

大阪湾西部海域におけるブーマー音源を用いた反射法音波探査 Preliminary results of the multichannel seismic reflection survey in Osaka Bay, Japan

鈴木克明^{1*}・有元 純¹・大塚宏徳²・浜橋真理²
SUZUKI Yoshiaki^{1*} ARIMOTO Jun¹ OTSUKA Hironori² and HAMAHASHI Mari²

Abstract: Multichannel seismic reflection survey in the western part of Osaka Bay was carried out in 2020 using a boomer sound source. We obtained information on the flexural structure of the Osaka Bay Fault, as well as spatial distribution and sedimentary structure of the Holocene and late Pleistocene deposits above the Upper Osaka Group strata. These acoustic evidences provide clues to reveal the fault movements and sedimentation history in Osaka Bay during the late Quaternary. We are planning to continue the survey in the whole Osaka Bay area.

Keywords: Osaka Bay, seismic survey, active fault, Alluvium

要 旨

2020年度に大阪湾西部においてブーマー音源を用いた反射法音波探査を実施した。これまで詳細が分かっていなかった更新世後期以降における大阪湾断層の運動履歴解明の手掛かりとなりうる撓曲構造や、沖積層・更新統の分布、内部の堆積構造を含む断面を取得することができた。今後も大阪湾全域において調査を継続する予定である。

1. はじめに

地質調査総合センターでは、地質情報の空白域であった沿岸域における地質情報整備を「沿岸域の地質・活断層調査」(沿岸域プロジェクト)として2007年度から実施している。沿岸域プロジェクトの一環として、産業技術総合研究所と国立大学法人神戸大学は共同研究「大阪湾海域活断層に関する研究」を2020年度から開始した。この共同研究はこれまで十分にわかっていなかった大阪湾断層の浅部構造、断層の正確な分布や連続性、更新世後期～完新世の活動履歴を解明することを目的としている。本調査ではそのためにブーマー音源を用いた高分解能音波探査を実施した。本報告では、令和2年度に実施した2回の調査結果および取得した断面の概略を報告する。

2. 地域概説

大阪湾は大阪府、和歌山県、兵庫県に面した湾で、北西の明石海峡を通じて瀬戸内海と、南西の友ヶ島水道を通じて紀伊水道と接続する内湾である。大阪湾の

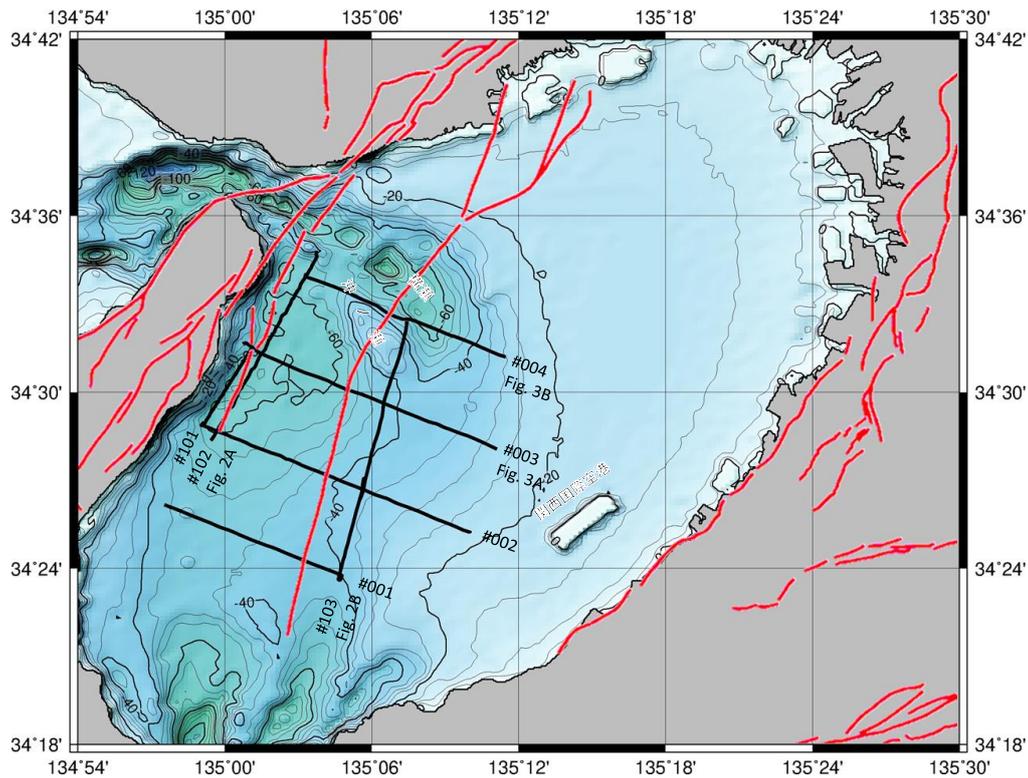
海底地形は全体としては西に緩く傾斜しており、湾の中央東側では20 m弱、湾の中央西側では50 m前後の水深である。湾中央部よりも明石海峡と友ヶ島水道に接続する北西、南西部のほうが海流の影響で水深は深く、それぞれ水深80 m以上に達する。海峡付近での海流の影響は一様ではなく、沖ノ瀬など地形的な高まりが形成されている箇所や、海底地形にサンドウェーブが認められる箇所(八島, 1992; 小島ほか, 2019)、横瀬などの凹地形が形成されている箇所がある(第1図)。1995年に発生した兵庫県南部地震以降、大阪湾においては活断層の分布や履歴解明を目的とした反射法音波探査は精力的に行われてきた(岩淵ほか, 1995; 横倉ほか, 1998; 岩淵ほか, 2000など)。大阪湾の北部から南西部にかけて存在する大阪湾断層は、大阪湾の堆積盆北西部に大規模な撓曲構造をもたらし、音響基盤の最深部では断層による落差は1000 m以上に達することが報告されている(早川ほか, 1964; 岩崎ほか, 1994; 横倉ほか, 1998)。大阪湾断層の構造や活動履歴は少しずつ明らかになってきているものの、断層の北限、南限は港湾区域や航路に近いこともあり従来の調査では十分に網羅できていない。また社会活動に密接に関連する数万年以下の高時間分解能での断層活動履歴はよくわかっていない。

岩淵ほか(2000)は、エアガン断面に認められる傾斜不整合面に基づく音響層序区分と関西空港周辺で掘削されたボーリング試料の岩相・年代層序を対比することで、大阪湾断層の活動履歴を推定した。彼らは反射断面に認められるI層、II層、III層、IV層をそれぞれ沖積層(完新世)、洪積層(段丘相当層;更新世後期)、大阪層群上部亜層群(更新世後期～中期)、大阪層群中

*Corresponding author: Suzuki, Y., Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. E-mail: yoshiaki.suzuki@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 神戸大学 海洋底探査センター (Kobe University, Ocean-Bottom Exploration Center)



第1図 本研究で実施した反射法音波探査測線位置図(黒線)。断層位置(赤線)は活断層データベースに基づく。
Fig. 1 Location map of the seismic survey lines (black line) in this study. The fault location (red line) is based on the Active fault database of Japan.

部亜層群(更新世前期)と推定し、それぞれの基底に年代目盛りを挿入することで数十万～数百年解像度での活動履歴を復元している。関西空港周辺および大阪湾北部におけるボーリングコアからは、沖積層・洪積層・大阪層群の岩相は海成粘土層と非海成の砂礫層・泥層の互層から成り、海面変動に伴う海進と陸化による堆積環境の変動が示唆されている(中世古ほか, 1984; 増田, 1992; 北田ほか, 2000など)。沖積層と洪積層の内部構造を明らかにすることは更新世～完新世の断層変位を調べる上で重要であり、本研究の目的の一つである。

3. 調査方法

本調査では今まで大阪湾で実施されてきたものよりも小回りが利くシステムとして、沿岸域プロジェクトの海域音波探査で運用されてきたブーマー音源を用いての反射法音波探査を実施した(たとえば佐藤ほか, 2020)。調査船は神戸大学の調査実習船「おのころ」を用いた。調査は2020年6月8日から12日と、2020年12月14日から18日の二回に分けて実施した。第一回調査は正味3.5日、第二回調査は海況不順のため正味0.5日の調査となった。ブーマー音源の発振出力は、6月

調査では発電機不調のため100 Jとし、12月調査ではこれが改善されたため200 Jとした。発振間隔は1.56 mとした。受振用のストリーマケーブルにはチャンネル間隔3.125 mの25 mケーブル2本を接続し、計16チャンネルの50 mケーブルとして扱った。ストリーマケーブルの曳航深度を調整するため、ケーブルウエイトを1セクションあたり8個ずつ、ハイドロフォンの位置を避けて装着した。長さ2 mのロープを介した警戒用のブイをストリーマケーブルの尾部に装着した。6月調査ではケーブル中間部にもブイを装着したがノイズの原因と考えられたため12月調査では装着しなかった。

データ収録はSEG-Dフォーマットで行い、ショットごとにGPS位置情報を付加した。収録長は800 msec、サンプリングレートは0.125 msecとした。デジタル信号として受振した信号は、収録形式のSEG-DフォーマットからSEG-Yフォーマットに変換した後に、断面処理ソフトSPW(Seismic Processing Workshop; Parallel Geoscience社)を用いて以下のように波形処理を行った。まずジオメトリ編集、バンドパスフィルタリング、ゲイン補正、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(NMO)を行い、共通点(CMP)重合を行った。そして再びバンドパスフィルタリングを行った後、断面の画像ファイルとして出力した。バ

ンドパスフィルタの通過周波数帯は、収録ごとのノイズレベルに応じて適宜調整したが、300 Hz ~ 2,000 Hz を基本とした（佐藤ほか，2020）。

調査測線は大阪湾断層の走向と概ね平行な南北測線（北北東—南南西方向）およびこれに直交する東西測線（西北西—東南東方向）を大阪湾西部海域に設定した。6月調査では南北測線2本と東西測線4本分の断面を取得した。12月調査では西風の影響を受けにくい淡路島沿岸付近の南北測線1本のみ断面を取得した。測線番号は取得できた測線に対し、東西測線を南から順に#001, #002, #003, #004, 南北測線を西から順に#101, #102, #103とした。以下にそれぞれの反射断面で観察できた構造について報告する。

4. 層序区分

大阪湾中央付近では海底下100 msec前後において音響反射面が明瞭に観察できる。岩淵ほか（2000）では同様の深度に見られる音響反射面より上位を沖積層に対比されるI層、下位を更新統に対比されるII層と認定しており、本報告でもこれに従って上位側をI層、下位側をII層と層序区分した。II層は一部で周囲より連続性が良い反射面がみられるが、全体として側方連続性の悪い反射面で構成されている。I層の内部反射面は弱い側方連続性は良い。反射面の特性の違いは沖積層と更新統の岩相の違いを反映すると考えられる。II層の基底反射面は多くの反射断面では観察できなかったが、I層が尖滅する南北断面#102において海底下90 msec ~ 150 msecに認められる反射面は、岩淵ほか（2000）で区分するII層基底反射面（更新統基底に相当）である可能性がある。

5. 南北断面に見られる構造

第2図には大阪湾断層に概ね平行な南北断面のうち、大阪湾断層の上盤側に相当する#102（第2図A）および下盤側に相当する#103（第2図B）の断面を示した。なお#102は12月調査で取得した断面であり、ブーマー音源の発振出力を100 Jから200 Jに変更し、ブイの装着位置をストリーマーケーブルのテールと中間部の2箇所からテールのみの装着に変更するなど6月調査から改善を行ったため、深層の内部構造が他に示す断面より明瞭に観察されている。

南北断面において、I層の層厚と分布は上盤側と下盤側で大きく異なる。下盤側（第2図B）では、I層は海底下100 msec前後まで南北方向におおむね均等な厚さで堆積している。また、沖ノ瀬など海底地形の高まりが存在する北側の区間においては、成層構造を成さな

い乱れた反射面も認められ、I層の基底反射面は南側と比べて不明瞭になっている。

大阪湾断層上盤側に相当する#102断面（第2図A）ではI層の分布は非常に限られており、層厚は最大でも30 msec程度に留まる。上盤側で層厚が薄い傾向は東西断面で得られた結果や、先行研究で取得された反射断面とも整合的である（岩崎ほか，1994；岩淵ほか，2000など）。#102断面では90 msec ~ 150 msecに連続性のよい不整合面がみられ、これは岩淵ほか（2000）で洪積層に対比しているII層の基底反射面の可能性がある。II層の内部反射面および基底反射面は南落ちの傾斜を示し、南側ほど層厚が大きくなる特徴を示すが、この傾向は大阪湾断層上盤側（第2図A）のみで観察でき、下盤側（第2図B）では確認されていない。

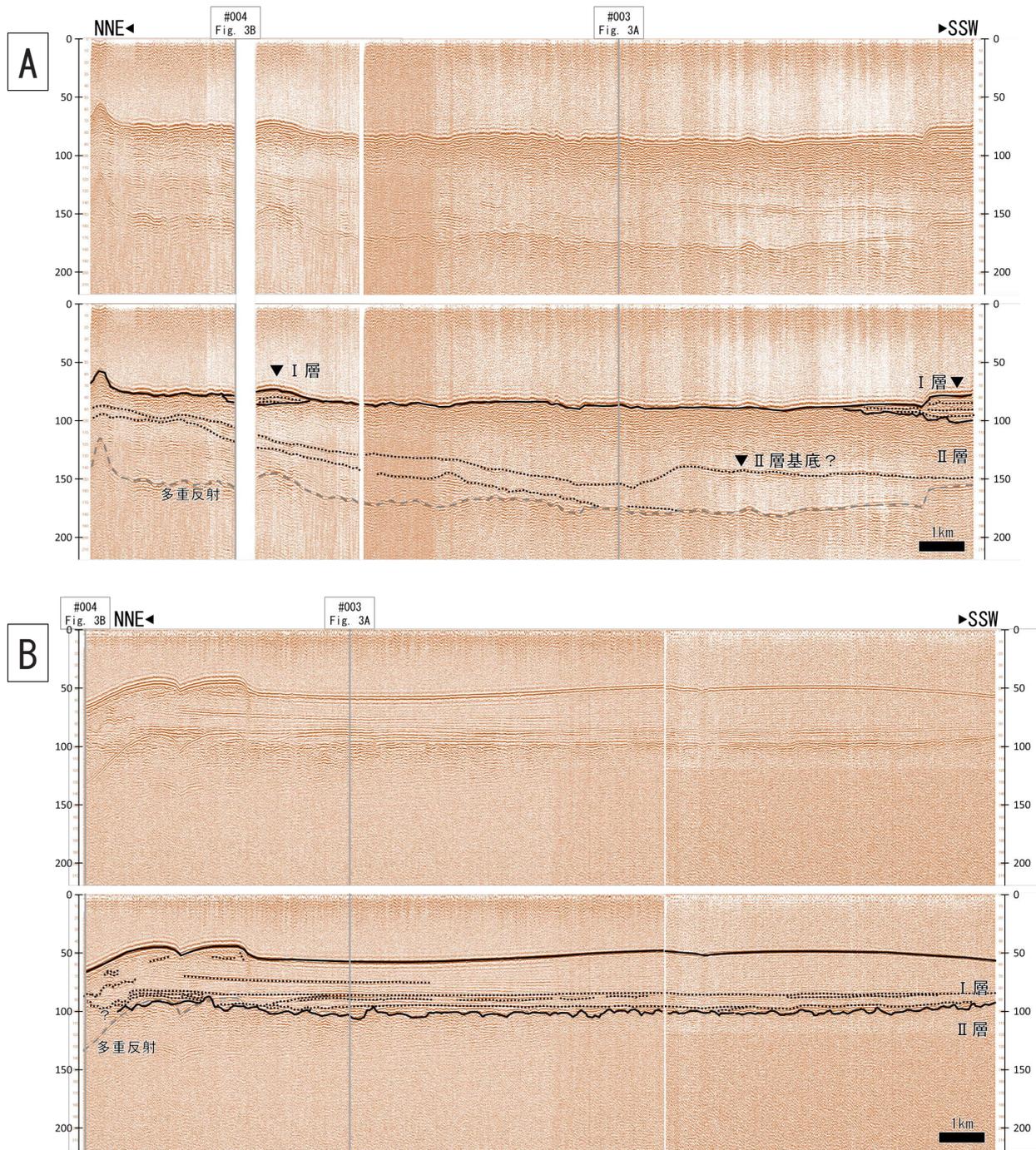
6. 東西断面に見られる構造

第3図には大阪湾断層に概ね直交する東西断面のうち、湾の中央部を通過した#003（第3図A）と、沖ノ瀬北側を上盤側に含む湾北部を観察した#004（第3図B）を示した。いずれも6月調査で取得した断面である。海底反射面は海底地形をよく反映しており、沖ノ瀬北東側斜面のサンドウェーブに関連すると思われる段差状地形も観察できる（第1図，第3図B）。

湾中央部の#003断面では、I層の基底反射面より上位の堆積層は層厚50 msec程度だが、湾の西側に向けて薄くなり、下位のII層に対してオンラップして尖滅する。湾北部の#004断面では、I層の層厚は大きく変動し、西側の沖ノ瀬による地形的高まりでは層厚が相対的に大きい。#103交点よりも東側で局所的に薄くなっている箇所があり、水深が深くなっている場所（横瀬に対応）で侵食を受けている様子が観察できる（第1図，第3図B）。この侵食部を境に東西でI層の対比を行うことができないため、岩相は東西で異なる可能性がある。また、侵食を受けている堆積層の層序はI層に対応すると考えられるが、この区間（#004東側）は他の断面との交差が無いため、今後の調査において交差断面を取得することで検証を行う予定である。

湾中央部と湾北部の両東西断面において、I層の内部に不整合面が観察できる（第3図A, B）。これらの不整合面は交差断面による側方対比が出来ていないため層序区分には反映していない。仮にこの不整合面より上位をIA層、下位をIB層とすると、それぞれの堆積層には以下のような特徴がある。

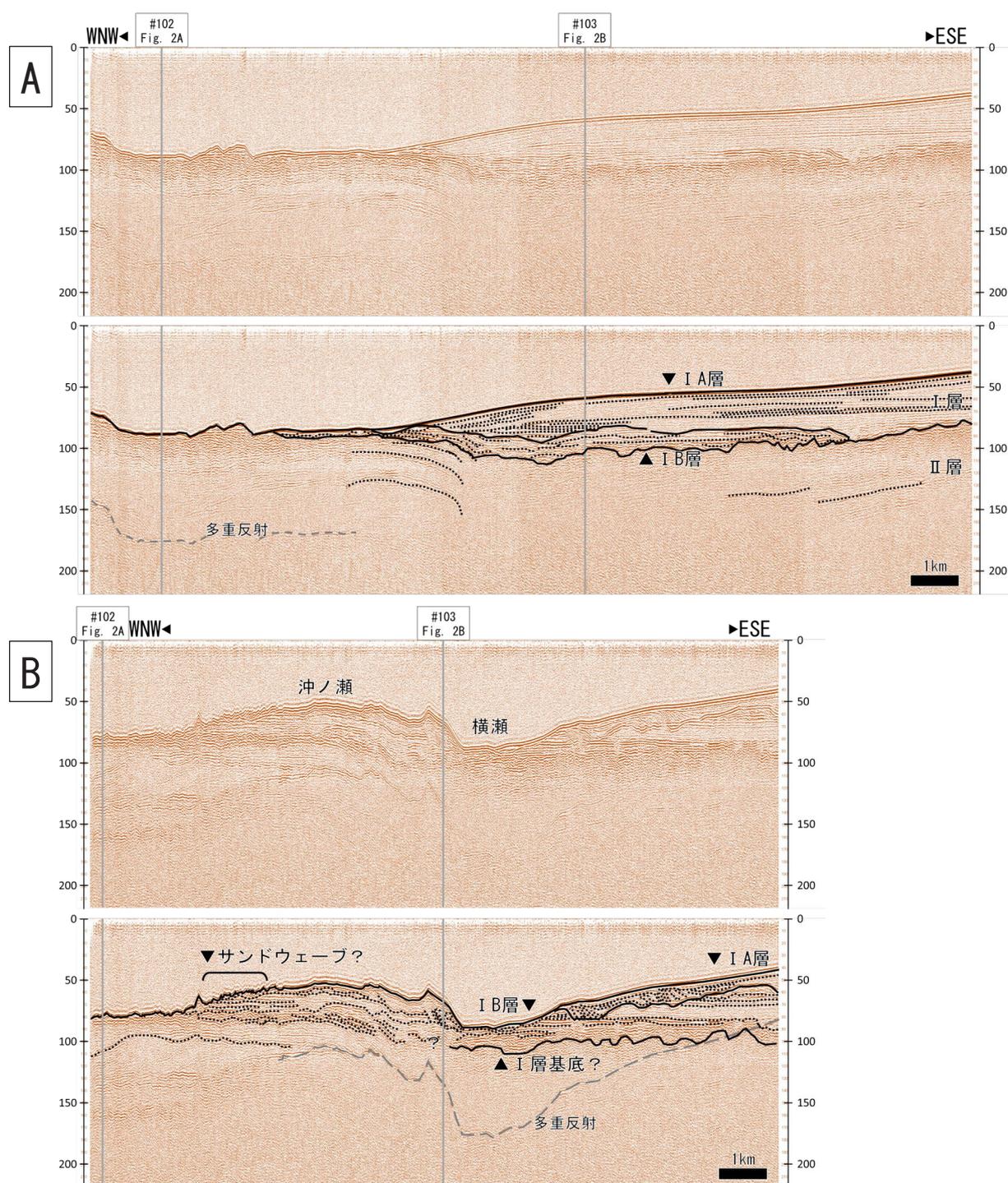
IB層の内部反射面はIA層の内部反射面と比較してより明瞭である。内部反射面はI層（IB層）の基底反射面と概ね平行して堆積している。IA層の内部反射面はIB層の内部反射面と比較して不明瞭な傾向がある。ま



第 2 図 大阪湾断層に平行な測線で取得した反射断面の例。(A) #102 で取得した記録断面(上)とその解釈断面(下)。(B) #103 で取得した記録断面(上)とその解釈断面(下)。海底反射面と I 層 / II 層境界とみられる不整合面は実線, その他の解釈線は点線で示した。縦軸はいずれも往復走時 (msec)。

Fig. 2 Examples of cross-sections acquired with the geodesic parallel to the Osaka Bay fault. (A) The recorded (upper) and its interpreted (lower) cross section on #102. (B) The recorded (upper) and its interpreted (lower) cross section on #103. The seafloor reflection and the unconformity surface interpreted to be the boundary between layer I and layer II are shown by solid lines. The other interpretation lines are shown by dotted lines. The vertical axis is the two way travel time (msec).

た, IA 層の内部反射面の傾斜は一定でなく, I 層 (IB 層) として平行な箇所, これら両方に対して斜交する箇所の基底反射面に対して平行かつ明瞭な箇所, 海底面に対して斜交する反射面は湾北部の #004



第 3 図 大阪湾断層に直交する測線で取得した反射断面の例. (A) #003 で取得した記録断面 (上) とその解釈断面 (下). (B) #004 で取得した記録断面 (上) とその解釈断面 (下). 海底面と I 層 /II 層境界とみられる不整合面, IA 層 /IB 層の境界と認定した不整合面は実線, その他の解釈線は点線で示した. 縦軸はいずれも往復走時 (msec).

Fig. 3 Examples of cross-sections acquired with the geodesic perpendicular to the Osaka Bay fault. (A) The recorded (upper) and its interpreted (lower) cross section on #003. (B) The recorded (upper) and its interpreted (lower) cross section on #004. The seafloor reflection and the unconformity surfaces interpreted to be the boundaries of layers I/II and IA/IB are shown by solid lines. The other interpretation lines are shown by dotted lines. The vertical axis is the two way travel time (msec).

断面で特に多く観察され、東落ちの傾斜を持つ。この堆積構造は、湾内の潮流や海水準変動の影響を反映した構造である可能性がある。

I層とII層の境界をなす不整合面やII層の内部反射面は、東側（大阪湾断層下盤側）では、湾中央部の#003断面において海底面とほぼ平行に西傾斜をしている様相が確認される。これらの反射面は大阪湾断層と交差する区間では東側に傾斜しており、この構造は大阪湾断層に由来する撓曲である可能性が高い。一方で、東西測線系におけるI層の内部反射面には、湾中央部の#003断面においてIB層内部に東落ちの反射面が認められる以外には、上記の撓曲に調和的な構造が明瞭には見られない。その理由として、大阪湾断層付近で反射面の連続性が良くないことに加え、大阪湾断層直上は湾北部において沖ノ瀬の流れの影響を強く受ける箇所位置することなどが考えられる。

7. まとめ

大阪湾西部において、2020年度に2回の調査を実施し、反射法音波探査により海底下断面を取得した。これらの調査で大阪湾断層に直交する4測線と、平行する3測線の反射断面を得た。ブーマー音源を用いた高解像度音波探査により、先行研究では見られなかった浅層部における詳細な海底下構造が明らかになりつつある。本調査で得られた音波探査断面から、岩淵ほか(2000)の音響層序区分におけるI層とII層（それぞれ沖積層および洪積層に相当）が認められた。II層の内部反射面には大阪湾断層の活動に由来すると思われる撓曲が観察され、更新世後期以降にも大阪湾断層の活動があったことが示唆される。ただしより上位のI層は、特に東西方向に層厚が大きく変化し、内部の不整合面や傾斜する反射面など多様な構造を持つ。こうした堆積体内部構造の空間分布を規制する要因の一つとして大阪湾断層の活動が考えられるが、特に湾周縁部では海底地形自体に加えて海底下の反射面も過去の流れの影響を強く受けている可能性が高い。既存の音波探査や掘削コアの資料を参考にしつつ、今後も詳細な調査を継続することにより、大阪湾断層分布域を中心として地質構造の空間分布や成因を解明していく予定である。

謝辞：反射法音波探査の実施にあたり、「おのころ」の伊集盛人船長、神戸大学マリンサイトの職員、研究員の方々には大変お世話になった。地質調査総合センターの井上卓彦グループ長、三澤文慶研究員、佐藤智之主任研究員、村上文敏客員研究員、神戸大学の島 伸和教授、山本由弦教授、巽 好幸客員教授には調査実施

やデータの解析にあたり様々な助力、助言を頂いた。以上の方々に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 早川正巳・森 喜義・鎌田清吉・藤田和夫(1964) 放電式音波探査による大阪湾地質構造の研究. 地質調査所月報, **15**, 1-28.
- 岩淵 洋・春日 茂・穀田 昇・沖野郷子・志村栄一・長田 智(1995) 大阪湾西部の活断層. 海洋調査技術, **7**, 11-19.
- 岩淵 洋・西川 公・野田直樹・雪松隆夫・田賀 傑・宮野正実・酒井建治・深沢 満(2000) 反射法音波探査に基づく大阪湾の基盤と活構造. 水路部研究報告, **36**, 1-23.
- 岩崎好規・香川敬生・澤田純男・松山紀香・大志万和也・井川 猛・大西正純(1994) エアガン反射法地震探査による大阪湾の基盤構造. 地震第2輯, **46**, 395-403.
- 北田奈緒子・竹村恵二・伊藤康人・斎藤礼子・宮川ちひろ・三田村宗樹・七山 太・岩淵 洋(2000) 海上保安庁水路部コアOB-1およびOB-2の層序対比とそれに基づく大阪湾断層の活動性評価. 古地震研究報告, no.1, 153-166.
- 小島 響・松野哲男・佐野 守・島 伸和・遠藤徳孝・大串健一・谷 篤史(2019) 大阪湾の海底に見られるサンドウェーブの移動. 日本地球惑星科学連合2019年大会, HCG32-02
- 増田富士雄(1992) 大阪湾の完新統と上部更新統の堆積様式. 堆積学研究会報, **37**, 71-77.
- 中世古幸次郎・竹村恵二・西脇一二・中川要之助・吉谷正和・山内守明(1984) 大阪湾泉州沖海底地盤の層序. 関西空港地盤地質調査報告書, 災害科学研究所, 279-282.
- 産業技術総合研究所 活断層データベース <https://gbank.gsj.jp/activefault/> (閲覧日: 2021/05/06)
- 佐藤智之・鈴木克明・古山精史朗(2020) 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. 地質調査総合センター速報, no. 81, 令和元年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 15-23.
- 八島邦夫(1992) 明石海峡周辺の砂堆地形と流況に関する諸問題. 水路部技報, **10**, 79-89.
- 横倉隆伸・加野直巳・山口和雄・宮崎光旗・井川 猛・太田陽一・川中 卓・阿部 進(1998) 大阪湾における反射法深部構造探査. 地質調査所月報, **49**, 571-590.