第1A図のa）、*Metasequoia*、*Taxodiaceae*（スギ科）の花粉化石が



第4図 大阪層群相当層露頭のルートマップと写真。

Fig. 4 Route map and photo image of the outcrop of the Osaka Group equivalent deposit.



第 5 図 大阪層群相当層露頭の写真. A: 地点 2-3 (地点 2 の腐植質層からは大型植物化石が産出した). B: 地点 5-6 (白矢印は礫層に挟まる砂質泥層を示す. 砂質泥層は露頭全体の走向とは異なる方位をもつ). C: 地点 6-7. D: 地点 11-12 (白矢印は大阪層群相当層と和泉層群の境界を示す).

Fig. 5 Closed-up photo images of the Osaka Group equivalent deposit. A: Benchmarks 2-3 (The humus bed with benchmark 2 yielded plant macrofossils). B: Benchmarks 5-6 (White arrows indicate the sandy mud layer, which exhibits a different strike direction from the whole trend, within the gravel bed). C: Benchmarks 6-7. D: Benchmarks 11-12 (White arrows indicate a boundary between the Izumi Group and Osaka Group equivalent deposit).

多産し, *Picea*, *Quercus* subgen. *Lepidobalanas*, *Alunus*, *Abies*, *Tsuga* など花粉化石を少量伴う (山崎, 1985). 一方, 水野 (1987) は美馬市, 阿波市の土柱層 (第 1A 図のそれぞれ a, b) から気候の寒冷化を示す *Picea maximowiczii* (ヒメバラモミ) の球果の産出を報告したが, *Metasequoia* などの消滅属は発見されなかった. 土柱層の花粉化石や大型植物化石は再検討の余地があるが, 火山灰層に基づく土柱層の堆積年代はカラブリアン期 (前期更新世) ~チバニアン期 (中期更新世) に相当する (第 7 図). 森山層は吉野川低地南縁沿いの吉野川市に分布する (水野, 1992 など). 森山層の藤井寺火山灰層は大阪層群の真ノ池火山灰層に対比され (水野, 1992), フィッション・トラック年代は 2.3 ± 0.5 Ma である (阿子島・須槍, 1989). 吉野川市鴨島町南部 (旧森山村) の森山層からは (第 1A 図と第 1B 図の c), *Metasequoia*, *Glyptostrobus*, *Picea koribai*, *Pseudolarix kaempferi* (イヌカラマツ), *Cunninghamia*, *Keteleeria* が産出する (三木, 1948; Miki, 1950; 高田支部古植物グループ, 1972). そのため, 森山層の堆積年代は少なくともジェラシアン期 (前期更新世) を含み, 土柱層よりもやや古いと考えられる (水野, 1987). 土柱層や森山層からは, 里浦の大阪層群相当層から産出する *Nyssa* は発見されていない. しかし, Miki (1950) は, 森山層

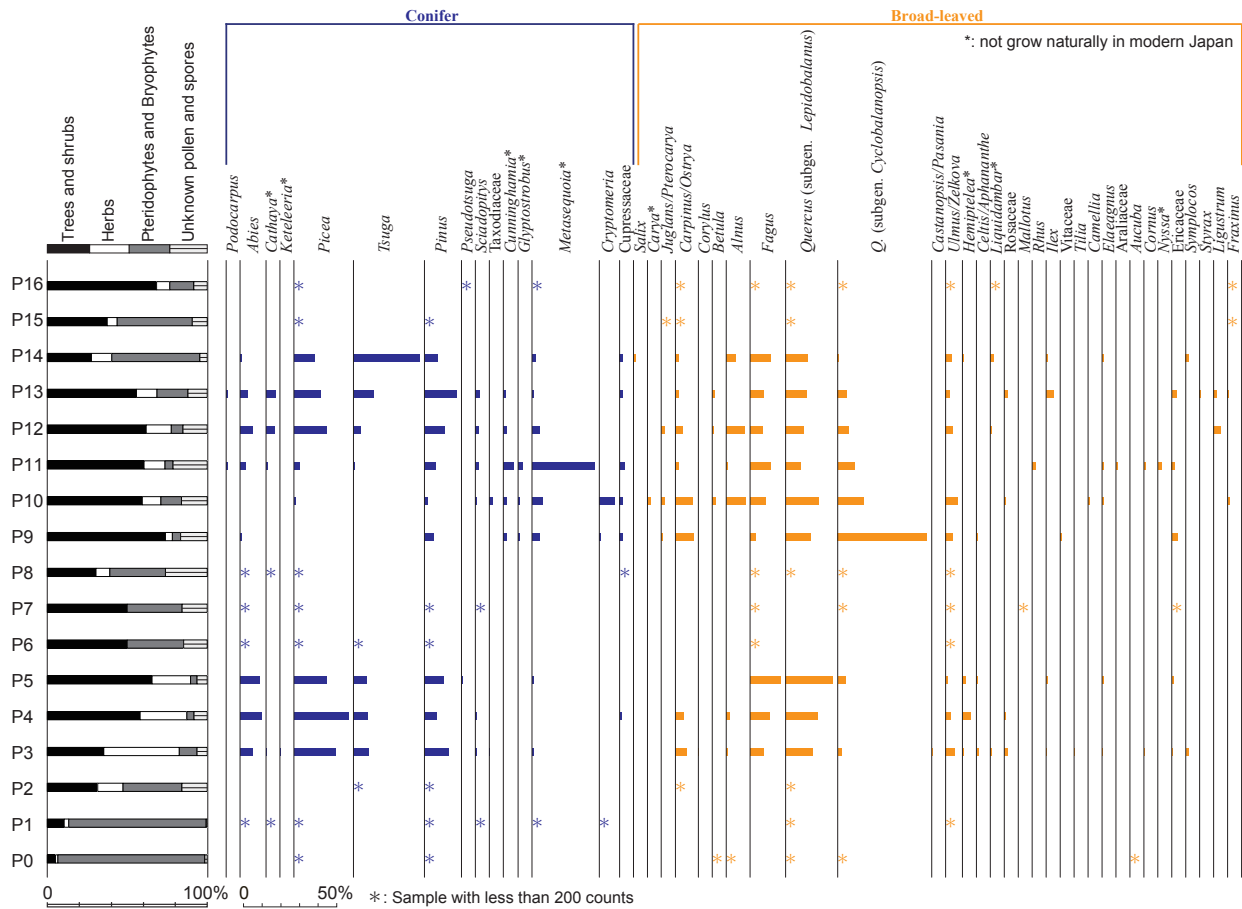
から *Keteleeria* の産出を報告している. そのため, 里浦の大阪層群相当層の堆積年代は, 森山層と同時期かそれより古いと考えられる (第 7 図).

大阪平野とその周辺の陸上・地下に分布する大阪層群の花粉化石層序は田井 (1966a; 1966b), 那須 (1970), Tai (1973) などによってまとめられている. 田井 (1966b) は, アズキ火山灰層に伴う海成泥層 Ma3 の下限を境界として, 下部及び上部の花粉帯をそれぞれメタセコイア帯及びブナ帯と区分している (第 7 図). メタセコイア帯には, *Metasequoia* や *Pseudolarix* (イヌカラマツ属), *Ginkgo* (イチョウ属), *Liquidambar*, *Picea-A* (トウヒ属 A 型) などの第三紀型植物群の産出が認められる (古谷・田井, 1993). また, 千里山丘陵の大阪層群では, メタセコイア帯はさらに A ~ D 亜帯に細分される (Tai, 1973; 第 7 図). 泉南地域の土丸火山灰層より下位の大阪層群では, *Fagus* と *Quercus* が卓越し, メタセコイア帯 A 亜帯 (メタセコイア帯下限 ~ オルドヴァイ正磁極帯上限付近) を特徴づける *Pseudolarix*, *Ginkgo*, *Picea-A* に加えて *Keteleeria* と *Alangium* ? (ウリノキ属?) が産出する (田井, 1970). さらに, 上部鮮新統に相当する古琵琶湖層群伊賀層及び甲賀層からは *Carya*, *Liquidambar*, *Nyssa* が (島倉, 1966), ガウス-松山極性反転境界付近の古琵琶湖層群からは *Cathaya* の産出が報

第 1 表 花粉及び孢子化石の産出個体数.

Table 1 Occurrence chart of pollen and spore fossils from the Osaka Group equivalent deposit.

Classification	Taxa	Tertiary element	Count																
			P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16
Conifer	<i>Podocarpus</i>												2		2				
Conifer	<i>Abies</i>			1	12	24	24	1	1	1	2		6	14	10	2			
Conifer	<i>Cathaya</i>	*		1	1					1			2	10	12				
Conifer	<i>Keteleeria</i>	*			1														
Conifer	<i>Picea</i>		2	2	40	62	40	6	1	3		2	6	36	34	26	7	6	
Conifer	<i>Tsuga</i>				1	15	16	16	1				2	8	26	82			
Conifer	<i>Pinus</i>			1	1	22	12	22		2		8	4	12	18	40	12	1	
Conifer	<i>P.</i> (subgen. <i>Diploxylon</i>)		2		2	2	2	1	4		2		2	4	2	4			
Conifer	<i>Pseudotsuga</i>							2										4	
Conifer	<i>Sciadopitys</i>			1	2	2			1			2	4	4	6				
Conifer	Taxodiaceae				1							4							
Conifer	<i>Cunninghamia</i>	*									4	4	12	4	4				
Conifer	<i>Glyptostrobus</i>	*									2	2	6						
Conifer	<i>Metasequoia</i>	*		2	2		2				8	12	74	8	2	4		1	
Conifer	<i>Cryptomeria</i>			1							2	18							
Conifer	Cupressaceae					2				2	4	4	6		4	4			
Broad leaved	<i>Salix</i>																	2	
Broad leaved	<i>Carya</i>	*										4							
Broad leaved	<i>Juglans/Pterocarya</i>										2	4		4				1	
Broad leaved	<i>Carpinus/Ostrya</i>				2	11	10				20	20	4	8	4	4	1	1	
Broad leaved	<i>Corylus</i>					1													
Broad leaved	<i>Betula</i>		1										4	2	4				
Broad leaved	<i>Alnus</i> (subgen. <i>Alnus</i>)		1		2	4							20	2	18		10		
Broad leaved	<i>A.</i> (subgen. <i>Alnaster</i>)												2	2		2			
Broad leaved	<i>Fagus crenata</i> type					13	4	18					6	4					
Broad leaved	<i>F. japonica</i> type					21	18	20				4	8	16	10	18	16	3	
Broad leaved	<i>F.</i> other type								6	1	1	2	10	2			10	2	
Broad leaved	<i>Quercus</i> (subgen. <i>Lepidobalanus</i>)		2	5	2	26	36	58			3	28	38	18	20	28	28	1	5
Broad leaved	<i>Q.</i> (subgen. <i>Cyclobalanopsis</i>)		2		4	10			3	1	98	30	20	12	12	2		7	
Broad leaved	<i>Castanopsis/Pasania</i>					1													
Broad leaved	<i>Ulmus/Zelkova</i>			1	9	6	2	2	1	2	8	14		8	6	8		6	
Broad leaved	<i>Hemiptelea</i>	*			1	10	4											2	
Broad leaved	<i>Celtis/Aphananthe</i>				2	2						2							
Broad leaved	<i>Liquidambar</i>	*			2									2		4		4	
Broad leaved	Rosaceae				3	2						2			4				
Broad leaved	<i>Mallotus</i>								1										
Broad leaved	<i>Rhus</i>													4					
Broad leaved	<i>Ilex</i>				1		2									10	2		
Broad leaved	Vitaceae										2								
Broad leaved	<i>Tilia</i>				1														
Broad leaved	<i>Camellia</i>												2						
Broad leaved	<i>Elaeagnus</i>				1		2						2	2			2		
Broad leaved	Araliaceae													2					
Broad leaved	<i>Aucuba</i>		1																
Broad leaved	<i>Cornus</i>					1									2				
Broad leaved	<i>Nyssa</i>	*													4				
Broad leaved	Ericaceae				1		2		1		6		4		6				
Broad leaved	<i>Symplocos</i>				3												4		
Broad leaved	<i>Styrax</i>																2		
Broad leaved	<i>Ligustrum</i>													8	4				
Broad leaved	<i>Fraxinus</i>												2		2		1	2	
Herbs	<i>Polygonum</i> (sect. <i>Persicaria</i> / <i>Echinocaulon</i>)				16	2	4								10	2	22		
Herbs	<i>Nuphar</i>				1														
Herbs	Leguminosae				2														
Herbs	Carduoideae			1	12	6	10										2		
Herbs	<i>Artemisia</i>				1	2							10					1	
Herbs	Cichorioideae				7	8									2	6	4		
Herbs	Gramineae			1	3	110	32	22		2	10	20	22	14	20	56		1	
Herbs	Cyperaceae		3	2	122	56	48			2	2	12	26	26	28	22	1	4	
Pteridophytes	<i>Lycopodium</i> (subgen. <i>Lycopodium</i>)																	1	
Pteridophytes	<i>Selaginella</i>															4			
Pteridophytes	<i>Osmunda</i>																	2	
Pteridophytes	<i>Davallia</i>							4				2	4	4	12	10			
Pteridophytes	Polypodiaceae											2			8	2			
Pteridophytes	monolet type spores		69	115	5	58	6	12	4	5	7	12	12	12	54	376	7	4	
Pteridophytes	trilete type spores		127	7	2	6	10	2	4	6	9		32	2	8	6	66	5	3
Bryophytes	Bryophyta															2	3	1	
Unknown	unknown pollen and spores		3	1	3	36	30	22	5	5	12	46	58	78	50	52	38	3	5
Trees and shrubs			11	15	6	202	210	228	17	16	14	204	214	220	204	242	230	12	41
Herbs			3	4	3	271	106	84	0	0	4	12	42	48	52	56	106	2	5
Pteridophytes and Bryophytes			196	122	7	64	16	14	12	11	16	14	46	18	24	84	458	15	9
unknown pollen and spores			3	1	3	36	30	22	5	5	12	46	58	78	50	52	38	3	5
Total			213	142	19	573	362	348	34	32	46	276	360	364	330	434	832	32	60



第 6 図 花粉ダイアグラム。花粉及び孢子化石の総数に対する木本、草本、コケ・シダ及び同定不能化石の相対産出頻度と木本花粉化石の総数に対するその相対産出頻度。

Fig. 6 Fossil pollen diagram of the Osaka Group equivalent deposit. Relative abundances of arboreal pollen, non-arboreal pollen and pteridophyte and bryophyte spores for the total count of pollen and spore fossils, and arboreal pollen for its total count.

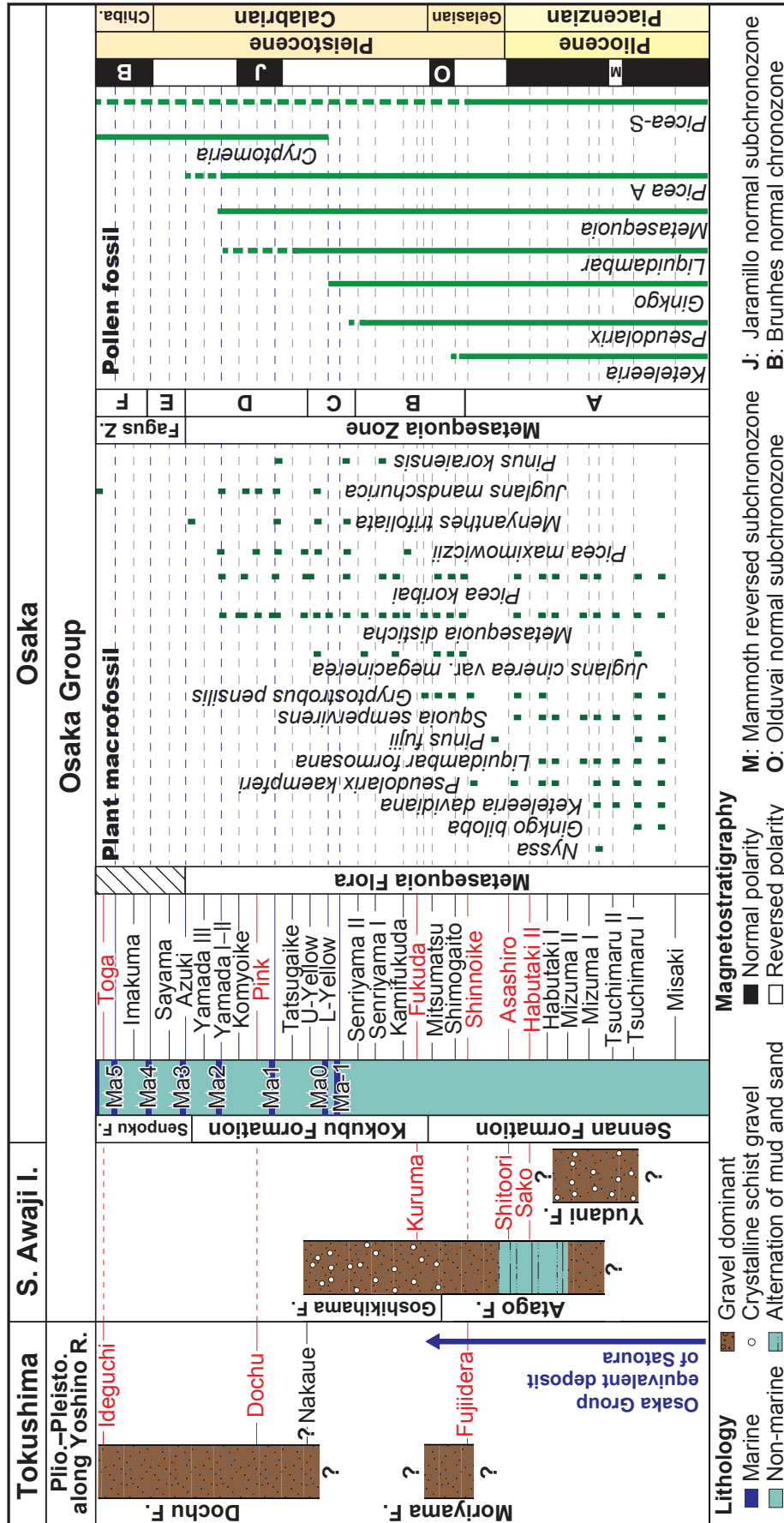
告されている（齋藤ほか，2001）。以上から，里浦の大阪層群相当層の花粉化石群集はピアセンジアン期（後期鮮新世）～ジェラシアン期（前期鮮新世）のメタセコイア帯 A 分帯に対比される。

上述した花粉化石による対比は，大阪層群における大型植物化石の産出からも支持される。泉南地域に分布する大阪層群泉南層下部の土丸 II 火山灰層～水間 I 火山灰層の間の層準からは *Nyssa* の内果皮の化石が，泉南層下部から泉南層上部の土生滝 III 火山灰層（第 7 図の土生滝 II 火山灰層と朝代火山灰層の間）までの層序区間では *Liquidambar* の果実や *Glyptostrobus pensilis*, *Metasequoia glyptstroboides*, *Cunninghamia* の枝や葉などが産出している (Momohara, 1992; 百原, 1993; 第 7 図)。土生滝 I～III 火山灰層より下位層準あるいは泉南層下部に対比される和泉市若檜東部の大阪層群では *Carya striata* や *Hemiptelea mikii* などの消滅種が報告されている (市原ほか, 1986; Momohara, 1989; 百原, 1993)。里浦の大阪層群相当層と地理的距離が最も近い淡路島中部と南部には，それぞれ大阪層群最下部の愛宕層と

油谷層が分布する（水野，1987）。愛宕層からは *Glyptostrobus pensilis* と *Metasequoia glyptstroboides* が産出し，土生滝 II 火山灰層に対比される佐古火山灰層より下位層準では *Liquidambar* や *Keteleeria* が見出されている (水野, 1992; Momohara and Mizuno, 1999)。油谷層では火山灰層は発見されていないが，*Liquidambar* や *Metasequoia*, *Pseudoralix kaempferi* が産出し，愛宕層中部の下半分より下位層準に対比される (Miki, 1950; 水野, 1987; Momohara and Mizuno, 1999)。以上のように，大阪層群の大型植物化石化石層序における *Nyssa* や *Keteleeria*, *Liquidambar* の産出は土生滝火山灰層より下位層準までに限定されることから，里浦の大阪層群相当層は泉南層や愛宕層に対比される（第 7 図）。

4. まとめ

本稿では，1998 年に徳島県鳴門市里浦町の海岸で発見された大阪層群相当層について層相観察と花粉化石分析，大型植物化石分析を実施し，堆積年代の推定を



第7図 大阪層群と吉野川流域における鮮新-更新統の層序図。大阪平野における花粉化石、大型植物化石層序とそれぞれの地域における火山灰層序を示す。水野(1987, 1992), 市原編(1993), 石田ほか(2010), 森江ほか(2010), 吉川(2012)及びMomohara(2016)に基づいて作成。

Fig. 7 Stratigraphy of the Osaka Group and Plio-Pleistocene along the Yoshino River. Stratigraphic distributions of plant macrofossils and pollen fossils are from the Osaka Group with the tephrostratigraphy of each area. Based on Mizuno (1987, 1992), Ithara (1993), Ishida et al. (2010), Morte et al. (2010), Yoshikawa (2012), and Momohara (2016).

試みた。大阪層群相当層は、泥～砂層を主体として砂礫層、有機質泥層、腐植質層を挟み、明瞭な堆積構造は認められなかった。大阪層群相当層の走向傾斜は不規則であり、地層はほぼ直立している。連続性や属性は明らかではないが、近接する和泉層群に複数の断層が認められることから、大阪層群相当層は堆積後の断層運動による変形を被っていると考えられる。断層の連続性や属性については、今後の調査が必要である。

花粉化石分析の結果、現在の日本には自生しない消滅属である *Cathaya*, *Keteleeria*, *Cunninghamia*, *Glyptostrobus*, *Metasequoia*, *Carya*, *Hemiptelea*, *Liquidambar*, *Nyssa* を検出した。また、腐植質層からは *Picea koribai* の葉などを産出した。大阪層群の花粉化石層序や大型植物化石層序に基づくと、里浦の大阪層群相当層は泉南層や愛宕層に対比され、その堆積年代はピアセンジアン期～ジェラシアン期である。

謝辞：地質情報研究部門の佐藤善輝博士には珪藻化石を、(有) アルプス調査所の本郷美佐緒博士には花粉化石を、千葉大学の百原 新教授には大型植物化石を鑑定していただいた。また、地質情報研究部門の國本節子氏には珪藻プレパラートを作成していただいた。記して感謝申し上げます。

文 献

- 阿子島 功・須槍和巳 (1989) 中央構造線吉野川地溝の形成過程。地球科学, **43**, 428–442.
- 古谷正和・田井昭子 (1993) 大阪層群と段丘堆積物・沖積層の花粉化石。市原 実編, 大阪層群, 創元社, 大阪, 247–255.
- 本郷美佐緒 (2009) 大阪堆積盆地における中部更新統の花粉生層序と古環境変遷。地質学雑誌, **115**, 64–79.
- 石田啓祐・西山賢一・中尾賢一・辻野泰之・森江孝志・東明省三 (2010) 阿波市の地質と地形—とくに「阿波の土柱」の成因と景観保全—。阿波学会紀要, **56**, 1–12.
- 市原 実・市川浩一郎・山田直利 (1986) 岸和田地域の地質。地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 148p.
- 市原 実編 (1993) 大阪層群。創元社, 大阪, 340p.
- 平山 健・田中啓策 (1952) 7 万 5 千分の 1 地質図幅「徳島」, 地質調査所。
- 牧本 博・利光誠一・高橋 浩・水野清秀・駒澤正夫・志知龍一 (1995) 20 万分の 1 地質図幅「徳島」(第 2 版), 地質調査所。
- 三木 茂 (1948) 鮮新世以来の近畿並びに近接地域の遺体フロラに就いて。鉱物と地質, **9**, 105–144.
- Miki, S. (1950) Taxodiaceae of Japan, with special reference to its remains. *Journal of the Institute of Polytechnics, Osaka City University*, **1**, 63–77.
- 水野清秀 (1987) 四国及び淡路島の中央構造線沿いに分布する鮮新・更新統について (予報)。地質調査所月報, **38**, 171–190.
- 水野清秀 (1992) 中央構造線に沿う第二瀬戸内期の堆積場—その時代変遷。地質学論集, **40**, 1–14.
- 水野清秀・岡田篤正・寒川 旭・清水文健 (1993) 2.5 万分の 1 中央構造線活断層系 (四国地域) ストリップマップ説明書。構造図, 8, 地質調査所, 63p.
- Momohara, A. (1989) Pliocene *Carya* nuts (Juglandaceae) from the Osaka Group, Southwest Japan. *The Journal of Phytogeography and Taxonomy*, **37**, 107–112.
- Momohara, A. (1992) Late Pliocene plant biostratigraphy of the lowermost part of the Osaka Group, Southwest Japan, with reference to extinction of plants. *Quaternary Research*, **31**, 77–89.
- 百原 新 (1993) 近畿地方とその周辺の大規模植物化石相。市原 実編, 大阪層群, 創元社, 大阪, 256–270.
- Momohara, A. (2016) Stages of major floral change in Japan based on macrofossil evidence and their connection to climate and geomorphological changes since the Pliocene. *Quaternary International*, **397**, 93–105.
- Momohara, A., Mizuno, K. (1999) Habitat of plants in the Late Pliocene sedimentary basin on Awaji Island, Central Japan. *Japanese Journal of Historical Botany*, **6**, 49–62.
- 森江孝志・西山賢一・古澤 明・石田啓祐・中尾賢一 (2010) 四国東部, 吉野川谷に分布する土柱層から見出されたテフラ。徳島大学総合科学部自然科学研究, **24**, 65–73.
- 中尾賢一・辻本裕也・大嶋秀明 (2022) 鳴門市里浦町で発見された更新統とその花粉分析。徳島県立博物館研究報告, **32**, 1–6.
- 那須孝悌 (1970) 大阪層群上部の花粉化石について—堺港のボーリングコアを試料として—。地球科学, **24**, 25–34.
- 西山賢一 (2022) 地盤情報データベースを用いた徳島平野・鳴門市周辺の地下地質。日本地質学会第 129 年学術大会講演要旨集。
- 西山賢一・瀬部直之・石田啓祐・中尾賢一・辻野泰之・橋本寿夫 (2017) 地形・地質から見た鳴門海峡の成立。阿波学会紀要, **61**, 1–10.
- 岡田篤正・楳原京子・熊原康博・澤 祥・廣内大助 (2014) 1:25,000 都市圏活断層図「鳴門海峡」, 国土地理院。
- 齊藤 毅・百原 新・山川千代美 (2001) 古琵琶湖層

- 群甲賀累層（鮮新統）より *Cathaya* (Pinaceae) 花粉の発見. 地質学雑誌, **107**, 667–670.
- 産総研地質調査総合センター (2018) 20 万分の 1 日本シームレス地質図 V.2. <https://gbank.gsj.jp/seamless/> (閲覧日: 2023 年 5 月 30 日)
- 島倉巳三郎 (1966) 本邦新生代層の花粉層序学的研究 IX, 古琵琶湖層群. 奈良学芸大学紀要, **14**, 25–39.
- 田井昭子 (1966a) 大阪市におけるボーリング (OD-1) コアの花粉分析 (その 1) – 近畿地方の新期新生代層の研究 V-. 地球科学, **83**, 25–33.
- 田井昭子 (1966b) 大阪市におけるボーリング (OD-1) コアの花粉分析 (その 2) – 近畿地方の新期新生代層の研究 V-. 地球科学, **84**, 31–38.
- 田井昭子 (1970) 大阪府泉佐野市土丸の新生代層から検出される花粉化石について – 近畿地方の新期新生代層の研究 (その 15) -. 地球科学, **24**, 43–48.
- Tai, A. (1973) A study on the pollen stratigraphy of the Osaka Group, Plio–Pleistocene deposits in the Osaka Basin. *Memories of the Faculty of Science, Kyoto University, Series of Geology and Mineralogy*, **39**, 123–165.
- 高田支部古植物グループ (1972) 吉野川流域森山粘土層の植物化石. 第四紀総合研究会連絡紙, **14**, 7–7.
- 山崎晴雄 (1985) 吉野川中流美馬町荒川の洪積層の花粉分析. 活断層研究, **1**, 93–96.
- 吉川周作 (2012) 大阪堆積盆地第四系の層序学的研究. 第四紀研究, **51**, 1–19.

兵庫県南あわじ市における浅部地下構造調査の概要 Shallow structure surveys at Minami-Awaji City in Hyogo Prefecture

木下佐和子^{1*}・伊藤 忍¹
KINOSHITA Sawako^{1*} and ITO Shinobu¹

Abstract: We conducted S and P wave shallow seismic reflection surveys, a surface wave survey, microtremor surveys at two lines, and seismic cone penetration surveys at two sites in Minami-Awaji City, Hyogo Prefecture, to clarify the spatial distribution and the amount of the activity of the Minato-Honjo Fault. We obtained high quality data from those surveys, and we will conduct further analyses to gain more insight into the geological information around the Minato-Honjo Fault area.

Keywords: seismic reflection survey, Minato-Honjo Fault

要 旨

我々は、湊－本庄断層の位置・断層による地下の変形構造などを明らかにすることを目指し、兵庫県南あわじ市において2つの測線でS波・P波反射法探査、表面波探査、微動観測を実施し、2ヶ所の私有地でサイスミックコーン貫入試験を実施した。どの調査でも良好なデータが得られたので、今後データ処理をすすめ、湊－本庄断層周辺地域における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では日本全国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っており、令和2年度から紀伊水道沿岸域を対象に様々な調査を実施している。本報告では、紀伊水道沿岸陸域調査の一環として、令和4年度に兵庫県南あわじ市において湊－本庄断層周辺地域で実施した浅部地下構造調査（反射法地震探査・表面波探査・微動観測・サイスミックコーン貫入試験）のデータ取得状況に関してまとめる。

2. 調査地域周辺の概要

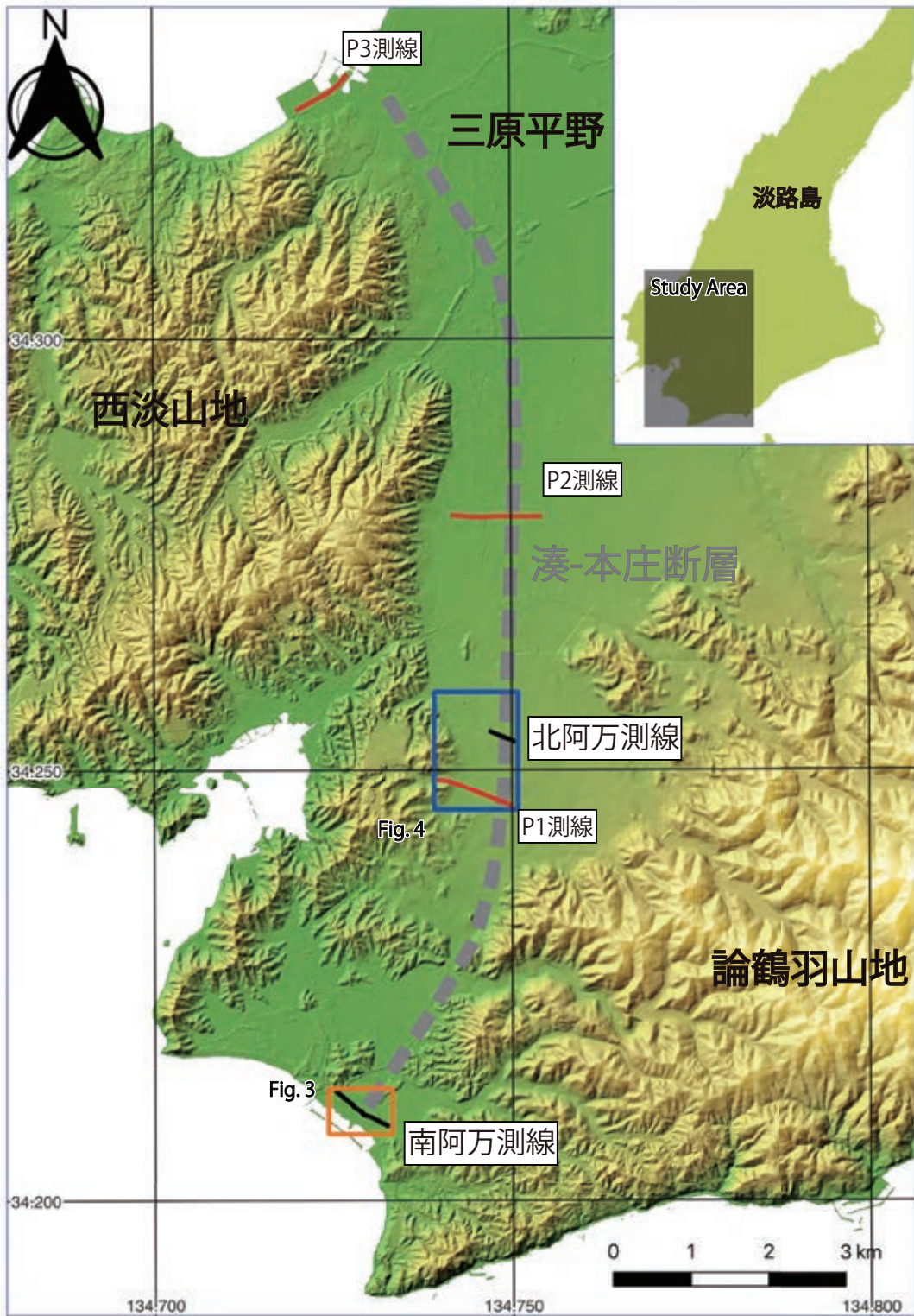
淡路島南部は主に和泉層群から形成される論鶴羽山地が東西に、西淡山地が南北に走り、その間に三原平野などの低地帯が分布している（兵庫県, 1982 など, 第1図）。西淡山地は、東西約6 km, 南北約10 kmにわたって分布し、最高で標高約270 mの低く平らな小山が集合している山地である（兵庫県, 1982）。西淡山地の東には沖積低地である三原平野が分布し、西淡山地と三

原平野の境界付近に湊－本庄断層が推定されている（兵庫県, 1982）。湊－本庄断層はほぼ北－南方向に延びる、総延長およそ15 km, 西側隆起の逆断層である（兵庫県1982, 水野・吉岡1996など）。なお、湊－本庄断層の北部では、活断層研究会編（1991）、岡田ほか（2014）などにより西側隆起の飯山寺断層という名称が使用されているが、本報告では兵庫県（1982）、水野・吉岡（1996）などに従って、湊－本庄断層とよぶ。

湊－本庄断層は、断層の北部では撓曲崖を伴う西側隆起の変位地形が認められる（岡田・熊原, 2014）。しかし、断層中部以南においては、変位地形は不明瞭である。水野・吉岡（1996）は、湊－本庄断層分布地域周辺において、複数のボーリング調査、トレンチ調査、反射法地震探査などを実施した。その結果、湊－本庄断層の中央付近において地下の大坂層群の変形構造を認め、西側隆起と東側隆起の断層が存在している可能性を示唆した。しかし、南北で明瞭に連続する活断層の分布は確認されず、湊－本庄断層は小断層が複数分布する複雑な構造をしていることが示唆された。また、湊－本庄断層の推定位置最南部の阿万地区においては、断層推定位置の西側で反射法地震探査が実施されたため、断層位置は確定できていない。さらに、湊－本庄断層の中央部において、断層推定位置周辺の沖積低地・低位段丘構成層が分布する地域には、和泉層群の孤立丘が複数分布しており、和泉層群の分布に関しても不明な点が残されている。

中谷ほか（2022）は、阿万地区において、湊－本庄断層の推定位置をはさむように2本のボーリングコアを掘削した。その結果、断層推定位置の東側では深度約47 m～7 mまで大坂層群を認め、また断層推定位置の西側では深度約25 mより下位に和泉層群を認め、そ

*Corresponding author: KINOSHITA, S., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. E-mail: sawako.kinoshita@aist.go.jp.
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 本調査対象地域周辺の地図と調査地点の位置図。
 黒実線は本調査の測線を表す。灰色破線は牧本ほか(1995)による湊-本庄断層の推定位置を表す。赤色実線は水野・吉岡(1996)のP波反射法地震探査の位置を示す。橙色四角, 青色四角で囲まれた領域は第3図, 第4図の範囲を示す。基図に国土地理院発行の基盤地図情報(数値標高モデル5mメッシュ)を使用した。

Fig. 1 Map of the study area and the location of survey lines, points.
 The black solid lines represent the survey lines in this survey. The gray dashed line represents the location of the Minato-Honjo Fault from Makimoto *et al.* (1995). The red solid lines are the locations of the P wave reflection surveys from Mizuno and Yoshioka (1996). The orange and blue squares represent the survey regions of Fig. 3 and 4, respectively. The elevation data is obtained from the 5 m-grid digital data provided by the Geospatial Information Authority of Japan (GSI).

れより上位に大阪層群は認めなかった。これまでの結果では、阿万地区において、大阪層群と和泉層群がどのように接するのか、湊-本庄断層の存否は明らかにはなっていない。

3. 調査の目的と実施した調査

本調査は、湊-本庄断層の推定位置南部の阿万地区において、断層の位置、変形構造を明らかにするため、また、湊-本庄断層の推定位置中央部で和泉層群孤立丘が分布する北阿万筒井地区において、地下浅部の構造を明らかにするために、複数の浅部地下構造調査を実施した。具体的には、阿万地区においては、S波・P波反射法地震探査、微動観測、表面波探査、サイスマックコーン貫入試験の5種類の調査を実施し、北阿万筒井地区においては、P波反射法地震探査、微動観測の2種類の調査を実施した。

反射法地震探査は、地表で人工的に弾性波を発生させ、地下の地震波速度や密度が変化する境界面で反射した波を地表の受振器で計測し、地下の境界面をイメージングする手法である（物理探査学会、2016など）。P波反射法地震探査は、受振器はシングル、受振器とケーブルは一体型の簡便なシステムを用いても、条件の良い場合は深度十数から数百m程度という範囲で分解能の高い地下断面図が得られることが実証されている（山口ほか、2019、木下ほか、2023）。また、S波反射法地震探査はP波反射法地震探査と比較して波の伝播速度が小さいため、空間分解能が高い詳細な構造をイメージングすることができる。阿万地区においては、ボーリング調査の結果（中谷ほか、2022）と比較するために、S波・P波反射法地震探査2種類を実施した。北阿万筒井地区においては水野・吉岡（1996）のP波反射法地震探査の結果と比較するためにP波反射法地震探査を実施した。

表面波探査は地表付近を伝わる表面波を人工的に発生させて測定し、波長による伝播速度の違いを逆解析することによって、深度数mから数十mのS波速度構造を求める手法である（物理探査学会、2016など）。阿万地区においては、ボーリング調査（中谷ほか、2022）によると地下約20m付近という非常に浅部に和泉層群、つまりS波速度が大きい地層が存在すると考えられる。S波・P波反射法地震探査の解析を進める際に、地下浅部のS波速度構造は有益な情報となる。また、本調査では3章で述べる通り、P波反射法地震探査に固有周波数2Hzの上下動ジオフォンを使用したため、反射法地震探査と同じ受振器、展開を使用して表面波探査のデータを取得することができる。以上の理由から、阿万地区において、反射法地震探査と同じ測線で表面波

探査を実施した。さらに、P波反射法地震探査、表面波探査が終わった後に展開移動せず、そのまま30分から60分程度データを収録し続けることで、微動データも収録した。微動データの収録には発震などの追加作業は必要としないため、阿万地区、北阿万筒井地区ともにデータ収録した。微動アレイ探査は、地表で複数個の微動計によって同時に微動を観測し、微動に含まれる表面波の位相速度を推定し、その位相速度を逆解析することによって、地下数十mから数百mまでのS波速度構造を求める手法である。今回は反射法地震探査と同じ展開を用いてデータを収録したため、一般的な微動アレイ探査で実施される正三角形アレイや円形アレイデータではなく、直線アレイデータを収録した。同時に受振した受振点のうち、2個ずつペアにして解析することで、2点間のS波速度構造を求めることを想定した。表面波探査同様に、地下浅部のS波速度構造は、反射法地震探査の解析を進める際の有益な情報として使用できることが期待される。

サイスマックコーン貫入試験は、ジオフォンが内蔵されている電気式コーンを地中に貫入し、一定深度ごとに地表でS波を発震して測定・解析することで、地盤中のS波速度を計測する調査である（西田ほか、1999など）。S波反射法地震探査の処理の際、地下浅部のS波速度構造は不均質であるため、時間断面から深度断面に変換するための適切な区間速度モデルを構築することが重要である（稲崎・加野、2020）。稲崎ほか（1989）は直接的にS波速度を求めるために、S波VSPを用いることを提案した。VSP検層はボーリング掘削坑を利用し、地表で発震した地震波を孔内に展開した受振器によって計測し、ボーリング地点周辺の地下構造を調べる手法である（物理探査学会、2016）。稲崎・加野（2020）などでは、ボーリング掘削孔ではなく、サイスマックコーン貫入試験を用いてS波VSPを実施し、S波反射法地震探査の結果と比較している。阿万地域において、水野・吉岡（1996）、中谷ほか（2022）はボーリング掘削孔でPS検層やS波VSPを実施していないため、中谷ほか（2022）のオールコアボーリング調査地点付近で地下浅部のS波速度を求めるためにサイスマックコーン貫入試験を実施した。

4. 調査の詳細

調査は使用する機材・調査場所の関係で、道路上で実施する調査（反射法地震探査・表面波探査・微動観測）と私有地で実施する調査（サイスマックコーン貫入試験）に分け、2023年2月中旬から3月上旬にかけて実施した。以下にそれぞれの探査の詳細を記す。

4.1 反射法地震探査・表面波探査・微動観測

本調査は2023年2月15日から25日までの11日間で実施した。第1表に調査諸元を記す。前半に阿万西町と阿万東町の市道上における調査（南阿万測線、GS-AMS）を実施し、後半に北阿万筒井地区の市道・農道における調査（北阿万測線、GS-AMN）を実施した。第2図に反射法地震探査・表面波探査・微動観測の様子、第3、4図に南阿万測線、北阿万測線の詳細位置を示す。

機材は、愛知県碧南市における反射法探査（木下ほか2023）とほぼ同じものを用いた。反射法地震探査の震源には小型油圧インパクト（JMS-mini65-2、地球科学総合研究所製）を使用した。JMS-mini65-2は、P/S両方で総重量2.2 t、打撃エネルギー2,000 Jの油圧インパクトである。JMS-mini65-2は、シリンダ軸が縦向きの際はP波を発震し、シリンダ軸を進行方向右側に最大60度傾けてS波を発震することが可能である。表面波探査の震源には、長さ約1 mの金属製の掛矢を使用し、道路に直径約30 cm、厚さ約2 cmの丸い金属板を置き、その板の中心を掛矢で打撃して発震した。P波反射法地震探査の発震回数は各点5回を基本とした。S波反射法地震探査の発震回数は測線の進行方向に対して右側に傾けた方向から各点5回を基本とし、10測点ごとにインパクトを反対方向に向けて、逆方向に5回発震した。表面波探査の発震回数は各点5回を基本とした。また、反射法地震探査では震源のプレート、表面波探査では掛矢にハンマースイッチを取り付けて収録トリガをかけた。受振器は、S波反射法地震探査は固有周波数10 Hzの水平動ジオフォン（Geospace製、GS-32CT内蔵）を使用し、水平動成分が測線の方向に直交するように設置した。P波反射法地震探査、表面波探査、微動観測には固有周波数2 Hzの上下動ジオフォン（SUNFULL社製、PS-2B内蔵）を使用した。受振器間隔はS波反射法地震探査に関しては1 m、P波反射法地震探査と表面波探査・微動観測に関しては2 mに設定した。探鉱機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製）を使用した。サンプリング間隔は反射法地震探査と表面波探査に関しては0.5ミリ秒、微動観測に関しては1ミリ秒に設定した。反射法地震探査と表面波探査に関しては2秒、微動に関しては1分データを30～60個程度（30分～60分程度）収録した。本調査に用いた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、調査中に適宜発震記録、発震記録をダイバシティスタックした波形を確認した。

受振点のマーキングにはウォーキングメジャーを使用し、南阿万測線では1 m間隔、北阿万測線では2 m間隔にチョークで印をつけた。受振器の位置はTrimble社のGNSS測量装置であるR10を使用して、VRS方式

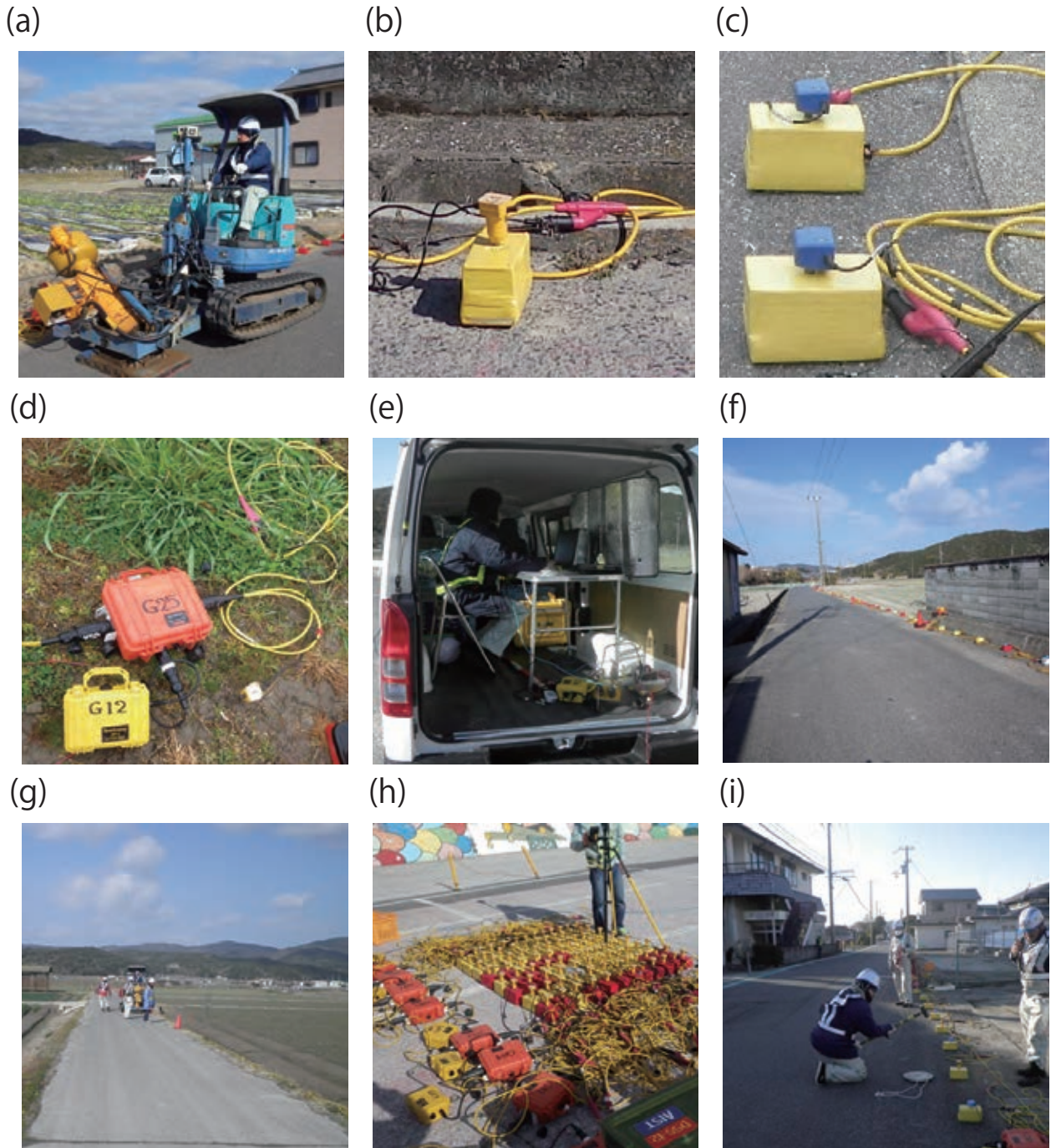
のネットワーク型RTK法で測定した。発震位置については、発震作業の際に受振器からのオフセット距離（ Δx , Δy , Δz ）を巻尺で計測し、発震点の位置を計算した。交差点など受振器を設置せずに発震のみ実施した測点、水路上など受振器と発震機のオフセットが大きい測点に関しては、発震位置をチョークでマーキングしてR10で測量した。なお、調査で使用する上下動受振器の特性を確認するため、南阿万測線での測定を開始する前（2月15日）に阿万海岸海水浴場の駐車場（第3図）でハドルテストを実施した。具体的には、上下動受振器をなるべく間隔を開けずに一ヶ所にまとめて設置し、約30分間微動を収録した（第2図）。以下に、それぞれの測線で実施した調査、展開方法、受振・発震点間隔などの詳細を述べる。

4.1.1 南阿万測線（GS-AMS）

南阿万測線では2023年2月16日から23日にかけてS波反射法地震探査・P波反射法地震探査・表面波探査・微動観測を実施した。南阿万測線は阿万海岸海水浴場付近の市道沿いに、阿万東町から阿万西町にかけて設定した（第3図）。測線はボーリング掘削地点（GS-AMN-2）の約130 m東の地点から始まり、市道沿いに西に進み、県道235号線を渡ってボーリング掘削地点（GS-AMN-1）の約50 m西の本庄川まで続く。S波反射法地震探査の測線総延長は807 m、総受振点は808点、P波反射法地震探査と表面波探査の測線総延長は806 m、総受振点は404点とした（第1表、第3図）。測線の方向は概ね東-西で、測点標高は1.4 m～5.6 mであった。受振・発震点番号113から120は市道、385から393は県道を横切するため、受振器は設置せず発震のみ実施した。またS波反射法地震探査の受振・発震点番号510から528付近（P波反射法地震探査の受振・発震点番号255から264付近）は道路の下に水路が通っており、水路を避けて受振・発震作業を実施したため、オフセット距離が大きい。測線は路肩までアスファルトで舗装されており、受振器のスパイクを刺すことができなかった。そのため、粘土とウレタンをビニールテープで固定して土台を作成し、粘着シートで道路に固定し、その土台にスパイクを刺して受振器を固定した（第2図）。南阿万測線のS波反射法地震探査の受振器は192点を同時に設置し、96点発震するごとに展開移動した。P波反射法地震探査と表面波探査の受振器は96点を同時に設置し、48点発震するごとに展開移動した。最後の展開移動の際、受振点数を調整するため、S波反射法地震探査は48点、P波反射法地震探査と表面波探査は24点のみ発震して展開移動した。測線の西端では、S波反射法地震探査は184点、P波反射法地震探査と表面波探査は92点の固定展開として発震した。S波・P波反射

第1表 反射法地震探査・表面波探査・微動観測における調査諸元.
Table.1 Field parameters for the reflection surveys, the surface wave survey,
and the microtremor survey.

測線名	南阿万測線(S波)	南阿万測線(P波)	南阿万測線(表面波)	南阿万測線(微動)	北阿万測線(P波)	北阿万測線(微動)
調査地区	兵庫県南あわじ市阿万東町～阿万西町	兵庫県南あわじ市阿万東町～阿万西町	兵庫県南あわじ市阿万東町～阿万西町	兵庫県南あわじ市阿万東町～阿万西町	兵庫県南あわじ市北阿万南井地区	兵庫県南あわじ市北阿万南井地区
調査期間	2023年2月16日から2月23日	2023年2月16日から2月23日	2023年2月16日から2月23日	2023年2月16日から2月23日	2023年2月24日から2月25日	2023年2月24日から2月25日
測線長	807m	806m	806m	806m	330m	330m
総受振点数	808	807	807	807	166	166
受振点番号	1-808	1-404	1-404	1-404	1-166	1-166
受振点間隔	1m	2m	2m	2m	2m	2m
受振器	GS32-CT(GeoSpace製)	PS-2B(SUNFULL製)	PS-2B(SUNFULL製)	PS-2B(SUNFULL製)	PS-2B(SUNFULL製)	PS-2B(SUNFULL製)
受振器固有周波数	10Hz	2Hz	2Hz	2Hz	2Hz	2Hz
受振点展開方法	192チャンネルを同時展開し96点ずつ移動(最後は48点で移動して固定展開)	96チャンネルを同時展開し48点ずつ移動	96チャンネルを同時展開し48点ずつ移動	96チャンネルを同時展開し48点ずつ移動	166チャンネルを固定展開	166チャンネルを固定展開
受振点展開番号	1-192, 97-288, 193-384, 289-480, 385-576, 481-577, 578-620-622	1-96, 49-144, 97-192, 145-240, 193-288, 241-336, 289-384, 313-404, 57-59, 167, 168, 193-196, 253, 310, 311	1-96, 49-144, 97-192, 145-240, 193-288, 241-336, 289-384, 313-404, 57-59, 167, 168, 193-196, 253, 310, 311	1-96, 49-144, 97-192, 145-240, 193-288, 241-336, 289-384, 313-404, 57-59, 167, 168, 193-196, 253, 310, 311	1-166	1-166
受振なし	114-119, 163, 309, 317, 318, 334-	311	311	311	-	-
収録装置	DSS-12(サンコーコンサルタント製)	DSS-12(サンコーコンサルタント製)	DSS-12(サンコーコンサルタント製)	DSS-12(サンコーコンサルタント製)	DSS-12(サンコーコンサルタント製)	DSS-12(サンコーコンサルタント製)
記録長	2s	2s	2s	1分×30個	2s	1分×60個
サンプリング間隔	0.5ms	0.5ms	0.5ms	1ms	0.5ms	1ms
震源	P波油圧インパクタ(JMS-Mini65-2)	P波油圧インパクタ(JMS-Mini65-2)	掛失	-	P波油圧インパクタ(JMS-Mini65-2)	-
総発震点数	808	404	404	404	166	166
発震点番号	1-808	1-404	1-404	1-404	1-166	1-166
発震間隔	1m	2m	2m	2m	2m	2m
発震回数	右側から5回, 10測点ごとに左側から5回	5回	5回	5回	5回	5回
測量装置	Trimble R10 GNSS	Trimble R10 GNSS	Trimble R10 GNSS	Trimble R10 GNSS	Trimble R10 GNSS	Trimble R10 GNSS



第2図 反射法地震探査，表面波探査，微動観測の使用機材，調査の様子。

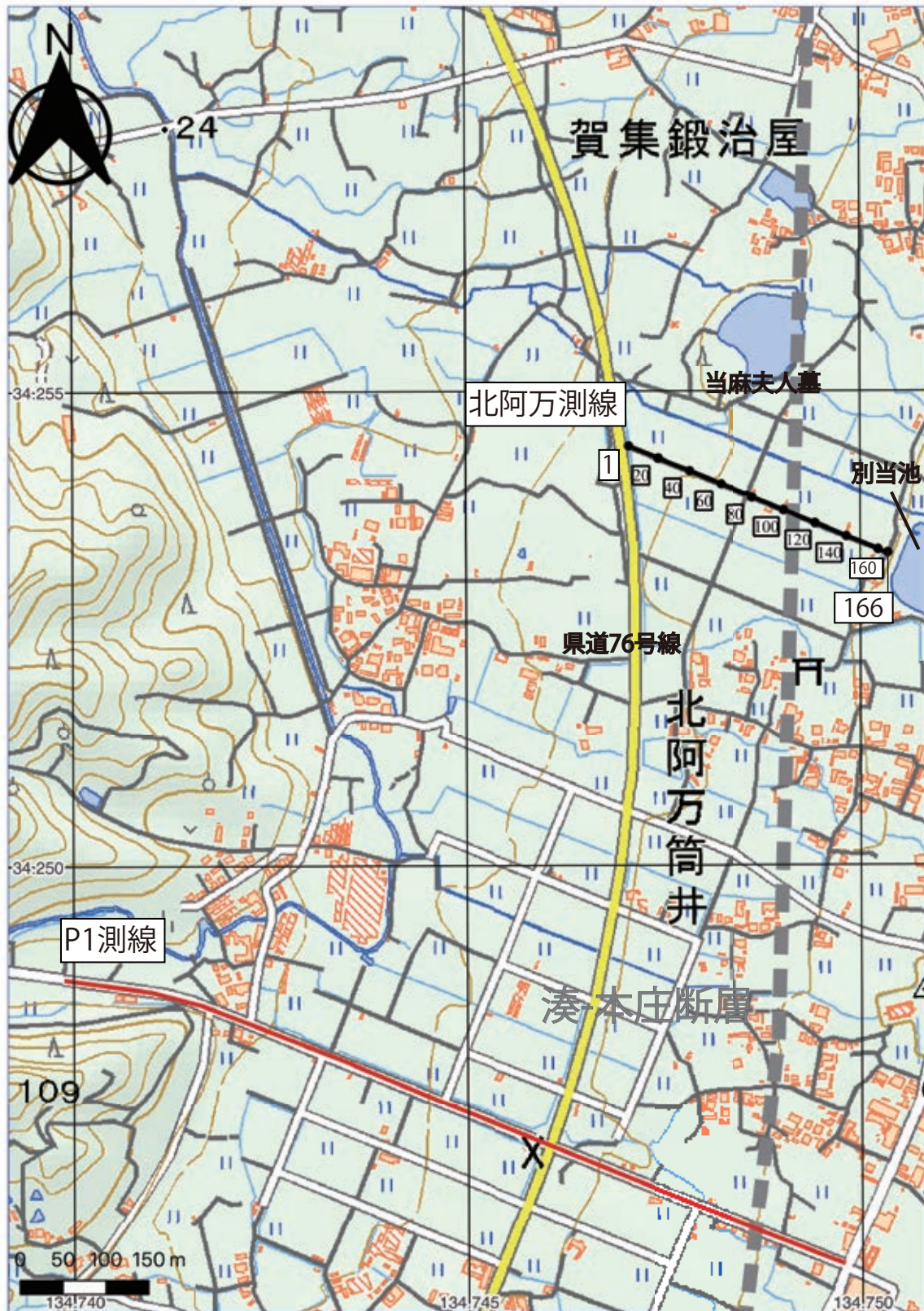
(a) JMS-mini65-2 (地球科学総合研究所製)。(b) 受振器 (上下動)。(c) 受振器 (水平動)。(d) DSS-12 (サンコーコンサルタント製)。(e) 観測本部。(f) 南阿万測線。(g) 北阿万測線。(h) ハドルテスト。(i) 表面波探査。

Fig. 2 Survey systems and field operations of the reflection survey, surface wave survey, and microtremor survey. (a) JMS-mini65-2 (JGI, inc.). (b) vertical geophone. (c) horizontal geophone. (d) DSS-12 system (Suncoh Consultants). (e) observation station. (f) South Ama survey line. (g) North Ama survey line. (h) huddle tests. (i) surface wave survey.



第3図 南阿万測線 (GS-AMS) の測線図。
 黒太実線・異数字・灰色数字は南阿万測線のS波・P波反射法地震探査の受振点位置、P波受振点番号、S波受振点番号を示す。赤丸印はサイスミックスコーン貫入試験の西阿万地点 (GS-AMW)、東阿万地点 (GS-AME) を表す。緑星印は中谷ほか (2022) のボーリング掘削地点を示す。灰色破線は第1図と同様。基図に国土地理院発行数値地図 25,000 (地図画像) を用いた。

第3図 Seismic survey map of the South Ama survey line (GS-AMS).
 The black solid and gray dashed line and numbers represent the location of receiver stations and their number of S and P wave reflection survey, respectively. Red circles are West Ama station (GS-AMW) and East Ama station (GS-AME) of the seismic cone penetration tests. Green circles represent locations of boring stations from Nakatani *et al.* (2022). The gray dash line is the same as in the Fig. 1. The base map is the Digital Map 25,000 (Map Image) by GSI.



第4図 北阿万測線 (GS-AMN) の測線図。

黒太実線・黒数字は北阿万測線の受振点位置, 受振点番号を示す。基図に国土地理院発行数値地図 25,000 (地図画像) を用いた。灰色破線, 赤実線は第1図と同様。

Fig. 4 Seismic survey map of the North Ama survey line (GS-AMN).

The black solid line and numbers represent the locations and numbers of receiver stations of North Ama survey line, respectively. The gray dashed and red solid line are the same as in the Fig. 1. The base map is the Digital Map 25,000 (Map Image) by GSI.

法地震探査・表面波探査・微動観測の合計4種類の調査に要する時間を短縮するために、以下の要領で収録した。まず、水平動受振器を192点設置し、S波反射法地震探査の発震を測点番号の小さい方から96点実施する。その後、測点番号が偶数の点のみ上下動受振器に付け替えて、P波反射法地震探査の発震を番号の大きい方から48点実施する。次に表面波探査の発震を番号の小さい方から48点実施し、最後に微動を30分程度収録した。微動観測後、受振器を96点展開移動して、表面波探査、P波反射法地震探査、微動観測を実施し、受振器を全て水平動受振器に付け替えてS波反射法地震探査を実施した。このように同じ展開の際に受振器を付け替えて4種類の調査を全て実施した後で展開移動をして測定を進めた。8日間の探査で取得したデータは、S波反射法地震探査、P波反射法地震探査、表面波探査、微動観測でそれぞれ総ファイル数4,047個、2,020個、2,027個、265個であった。

4.1.2 北阿万測線 (GS-AMN)

北阿万測線では2023年2月24日から25日にかけてP波反射法地震探査・微動観測を実施した。北阿万測線は、兵庫県南あわじ市北阿万筒井地区の当麻夫人墓近くの農道・市道に設定した(第1, 4図)。測線は県道76号線から始まり、農道を東に進み、別当池まで続く。測線の総延長は330m、総受振点は166点とした(第1表, 第1, 4図)。測線の方向は概ね西-東で、測点標高は36.1m~43.7mであった。北阿万測線は水野・吉岡(1996)で実施された反射法地震探査測線P1, P2(第1図)の中間に位置し、和泉層群が露出している当麻夫人墓に近い場所に設定した。測線はアスファルトで舗装されていたが、道路路肩は土であったため、受振器のスパイクを路肩に刺して測定を行った。

北阿万測線のP波反射法地震探査の受振器は166点を同時に設置し、固定展開で測定した。測定1日目(2月24日)で微動を含めた全ての発震・収録作業は終わったが、その日は雨が降っており、雨粒が受振器に当たってノイズになったため、天候の回復した2日目に再度発震・収録作業を行った。今後の解析には1日目・2日目両方のデータを使用する。2日間の現地探査で取得したデータ数は、P波反射法地震探査、微動収録でそれぞれ総ファイル数1,666個、122個であった。

4.2 サイスマックコーン貫入試験

本調査は地震探査の南側線に沿って2023年3月1日から4日までの4日間で実施した。第2表に探査諸元、第3図に調査地点位置を記す。湊-本庄断層推定位置の西側に位置する調査地点を西阿万地点(GS-AMW, 中谷ほか, 2022のGS-AMN-1に相当)、東側に位置す

る調査地点を東阿万地点(GS-AME, 中谷ほか, 2022のGS-AMN-2に相当)とよぶ。サイスマックコーン貫入試験は中谷ほか(2022)でボーリング調査が実施された私有地と同じ場所で実施したが、反射法地震探査の測線になるべく近い場所に調査位置を設定したため、ボーリング掘削地点と完全には一致しない(第3図)。

第5図にサイスマックコーン貫入試験の様子を記す。本調査に用いたCPTU(電気式コーン貫入試験)プローブは、先端抵抗 q_c 、周面摩擦 f_s 、間隙水圧 u の三成分を1秒間隔で得ることができることに加えて波形データを収録することができる。また、これらの地盤力学特性値を用いて、地盤の土質区分、換算 N 値などを推定することもできる。また、プローブ内には傾斜計、温度計も内蔵されている。CPTUプローブはロッド先端に装着し、貫入装置を使用して地中に貫入する。本調査に用いた貫入装置CPT6610DT(Geoprobe Systems製)は、重さ2.2t、貫入力は最大160kNで、CPTUプローブを1秒間に2cmずつ圧入するように設計されている。また、反力を得て貫入力を発揮するために、地面にスクリーアンカーを施工して反力装置を設置した。静的圧入による調査では、礫や硬質層にぶつかった際CPTUプローブを圧入できなくなるため、その場合は、貫入機の掘削装置と泥水ポンプを用いて掘削を行い、礫や硬質層の下位から調査を再開することにした。サイスマック試験はCPTUの貫入を0.5mごとに中断し、地表面に設置した木の板を掛矢で両方向から打撃し、CPTUに内蔵されているジオフォンで波形を収録した。掛矢にはハンマースイッチを取り付けて、収録トリガをかけた。発震回数は各深度で波形を確認しながら、深くなるほど回数を増やし、両方向から2~10回ずつとし、データは300ms収録した。サイスマックコーン貫入試験は、CPTUプローブを圧入可能な範囲のみ調査することができるので、中谷ほか(2022)の柱状図を参考にして、目標深度はGS-AMWでは20m、GS-AMEでは10mに設定した。以下にそれぞれの地点におけるデータ取得状況に関して述べる。

4.2.1 西阿万地点 (GS-AMW)

西阿万地点は2023年3月1日から2日までの2日間で実施した。深度0mからCPTUを開始し、深度0.5mから0.5mごとに、深度17.0mまでサイスマック試験を実施した。深度17.24m付近で礫層にぶつかり、貫入できなくなった。CPTUプローブ先端が礫に当たって角度が急変したため、測定を中断し、ロッドを地表まで戻した。その後、深度17.5mまで掘削を実施し、再度ロッドを掘削孔に降ろした。深度17.46mからCPTUを再開したところ、深度17.8mで再度礫層にぶつかり貫入できなくなったため、その位置でサイスマック試験を

第2表 サイスマックコーン貫入試験における調査諸元。

Table. 2 Field parameters for the seismic cone penetration test.

測点名	西阿万地点	東阿万地点
調査地区	兵庫県南あわじ市阿万西町私有地(駐車場)	兵庫県南あわじ市阿万西町私有地(畑)
調査期間	2023年3月1日から3月2日	2023年3月3日から3月4日
貫入機	CPT6610DT (Geoprobe Systems製)	CPT6610DT (Geoprobe Systems製)
収録装置	HT-0590-160 FCS(Vertek製)	HT-0590-160 FCS(Vertek製)
CPTU実施深度	0-17.24m, 17.46-17.80m	0-5.84m, 5.84-7.26m, 7.26-9.21m, 9.39-10.20m, 10.52-12.31m
CPTU記録間隔	2 cm	2 cm
サイスマック試験実施深度(m)	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 7.5, 8.0, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0, 10.5, 11.0, 11.5, 12.0, 12.5, 13.0, 13.5, 14.0, 14.5, 15.0, 15.5, 16.0, 16.5, 17.0, 17.8	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.36, 6.0, 6.25, 6.5, 7.0, 7.26, 8.0, 8.5, 9.0, 9.5, 10.0, 10.2, 11.0, 11.5, 12.0, 12.31
削孔深度	0-17.5 m	0-5.98m (打撃), 0-7.86m, 0-9.4m, 0-10.55m
震源	掛矢	掛矢
総発震点数	1000	846
発震間隔	0.5 m	0.5 m
発震回数	左右両側から2回ずつ(0.5m), 3回ずつ(1.0m, 1.5m) 5回ずつ(2.0-10.0m), 10回ずつ(10.5-17.8m)	左右両側から2回ずつ(0.5m), 3回ずつ(1.0m, 1.5m) 5回ずつ(2.0-5.0m), 10回ずつ(5.5-12.31m)
測量装置	Trimble R10 GNSS	Trimble R10 GNSS

実施して測定を終了した。西阿万地点においてサイスマック試験を実施した深度は第2表に記載した。2日間の探査で取得した波形データの総ファイル数は1,000個であった。

ク試験を実施した深度は第2表に記載した。2日間の探査で取得した波形データの総ファイル数は846個であった。

5. 取得データ

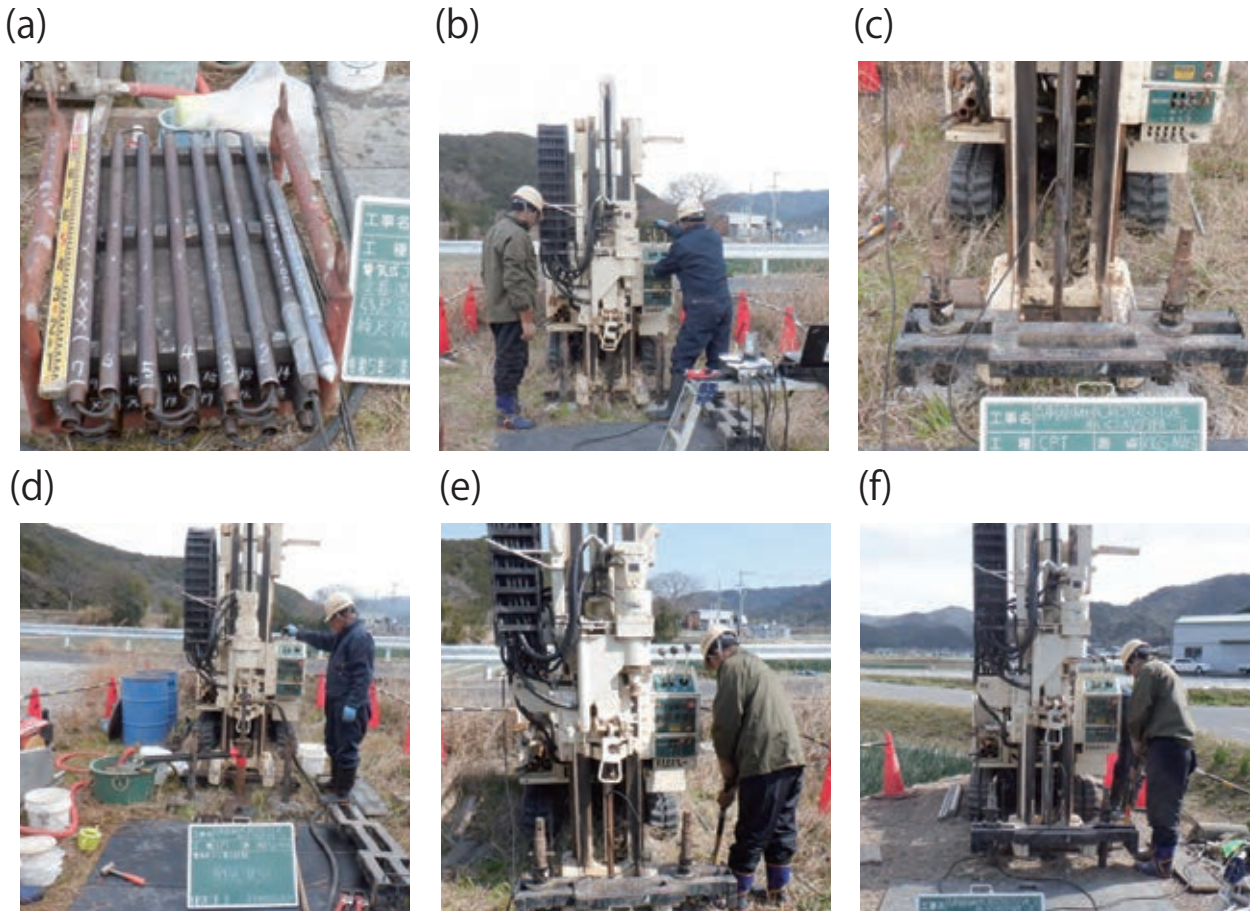
4.2.2 東阿万地点 (GS-AME)

東阿万地点は2023年3月3日から4日までの2日間で実施した。深度0 mからCPTUを開始し、深度0.5 mから0.5 mごとに、深度5.5 mまでサイスマック試験を実施した。深度5.84 m付近で礫層にぶつかり、貫入できなくなったので、専用ロッドによるマシン打撃（パークッション機能）により、深度5.98 mまで礫層を破壊し、深度5.98 mからCPTUを再開した。その後、深度7.26 mで再度礫層にぶつかり、貫入できなくなったので、深度7.86 mまで掘削を実施した。深度7.26 mからCPTUを再開したところ、深度9.21 mで礫層にぶつかったため、深度9.4 mまで掘削を実施した。さらに、深度9.39 mからCPTUを再開したところ、深度10.2 mで礫層にぶつかったため、深度10.55 mまで掘削した。最後に、深度10.52 mからCPTUを再開し、12.31 mで礫層に当たったので、その位置でサイスマック試験を実施して測定を終了した。東阿万地点においてサイスマック

以下にそれぞれの調査で取得したデータに関して説明する。なお、南阿万測線のS波・P波反射法地震探査の予備解析結果に関しては木下・伊藤（2023a）、北阿万測線のP波反射法地震探査の予備解析結果に関しては木下・伊藤（2023b）で公表予定である。

5.1 反射法地震探査

データ処理と表示には反射処理ソフトウェアのGLOBE Claritas (Petrosys, New Zealand)を使用した。DSS-12のフィールド取得データはSEG-2フォーマットなので、GLOBE Claritasで処理するためにClaritas extended SEG-Yフォーマットへ変換した。その後、同じ発震点の記録を並べて目視で確認し、ノイズが卓越するなどの不良トレースを除去し、ウィンドウ長1,000 msのダイバーシティスタックを用いて垂直重合した。第6, 7, 8図は南阿万測線におけるS波・P波反射法



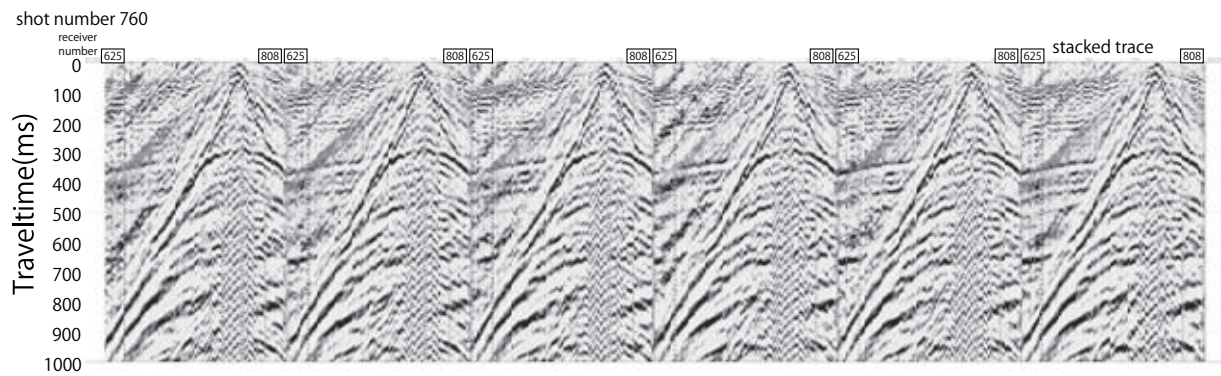
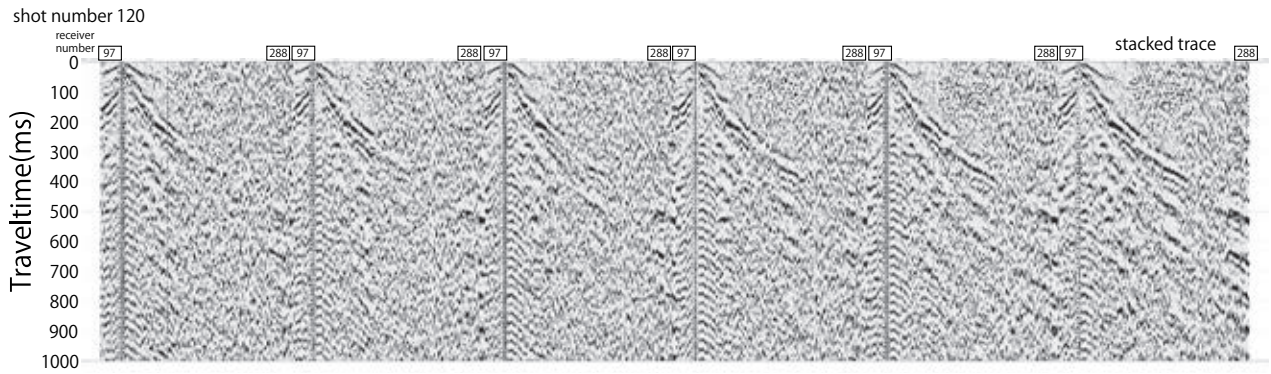
第5図 サイスマックコーン貫入試験の使用機材，調査の様子．(a) CPTUプローブとロッド．(b) 貫入機．(c) 反力装置．(d) 削孔．(e) 西阿万地点．(f) 東阿万地点．
 Fig. 5 Survey systems and field operations of the seismic cone penetration test. (a) CPTU probe and rods. (b) Penetrator. (c) Ground Anchors. (d) mud drilling. (e) West Ama survey point. (f) East Ama survey point.

地震探査，北阿万測線のP波反射法地震探査の原データを振幅調整して表示した例である．今回の探査では，人（徒歩），自転車，車の振動，強風，雨粒などが主なノイズ源となった．第6，7，8図の一番右は垂直重合後に振幅を調整したトレースを表し，垂直重合によってノイズが軽減して良好な記録になることがわかる．第9，10，11図は南阿万測線におけるS波・P波反射法地震探査，北阿万測線のP波反射法地震探査の原データを垂直重合後，振幅調整したショットギャザを表す．南阿万測線におけるS波・P波反射法地震探査は測点番号80，40ごとに，北阿万測線のP波反射法地震探査は測点番号20ごとに表示した．南阿万測線におけるS波反射法地震探査ではP波起源と想定される見かけ速度の大きい相があり，初動を認識することが難しい．10測点ごとに反対方向からも打撃したので，今後波形の差分を計算し，P波起源の相を確認しながら解析を進める必要がある．しかしながら，反射波と推定される振幅の大きい波群も複数認められる．多重反射の可能性もあるが，最大で往復走時800 msec程度までイメー

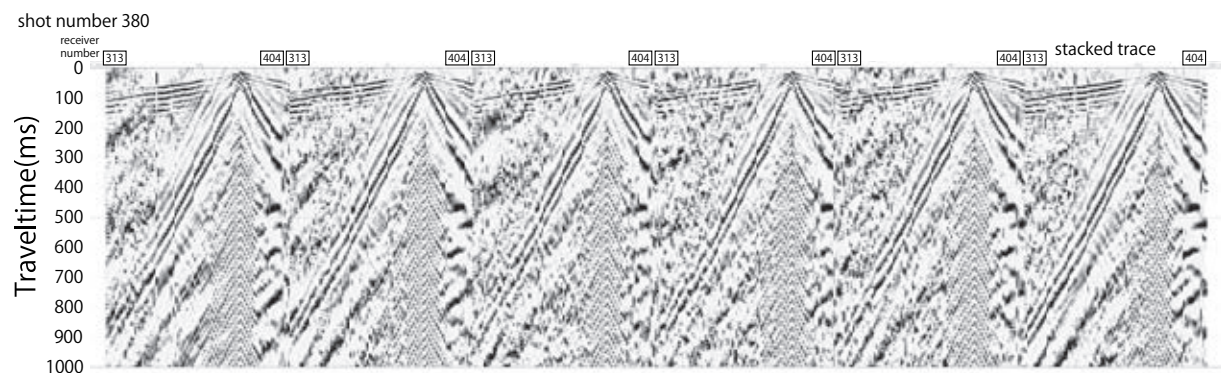
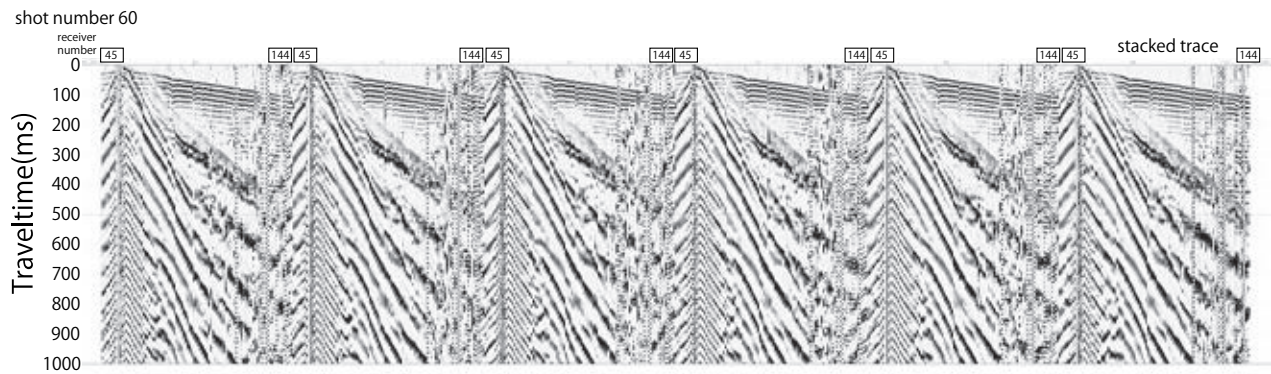
ジングできると期待される．南阿万測線におけるP波反射法地震探査では，見かけ速度約1,800～2,000 m/sの初動が最大オフセットまで到達している．また，見かけ速度約150～300 m/sの表面波が認められる．初動と同じ傾きの相が卓越しており，S波と比較して反射波ははっきりしないものの，一部の測点では反射波と推定される波群が認められる．北阿万測線におけるP波反射法地震探査では，見かけ速度約1,800 m/sの初動が最大オフセットまで到達している．また，見かけ速度約200～300 m/sの表面波が認められる．南阿万測線同様，初動と同じ傾きの相が卓越しており，特に測点番号の小さい西側では反射波ははっきりしないものの，東側では反射波と推定される波群が認められる．今後，通常のコモン反射点重合法（CMP重合法，Sheriff and Geldart, 1995など）を用いて処理を進める予定である．

5.2 表面波探査

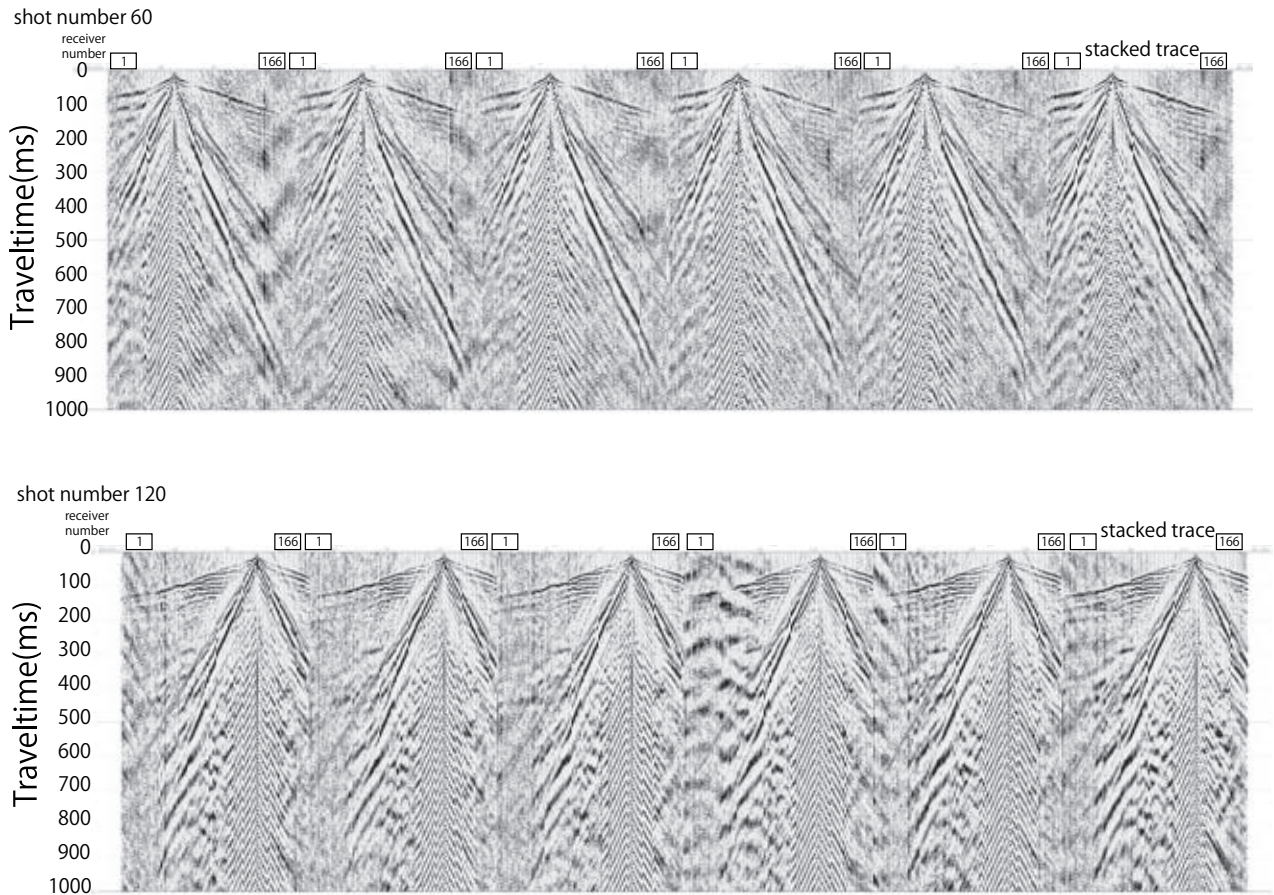
表面波探査のデータ処理には，今後表面波処理ソフトウェア SeisImager/2D（応用地質製）を使用する予



第 6 図 南阿万測線の S 波反射法地震探査における発震記録(発震点 120, 760). 横軸が受振・発震点で縦軸が往復走時を表す.
 Fig. 6 Examples of shot records at shot-number 120 and 760 for the S wave reflection survey on South Ama survey line. Horizontal and vertical axes are receiver channel and two-way traveltimes, respectively.



第 7 図 南阿万測線の P 波反射法地震探査における発震記録 (発震点 60, 380). 横軸・縦軸は第 6 図と同様.
 Fig. 7 Examples of shot records at shot-number 60 and 380 for the P wave reflection survey on South Ama survey line. Horizontal and vertical axes are the same as in Fig. 6.



第 8 図 北阿万測線の P 波反射法地震探査における発震記録（発震点 60, 120）。横軸・縦軸は第 6 図と同様。

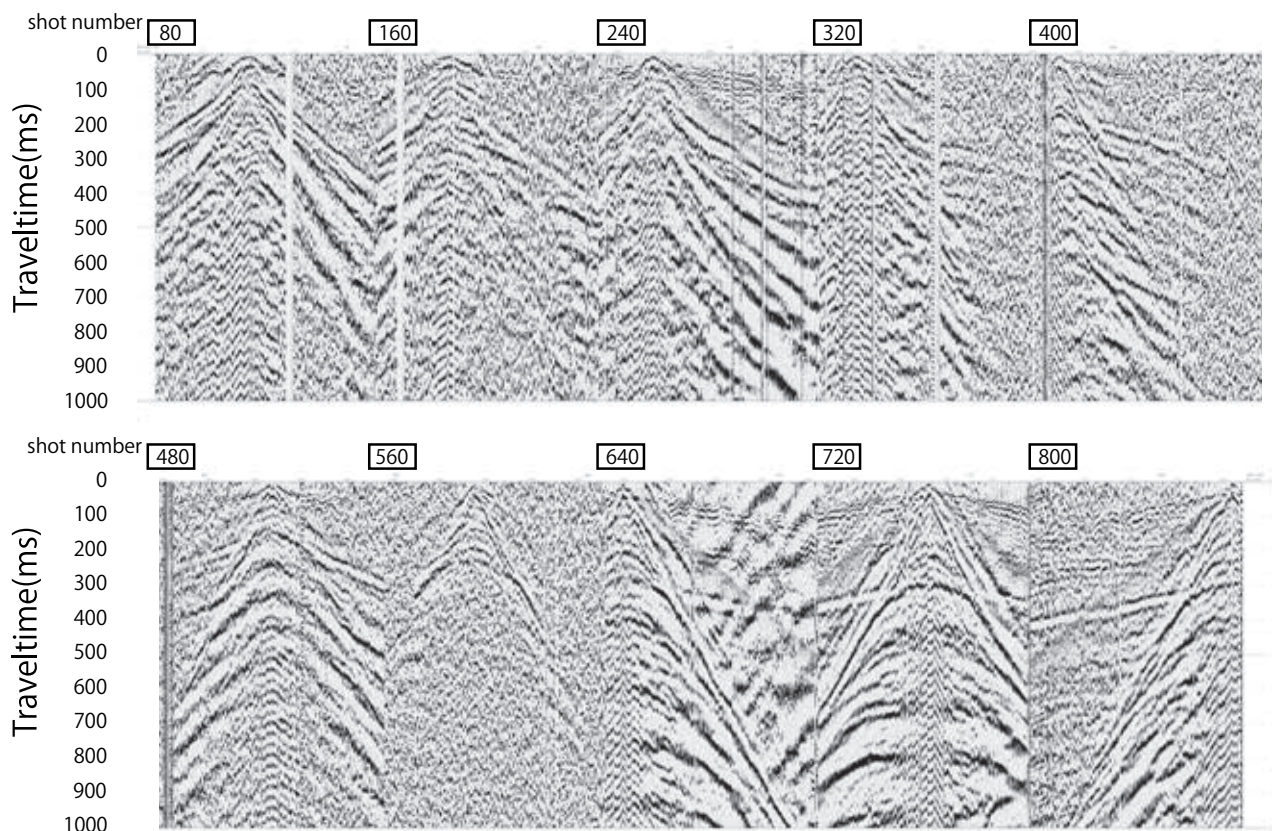
Fig. 8 Examples of shot records at shot-number 60 and 120 for the P wave reflection survey on North Ama survey line. Horizontal and vertical axes are the same as in Fig. 6.

定であるが、本稿では原データの確認のみ実施するため、データ処理と表示に GLOBE Claritas を使用した。取得データを SEG-2 フォーマットから Claritas extended SEG-Y フォーマットへ変換し、同じ発震点の記録を並べて目視で確認し、ノイズが卓越するなどの不良トレースを除去し、ウィンドウ長 1,000 ms のダイバーシティスタックを用いて垂直重合した。第 12 図は垂直重合後のトレースを振幅調整して測点番号 40 ごとに表示したショットギャザを示す。50 ms 程度までは実体波が卓越するが、その後見かけ速度約 150 ~ 300 m/s 程度の表面波が卓越している。強い風のためノイズが卓越する記録も多いので、適切なフィルタを適用する必要がある。今後、直達波やその後続波をミュートし、CMP クロスコリレーション解析 (Hayashi and Suzuki, 2004) を実施する予定である。また、南阿万測線の表面波探査と P 波反射法地震探査は、同じ展開で実施しているため、P 波反射法地震探査用に取得した油圧インパクトのデータで表面波探査の解析を実施、または表面波探査用に取得した掛矢のデータで P 波反射法地震探査の解析を

実施することが可能である。今後、異なる震源による探査深度の違いなども検討したい。

5.3 微動観測

第 13 図は現場で収録された微動の一例である。GLOBE Claritas を使用して、取得データを SEG-2 フォーマットから Claritas extended SEG-Y フォーマットへ変換して表示した。微動観測中は、車両の通行、強風などにより SN 比が小さい時間帯も多い。今後、SN 比の大きい時間帯のデータを抜き出し、2 点ずつ受振点をペアにして受振点間の表面波位相速度を推定し、地下の S 波速度構造を見積もる。時間の制約上、直線アレイに対して補助的に L 字や十字などの受振点を追加することはできなかったため、微動の到来方向が測線に対して直交する場合、位相速度の推定値が現実より大きくなる可能性がある (鈴木ほか, 2020 など)。そのため、実証実験的ではあるが、反射法地震探査、表面波探査などの結果と比較しながら解析を進める予定である。



第9図 南阿万測線のS波反射法地震探査における発震記録を垂直重合し、振幅調整を行った波形。縦軸・横軸は第6図と同じ。
Fig. 9 Stacked shot records with gain control after diversity stack of shot gathers for the S wave reflection survey on South Ama survey line. Horizontal and vertical axes are the same as in Fig. 6.

5.4 サイスマックコーン貫入試験

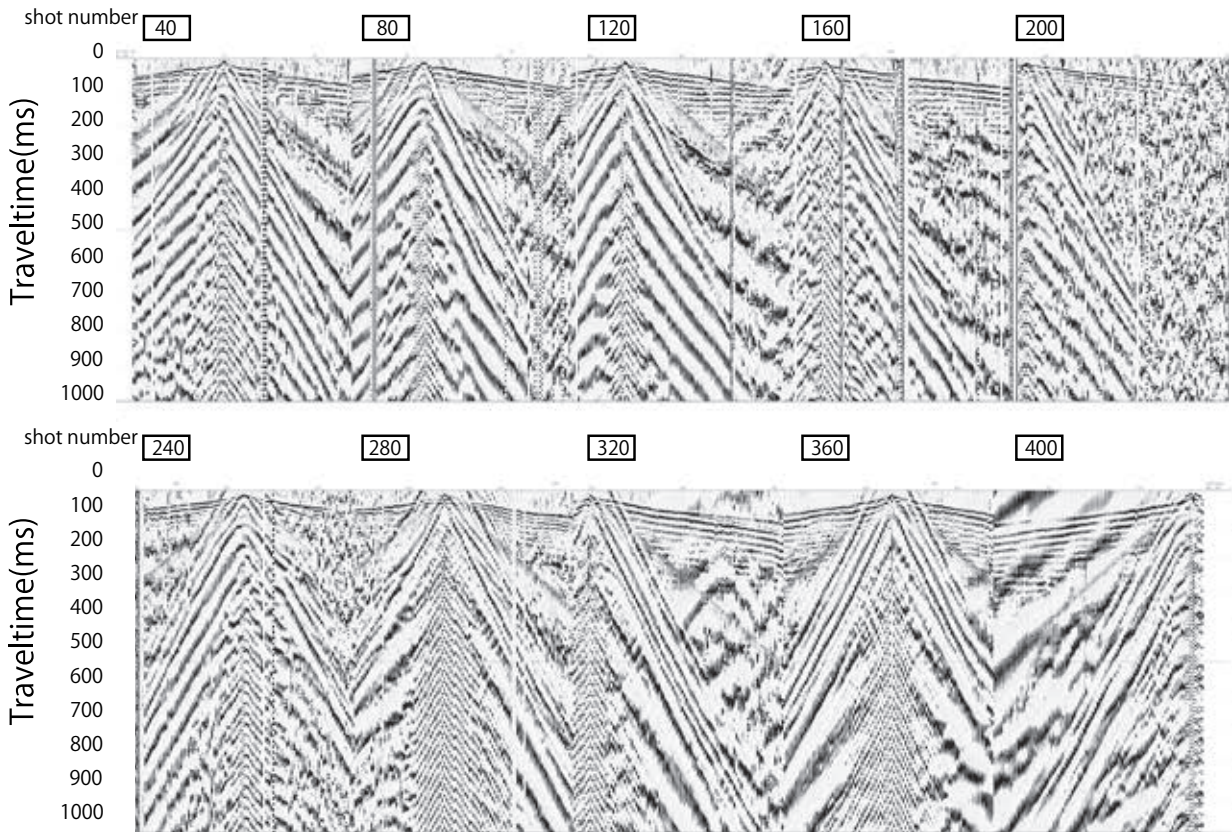
サイスマックコーン貫入試験の波形データはcsv形式で収録された。第14図に西阿万地点の原データの一例を示した。黒線は取得原データ、赤線は同じ深度、発震方向、センサーの波形をスタックしたものであるが、スタックによってノイズが軽減し、良好な記録になることがわかる。CPTUプローブ内のジオフォンの方位は未知であるため、板の右側、左側から発震した波形を、水平2成分それぞれスタックした後に、最大振幅方位を推定して合成する必要がある。今後、データ品質を確認し、初動読み取り、S波速度の推定、さらに可能であればVSP処理も実施する予定である。

6. まとめ

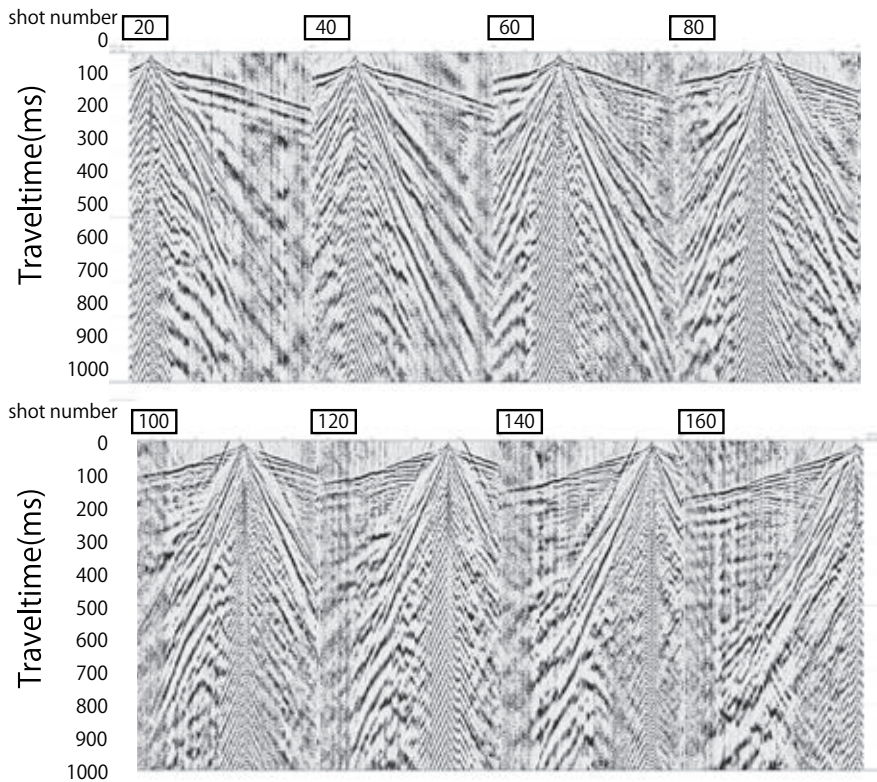
淡路島南西部に分布する湊-本庄断層の位置、地下の変形構造などを明らかにするために、兵庫県南あわじ市において浅部地下構造調査を実施した。南阿万測線(GS-AMS)においては、S波・P波反射法地震探査、表面波探査、微動観測を実施し、北阿万測線(GS-AMN)においては、P波反射法地震探査、微動観測を実施し

た。また、南阿万測線上の2ヶ所の私有地、西阿万地点(GS-AMW)と東阿万地点(GS-AME)においてサイスマックコーン貫入試験を実施した。全ての調査で良好なデータが得られたので、今後データ処理をすすめて、調査地域の地下浅部構造を明らかにしたい。

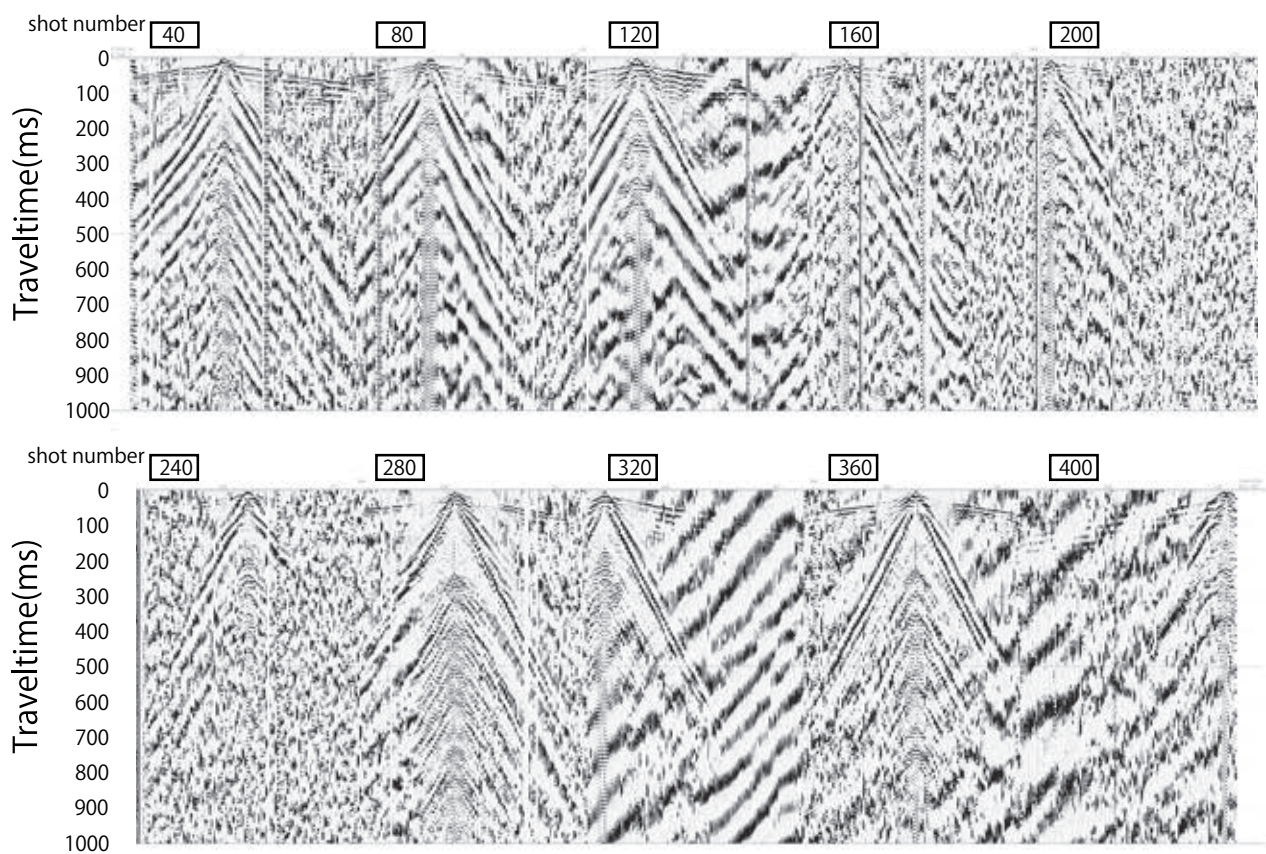
謝辞: 本調査の測線設定に際し地質情報研究部門の中谷是崇氏、水野清秀氏から助言をいただいた。また、稲崎富士氏にサイスマックコーン貫入試験に関する助言をいただいた。反射法地震探査、表面波探査、微動観測の実施にあたり、兵庫県南あわじ市役所(産業建設部建設課)、阿万西町の自治会長様、阿万東町の自治会長様、北阿万筒井地区の自治会長様、阿万市民交流センターの館長様にご協力いただいた。サイスマックコーン貫入試験の実施にあたり、調査地点の地主様に多大な便宜を図っていただいた。現地でのデータ取得に関しては(株)ジオシス、(株)地盤試験所にご協力いただいた。また、反射法のデータ処理と図の作成にはPetrosysのGLOBE Claritas、一部の図の作成にはQGIS、GMT(Wessel *et al.*, 2019)を使用した。記して感謝の意を表します。



第10図 南阿万測線のP波反射法地震探査における発震記録を垂直重合し、振幅調整を行った波形。縦軸・横軸は第6図と同じ。
 Fig. 10 Stacked shot records with gain control after diversity stack of shot gathers for the P wave reflection survey on South Ama survey line. Horizontal and vertical axes are the same as in Fig. 6.

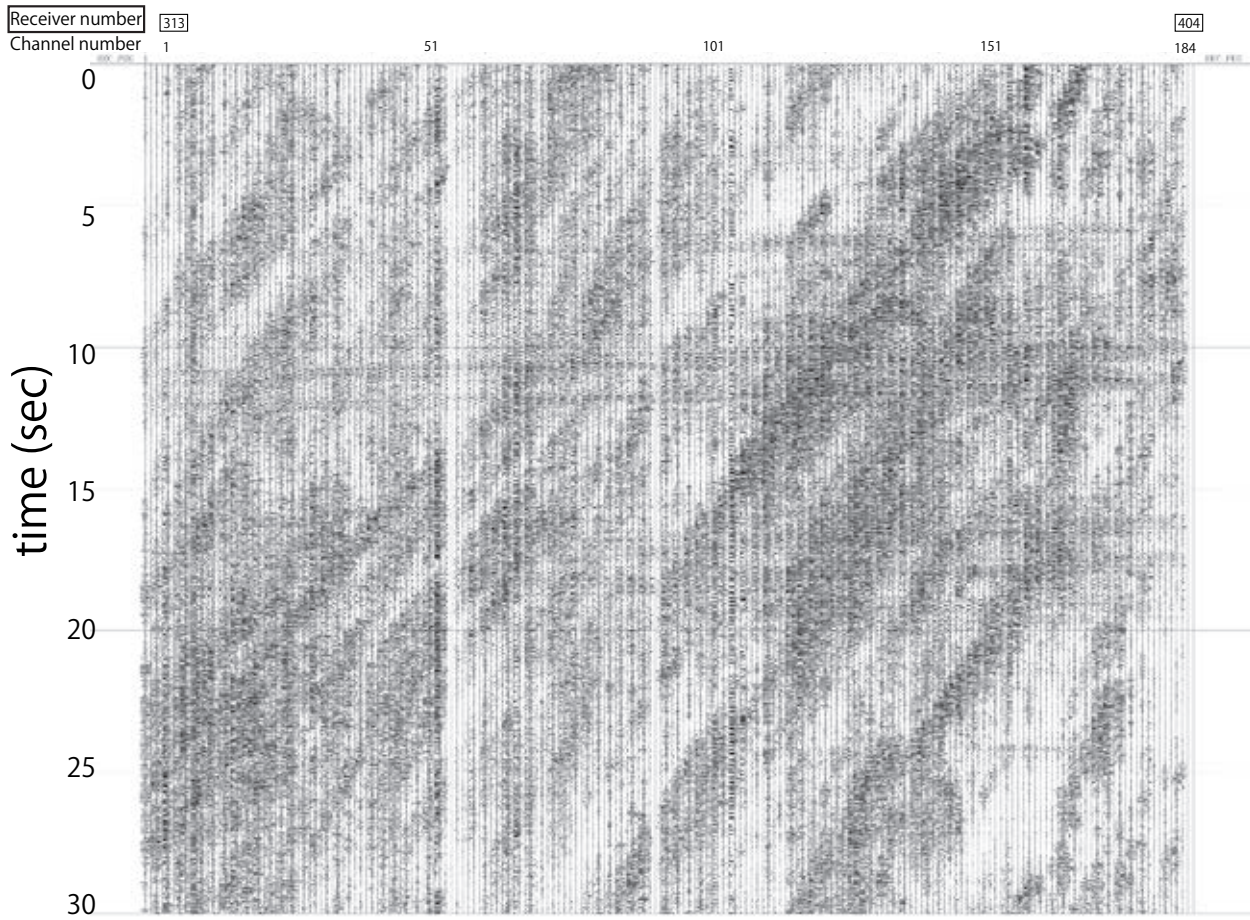


第11図 北阿万測線のP波反射法地震探査における発震記録を垂直重合し、振幅調整を行った波形。縦軸・横軸は第6図と同じ。
 Fig. 11 Stacked shot records with gain control after diversity stack of shot gathers for the P wave reflection survey on North Ama survey line. Horizontal and vertical axes are the same as in Fig. 6.



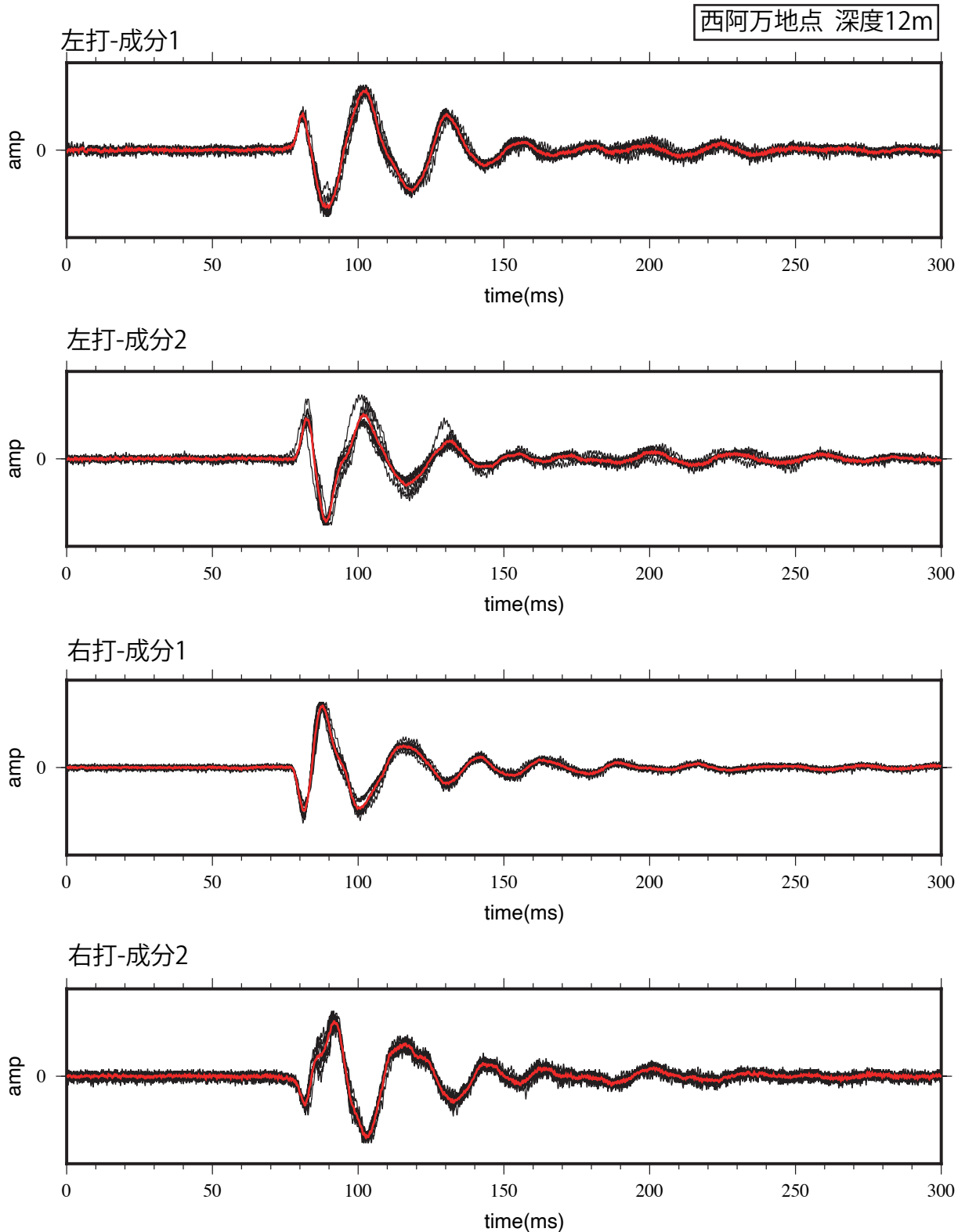
第 12 図 南阿万測線の表面波探査における発震記録を垂直重合し，振幅調整を行った波形．縦軸・横軸は第 6 図と同じ．

Fig. 12 Stacked shot records with gain control after diversity stack of shot gathers for the surface wave survey on South Ama survey line. Horizontal and vertical axes are the same as in Fig. 6.



第 13 図 微動観測の原記録例。縦軸が時間，横軸が受振点を表す。

Fig. 13 Examples of raw traces at all receivers for the microtremor survey. Vertical and horizontal axes are time and receiver points, respectively.



第 14 図 サイスマック試験の波形例。縦軸は振幅，横軸が時間を表す。

Fig. 14 Examples of raw traces of seismic cone penetration tests. Vertical and horizontal axes are amplitude and time, respectively.

文 献

- 物理探査学会 (2016), 物理探査ハンドブック増補改訂版.
- Hayashi, K. and Suzuki, H. (2004) CMP Cross-Correlation Analysis of Multi-Channel Surface-Wave Data. *Exploration Geophysics*, **35**, 7–13. <https://doi.org/10.1071/EG04007>. (2023年10月23日確認)
- 兵庫県 (1982): 土地分類基本調査「由良・鳴門海峡」, 表層地質図(5万分の1)ならびに同説明書. 兵庫県, 75p.
- 稲崎富士・長沢政和・阿部昌彦 (1989), VSP を利用した浅部地盤の評価, 日本応用地質学会講演予稿集, 93–96.
- 稲崎富士・加野直巳 (2020), PS 検層をめぐる技術的過大(その5), サイスマックコーンを用いた高精度 S 波 VSP と高分解能 S 波反射法断面との対比, 物理探査学会第 143 回学術講演論文集, 201–204.
- 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, 440p.
- 木下佐和子・伊藤 忍 (2023a), 兵庫県南あわじ市阿万地区における S 波・P 波反射法地震探査の実施, 日本地震学会 2023 年度秋季大会.
- 木下佐和子・伊藤 忍 (2023b), 兵庫県南あわじ市における浅部反射法地震探査の実施, 物理探査学会第 149 回学術講演会講演論文集.
- 木下佐和子・伊藤 忍・山口和雄 (2023): 反射法地震探査による西三河平野南西部の浅部地下構造, 海陸シームレス地質情報集「伊勢湾三河湾沿岸域」.
- 牧本 博・利光誠一・高橋 浩・水野清秀・駒澤正夫・志知龍一 (1995): 20 万分の 1 地質図「徳島」. 地質調査所.
- 水野清秀・吉岡敏和 (1996): 淡路島南西部, 湊一本庄断層のボーリング, 浅層反射法弾性波探査等による活動調査(平成7年度活断層調査報告 no. 10), 地質調査所研究資料集, no. 234.
- 中谷是崇・羽田裕貴・水野清秀・中島 礼 (2022): 兵庫県淡路島南部における湊一本庄断層付近の第四系ボーリング調査, 地質調査総合センター速報 no. 83, 令和3年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, p.61–76.
- 西田 薫・高村 透・渋谷 啓 (1999), サイスマックコーン試験の方法と調査例, 土と基礎, **47**, 34–36.
- 岡田篤正・楮原京子・熊原康博・澤 祥・廣内大助 (2014), 1:25,000 都市圏活断層図「鳴門海峡」, 国土地理院技術資料. D1-no. 719.
- 岡田篤正・熊原康博 (2014): 1:25,000 都市圏活断層図六甲・淡路島断層帯とその周辺「洲本」「由良」「鳴門海峡」解説書. 国土地理院技術資料 D1-no. 722, 30p.
- R. E. Sheriff and L. P. Geldart, “*Exploration Seismology*”, 2nd Edition, Cambridge University Press, Cambridge, 1995. doi:10.1017/CBO9781139168359.
- 鈴木晴彦・小西千里・谷田貝 淳・佐藤 将・小河原敬徳・櫻井 健・甲斐田康弘・鈴木 徹・高橋広人・稲崎富士 (2020), 2次元微動アレイ探査を用いた深部地盤構造探査つくば市における適用例, 物理探査, **73**, p. 209–217.
- Wessel, P., Luis, J. F., Uieda, L., Scharroo, R., Wobbe, F., Smith, W. H. F., and Tian, D. (2019). The Generic Mapping Tools version 6. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **20**, 5556–5564. <https://doi.org/10.1029/2019GC008515>. (2023年10月23日確認)
- 山口和雄・伊藤 忍・木下佐和子 (2019), 反射法地震探査による九十九里平野沿岸陸域の浅部地下構造. 海陸シームレス地質情報集「房総半島東部沿岸域」. 36p.

地質調査総合センター速報 No. 85

令和4年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告

発行日 令和5年12月8日

発行 国立研究開発法人産業技術総合研究所

地質調査総合センター

〒305-8567

茨城県つくば市東1-1-1 中央7群

印刷 株式会社アイネクスト

本紙掲載記事の無断転載を禁じます

