

GS23 航海で取得した九州北西方海域のサブボトムプロファイラー記録

石野 沙季^{1,*}・井上 卓彦¹・古山 精史朗^{1,2}

ISHINO Saki, INOUE Takahiko and FURUYAMA Seishiro (2025) Sub-bottom profile data off Northwest Kyushu obtained during cruise GS23. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 76 (4/5), p. 207–215, 8 figs.

Abstract: Sub-bottom profile (SBP) data around Ikishima Island and the Goto Islands were acquired during the GS23 geophysical research cruise. This paper reports the characteristics of acoustic facies observed beneath the sea surface. Overall smooth bottoms with transparent or no internal reflections are recognized off Ikishima Island, suggesting the widespread distribution of coarse sediments. An eroded, thick-bedded stratified facies is widespread north of the Goto Islands, indicating the presence of the last glacial erosional surface. To the southwest of the Goto Islands, a thin-bedded stratified facies is observed along the terrace and slopes of the Goto Submarine Canyon and Fukue Basin. This facies shows truncated intra-reflections on the slope, suggesting that the stratified facies unit was deposited before the formation of the Goto Canyon.

Keywords: sub-bottom profiler (SBP), submarine shallow structure, acoustic facies, Tsushima Strait, Goto Canyon

要 旨

物理探査航海GS23にて長崎県北西部に位置する壱岐島及び五島列島周辺海域におけるサブボトムプロファイラー (SBP) データを取得した。本稿では、SBP断面に認められる海底表層の音響的層相の特徴を報告する。壱岐島周辺海域は、海底面が平坦で海底下に音波が透過しない層相や、音響的に透明な地層が認められ、比較的粗粒な堆積物が分布していることが示唆された。五島列島北方沖では、最終氷期の浸食面より下位と考えられる、粗く成層した地層が広く認められる。五島列島南西沖においては、密に成層する地層が五島海底谷や福江海盆のテラス及び斜面に分布している。この層相を示す地層は、五島海底谷や周囲の海底表層の凹凸地形が形成される前に堆積したと考えられる。

1. はじめに

地質調査総合センターでは、2023年度より九州西方海域を対象とした海洋地質図作成のための調査航海を行っている。長崎県北西部に位置する、対馬、壱岐島、及び五島列島北部・南西部周辺海域にて物理探査データを取得するための航走観測航海を実施した (井上ほか, 2025)。航走観測の一環として、海底浅部の堆積物及び構造を高

解像で解釈するため、サブボトムプロファイラー (Sub-bottom profiler: 以下SBP) を用いた高分解能音波探査記録を取得した。本稿では、SBP記録に認められる海底浅部構造の特徴について報告する。

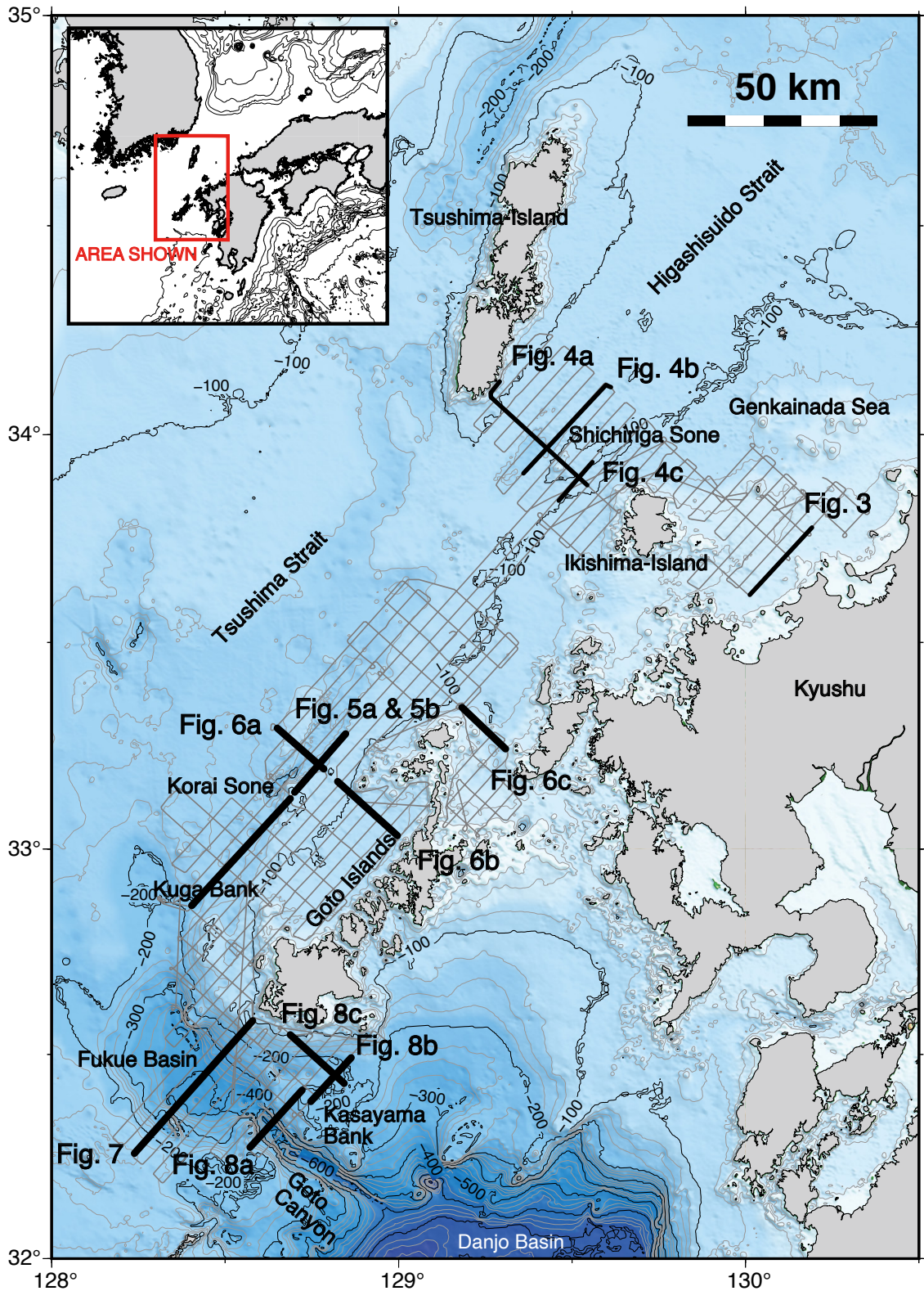
2. 地形及び地質概略

本調査は沖縄トラフ北部及び東シナ海大陸棚北東部を対象としている (第1図)。本海域は地域的に東シナ海外縁大陸棚にあたり、東シナ海大陸棚から日本海へ至る水深200 m以浅の対馬海峡上に対馬及び壱岐島が位置する。壱岐島東方は、小規模な凹凸地形を呈する水深約50 m以浅の玄界灘が広がる。玄界灘では博多湾から100 km沖にかけて警固断層帯や小呂島近海断層帯といった活断層が確認されている (松本, 2013; 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2022)。壱岐島西方の対馬との間の海底には、南西–北東方向に延びたチャンネルが存在し、対馬海峡東水道と呼ばれている。対馬海峡は、黒潮の支流が対馬暖流となって日本海へ出る流路にあたる (Ichikawa and Beardsley, 2002)。おおむね北東方向の海流が支配的であるが、東水道の西側の領域においては反流が南西方向に観測されている (Takikawa *et al.*, 2005)。対馬海峡の北部で行われた地質調査所による海底地質調査では、底質は対馬暖流によって制御された砂質堆積物からなると

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 国立大学法人東京海洋大学 海洋資源環境学部 (Tokyo University of Marine Science and Technology, School of Marine Resources and Environment, Tokyo, 108-8477, Japan)

* Corresponding author: ISHINO, S., AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: ishino.saki@aist.go.jp



第1図 GS23 航海のSBP調査測線及び調査海域周辺の海底地形図。地形データは岸本 (2000) を使用した。
 Fig. 1 Bathymetric map with SBP survey lines of GS23 cruise. The topographic data is based on Kisimoto (2000).

報告されている (Ikehara, 1992). 本海域の堆積物は、対馬、壱岐島、及び玄界灘にかけて粗粒砂が分布し、これらの地域から南西及び北東の水深が深くなるにつれて概括的に中粒砂から細粒砂に細粒化するが、南西側ではより複雑な粒度変化が認められる (Ikehara, 1992). 対馬海峡の南部は本年度より地質調査航海にて表層海底堆積物の調査が行われている (清家ほか, 2025).

五島列島の大陸棚外縁の地形は福江海盆、五島海底谷、及び男女海盆に特徴付けられる。福江海盆は、済州島から対馬にかけて分布する複数の海底谷の収束域にある。本調査海域には、福江海盆へつながる北東-南西方向のチャンネルが五島列島の北方に発達する。このチャンネルは幅約5-10 km、水深130-150 mで、高麗曾根や久賀堆などの地形的高まりの間に発達し、全体的に蛇行した形状をなす。チャンネルに沿って右横ずれを示す長さ約73 kmの第1五島堆断層帯が確認されている (地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2022). 福江海盆の南東方向に続く五島海底谷は、沖縄トラフ北縁部に位置する男女海盆 (沖縄トラフ北縁部)に通じている。五島海底谷は、沖縄トラフ北部における最も大規模な海底谷の一つであるため、東シナ海大陸棚から沖縄トラフへの堆積物供給において重要な経路と考えられている (斎藤, 1998; Oiwan *et al.*, 2011).

3. 使用機器

東京海洋大学の練習船神鷹丸 (総トン数986トン)を用いて2023年5月に航走観測航海 (GS23 航海)を行った。航走測線は南西-北東方向に2マイル間隔、北西-南東方向に4マイル間隔に設定し、SBP観測と同時にエアガンによる反射法音波探査及びマルチビーム海底測深を実施した。SBPデータの取得には神鷹丸に搭載されているTOPAS PS18 (Kongsberg社)を使用した。本SBPシステムは、海底下に高周波の音波を透過させるために、パラメトリック方式によって鋭い指向性を持った低周波を生成する方式を取る。本装置では二次波として0.5-6 kHz、ビーム幅45度のチャープ波を使用した。本システムの詳細は佐藤ほか (2011)に記載されており、本航海ではマルチビームによるノイズ混入を防ぐための発振間隔調整は行っていない点異なる。測線上をおおむね8ノットで航走しながらデータを収録した。取得した波形データは、Kongsberg社の付属ソフトウェアを用いて、ウェーブレットのパルスを補正しSN比及び分解能を向上させる、Kongsberg社の独自フィルターであるMatched フィルターを施し、独自フォーマットファイルに変換した。SonarWiz 7 (Chesapeake Technology社)を用いて断面を観察し、画像のファイル形式へ変換した。SBP断面における水深は、音速1,500 m/秒で計測した値を使用して往復走時を深度に変換した値を用いた。

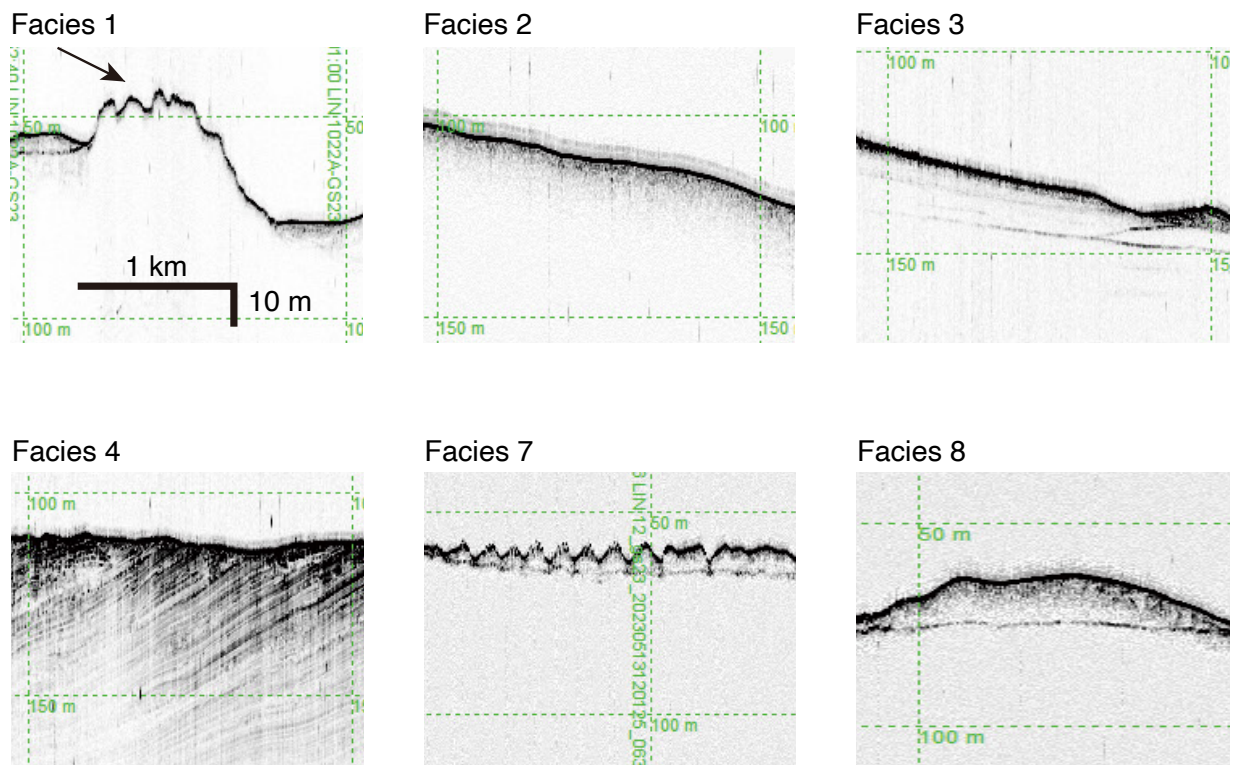
4. 結果及び議論

本調査では、博多湾沖から対馬、及び五島列島周辺などの九州北西遠洋域におけるSBPデータを取得した (第1図)。取得した測線長は合計で約2,330マイル (4,320 km)であった。SBP断面で確認された層相は、池原ほか (1990)におおむね基づき、海底面及び内部反射の特徴を用いて区分した (第2図)。但し本調査は、池原ほか (1990)で層相を区分した海域と比較すると水深が浅い範囲 (200 m以浅)に限られ、使用している観測機器も異なる。そのため、断面には海底表層の堆積物よりも音響層序的に古いと推定される地層が認識される場合があり、一部の層相では海底面ではなく地層上面の特徴を用いて区分した。以下に、本稿で区分した層相の特徴を記述する。

層相1及び層相2は海底面に強反射を呈し、海底下に音波が透過しないもののうち、海底面に凹凸が認められるものを層相1、海底面が平滑であるものを層相2とした (第2図)。層相3は、平滑な海底面を示し、海底下には弱い内部反射が粗い間隔で複数認められるものとした。層相4は、平滑及び凹凸を呈する海底面を示し、内部反射は密に成層したものと区分した。ただし、本海域では内部反射が水平なものと傾斜したものが散見されるものの、本稿では区分しない。層相7及び層相8は明瞭な下面を有する音響的な透明層を指し、そのうち海底面が凹凸を呈するものを層相7、海底面が平滑なものを層相8とした。本調査で取得した断面には、池原ほか (1990)に認められる層相1-8のうち層相5及び層相6に代表されるブロック状の層相や大規模な双曲線状の海底面の反射は認められなかった。本区分を用いて、壱岐島周辺、五島列島北方、五島列島南西方の海底表層における音響的層相の特徴を記載する。

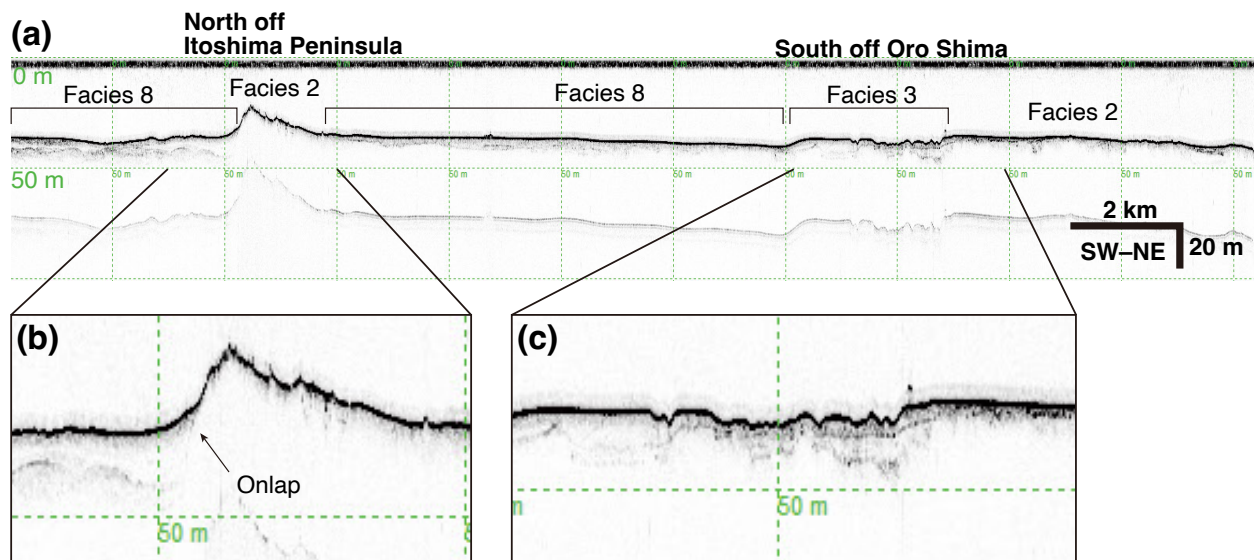
4.1 壱岐島周辺海域

本海域は、壱岐島東方の玄界灘周辺及び対馬海峡東水道を含む。取得したSBP断面の多くは、海底下に音波が透過しない、若しくは内部反射が海底下数m-10 m程度までしか認められない。壱岐島東方の玄界灘周辺は、おおむね平らな海底面で強反射を示し、層相2若しくは層相8が広く分布している (第3図)。本調査測線には、大規模な断層として小呂島近海断層帯 (地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2022)が、小規模な断層として糸島半島沖断層群 (地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2013)がそれぞれ分布しており、断層帯近傍における層相は周囲の層相と異なる (第3図b, c)。小呂島近海断層帯近傍には層相3が認められ、海底面及び内部反射は凹凸を呈する (第3図c)。糸島半島沖断層群近傍では、10 m程度の緩やかな起伏のある海底面を伴う層相2が分布し、その南西側には層相8が層相2上にオンラップしている (第3図b)。これらの断層帯による地層の変位を認



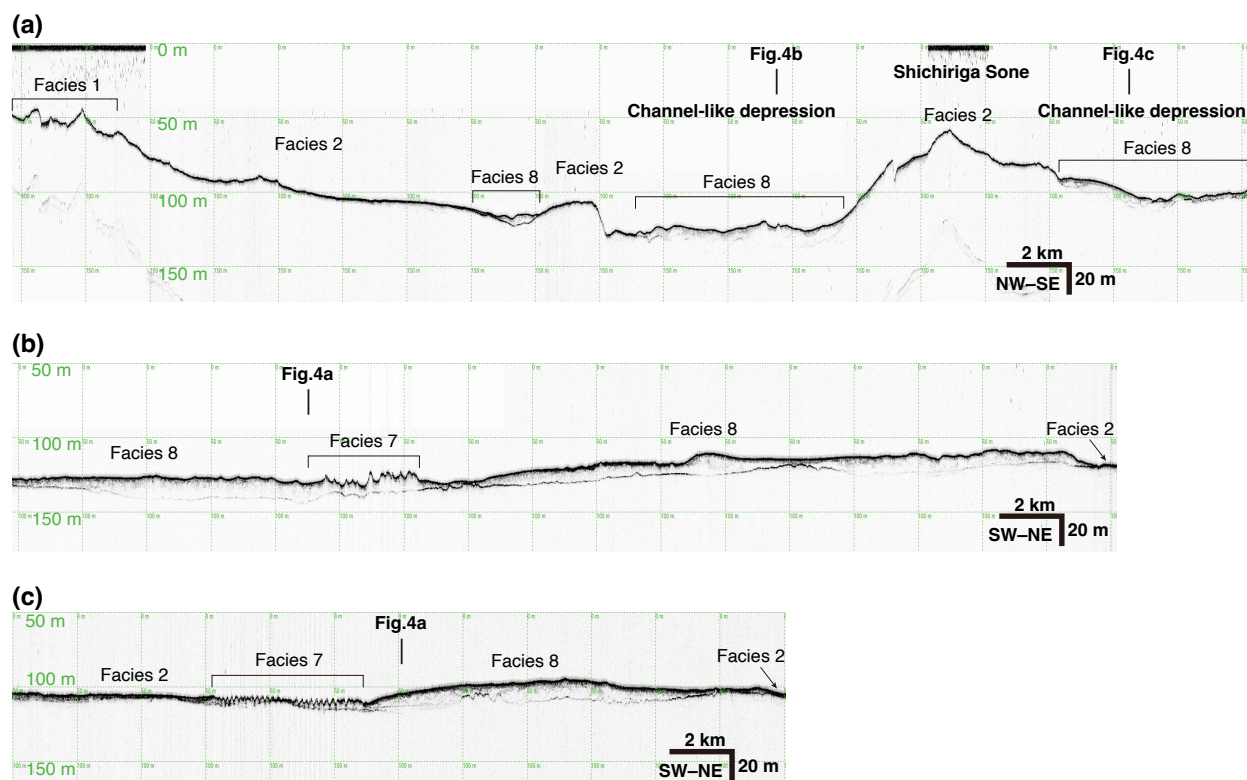
第2図 本海域で認められた各音響的層相区分の例。層相の名称及び区分手法は主に池原ほか(1990)に準じた。全ての断面はスケールが統一されている。

Fig. 2 Examples of each acoustic facies recognized in this survey. The facies name and classification method are mainly based on Ikehara *et al.* (1990). Scale is consistent across all views.



第3図 玄界灘の南西-北東方向のSBP断面。

Fig. 3 The SBP profile in Genkainada Sea.



第4図 対馬海峡東水道のSBP断面. (a) 東水道を横断する南西-北東方向の断面. (b) 及び(c) 東水道のチャネルに並行な南西-北東方向の断面.

Fig. 4 The SBP profiles in Higashisuido Strait of Tsushima Strait. (a) NW-SE profile across the Higashisuido Strait. (b) and (c) SW-NE profile parallel to the Higashisuido Strait.

定するには、SBP断面では不明瞭であるため、エアガンを用いた反射断面 (有元ほか, 2025) の観察が必要である。

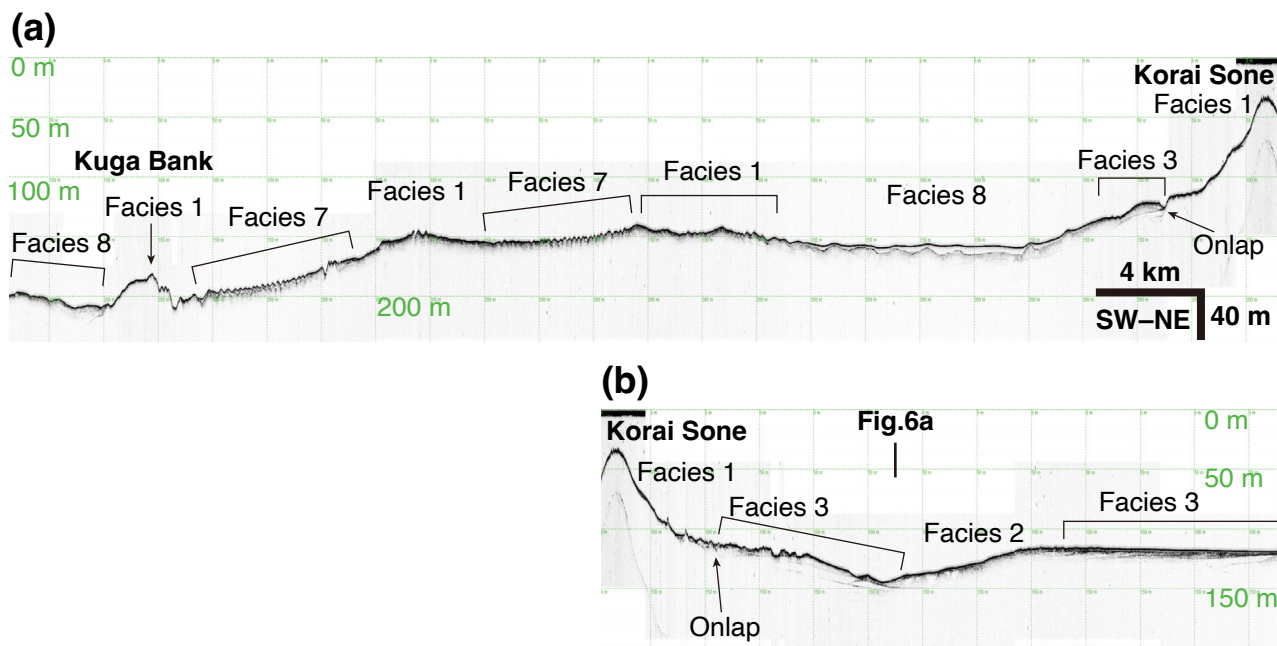
壱岐島西方の対馬海峡東水道周辺の海底表層は、おおむね平坦な海底面にて強反射が認められ、海底下に音波が透過しない層相2が広域的に分布する(第4図a-c)。対馬付近においては層相1が認められる。東水道の中央部の七里ヶ曾根の周囲には南西-北東方向に延びた凹地が存在している。この凹地は南方へ傾斜しており、大陸棚外縁部の福江海盆へ続くチャネルの上位へと接続する。この凹地内は層厚数m-20 mの透明層が埋積しており層相8を示す。凹地の傾斜面の南西部(下方)では、海底面は凹凸を呈し、内部反射が透明な層相7が認められる(第4図b, c)。海底表層堆積物の分布 (Ikehara, 1992; 清家ほか, 2025) と比較すると、本海域のSBP断面にて広く観察される層相2及び局所的に観察される層相7、層相8は、それぞれ粗粒-中粒砂及び細粒砂に対比される。対馬海峡東水道北部の海底は、北東方向の対馬暖流の影響を受ける堆積システムが発達すると考えられているが(Ikehara, 1992), 対馬海峡東水道南部において反流が南西方向に観測されていること(Takikawa *et al.*, 2005) を考慮すると、本調査で観察された層相8及び層相7は南西方向に流れる反

流の影響を受けた堆積システムで形成されたある可能性も考えられる。今後さらに南西部における調査が進むことで、堆積システムの概要が明らかになると期待される。

4.2 五島列島北方海域

本海域においても壱岐島周辺海域と同様に、海底下に音波が透過しない地層や、海底下数m-10 mまで反射面が認められる地層が多くを占めており、大別すると五島列島北方沖のチャネル周辺と平坦部で異なる音響的特徴が観察された。五島列島北方沖のチャネルにおける傾斜面から高麗曾根南方にかけて、海底面に小規模な凹凸状の強反射が認められ、内部に音波が透過しない層相1及び下位に反射面が観察できる層相7を認定した(第5図a)。チャネルの北部の傾斜が緩やかな面(高麗曾根周辺)及びチャネル底では、層厚数m-20 mの層相8が広く分布し、一部でマウンド上の高まりを呈する(第5図a東方, 第6図a)。

チャネル東方から五島列島にかけての平坦部では、海底面若しくは海底下数mに、上面は強反射であるが弱い内部反射を伴う層相3が広く認められる(第5図b及び第6図b)。層相3の地層の上面は侵食の痕跡が散見され、と



第5図 五島列島北方の海底谷に並行なSBP断面。(a)及び(b)はそれぞれ同一測線上の南部及び北部を示す。

Fig. 5 The SBP profiles parallel to the channel north of the Goto Islands. (a) and (b) show the southern and northern sections, respectively, of the same profile line..

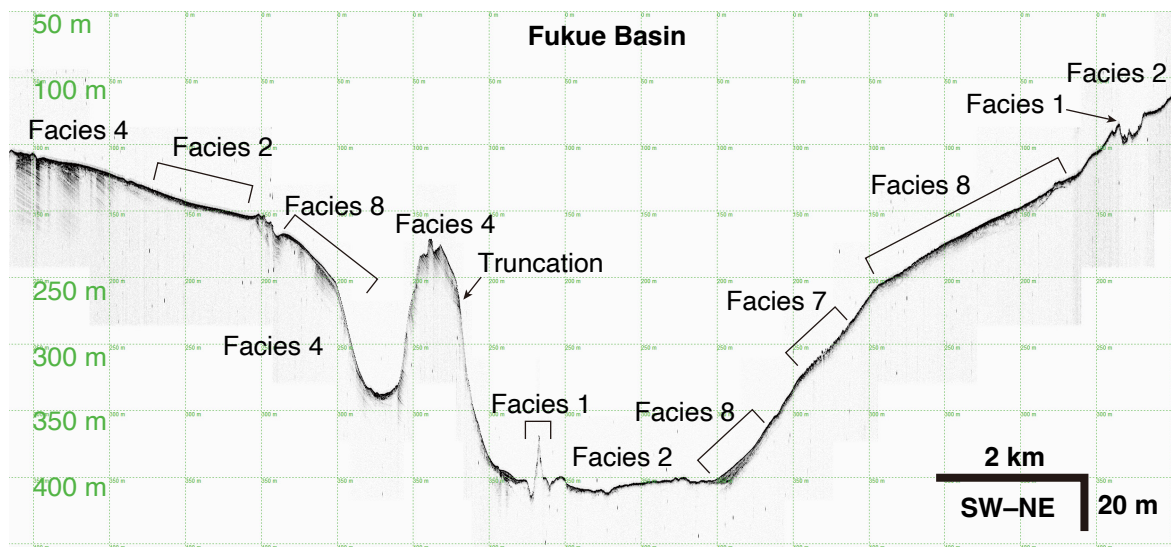
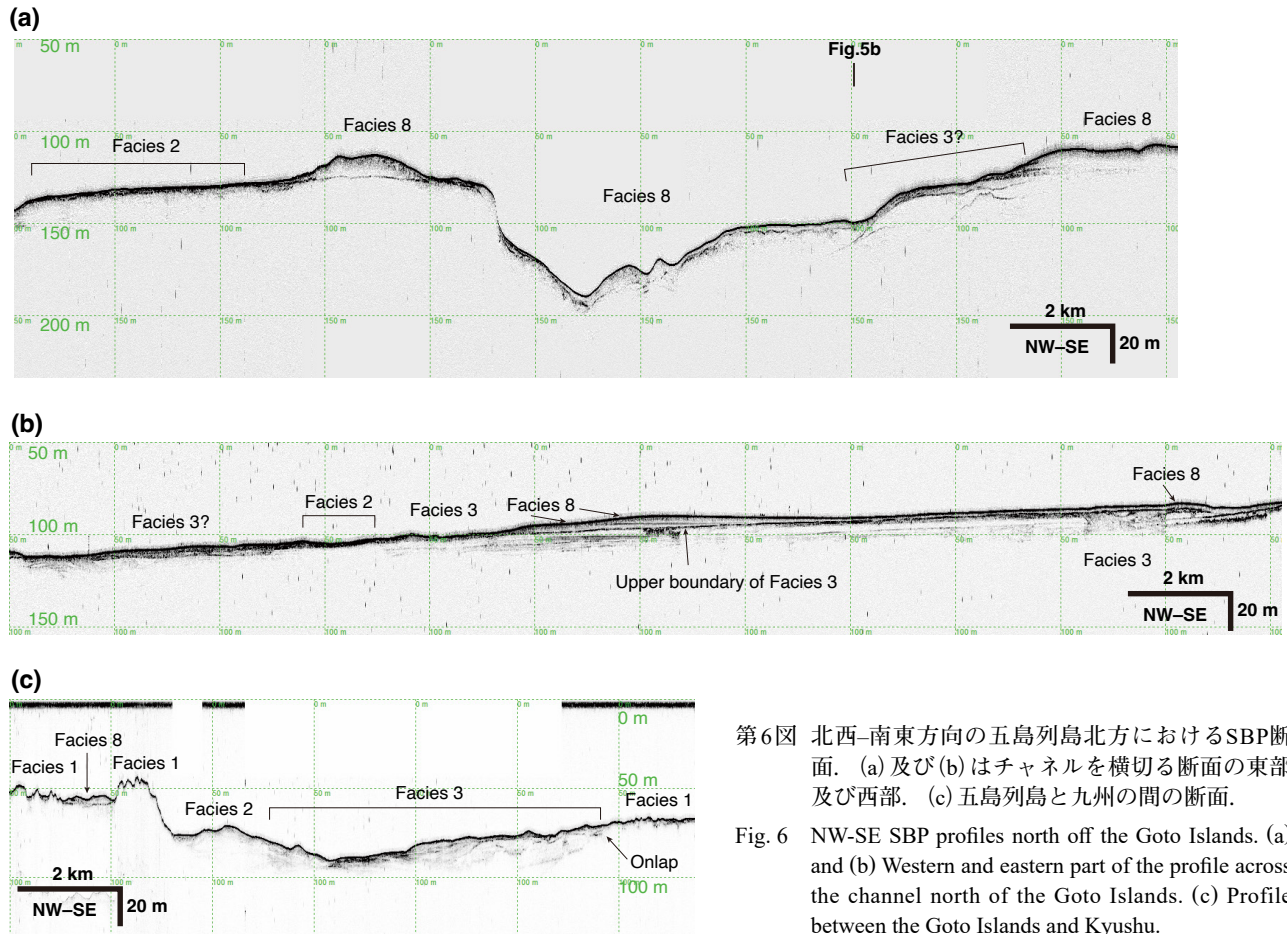
ころどころ層相8に覆われている。五島列島北部においてはチャンネル側へ層厚数mほどの層相8が2層に分かれて累重している様子が観察される(第6図b)。黄海や東シナ海では最終氷期の海水準が約120 m低下したと推定されている(斎藤, 1998)。そのため、水深80–110 mの本海域の平坦部(第5図b及び第6図b)は、最終氷期に陸化していたと推定され、層相3を示す地層は最終氷期の浸食面より下位の地層である可能性が高い。本海域の海底表層堆積物からは貝化石が発見されており(清家ほか, 2025)、この層相3からなる地層から産出していると考えられる。今後産出した化石の分析によって地層の年代を制約することが期待される。

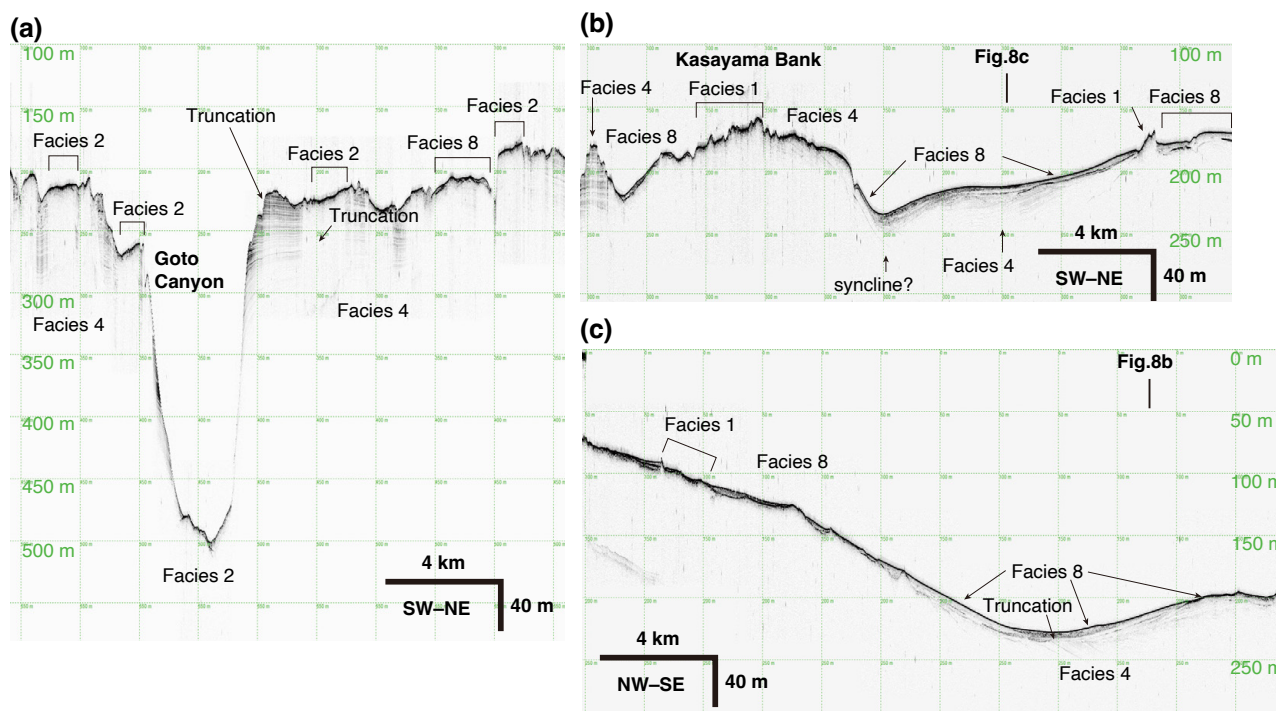
層相3は五島列島北東沖にも認められる(第6図c)。五島列島北東沖の層相3を示す地層は、層相1の間の凹地に斜行する内部反射を有した地層として認定され(第6図c)、西方に向かって地層が付加したことを示す。また、層相3を示す地層が層相1の上面にオンラップする特徴も確認でき、このような特徴は前述の五島列島北東沖(第5図a, b)における層相3からなる地層と共通している。しかし、SBP断面では海底表層部の地層の形状しか捉えることができないため、下位の地層との関係を連続的に解釈することは困難であった。層相3を示す地層の分布や下位の地層との関係は、反射法地震探査の断面を用いた解釈(有元ほか, 2025)や、採取された堆積物・岩石の分析(清家ほか, 2025)によって検討されていく予定である。

4.3 五島列島南方海域

本海域の海底表層は、福江海盆の東側斜面と西側斜面及び五島海底谷周辺とで特徴が異なる。福江海盆の東側斜面の表層は、浅海域において透過の悪い反射面を示す層相1及び層相2が広く分布し、傾斜部において層相7や層相8が認められる(第7図)。浅海域における層相1及び層相2はそれぞれ五島列島から連続する地層の露頭及び粗粒な堆積物に対比され、深部に続く層相8及び層相7は五島列島から福江海盆にかけての土石流堆積物を示唆する可能性がある。

福江海盆の西部及び五島海底谷周囲の斜面は、層相4が海底下から50 m以上の層厚で分布している(第7図及び第8図a)。この海域で分布する層相4は海底面において凹凸を呈し、密に成層する内部反射面は海底面に対してやや傾斜して接触している。そのため、層相4の上面境界部は侵食されていると考えられる。福江海盆の比較的緩やかな西側傾斜部には、層相2及び層厚数mほどの層相8が分布しており、層相4内部の連続した反射面が不明瞭になる領域が散見される。同様の特徴は、五島列島南方沖から笠山堆北方までの範囲にも認められる(第8図b, c)。笠山堆の高まりの一部では層相4が認められるが、表層の多くは層相1若しくは層相8を呈する(第8図b)。笠山堆北方の海底下に分布する層相4の内部反射は向斜様の構造を示し、変形の軸は北西–南東方向にプランジしている(第8図b, c)。層相4を示す地層の特徴(上面の侵食及び、内部反射の褶曲)から、海底下に50 m以





第8図 五島列島南方のSBP断面。(a) 五島海底谷を横切る南西-北東方向の断面。(b) 笠山堆を横切る南西-北東方向の断面。(c) 五島列島南方沖の北西-南東方向の断面。

Fig. 8 The SBP profiles south off the Goto Islands. (a) SW-NE profile across the Goto channel. (b) SW-NE profile across Kasayama Bank. (c) NW-SE profile off the southern Goto Islands.

上厚く堆積している層相4を呈する地層は、五島海底谷や周囲の海底表層の凹凸地形より前に形成されたと推察される。また、笠山堆北方には、海底表層に層厚10 mほどの層相8が層相4を覆って広く分布する(第8図b, c)。笠山堆北方の水深約200 mの凹地付近の3地点において、層相8を示す地層が層相4を示す地層を覆う(第8図)。両者は斜交して接しておりトランケーションパターンを呈する(第8図c)。福江海盆及び五島海底谷周辺は、最終氷期に東シナ海大陸棚の陸化した地域が近接していたと考えられており(Park *et al.*, 1996; Shinn *et al.*, 2007)、本海域で認められた地層は当時の堆積環境及びテクトニクスを調査する上で重要な記録を有する可能性がある。今後男女海盆周辺の調査が進むことで、五島海底谷におけるテクトニクスや堆積システム解明に寄与する海底下表層部の詳細な構造が明らかになると期待される。

5. まとめ

本稿では、GS23航海にて取得したSBPデータに基づき、九州北西方海域における海底下浅部の音響的層相の特徴についてまとめた。壱岐島周辺海域は、海底面が平坦で海底下に音波が透過しない層相や、音響的に透明な地層が認められる。五島列島北方沖には、最終氷期の浸食面より下位と考えられる、粗い間隔で成層した地層(層相3)

が広く分布している。五島列島南西沖においては、密に成層する地層(層相4)が五島海底谷や福江海盆のテラス及び斜面に認められた。本稿で区分した層相3及び層相4からなる地層は、海底表層の堆積物よりも音響層序的に古いと考えられる。今後、関連する航海(井上ほか, 2025)で取得した地球物理学的・堆積学的データの分析が進展することで、SBP断面に観察された地層が、九州北西方の地質構造発達史及び古環境研究においてどのような重要性を持つのかについて明確になると期待される。

謝辞：GS23航海では、宮崎唯史船長をはじめとする神鷹丸運航に関わった東京海洋大学の職員の方々、東京海洋大学の野田 明教授、及び乗船学生の方々に24時間体制での航走観測を支えていただき、長時間にわたる調査を実施することができました。皆様のお陰で安全に調査航海を終え、貴重な海底物理探査データを取得できたことを厚く御礼申し上げます。また、本稿の内容を向上させるにあたり、有益なご指摘とご助言をくださった査読者の松本 弾主任研究員にも深く感謝いたします。

文 献

有元 純・石野沙季・三澤文慶・井上卓彦(2025)反射法音波探査に基づく対馬及び五島列島周辺海域の地

- 質構造に関する予察的検討. 地質調査研究報告, **76**, 183–205.
- Ichikawa, H. and Beardsley, R. C. (2002) The current system in the Yellow and East China Seas. *Journal of Oceanography*, **58**, 77–92.
- Ikehara, K. (1992) Influence of surface water circulations on the sea bottom in the southern Japan Sea. *La mer*, **30**, 105–118.
- 池原 研・佐藤幹夫・山本博文 (1990) 高分解能音波探査記録からみた隠岐トラフの堆積作用. 地質学雑誌, **96**, 37–49.
- 井上卓彦・板木拓也・天野敦子 (2025) 巻頭言：九州北西方沖の海洋地質調査 —2023 年度調査航海結果—. 地質調査研究報告, **76**, 163–167.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2013) 九州地域の活断層の長期評価 (第一版). https://www.jishin.go.jp/evaluation/long_term_evaluation/regional_evaluation/kyushu-detail/ (閲覧日：2024 年 10 月 9 日)
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2022) 日本海南西部の海域活断層の長期評価 (第一版) —九州地域・中国地域北方沖—. https://www.jishin.go.jp/evaluation/long_term_evaluation/offshore_active_faults/sw_sea_of_japan/ (閲覧日：2024 年 10 月 9 日)
- 岸本清行 (2000) 海陸を合わせた日本周辺のメッシュ地形データの作成：Japan250m.grd. 地質調査所研究資料集, no. 353 (CD).
- 松本 弾 (2013) 福岡県沿岸域 20 万分の 1 海底地質図説明書. 海陸シームレス地質情報集「福岡沿岸域」, 数値地質図 S-3, 産総研地質調査総合センター.
- Oiwan, H., Tonai, S., Kiyokawa, S., Nakamura, Y., Suganuma, Y. and Tokuyama, H. (2011) Geomorphological development of the Goto Submarine Canyon, northeastern East China Sea. *Marine Geology*, **288**, 49–60.
- Park, J. O., Kimura, M. and Taira, A. (1996) Late Pleistocene unconformity of the Tsushima and Korea Straits revealed by seismic reflection profiles. *Journal of Geology*, **105**, 297–305.
- 斎藤文紀 (1998) 東シナ海の堆積環境と堆積物収支. 沿岸海洋研究, **36**, 43–58.
- 佐藤智之・荒井晃作・井上卓彦 (2011) 新規に搭載されたサブボトムプロファイラー (TOPAS PS18) の特性. 荒井晃作編, 「沖縄周辺海域の海洋地質学的研究」平成 22 年度研究概要報告書—沖縄島西方沖海域—, 地質調査総合センター速報, no. 55, 35–41.
- 清家弘治・飯塚 睦・鈴木克明・板木拓也・片山 肇・兼子尚知・石野沙季・石塚 治・喜瀬浩輝・桑野太輔・山崎 誠 (2025) 東シナ海東北部及び日本海西部における海底堆積物採取調査の概要. 地質調査研究報告, **76**, 217–233.
- Shinn, Y. J., Chough, S. K., Kim, J. W. and Woo, J. (2007) Development of depositional systems in the southeastern Yellow Sea during the postglacial transgression. *Marine Geology*, **239**, 59–82.
- Takikawa, T., Yoon, J. H. and Cho, K. D. (2005) The Tsushima warm current through Tsushima Straits estimated from ferryboat ADCP data. *Journal of Physical Oceanography*, **35**, 1154–1168.

(受 付：2024 年 10 月 9 日； 受 理：2025 年 9 月 19 日)

