

マルチビーム測深機を用いた利尻根およびその周辺海域における海底地形調査 Bathymetric survey in the Rishiri Ne and its adjacent waters using multibeam echo sounder

ABSTRACT

丸山 純也*

MARUYAMA Junya*

受付：2024年11月29日

受理：2025年1月27日

* 地域地質部沿岸・水資源グループ

Corresponding Author MARUYAMA Junya
maruyama-junya@hro.or.jp

The bathymetric chart is one of the most important information maps used in various research fields such as geology, geomorphology, and fishery science. In recent years, detailed bathymetric charts have been produced using multibeam echo sounders (MBES) that can acquire high-precision topographic data. In this study, we conducted the bathymetric survey using a multibeam echo sounder “Sonic 2024” to obtain high-precision topographic data in the Rishiri Ne and its adjacent waters located in the southwest of the Rishiri Island. As a result, we revealed that Rishiri Ne shows uneven topography, and the water depth at the top of that is 52.4 m. Furthermore, we found that the bathymetric chart created in this study is higher-resolution map than ever before by comparing the bathymetry data obtained from this study with the previous ones in this survey area.

Keywords: Bathymetric chart, High-precision topographic data, Marine survey, Multibeam bathymetry, Rishiri Ne.

1. はじめに

利尻島の南西沖には南北方向に延びる背斜構造が複数認められ、この背斜構造をつくる隆起帯には利尻根と呼ばれる天然礁が存在する^{1) 2)}。利尻根は、利尻火山の形成に関連するとみられる利尻沖火山群に分類され、その分布域は波長の短い高磁気異常で特徴付けられている³⁾。また、船上重力測定の結果から、利尻根およびその周辺海域は高い重力異常を示すことがわかっており、基盤の盛り上がりを示唆する地質構造の存在が指摘されている⁴⁾。さらに、利尻根はホッケやソイなどが多く来遊する好漁場でもあることから、その魚群分布や反射強度を調べるため、計量魚群探知機による音響調査がこれまで行われてきた^{5) 6)}。その結果、起伏に富んだ地形を呈する利尻根頂上付近では、周辺海域に比べて強い魚群反応を示すことがわかり、海底地形が魚群形成に影響を及ぼす可能性が示唆された。

これらのことから、利尻根およびその周辺海域の海底地形を調べることは、本海域の海底地質や構造発達史を議論する上で重要な情報となり得るほか、水産研究の発展にも寄与するところが大きいと考えられるものの、本海域では詳細な海底地形調査がこれまで行われてこなかった。そこで本研究は、利尻根およびその周辺海域の詳細な海底地形データを取

得するため、海底面を高精度かつ面的に計測できるマルチビーム測深機の活用を試みた。本稿では、取得したデータから作成した海底地形図を提示するほか、本海域における既存の海底地形データも紹介し、マルチビーム測深機で得られたデータとの比較結果についても報告する。

2. 調査概要

海底地形調査は、令和4年6月26日から27日の2日間にかけて稚内水産試験場が所有する試験調査船北洋丸（総トン数：266 t）を用いて行った。調査海域は利尻根頂上付近を中心に東西約3.7 km、南北約2.0 kmの範囲とし、水深はおおよそ100 m以浅の海域を選定した（図1）。また、調査測線は既存の海底地形データ⁷⁾を参考にして80~120 m間隔で展開しており、隣接する測線から得られる海底地形データを半分以上重複させるようにした（図2）。なお、調査船の位置はApplanix社製のPOSMVを用いて測位を行い、船速は5ノット程度を維持するように航走した。

海底地形調査には、R2Sonic社製のワイドバンドマルチビーム測深機Sonic2024を使用した。測深の際、周波数は400 kHz、ピングレートを60 Hzに設定し、スワス角とパル

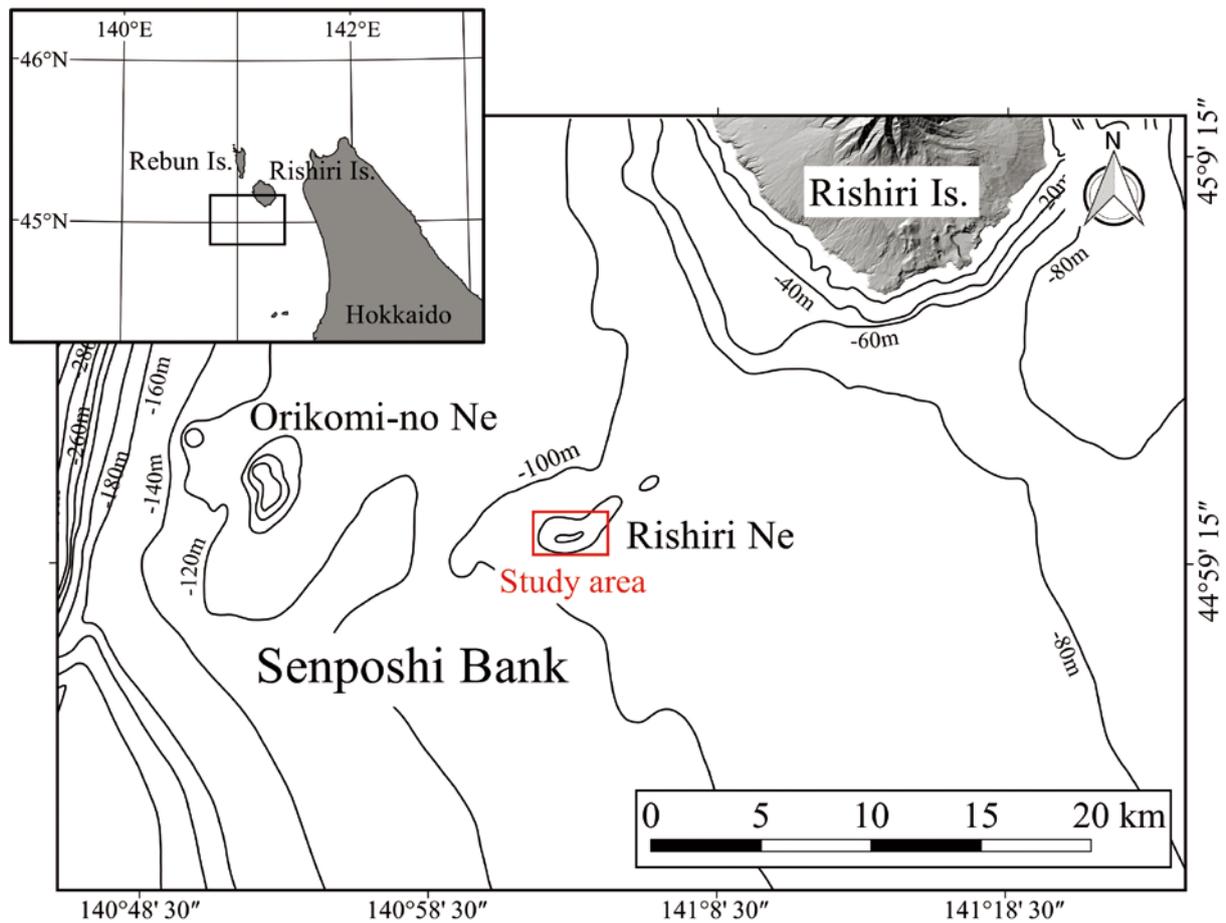


図1 調査エリアの位置図。陰影起伏図は国土地理院が発行する10mメッシュDEMを用いて作成し、等深線データは産業技術総合研究所地質調査総合センターが発行する「天売島周辺海底地質図」に基づく。

Fig. 1 Location map of the study area. Shaded relief map and bathymetric contours are based on 10m-mesh DEM published by the Geospatial Information Authority of Japan and Geological Map of the Vicinity of Teuri Island published by the Geological Survey of Japan, AIST, respectively.

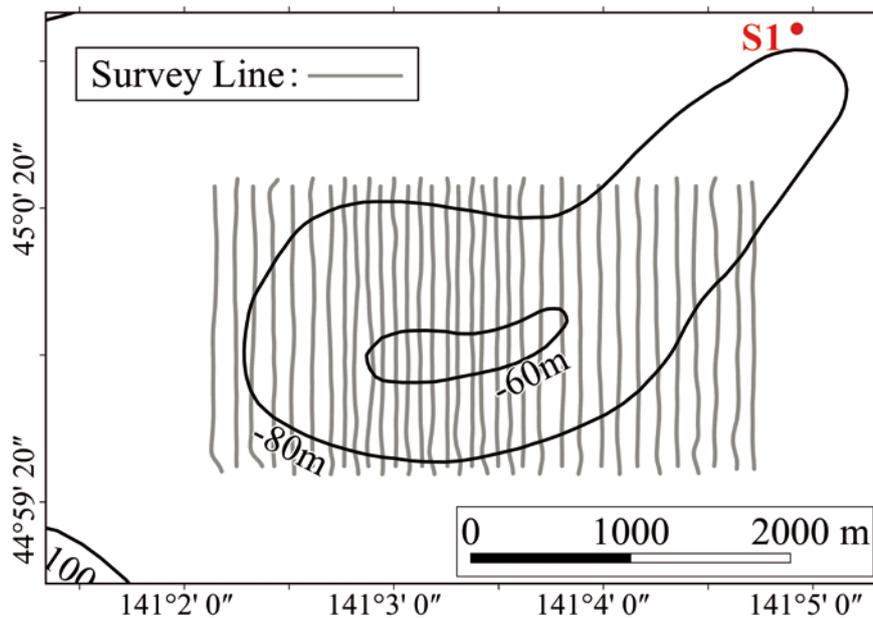


図2 調査測線の位置図。赤丸は音速度プロファイルの観測地点を示す。

Fig. 2 Location map of the survey lines. Red circle (S1) indicates the observation point of the sound speed profile.

ス幅はそれぞれ 120°, 40 μ s に調整して海底地形データを取得した。また、得られたデータに対して音速度補正を適用させるため、AML Oceanographic 社製の音速度プロファイル AML-3 を用いて対象地点（北緯 45° 0' 57.60", 東経 141° 4' 55.20"）の表層から深度約 80 m までの音速度プロファイルを取得した（図 3）。

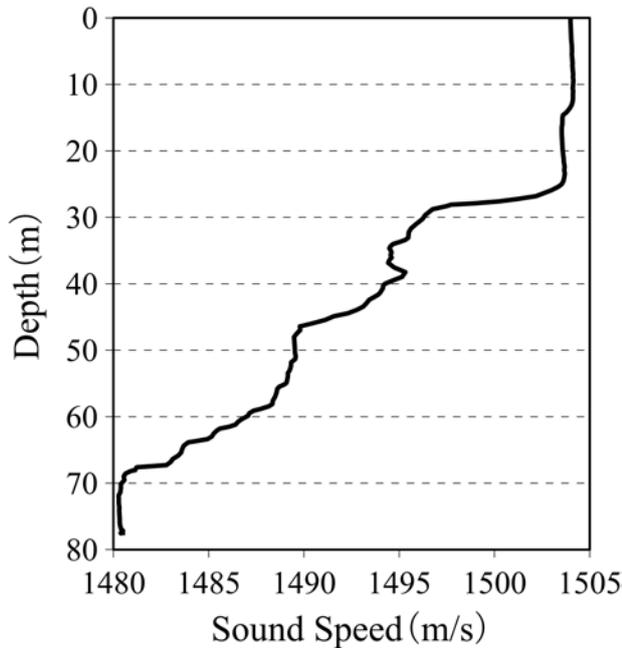


図 3 観測地点 S1 における音速度プロファイル（図 2 参照）
Fig. 3 Sound speed profile at the S1 observation point (See also Fig.2).

3. データ処理

測深したデータには水中の気泡や浮遊物、さらには魚群等からの反射波といったエラーデータが含まれているため、これらのノイズを除去する必要がある。本研究では、HYPACK 社製の HYPACK2022 によって各測線の深度プロファイルを表示させ、手でノイズの判別および除去を行った。なお、ノイズかどうか判断に迷う記録に関しては、隣り合う測線の深度プロファイルを重ね合わせて表示し、総合的に判断してノイズの除去を行った。また、動揺センサーで得られたリアルタイムのヒープ値には計測誤差や電気的なノイズなどが含まれている可能性が考えられるため、Applanix 社製の制御ソフトウェア MVPOSview で収録した True Heave を適用させてヒープ値の補正も行った。このほか、音速度プロファイル（図 3）を HYPACK のシステムに与えて音速度補正を適用したほか、気象庁が提供する稚内の潮位データ⁸⁾を用いて潮位補正も行った。

以上の各種補正およびノイズ除去を行ったデータは、Golden Software 社製の Surfer27 に取り込み、5 m メッシュの格子データに変換した。データ処理のフロー図を図 4 に示す。なお、取り込んだデータの総数は 19,574,650 点であり、補間には Kriging 法を採用した。

4. 測定結果

前述の Kriging 法による 5 m メッシュの格子データから作

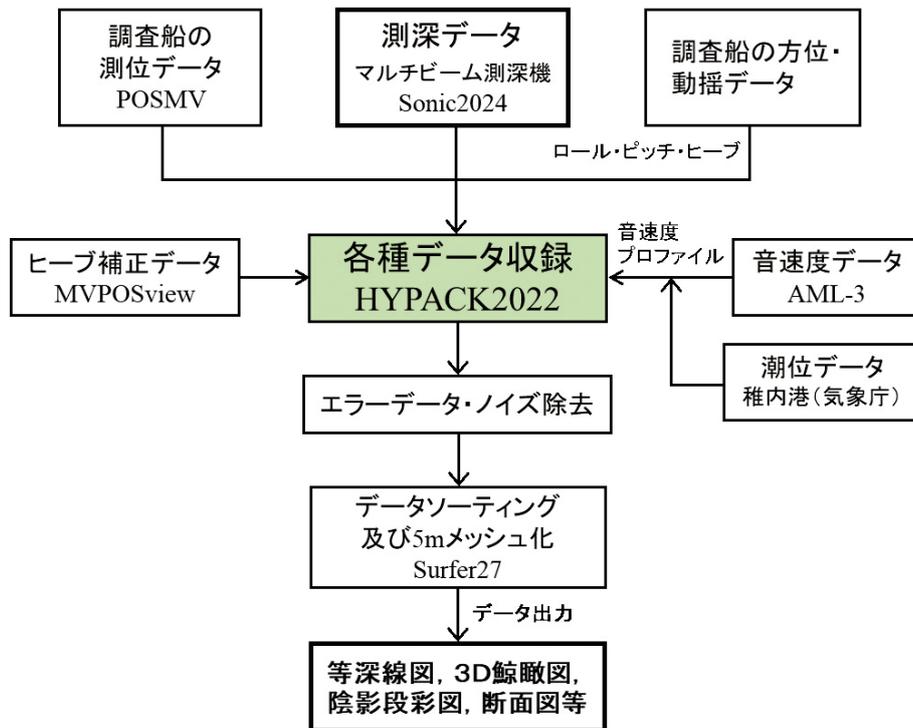


図 4 データ処理のフロー図
Fig. 4 Flowchart of data processing.

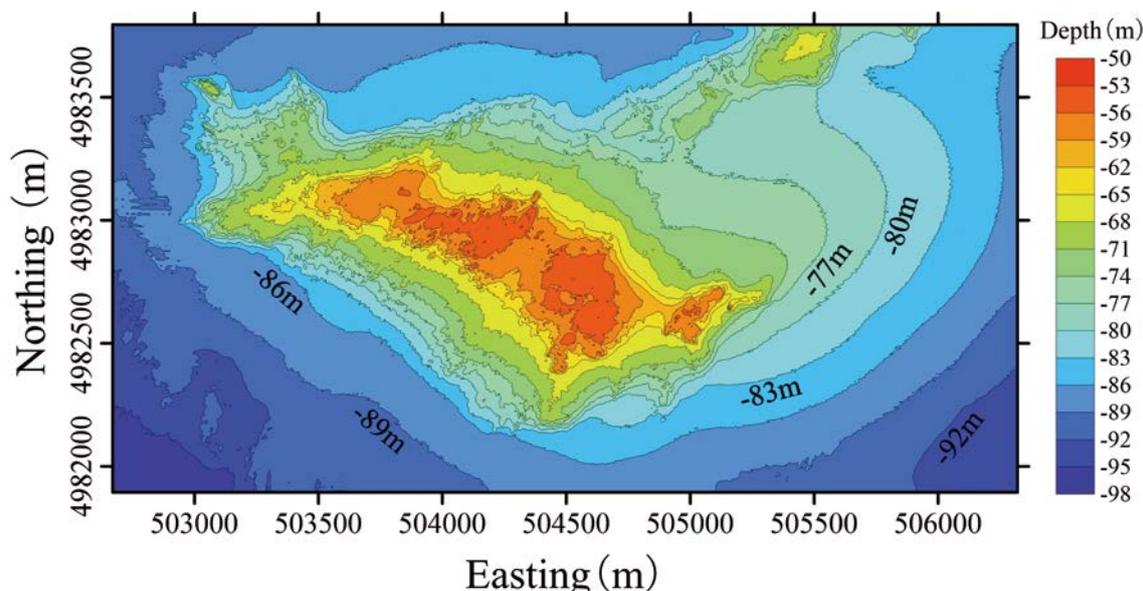


図5 利尻根およびその周辺海域の等深線図。コンター間隔は3mで表示。

Fig. 5 Color-coded contour map in the Rishiri Ne and its adjacent waters. Counter interval is 3m.

成した利尻根およびその周辺海域の等深線図を図5に示す。なお、作成した等深線図の座標値はWGS84系のUTM座標値(Zone 54N)で表示しており、コンター間隔は3mに設定した。

利尻根の地形は、全体として比較的平坦な頂部を持ち、縁辺を傾斜地に囲まれた台地上の高まりとして特徴付けられることがわかった。また、平坦な頂部には比高2m程度の起伏に富んだ地形が複数見られるほか、水深84~88m付近で地形の傾斜変換線(遷緩線)が認められ、その水深付近から台地頂部までの比高はおおよそ34mであることもわかった。なお、頂部水深は52.4mであり、佐藤ほか⁹⁾が実施した海底地形調査の結果(利尻根の最浅水深:54m)と大きな違いはなかった。

調査海域の北東側には、頂部水深65m程度の小高い地形の高まりが認められた。この高まりから中央部にかけては、凸型の小規模な地形が独立して並んでいることがわかった。

本研究では、Surfer27の3DView機能を利用して、5mメッシュの格子データから海底地形の3D図も作成した。その結果を図6に示す。3D表示した海底地形図は、地形の起伏を直感的かつ詳細に捉えることができるため、特徴的な海底地形を容易に抽出することが可能である。ただし、作成した3D図は高さを10倍に強調していることから、地形判読を行う際には高さ方向の強調を十分に考慮する必要がある。

5. 既存データとの比較

利尻根およびその周辺海域は、日本水路協会が発行する海底地形デジタルデータ「M7015北海道北部」によって、コンター間隔1mの等深線データが整備されている(図7)。

本研究では、M7015北海道北部の等深線データをSurfer27に取り込み、調査海域と同じ範囲における5mメッシュの格子データを作成して、マルチビーム測深機で得られた海底地形データとの比較を行った。その結果を図8に示す。なお、図8(a)はワイドバンドマルチビーム測深機Sonic2024から得られたデータをもとに作成した陰影段彩図(以下、MBES_topo)であり、図8(b)はM7015北海道北部の等深線データから作成した陰影段彩図(以下、M7015_topo)である。

MBES_topo(図8(a))では、細かい地形の凹凸を詳細に捉えることができていると認められる。また、水深50~60m付近にみられる小規模で微細な起伏をもつ海底地形は、西北西から東南東方向にかけて形成されることがわかった。一方、M7015_topo(図8(b))では、全体的に凹凸の少ない海底地形が調査海域の広い範囲にわたって分布する図面となった。なお、海底地形の全体的な傾向は、双方の間でそれほど大差はないものの、MBES_topoとは異なる特徴的な地形がM7015_topoでは複数認められた(図8(b))。

MBES_topoとM7015_topoの東西方向(Y=4,983,000m)および南北方向(X=504,500m)における海底地形のプロファイルを図9と図10に示す。東西方向のプロファイル(図9)を見ると、MBES_topoは起伏の激しい凹凸地形が利尻根の頂上から西側の斜面にかけて強く現れていることがわかる。しかしながら、M7015_topoでは起伏の小さい平滑な斜面が利尻根の頂上から西側にかけて認められ、両データで異なる地形形態を示すことがわかった。また、MBES_topoの利尻根頂上から東側にかけては、平均傾斜角2度程度の斜

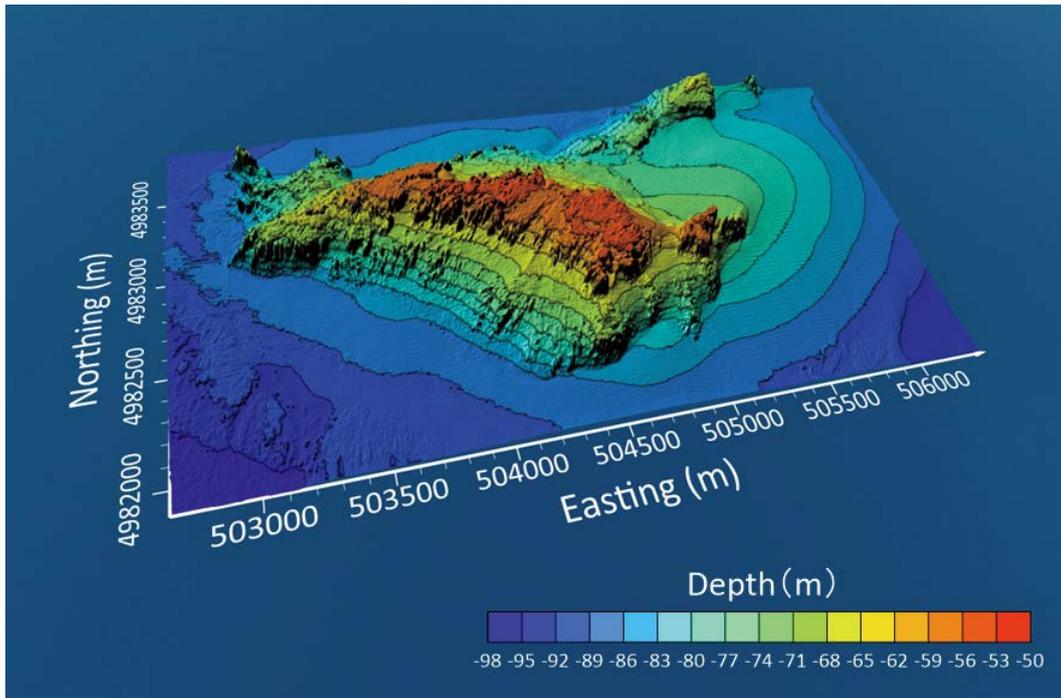


図6 利尻根およびその周辺海域の3D海底地形図。高さは10倍に強調。

Fig. 6 3D bathymetry map in the Rishiri Ne and its adjacent waters. The vertical exaggeration is 10 times.

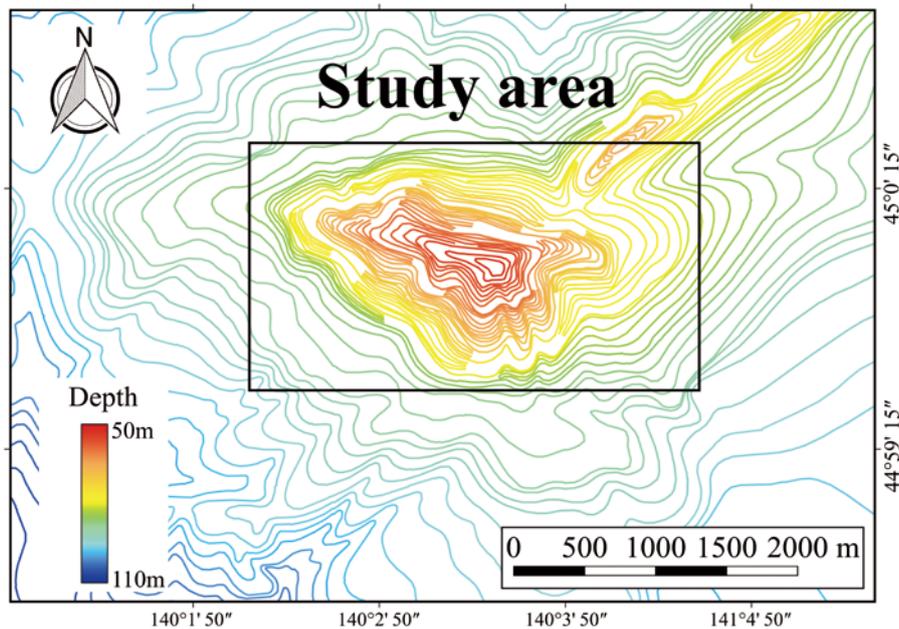


図7 調査海域周辺の水深コンター図。等深線データは日本水路協会が発行する海底地形デジタルデータ「M7015 北海道北部」に基づく。

Fig. 7 Bathymetric contour map around the study area. Bathymetric contours are based on the Digital Bathymetric Chart “M7015 North Part of Hokkaido” published by the Japan Hydrographic Association.

面が距離 504,900 m 付近まで続いて地形の傾斜変換点（遷緩点）を迎えるのに対し、M7015_topo ではこれらと同様の海底地形を確認することはできなかった。さらに、南北方向のプロファイル（図 10）を見ると、北側へ向かうにつれて水深のずれが大きくなる傾向が確認でき、その差は最大で

8.3 m にも及ぶことがわかった。

陰影段彩図および東西・南北方向のプロファイルから、MBES_topo と M7015_topo には異なる地形を示す箇所が複数認められることがわかった。これは、格子データを作成する際に入力したデータ数の違いに起因するところが大い

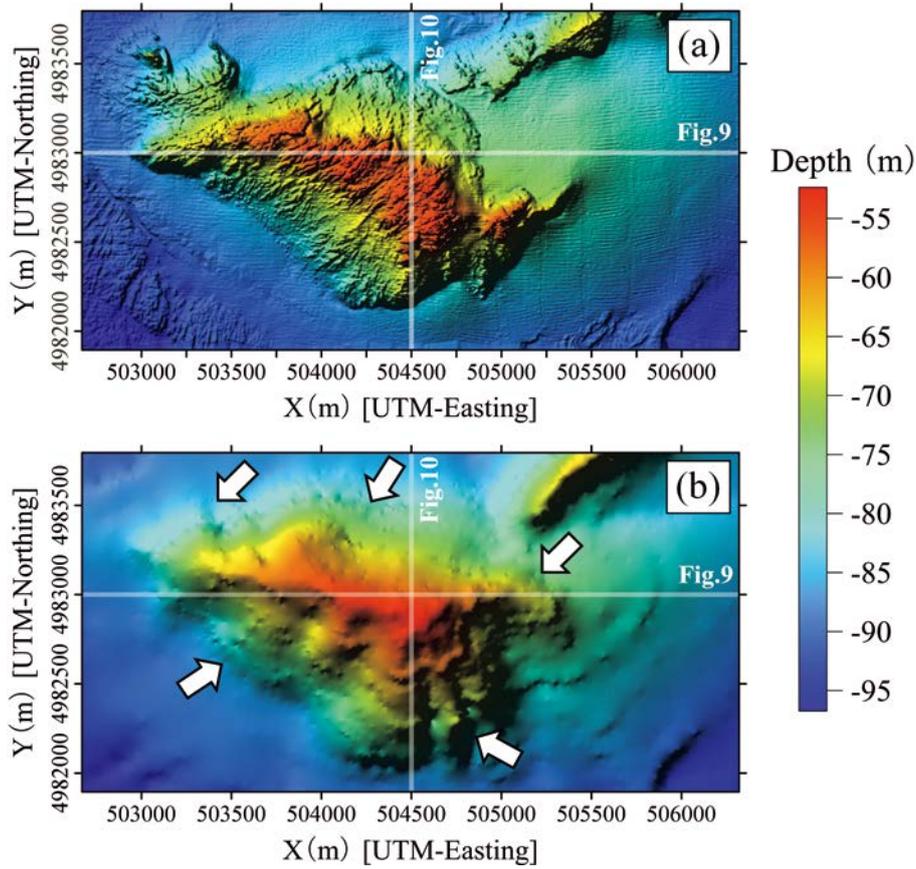


図8 (a) マルチビーム測深機 Sonic2024 と (b) 海底地形デジタルデータ M7015 北海道北部のデータから作成した陰影段彩図。白矢印は (a) とは異なる特徴的な地形を呈した代表的なエリアを示し、白線は図9 および図10 の断面線をそれぞれ示す。

Fig. 8 Color shaded relief map derived from the data of (a) Multi Beam Echo Sounder "Sonic2024" and (b) Digital Bathymetric Chart "M7015 North Part of Hokkaido". White arrows and lines indicate the representative areas with distinctive topographies which are not identified in (a) and the cross-section shown in Fig.9 and Fig.10, respectively.

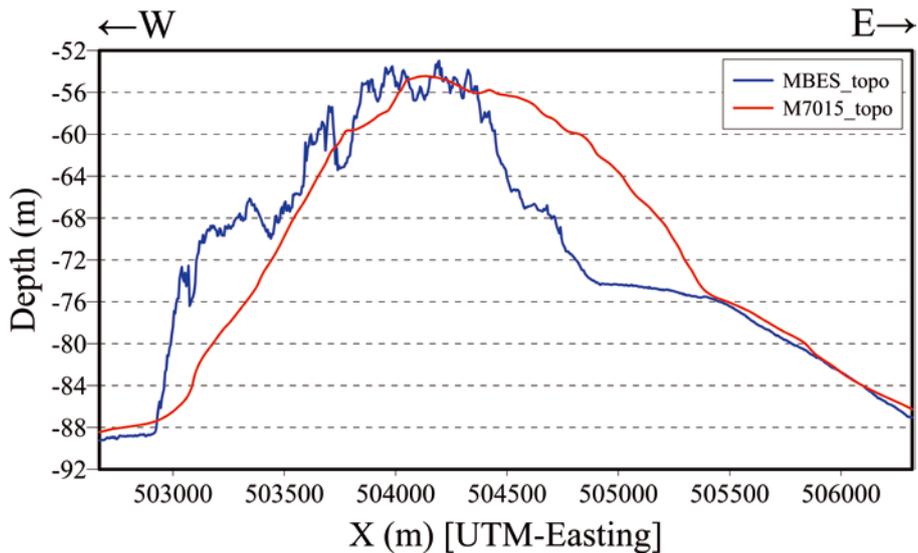


図9 Fig.8 (a), (b) の東西方向 (Y=4,983,000m) における海底地形のプロファイル。
Fig. 9 Bathymetric profile along the E-W direction (Y = 4,983,000m) in Fig.8 (a) and (b).

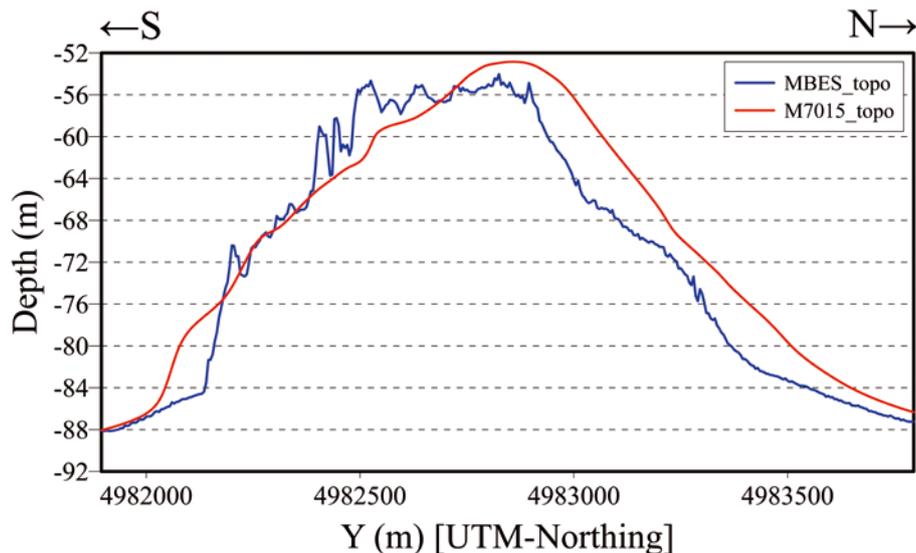


図 10 Fig.8 (a), (b) の南北方向 (X=504,500m) における海底地形のプロファイル。
Fig. 10 Bathymetric profile along the N-S direction (X = 504,500m) in Fig.8 (a) and (b).

考えられる。実際、M7015_topo を作成する際に使用した等深線データの総数は 5,431 点であり、MBES_topo を作成する際に使用した総データ数の約 0.03% である。そのため、本研究で得られたデータをもとに作成した海底地形図は、従来よりも詳細な海底地形を反映している可能性が高い。

6. まとめ

本研究では、利尻島の南西沖に位置する利尻根およびその周辺海域において、ワイドバンドマルチビーム測深機 Sonic2024 による海底地形調査を行った。本調査で得られたデータに対して音速度補正や潮位補正、さらにはノイズ除去といったデータ処理を行った結果、東西約 3.7 km、南北約 2.0 km の調査範囲において、おおよそ 1960 万点の海底地形データを取得することができた。

本稿では、取得した海底地形データを Golden Software 社製の Surfer27 に取り込み、5 m メッシュの格子データに変換して等深線図および 3D 表示の海底地形図を作成した。その結果、利尻根およびその周辺海域の特徴的な海底地形を抽出できることがわかった。また、陰影段彩図も作成し、既存データとの比較を行った結果、本調査で得られた海底地形データは、調査海域内の海底地形をこれまで以上に高い精度で再現できていることがわかった。

謝 辞

本研究を行うにあたり、株式会社東陽テクニカの秋山竜也氏には、ワイドバンドマルチビーム測深機 Sonic2024 の操作方法およびデータの編集作業に関して有益なご助言をいただいた。また、調査の実施に際しては、稚内水産試験場の試験調査船北洋丸の船長ならびに乗組員の方々には多大なるご協

力をいただいた。以上の方々に感謝を申し上げる。

引用文献リスト

- 1) 荒井晃作・岡村行信・倉本真一, 1999, 留萌沖一天塩沖海域の海底地質構造「北海道西方海域の環境変動に関する総合的研究及び海域活断層の評価手法に関する研究」平成 10 年度研究概要報告書, 地質調査所速報, MG/99/1, 13-24.
- 2) 荒井晃作・岡村行信, 2000, 北海道西方海域の海底地質構造「北海道西方海域の環境変動に関する総合的研究及び海域活断層の評価手法に関する研究」平成 11 年度研究概要報告書, 地質調査所速報, MG/00/1, 14-30.
- 3) 荒井晃作・山崎俊嗣・駒澤正夫, 2013, 天売島周辺の海底下の地質を調べる, GSJ 地質ニュース, 2, 9, 265-269.
- 4) 荒井晃作, 2012, 天売島周辺海底地質図. 海洋地質図 no.75 (CD), 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 5) 稚内水産試験場, 2018, 平成 30 年 ホッケ計量魚群探知機調査報告, <https://www.hro.or.jp/upload/35046/hokke201805.pdf> (2024.9.1 閲覧)
- 6) 板谷和彦・浅見大樹・高嶋孝寛, 2012, 仙法志堆 (利尻島南西部) におけるホッケの計量魚探調査, 北水試だより, 84, 6-9.
- 7) 日本水路協会, 2009, 海底地形デジタルデータ M7000 シリーズ M7015 Ver.2.0 北海道北部.
- 8) 気象庁, 2024, 潮汐・海面水位に関する診断表, データ, https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/index_tide.html (2024.9.30 閲覧)
- 9) 佐藤任弘・桜井操・田口広・永野真男・内田摩利夫・大森哲雄, 1973, 北海道西方大陸縁辺地域の海底地質, 水路部研究報告, 8, 1-49

要 旨

海底地形図は、地質学や地形学、さらには水産学といったあらゆる分野において重要な基本図の1つである。近年では、詳細な海底地形図を作成するため、精度の高い海底地形データを面的に取得できるマルチビーム測深機を用いた調査事例が多く報告されている。本研究は、利尻島の南西沖に位置する利尻根およびその周辺海域において、マルチビーム測深機を用いた海底地形調査を実施し、精度の高い地形データの取得を試みた。調査の結果、利尻根の頂上には比高 2m 程度の起伏に富んだ地形が複数存在し、その頂部水深は 52.4m であることが明らかとなった。また、既存の海底地形データとも比較した結果、本調査のデータから作成した海底地形図は、従来よりも詳細な海底地形を反映していることがわかった。