

# 伊勢湾沿岸域における反射法音波探査の追加調査, データベース化の概要

## Preliminary results of the additional seismic reflection survey and the database in the coastal sea area of Ise Bay, Japan

佐藤智之<sup>1\*</sup>・鈴木克明<sup>1</sup>・古山精史朗<sup>2</sup>

SATO Tomoyuki<sup>1\*</sup>, SUZUKI Yoshiaki<sup>1</sup> and FURUYAMA Seishiro<sup>2</sup>

**Abstract:** Additional seismic reflection survey was conducted in Ise Bay based on the results of the surveys in 2017. We obtained seismic data to clarify the structures and the formation processes of the channels developed on the uplift side of the Shiroko-Noma Fault, the plateau-like structure where the upper surface of the A layer is higher than the surrounding area, and the structure off the Ise plain. We created a script that automatically creates polygons with seismic-section images attached, and that enables them to be three-dimensionally displayed in a kml viewer such as Google Earth. We created a database that can display the survey results since 2017 in three dimensions using it.

**Keywords:** seismic reflection survey, Ise Bay, Ise Bay fault group, active fault, coastal area, data display

### 要 旨

2017年度からの調査に基づき、伊勢湾にて反射法音波探査を追加で実施した。白子一野間断層の隆起側に発達するチャンネルやA層上面が周囲より高い“台地”状の箇所、伊勢平野沖の構造を明らかにするための地下断面を得ることができた。断面画像を張り付けたポリゴンを自動作成し、Google Earthなどのkmlビューアで三次元表示できるようにするスクリプトを作成し、2017年度以降の調査結果を三次元で一元表示できるデータベースを作成した。

### 1. はじめに

産業技術総合研究所地質調査総合センターの重点プロジェクトの一つである「沿岸域の地質・活断層調査」の一環として2017年度から3カ年で伊勢湾周辺の調査を行っている。海底地質図作成のための調査として、2017年度に地域の概要を把握すべく伊勢湾および三河湾全域を対象に反射法音波探査を実施した(佐藤・古山, 2018)。2018年度には、層序対比・年代測定のために伊勢湾中央部で掘削を行い(天野ほか, 2019)、活断層を精査するためにより高精度の反射法音波探査を行った(八木ほか, 2019)。それらの結果を踏まえ2019年度には、

地質図を完成させるために情報密度が不足していた地点を中心に反射法音波探査を追加実施した。

本報告では、追加実施した反射法音波探査の概要、および、これまでの探査記録を特別なソフトウェアを用いずに三次元表示できる形でデータベース化したのでその概要を報告する。

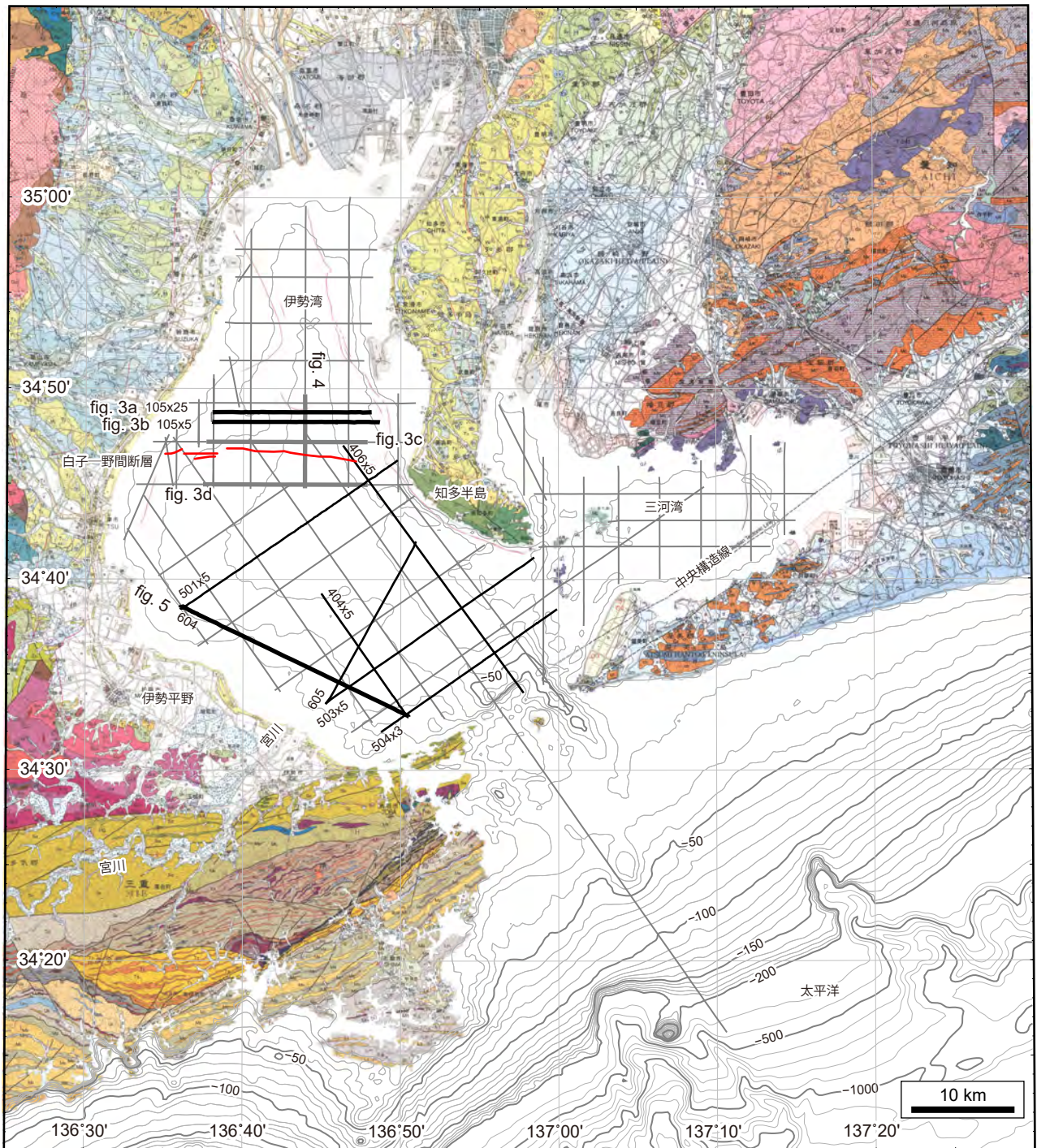
### 2. 地域概説

調査対象海域は伊勢湾および三河湾である(第1図)。伊勢湾は、南北約50 km、東西約30 kmで太平洋に対して南東側に開いた内湾である。湾の北部中央付近に南北に延び最大水深38 mの凹地があり、全体としてその凹地に向かって緩やかに傾斜する地形を示す。湾内では、地質調査所による音波探査(中条・高田, 1970)や重力探査(中条・須田, 1971, 1972)が1960年代になされ、桑原ほか(1972)はその結果をもとに伊勢湾断層、鈴鹿沖断層、白子一野間断層の存在を明らかにした。その後、東部の伊勢湾断層の詳細な調査(中部空港調査会, 1994; 豊蔵ほか, 1999; 岡田ほか, 2000)が行われたほか、海上保安庁水路部が湾全体にわたって音波探査およびボーリング調査(海上保安庁, 1996; 岩淵ほか, 2000)を行い、鈴鹿沖断層の正確な位置と変位速度を明らかにしている。そのほか、国土地理院

\*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)

2 東京海洋大学 学術研究院 海洋資源エネルギー学部 (Tokyo University of Marine Science and Technology, Department of Marine Resources and Energy)



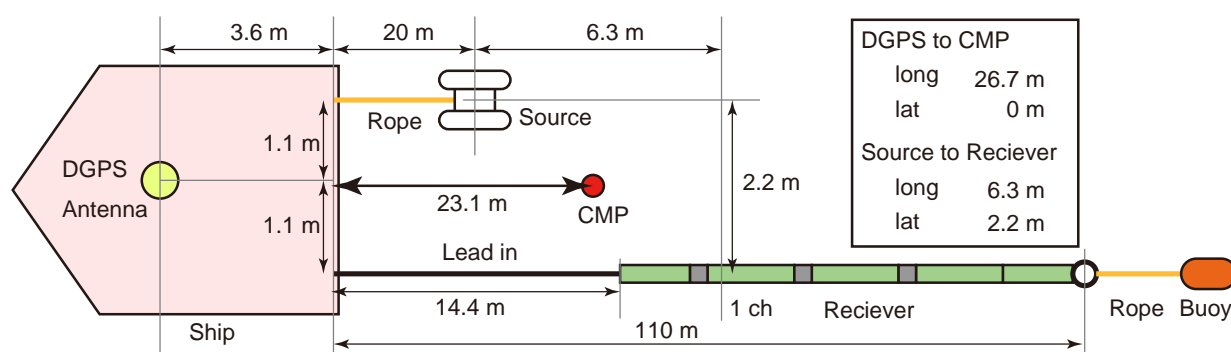
第 1 図 反射法音波探査測線図。黒線が 2019 年度、灰色線が 2017 年度に実施した反射法音波探査の測線を示す。それぞれの太線部は図 3 ~ 5 で参照した反射断面。陸域の地質図および海域の活断層は、牧本ほか (2004)、水野ほか (2009) および西岡ほか (2010) に基づく。

Fig. 1 Line map of the seismic survey. Black and gray lines represent the positions of the seismic lines obtained in 2019 and 2017, respectively. Broad parts of the lines represent the positions of the seismic sections referred in following figures. Geology in land and active faults in marine are based on Makimoto *et al.*, (2004), Mizuno *et al.*, (2009) and Nishioka *et al.* (2010).

も湾全域で音波探査を実施している (建設省国土地理院, 1973)。これら断層のうち、伊勢湾断層と白子-野間断層は伊勢湾断層帯として長期評価がなされている (地震調査研究推進本部, 2005)。

2017 年度の反射法音波探査によって暫定的に層序区分が行われており、下位から A 層, B 層, C 層と区分されている (佐藤・古山, 2018)。既存のボーリング調査 (海上保安庁, 1996) と対比することにより、C 層





第2図 反射法音波探査の探査機器設置図.  
Fig. 2 Equipment layout for the seismic reflection survey.

が上部更新統の熱田層から上部更新統の濃尾層，A層が完新統の南陽層とされている．B層については，チャンネル内部にのみ分布しボーリング資料との直接対比ができないため，上下関係からC層とA層の間とされている．

### 3. 調査方法

本研究の反射法音波探査は2019年10月1日から10月20日にかけて行った．発振装置はブーマー（Applied Acoustics Engineering社製AA251をCAT100に固定）を用い，出力は200 Jとした．受振用のストリーマケーブル（Geometrics社製GeoEel Solid）のチャンネル数は24，チャンネル間隔は3.125 mであり，発振間隔は1.56 mとした．収録長は0.25 sec，サンプリングレートは0.125 msecとした．位置情報については，調査船に設置したディファレンシャルGPS（Global Positioning System）を用いて発振ごとのアンテナ位置を得た．アンテナと共通反射点の距離は進行方向に約26.7 mであり，発振間隔が1.56 mなので，17発振分だけずらすことでアンテナと共通反射点の位置のずれを補正した（第2図）．

デジタル信号として受振した信号はオープンソフトウェアであるSeismic Unixを用いて以下のように処理を行った．まずバンドパスフィルタリング，直達波のミュート，ゲイン補償，デコンボリューションを行った．その後，速度解析と垂直動補正（Normal Move Out）を行って重合し，再びデコンボリューションとバンドパスフィルタリング，ゲインの正規化を行った．処理後のデータはSEG-Y形式，位置情報は重合後の共通反射点位置についてASCII形式で出力した．バンドパスフィルタの通過周波数などは調査結果ごとのノイズレベルに合わせて適宜調整したが，300 Hz～2,000 Hzを基本とした．そのため，音速を1,500 m/sとした場合の波長は5 m以下であり，垂直方向の分解能はその4分の1となることから1 m程度である．

総発振数は125,866であり，そこから計算した総測線長は合計197 kmである（第1図）．調査測線によっては調査工程，海況に応じて複数回に分けて観測を行った場合もある．その場合は重合後の共通反射点の位置を基準につなげ合わせて一つのデータとし，一連の断面として扱った．こうした断面の継ぎ目では，潮位や波浪条件の違いによって1 m未満の深度方向のずれや，ノイズレベルの違いが認められる．得た反射断面はpng形式のラスター画像に変換して解釈を行った．なお，ラスター画像化した断面の三次元表示データベースの作成方法については後述する．

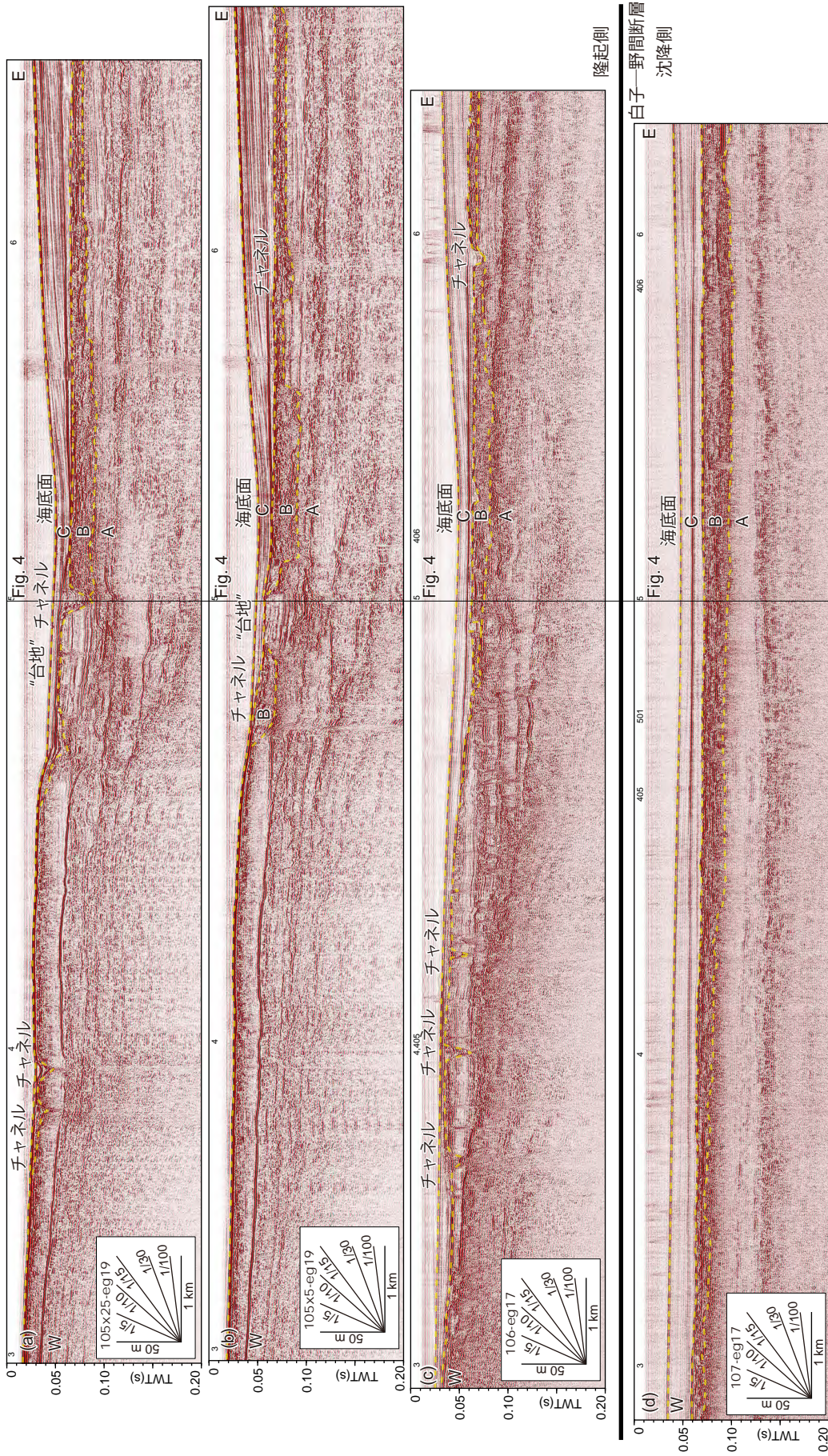
### 4. 追加調査地点

今年度調査した地点は，2017年度に取得した反射断面に基づいて決定した．以下にそれぞれの探査で狙った構造と得られた概要について報告する．

#### 4.1 伊勢湾中央部：白子－野間断層の隆起側に発達するチャンネル

まず，伊勢湾中央部やや北よりにおいて東西に2測線（第1図，第3図a, b）に沿って観測を行った．これらは白子－野間断層の北側の隆起側にのみ発達するチャンネル構造を狙ったものである．白子－野間断層を挟んでA層の上面深度が変化するが（第3図），隆起側では，沈降側よりも高いA層上面を削る大規模なチャンネルが発達しその内部だけにB層が堆積している（第3図a, b, c）．また，チャンネルの西側のA層が海底面直下に分布する地域でも，A層を削り込む小規模なチャンネルが数本発達している．これらのチャンネルは概ね南北に延びていると予想され，この分布を明らかにするため，105-eg17と106-eg17の間に測線を追加した．2測線の4分の1，および，中間の地点で観測したため，測線名については測線番号に小数を加えた．本来105.25-eg19と105.5-eg19とすべきところだが，後述

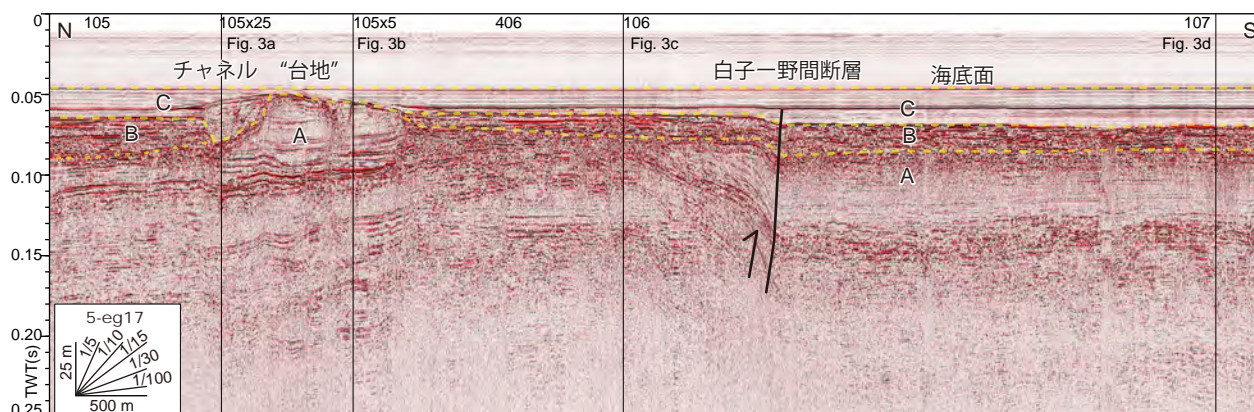




第3図 伊勢湾中央部を東西に横断する反射断面図。(a) 105x25-eg19, (b) 105x5-eg19, (c) 106-eg17, (d) 107-eg17.

Fig. 3 Transverse seismic section in the middle part of the Ise Bay. (a) 105x25-eg19, (b) 105x5-eg19, (c) 106-eg17, (d) 107-eg17. The positions of the sections are indicated in Fig. 1.





第4図 伊勢湾中央部を南北に横断する反射断面図(5-eg17). 断面の位置は第1図の灰色太線で示す.  
 Fig. 4 Longitudinal seismic section (5-eg17) in the middle part of the Ise Bay. The position of the section is indicated in Fig. 1.

する自動処理の際に，小数点を意味するピリオドがファイル名と拡張子の区切り文字と誤認されることを避けるためにピリオドをxに代えた。

また，この付近でA層上面が“台地”状に周囲より高い地点がある(第4図)。A層の内部構造がほぼ水平で，このA層上面の比高と整合的な変形は認められず，断層による隆起とは考えられない。この形成要因の解明も目指した。

新しく得た断面でも，A層を削り込むチャネルが認められた(第3図a, b)。また，“台地”の東西断面も得られ，その三次元構造についての情報が得られた。この“台地”は円形と推測していたが，大規模チャネルの西側の壁につながる様子を示し(第3図a)，東西に延びた形状を示す可能性が高い。この地域の20mの等水深線が東に張り出している(第1図)こととの関連性が示唆される。今後，詳細な解析によって，チャネルの分布と連続性と合わせ，この“台地”の形状・成因を論じていきたい。

#### 4.2 伊勢湾南部：伊勢平野沖の構造

湾南部ではもともと測線密度が低かったが，伊勢平野の南縁において中央構造線に関連して断層の発達が予想されること，知多半島沿いにみつかったチャネルと伊勢平野およびそこに発達する河川との関係が不明瞭なことが課題として残っていた。そのため，湾南部にて2017年度の調査測線の間を探索することで，測線密度を増やした。ただ，最南部では定置網が特にたくさん設置されており，海岸付近の調査が限られてしまった。

2017年度の測線の間設定した測線については，上述の伊勢湾中央部の場合と同様に2017年度の測線名に小数を付して命名した。伊勢平野の海岸線に平行，および，直交に設定した測線は，他と方向性の異なる

測線としてそれぞれ，604-eg19，605-eg19とした。

今回得た断面では，宮川沖に幅2km，厚さ20msec(往復走時，音速を1,500m/sと仮定して15m程度)でC層が分布している他は，概ねA層が海底面直下に分布し，湾北部で認められるようなチャネルは認められなかった(第5図)。B層が埋積する大規模なチャネルが発達する湾北部との比較や，断層による変位を考慮に入れたうえで地形発達も含めた地史復元，および，その形成要因について今後検討していきたい。

#### 5. データベース化

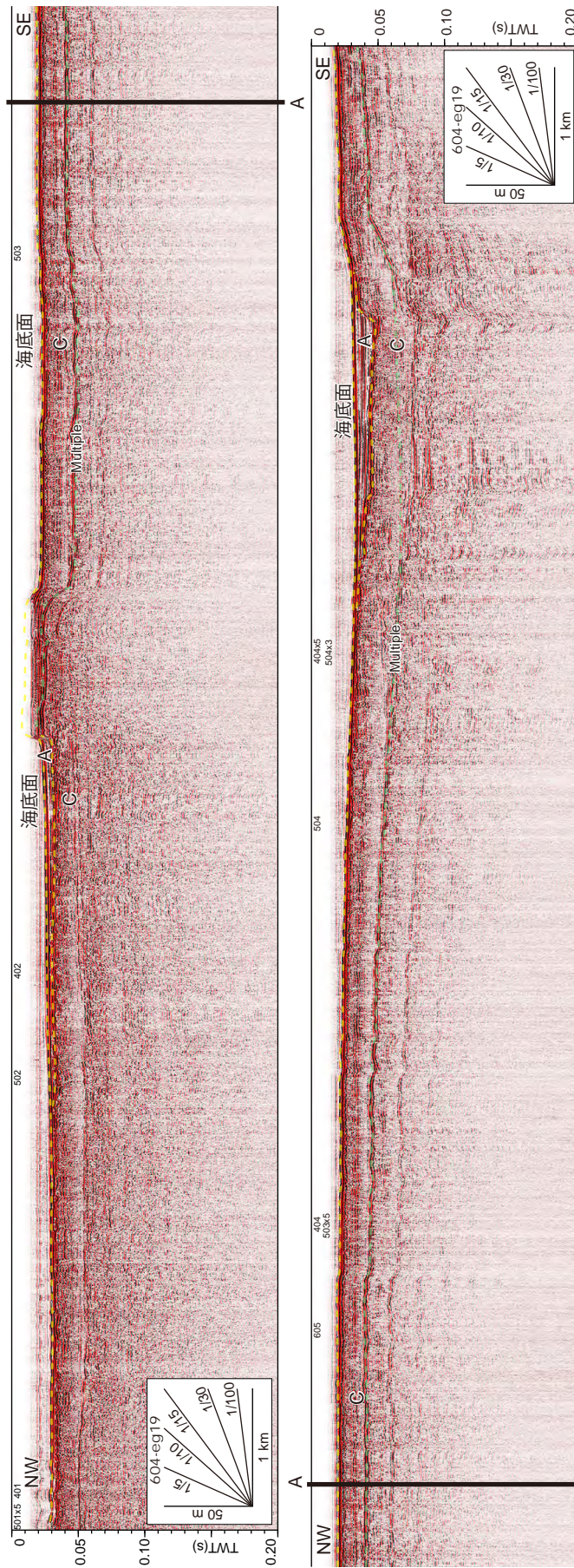
2017年度以降得た地質情報について，データベース化したので以下に概要を報告する。得たデータは地質図を書くために解釈するためにも，地質図公開後にその根拠として公開するためにも，閲覧しやすい形で整っていると利便性が高い。

反射法音波探査記録のデータベース化と簡易閲覧については，佐藤ほか(2012)による位置情報の圧縮，佐藤・荒井(2013)による断面のpng形式への変換と位置情報のkml化を自動で行うことによるGoogle Earth等による簡易閲覧がなされている。

今回新たに，断面のポリゴン化によるGoogle Earthでの三次元閲覧システム(知的財産：産業技術総合研究所2020PRO-2477)を構築し，2017年度からの調査記録すべてを閲覧できる形に自動変換した(第6図a)。このシステムでは，調査で得られたASCII形式の位置情報とSEG-Y形式の反射断面から，Linuxのターミナルでスクリプトを一つ実行するだけでkmlへの変換が完全に自動で完了する。閲覧は生成されたファイルとGoogle Earthなどのkmlビューアだけでよい。

変換に関しては，まず測線の位置情報を佐藤ほか(2012)の方法で一定の精度を維持したまま間引き，そ

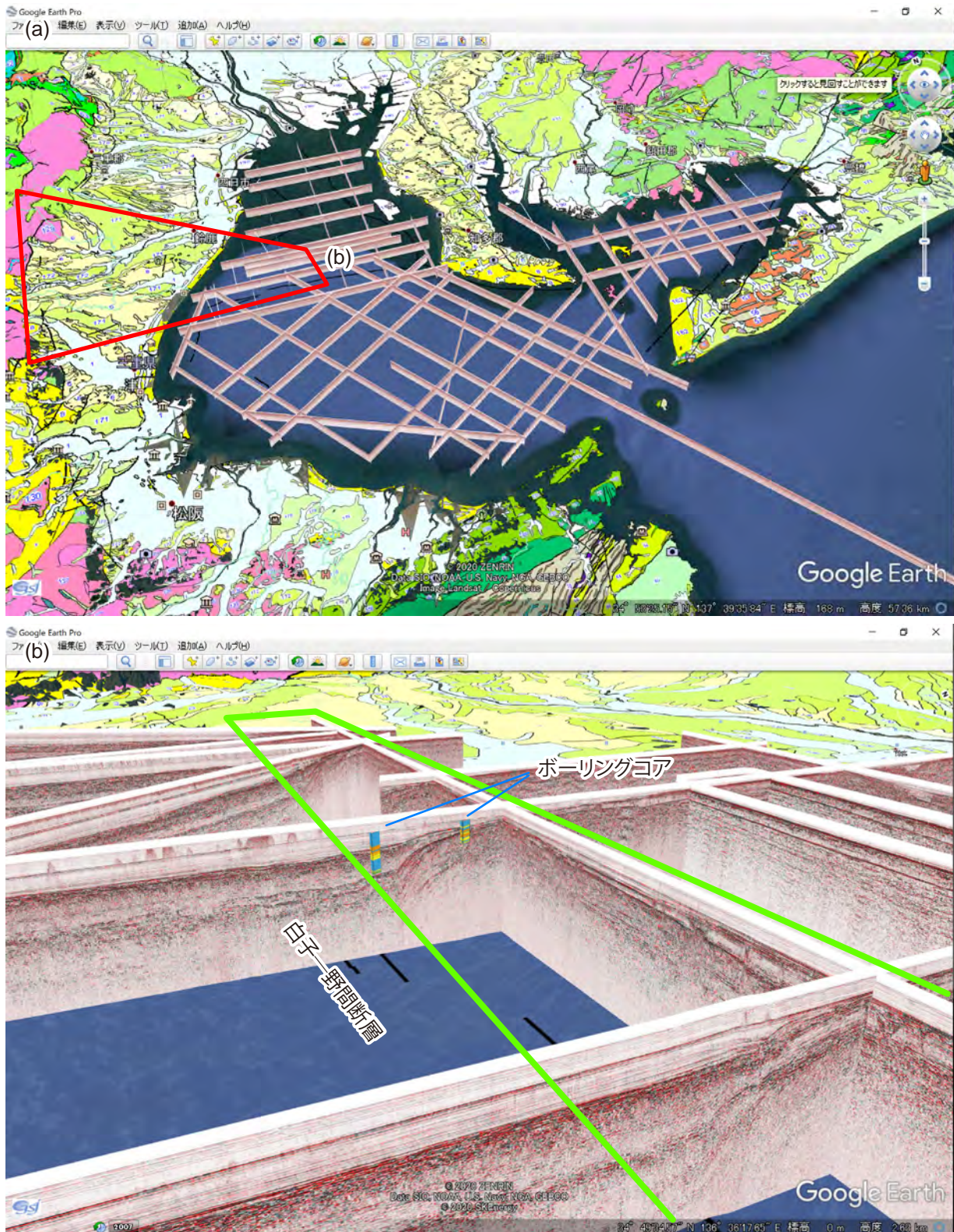




第5図 伊勢湾南部の伊勢平野海岸線に沿った反射断面図(604-eg19)。二つの反射断面は太線部(A)で連続する。断面の位置は第1図の黒色太線で示す。

Fig. 5 Seismic section (604-eg19) along the coastline of the Ise Plain in the southern part of the Ise Bay. The two sections are continued in the broad line(A). The position of the section is indicated in Fig. 1.

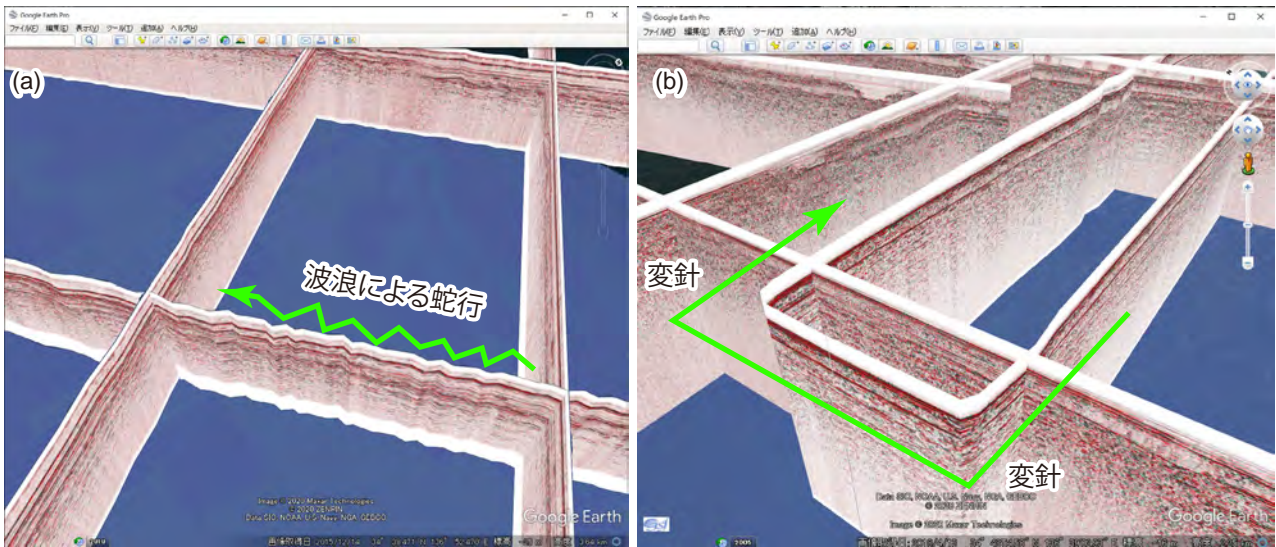




第 6 図 2017 年度から 2019 年度に取得したデータの三次元表示の例。(a) 全体図。(b) 白子 - 野間断層に沿った表示例。ボーリングコアの柱状図は天野ほか (2019)、陸上地質はシームレス地質図詳細版 (産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2015) に基づく。

Fig. 6 Three-dimensional display of the data obtained from 2017 to 2019. (a) General view. (b) The view along the Shiroko-Noma Fault. Columnar sections of the borehole cores are based on Amano *et al.* (2019) and geological map in land area is based on the detailed version of Seamless Digital Geological Map of Japan (1:200,000)(Geological Survey of Japan, 2015).





第 7 図 実際の航跡に沿った反射断面の三次元表示の例。(a) 波浪によって蛇行した例。(b) 変針した例。

Fig. 7 The examples of the three-dimensional display of the seismic sections along the actual track. (a) The example of the meandering due to the wave. (b) The example of the veering.

れをもとに測線上に立つ垂直の壁を COLLADA 形式のポリゴンとして作成する。そしてその壁に佐藤・荒井 (2013) と同様の方法で png 形式のラスター画像に変換した反射断面画像を外部リンクとしてテキストチャ貼り付けを行う。最後にそれらのテキストチャ付きポリゴンにリンクをつけた kml を生成する。

表示される断面画像については、相対パスで同じフォルダに存在する png 形式画像に外部リンクしてあるため、kml 作成後であっても、OS 上の通常動作で画像を差し替えて同じファイル名にするだけで閲覧時に表示される画像を差し替えることができる。また、作成されたファイルを一フォルダにまとめてさえあれば保存先や OS を問わず動作するため、データの受け渡しも簡単である。

断面は本来地中だが、それでは観察できないので上方にずらし上空に表示させている。スクリプト実行時に高さを指定することにより、表示される縦横比や、上空へのシフト量を調整できる。表示位置について、始点・終点だけではなく航跡そのものを利用して表示するため、避航や変針、船速変化をそのまま再現して表示できる (第 7 図) ため、蛇行に伴うノイズなどもわかりやすい。

また、掘削資料についても、掘削地点の位置と深度の情報を与えれば掘削地点に任意の画像を張り付けた三角柱のポリゴンを自動作成するスクリプトも作成した。これにより、反射法音波探査とボーリング調査の結果を三次元で同時に閲覧できるようになった (第 6 図 b)。

今回作成したデータベースによる三次元表示によ

て、活断層 (第 6 図 b) やチャンネルの空間分布が専用ソフトウェアなしで簡単に観察・把握できるようになった。仕様が公開されて一般的に利用されている kml 形式なので、データの受け渡しや閲覧に制限が少なく、20 万分の 1 シームレス地質図 V2 (産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2017) をはじめ、ほかの地理情報との同時表示も簡単に行える。

これは第一には研究用だが、外部研究機関・官公庁向けの情報公開や一般向けのアウトリーチでの活用も見込んでいる。これまで、地質図出版と同時に反射断面をその解釈図をウェブ公開してきたが、これに今回自動作成したポリゴンファイルと kml ファイルを加えることで、この閲覧データベースもウェブ公開する予定である。自動変換スクリプトに関しても、産業技術総合研究所の第 4 期中期計画の方針に合わせ知的財産として登録し、いつでも外部提供できる態勢を整えた。

## 6. まとめ

2017 年度と 2018 年度の調査結果をもとに伊勢湾にて反射法音波探査を追加実施した。白子-野間断層の隆起側に発達するチャンネルや A 層上面が周囲より高い“台地”状の箇所、伊勢平野沖の構造を明らかにするための地下断面を得ることができた。

また、断面画像を張り付けたポリゴンを自動作成し、Google Earth などの kml ビューアで三次元表示できるようにするスクリプトを作成し、2017 年度以降の調査結果を三次元で一元表示できるデータベースを作成した。閲覧にライセンス認証の必要な専用ソフトも不要で、



データの受け渡しがフォルダごとコピーするだけで可能である。

今後詳細な解釈を行い，これらの活構造の分布や活動性などを明らかにしていくとともに堆積層の区分，分布の詳細など層序についても解明し，地質図を作成する予定である。

**謝辞：**反射法音波探査の実施にあたり，船長，大和探査技術株式会社の調査員の方々には大変お世話になった。また，愛知県，愛知県漁連，三重県，三重県漁連および地元の各漁協をはじめとする関係機関には調査にあたり，便宜を図っていただいた。以上の方々に厚くお礼申し上げます。

## 文 献

- 天野敦子・清家弘治・大上隆史・田村 亨 (2019) 伊勢湾・三河湾の海洋堆積物採取調査の概要。平成30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. 79，1-11.
- 中部空港調査会 (1994) 中部新国際空港建設予定地における地象調査報告書。88p.
- 中条純輔・須田芳朗 (1971) 伊勢湾北部の重力分布とその考察。地質調査所月報，22，415-435.
- 中条純輔・須田芳朗 (1972) 伊勢湾南部と三河湾の重力分布とその考察。地質調査所月報，23，573-594.
- 中条純輔・高田康秀 (1970) 音波探査による知多湾の研究。地質調査所月報，21，187-218.
- 岩淵 洋・西川 公・野田直樹・川尻智敏・中川正則・青砥澄夫・加藤 勲・安間 恵・長田 智・角谷昌洋 (2000) 伊勢湾における活断層調査。水路部研究報告，36，73-96.
- 地震調査研究推進本部 (2005) 伊勢湾断層帯の評価。http://www.jishin.go.jp/main/chousa/02may\_ise/index.htm。2020年4月17日閲覧
- 海上保安庁 (1996) 大都市周辺海域活断層調査－伊勢湾海上作業及び解析処理作業－報告書。海上保安庁。
- 建設省国土地理院 (1973) 沿岸海域基礎調査報告書 (四日市・津地区)。建設省国土地理院，44P.
- 桑原 徹・松井和夫・吉野道彦・高田康秀 (1972) 伊勢湾と周辺地域の埋没地形と第四系－“沖積層”細分と伊勢湾の新しい沈降盆地化の問題－。地質学論集，no. 7，61-76.
- 牧本 博・山田直利・水野清秀・高田 亮・駒澤正夫・須藤定久 (2004) 豊橋及び伊良湖岬，20万分の1地質図幅。産業技術総合研究所地質調査総合センター。
- 水野清秀・小松原 琢・脇田浩二・竹内圭史・西岡芳晴・渡辺 寧・駒澤正夫 (2009) 名古屋第3版，20万分の1地質図幅。産業技術総合研究所地質調査総合センター。
- 西岡芳晴・中江 訓・竹内圭史・坂野靖行・水野清秀・尾崎正紀・中島 礼・実松健造・名和一成・駒澤正夫 (2010) 伊勢，20万分の1地質図幅。産業技術総合研究所地質調査総合センター。
- 岡田篤正・豊蔵 勇・牧野内 猛・藤原八笛・伊藤孝 (2000) 知多半島西岸沖の伊勢湾断層。地学雑誌，109，10-26.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2017) 20万分の1日本シームレス地質図 V2。https://gbank.gsj.jp/seamless/v2.html。2020年4月17日閲覧。
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター (2015) 20万分の1日本シームレス地質図詳細版。https://gbank.gsj.jp/seamless/kml/detailed.kml?lang=ja。2020年4月17日閲覧。
- 佐藤智之・荒井晃作 (2013) 日本周辺海域の反射断面データベースへの資源調査，広域調査データの追加。平成24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情報総合センター速報，no. 62，129-132.
- 佐藤智之・古山精史朗 (2018) 伊勢湾沿岸域における反射法音波探査の概要。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. 76，1-9.
- 佐藤智之・荒井晃作・岡村行信 (2012) 日本周辺海域の反射断面データベースの復旧と代替システムの構築。平成23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情報総合センター速報，no. 59，117-120.
- 豊蔵 勇・岡田篤正・牧野内 猛・堀川義夫・長谷川淳 (1999) 「中部国際空港」海域 (知多半島常滑市沖) の海底地形・地質。地学雑誌，108，589-615.
- 八木雅俊・坂本 泉・藤巻三樹雄 (2019) 伊勢湾に分布する白子－野間断層及び鈴鹿沖断層の位置・形状と活動履歴。平成30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. 79，13-27.