

## GS23 及び GB23 航海九州北西海域における海底地形観測の概要

高下 裕章<sup>1,\*</sup>・佐藤 太一<sup>1</sup>・山下 幹也<sup>1</sup>・古山 精史朗<sup>1,2</sup>

KOGE Hiroaki, SATO Taichi, YAMASHITA Mikiya and FURUYAMA Seishiro (2025) Preliminary results of bathymetric surveys undertaken northwest of Kyushu during cruises GS23 and GB23. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 76 (4/5), p. 169–176, 4 figs. and 1 table.

**Abstract:** Bathymetric surveys using a multibeam echo sounder (MBES) were conducted northwest of Kyushu, Japan, during cruises GS23 and GB23 to create marine geological maps. High-resolution seafloor bathymetry was obtained during these surveys, although the characteristics of the multibeam system made it difficult to cover large areas with shallow water depths during the surveys. As a result, the surveys did not yield sufficient spatial data to advance geological interpretations of the region. This report focuses on the methods used for depth data acquisition and processing, as well as the results, while omitting detailed descriptions of the seafloor topography.

**Keywords:** Kyushu, bathymetry, submarine volcanoes

## 要 旨

九州北西海域において海洋地質図作成を目的としたマルチビーム音響測深装置 (MBES) による海底地形航走観測を実施し、高解像度海底地形を作成した。ただしマルチビーム測深器の特性上、水深が浅い場所では広範囲をカバーすることが難しく、今回の調査では地質解釈を進めるために十分な面的データを取得するには至らなかった。そのため、本稿では海底地形の記載を省略し、測深データの取得方法・データ処理、処理結果の報告に留めた。

## 1. はじめに

GS23 及び GB23 調査航海では主として周辺海域の北緯 32 度 10 分から北緯 34 度 57 分、東経 128 度 9 分から東経 130 度 20 分、対馬、五島列島、平戸島及び島原半島周辺海域においてマルチビーム音響測深装置 (MBES) による海底地形航走観測を実施した。第 1 図 (GS23) 及び第 2 図 (GB23) に本年度調査が行われた両調査航海の全地形図を示す。

マルチビーム測深器は、その特性として水深が浅い場所ではデータが得られるスワ幅が狭くなる。今年度の地質調査航海で調査対象とした海域は五島列島以北は水深 200 m 以下、以南も五島海底谷周辺を除いて水深 700 m 程度と非常に浅く、海域をカバーする面的なデータを得ることができなかった。そのため、海底地形から海底

火山や線状構造などの海底表面地形を判別することも非常に困難であり、本報告では海底地形の記載を省略し測深データの取得方法・データ処理、処理結果の報告に留める。また、測線図も省略した。

なお、本報告以前にも九州北西海域における海底地形・地磁気・重力は 1973 年から 1974 年にかけて海上保安庁によって取得されており、例えば永野ほか (1976) や大島ほか (1980) などを参考にいただければと思う。

## 2. 装置及びデータ処理

昨年の調査航海及び使用した船舶・船上装置に関する内容は、GB21-2, 3 (高下ほか, 2023) で述べたものとほぼ同様であるが、今回の原稿では観測における一次データの取得に関する記録という側面があるため、前回省略した部分も含めて記載することとした。

## 2.1 測位航法装置

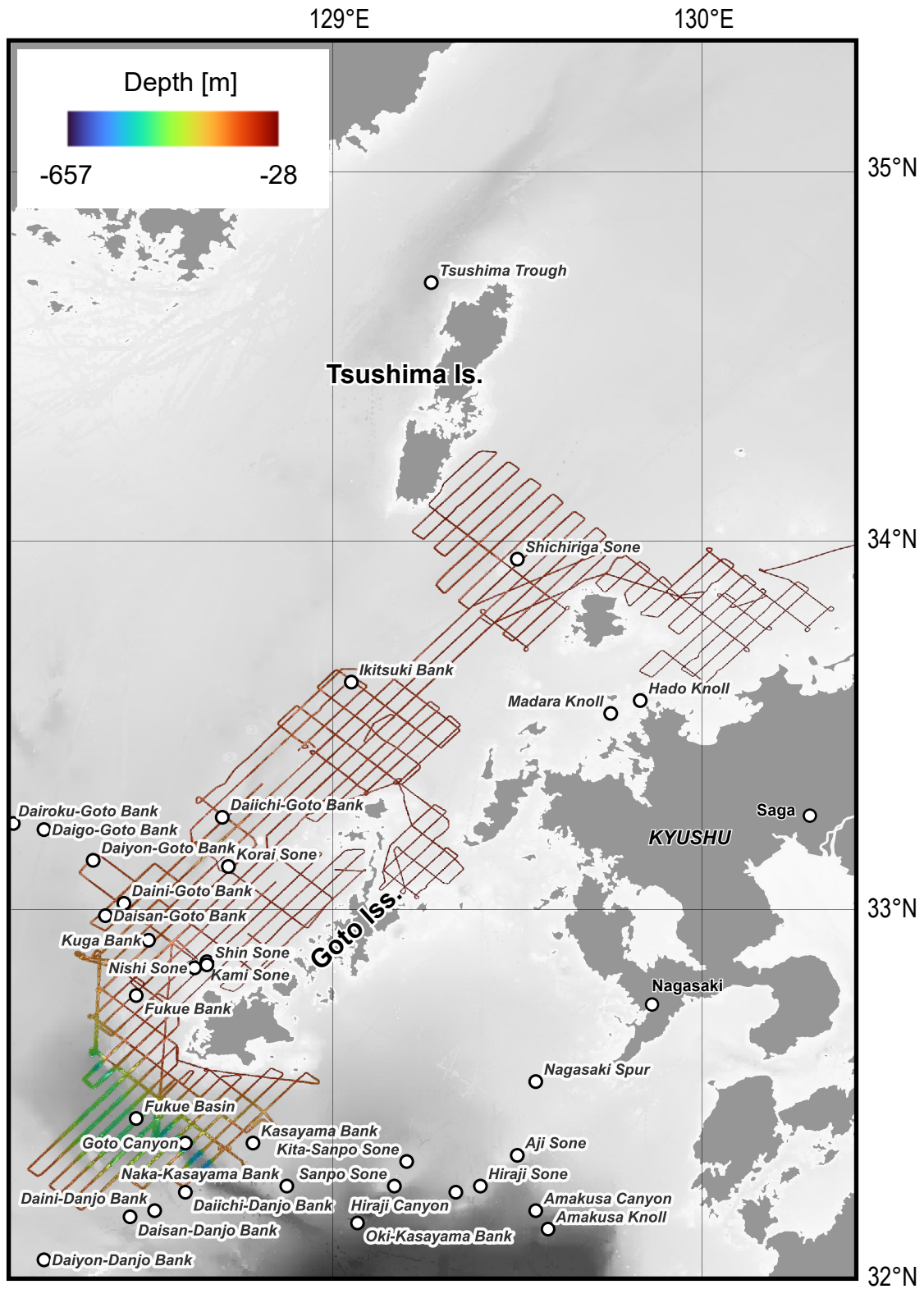
GS23 調査航海では東京海洋大学練習船「神鷹丸」を使用した。なお、船舶に搭載された音響観測機器の詳細は甘糟ほか (2017) にまとめられている。船の全長は 64.55 m、幅は 12.10 m である。測位と船体動揺データは個別に観測されており、ヘディングは MBES 専用のアンテナによる GPS コンパス機能、ロール・ピッチ・ヒープは動揺センサー IXBLUE 社製光ファイバーコンパス PHINS (Model PAA00011) により観測し、PHINS で統合される。

GB23 調査航海では東海大学所有の海洋調査研修船

<sup>1</sup> 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)

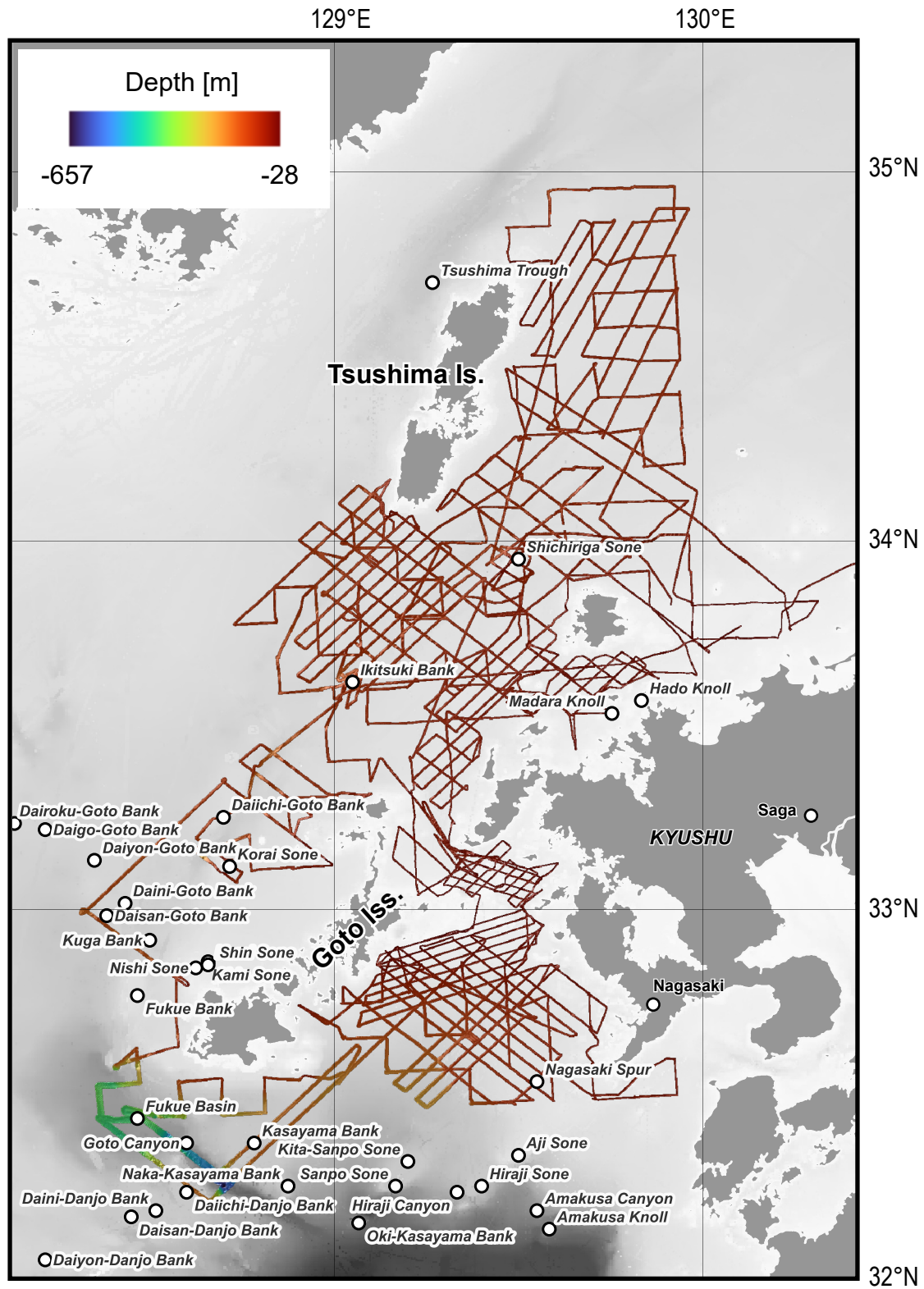
<sup>2</sup> 国立大学法人東京海洋大学 海洋資源環境学部 (Tokyo University of Marine Science and Technology, School of Marine Resources and Environment, Tokyo, 108-8477, Japan)

\* Corresponding author: KOGE, H., AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: koge.h@aist.go.jp



第1図 GS23航海で取得した海底地形図。グリッド間隔は5 mである。背景にグレースケールでETOPO 2022 (NOAA National Centers for Environmental Information, 2022) による15秒統合グリッドを表示した。

Fig. 1 The cleaned bathymetry of GS23. Grid space is 5 m. In the background, ETOPO 2022 15 Arc-Second Global Relief Model (NOAA National Centers for Environmental Information, 2022) is drawn in gray scale.



第2図 GB23 航海で取得した海底地形図. グリッド間隔は 5 m である. 背景にグレースケールでETOPO 2022 (NOAA National Centers for Environmental Information, 2022) による 15 秒統合グリッドを表示した.

Fig. 2 The cleaned bathymetry of GB23. Grid space is 5 m. In the background, the ETOPO 2022 15 Arc-Second Global Relief Model (NOAA National Centers for Environmental Information, 2022) is drawn in gray scale.

第1表 GS23 及びGB23 調査航海におけるCTD、音速度及びXCTD観測一覧。音速度補正に用いたもののみを掲載する。

Table 1 The list of sound velocity observations, which applied to sound velocity correction, during the GS23 and GB23 cruise.

| Cruise Name | Sample Name | DateTime(UTC) |          | Latitude    | Longitude    | Depth[m] | File Name / Sampling Site Name |
|-------------|-------------|---------------|----------|-------------|--------------|----------|--------------------------------|
| GS23        | XCTD01      | 2023/05/13    | 12:24:52 | 33°54.8928N | 130°10.0456E | 65       | XCTD-000520230513.RAW          |
|             | XCTD02      | 2023/05/15    | 8:57:00  | 33°51.6323N | 129°18.4667E | 126      | XCTD-000620230515.RAW          |
|             | XCTD03      | 2023/05/16    | 15:49:11 | 32°52.3728N | 128°19.1590E | 208      | XCTD-000720230516.RAW          |
|             | XCTD04      | 2023/05/18    | 14:16:43 | 33°15.6213N | 129°18.1932E | 65       | XCTD-000820230518.RAW          |
|             | XCTD05      | 2023/05/20    | 9:26:53  | 33°29.4202N | 129°06.2730E | 218      | XCTD-000920230520.RAW          |
|             | XCTD06      | 2023/05/21    | 13:55:26 | 32°23.2672N | 128°31.4752E | 112      | XCTD-001020230521.RAW          |
|             | XCTD07      | 2023/05/26    | 15:45:47 | 32°01.2825N | 132°02.1762E | 1137     | XCTD-001120230526.RAW          |
| GB23        | XCTD08      | 2023/10/25    | 16:01:36 | 33°44.7428N | 130°03.5083E | 42       | CTD202310251601.RAW            |
|             | Midas01     | 2023/10/27    | 8:48:51  | 33°59.3553N | 129°17.2883E | 110      | g309                           |
|             | Midas02     | 2023/10/27    | 9:50:12  | 33°59.5833N | 129°23.9167E | 129      | g310                           |
|             | Midas03     | 2023/10/28    | 2:14:09  | 34°05.7833N | 129°37.2333E | 117      | g321                           |
|             | Midas04     | 2023/10/28    | 3:13:56  | 34°06.1017N | 129°43.9517E | 106      | g322                           |
|             | Midas05     | 2023/10/30    | 6:33:23  | 33°48.1333N | 129°24.5550E | 104      | g287                           |
|             | Midas06     | 2023/11/01    | 4:31:11  | 33°35.850N  | 129°05.083E  | 120      | g258                           |
|             | Midas07     | 2023/11/02    | 4:06:03  | 33°56.817N  | 129°35.117E  | 370      | g365                           |
|             | Midas08     | 2023/11/02    | 8:09:58  | 33°24.817N  | 129°12.500E  | 96       | g322                           |
|             | XCTD09      | 2023/11/07    | 8:53:40  | 34°06.167N  | 129°58.650E  | 97       | CTD202311190853.RAW            |
|             | Midas09     | 2023/11/09    | 4:58:07  | 33°52.633N  | 128°57.450E  | 377      | g322                           |

「望星丸」を使用した。船の全長は87.98 m、幅は12.80 mである。測位と船体動揺データは個別に観測されており、ヘディングはMBES専用のアンテナによるGPSコンパス機能、ロール・ピッチ・ヒープは動揺センサー MRU 5+MKIIによりそれぞれ観測され、船体動揺船首方位測定装置Seapath380-5+で統合される。

測位に関し、航海期間中 (GS23：2023年5月10日–5月29日、GB23：2023年10月19日–11月27日)において、日本の海域では準天頂測位衛星みちびきのLIS信号によるサブメートル級測位、及びみちびきの配信するSBAS信号受信で測位精度を維持している。

## 2.2 MBES

調査船の船底音速 (表面音速) は音響ビームを望む方向に放射するために使用される。望星丸と神鷹丸では船底から機関室に海水を汲み上げて循環しながらリアルタイムで観測できるタイムオブフライト方式のApplied Microsystems Ltd.社製Micro Xが導入され、船底における精密な音速の観測が可能となっている。一方、神鷹丸は航海中に機器同士の通信トラブルと、センサーの機器トラブルが発生し、後者に関しては調査中に改善することはできなかった。そのため、詳細は音速度観測の節で後述するが、地形処理の際に併せて表面音速データの修正を行った。

船上搭載のMBESでは望星丸は深海用のEM302 (Kongsberg社製)、神鷹丸では深海用のSeaBeam3050 (Wärtsilä ELAC Nautik社製)で観測を行った。海底地形データはそれぞれ、EM302はKongsberg社のオリジナルフォーマット (.allファイル)、SeaBeam3050はWärtsilä ELAC Nautik社のオリジナルフォーマット (.xse) で記録された。なお、両者はウォーターカラムデータも取得されている。

取得されたデータに対して、海洋測量・調査データ処

理ソフトウェアHIPS & SIPS 11.4 (CARIS社)を用いて音速度・船体動揺・船体位置データに基づく水深値の再計算とエラーデータの除去を施した。音速度観測及び表面音速度の補正に関しては次節で説明する。再計算・再処理された海底地形データはHIPS & SIPS 11.4上においてGeotiff形式で5 mグリッドで出力した (第1図、第2図)。調査海域の地理的呼称は海上保安庁のホームページ「海しる」 (海上保安庁、2024) で公開されている海底地形名レイヤに記載された地名を参照・使用した。

## 2.3 音速度観測及び表面音速度の補正

音速度プロファイルはXCTD観測 (XCTD-4、鶴見精機製)、及び産総研所有の音速度計 (Midas MiniSVP、Valeport社製、以下Midasと省略) により観測を実施した。航海ごとの観測回数、場所などの情報は表にまとめた (第1表)。

XCTD観測は鶴見精機のデジタルコンバータTS-MK150Nに専用のハンドランチャを接続して同社のXCTD-4プローブ (最大観測深度：1,850 m) を装着し観測を実施した。なお鶴見精機のXCTDプローブの詳細についてはMizuno and Watanabe (1998) を参照されたい。観測生データのサンプリング周波数は25 Hzであり、収録ソフトにより生データ (.RAWファイル)、全データ (.CTDファイル)、深度1 m間隔データ (.CTDファイル) に変換した3種類のデータとして出力した。なお、電気伝導度から塩分への換算、深度の計算、音速度の計算などはそれぞれの観測機器に付属のソフトウェアでの処理に従った。なおXCTD観測は曳航体 (セシウム磁力計・エアガン・ストリーマーケーブル) の投入前後の低速運行時に、風向きに応じて調査船の右舷または左舷から後方に向けてプローブを投下した。

通常Midasでの観測は試料採取と合わせて実施する。

そのため地球物理観測のみ実施したGS23航海では実施されず、GB23航海のみ観測を実施した。GB23航海では、採泥時の木下式グラブ採泥器（K-グラブ）のフレーム内部にMidasを固定し、表層採泥に伴い観測を実施した。一般的なCTDではセンサーを下部に向けた状態で固定して観測を行うが、着底時にセンサー部の破損を回避するため本観測ではMidasのセンサーをすべて上向きで固定して観測を実施した。Midasの音速度センサーはタイムオブフライト方式であり、計測範囲は1,400～1,600 m/s、分解能は0.001 m/s、精度は $\pm 0.02$  m/sである。音速度センサー部はトランスデューサーから音響パルスを放射して反射板からトランスデューサーにまで戻るまでの時間を精密計測して音速度を求める。

Midasのセンサーは上下動に伴う変化にも高精度で応答できる。通常Midasの上げ下げ速度は巻き上げ機の性能に依存する。しかしMidas本体では発振周波数を細かく調整できるため、ほぼすべての速度に対応可能である。

例えばGB21-1航海では8 Hzで観測を行った（佐藤ほか、2020）。現在は電池消費を抑えるため、発振を1秒間隔に設定している。なお、ドレッジやピストンの巻き上げ速度が最大1 m/sであり、この設定でも1 m/sごとの速度変化に対応できるようにしてある。

圧力計のタイプはpiezo抵抗センサーであり、計測限界は600 Bar（約6,000 m）、分解能は0.001%FSR、精度は $\pm 0.05\%$ FSRである。観測に用いるセンサーは2019年4月にメーカーによる校正が行われている。Midasはオフラインで観測し内蔵メモリーにデータを蓄積、揚収後にデータを回収する。観測はスイッチコネクタを挿入することで開始され、コネクタを抜去することで終了する。機器の設定は制御用のソフトウェアDataLog Expressを用いて行った。GB23調査航海では、全ての観測において連続測定モード（Continuous Mode）を用いて2 Hzで観測を行った。圧力センサーの出力は圧力と深度から選択可能であるが、本航海では深度を選択した。

本航海では、各地点で観測された音速プロファイルの深度1 m毎の平均値を計算したものを用意し、HIPS & SIPS 11.4の音速度補正オプションのPrevious in Timeを用いて補正を行った。

GS23航海での表面音速度については、先述のとおり機器トラブルの問題で正確ではない表面音速度のもと海底地形観測が実施されていたが、SeaBeam3050の“.xse”ファイルのHIPS & SIPS 11.4での音速度補正に関してもトラブルが発生していた。具体的にはXCTD等で取得した音速度プロファイルを使用して音速度補正を行うと、海底地形がいわゆる“スマイルカーブ”となり音速度補正が正しく行われず事象が発生する。以下これを修正するための表面音速度の修正についてその具体的手順を述べる。

処理は同様にHIPS & SIPS 11.4を使用した。まず

“.xse”ファイルをHIPS & SIPS 11.4内に1つインポートする。この際プロジェクトフォルダの中に、ファイル名に応じたフォルダが作成され、ここにパラメータごとの個別ファイルが収納される。今回必要な表面音速度と音速度プロファイルに該当するファイルは、それぞれ“originalSoundVelocity”という拡張子なしのテキストファイルと、“Svp”という拡張子なしのテキストファイルとして出力されている。“originalSoundVelocity”の音速度値は音速度プロファイルから算出した値が記録されているように見え、“Svp”には手動で入力した音速度プロファイルが保存されている。（第3図A, B）

HIPS & SIPS 11.4で音速度補正を機能させるには、SeaBeam3050の制御プログラムである“Hydrostar”にて観測に適応された表面音速度に置き換える必要がある。観測時の表面音速度は“Hydrostar”のログファイルとして、multibeam(19).logというテキストファイル保存されている（第3図C）。音速度の更新のタイミングでその日時と音速度が記録される。テキストファイルを編集するため、インポートの後、HIPS & SIPS 11.4を一度終了する。次に“originalSoundVelocity”と“multibeam(19).log”をWindowsのメモ帳などのテキストエディタで開き“originalSoundVelocity”の値を“multibeam(19).log”の最も近い時刻の表面音速度値に書き換え、上書き保存する。これで1ファイル分の修正が完了する。観測したファイルごとにこの操作を繰り返せば、補正は完了する。

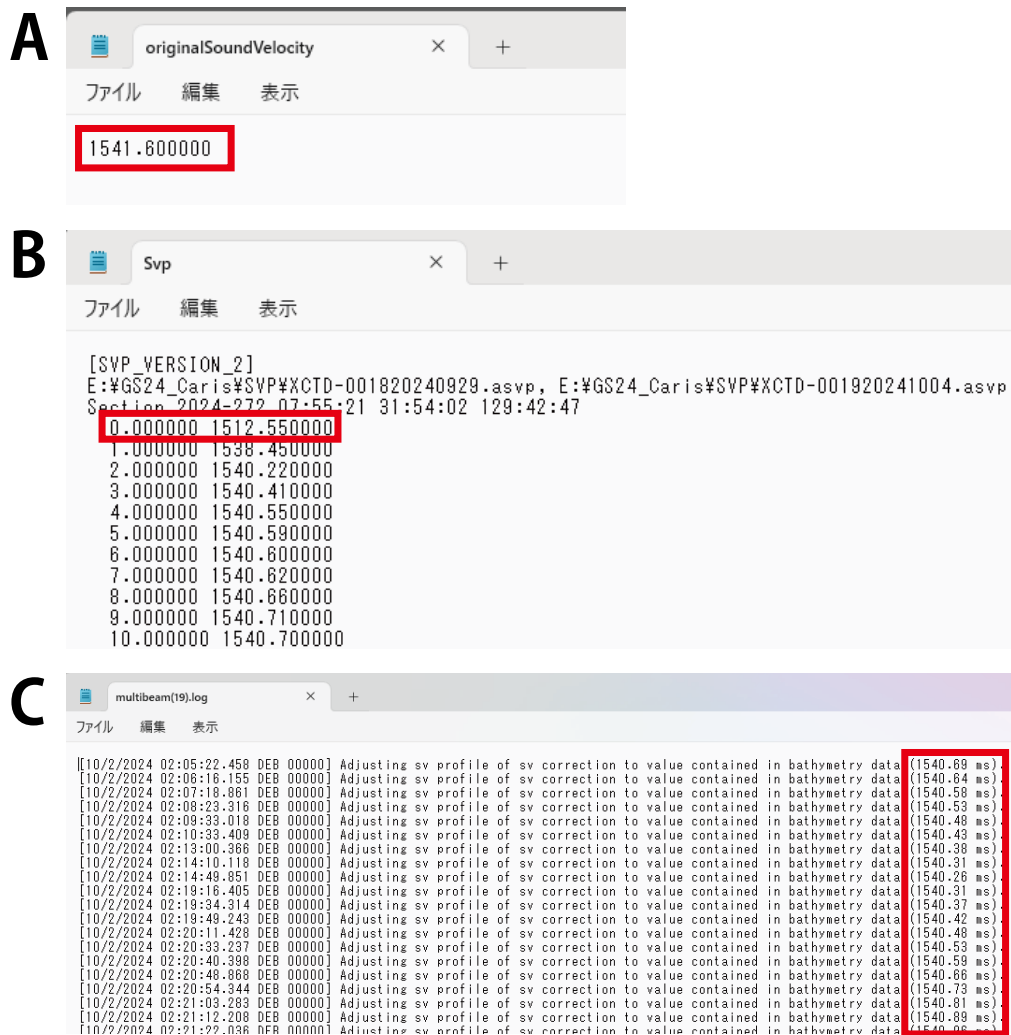
なおHIPS & SIPS 11.4ではSeabeamで観測されたデータ（例えば新青丸や2020年以前の白鳳丸）において、状況により音速補正が実施されないバグが発生する。その際、“originalSoundVelocity”と“multibeam(19).log”のデータの差が大きい場合に再現する可能性が高く、今回実施した“originalSoundVelocity”を修正することで、音速度補正が実施可能になると思われる。

## 2.4 データ統合

最終的に、海底地形データは両航海のデータを統合し、本海域の海底地形図を作成した（第4図）。ここでは作図にはQGIS 3.24（QGIS.org, 2024）を用いた。後方散乱データは、観測エリアが広い一方で解像度が高いデータが取得されているために計算要求スペックが高く、一括で計算することが難しい。そのため、試料採取や反射法地震探査断面など、ほかの観測項目からの必要に応じて狭いエリアごとに対応することが望ましい。

## 3. まとめ

GS23及びGB23調査航海では、主に九州北西海域の調査を行い、新たに高解像度の海底地形データを取得した。ただしマルチビーム測深器の特性上、水深が浅い場所では広範囲をカバーすることが難しく、今回の調査では解像を進めるために十分な面的データを取得するには至ら



第3図 HIPS & SIPSにインポート後に各フォルダ内に作成される音速度関連ファイルの内容例 (A : originalSoundVelocity 〈表面音速度〉, B : Svp 〈音速度プロファイル〉)。また, Hydrostarにより取得された表面音速度ログC : multibeam(19).logの内容例も示す。

Fig. 3 Examples of the contents of sound velocity-related files generated in each folder after import into HIPS & SIPS (A: originalSoundVelocity [surface sound velocity], B: Svp [sound velocity profile]). In addition, an example of the surface sound velocity log obtained by Hydrostar (C: multibeam(19).log) is also shown.

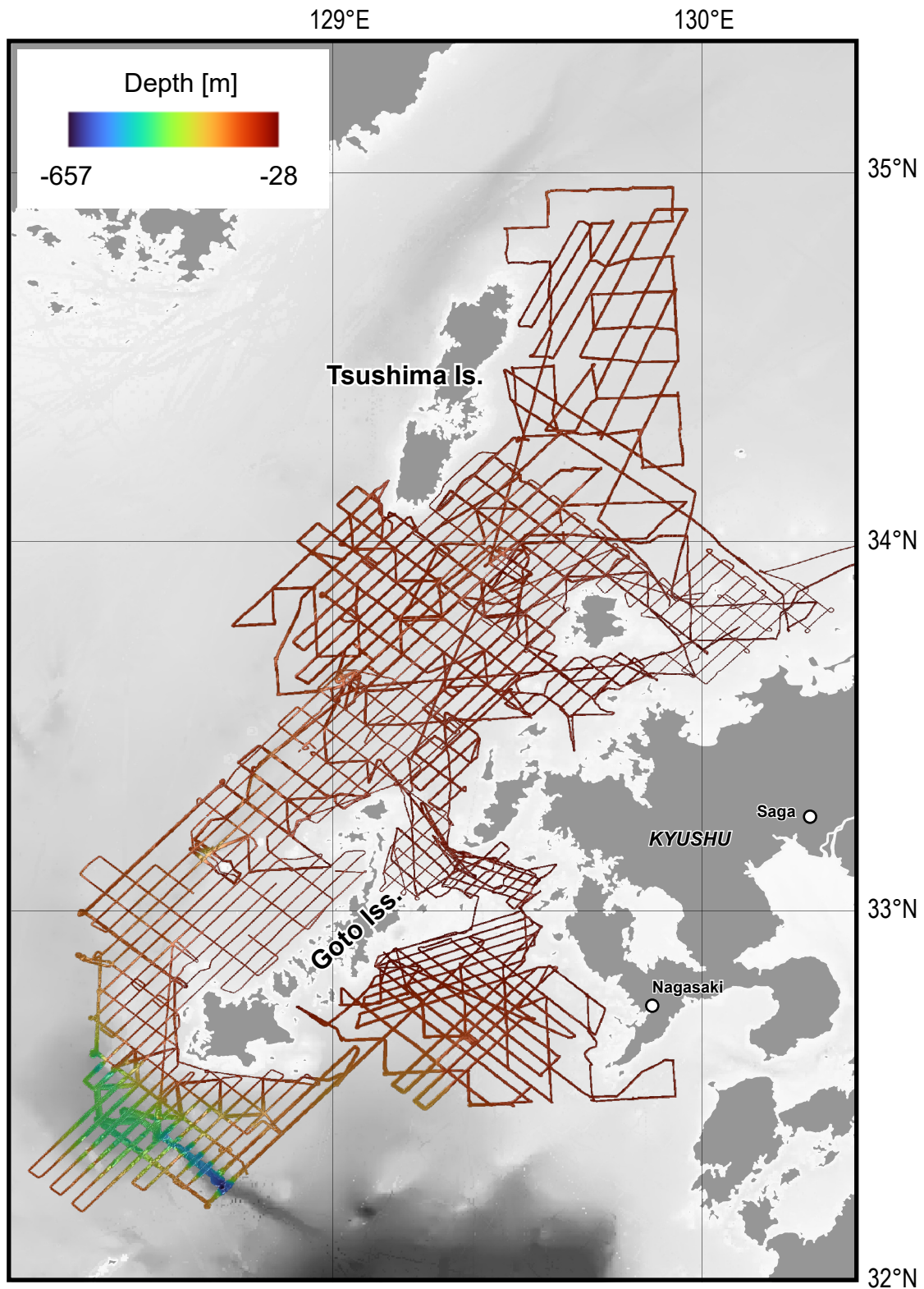
なかった。海洋地質図の作成には、海底地形が不可欠であり、特にブーゲー重力異常の計算や採取試料の解釈において重要となる。そのため現在産総研では海上保安庁と共同研究を契約し、本海域における既存データの整理・統合を進めている。

**謝辞：**今回の調査では、神鷹丸・望星丸の船長をはじめ、乗組員・運用士の方々、RAやアルバイトで乗船された方々、及び調査団の研究員の皆様には調査機器の運用やデータ記録に関してご尽力いただきました。望星丸における観測については、特に玉井隆章技術員の尽力に大変お世話になりました。また、査読者である石塚 治氏の

有益なコメントにより、本稿は大幅に改善されました。皆様に篤く謝意を表します。

## 文 献

- 甘糟和男・會川鉄太郎・酒井久治 (2017) 東京海洋大学 練習船神鷹丸に装備された水中音響機器. 水産工学, 54(1), 61–70.
- 海上保安庁 (2024) 海しる (海洋状況表示システム). <https://www.msil.go.jp/msil/htm/topwindow.html> (閲覧日: 2024年10月9日)
- 高下裕章・佐藤太一・鈴木克明 (2023) GB21-2, 3 トカラ列島周辺海域におけるマルチビーム測深器によ



第4図 GB23 及びGS23 航海にて取得されたMBESデータを統合した九州北西海域の海底地形。グリッド間隔は5 mである。背景にグレースケールでETOPO 2022 (NOAA National Centers for Environmental Information, 2022) による15秒統合グリッドを表示した。

Fig. 4 Integrated bathymetry at the GS23 and GB23 cruise. The grid space is 5 m. In the background, ETOPO 2022 15 Arc-Second Global Relief Model (NOAA National Centers for Environmental Information, 2022) is drawn in gray scale.

- る観測の概要. 地質調査研究報告, **74**, 193–202.
- Mizuno, K. and Watanabe, T. (1998) Preliminary results of in-situ XCTD/CTD comparison test. *Journal of Oceanography*, **54**, 373–380.
- 永野真男・桜井 操・桂 忠彦・中村啓美・北原祥二・小野寺健英 (1976) 九州西岸沖の海底地質. 水路部研究報告, no. 11, 1–38.
- NOAA National Centers for Environmental Information (2022) ETOPO 2022 15 Arc-Second Global Relief Model. NOAA National Centers for Environmental Information. doi: 10.25921/fd45-gt74
- 大島章一・登崎隆志・小野寺健英 (1980) 西南日本周辺海域の地磁気異常. 水路部研究報告, no. 15, 33–54.
- 佐藤太一・高下裕章・佐藤雅彦 (2020) GH19 航海 (与那国島周辺海域) 及び GK19 航海における海底地形観測の概要. 井上卓彦・片山 肇編, 「沖縄周辺海域の海洋地質学的研究」令和 2 年度研究概要報告書—石垣島・西表島・与那国島周辺海域—, 地質調査総合センター速報, no. 80, 6–17.
- QGIS.org (2024) QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.org> (Accessed: 2024-10-9)
- ( 受 付 : 2024 年 10 月 9 日 ; 受 理 : 2025 年 9 月 19 日 )