

Online ISSN : 2186-490X
Print ISSN : 1346-4272

地質調査研究報告

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 75 No. 5/6 2024

特集： 鹿児島県トカラ列島周辺の海洋地質 —2022年度調査航海結果—



 **産総研** 地質調査総合センター 

令和6年

地質調査研究報告
BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN
Vol. 75 No. 5/6 2024

表紙の写真

2022 年度トカラ列島周辺海洋地質調査

地質調査総合センター (GSJ) では 1970 年代から日本周辺海域の 20 万分の 1 海洋地質図を発行している。本特集号では沖縄トラフ北部海域調査の一環として、トカラ列島周辺海域で実施した反射法地震探査、海底地形調査、磁力調査、表層堆積物調査の結果について報告する。

上：北西から鹿児島県トカラ列島の連なる島々と朝焼けを望む

左から口之島、臥蛇島、中之島、諏訪之瀬島、平島が見える。

左下：神鷹丸での反射法音波探査で使用するストリーマケーブルの準備

右下：2022 年望星丸調査航海 (GB22-2) での試料採取終了時のグループ写真。調査員、望星丸甲板員を含む

(写真・文：井上卓彦)

Cover Photograph

Marine geological survey around the Tokara Islands, Kagoshima Prefecture, in Fiscal Year 2022

The Geological Survey of Japan (GSJ) has published the Marine Geology Map Series (1:200,000) for Japan since the 1970s. In this special issue, we report the results of seismic reflection surveys, bathymetric surveys, magnetic anomaly surveys, and marine sediment surveys conducted around the Tokara Islands as part of the Northern Okinawa Trough Project.

Upper: Sunrise over the northern Tokara Islands. From left to right: Kuchinoshima Is., Gajashima Is., Nakanoshima Is., Suwanosejima Is., and Tairashima Is.

Lower left: Preparation of a multi-channel streamer cable for a seismic reflection survey conducted by the vessel Shinyo-maru during the GS22 survey cruise.

Lower right: Group photograph on the vessel Bosei-maru (GB22-2 survey cruise) after the completion of sampling around the Tokara Islands.

(Photograph and caption by INOUE Takahiko)

特集：鹿児島県トカラ列島周辺の海洋地質 —2022 年度調査航海結果—

巻頭言

鹿児島県トカラ列島周辺の海洋地質—2022 年度調査航海結果—

井上卓彦・板木拓也・天野敦子161

概報

2022 年度海域地質図航海で行ったトカラ列島北方海域における反射法音波探査及びドレッジ概要

石野沙季・石塚 治・針金由美子・有元 純・三澤文慶・井上卓彦167

GS22 航海での高分解能サブボトムプロファイラー探査に基づくトカラ列島周辺海域の海底下浅部構造

三澤文慶・古山精史朗・高下裕章・有元 純・石野沙季・鈴木克明197

GB22-1, GB22-2 及び KH23-1 航海においてトカラ列島周辺海域で採取された堆積岩の石灰質微化石に基づく堆積年代

有元 純・田中裕一郎209

論文

トカラ列島西方海域及び屋久島南方海域の底質分布とその制御要因

鈴木克明・板木拓也・片山 肇・兼子尚知・針金由美子・齋藤直輝・岩谷北斗・松井浩紀・石塚 治・山崎 誠・有元 純・
徳田悠希・千徳明日香・池内絵里・井口 亮・鈴木 淳・清家弘治223

概報

GB22-1 及び 2 航海（トカラ列島周辺海域）で採取された底生有孔虫群集の概要

長谷川四郎249

トカラ列島周辺海域（GB22-1 および 22-2 航海）で採取された海底堆積物の化学組成

久保田 蘭・立花好子・板木拓也・片山 肇・鈴木克明・間中光雄265

トカラ列島周辺海域における CTD 観測および海洋大循環モデルに基づく海洋環境

齋藤直輝・鈴木克明・板木拓也・鈴木 淳279

巻 頭 言：鹿児島県トカラ列島周辺の海洋地質—2022 年度調査航海結果—

井上 卓彦^{1,*}・板木 拓也¹・天野 敦子¹

INOUE Takahiko, ITAKI Takuya and AMANO Atsuko (2024) Special issue on marine geology around Tokara Islands in Kagoshima prefecture: result of marine geological mapping survey cruises in 2022 Fiscal Year. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 75 (5/6), p. 161-165, 1 fig and 1 table.

Keywords: Geological survey cruise, Marine geological map series 1:200,000, Tokara Islands, Kagoshima Prefecture, Island arc, Volcanic front, Seismic profiling survey, Bathymetric survey, bottom sediment, marine environment, magnetic anomaly

産業技術総合研究所は、国土の知的基盤整備の一環として、日本周辺海域において海洋地質図の整備を行っている。海洋地質図は、地質構造を反映した海底地質図、海底面の堆積物を反映した表層堆積図、海底深部の構造を反映した重磁力異常図からなる。2019年度までに日本主要四島周辺及び奄美大島から南の南西諸島周辺海域の調査を完了させ、2020年度から九州南方から奄美大島までの吐噶喇列島周辺海域(本稿では一般性を考慮し、トカラ列島と表す)の調査を開始し、2022年度にトカラ列島周辺域を網羅した調査を完了することが出来た。トカラ列島は主要な島として北から口永良部島、口之島、中之島、諏訪之瀬島、悪石島が北東南西方向に直線上に並び、悪石島を境にわずかに西に方向を変え、小宝島、宝島、横当島が直線的に存在する。特に口之島、中之島、諏訪之瀬島は島弧域の火山フロントに位置しており、活発な活火山であることが知られている(例えば、下司・石塚, 2007)。また、トカラ列島西側の背弧域には、臥蛇島、平島などが存在する。背弧域には海底にも多数の海底火山が知られており、近年の詳細な海底地形データから新たな海底火山が多く報告されている海域である(例えば、Minami *et al.*, 2021)。さらに西方には水深1,000 m以深の平坦面を呈する沖縄トラフ北部域が背弧海盆として広がる。本調査海域の陸域及び海域の地形名については第1表にまとめる。

2022年度は中部から北部トカラ列島周辺域において、東京海洋大学の練習船「神鷹丸」と東海大学の海洋調査研修船「望星丸」を用いた計3つの調査航海を実施した。東京海洋大学神鷹丸を用いた調査航海は5月から6月の1航海(GS22航海)、東海大学望星丸を用いた調査航海は、2022年7月(GB22-1航海)と11月(GB22-2航海)の2航海を実施した。神鷹丸を用いたGS22航海は2022年5月16日から6月4日に実施している。GS22航海では航走観測のみを実施し、反射法地震探査、セシウム及び三成分磁

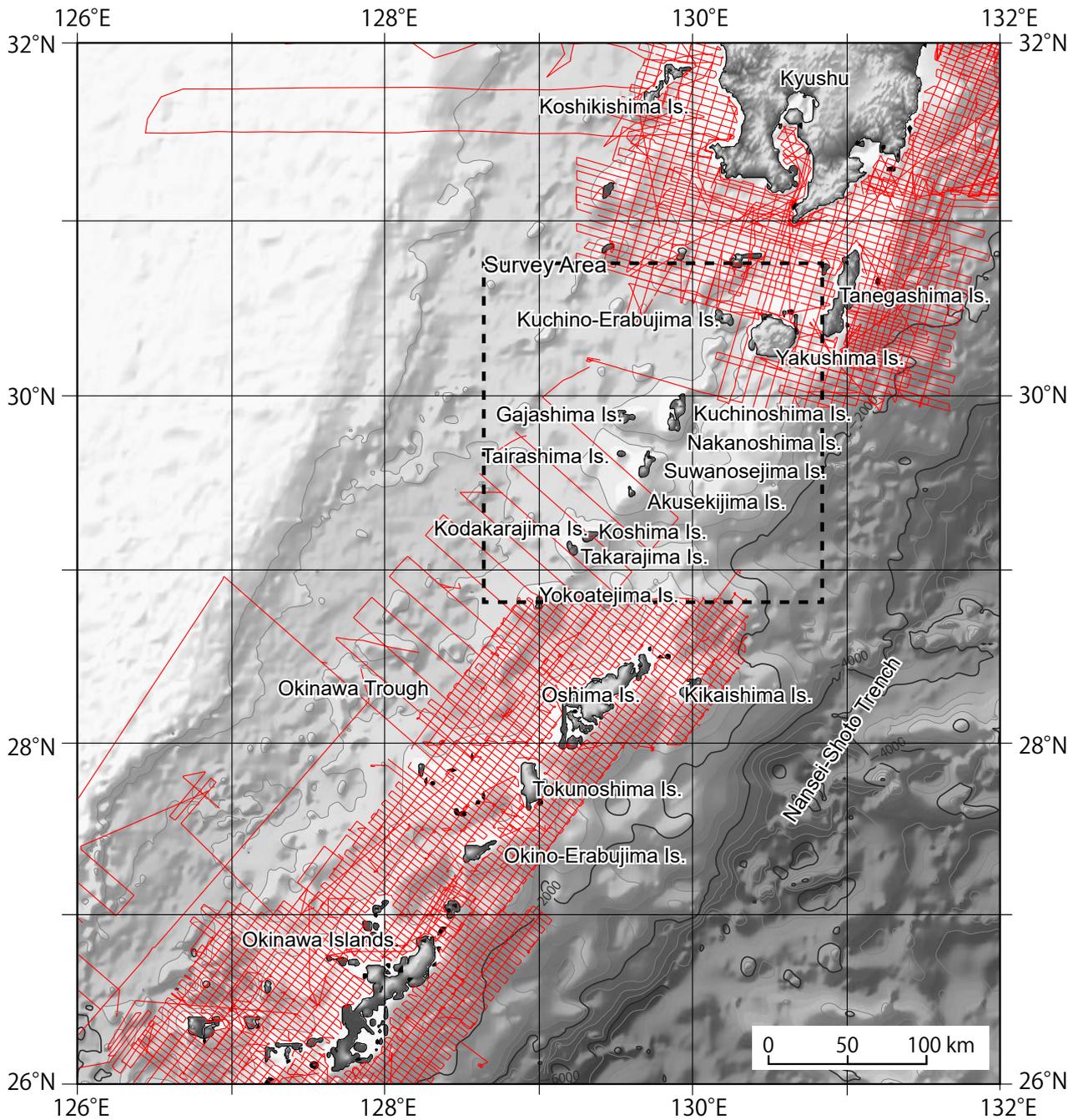
力計を用いた磁気探査、MBESを用いた海底地形調査とサブボトムプロファイラー(SBP)を用いた海底表層高分解能音波探査を行った。望星丸を用いたGB22-1航海は2022年7月9日から7月29日に、GB22-2航海は2022年11月1日から26日に実施した。航走観測として、主に反射法地震探査、セシウム及び三成分磁力計を用いた磁気探査、マルチビーム音響測深器(MBES)を用いた海底地形調査を実施し、停船観測として主にグラブ採泥器を用いた海底表層堆積物採取、ドレッジャーを用いた岩石採取、大口径グラビティコアラーを用いた柱状試料採取を行った。本号ではこれらの2022年度に実施した調査航海で取得したデータについて、地質調査研究報告にまとめる。

本号には論文1編、概報6編の計7編が収録されているが、掲載順は、カテゴリー別ではなく、海域地質図調査において基礎となるデータ及び、より古い構造を示すものから順に構成することとする。以下、個々の報告の目的や意義について簡単に紹介する。

石野ほか(2024)は、海洋地質図の作成の一環として実施したマルチチャンネル反射法音波探査及びドレッジ調査の結果について論じている。高密度な測線間隔の反射断面をもとに、音響層序及び断層の分布、地下構造をまとめており、特に、本調査で重点的に観測したトカラ列島北方及び種子・屋久海脚周辺海域に認められる層序・地質構造の特徴について予察的に記載している。トカラ列島北方海域、種子・屋久海脚周辺海域に分けてそれぞれの海域で音響層序、断層の分布を検討し、断層の形成時期や構造運動について考察をしている。加えて、ドレッジ調査により海底に露岩している各層の岩石試料を採取している。今後、各海域の音響層序から見た構造的特徴と地層の面的な分布・広がりや採取試料から得られる形成年代を検討することで、北部沖縄トラフとトカラ列島周辺海域の構造発達史についてより詳細な議論へ進展す

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)

* Corresponding author: INOUE, T., AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: inoue-taku@aist.go.jp



第1図 調査域図

赤線は2019年度までの海洋地質図航海で実施した航走観測の航跡を、黒破線で囲まれた範囲は2020年度からのプロジェクト調査域を示す。海底地形には海洋情報研究センター刊行JTOPO30v2を利用した。地名は国土地理院に従った。

Fig. 1 Bathymetric map around Tokara Islands.

Red lines indicate track lines carried out in geological mapping cruises by Geological Survey of Japan before 2019 FY around Japan. Box enclosed by black broken lines indicate the study area since 2020 FY. The topographic data is based on JTOPO30v2 published by Marine Information Research Center, Japan Hydrographic Association. Geographical names follow Geospatial Information Authority of Japan.

第1表 調査海域における地名の対応. 地名は国土地理院及び海上保安庁による.

Table 1 Correspondence table of geographical names in the surveyed area. Geographical names are based on Geospatial Information Authority of Japan and Japan Coast Guard.

地名	ふりがな	英語表記
吐喝喇(トカラ)列島	とかられっとう	Tokara Isrands
十島村	としまむら	Toshima Village
口永良部島	くちのえらぶじま	Kuchino-Erabujima Is.
沖永良部島	おきのえらぶじま	Okino-Erabujima Is.
口之島	くちのしま	Kuchinoshima Is.
中之島	なかのしま	Nakanoshima Is.
諏訪之瀬島	すわのせじま	Suwanosejima Is.
平島	たいらじま	Tairashima Is.
悪石島	あくせきじま	Akusekijima Is.
小宝島	こだからじま	Kodakarajima Is.
宝島	たからじま	Takarajima Is.
喜界島	きかいしま	Kikaishima Is.
臥蛇島	がじゃじま	Gajashima Is.
小臥蛇島	こがじゃじま	Kogajajima Is.
横当島	よこあてじま	Yokoatejima Is.
上ノ根島	かみのねじま	Kaminonejima Is.
海域地形名	ふりがな	英語表記
臺曾根	ひきそね	Hiki Sone
南臺曾根	みなみがまそね	Minami-Gama Sone
権曾根	ごんそね	Gon Sone
平島曾根	たいらしまそね	Tairashima Sone
大島新曾根	おおしましんそね	Oshima-Shin Sone
横ガン曾根	よこがんそね	Yokogan Sone
濁り曾根	にごりそね	Nigori Sone
中ノ曾根	なかのそね	Naka-no-Sone
白浜曾根	しらはまそね	Shirahama Sone
俵曾根	たわらそね	Tawara Sone
沖臥蛇堆	おきがじゃたい	Oki-Gaja Bank
上ノ根海丘	かんのねかいきゅう	Kan'none Knoll
臥蛇海丘	がじゃかいきゅう	Gaja Knoll
沖横当海丘	おきよこあてかいきゅう	Oki-Yokoate Knoll
西横当海丘	にしよこあてかいきゅう	Nishi-Yokoate Knoll
横当海丘	よこあてかいきゅう	Yokoate Knoll
宝海丘	たからかいきゅう	Takara Knoll
奄美舟状海盆	あまみしゅうじょうかいぼん	Amami Trough
沖縄舟状海盆	おきなわしゅうじょうかいぼん	Okinawa Trough

ると期待される。これらの情報は地質構造発達史の解明のみならず、断層の連続性などの多くの地質情報の基礎となるもので、今後の発展が期待される。

三澤ほか(2024)は、GS22航海で取得されたSBP記録から見た海底下浅部地質構造探査の結果についてまとめたものである。SBPデータは海底表層約100 mまでの地層を把握できるもので、比較的新しい堆積層や活断層の分布などを確認するために用いられる。本調査結果として、屋久島周辺及び屋久島南方沖の火山フロント域と琉球弧、

種子・屋久海脚では、部分的に成層した堆積層が認められるものの、広く堆積層が不鮮明な海域が存在すること、屋久島西方沖の火山フロント域の平坦面の海底下に成層した堆積層が分布することを報告している。一方、近年、地震が群発している宝島北方沖では、海底に到達した断層及び下部からの貫入構造などは把握されていない。これらの情報は比較的新しい地質時代の活断層や海底火山活動などの地質情報を含んでいるため、今後、調査海域において広域的に活動的な地質構造を把握することが期

待される。

有元・田中(2024)は、海底から採取された堆積岩試料について、年代決定に有効な石灰質微化石である石灰質ナノ化石及び浮遊性有孔虫の検討結果を論じている。本論文ではトカラ列島前弧側及び背弧側から得られた試料のうち、示準化石の産出が認められた試料からは下部鮮新統以降に対比される年代を得た。これらの微化石群集組成による国際標準化石帯から、琉球弧に広く分布する島尻層群中-上部相当の地質体、更新世における活発な火山活動を背景とした地質体、後期第四紀の地質体由来のものであることが示唆されている。これらの年代情報は海底に露出している堆積岩の形成年代を制約するもので、海底地質図作成のためには大変重要なデータである。

鈴木ほか(2024)は、表層堆積図作成のためにトカラ列島海域において取得した堆積物試料の結果についてまとめたものである。本論文で取り扱うデータは堆積物のみではなく、海底写真やコケムシ類や浮遊性有孔虫、生体サンゴ・サンゴ遺骸、環境DNAといった生物群集の情報を含む。本論文では取得データから、各海域についての堆積物分布の特徴を報告している。トカラ列島西方海域では、概ね水深800 m以深の平坦な海底に中粒砂から泥質堆積物が分布する一方、点在する地形的高まりの頂部付近に岩石が露出し、その周辺に礫質堆積物やリップルを伴う砂質堆積物が局所的に分布することを報告しており、こうした底質分布は周辺の陸域からの細粒堆積物の供給と黒潮及び局所的な底層流の影響であると指摘している。屋久島南方海域においては、種子・屋久海脚に広大な露岩域が分布し、その東西に生物源碎屑物を多く含んだ砂質堆積物やリップルを伴う地点を含む礫質から泥質堆積物の分布が示されている。屋久島南方海域の底質分布は、海域を東に進み太平洋に抜ける黒潮による影響が示唆されている。このトカラ列島西方海域および屋久島南方海域においては、生物生産についても、黒潮の影響を強く受けることが生物群集の検討から示唆されている。これらの系統的な海底堆積物の分布及びその試料は海域の基礎データとして大変貴重なものである。

長谷川(2024)は、種子・屋久海脚から奄美海脚と沖縄トラフ東縁部のトカラ列島を東西に挟む海域の47地点の試料について、有孔虫群集の産状を検討している。本論文では、この有孔虫群集の産状を理解するための基礎統計量として、底生・浮遊性有孔虫数、底生有孔虫の殻質構成比、浮遊性有孔虫率などの指標を検討している。この中で、それらの水深に伴う変化は南西諸島周辺海域を通じて認められること、本海域において確認される異常値は、トカラ列島の複雑な地形条件の元で形成された多様な有孔虫群集とは異なる別の形成過程があることを示唆している。加えて、本調査海域の有孔虫群集に多く含まれる明らかな異地性遺骸を認定し、主要種の深度

分布に基づく群集区分を行なうことにより、これまでに南西諸島周辺において報告されたⅡ帯～Ⅴ帯に対応する4群集を識別している。これらの情報は調査海域で網羅的に採取された堆積物から得られたもので、有孔虫の群集の深度分布や異地性遺骸の混入を検討しており、今後の表層堆積図の1つの情報としてだけでなく、学術的にも貴重で情報である。

久保田ほか(2024)は、トカラ列島周辺海域で採取された海底表層堆積物71試料について、主成分元素及び微量元素について計24元素を定量した結果から化学組成の特徴や分布特性について検討を行っている。本論文では、本調査海域の海底堆積物が水深および元素濃度の関係について、各海域で特徴が異なるものの、生物遺骸粒子・苦鉄質火山岩類由来の碎屑性粒子・珪長質火山岩類由来の碎屑性粒子の3要素に由来すると考えられ、既報のトカラ列島周辺海域の分析結果と調和的であったことが報告されている。これらの情報は本海域のみならず、日本周辺海域全域の化学組成分布へ反映が期待され、海域の基礎情報として大変貴重なデータである。

齋藤ほか(2024)は、屋久島南沖から宝島北沖にかけて実施されたCTD観測結果の解析と、海洋大循環モデルによる流況解析を実施することにより、黒潮が屋久島一中之島間と中之島一諏訪之瀬島間で海底面直上まで達する比較的強い流れを生じさせていることを示した。中之島一諏訪之瀬島間の黒潮流下方向では、表層水が低水温・高塩分となる領域が認められ、海底地形の高まりを通過する黒潮が鉛直混合を引き起こすこと、この鉛直混合が表層へ栄養塩を供給することにより、一次生産を活発化させることを示唆している。一方、口永良部島周辺では、海底付近で約100 mの厚さを持つ高濁度層が多く観測され、黒潮に伴う強い流れによる再懸濁や、活発な火山性地震による混濁流の影響がある可能性を示した。これらの水塊構造やその流れは、碎屑物粒子の運搬・移動・堆積過程に影響を与えており、本海域の表層堆積物の分布や環境の理解のために、大変有用なものである。

これらの研究成果は、多くの研究員・調査員の協力により、調査日数を確保して実施することが出来た系統的な海域調査に基づくもので、全てのデータが学術的にも貴重なものと言える。本報告の多くは速報的なものであり、今後堆積学・構造地質学・地球化学・古生物学等が互いに連携することで学術的に飛躍すると考えられる。これらのデータは今後、20万分の1海洋地質図として取りまとめていく予定であるが、それに加え、これらの成果を「地質調査研究報告」に集約して出版することにより、今後の地質学研究への応用や発展に寄与することを期待する。

謝辞：本調査を行うにあたり、東京海洋大学練習船「神鷹丸」の宮崎船長をはじめとする乗組員及び調査員の皆

様, 東海大学海洋調査研修船「望星丸」の上河内船長をはじめとする乗組員及び調査員の皆様, 両航海に乗船頂いた乗船学生の方々に大変お世話になりました。GB22-1及びGB22-2航海において, 海洋技術開発株式会社にはコンプレッサーの管理をして頂き長期間の連続調査が可能となった。また, 本特集号を取りまとめるにあたり, ご承認頂くとともに, 地形名の取りまとめなど様々なご協力を頂いた地質調査研究報告編集委員会・事務局の方々に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 有元 純・田中裕一郎(2024) GB22-1, GB22-2及びKH23-1航海においてトカラ列島周辺海域で採取された堆積岩の石灰質微化石に基づく堆積年代. 地質調査研究報告, **75**, 209–222.
- 下司信夫・石塚 治(2007) 琉球弧の火山活動. 地質ニュース, no. 634, 6–9.
- 長谷川四郎(2024) GB22-1及び2航海(トカラ列島周辺海域)で採取された底生有孔虫群集の概要. 地質調査研究報告, **75**, 249–263.
- 石野沙季・石塚 治・針金由美子・有元 純・三澤文慶・井上卓彦(2024) 2022年度海域地質図航海で行ったトカラ列島北方海域における反射法音波探査及びドレッジ概要. 地質調査研究報告, **75**, 167–196.
- 久保田 蘭・立花好子・板木拓也・片山 肇・鈴木克明・間中光雄(2024) トカラ列島周辺海域(GB22-1および22-2航海)で採取された海底堆積物の化学組成. 地質調査研究報告, **75**, 265–278.
- Minami, H., Ohara, Y. and Tendo, H. (2021) Volcanic and tectonic features of Shirahama Bank in the northern Ryukyu Arc: Implications for cross-arc volcanism controlled by arc-parallel extension. *Marine Geology*, **441**, 106623.
- 三澤文慶・古山精史朗・高下裕章・有元 純・石野沙季・鈴木克明(2024) GS22航海での高分解能サブボトムプロファイラー探査に基づくトカラ列島周辺海域の海底下浅部構造. 地質調査研究報告, **75**, 197–208.
- 齋藤直輝・鈴木克明・板木拓也・鈴木 淳(2024) トカラ列島周辺海域におけるCTD観測および海洋大循環モデルに基づく海洋環境. 地質調査研究報告, **75**, 279–297.
- 鈴木克明・板木拓也・片山 肇・兼子尚知・針金由美子・齋藤直輝・岩谷北斗・松井浩紀・石塚 治・山崎 誠・有元 純・徳田悠希・千徳明日香・池内絵里・井口亮・鈴木 淳・清家弘治(2024) トカラ列島西方海域及び屋久島南方海域の底質分布とその制御要因. 地質調査研究報告, **75**, 223–248.

(受 付 : 2024年1月19日 ; 受 理 : 2024年12月18日)

2022 年度海域地質図航海で行ったトカラ列島北方海域における 反射法音波探査及びドレッジ概要

石野 沙季¹・石塚 治²・針金 由美子¹・有元 純¹・三澤 文慶¹・井上 卓彦¹

ISHINO Saki, ISHIZUKA Osamu, HARIGANE Yumiko, ARIMOTO Jun, MISAWA Ayanori and INOUE Takahiko (2024) Overview of the seismic survey and dredge in the vicinity of Northern Tokara Islands conducted during geological map research cruises in 2022FY. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 75 (5/6), p. 167–196, 12 figs, 1 plate and 3 appendices.

Abstract: Multi-channel seismic and dredge surveys were conducted around the Northern Tokara Islands to construct marine geological maps at a scale of 1:200,000. We present an overview of the seismic survey and dredge results of three cruises (GS22, GB22-1, and GB22-2), and preliminary interpretations of the seismic stratigraphy and geological structures. Four sedimentary units (TY2, TY3, TY4) are continuously traced in the vicinity of Tane-Yaku Spur, which consists of acoustic basement (TY1). Normal faults with NNE-SSW trending develop widely along the western slope of Tane-Yaku Spur. To the north of the Tokara Islands, the lowermost sedimentary unit (NT1) occurs under a topographic high that extends from southwest of Kuroshima Island to Gon Sone, at the eastern edge of the Okinawa Trough. The overlying sedimentary units (NT2 and NT3) occur mainly in flat sea floor around the islands and the topographic highs. Unit NT2 is affected by normal faults and folds with NNE-SSW trending, which widely develop north of the Tokara Islands. The geological structures of units TY2, TY3, and NT2 suggest they deposited during formation of the half-graben that extends from the Ryukyu Arc to the western part of the Okinawa Trough. Outcrops of unit TY3, unit TY1, the lower part of unit NT2, and the upper part of unit NT2 were dredged at sites GB22-1-D07, GB22-1-D08, GB22-2-D09, and GB22-2-D10, respectively. We will combine precise correlations among profiles in the surveyed areas with age data from rock analysis to interpret the seismic stratigraphy. The results will be published as marine geological maps of the Tokara Islands.

Keywords: Ryukyu Arc, Tokara Islands, Okinawa Trough, multi-channel seismic survey, dredge

要 旨

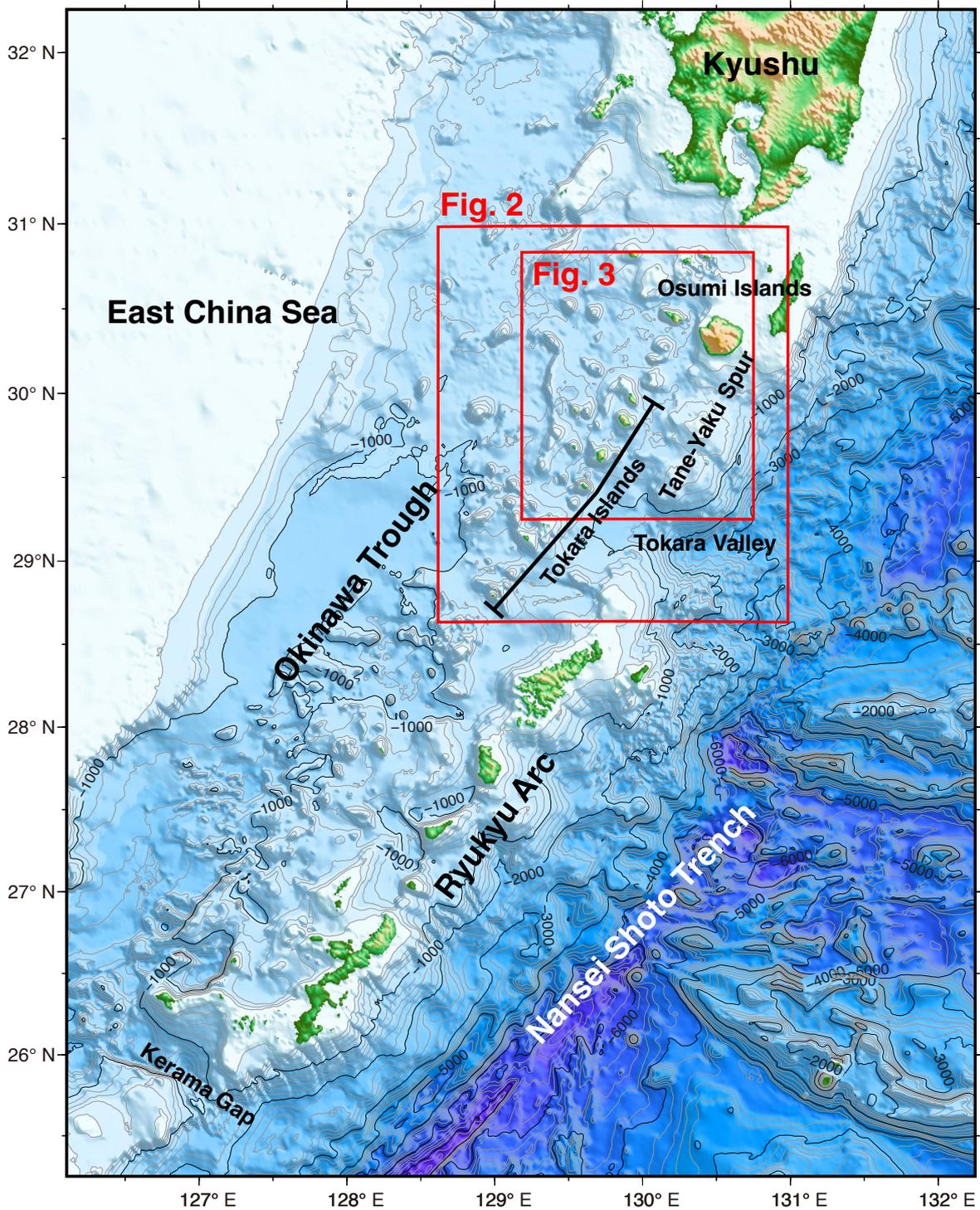
20万分の1海底地質図の作成を目的として、トカラ列島北部周辺海域においてマルチチャンネル反射法音波探査及びドレッジ調査を行った。本稿では、GS22, GB22-1及びGB22-2の3航海で取得した反射断面及びドレッジ調査の概要について報告する。特に、本調査で重点的に観測したトカラ列島北方及び種子・屋久海脚周辺海域に認められる層序・地質構造の特徴について予察的に記載する。種子・屋久海脚周辺海域では、海脚を構成する音響基盤 (TY1層) の西側斜面にて不整合面で明瞭に区別される3層の堆積層 (TY2層, TY3層及びTY4層) が認められる。西落ちの正断層が海脚西側の等深線に調和的な概ね北北東-南南西走向で複数分布する。トカラ列島北方海域では、不整合面及び音響的層相の異なる3層

(N1層, N2層及びN3層) を区分した。N1層は黒島南西沖から墓曾根及び権曾根にかけて連なる地形的高まりの深部に断続的に認められ、その上位NT2層及びNT3層が海底平坦部に広く分布する。トカラ列島北方海域は北北東-南南西走向の断層, 向斜, 及び背斜が発達し, NT2層中の地層が変形している。地質構造の特徴から, TY2層・TY3層とNT2層は, 琉球弧から沖縄トラフ西方にかけて広がるハーフグラベン形成時に堆積したと推測される。ドレッジ調査では, GB22-1-D07地点でTY3層が, GB22-1-D08地点でTY3層が, GB22-2-D09地点及びD10地点でNT2層の上部及び下部が露出していると思われる崖で岩石を採取した。今後, 断面における反射面の緻密な対比及び岩石の形成年代の解析を元に統合的な地質層序の解釈を進める。解釈結果はトカラ列島周辺海域の海底地質図として発表する予定である。

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 産業技術総合研究所 地質調査総合センター活断層火山研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Earthquake and Volcano Geology)

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



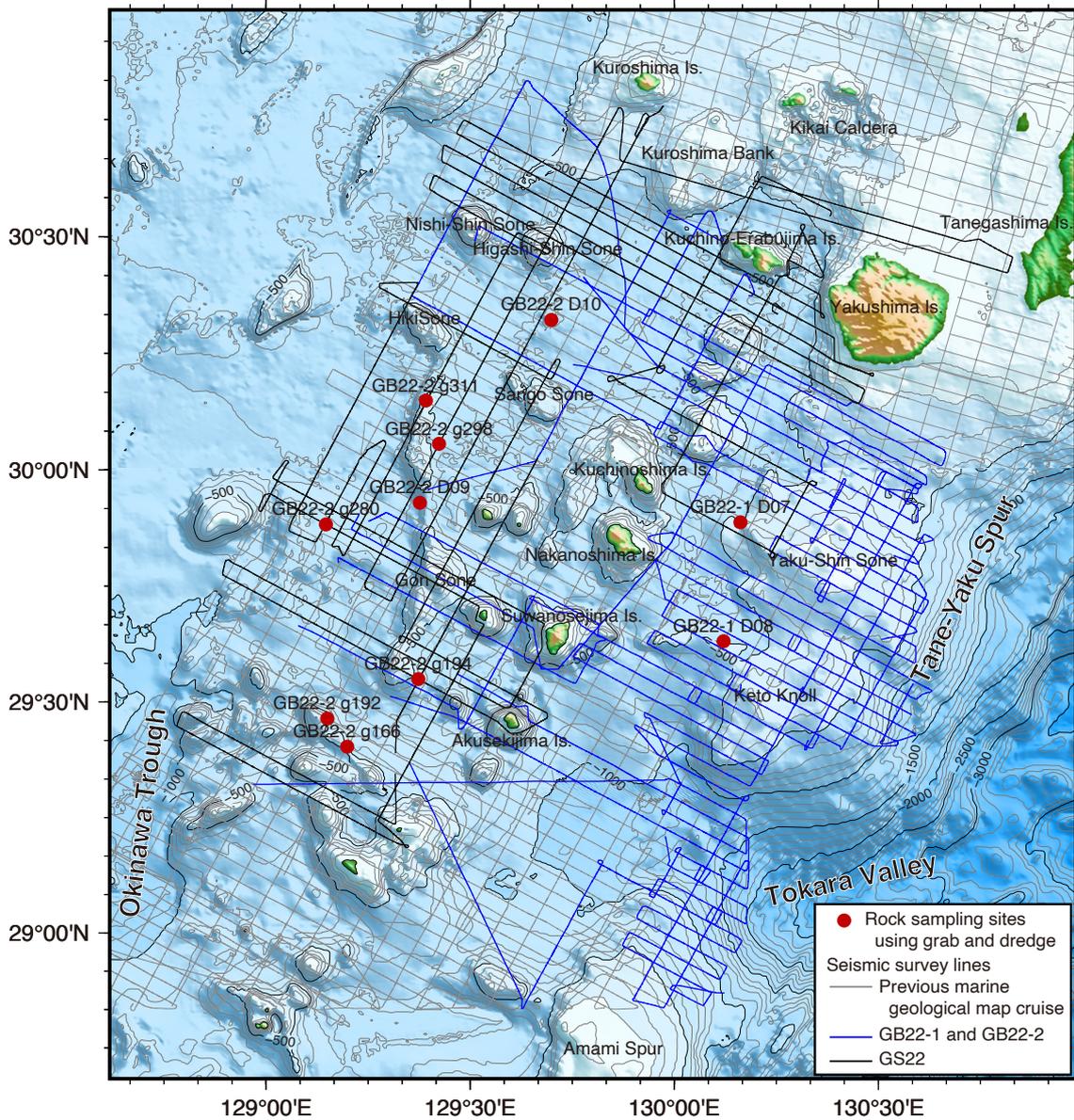
第1図 調査海域周辺の島嶼名及び主な地形名を記した海底地形図。地形データは岸本(2000)を使用した。

Fig. 1 Bathymetric map with the name of islands and main undersea features around the survey area. The topographic data is based on Kishimoto (2000).

1. はじめに

産業技術総合研究所地質調査総合センターでは、2020年度より吐噶喇列島(以下、トカラ列島)周辺海域(第1

図)において3区画分の海洋地質図作成を目的とした海底地質調査を進めている。2022年度は主にトカラ列島北方海域においてマルチチャンネル反射法音波探査及びドレッジ調査を行い、海底地質構造データ及び海底岩石試



第2図 本調査で観測した音波探査測線図. 地形データは岸本 (2000) を使用した.

Fig. 2 Seismic survey lines obtained from this survey. The topographic data is based on Kishimoto (2000).

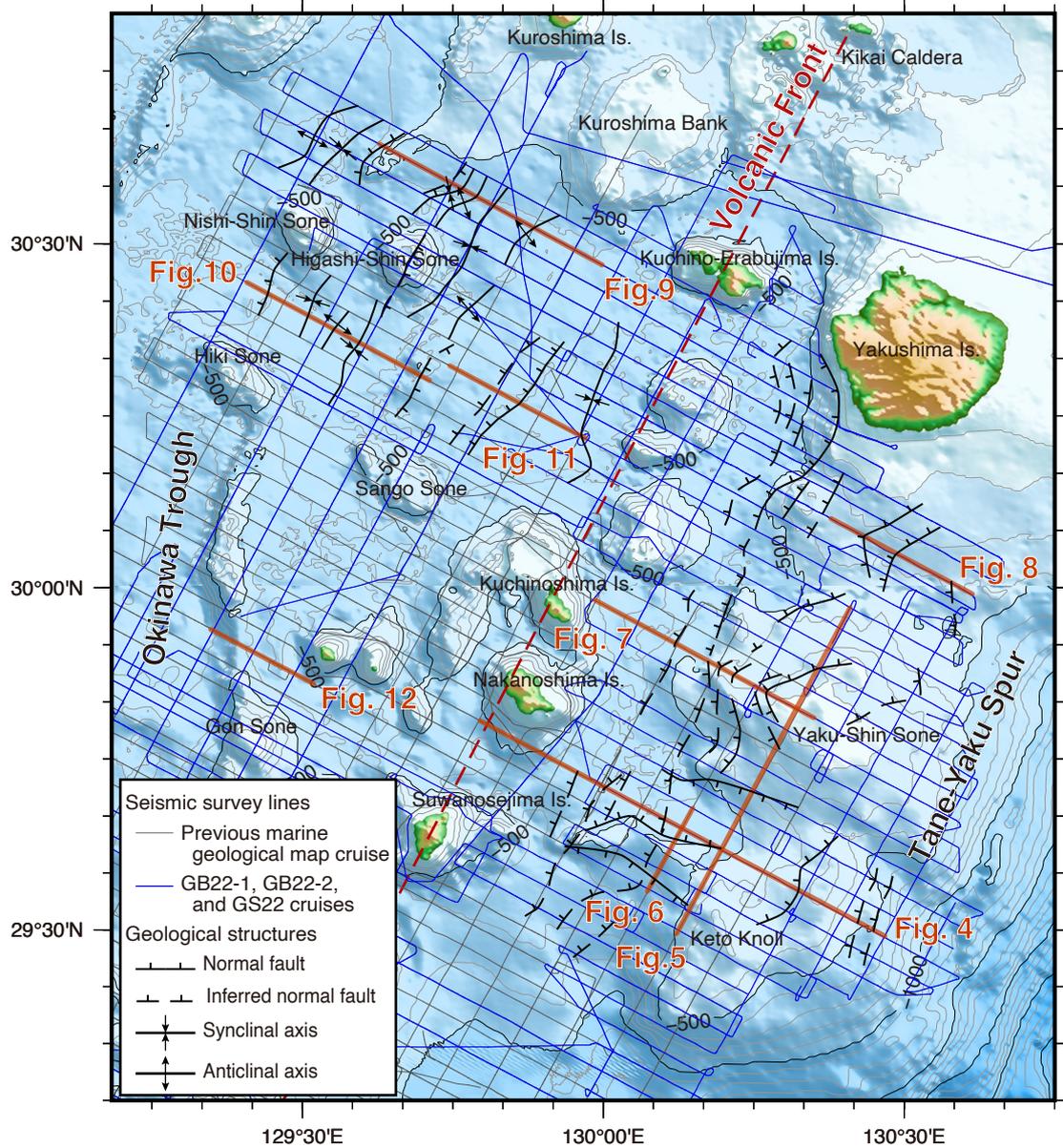
料を取得した(第2図). 一部の地点では, 同調査航海で実施されたグラブ採泥器を用いた採泥調査でも岩石試料が採取されている(鈴木ほか, 2024). 本年度の調査を終えて, 取得した反射断面はトカラ列島周辺で予定している海洋地質図の区画を網羅した. 反射断面に基づく音響層序や地質構造の特徴, 岩石試料に基づくそれらの地質年代の詳細な検討結果は, 海底地質図として今後公表する予定である.

本稿では, 2022年度の反射法音波探査及びドレッジ調査結果を報告するとともに, 本調査で重点的に観測したトカラ列島北方及び種子・屋久海脚周辺海域(第3図)に

おける層序・地質構造について予察的に考察する. ドレッジ及びグラブ採泥器にて採取した堆積岩の年代分析結果については有元・田中(2024)を参照されたい.

2. 地形概略

本調査海域は, 九州南方から台湾にかけて分布する琉球弧の北部に位置する(第1図). 東方には, 水深3,000 m以深の南西諸島海溝が, 西方には水深1,000 m以深の平坦部を形成する沖縄トラフ(背弧海盆)が分布する. 南部には琉球弧を胴切る大規模な構造であるトカラ海底谷が位置している.



第3図 反射断面に認められる追跡可能な断層分布概略図。本地図の地形データは岸本 (2000)を使用した。

Fig. 3 Distribution map of faults and folds observed in seismic profiles. The topographic data used from Kishimoto (2000).

調査海域の地形は、種子・屋久海脚、大隅諸島及びトカラ列島に代表される(第2図)。本海域東部の種子・屋久海脚は、大隅半島沖の大陸棚から南南西に伸びる琉球弧上に位置付けられ、約100 kmに渡って水深500 m以浅の高まりを成す。種子・屋久海脚中部及び南部には、それぞれ水深約200-300 mの屋久新曾根及びケトウ曾根が孤立した地形的高まりを形成する。種子・屋久海脚の斜面は東西で地形的特徴が異なる。東側は概ね南東傾斜の様な傾斜角度を持つ一方で、西側は屋久島南西沖、屋久新曾根、及びケトウ曾根周辺で西方に張り出ししており、斜面の傾斜角度が一様でない複雑な地形を呈す

る。調査海域中部及び西部には、急峻な崖に囲まれた大隅諸島(口永良部島)及びトカラ列島(口之島、中之島、諏訪之瀬島及び悪石島)が琉球弧と並列して点在する。口永良部島と口之島を結ぶ直線上には比高約300-400 mの高まりが、西方には比高約300-500 mの東新曾根及び西新曾根、サンゴ曾根及び墓曾根が点在しており、どれも頂部は平な形状をなしている。これらの島嶼及び高まりの周囲には、水深約600-700 mの平坦部が広がっている。その北端は、九州の大陸棚南方沖に位置する黒島堆及びその西方の南西方向に張り出した水深500 m以浅の地形的高まりに囲まれている。

3. 地質概略

3.1 琉球弧の地質層序

琉球弧は、南西諸島海溝においてフィリピン海プレートがユーラシアプレートへ沈み込むことで形成した島弧-海溝系である。周辺の地質学的な特徴として、東から順に、前弧域における非火山性の島嶼及び海底地形の連続した高まりから構成される琉球弧(南西諸島海嶺)、第四紀の火山フロント(下司・石塚, 2007; 中野ほか, 2008; 横瀬ほか, 2010)、リフティング段階にある背弧海盆の沖繩トラフ(木村, 1990; Nishizawa *et al.*, 2019)が位置し、これらは概ね北北東-南南西方向の帯状に区分される(例えば, Nash, 1979; Kizaki, 1986)。このうち火山フロント及び琉球弧の島嶼にて層序が明らかにされており、地層の海域への延長は反射法音波探査による地質構造の特徴及び基礎試錐による年代対比をもとに検討されてきた。

琉球弧の陸域では、先中新統の基盤岩とその上位に不整合で覆う中新統-完新統が広く分布している。沖繩島や奄美大島、屋久島、種子島では、基盤岩類としてジュラ紀から始新世の堆積岩が報告されている(竹内, 1994; 斎藤ほか, 2007; 中江ほか, 2010)。前期-中期中新世の地層は琉球弧において限定的であり、堆積岩は八重山層群が琉球弧南部に、茎永層が種子島の南東部に、火成岩は宝島及び屋久島に分布する(斎藤ほか, 2007; 中野ほか, 2008)。中期中新世-前期更新世には、大陸棚外縁部の沈降に伴って堆積した島尻層群が、前期-後期更新世には隆起に伴って琉球層群が形成された(Kizaki, 1986)。九州南部から続く第四紀の火山フロントは、鬼界カルデラ、口永良部島及びトカラ列島に連続する(川辺ほか, 2004; 下司・石塚, 2007; 斎藤ほか, 2007; 中野ほか, 2008; 横瀬ほか, 2010)。さらに南方では、火山フロント上の火山は陸域に認められないものの、海底地形の高まりや海底下のマグマの貫入として火山活動が認められる(Sato *et al.*, 2014; Nishizawa *et al.*, 2019; Minami *et al.*, 2022; Harigane *et al.*, 2023)。

海域の地質層序は、琉球弧西部から沖繩トラフにかけての琉球弧全体を対象としたもの(Kimura, 1985; Letouzey and Kimura, 1986)や、沖繩島周辺及び大隅諸島での密な調査測線に基づくもの(荒井ほか, 2015, 2018; 荒井・井上, 2022; 岡村, 2022a, 2022b)が提案されてきた。音響基盤は主に琉球弧上及び沖繩トラフ周辺域の深部に認められ、先中新統の付加体に相当すると解釈されている(古川, 1991; 木村ほか, 1993)。音響基盤の上位には中新世の堆積層が認められるが、その分布及び地質学的帰属は慶良間海裂の南北で異なる。慶良間海裂以南では、八重山諸島に分布する八重山層群及び九州北部に分布する佐世保層群相当層として広域的に認められ、大陸棚の沿岸域に堆積したと解釈されている(Kimura, 1985;

Kizaki, 1986)。慶良間海裂以北では、八重山層群相当層もしくは種子島に分布する茎永層群相当層として前弧東側斜面に認められ、琉球弧周辺の隆起に伴って削剥されたものが堆積したと解釈されている(荒井ほか, 2015, 2018; 岡村, 2022a)。大隅半島南方沖の大陸棚深部にも中新統と推測される地層の分布が示されている(岡村, 2022b)が、慶良間海裂以南に認められる中新統との関係は不明である。これらの地層の上位には、九州南方沖から南部沖繩トラフにかけて島尻層群相当層、琉球層群相当層、第四紀の堆積層が分布し、堆積層を分ける不整合面は現在の沖繩トラフの発達過程に伴って形成したと考えられている(Kimura, 1985)。

3.2 琉球弧の海底地質構造

琉球弧における海底地質構造は、沖繩トラフのリフティングに伴って発達した断層や褶曲に特徴付けられる。俯瞰的に見れば、琉球弧西側に北東-南西走向の西落ち正断層が、東シナ海大陸棚付近に東落ちの正断層が分布し(Nash, 1979; Kimura, 1985; Sibuet *et al.*, 1998; Shang *et al.*, 2017; 荒井ほか, 2018; 荒井・井上, 2022)、島尻層群相当層の堆積層に変位を与えて、琉球弧西方の海盆である「広義の沖繩トラフ」を形成している(木村, 1990)。「広義の沖繩トラフ」の内部には正断層が複数発達し、琉球層群相当層の堆積層を変位させる断層も存在する。琉球弧北部では、2列の主要な断層帯が存在し、西方から順に、薩摩半島南西沖からトカラ列島西側の北東-南西走向及び北北東-南南西走向の線構造、及び大隅半島南方沖から琉球弧西側斜面をなす線構造に沿って、西落ちのリストリック正断層が発達し、ハーフグレーベンを形成する(Nash, 1979; 岡村, 2022b)。2列の主要な断層帯によって切られる海盆は島尻層群相当層堆積時には沈降を開始しており、琉球弧西側斜面付近に発達する正断層は琉球層群相当層の堆積時にも継続して活動した(岡村, 2022b)。

琉球弧前弧域には、弧に沿った北北東-南南西走向の断層の他に、弧に垂直な西北西-東南東走向の断層や線構造の存在も知られている。琉球弧を分断する主要な構造としてトカラ海底谷、慶良間海裂が挙げられ、それぞれ地形的特徴、断層による地層の変位の特徴から横ずれ成分を持つことが示唆されている(松本ほか, 1996; 荒井・井上, 2022)。小規模な西北西-東南東走向の断層は琉球弧東側斜面にも認められ、多くが正断層である(Matsumoto, 2009; 荒井ほか, 2015, 2018; 荒井・井上, 2022)。これらの琉球弧に垂直な走向の断層の成因は、南西諸島海溝南部における琉球弧に斜交して沈み込むフィリピン海プレートの運動、及び沖繩トラフのリフティングに伴って海溝側へ琉球弧が周長を広げる運動に求められてきた(Kubo and Fukuyama, 2003; Otsubo *et al.*, 2008; Matsumoto *et al.*, 2009)。しかし、これらの発達史

を明らかにするには海底下の地質情報の取得が必要である。

4. 調査方法

2022年度は海底地質調査を3航海実施した。GS22航海(2022年5月16日-6月4日)では、東京海洋大学が所有する練習船「神鷹丸」を使用し、マルチチャンネル反射法音波探査やマルチビーム音響測深等の航走観測を行なった。GB22-1航海(2022年7月10日-7月29日)及びGB22-2航海(2022年11月1日-11月29日)では、東海大学が所有する海洋調査研修船「望星丸」を使用し、昼間にドレッジ調査およびグラブ採泥を行い、夜間にマルチチャンネル反射法音波探査やマルチビーム音響測深等の航走観測を行った。各調査航海で行った調査内容の詳細は井上ほか(2024)を参照されたい。

音波探査測線は、口永良部島から悪石島に至る第四紀の火山弧に対して直交する西北西-東南東方向に2マイル間隔、トカラ列島に並行する北北東-南南西方向に4マイル間隔でそれぞれ設定している。加えて、調査時に一部では測線間を補完するように航走観測を行った。GS22航海では約1,560マイル、GB22-1航海では約950マイル、GB22-2航海では約1,108マイルに渡る音波探査データを取得した。音源にはSercel社製GIガン(GI-355型:ジェネレーター 250 cu.in 及びインジェクター 105 cu.in)を、受振部にはGeometrics社製デジタルストリーマケーブル(GeoEel Solid:チャンネル数16,チャンネル間隔12.5m)を用いた。GeoEel SolidはCNT-2探鉱器に接続して信号を記録した。GIガンの発振は6秒間隔で繰り返し、対地船速約8ノットを維持して航走観測を行なったため、発振点間隔は約25m、共通反射点(Common Mid Point: CMP)間隔は約6.25mとなる。なお、格子状からなる計画測線以外の補助測線では9ノットで航走して収録した。受振データはGPSデータを加えてSEG-D形式で収録し、その後SEG-Y形式への変換、信号処理(ジオメトリ編集、バンドパスフィルタリング、球面発散補正、デコンボリューション、速度解析、NMO補正、及びCMP重合、4トレース水平重合)を施して解釈用反射断面を作成した。本稿で扱う反射断面の横軸(CMP番号)は25m間隔となる。

ドレッジ地点は、地質図調査航海で取得した反射断面上で音響層序の年代制約に寄与する斜面を検討し、地質図調査航海で取得した詳細な地形(Koge *et al.*, 2024)から露頭を推定して実施した(第2図, D07-D10地点)。本調査では内径約60cmの円筒型チェーンバッグ式ドレッジおよび小型円筒ドレッジを用いた(付図A1)。付表A1にオペレーションに関するデータリスト、付表A2及び船上での肉眼観察によって記載した採取岩石試料のリスト、図版1に採取した試料の一覧写真を示す。

5. 反射法音波探査およびドレッジ調査結果

本稿では、重点的に調査を実施した海域を種子・屋久海脚周辺海域とトカラ列島北方海域とに分け、それぞれに認められる層序・地質構造の特徴・ドレッジ結果を記す。種子・屋久海脚周辺海域については、石野ほか(2022, 2023)に北北東-南南西方向の測線に基づいた地質構造の解釈が記されているが、本調査によって琉球弧に対して垂直な西北西-東南東方向の測線を取得したため、さらに詳細な特徴が明らかになった。複数の反射断面に認められる一連の地質構造は第3図に記す。

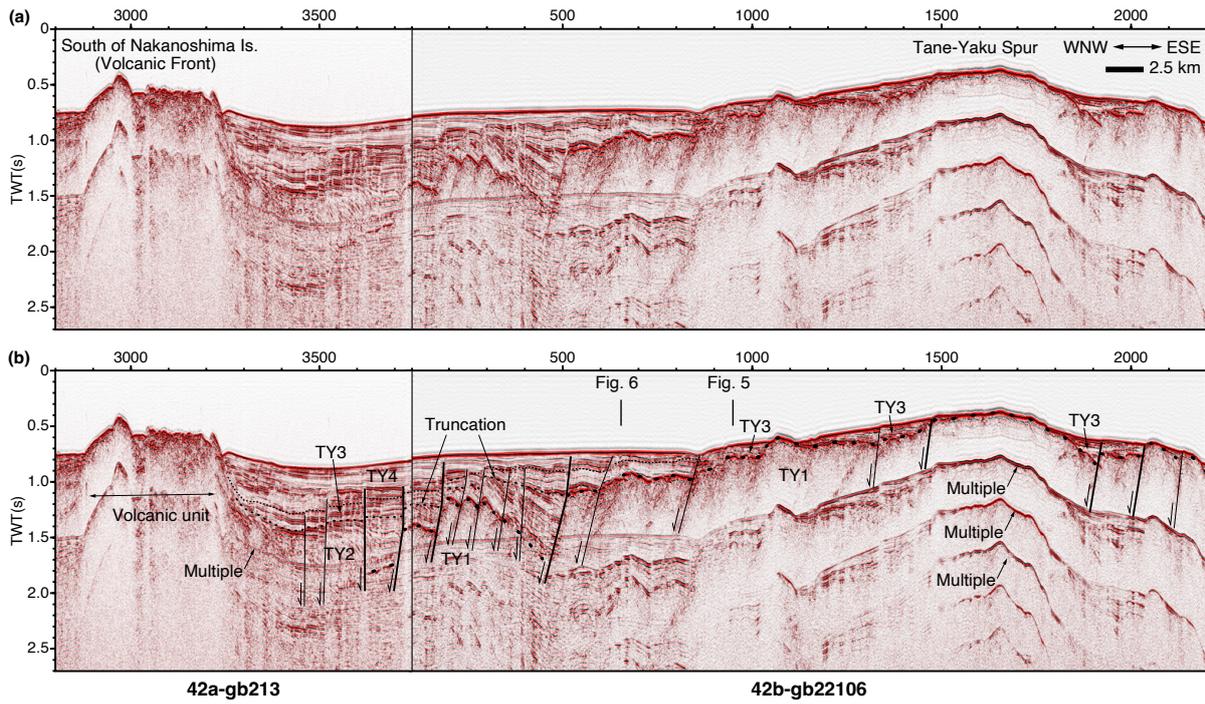
5.1 種子・屋久海脚周辺海域

5.1.1 音響層序及びドレッジ点の詳細

種子・屋久海脚南部を横断する西北西-東南東方向の反射断面を第4図に、種子・屋久海脚の伸びに平行な北北東-南南西方向の反射断面を第5図に示す。第6図及び第7図にはドレッジをした崖の反射面を示す。トカラ列島東方沖の層序は、明瞭なオンラップ不整合によって種子・屋久海脚の基盤をなす下位層とその上位の海脚西方の海盆を埋める堆積層に大別される。

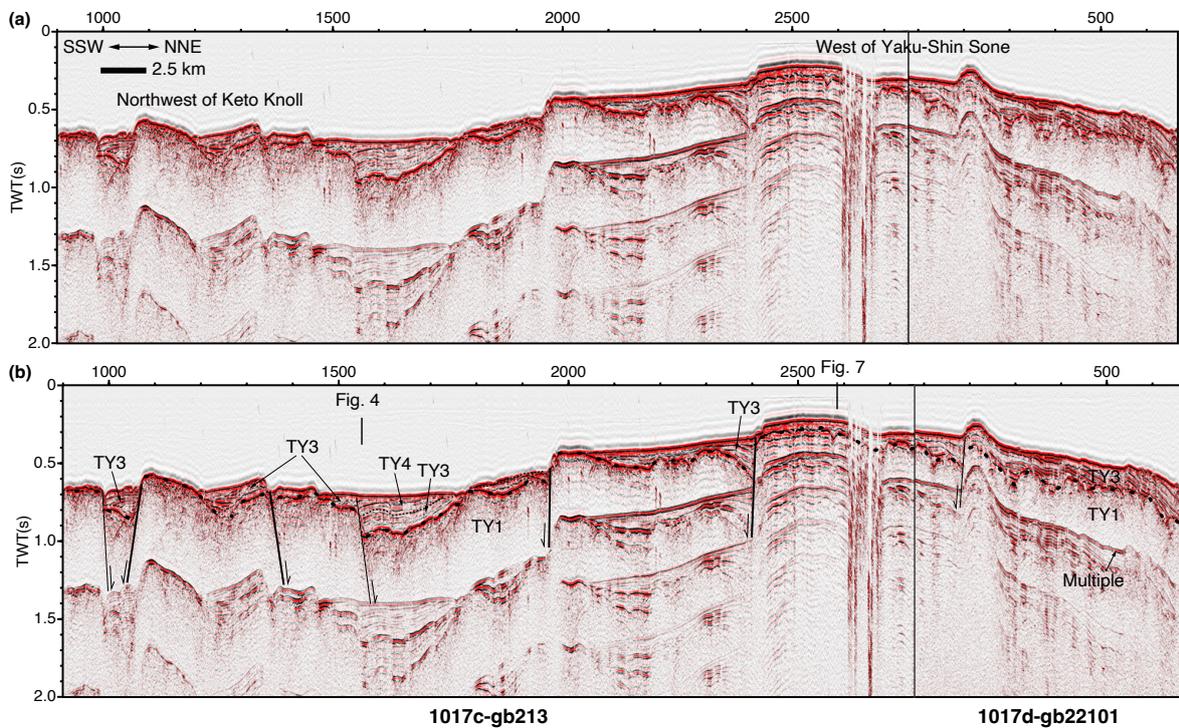
下位層上面は高振幅で比較的連続性の良い反射面を特徴とする。本稿ではこの下位層をTY1層とする。TY1層内部には一部で境界面に並行で低振幅の連続的な反射面が認められるが、多くが無秩序もしくは断続的に変形した低振幅の内部反射を示し、分布深度を増すと反射面が認識できない(第4図及び第5図)。TY1層の分布は概ね種子・屋久海脚の地形に調和的で、海脚中軸部においては海底面に露出する(第4図)。海脚西方のTY1層上面は概ね平坦で、海脚斜面から火山フロントにかけて東方に傾斜しながら断続的に分布深度を増す(第4図)。

TY1層の上位には、連続性の良い内部反射を示す、複数の堆積層が分布し、その堆積層はそれぞれTY1層にオンラップしている(第4図)。この堆積層の内部には不整合面が2面認められるため、本稿ではこの堆積層を下位から順にTY2層、TY3層、及びTY4層とする。TY2層は、種子・屋久海脚西側斜面におけるTY1層に変形を及ぼす断層面にオンラップし、その内部反射面は東傾斜を示す(第4図、第7図)。海盆内部の火山フロントから5-7.5km東方における内部反射面は断続的で低い振幅を示す(第4図、第7図)。TY2層の分布は、海脚中軸部では北方に向かって、海脚斜面から火山フロントにかけては西方に向かって層厚を増す傾向にあり(第4図、第7図、第8図)、海脚西方では層厚が約0.5秒(往復走時)を越える(第4図、第7図)。TY2層の上面はトランケーションを示す。TY3層は、連続性の良い内部反射面を持ち、種子・屋久海脚西方においてTY2層を覆い、さらに種子・屋久海脚南部の水深約500m未満の浅部においてはTY1層にオンラップしている(第4図、第5図)。TY3層の分布は、



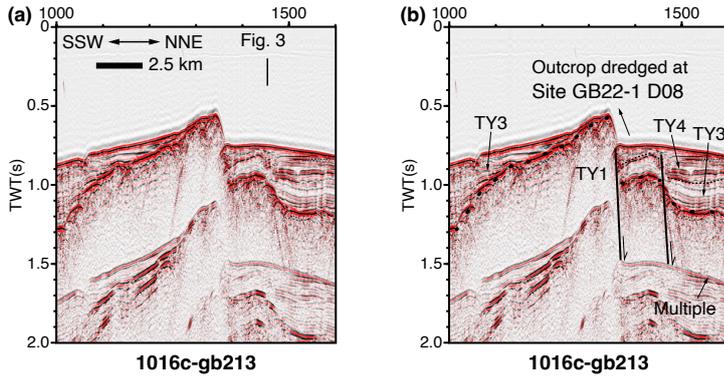
第4図 (a) 種子・屋久海脚を胴切る方向の重ね音波探査断面図 (測線42a-gb213及び42b-gb22106) 及び(b) 解釈線. 実線: 断層 (太線は第3図にマッピングした断層).

Fig. 4 (a) Stacked seismic profile across Tane-Yaku Spur (Lines 42a-gb213 and 42b-gb22106) and (b) their interpretations. Solid lines: Faults (bold lines indicates tracked faults in Fig. 3).

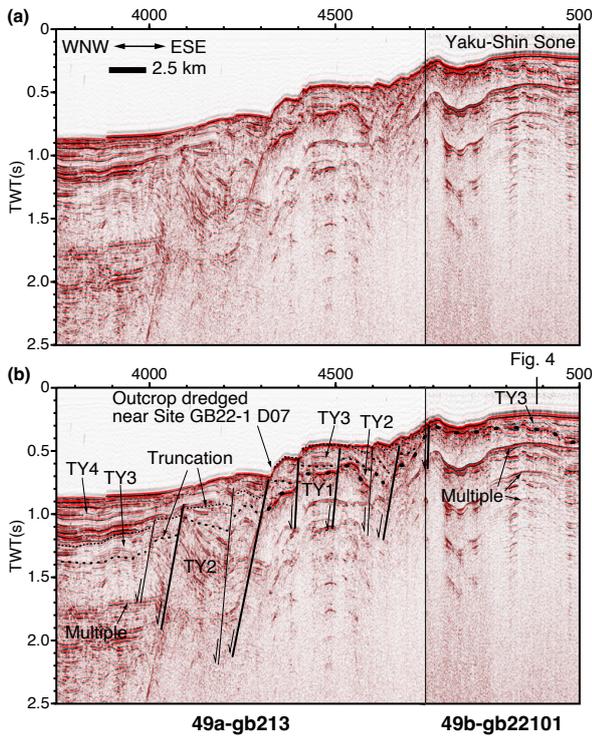


第5図 (a) 種子・屋久海脚上の重ね音波探査断面図 (測線1017c-gb213及び1017d-gb22101) 及び(b) 解釈線. 実線: 断層 (太線は第3図にマッピングした断層).

Fig.5 (a) Stacked seismic profile along Tane-Yaku Spur (Lines 1017c-gb213 and 1017d-gb22101) and (b) their interpretations. Solid lines: Faults (bold lines indicates tracked faults in Fig. 3).



第6図 種子・屋久海脚南部の重合音波探査断面図 (測線1016c-gb213) 及び(b) 解釈線。実線：断層 (太線は第3図にマッピングした断層)。
Fig. 6 (a) Stacked seismic profile along south of Tane-Yaku Spur (Line 1016c-gb213) and (b) their interpretations. Solid lines: Faults (bold lines indicates tracked faults in Fig. 3).



第7図 (a) 種子・屋久海脚西側斜面の重合音波探査断面図 (測線49a-gb213 及び49b-gb22101) 及び(b) 解釈線。実線：断層 (太線は第3図にマッピングした断層)。
Fig. 7 (a) Stacked seismic profile across the western slope of Tane-Yaku Spur (Lines 49a-gb213 and 49b-gb22101) and (b) their interpretations. Solid lines: Faults (bold lines indicates tracked faults in Fig. 3).

海脚西側斜面から火山フロントにかけての海盆に広く認められ、概ね一定の層厚 (往復走時で約0.2秒) を示す (第4図, 第7図, 第8図)。海脚中軸部では海底面にて内部反射面のトランケーションが認められる (第5図, 第6図, 第8図)。本海域の最上位には、海底面に並行で連続的な内部反射面を特徴とするTY4層が覆う。TY4層は、種子・屋久海脚及び西方の海盆の最上位にて断層によって形成された低地を埋めるように堆積している。海脚西方の

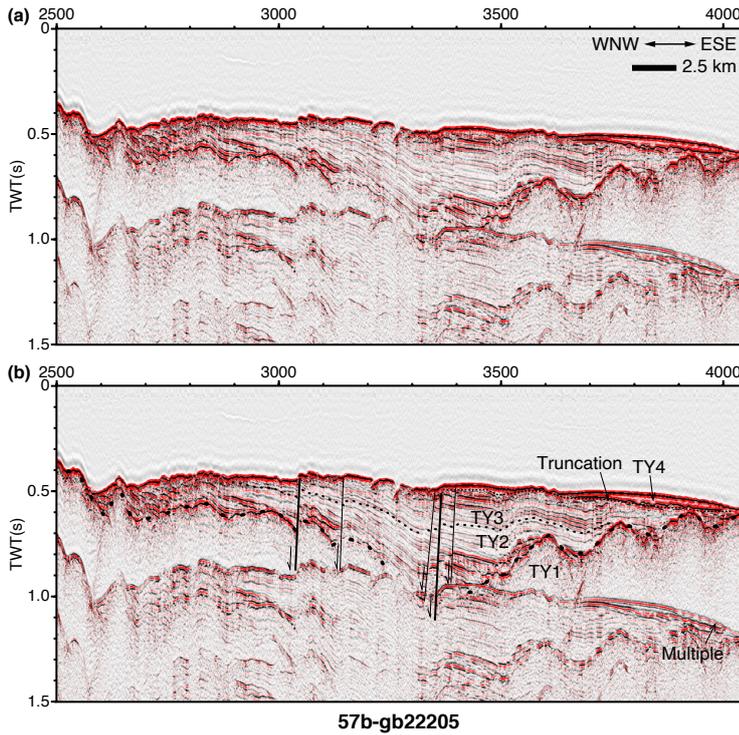
海盆におけるTY4層の堆積中心は、口之島・中之島・諏訪之瀬島の並びから5 kmほど東方に位置し (第4図, 第7図)、最大層厚は約0.5秒 (往復走時) で、北方に向かって層厚が薄くなる傾向がある。

火山フロント付近では、表層から往復走時で約0.1–0.4秒の間に、内部反射が透明もしくは無秩序構造を特徴とする地層が認められる (第4図)。これらの構造の特徴及び分布域から、この地層は火山岩や火山噴出物からなる層と推測でき、本稿では火山性ユニットと呼ぶ。火山フロント周辺部におけるTY2層, TY3層及びTY4層下部は、火山性ユニットの東側にて東へ傾動しており (第4図)、火山活動による地殻変動の影響を受けていると推察できる。TY4層上部は火山性ユニット及び急傾斜するTY3層にオンラップしており、火山活動による変形が少ない。

TY1層はケトウ曾根西方沖にて東西方向の断層によって急斜面表層に露出しているのが確認できる (第6図)。そのため、ドレッジ調査 (GB22-1-D08地点) を行った。D08地点では固結が進んだ硬質な砂岩が主に採取された (図版1)。得られた岩石試料の総重量は約52 kg、記載した岩石試料の大きさは最大で30 cm × 21 cm × 15 cm、最小で34.5 cm × 3.5 cm × 2 cmであった (付表2)。また、TY3層上面より下位の地層が露出している種子・屋久海脚西側斜面 (第7図) のGB22-1 D07地点にてドレッジ調査を実施した。D07地点では凝灰角礫岩及び石灰岩が採取された (図版1)。得られた岩石試料の総重量は約13 kg、記載された岩石試料の大きさは最大で19 cm × 16 cm × 9 cm、最小で16 cm × 10 cm × 4 cmであった (付表2)。採取した試料の大きさや形状、マンガンの被覆状態を考慮すると、D07及びD08地点では露頭を構成する岩石を採取していると考えられる。

5.1.2 地質構造

本海域では、西北西–東南東方向と北北東–南南西方向の断面で認められる断層の特徴が異なる。西北西–東南東方向の反射断面には、種子・屋久海脚中軸部や西方の海盆深部に西落ちの正断層が複数認められる (第4図, 第7図)。これらの正断層の分布は、種子・屋久海脚西側の



第8図 (a) 種子・屋久海脚北部の重合音波探査断面図(測線57b-gb22205)及び(b)解釈線。実線：断層(太線は第3図にマッピングした断層)。

Fig. 8 (a) Stacked seismic profile across the northern part of Tane-Yaku Spur (Line 57b-gb22205) and (b) their interpretations. Solid lines: Faults (bold lines indicates tracked faults in Fig. 3).

水深500 m以浅において地形と調和的で北東-南西走向や北西-南西走向に屈曲するように断続的に発達し、海脚西方の海盆では北北東-南南西走向に比較的連続して認められる(第3図)。これらの正断層によって、TY2層の内部反射には上位に向かって累積的な傾斜の変化が表れている(第4図、第7図)。また、TY3層内部に一貫した断層による変位が認められ、TY4層内部は海底面に向かって徐々に反射面の変位が少なくなる(第4図、第7図)。種子・屋久海脚海脚の南部では、概ね東-西及び西北西-東南東走向に正断層が認められ、明瞭な線構造として海底地形にも現れている。この線構造に垂直な北北東-南南西方向の断面(第5図、第6図)では、TY1層上面に変形を及ぼす断層面にTY3層及びTY4層がオンラップしている様子が観察される(第5図、第6図)。

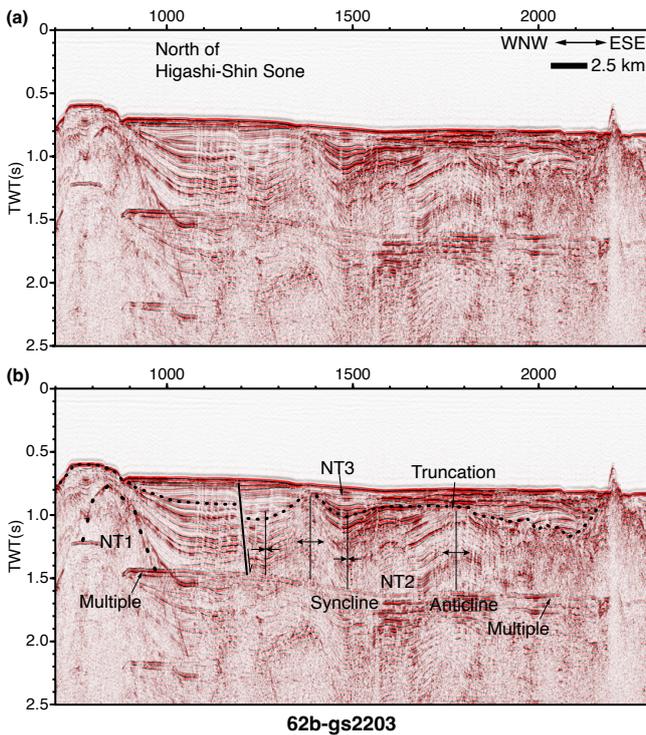
5.2 トカラ列島北方海域

5.2.1 音響層序及びドレッジ点の詳細

本稿では、口之島、サンゴ曾根、及び藁曾根から北方の水深約500-800 mの海域に分布する堆積盆に限定して記載する(第3図)。この海域は、広義での沖縄トラフ(木村, 1990)の北部、及びNash (1979)のTokara Sub-basin北部にあたる。西北西-東南東方向の反射断面を第9図から第12図に示す。第10図及び第12図にはドレッジ調査をした崖の反射断面を示す。本稿では、構造運動によって形成したと考えられる不整合面を基準に、地層を下位から順にNT1層、NT2層、NT3層に区分した。

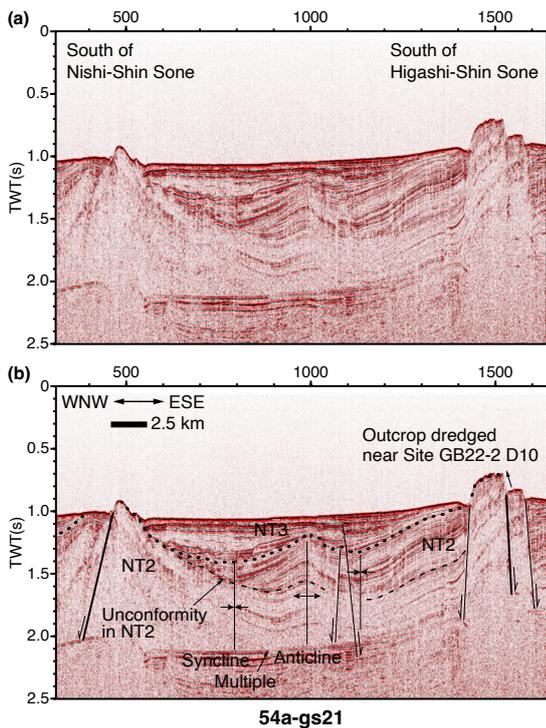
NT1層は黒島南西沖の南西に張り出した地形的高まり

の深部に認められる(第9図)。NT1層内部には低振幅の断続的な反射面を示す部分と無秩序構造を示す部分があり、内部に不整合面を含む可能性がある。NT1層は、本海域南方の藁曾根から権曾根にかけて連なる地形的高まりの深部にも分布する。NT2層は、連続性が良く高振幅の内部反射面を特徴とし、NT1層にオンラップしているのが黒島南西沖の南西に張り出した地形的高まりの深部にて確認できる(第9図)。NT2層は不整合面により上位と下位に分けられるものの、上位層と下位層はどちらも東に向かって層厚を増しており、その特徴が一致するため本稿では一括して扱うこととした(第9図、第10図)。本海域北部ではNT2層上面に一部でトランケーションが認められる(第9図)。本海域東方の火山フロント周辺ではNT2層内部反射面が変化し、口之島南西沖では無秩序構造が、サンゴ曾根北方では低振幅で急傾斜する内部反射面が認められる(第11図)。NT2層は層厚約0.5秒(往復走時)以上で堆積盆内部に広く認められ、東方では概ね東傾斜で海底下往復走時0.3-0.5秒程(第11図)の深さに、本海域西方では海底下往復走時0.3秒未満(第9図及び第10図)の深さに分布し、さらに、東新曾根周辺の地形的高まりや、サンゴ曾根北方沖では断層による変形を受けて海底面に露出している(第10図、第11図)。NT2層は本海域南方の、藁曾根から権曾根にかけて連なる地形的高まりの表層にも分布している(第12図)。NT3層は、NT2層にオンラップし、内部構造は概ね連続性が良く水平で振幅の強い反射を示し、複数の不整合面が認められるが、NT2層上面の凹地や断層によって形作られ



第9図 (a)トカラ列島北方の海底平坦部北部を西北西-東南東方向に横断する重合音波探査断面図(測線62b-gs2203)及び(b)解釈線. 太線は第3図にマッピングした断層.

Fig. 9 (a) Stacked seismic profile across the northern flat seafloor in the north of Tokara Islands in WNW-ESE direction (Line 62b-gs2203) and (b) their interpretations. Bold lines indicate tracked faults in Fig. 3



第10図 (a)トカラ列島北方の海底平坦部西部を西北西-東南東方向に横断する重合音波探査断面図(測線54a-gs21)及び(b)解釈線. 太線は第3図にマッピングした断層.

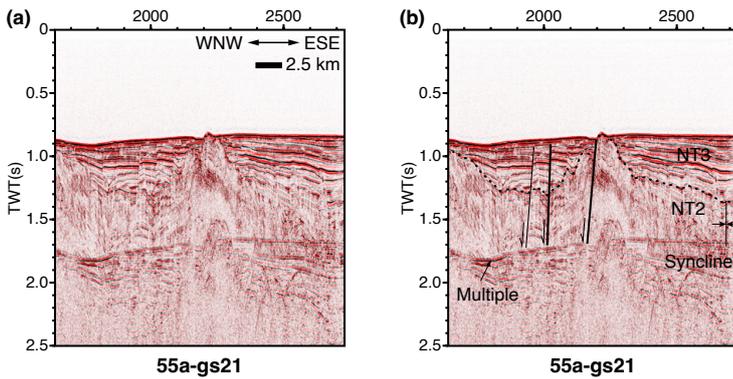
Fig. 10 (a) Stacked seismic profile across the western flat seafloor in the north of Tokara Islands in WNW-ESE direction (Line 54a-gs21) and (b) their interpretations. Bold lines indicate tracked faults in Fig. 3

る低地に厚く累重するのが特徴である。NT3層の層厚は、本海域東方の火山フロント付近で最も厚く、約0.5秒(往復走時)で認められる(第11図)。

本海域では、藁曾根から権曾根にかけて連なる地形的高まりの西側斜面にNT2層下部が露出しているのが確認できる(第12図)。そのため、GB22-2 D09地点にてドレッジ調査をして岩石を採取した。D09地点では主に半固結の砂岩が採取された(図版1)。得られた岩石試料の総重量は約97 kg、記載された岩石試料の大きさは最大で44 cm × 17 cm × 16.5 cm、最小で8 cm × 5 cm × 3.5 cmであった(付表2)。さらに、東新曾根の南方沖の急崖においてNT2層の上部が露出しており(第10図)、GB22-2 D10地点でドレッジ調査を行った。D10地点では主に泥岩が採取された(図版1)。得られた岩石試料の総重量は約31 kg、記載された岩石試料の大きさは最大で14 cm × 11 cm × 3 cm、最小で5 cm × 4 cm × 2 cmであった(付表2)。採取した試料の大きさや形状、マンガンの被覆状態を考慮すると、D09及びD10地点では露頭を構成する岩石を採取していると考えられる。

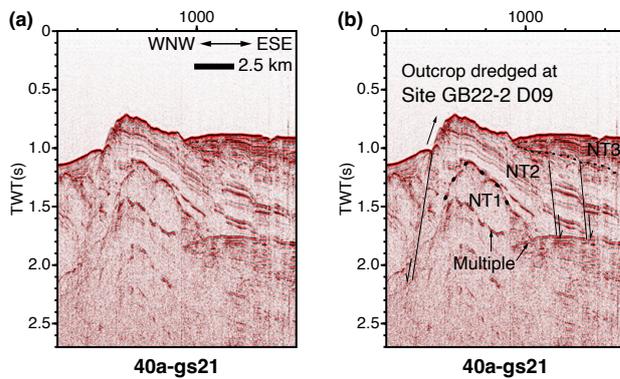
5.2.2 地質構造

トカラ列島北部の特徴的な地質構造として、NT2層内部及びNT3層下部に変位を与えている、正断層、向斜、及び背斜が複数認められる(第9図、第10図、第11図)。これらの構造は全て火山フロントの並びと並行な北北東-南南西走向に発達する(第3図)。NT2層内部に不整合面が認められるが、内部の地層は上位層も下位層も東に向



第11図 (a)トカラ列島北方の海底平坦部東部を西北西-東南東方向に横断する重合音波探査断面図(測線55a-gs21)及び(b)解釈線。実線:断層(太線は第3図にマッピングした断層)。

Fig. 11 (a) Stacked seismic profile across the eastern flat seafloor in the south of Tokara Islands in WNW-ESE direction (Line 55a-gs21) and (b) their interpretations. Solid lines: Faults (bold lines indicates tracked faults in Fig. 3).



第12図 (a)中之島西方の地形的高まりを西北西-東南東方向に横断する重合音波探査断面図(測線40a-gs21)及び(b)解釈線。実線:断層(太線は第3図にマッピングした断層)。

Fig. 12 (a) Stacked seismic profile across the topographic high in the west of Nakanoshima Island in WNW-ESE direction (Line 40a-gs21) and (b) their interpretations. Solid lines: Faults (bold lines indicates tracked faults in Fig. 3).

かって層厚を増しており(第10図), 褶曲及び断層が形成する前に海盆の東方に堆積中心があったことが推察される。

本海域東方の火山フロント付近ではNT2層内部の反射面が顕著に変形を受けている。口永良部島南西沖では、透明層の山体の裾野の西側にてNT2層の内部が西へ傾動している(第9図 CMP 2100地点付近)。サンゴ曾根北方においては、NT2層は断続的で急傾斜の反射面を示し、深部には透明層もしくは無秩序な反射面の層相が認められる(第11図)。

6. 層序対比と構造発達史の議論

種子・屋久海脚周辺海域では、海脚基部を構成するTY1層の上位に堆積層(TY2層, TY3層, 及びTY4層)が分布している。西落ちの正断層が海脚西側の等深線に調和的な概ね北北東-西南西走向で複数認められ、ハーフグラベンを形成している。北北東-西南西走向の正断層はTY1層上面, TY2層及びTY3層内部に顕著な変位を与えている。トカラ列島北方海域では、黒島南西沖から蓑曾根及び権曾根にかけての北北東-南南西方向の地形的高まりの深部にNT1層が断続的に認められ、その上位に堆積層(NT2層及びNT3層)が広く分布する。北北東-南南西走向の断層, 向斜, 及び背斜が発達し, NT2層中

に変形が認められる。NT2層中の不整合面の分布及び地層の東方傾斜の様子から、褶曲及び断層による変位形成前は東方に堆積中心があったことが推察される。双方の海域においてTY3層・TY2層とNT2層は、北北東-南南西走向の西落ち正断層の形成に伴って堆積したと考えられる点、及び火山フロント周辺部において同じ構造の特徴を持つ点が一貫している。従って、TY3層・TY2層及びNT2層は、種子・屋久海脚西側に沿って分布する正断層を主断層とする、西新曾根・蓑曾根東方周辺にかけて広がるハーフグラベンの活動に伴って形成された可能性がある。

以上の考察を踏まえて本海域に認められる地層の特徴から構造発達史をまとめる。TY1層及びNT1層の形成後、後の種子・屋久海脚周辺にて西側が沈降し、ハーフグラベンが形成されるとともに、TY2層及びNT2層が堆積した。TY2層の層厚分布から、沈降は種子・屋久海脚中軸部の北部(屋久島南方沖)でも局所的に起こっていたと考えられる。その後、一度正断層の活動が停止し、もしくは堆積速度が沈降運動に対して急激に増加したことで、TY3層及びNT2層上部が形成された。種子・屋久海脚より西方にて正断層を伴う沈降運動が再度起こったことで、断層及び褶曲で形成された低地を埋めるようにTY4層及びNT3層の堆積が始まった。海脚を胴切る東-西走向及

び西北西-東南東走向の正断層及び現在のトカラ列島をなす火山フロントの山体は、それぞれTY3層及びTY4層の堆積以降に形成した可能性がある。

本海域で区分した層序・地質構造に基づく構造発達史は、沖縄トラフから琉球弧の広域的に認められる層序に基づく構造発達史と整合的で、各地層と対比できる可能性が高い。TY1層は、過去の北部沖縄トラフの構造探査(Nash, 1979; 木村, 1990)に報告されている音響基盤と同様の音響的特徴・分布を示し、トカラ列島周辺で行った基礎試錐「TO-KA-1」で得られた先中新統(Nash, 1979; 古川, 1991)に相当すると考えられる。トカラ列島北方のNT1層の分布は限定的であるが、地形の連続性から岡村(2022b)で報告されている黒島隆起帯の基盤に相当する可能性が高い。種子・屋久海脚周辺のTY2層及びTY3層、トカラ列島北方のNT2層及びNT3層は、琉球弧西方のハーフグラベンを形成していることから、島尻層群相当層(Nash, 1979; Kimura, 1985; 荒井ほか, 2015, 2018; Kikunaga *et al.*, 2021; 荒井・井上, 2022; 岡村, 2022a, 2022b)以上の層準に見られる、沈降・隆起に伴って形成した堆積層と対比できる。さらに、本調査では琉球弧を胴切る東-西走向及び西北西-東南東走向の正断層も認められた。このような琉球弧を胴切る走向の断層の詳細な記載は琉球弧北部において報告は無かった。今後、採取した堆積岩の年代に基づき音響層序および地質構造の年代を制約することで、北部琉球弧周辺海域における詳細な地質構造発達過程の解明が期待される。

謝辞: GB22-1航海及びGB22-2航海の調査にあたっては、上河内信義船長をはじめとする東海大学職員の方々、及び作業をお手伝いいただいた東海大学の学生の皆様に安全な運行を遂行いただきましたことを感謝申し上げます。海洋技術開発株式会社の職員の方々、乗船者研究者の方々には、手作業による音響機器の投入揚収作業時に献身的なご協力を頂きました。また、GS22航海では、宮崎唯史船長をはじめとする神鷹丸運行に関わった東京海洋大学の職員の方々、サイスガジェット株式会社の乗船職員の方々、東京海洋大学の鶴 哲郎教授、酒井久治教授、古山精史郎助教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、長距離にわたる測線の物理探査データを取得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たことに厚く御礼申し上げます。

文 献

- 荒井晃作・佐藤智之・井上卓彦(2015) 沖縄島北部周辺海域海底地質図。海洋地質図, no. 85 (DVD), 産総研地質調査総合センター。
- 荒井晃作・井上卓彦・佐藤智之(2018) 沖縄島南部周辺海域海底地質図。海洋地質図, no. 90 (CD), 産総研地質調査総合センター。
- 荒井晃作・井上卓彦(2022) 久米島周辺海域海底地質図。海洋地質図, no. 92, 産総研地質調査総合センター。
- 有元 純・宇都宮正志(2022) GB21-1航海においてトカラ列島周辺海域で採取された堆積物および堆積岩の石灰質微化石に基づく年代推定。地質調査研究報告, **73**, 267-274。
- 有元 純・宇都宮正志(2023) GB21-3航海においてトカラ列島北部周辺海域で採取された堆積岩の石灰質微化石に基づく堆積年代と地質学的意義。地質調査研究報告, **74**, 245-257。
- 有元 純・田中裕一郎(2024) GB21-3航海においてトカラ列島北部周辺海域で採取された堆積岩の石灰質微化石に基づく堆積年代と地質学的意義。地質調査研究報告, **75**, 209-222。
- 古川雅英(1991) 琉球弧と沖縄トラフの発達史 とくに沖縄トラフの形成年代について。地学雑誌, **100**, 552-564。
- 下司信夫・石塚 治(2007) 琉球弧の火山活動。地質ニュース, no. 634, 6-9。
- Harigane, Y., Ishizuka, O., Shimoda, G., Conway, C. E., and Sato, T. (2023) Morphology, petrology and geochemistry of submarine volcanoes around Kumejima Island: Implications for arc-related volcanism in the southern Central Ryukyu Arc. *Marine Geology*, **458**, 107014。
- 石野沙季・三澤文慶・有元 純・井上卓彦(2022) トカラ列島南西沖におけるGB21-1航海の反射法音波探査概要。地質調査研究報告, **73**, 219-234。
- 石野沙季・針金由美子・三澤文慶・井上卓彦(2023) 2021年度海域地質図航海で行ったトカラ列島周辺海域の反射法音波探査及びドレッジ調査の概要。地質調査研究報告, **74**, 211-230。
- 川辺禎久・阪口圭一・斎藤 眞・駒澤正夫・山崎俊嗣(2004) 20万分の1地質図幅「開聞岳及び黒島の一部」。産総研地質調査総合センター, 1 sheet。
- 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)。
- Kimura, M. (1985) Back-arc rifting in the Okinawa Trough. *Marine and Petroleum Geology*, **2**, 222-240。
- 木村政昭(1990) 沖縄トラフの発生と形成。地質学論集, 堆積盆地と褶曲構造—形成機構とその実験的研究一, **34**, 77-88。
- 木村政昭・松本 剛・中村俊夫・西田史朗・小野朋典・青木美澄(1993) トカラ海峡の潜水調査-沖縄トラフ北部の東縁のテクトニクス。第9回深海シンポジウム報告書, 283-307。
- Kikunaga, R., Song, K. H., Chiyonobu, S., Fujita, K., Shinjo, R. and Okino, K. (2021) Shimajiri Group equivalent

- sedimentary rocks dredged from sea knolls off Kume Island, central Ryukyus: Implications for timing and mode of rifting of the middle Okinawa Trough back-arc basin. *Island Arc*, **30**, e12425.
- Kizaki, K. (1986) Geology and tectonics of the Ryukyu Islands. *Tectonophysics*, **125**, 193–207.
- Koge, H., Sato, T., Arimoto, J., Otsubo, M., Ishino, S., Suzuki, Y., Ishizuka, O., Harigane, Y., Misawa, A., Inoue, T., Yamashita, M., Furuyama, S., Yokoyama, Y., Sato Y., Mori, T., Minami, H. and Tamura, C. (2024) Inception of ridge–ridge–ridge triple junctions: morphostructural analysis and dynamics in the early back-arc extension of the northern Okinawa Trough, *Geology*, G52640. doi: 10.1130/G52640.1
- Kubo, A. and Fukuyama, E. (2003) Stress field along the Ryukyu Arc and the Okinawa Trough inferred from moment tensors of shallow earthquakes. *Earth and Planetary Science Letters*, **210**, 305–316.
- Letouzey, J. and Kimura, M. (1986) The Okinawa Trough: genesis of a back-arc basin developing along a continental margin. *Tectonophysics*, **125**, 209–230.
- 松本 剛・木村政昭・仲村明子・青木美澄 (1996) 琉球弧のトカラギャップおよびケラマギャップにおける精密地形形態. *地学雑誌*, **105**, 286–296.
- Matsumoto, T., Shinjo, R., Nakamura, M., Kimura, M. and Ono, T. (2009) Submarine active normal faults completely crossing the southwest Ryukyu Arc. *Tectonophysics*, **466**, 289–299.
- Minami, H., Okada, C., Saito, K., and Ohara, Y. (2022) Evidence of an active rift zone in the northern Okinawa Trough. *Marine Geology*, **443**, 106666.
- 中江 訓・兼子尚知・宮崎一博・大野哲二・駒澤正夫 (2010) 20万分の1地質図幅「与論島及び那覇」. 産総研地質調査総合センター, 1 sheet.
- 中野 俊・下司信夫・小林哲夫・斎藤 眞・駒澤正夫・大熊茂雄 (2008) 20万分の1地質図幅「中之島及び宝島」. 産総研地質調査総合センター, 1 sheet.
- Nash, D. F. (1979) The geological development of the North Okinawa Trough area from Neogene times to recent. *Journal of the Japanese Association of Petroleum Technologists*, **44**, 109–119.
- Nishizawa, A., Kaneda, K., Oikawa, M., Horiuchi, D., Fujioka, Y. and Okada, C. (2019) Seismic structure of rifting in the Okinawa Trough, an active backarc basin of the Ryukyu (Nansei-Shoto) Island Arc–Trench system. *Earth, Planets and Space*, **71**, 1–26.
- 岡村行信 (2022a) 種子島付近海底地質図. 海洋地質図, no. 91, 産総研地質調査総合センター.
- 岡村行信 (2022b) 野間岬沖海底地質図. 海洋地質図, no. 93, 産総研地質調査総合センター.
- Otsubo, M., Yamaji, A., Kubo, A. (2008) Determination of stresses from heterogeneous focal mechanism data: An adaptation of the multiple inverse method. *Tectonophysics*, **457**, 150–160.
- Sato, T., Oda, H., Ishizuka, O. and Arai, K. (2014) Detailed bathymetry and magnetic anomaly in the Central Ryukyu Arc, Japan: implications for a westward shift of the volcanic front after approximately 2.1 Ma. *Earth, Planets and Space*, **66**, 1–9.
- 斎藤 眞・小笠原正継・長森英明・下司信夫・駒澤正夫 (2007) 20万分の1地質図幅「屋久島」. 産総研地質調査総合センター, 1 sheet.
- Shang, L. N., Zhang, X. H., Jia, Y. G., Han, B., Yang, C. S., Geng, W. and Pang, Y. M. (2017) Late Cenozoic evolution of the East China continental margin: Insights from seismic, gravity, and magnetic analyses. *Tectonophysics*, **698**, 1–15.
- Sibuet, J. C., Deffontaines, B., Hsu, S. K., Thureau, N., Le Formal, J. P. and Liu, C. S. (1998). Okinawa trough backarc basin: Early tectonic and magmatic evolution. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **103**, 30245–30267.
- 鈴木克明・板木拓也・片山 肇・兼子尚知・針金由美子・齋藤直輝・岩谷北斗・松井浩紀・石塚 治・山崎 誠・有元 純・徳田悠希・千徳明日香・池内絵里・井口亮・鈴木 淳・清家弘治 (2024) トカラ列島西方海域及び屋久島南方海域の底質分布とその制御要因. 地質調査研究報告, **75**, 223–248.
- 竹内 誠 (1994) 20万分の1地質図幅「奄美大島」. 産総研地質調査総合センター.
- 横瀬久芳・佐藤 創・藤本悠太・小林哲夫・秋元和實・吉村 浩・森井康宏・山脇信博・石井輝秋・本座栄一 (2010) トカラ列島における中期更新世の酸性海底火山活動. *地学雑誌*, **119**, 46–68.

(受付 : 2024年1月19日 ; 受理 : 2024年9月26日)

GB22-1 D07

1/2



D07 all



D07-R01



D07-R02



D07-R03



D07-R04



D07-R05



D07-R06



D07-R07

図版1 GB22-1航海及びGB22-2航海で採取した岩石試料の一覧。

Plate A1 List of rock samples obtained by dredge of GB22-1 and GB22-2 cruises.

GB22-1 D07

2/2



D07-R08



D07-R09



D07-R10



D07-R11



D07-R12



D07-R13



D07-R14

図版1 続き.

Plate A1 Continued.

GB22-1 D08

1/2



D08 all



D08-R01



D08-R02



D08-R03



D08-R04



D08-R05



D08-R06



D08-R07

図版1 続き.

Plate A1 Continued.

GB22-1 D08

2/2



D08-R08



D08-R09



D08-R10



D08-R11



D08-R12



D08-R13



D08-R14

図版1 続き.

Plate A1 Continued.

GB22-2-D09

1/5



D09 all1



D09 all2



D09-R01



D09-R01 slab



D09-R02



D09-R02 slab



D09-R03



D09-R03 slab

図版1 続き.

Plate A1 Continued.

GB22-2-D09

2/5



D09-R04



D09-R04 slab



D09-R05



D09-R05 slab



D09-R06



D09-R06 slab



D09-R07



D09-R07 slab

図版1 続き.

Plate A1 Continued.

GB22-2-D09

3/5



D09-R08



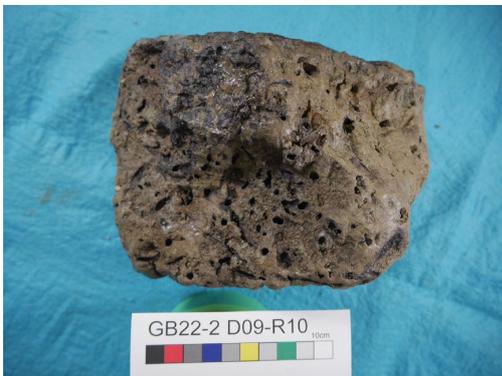
D09-R08 slab



D09-R09



D09-R09 slab



D09-R10



D09-R10 slab



D09-R11



D09-R11 slab

図版1 続き.

Plate A1 Continued.

GB22-2-D09

4/5



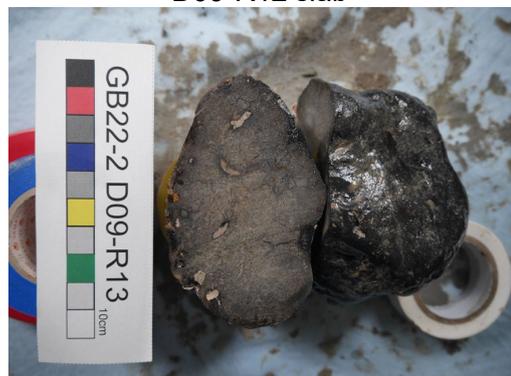
D09-R12



D09-R12 slab



D09-R13



D09-R13 slab



D09-R14



D09-R14 slab



D09-R15



D09-R15 slab

図版1 続き.

Plate A1 Continued.

GB22-2-D09

5/5



D09-R16



D09-R16 slab



D09-R17



D09-R17 slab



D09-R18



D09-R18 slab



D09 others



D09 others mago

図版1 続き.

Plate A1 Continued.

GB22-2-D10

1/4



D10 all1



D10 all2



D10-R01



D10-R01 slab



D10-R02



D10-R02 slab



D10-R03



D10-R03 slab

図版1 続き.

Plate A1 Continued.

GB22-2-D10

2/4



D10-R04



D10-R04 slab



D10-R05



D10-R05 slab



D10-R06



D10-R06 slab



D10-R07



D10-R07 slab

図版1 続き.

Plate A1 Continued.

GB22-2-D10

3/4



D10-R08



D10-R08 slab



D10-R09



D10-R09 slab



D10-R10



D10-R10 slab



D10-R11



D10-R11 slab

図版1 続き.

Plate A1 Continued.

GB22-2-D10

4/4



D10-R12



D10-R12 slab



D10-R13



D10-R13 slab



D10-R14



D10-R14 slab

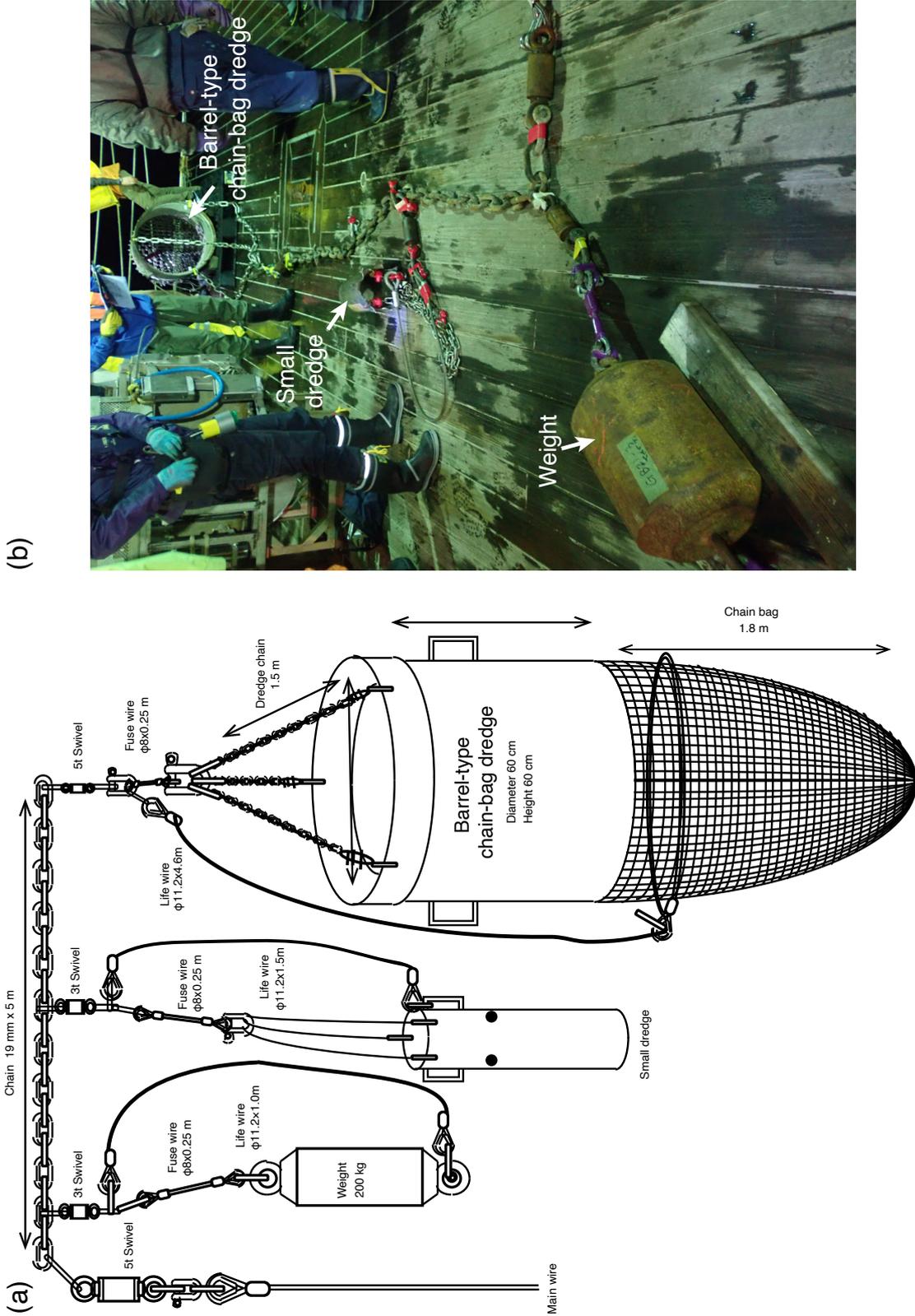


D10 others

図版1 続き.

Plate A1 Continued.

G SJ Dredge sampler system



付図A1 岩石試料採取に用いたドレッジシステムの模式図及び写真。
 Fig. A1 Schematic illustration and photo of dredge system for rock sampling.

付表A1 ドレッジオペレーションに関するデータリスト。
Table A1 Data list of dredge operations.

Site	Dredge in water				on bottom				stop wire				pull in		off bottom				on deck													
	time (JST)	lat. (dd)	(mm.mm)	lon. (ddd)	depth (m)	time (JST)	lat. (dd)	(mm.mm)	lon. (ddd)	depth (m)	time (JST)	lat. (dd)	(mm.mm)	lon. (ddd)	depth (m)	time (JST)	lat. (dd)	(mm.mm)	lon. (ddd)	depth (m)	time (JST)	lat. (dd)	(mm.mm)	lon. (ddd)	depth (m)	time (JST)	lat. (dd)	(mm.mm)	lon. (ddd)	depth (m)		
GB22-1-D07	11:38:26	29	53.2460	130	9.6617	495	11:47:43	497	29	53.2248	130	9.7056	492	11:47:43	510	11:50:06	29	52.8814	130	10.2797	359	29	52.8814	130	10.2797	359	12:43:56	29	52.8814	130	10.2797	359
GB22-1-D08	11:42:43	29	37.8929	130	7.3028	550	11:53:46	560	29	37.8487	130	7.2223	554	11:53:46	564	11:54:37	29	37.6587	130	7.0992	428	29	37.6587	130	7.0992	428	12:46:45	29	37.6587	130	7.0992	428
GB22-2-D09	13:23:03	29	55.8778	129	22.4695	783	13:49:34	786	29	55.7647	129	55.6037	780	13:49:34	770	14:32:16	29	55.7554	129	22.9806	595	29	55.7554	129	22.9806	595	15:38:06	29	55.7554	129	22.9806	595
GB22-2-D10	8:49:57	30	19.2908	129	42.0923	644	9:21:25	644	30	19.3174	129	41.9108	603	9:21:25	647	9:35:46	30	19.3395	129	41.9391	600	30	19.3395	129	41.9391	600	10:35:15	30	19.3395	129	41.9391	600

付表A2 船上での肉眼観察によって記載した岩石試料のデータリスト。
Table A2 Data list of rock samples described onboard.

July 15 2022													
sample No.	rock type	shape	size X (cm)	size Y (cm)	size Z (cm)	weight(kg)	colour	Mn coating	remarks				
D07R01	tuff breccia	platy	19	16	9	1.5	white	film	matrix supported, epiclastic				
D07R02	tuff breccia	subrounded	16	12	10	0.9	white	film	matrix supported, epiclastic				
D07R03	tuff breccia	platy	32	18	10	3.5	brownish white	0	matrix supported, poorly-vesiculate-4d porphyritic andesitic clast dominant				
D07R04	tuff breccia	platy	21	15	8	1	brownish white	film	matrix supported, poorly-vesiculate-4d porphyritic andesitic clast dominant				
D07R05	tuffaceous sandstone	subangular	20	12	7	1.8	grayish white	film	minor amount of volcanic clast				
D07R06	tuff breccia	subrounded	16	7	6	0.4	grayish white	0	matrix supported, epiclastic				
D07R07	pumice tuff	subrounded	16	12	5	0.3	dark gray	0	matrix supported, andesite-dacite clasts present				
D07R08	tuffaceous sandstone	rounded	13	9	6	0.2	grayish white	film					
D07R09	pumice tuff	subrounded	19	14	8	1.2	gray	0					
D07R10	pumice tuff	platy	22	13	6	1	gray	0					
D07R11	pumice tuff	angular	10	8	6	0.3	grayish white	film					
D07R12	pumice tuff with calcareous matrix	subangular	16	8	7	0.4	grayish white	film					
D07R13	limestone	angular	16	8	5	0.5	gray	film	hard and compact				
D07R14	calcareous sandstone	platy	16	10	4	0.3	gray						
July 23 2022													
sample No.	rock type	shape	size X (cm)	size Y (cm)	size Z (cm)	weight(kg)	colour	Mn coating	remarks				
D08R01	sandstone (meta-?)	angular	30	21	15	14	dark gray						
D08R02	sandstone (meta-?)	angular	26	24	13	12	dark gray		fine grained				
D08R03	metastone	angular	29	19	10	6	pale gray		with angular mudstone xenolith				
D08R04	sandstone	subangular	20	14	10	6		film	cross lamination, vein, pale brown muddy vein				
D08R05	sandstone (meta-?)	angular	24	13	10	4	dark gray		white vein rich, looks like R01/R02				
D08R06	metastone	angular	15	13	7	1	pale gray	film	minor vein, mm-order mudstone(?) xenolith				
D08R07	metastone	angular	19	15	8	1.5	pale gray	film	looks like R06				
D08R08	matrix-supported conglomerate	subangular	23	10.5	10	2.5	dark gray	film	1-2 cm sub-angular to sub-rounded pebble (sandstone and mudstone?)				
D08R09	metastone	subangular	16	11	9.5	1.5		film	Arkose sand sebene?, mudstone patch				
D08R10	sandstone (meta-?)		17	9.5	9	1.5		film	looks like R01, coarse-grained, white vein, mudstone patch				
D08R11	carbonate rock	angular	13	13	7.5	1.5	palebrown	film	fossiliferous (mollusc, coral), angular xenolith rich (sandstone, mudstone), very fine matrix, consolidated, not porous				
D08R12	sands	subangular	7	5.5	3.5	0.5	gray	film	looks like R02, fine-grained, minor vein				
D08R13	sandstone		6	4	2.5	0.3	gray		fine-vert fine, cross lamina (muddy-sandy sil)				
D08R14	muddy sandstone		4.5	3.5	2	0.3			meta-?, cross lamination				
November 21 2022													
sample No.	rock type	shape	size X (cm)	size Y (cm)	size Z (cm)	weight(kg)	colour	Mn coating (mm)	remarks				
D09R01	sandstone	subrounded	44	23	17	16.5	gray and reddish brown	film	burrows				
D09R02	sandstone	subrounded	43	22	13	7	gray	film	burrows, medium sand to coarse sand in size				
D09R03	sandstone	subrounded	30	19	13	4	gray	film	burrows, medium sand to coarse sand in size				
D09R04	sandstone	subrounded	28	20	18	7	gray	film	burrows				
D09R05	sandstone	subrounded	38	16	11	4	yellowish gray with gray	film	burrows, fine sand to medium sand in size, porous				
D09R06	sandstone	subrounded	31	17	9	4	gray and yellowish gray	film	burrows, fine sand to medium sand in size, massive				
D09R07	sandstone	platy	25	21	9	3	yellowish gray and gray	film	burrows, medium sand to coarse sand in size, porous				

付表A2 続き.

Table A2 Continued.

GB22-2-D09 November 21 2022										
sample No.	rock type	shape	size X (cm)	size Y (cm)	size Z (cm)	weight(kg)	colour	Mn coating (mm)	remarks	
D09-R08	sandstone	platy	26	18	6	2.5	yellowish gray	patch	burrows	
D09-R09	sandstone	subangular	26	19	8	3.5	gray	10	rich organism on surface	
D09-R10	sandstone	subrounded	19	14	12	3	gray and yellowish brown	film	burrows, oxidized grains (orange-color)	
D09-R11	layered mudstone	platy	26	14	5	1.5	gray and pale gray	film	burrows, interbedding of light colored (silty?) layer and dark colored (clay?) layer with sandy burrow (light colored)	
D09-R12	sandstone	subangular	17	11	6	0.8	gray and yellowish gray	film	burrows, porous, poorly sorted	
D09-R13	sandstone	subrounded	12	10	7	1	gray and dark brown	5	burrows	
D09-R14	sandstone	subangular	11	7	6	0.5	gray and dark brown	5		
D09-R15	layered mudstone	subrounded	11	7	5	<0.5	gray	film	burrows, interbedding of light colored (silty?) layer and dark colored (clay?) layer with sandy burrow (light colored)	
D09-R16	sandstone	subangular	10	7	6	0.5	dark gray	3	sandstone impregnated with Mn	
D09-R17	plutonic rock	rounded	9	6	3	<0.5	gray	film	Biomaterial (coral?) attached on surface of R17. Dione?	
D09-R18	sandstone	rounded	8	5	3.5	<0.5	dark gray	2	sandstone impregnated with Mn	
D09_others						38				
GB22-2-D10 November 22 2022										
sample No.	rock type	shape	size X (cm)	size Y (cm)	size Z (cm)	weight(kg)	colour	Mn coating (mm)	remarks	
D10-R01	mudstone	rounded	23	14	11	3	gray and reddish brown			
D10-R02	mudstone	rounded	21	12	11	2	pale brown		burrows	
D10-R03	mudstone	rounded	21	11	11	2	gray			
D10-R04	mudstone	rounded	16	10	7	1	gray and pale brown			
D10-R05	mudstone	rounded	11	7	6	1	pale brown		burrows	
D10-R06	mudstone	subrounded	10.5	6.5	3.5	0.5	reddish brown and gray			
D10-R07	purlice	rounded	8.5	7	5.5	0.5	pale brown and gray			
D10-R08	sandstone	subrounded	7.5	6.5	4.5	0.5	reddish brown		including fragments?	
D10-R09	sandstone	subrounded	7	5	4.5	<0.5	ivory	film	burrows	
D10-R10	mudstone	subrounded	6.5	4.5	4.5	<0.5	reddish brown		including fragments?	
D10-R11	purlice	subrounded	5.5	4.5	4	<0.5	reddish brown			
D10-R12	purlice	subrounded	5	4.5	3	<0.5	reddish brown			
D10-R13	sandstone	subrounded	5.5	3.5	2.5	<0.5	ivory		including lithic fragments	
D10-R14	sandstone	subangular	5	4	2	<0.5	ivory		burrows	
D10-others						20				

GS22 航海での高分解能サブボトムプロファイラー探査に基づく トカラ列島周辺海域の海底下浅部構造

三澤 文慶^{1,*}・古山 精史朗^{2,1}・高下 裕章¹・有元 純¹・石野 沙季¹・鈴木 克明¹

MISAWA Ayanori, FURUYAMA Seishiro, KOGE Hiroaki, ARIMOTO Jun, ISHINO Saki and SUZUKI Yoshiaki (2024) Shallow submarine structure around Tokara Islands based on the high-resolution subbottom profiler survey during the GS22 cruise. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 75 (5/6), p. 197–208, 7 figs.

Abstract: During the GS22 cruise of the *R/V Shinyo Maru* (The Tokyo University of Marine Science and Technology) from May to June 2022, a high-resolution subbottom profiler (SBP) survey was conducted, focusing on the area of the Tokara Islands and Yakushima Island to obtain geological information on the shallow subbottom structure in the area. This paper summarizes the shallow subbottom structure around Yakushima and Takarajima Islands, as revealed by the SBP surveys. Although the internal structure of the sedimentary sequences could not be determined over most of the continental shelf in the area north of Yakushima Island, we identified partially stratified sedimentary sequences with a maximum thickness of ~20 m below the seafloor. The SBP profiles revealed the internal structure of stratified sedimentary sequences down to a maximum of 40 m below the seafloor in the volcanic front area located west of Yakushima Island. The partially stratified sedimentary sequences occur between the volcanic front area and the western slope of the Tane-Yaku Spur, a characteristic bathymetric high between Yakushima and Tanegashima Islands, although most of the internal structure could not be identified due to poor penetration of acoustic waves. We also surveyed the area north of Takarajima Island, where many earthquakes have occurred in recent years, suggesting the presence of seafloor movement related to seismic activity. However, the data indicate that no faults or intrusion structures have reached the seafloor or shallow part of the sedimentary sequences in this region.

Keywords: Tokara Islands, Ryukyu Arc, Volcanic front, Okinawa Trough, Subbottom Profiler (SBP), Submarine shallow structure

要 旨

GS22航海では、2022年5月から6月の期間に東京海洋大学の神鷹丸を用いて、トカラ列島周辺海域で高分解能サブボトムプロファイラー探査を行い、本海域の海底下浅部に関する地質情報を取得した。本論では、屋久島周辺海域及び宝島北方海域でのSBP探査により明らかになった海底下浅部の地質構造をまとめる。屋久島の周辺部のうち、屋久島北方沖では陸棚部分の堆積層の内部構造は不明であったが、部分的に成層した層厚が海底面下最大20 m程度の堆積層が認められた。屋久島西方沖の火山フロント域では海底面下最大約40 mまで成層した堆積層の内部構造を把握できた。屋久島南方沖の火山フロント域及び種子-屋久海脚の部分では、部分的に成層した

堆積層が認められるが、音波の透過が悪く内部構造の大部分は不鮮明であった。また、近年地震が群発している宝島北方沖の観測では地震活動に関連した海底変動の存在を想定したが、海底に到達した断層及び下部からの貫入構造などは認められなかった。

1. はじめに

鹿児島県南部の吐噶喇列島（以下、トカラ列島）は、九州島の南方沖合に位置する種子島・屋久島などの大隅諸島と奄美大島の間に位置する島嶼群であり、北から口之島、臥蛇島、小臥蛇島、中之島、平島、諏訪之瀬島、悪石島、小宝島、宝島、及び横当島により構成される（第1図）。これらは火山島であり、このうち口之島、中之島、諏訪之瀬島及び横当島は活火山であることが知られてい

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)

* Corresponding author: MISAWA, A., AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: ayanori-misawa@aist.go.jp

る(例えば, 下司・石塚, 2007)(第1図)。また, トカラ列島南部に位置する宝島周辺では, 近年宝島北方を震源とする有感地震が頻発しており, 2021年12月9日にはM6.1の地震が発生した。

GS22航海(2022年5月16日~6月4日)では, 東京海洋大学所有の練習船「神鷹丸(986トン)」を使用して, トカラ列島周辺海域にて反射法地震探査などの海洋地質学的・地球物理学的観測を実施し, 本海域の海洋地質・海底地球物理に関する地質情報を取得した。本航海では屋久島南方海域を中心に, 2020年度及び2021年度で未観測の測線を観測するべく, トカラ列島海域全域で航走観測を行った。この際, 群発地震が発生していた宝島北方海域にて海底地形調査及びSBP観測を1測線で実施した。本論では, GS22航海で取得した高分解能サブボトムプロファイラー(Subbottom profiler; 以下, SBP)断面を用いて, 屋久島南方海域を中心とする海底下浅部の地質構造について予察的な結果を報告する。

2. 調査概要

GS22航海は, 反射法音波探査, ナローマルチビーム音響測深装置(Multibeam echo sounder, 以下MBES)による海底地形調査, 地球磁場観測(曳航式セシウム磁力計・船上三成分磁力計), 及び高分解能SBP探査を同時に実施した。高分解能SBP探査は神鷹丸搭載のパラメトリック方式のKongsberg社製TOPAS PS18を使用し, 船速8ノットでデータ取得を実施した(第2図)。調査測線は, 北部琉球弧の軸方向に対しておよそ直交方向に切る2マイル(約7.4 km)間隔の西北西-東南東測線, 軸方向に平行な4マイル(約14.8 km)間隔の北北東-南南西測線の2種類の測線を設定した。

本調査のSBP観測で使用したTOPAS PS18は, 2021年度の調査時はSBPの発振をチャープ波モードで行ったが(三澤ほか, 2023), この発振方式では同時収録のMEBSに干渉を与えることが確認された。そのため, TOPAS PS18に搭載されている複数の発振波形でテストを行い, 干渉の程度が低く, かつSBPもMEBSも同時収録可能であるリッカー波での発振を選択した。なお, SBP断面中(例えば, 第3図C及び第4図)にて断面上部から下部に向かう断続的な信号がMBESとの干渉ノイズである。SBP観測で取得したデータはKongsberg社の独自フォーマット(.allファイル)で収録された後に, SEG-Y形式に変換し, Chesapeake Technology社製の解析ソフトウェアSonarWiz 7を用いてデータの表示及び編集を行った。

3. 地質概説

トカラ列島は南西諸島海溝に沿って発達する琉球弧上に位置する。南西諸島海溝は, フィリピン海プレートがユーラシアプレートの下に年間50 mm (Seno *et al.*, 1993)の速さで沈み込む全長約1,200 km, 最大水深約7,500 m

以上におよぶプレート収束境界である(第1図)。琉球弧はトカラ海峡(トカラギャップ)及び慶良間海裂(慶良間ギャップ)にて北琉球, 中琉球, 南琉球の3つのエリアに大別され, このうちトカラ列島周辺海域の大部分は北琉球に位置する(小西, 1965; 松本ほか, 1996)。

トカラ列島周辺海域の地形は西から東に向かって, 背弧海盆である沖繩舟状海盆域(以下, 沖繩トラフ), 火山島が点在する火山フロント域, 琉球弧, 及び南西諸島海溝側の斜面域である前弧斜面域に区分される(例えば, Ishibashi *et al.*, 2015)(第1図)。本海域では多くの火山島及び海底火山が発達することが特徴であり, トカラ列島に多く見られる海底火山は南西諸島海溝でのフィリピン海プレートの沈み込みに伴って発達する火山フロントにおける火山活動に起源があり, 鮮新世前期(4 Ma前後)と更新世中期(0.7 Ma以降)の集中的な活動により形成されたと指摘されている(横瀬ほか, 2010)。

屋久島は島の周囲を縁どるように付加体である四万十帯の日向層群(始新世から前期漸新世)が分布し, 島の大部分を1,550万年前に形成された花崗岩体が分布する(佐藤・長浜, 1979; 斎藤ほか, 2007)。屋久島の西方に位置する口永良部島は主に第四紀に噴出した全島火山岩もしくは火山性碎屑物からなる(下司・小林, 2007)。トカラ列島の口之島では第四紀の角閃石安山岩からなる。また, 宝島・小宝島・小室小島では, 中新世と推定される火山岩から構成される宝島層群が分布している(中野ほか, 2008)。

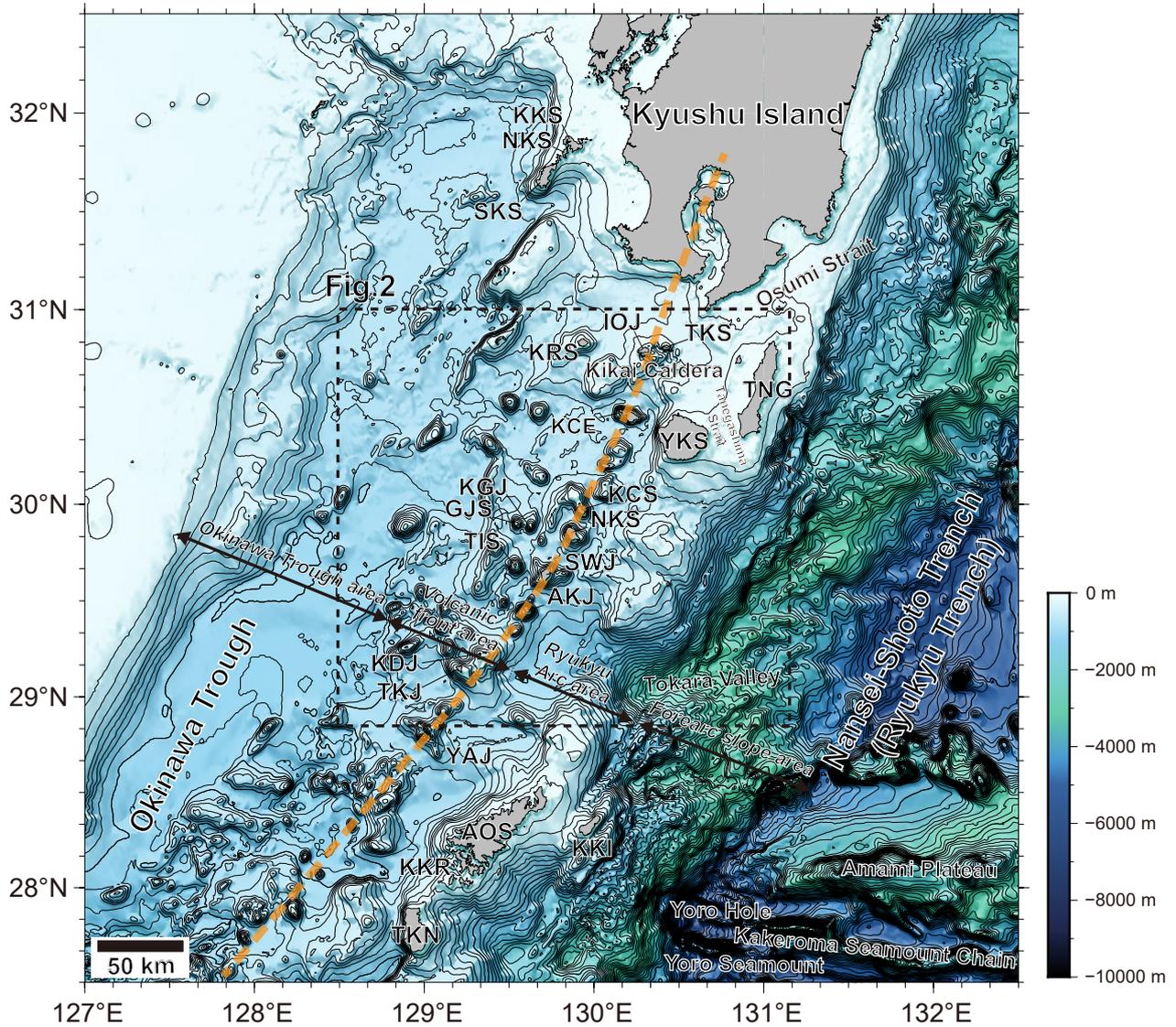
トカラ列島周辺海域の地質構造に関しては, Ishibashi *et al.* (2015), Arai *et al.* (2018), Nishizawa *et al.* (2019)及び岡田ほか(2021)が詳しい。特にArai *et al.* (2018)では, 火山フロント域において貫入構造に伴い形成されたマウンド, 及び沖繩トラフ縁辺部におけるリフティングに伴う無数の正断層や横ずれ断層系が報告されている。

4. 海底地形概要

今回の調査範囲は, 前述した地形区分のうち, 沖繩トラフ域東縁部・火山フロント域・琉球弧に相当する(第1図及び第2図)。本論では主に屋久島周辺及び屋久島以南の地域に関して記述する。なお, 本航海の調査範囲のうち, 南部の海底地形概要に関しては三澤・鈴木(2022)及び三澤ほか(2023)を参照されたい。

屋久島北方沖には, 硫黄島(薩摩硫黄島)及び竹島が位置し, これらは過去15万年前以降に十数回の巨大噴火により形成された鬼界カルデラの北縁をなしている(伊藤ほか, 2012)。硫黄島・種子島・屋久島・口永良部島に囲まれた海域には, 黒島堆などの地形的高まりが点在している(第2図A)。

屋久島西方沖には, 島嶼群からなる火山フロント域が広がり, 北から東新曾根, 藁曾根, サンゴ曾根などが位置するほか, 地形名称はついていない小規模な地形的



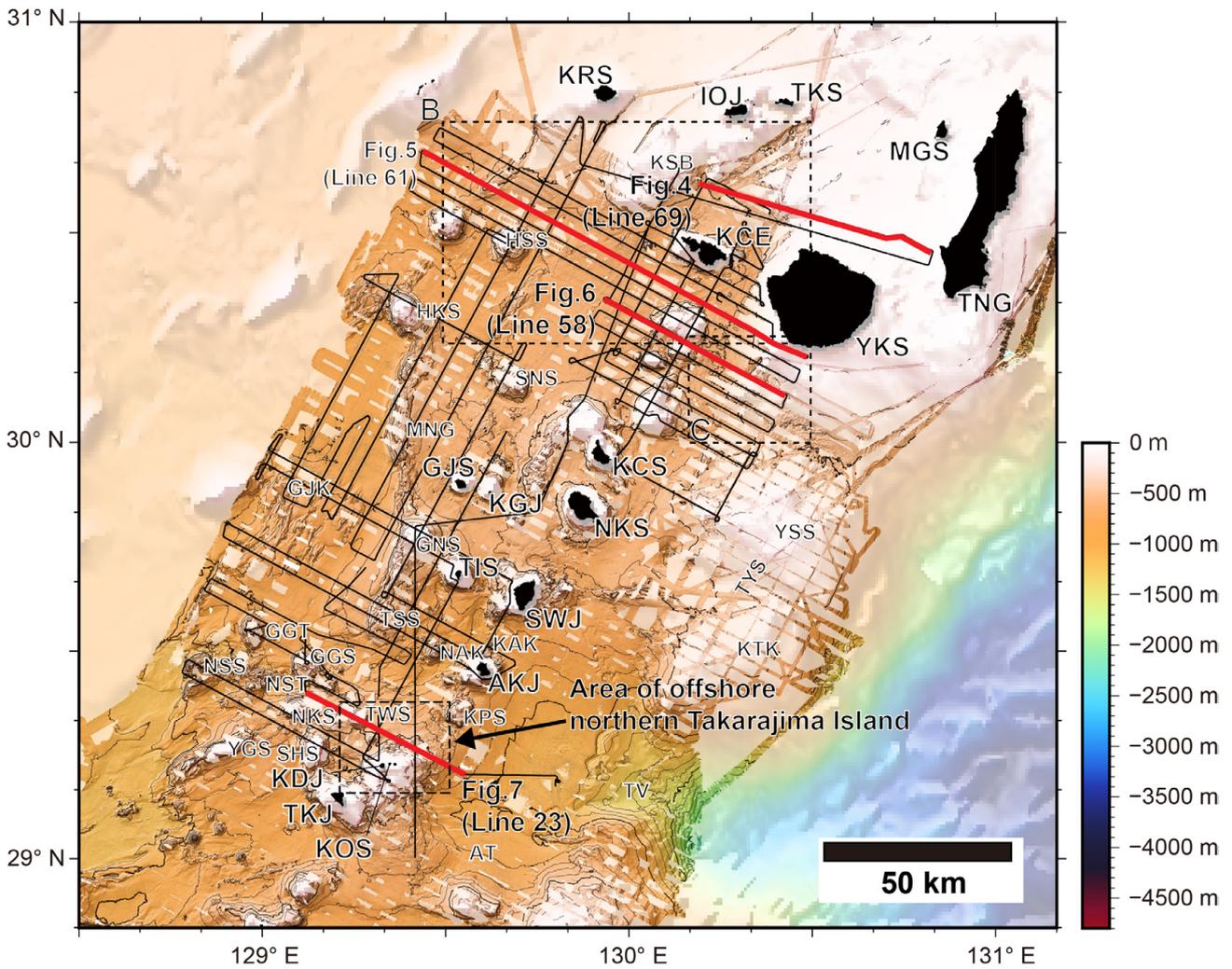
第1図 調査地域広域海底地形図。図中の等深線間隔は100 mである。オレンジ破線は火山フロントの位置を示す(例えば, Minami *et al.*, 2016; Minami *et al.*, 2021)。本海底地形図はJTOPO30グリッドデータ(一般財団法人日本水路協会海洋情報研究センター刊行)を使用した。KKS: 上甕島, NKS: 中甕島, SKS: 下甕島, KRS: 黒島, IOJ: (薩摩)硫黄島, TKS: 竹島, KCE: 口永良部島, TNG: 種子島, YKS: 屋久島, KCS: 口之島, GJS: 臥蛇島, KGJ: 小臥蛇島, NKS: 中之島, TIS: 平島, SWJ: 諏訪之瀬島, AKJ: 悪石島, KDJ: 小宝島, TKJ: 宝島, YAJ: 横当島, AOS: 奄美大島, KKI: 喜界島, KKR: 加計呂麻島, TKN: 徳之島

Fig. 1 Bathymetric map of the northern Okinawa Trough. The spacing between contour in the figure is 100 m. Dashed bold orange line indicates the position of the volcanic front (e.g. Minami *et al.*, 2016; Minami *et al.*, 2021). This seafloor bathymetric map uses JTOPO30 grid data (the Marine Information Research Center, the Japan Hydrographic Association). The abbreviations of the island bathymetric names used in the map are as follows: KKS: Kamikoshikijima Island, NKS: Nakakoshikijima Island, SKS: Shimokoshikijima Island, KRS: Kuroshima Island, IOJ: Iojima Island, TKS: Takeshima Island, KCE: Kuchino-Erabujima Island, TNG: Tanegashima Island, YKS: Yakushima Island, KCS: Kuchinoshima Island, GJS: Gajashima Island, KGJ: Kogajajima Island, NKS: Nakanoshima Island, TIS: Tairashima Island, SWJ: Suwanosejima Island, AKJ: Akusekijima Island, KDJ: Kodakarajima Island, TKJ: Takarajima Island, YAJ: Yokoatejima Island, AOS: Oshima Island, KKI: Kikaishima Island, KKR: Kakeromajima Island, TKN: Tokunoshima Island

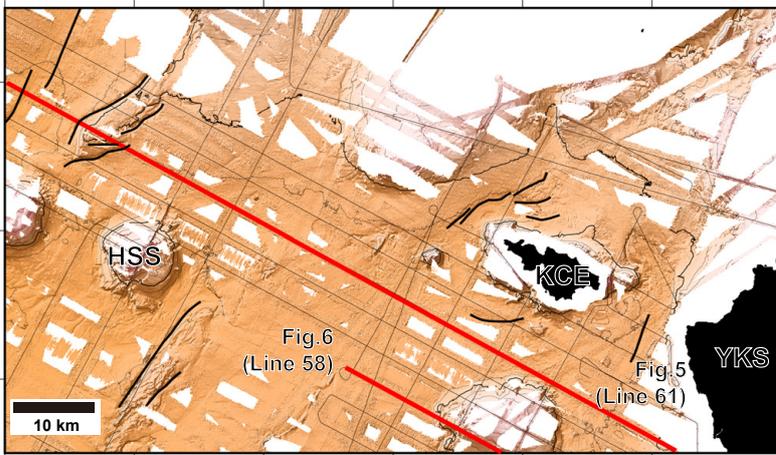
高まりなども点在する。これらの起源は海底火山や鮮新世・中新世堆積層と考えられている(第2図A)(本座ほか, 1977)。一方, 屋久島南方沖では火山フロント域と

琉球弧の一部をなす種子・屋久海脚の間に水深約500 mの平坦面が存在する。この平坦面は南へ次第に水深を増し, 悪石島南東沖で最大水深約1,000 mにおよぶ。種子・

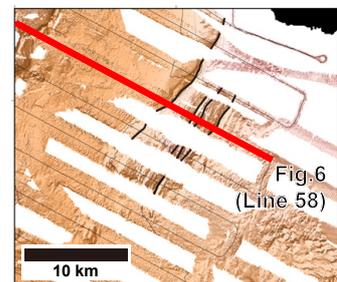
(A)



(B)



(C)



屋久海脚と呼ばれる地形的高まりは悪石島東方からトカラギャップと呼ばれる吐噶喇海底谷まで連続する(木村ほか, 1993; 松本ほか, 1996). なお, 種子・屋久海脚上には屋久新曾根及びケトウ曾根などの地形的高まりが分布する.

屋久島西方及び南方の海底地形には複数の線状構造(リニアメント)が認められる(第2図B及び第2図C). 東新曾根の北西に位置する地形的高まり部分では概ね北東-南西走向のリニアメントが地形データの取得範囲で約13 kmに渡って認められ, 北東側のデータ範囲外まで連続している可能性がある(第2図B). また, 口永良部島の北西におおよそ北東-南西走向のリニアメントが断続的に認められる(第2図B). 加えて, 屋久島南方におおよそ北北東-南南西走向のリニアメントが約15 kmに渡って認められる(第2図C). その沖側に地形の凹凸が激しい箇所が認められるが, 該当部分は水深が浅いため地形データのカバー率が低く, 詳細は不明である(第2図C).

5. SBP 探査結果

本調査では, トカラ列島を直交方向に切る西北西-東南東方向の測線を32本, トカラ列島に並行な北北東-南南西方向測線を16本, その他の測線間移動等でのデータ取得を含め合計71本の測線, 約1,855 miles (約3,435.5 km)分のデータを取得した(第2図A). 本調査では海底面下

最大約40 m程度までの地質情報を取得することができた. 2021年度の観測では海底面下の構造を最大100 m程度把握できたが(三澤ほか, 2023), 2022年度調査では発振波形を変更したことに伴い, 透過深度が減じた可能性がある.

本調査で取得したSBP断面を記載するにあたり, 三澤・鈴木(2022)及び三澤ほか(2023)と同じく層相区分に関しては池原ほか(1990)及び井上ほか(2017)に準じた. 池原ほか(1990)では海底面及び内部構造の反射パターンの組み合わせから音響的層相を8パターンに, これに井上ほか(2017)では急斜面部分に認められる海底面の反射が非常に弱いものの1パターンを加えた全9パターンの音響的層相とした. これらの音響的層相に準じてSBP断面を解釈した結果, 本調査範囲では池原ほか(1990)で区分された8つの層相のうち, 層相(Facies)1, 2, 3, 4, 7, 及び8の6パターンが認められ, その特徴について以下に示す(第3図).

層相1: 海底面での反射が強く, 内部構造は見えないものの, 海底面の起伏が激しい(第3図A).

層相2: 海底面での反射が強く, 内部構造は見えないものの, 海底面の起伏がほとんどないか平坦なもの(第3図B).

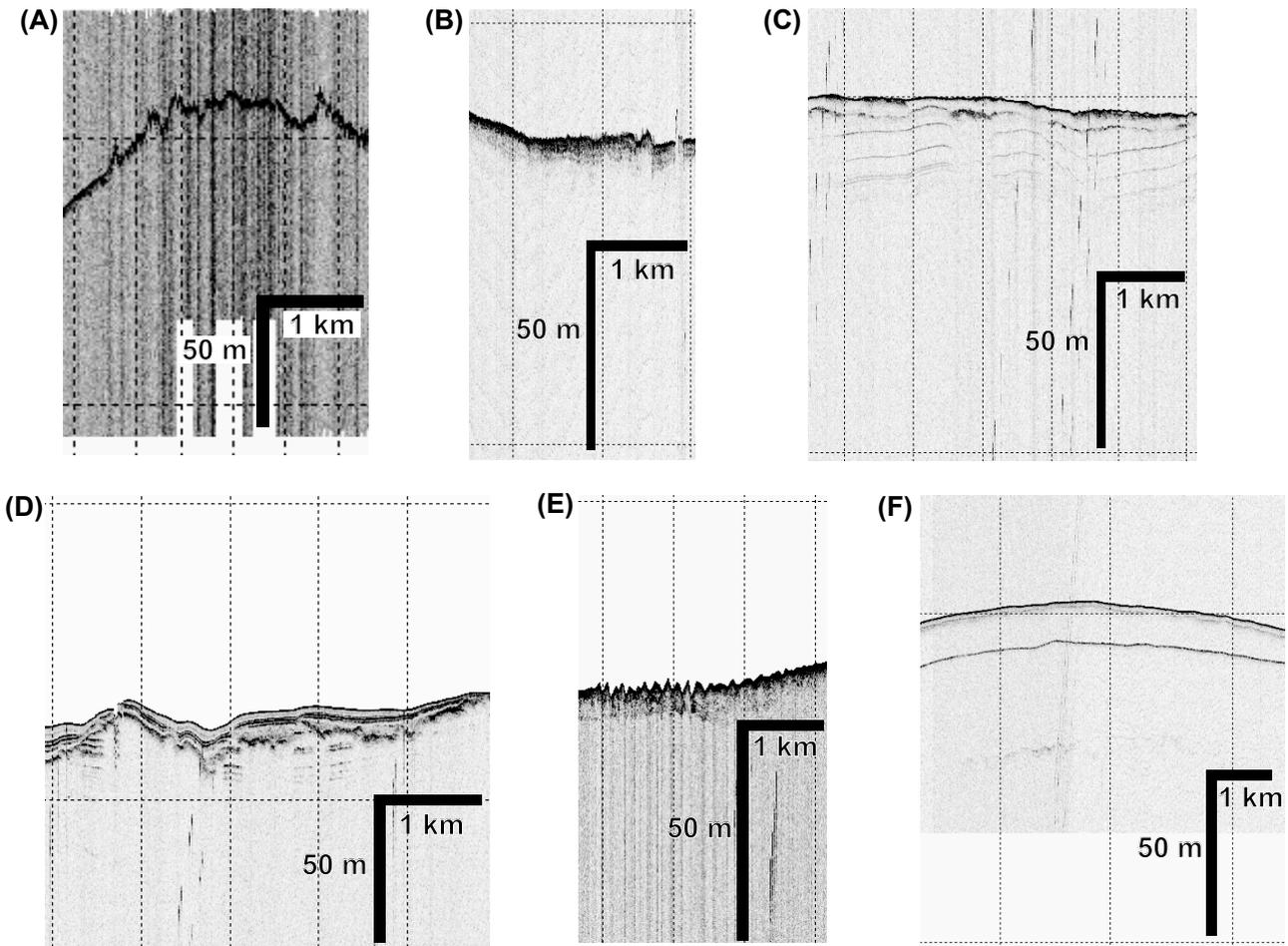
層相3: よく成層した構造を示し, 反射面の間隔が疎らなもので, 海底面は平坦なもの(第3図C).

層相4: よく成層した構造を示し, 反射面の間隔が密な

← (p. 200)

第2図 高分解能海底地形図及び探査測線図. A. 海底地形図及び調査測線. 図中の等深線間隔は500 mである. 図中の黒線が探査測線を示し, 赤線が本論中で使用した断面図の位置を示す. B. 屋久島西方海域の拡大図. C. 屋久島南方海域の拡大図. B及びC図中の黒太線はリニアメントを示す. 本海底地形図は, GK20, GB21-1, GB21-2, GB21-3, GS22, GB22-1, 及びGB22-2の各航海で取得した海底地形データを統合した150 mグリッドデータを使用した(高下ほか, 2022; 高下ほか, 2023). また, 地形図の背景にはJTOPO30グリッドデータ(一般財団法人日本水路協会海洋情報研究センター刊行)を使用した. 図中で使用した地形名称の略称は以下の通りである. KRS: 黒島, IOJ: (薩摩)硫黄島, TKS: 竹島, MGS: 馬毛島, KCE: 口永良部島, TNG: 種子島, YKS: 屋久島, KCS: 口之島, GJS: 臥蛇島, KGJ: 小臥蛇島, NKS: 中之島, TIS: 平島, SWJ: 諏訪之瀬島, AKJ: 悪石島, KOS: 小島, KDJ: 小宝島, TKJ: 宝島, KSB: 黒島堆, HSS: 東新曾根, HKS: 墓曾根, SNS: サンゴ曾根, MNG: 南墓曾根, GJK: 臥蛇海丘, YSS: 屋久新曾根, GNS: 権曾根, TYS: 種子-屋久海脚, TSS: 平島曾根, GGT: 五号曾根タコ, NAK: 西悪石海丘, KAK: 北悪石海丘, KTK: ケトウ海丘, GGS: 五号曾根, NSS: 西ノ曾根, NST: 西ノ曾根タコ, NKS: 中ノ曾根, TWS: 俵曾根, KPS: カッパ曾根, YGS: 横ガン曾根, SHS: 白浜曾根, TV: 吐噶喇海底谷, AT: 奄美トラフ.

Fig. 2 High-resolution bathymetric maps around Tokara Islands area and GS22 cruise survey lines. (A). Bathymetric map around Tokara Islands area and survey lines. The spacing between contour in the figure is 500 m. Black lines indicate SBP survey track. Red lines indicate SBP profiles in this study. (B). Close-up bathymetric map of the offshore western Yakushima Island. (C) Close-up bathymetric map of the offshore southern Yakushima Island. Black thick lines indicate the lineament in the figure (B) and (C), respectively. This seafloor bathymetric map uses 150 m grid data made by integrating the bathymetric data acquired on each of the following cruises: GK20, GB21-1, GB21-2, GB21-3, GS22, GB22-1, and GB22-2 cruises (Koge *et al.*, 2022; Koge *et al.*, 2023). JTOPO30 grid data (the Marine Information Research Center, the Japan Hydrographic Association) was used to fill the area of data gap. The abbreviations of the island and bathymetric names used in the map are as follows: KRS: Kuroshima Island, IOJ: Iojima Island, TKS: Takeshima Island, MGS: Mageshima Island, KCE: Kuchino-Erabujima Island, TNG: Tanegashima Island, YKS: Yakushima Island, KCS: Kuchinoshima Island, GJS: Gajashima Island, KGJ: Kogajajima Island, NKS: Nakanoshima Island, TIS: Tairashima Island, SWJ: Suwanosejima Island, AKJ: Akusekijima Island, KOS: Koshima Island, KDJ: Kodakarajima Island, TKJ: Takarajima Island, KSB: Kuroshima Bank, HSS: Higashi-Shin Sone, HKS: Hiki Sone, SNS: Sango Sone, MNG: Minami-Gama Sone, GJK: Gaja Knoll, YSS: Yaku-Shin-Sone, GNS: Gon Sone, TYS: Tane-Yaku Spur, TSS: Tairashima Sone, GGT: Gogosone Tako, NAK: Nishi-Akuseki Knoll, KAK: Kita-Akuseki Knoll, KTK: Keto Knoll, GGS: Gogo Sone, NSS: Nishi-no-Sone, NST: Nishinosene Tako, NKS: Naka-no-Sone, TWS: Tawara Sone, KPS: Kappa Sone, YGS: Yokogan Sone, SHS: Shirahama Sone, TV: Tokara Valley, AT: Amami Trough.



第3図 調査海域での音響的層相区分。A：層相1，B：層相2，C：層相3，D：層相4，E：層相7，F：層相8。区分は池原ほか(1990)及び井上ほか(2017)に準じた。

Fig. 3 Typical cases of each acoustic facies. A: facies 1, B: facies 2, C: facies 3, D: facies 4, E: facies 7 and F: facies 8. The acoustic facies classification is based on Ikehara *et al.* (1990) and Inoue *et al.* (2017).

もので、海底面は平坦なもの(第3図D)。

層相7：海底面あるいは反射面が小さな双曲線状を呈し、双曲線直下の内部構造は認められないことが多いが、より下位の構造がみられるもの(第3図E)。

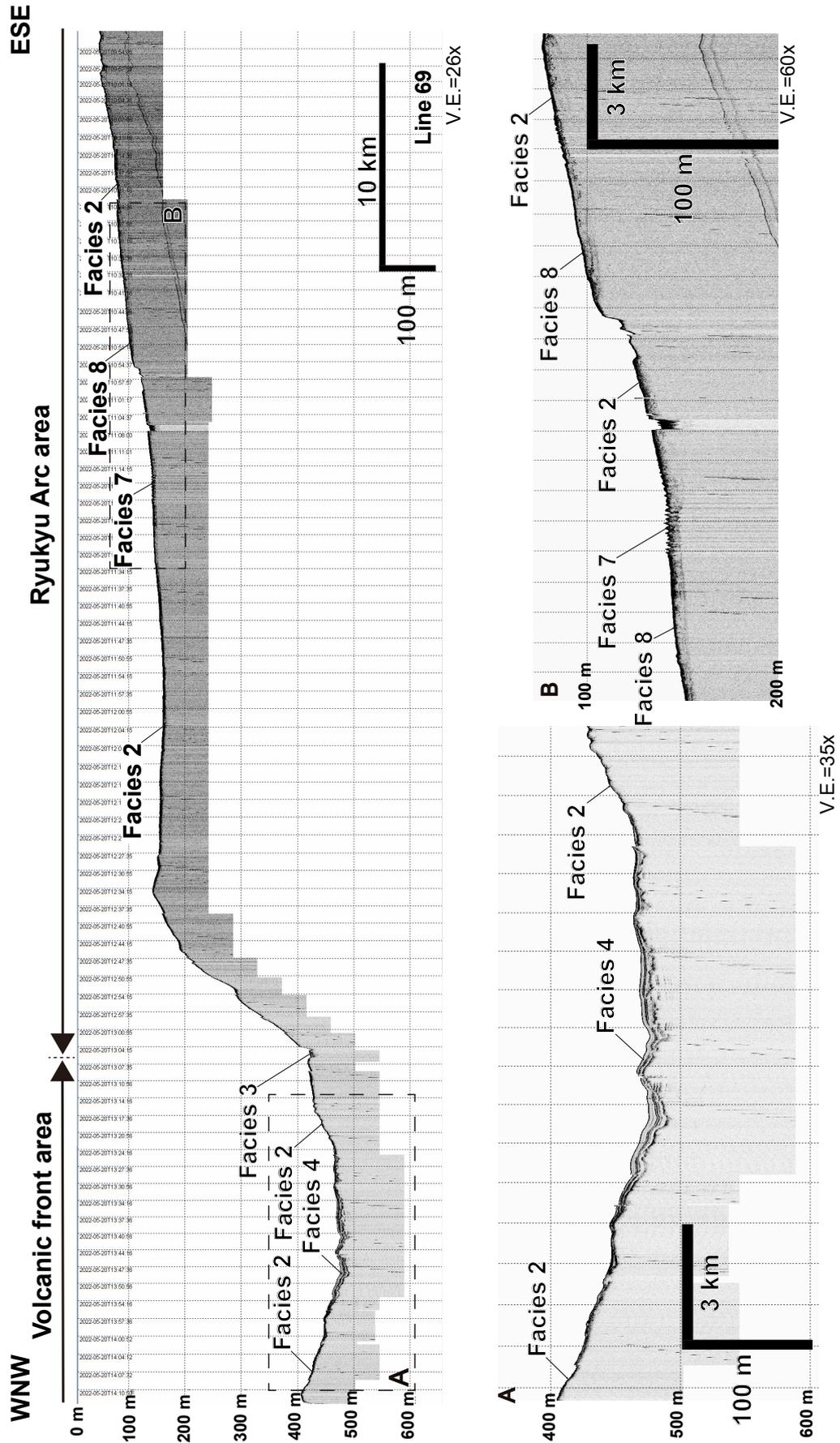
層相8：内部反射のみられない部分。その上位もしくは下位、あるいはその両方に他の層相がみられ、マウンド状・レンズ状・層状あるいは楔形の断面形態を示すもの(第3図F)。

本報告では、調査範囲を北から屋久島北方沖、屋久島西方及び南方沖、及び宝島北方沖の3区画に分けて、音響的層相の分布及び海底下浅部の地質構造にまとめる。

5.1 屋久島北方沖

屋久島北方沖では、屋久島と種子島が位置する比較的平坦で緩やかに西傾斜した陸棚が広がる。西方に向かって次第に水深を増し、口永良部島の北方で急激に水深が

深くなり、水深約500 mの平坦面を示す(第2図A及び第4図)。測線69は測線群のうち一番北側に位置する測線で、屋久島北方沖の水深500 m程度の平坦面と陸棚を通る(第4図)。平坦面では、広く層相2が認められるが、部分的に層厚最大20 m程度の層相4を示す堆積層が認められる(第4図A)。この堆積層の内部反射面は概ね水平であるが、部分的に緩やかに東傾斜を示す。測線東側にあたる屋久島の陸棚部分では主に層相2が認められるが、部分的に層相7及び層相8が認められる(第4図B)。特に、層相7が認められる箇所では、海底地形に波長が数百m程度、振幅が数m程度のサンドウエーブと考えられる堆積構造が認められる。この構造は屋久島北東方で確認される砂漣(池原, 2014)と同様に底層流によって形成されたものと考えられる。この堆積構造が認められる陸棚域では、海底面及び海底表層部での反射強度が大きく、信号が深部まで達していないため、内部構造は不明である。



第4図 測線69のSBP断面図と各エリアの拡大断面図。探査測線の位置は、第2図に示す。SBP断面中にみられる上方から下方へ続く断続的な信号はMBESとの干渉ノイズである。

Fig. 4 SBP profile of Line 69 and close-up profiles. The location of the SBP profile is shown in Figure 2. The intermittent signals moving from top to bottom during the SBP profile are interference noise with MBES.

なお、堆積層の不連続部分、つまり断層などの構造は認められない。ただし、第4図Bで示した平坦面の堆積層の一部が緩やかに東傾斜を示すため、測線西端部付近での構造運動を引き起こす断層が存在する可能性が示唆される。

5.2 屋久島西方及び南方沖

屋久島西方沖の火山フロント域では、部分的に地形的高まりが分布するが概ね水深600 m～750 m程度の平坦面を示す。屋久島南方沖の火山フロント域から琉球弧の部分では、水深600 m前後の平坦面が認められる。琉球弧の一部として種子・屋久海脚が分布し、水深150 mから250 m程度で小規模な凹凸を持った地形が部分的に認められる(第2図A及び第5図)。

屋久島西方沖及び屋久島南方沖の火山フロント域から琉球弧・種子-屋久海脚に至る地域に存在する平坦面では主に層相2が認められるが、部分的に層相3及び層相8が認められる(第5図及び第6図)。屋久島西方沖で測線群西部に位置する平坦部では層相8が認められる(第5図A及び第6図A)。

屋久島南方沖の水深600 m前後の平坦面では、概ね層相2が認められ、堆積層の内部構造が音波の透過が悪く不鮮明な箇所が多い(第5図及び第6図)。部分的に層相3が認められるが、堆積層内部の反射強度は非常に弱かった(第5図B及び第6図B)。加えて、種子-屋久海脚では部分的に層相1が認められるものの、主に層相2が認められる(第6図C)。

屋久島西方及び南方沖におけるリニアメントは諏訪之瀬島などが位置する調査海域の南部に比べて発達していない傾向にある(第5図及び第6図)。屋久島南方の火山フロント域-琉球弧間の平坦面には南北走向のリニアメントが認められ、リニアメントに沿って凹地状の谷地形が認められる(第2図B)。測線58(第6図B)では、リニアメント部分に明瞭な不連続は認められなかった。リニアメント西側では堆積層が海底面を含めて上向き凸に変形した背斜構造を示すことから活構造であることが示唆され、かつ堆積層を変形させる逆断層が背斜構造の南東側に伏在する可能性が示唆される(第6図B)。また、陸棚上で認められた凹凸地形を示す箇所では、断層は認められなかった(第6図C)。

5.3 宝島北方域

宝島・小宝島などが位置する地形的高まりの北側斜面及び俵曾根の北側斜面を通る測線23は、2021年12月9日に発生したM6.1の地震を含む群発地震の震源域の近傍を通る測線である(第7図)。俵曾根の北西側にも水深約550 mの平坦面が認められ、主に層相2が認められるが、斜面途中の平坦部などに層相3が認められる(第7図A)。また、宝島の北側斜面域と俵曾根の間に水深約

540 mの平坦面が認められる。この平坦面では主に層相2が認められるが、部分的に層相3も認められる(第7図B)。測線の北側に北東-南西走向のリニアメントが確認できる箇所もあるが、SBP断面から明瞭な断層、変形構造、及び貫入構造などは確認できなかった。本海域における群発地震の原因を解明するためには、震源域周辺より詳細な海底下浅部構造及び海底地形を把握する必要がある。

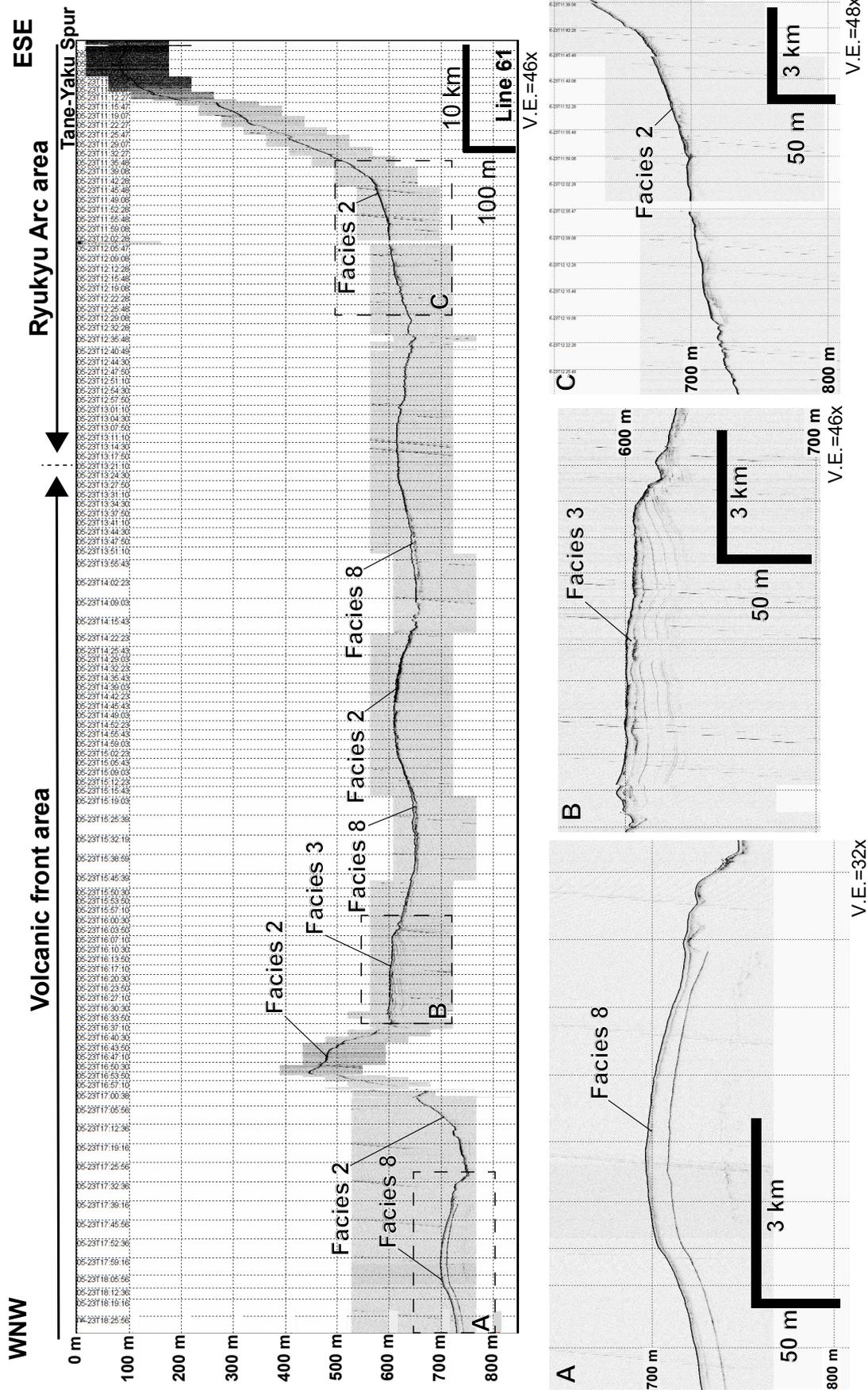
6 まとめ

神鷹丸で実施したGS22航海では、トカラ列島周辺海域及び屋久島・口永良部島周辺にて航走観測を行い、沖縄トラフ域・火山フロント域・琉球弧などの海底面下浅部に関する地質情報を取得した。今回の調査を行った火山フロント域には広く平坦面が存在し、南部に比べ海底火山に起源をもつ地形的高まりやリニアメントなどが少ない。この地域の海底下浅部の構造は部分的に成層構造が認められるが、概ね音波の透過が悪く不鮮明であった。屋久島南方域では、火山フロント域と琉球弧の一部である種子・屋久海脚の間の平坦面に部分的に成層した堆積層が認められた。この地域の地質構造としては、海底面まで変形した背斜構造が認められ、活構造である可能性が示唆された。また、群発地震が頻発している宝島北方域を通るSBP断面からは、断層や海底面の変形などは認められなかった。

謝辞：本調査を行うにあたり、練習船神鷹丸の宮崎唯史船長をはじめとする乗組員の皆様、乗船して頂いた東京海洋大学の酒井久治博士、及び観測補助をして頂いた東京海洋大学の学生及び大学院生の皆様、東京海洋大学の関係者の皆様には大変お世話になりました。また、査読者からは本原稿の改訂にあたり、有益なコメントを頂きました。記して厚く御礼申し上げます。

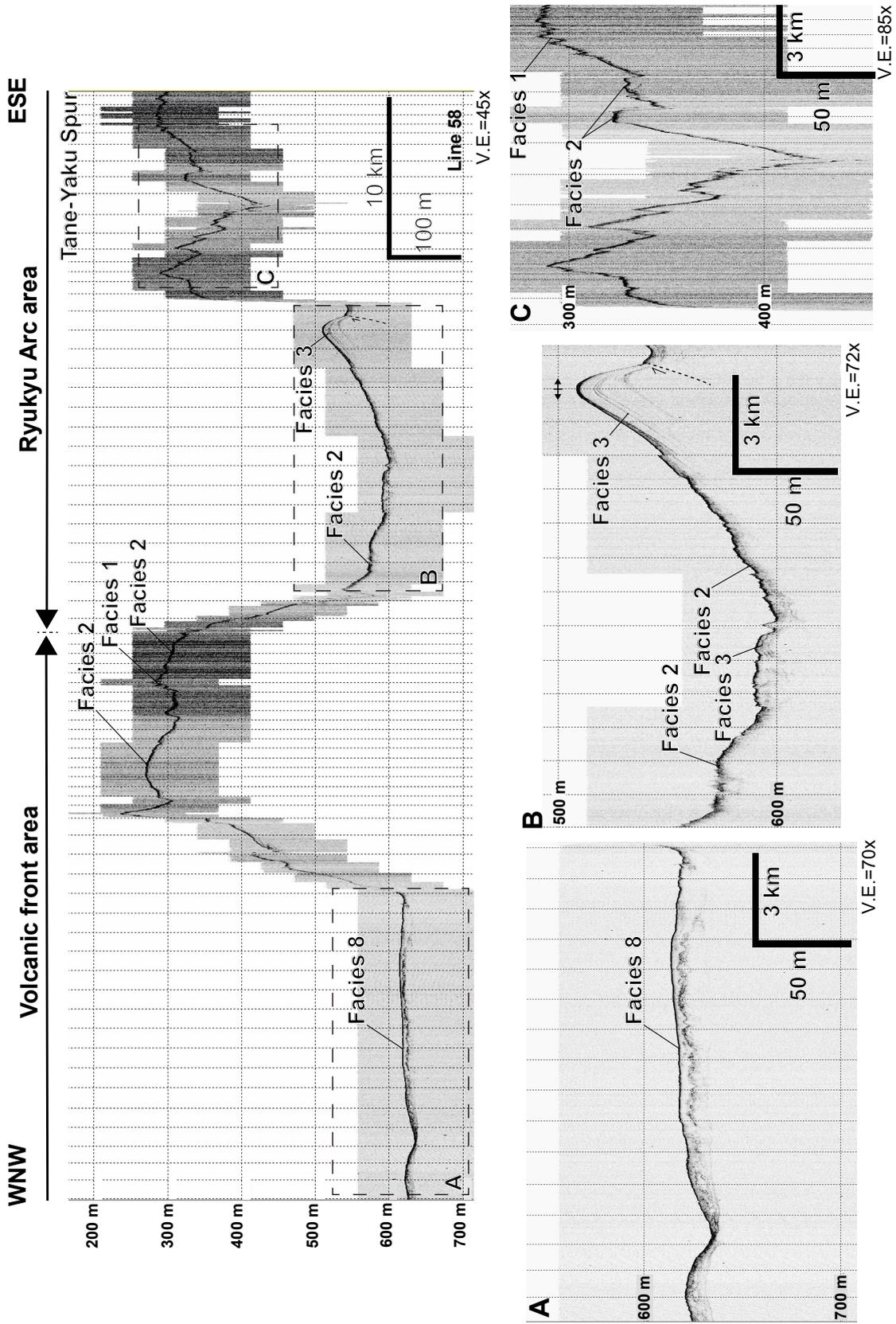
文献

- Arai, R., Kodaira, S., Takahashi, T., Miura, S. and Kaneda, Y. (2018) Seismic evidence for arc segmentation, active magmatic intrusions and syn-rift fault system in the northern Ryukyu volcanic arc. *Earth, Planets and Space*, **70**, 1–15.
- 下司信夫・石塚 治(2007)琉球弧の火山活動. 地質ニュース, no. 634, 6–9.
- 下司信夫・小林哲夫(2007)口永良部島火山地質図. 火山地質図, no. 14, 産総研地質調査総合センター, 1–11.
- 本座栄一・宮崎光旗・玉木賢策・村上文敏・石原丈実・小野寺公児・有田正史・奥田義久・湯浅真人・玉木賢策・井内美郎(1977)琉球島弧周辺広域海底地質図. 海洋地質図, no. 7, 地質調査所.
- 池原 研・佐藤幹夫・山本博文(1990)高分解能音波探



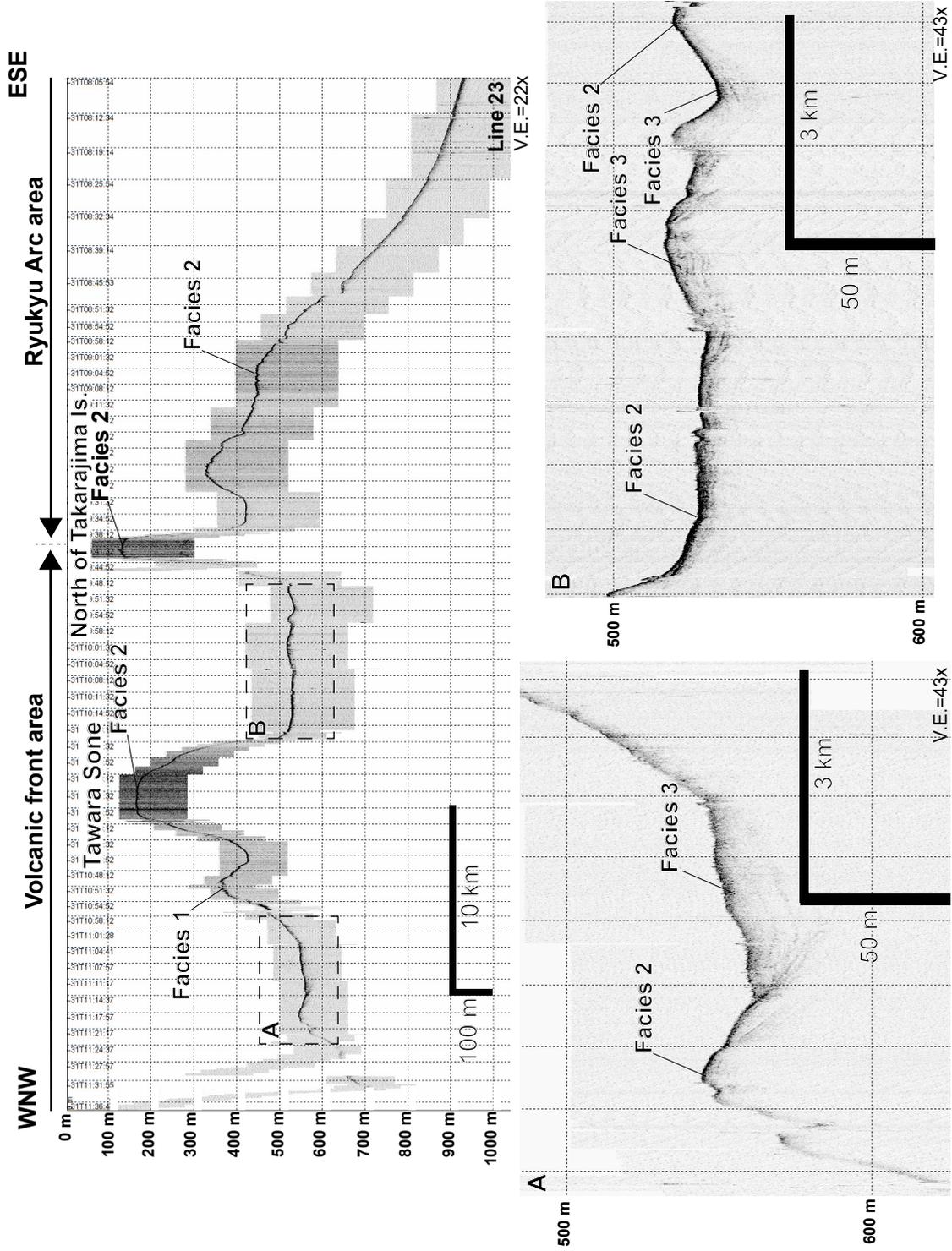
第5図 測線61のSBP断面図と各エリアの拡大断面図。探査測線の位置は、第2図に示す。SBP断面中にみられる上方から下方へ続く断続的な信号はMBESとの干渉ノイズである。

Fig. 5 SBP profile of Line 61 and close-up profiles. The location of the SBP profile is shown in Figure 2. The intermittent signals moving from top to bottom during the SBP profile are interference noise with MBES.



第6図 測線58のSBP断面図と各エリアの拡大断面図。 探査測線の位置は、第2図に示す。 SBP断面中にみられる上方から下方へ続く断続的な信号はMBESとの干渉ノイズである。

Fig. 6 SBP profile of Line 58 and close-up profile. The location of the SBP profile is shown in Figure 2. The intermittent signals moving from top to bottom during the SBP profile are interference noise with MBES.



第7図 測線23のSBP断面図と各エリアの拡大断面図。探査測線の位置は、第2図に示す。SBP断面中にみられる上方から下方へ続く断続的な信号はMBESとの干渉ノイズである。

Fig. 7 SBP profile of Line 23 and close-up profile. The location of the SBP profile is shown in Figure 2. The intermittent signals moving from top to bottom during the SBP profile are interference noise with MBES.

- 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.
- 池原 研 (2014) 種子島付近表層堆積図及び説明書. 海洋地質図, no. 84 (CD), 産総研地質調査総合センター.
- 井上卓彦・三澤文慶・荒井晃作 (2017) GH16航海における宮古島周辺海域のSBP記録概要. 板木拓也 (編) 「沖縄周辺海域の海洋地質学的研究」平成28年度研究概要報告書—宮古島周辺海域—, 地質調査総合センター速報, no. 72, 34–46.
- 伊藤弘志・堀内大嗣・柴田 厚・鈴木 晃・小山 薫 (2012) 日本周辺海域火山通覧 (第4版). 海洋情報部研究報告, **48**, 41–73.
- Ishibashi, J. I., Ikegami, F., Tsuji, T. and Urabe, T. (2015) Hydrothermal activity in the Okinawa Trough backarc basin: Geological background and hydrothermal mineralization. In: J. Ishibashi, K. Okino and M. Sunamura (eds.) *Subseafloor biosphere linked to hydrothermal systems*, Springer, 337–359. doi:10.1007/978-4-431-54865-2_27
- 木村政昭・松本 剛・中村俊夫・西田史朗・小野朋典・青木美澄 (1993) トカラ海峡の潜水調査: 沖縄トラフ北部東縁のテクトニクス. しんかいシンポジウム報告書, no. 9, 283–307.
- 高下裕章・佐藤太一・横山由香・佐藤悠介・三澤文慶 (2022) GB21-1及びGK20航海 (トカラ列島周辺海域) における海底地形観測. 地質調査研究報告, **73**, 197–209.
- 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海底地形観測の概要. 地質調査研究報告, **74**, 193–202.
- 小西健二 (1965) 琉球列島 (南西諸島) の構造区分. 地質学雑誌, **71**, 437–457.
- 松本 剛・木村政昭・仲村明子・青木美澄 (1996) 琉球弧のトカラギャップおよびケラマギャップにおける精密地形形態. 地学雑誌, **105**, 286–296.
- Minami, H. and Ohara, Y. (2016) Detailed morphology and bubble plumes of Daiichi-Amami Knoll in the central Ryukyu Arc. *Marine Geology*, **373**, 55–63.
- Minami, H., Ohara, Y. and Tendo, H. (2021) Volcanic and tectonic features of Shirahama Bank in the northern Ryukyu Arc: Implications for cross-arc volcanism controlled by arc-parallel extension. *Marine Geology*, 106623.
- 三澤文慶・鈴木克明 (2022) GK20航海での高分解能サブボトムプロファイラー探査に基づくトカラ列島周辺海域の海底下浅部構造. 地質調査研究報告, **73**, 235–248.
- 三澤文慶・古山精史朗・高下裕章・鈴木克明 (2023) GS21航海での高分解能サブボトムプロファイラー探査に基づくトカラ列島周辺海域の海底下浅部構造. 地質調査研究報告, **74**, 231–243.
- 中野 俊・下司信夫・小林哲夫・斎藤 眞・駒澤正夫・大熊茂雄 (2008) 20万分の1地質図幅「中之島及び宝島」. 産総研地質調査総合センター, 1 sheet.
- Nishizawa, A., Kaneda, K., Oikawa, M., Horiuchi, D., Fujioka, Y. and Okada, C. (2019) Seismic structure of rifting in the Okinawa Trough, an active backarc basin of the Ryukyu (Nansei-Shoto) Island Arc–Trench system. *Earth, Planets and Space*, **71**, 1–26.
- 岡田千明・金田謙太郎・及川光弘・堀内大嗣・藤岡ゆかり・齋藤 京 (2021) 海上保安庁が南西諸島海域で実施してきた網羅的な地殻構造調査. 海洋情報部研究報告, **59**, 64–81.
- 斎藤 眞・小笠原正継・長森英明・下司信夫・駒澤正夫 (2007) 20万分の1地質図幅「屋久島」. 産総研地質調査総合センター, 1 sheet.
- 佐藤岱生・長浜春夫 (1979) 屋久島西南部地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 47p.
- Seno, T., Stein, S. and Gripp, A.E. (1993) A model for the motion of the Philippine Sea plate consistent with NUVEL-1 and geological data. *Journal of Geophysical Research*, **98**, 17941–17948.
- 横瀬久芳・佐藤 創・藤本悠太・Mirabueno, Maira Hanna T.・小林哲夫・秋元和實・吉村 浩・森井康宏・山脇信博・石井輝秋・本座栄一 (2010) トカラ列島における中期更新世の酸性海底火山活動. 地学雑誌, **119**, 46–68.

(受付: 2024年1月19日; 受理: 2024年12月18日)

GB22-1, GB22-2 及び KH23-1 航海においてトカラ列島周辺海域で採取された堆積岩の石灰質微化石に基づく堆積年代

有元 純^{1,*}・田中 裕一郎²

ARIMOTO Jun and TANAKA Yuichiro (2024) Depositional ages of sedimentary rocks obtained from the sea floor around the Tokara Islands during GB22-1, GB22-2 and KH23-1 cruises, based on calcareous microfossil assemblages. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 75 (5/6), p. 209–222, 1 fig and 3 tables.

Abstract: Calcareous nannofossil and planktic foraminiferal assemblages were examined to determine the depositional ages of sedimentary rocks obtained during cruises GB22-1, GB22-2 and KH23-1 around the Tokara Islands, northern Ryukyu Arc. The depositional ages of index microfossil-bearing samples are generally well correlated to the standard biozones of the Pliocene and Quaternary: biozones CN10–CN15 for the calcareous nannofossils and biozones PL5–PT1 for the planktic foraminifera. Samples belonging to biozones CN10c–CN13a are from a unit equivalent to the middle–upper part of the Shimajiri Group. Volcaniclastic samples assigned to biozone CN14 indicate that the Pleistocene was a time of intense volcanism in the study area. In addition, the spatial distribution of sedimentary units corresponding to biozones CN14b–CN15 provides essential information to reconstruct the late Quaternary tectonics of the northern Ryukyu Arc.

Keywords: Biostratigraphy, Biochronology, Quaternary, Pliocene, calcareous nannofossil, planktic foraminifera, Tokara Islands, Ryukyu Arc

要 旨

トカラ列島周辺海域で実施されたGB22-1, GB22-2 及びKH23-1航海において得られた堆積岩について、年代決定に有効な石灰質微化石(石灰質ナノ化石・浮遊性有孔虫)の検討を行った。示準化石の産出が認められた試料は、全体として下部鮮新統以上の国際標準化石帯(CN10–CN15帯/PL5–PT1帯)に対比される。石灰質ナノ化石CN10c–CN13a亜帯の試料群は、琉球弧に広く分布する島尻層群中–上部相当の地質体に由来すると考えられる。CN14帯に対比される試料群は、更新世における活発な火山活動を背景とした地質体形成を示唆する。またCN14b–CN15帯に属する地質体の調査海域における分布は、後期第四紀地質構造発達史の解明のために重要な地質情報を提供する。

1. はじめに

産業技術総合研究所(以下、産総研)では、2020年度から北部琉球弧に位置するトカラ列島周辺海域におい

て、海洋地質図作成のため調査を実施してきた(井上ほか, 2022, 2023)。2020–2021年度の調査でドレッジャーやグラブ採泥器により採取された堆積岩試料については、これまでに石灰質微化石の検討が行われてきた(有元・宇都宮, 2022)。その結果、年代示準となる石灰質ナノ化石及び浮遊性有孔虫化石の産出に基づいて、前期更新世カラブリアン紀以降の堆積年代が示唆された。このように海域に分布する地質体の形成年代を明らかにすることは、稠密な構造探査に基づく地質構造の解明と併せて、調査地域における後期新生代の地史を探るうえで重要である。本概報では、2022年度に実施された調査航海において得られた、トカラ列島周辺の海底に分布する堆積岩に含まれる石灰質微化石群集を検討し、その堆積年代について考察する。

2. 試料と方法

2.1 試料

2022年度にはトカラ列島周辺海域において海洋地質図作成を目的とする産総研調査航海が実施されたが、こ

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 産業技術総合研究所 地質調査総合センター (AIST, Geological Survey of Japan)

* Corresponding author: ARIMOTO, J., AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: j-arimoto@aist.go.jp

のうち東海大学の海洋調査研修船「望星丸」を用いて行われた2航海(GB22-1及びGB22-2)では海底サンプリングが実施された。また、北部沖縄トラフの火山活動史と構造発達過程を解明することを目的として、学術研究船「白鳳丸」を用いた東京大学大気海洋研究所共同利用航海KH23-1がトカラ列島南部海域で実施された。本研究では、これら合計3航海にわたり12地点から得られた、計36試料の堆積岩について検討を行った(第1図, 第1表)。なお産総研実施の2航海については、ドレッジとグラブ採泥の概要が石野ほか(2024)及び鈴木ほか(2024)によりそれぞれ報告されている。ドレッジにより得られた岩石試料の概要は石野ほか(2024)により報告されているが、本研究で石灰質微化石の検討用に分取した試料については改めて岩相の観察と再記載を行った。以下、採取地点ごとに検討試料の概要について記述する。

2.1.1 GB22-1航海：地点D07及びD08

2022年7月に実施されたGB22-1航海では、調査海域東部に北東-南西方向の地形的高まりをなす種子・屋久海脚の西側斜面において、中之島東方のD07地点及び諏訪之瀬島東方のD08地点の計2地点でドレッジが実施された(第1図)。

D07地点は種子・屋久海脚北部の屋久新曾根北西に位置し、海脚の西縁をなす急斜面部を西から東に削り取るようにドレッジが実施された(石野ほか, 2024)。ドレッジャー着底時及び離底時の水深はそれぞれ492 m, 359 mであり、合計約13 kgの角礫、垂角礫、垂円礫状岩石試料が得られた。このうち代表的な8試料(D07-R01G, -R01M, -R03, -R05, -R07, -R11, -R13, -R14)を微化石検討用に選定した(第1表)。D07-R01及びD07-R03試料は、褐色の細礫-中礫サイズ火山岩角礫を豊富に含む、基質支持の火山礫凝灰岩である。基質には翼足類や有孔虫化石を含む。D07-R01試料には、表面を薄くマンガン被覆された同質の円礫が含まれており、母岩をD07-R01M, 同質礫をD07-R01Gとしてそれぞれ検討した。D07-R05試料は灰白色を呈するよく固結したガラス質細粒凝灰岩であり、D07-R13及びD07-R14試料もこれに類似するがより石灰質である。D07-R07試料は暗灰色の凝灰質砂岩であり、生物擾乱が顕著である一方、砂サイズの生物源粒子をほとんど含まない。D07-R11試料は珪質碎屑物粒子と浮遊性有孔虫に富む石灰岩であり、基質はよく膠結しているが全体として多孔質である。

D08地点は種子・屋久海脚南部のケトウ曾根北西に位置し、東西に伸びる急崖部を北から南に削り取るようにドレッジが実施された(石野ほか, 2024)。ドレッジャー着底時及び離底時の水深はそれぞれ554 m, 428 mであり、合計約53 kgの角礫あるいは垂角礫状岩石試料が得られた。このうち6試料(D08-R04 (rock), -R04 (vein), -R08, -R11, -R13, -R14)を微化石検討用に選定した(第

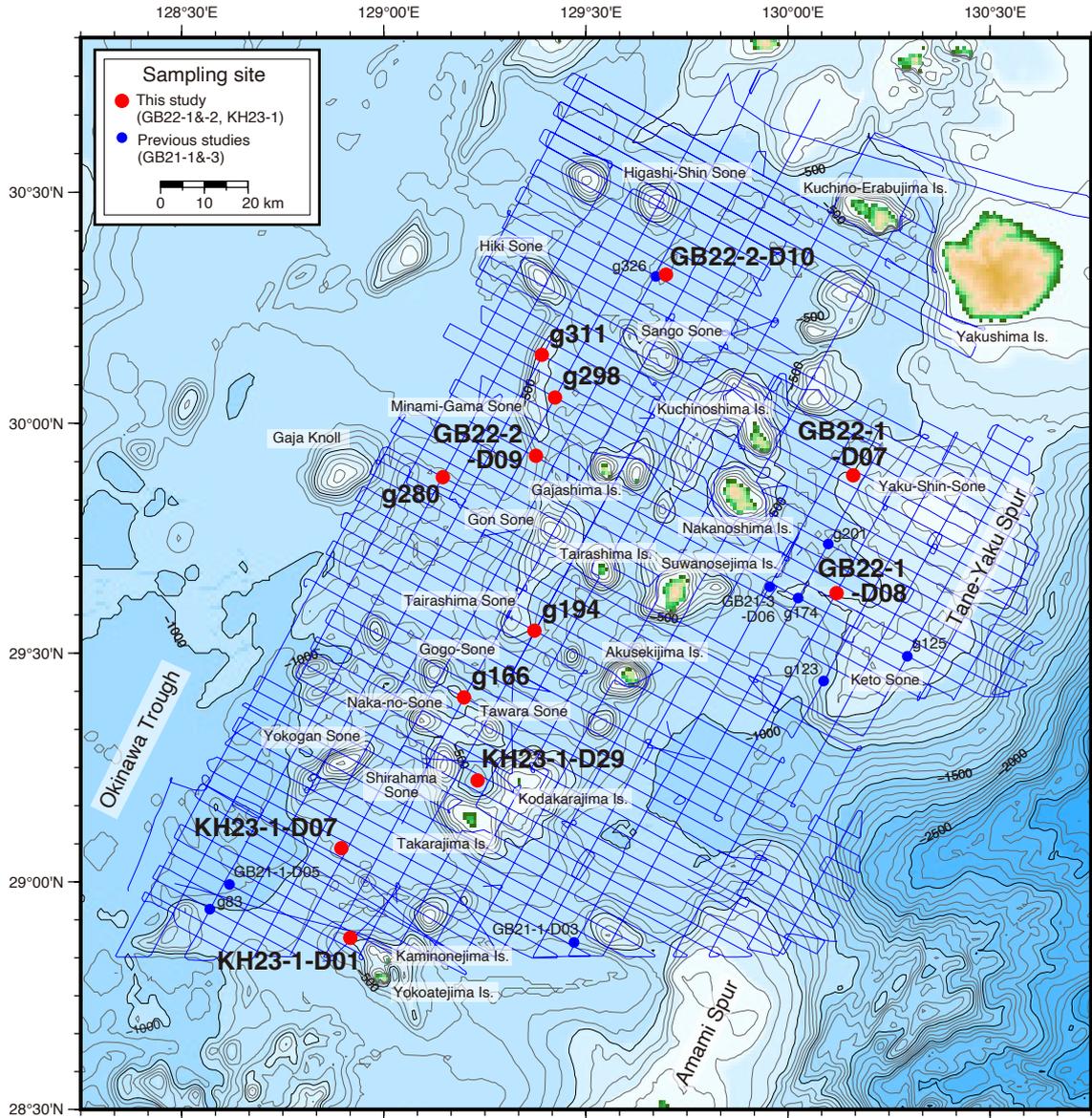
1表)。D08-R04試料は斜交葉理が発達する淘汰の良い細粒砂岩であり、よく固結している。本試料には^{れつが}れつがを充填する白色鈹物脈や暗紫色の石灰質泥岩脈が顕著に発達しており、実体顕微鏡下での観察により後者には石灰質生物遺骸片が認められた。このことから、D08-R04試料の砂岩部分と石灰質泥岩脈部分をそれぞれD08-R04 (rock)とD08-R04 (vein)として別個に検討した。D08-R08試料は中礫サイズの角礫-円礫を含む、よく固結した基質支持の礫岩である。D08-R11は軟体動物やサンゴなどの石灰質生物遺骸や砂岩・泥岩の角礫を含む石灰岩である。基質は非常に細粒であり、空隙はほとんどなく、全体としてよく固結している。D08-R13およびD08-R14はそれぞれ細粒の砂岩及び泥質砂岩であり、リップル様の斜交葉理が認められる。

2.1.2 GB22-2航海：地点D09, D10, g166, g194, g280, g298及びg311

2022年11月に実施されたGB22-2航海では、調査海域中央の北東から南西にかけて口永良部島から口之島-悪石島を経て横当島に至る火山フロント(下司・石塚, 2007)の西方(背弧側)に位置する、D09及びD10の計2地点でドレッジが実施された(第1図)。

D09地点は^{がじゃしま}がじゃ島の西方約15 km、^{みなみがま}みなみがまと^{こん}権曾根の間に位置しており、西方に傾斜する急崖部を西から東に削り取るようにドレッジが実施された(石野ほか, 2024)。ドレッジャー着底時及び離底時の水深はそれぞれ780 m, 595 mであり、合計約96.8 kgの垂角礫、垂円礫及び円礫状岩石試料が得られた。このうち代表的な6試料(D09-R03, -R05, -R09, -R11, -R14, -R16)を微化石検討用に選定した(第1表)。D09-R03及びD09-R05試料は半固結の凝灰質砂岩であり、新鮮部は灰緑色を呈する。粒径は極細粒から中粒で淘汰が悪く、変質した軽石の細礫や細粒な火山ガラスなど火山噴出物を含む一方、生物源粒子はほとんど含まない。D09-R09, D09-R14及びD09-R16試料はマンガンに被覆され、よく固結した砂岩である。D09-R11試料は非常に淘汰の良い青灰色の泥岩であり、波状の葉理が発達するほか生痕も認められる。

D10地点は口之島北北西約40 km、東新曾根とサンゴ曾根の間に位置し、急崖部となっている東側斜面を東から西に削り取るようにドレッジが実施された(石野ほか, 2024)。ドレッジャー着底時及び離底時の水深はそれぞれ603 m, 600 mであり、合計約31 kgの垂角礫、垂円礫及び円礫状岩石試料が得られた。このうち代表的な4試料(D10-R03, -R08, -R09, -R10)を微化石検討用に選定した(第1表)。D10-R03試料は青灰色を呈する塊状半固結の泥岩である。D10-R08試料は弱く固結した軽石質の粗粒凝灰岩であり、石英等の鈹物粒子や火山ガラスを多量に含むほか、わずかに放散虫が認められる。D10-R08及びD10-R09試料は固結した灰白色のガラス質



第1図 試料採取地点図。青の実線は2020–2022年度航走観測時の航跡を示す。地形図は岸本(2000)に従う。

Fig. 1 Sample locality map for this study shown together with ship tracklines (blue) for geophysical surveys during 2020–2022 FY. The topographic map is based on Kishimoto (2000).

細粒凝灰岩であり、有孔虫の炭酸塩殻が溶脱した痕がまばらに認められる。

ドレッジ試料に加えて、木下式グラブ採泥器(以下K-グラブと呼称)を用いて採取された、5地点の半固結あるいは固結堆積岩試料(g166, g194, g280, g298及びg311)について微化石の検討を行った(第1図, 第1表)。なお鈴木ほか(2024)では、K-グラブに取り付けた測器により取得された海底写真・映像や回収された堆積物をもとに、これらの地点の主たる底質を区分している。以下、グラブ採泥点の水深や海底の状況に関する記述は鈴木ほか(2024)に従う。

地点g166は宝島北方約30 kmに位置し、周囲を五号曾根、中ノ曾根及び俵曾根に囲まれた水深532 mの露岩域である。g166試料は石灰質生砕物を多く含むよく固結した黄褐色の石灰岩角礫である。地点g194は悪石島北西方約20 km、平島曾根の東側斜面に位置する水深669 mの露岩域である。g194試料は黄土色を呈する淘汰の悪い半固結の凝灰質砂岩垂角礫であり、砂サイズ粒子として鉱物結晶や有孔虫を顕著に含み、また基質は未変質あるいは変質した火山ガラスを主体とする。地点g280は臥蛇島西方約35 km、臥蛇海丘と権曾根の間に位置する水深757 mの露岩域である。本地点ではマンガン被覆され、

第1表 検討試料のリスト。試料採取位置の座標及び水深は石野ほか(2024)及び鈴木ほか(2024)に従う。ドレッジにより得られた試料の座標と水深は、ドレッジャー着底時のものである。また岩相の簡易的な記載も合わせて示す(詳細は本文2.1章を参照)。各試料の微化石産出状況について、浮遊性有孔虫(PF)及び石灰質ナノ化石(CN)の産出/非産出を定性的に検討したものをx, PFについてはさらに定量的検討を行ったものをxxで示す。

Table 1 List of examined samples. Coordinates and water depths are from Ishino *et al.* (2024) and Suzuki *et al.* (2024). The location and water depth for dredged samples are those when the dredger apparatus set on-bottom. Simplified lithology are also noted. Regarding the occurrence of calcareous nannofossil (CN) and planktic foraminifera (PF), "CN" and "PF" columns indicate whether each sample was examined qualitatively (=only presence/absence) or quantitatively, by symbols "x" or "xx", respectively.

Type	Cruise	Sample ID	Latitude	Longitude	Water depth (m)	Lithology	CN	PF	Remarks
Dredge	GB22-1	D07-R01G	29° 53.2248' N	130° 9.7056' E	492	Lapilli tuff	x	xx	
Dredge	GB22-1	D07-R01M				Lapilli tuff	x	xx	
Dredge	GB22-1	D07-R03				Lapilli tuff	x	x	
Dredge	GB22-1	D07-R05				Fine tuff	x	x	CN barren.
Dredge	GB22-1	D07-R07				Tuffaceous sandstone	x	x	
Dredge	GB22-1	D07-R11				Foraminiferal sandy limestone	x	x	CN barren.
Dredge	GB22-1	D07-R13				Tuffaceous calcareous sandstone	x		
Dredge	GB22-1	D07-R14				Tuffaceous calcareous sandstone	x		
Dredge	GB22-1	D08-R04(rock)	29° 37.8487' N	130° 7.2223' E	554	Sandstone	x	x	CN and PF barren.
Dredge	GB22-1	D08-R04(vein)				Calcareous mudstone vein in D08-R04(rock)	x		
Dredge	GB22-1	D08-R08				Conglomerate	x		
Dredge	GB22-1	D08-R11				Limestone	x		
Dredge	GB22-1	D08-R13				Sandstone	x		CN barren.
Dredge	GB22-1	D08-R14				Muddy sandstone	x		CN barren.
Dredge	GB22-2	D09-R03	29° 55.7647' N	129° 22.6037' E	780	Tuffaceous sandstone	x	xx	PF barren.
Dredge	GB22-2	D09-R05				Tuffaceous sandstone	x	x	PF barren.
Dredge	GB22-2	D09-R09				Sandstone	x		CN barren.
Dredge	GB22-2	D09-R11				Mudstone	x	xx	
Dredge	GB22-2	D09-R14				Sandstone	x		CN barren.
Dredge	GB22-2	D09-R16				Sandstone	x		CN barren.
Dredge	GB22-2	D10-R03	30° 19.3174' N	129° 41.9108' E	603	Mudstone	x	xx	
Dredge	GB22-2	D10-R08				Pumiceous coarse tuff	x	x	
Dredge	GB22-2	D10-R09				Fine tuff	x	x	
Dredge	GB22-2	D10-R10				Fine tuff	x	x	
K-grab	GB22-2	g166	29° 24.1966' N	129° 11.922' E	532	Bioclast-rich limestone	x		
K-grab	GB22-2	g194	29° 32.937' N	129° 22.3829' E	669	Tuffaceous sandstone	x	xx	
K-grab	GB22-2	g280A	29° 52.9697' N	129° 8.7889' E	757	Tuffaceous sandstone	x		CN barren.
K-grab	GB22-2	g280B				Tuffaceous sandstone	x	x	
K-grab	GB22-2	g298	30° 3.3488' N	129° 25.4139' E	561	Fine tuff	x	x	CN and PF barren.
K-grab	GB22-2	g311	30° 8.9126' N	129° 23.4695' E	506	Sandstone	x		
Dredge	KH23-1	D01-R12	28° 52.611' N	128° 55.029' E	458	Lapilli tuff	x	xx	
Dredge	KH23-1	D07-R01	29° 4.409' N	128° 53.671' E	796	Mudstone	x	xx	
Dredge	KH23-1	D07-R03				Tuffaceous sandstone	x	xx	
Dredge	KH23-1	D07-R04				Bioclast-rich sandy limestone	x		
Dredge	KH23-1	D29-R03	29° 13.313' N	129° 13.93' E	608	Bioclast-rich sandy limestone	x	xx	
Dredge	KH23-1	D29-R09				Bioclast-rich calcarenite	x	xx	

変質した凝灰質砂岩亜円礫-角礫が得られ、見かけ上岩相と固結度が異なる2試料をg280A及びg280Bとしてそれぞれ検討した。地点g298は臥蛇島北西方約20 km, 南墓曾根東部に位置する水深561 mの礫質堆積物分布域である。g298試料は灰白色の固結した細粒凝灰岩亜角礫である。地点g311は臥蛇島北西方約30 km, 南墓曾根北部に位置する水深506 mの礫質堆積物分布域である。g311試料はマンガン被覆され固結した褐色の砂岩である。

2.1.3 KH23-1航海：地点D01, D07, D29

2023年1月に実施されたKH23-1航海では、調査海域南部の横当島及び宝島周辺においてドレッジが実施された。以下ドレッジ地点や採取された岩石の総重量に関する記述はクルーズレポートとして編集の未公表資料に基づいており、試料の岩相に関する記述は本研究における観察に基づくものである。

地点D01は、横当島及び上ノ根島北西方約10 kmの地形的高まりの上に位置する。ドレッジャー着底時及び離底時の水深はそれぞれ458 m, 334 mであり、合計約64 kgの岩石試料が得られた。このうち1試料(D01-R12)を微化石検討用に選定した(第1表)。本試料は基質支持の火山礫凝灰岩であり、暗赤色や黒色の角ばった火山岩細礫-中礫を含む。基質に翼足類や有孔虫を含むほか、魚類の耳石が目立って含まれる部分がある。

地点D07は横当島北北西方約30 kmに位置する小規模な地形的高まりの斜面部である。ドレッジャー着底時及び離底時の水深はそれぞれ796 m, 711 mであり、合計約0.4 kgの岩石試料が得られた。このうち3試料(D07-R01, -R03, -R09)の堆積岩を微化石検討用に選定した(第1表)。D07-R01は茶褐色を呈する半固結の泥岩である。D07-R03はやや石灰質で淘汰の悪い、半固結の凝灰質砂岩である。D07-R04は石灰質生物遺骸に富む石灰岩であ

り、表面にマンガン酸化物の被覆が認められる。

地点D29は宝島北方約10 kmに位置し、周囲を白浜曾根、宝島、小宝島など島嶼を含む地形的高まりに囲まれている。ドレッジャー着底時及び離底時の水深はそれぞれ608 m, 504 mであり、合計約12 kgの岩石試料が得られた。このうち2試料(D29-R03, -R09)の堆積岩を微化石検討用に選定した(第1表)。D29-R03は砂粒子サイズの石灰質生物遺骸に富む石灰岩である。本試料はD07-R04試料に類似し、マンガン酸化物の被覆あるいは表面から深さ5 mm以下に達する浸潤が認められる。D29-R09は砂・礫サイズの石灰質生物遺骸を顕著に含む、淘汰の悪い半固結の石灰砂岩である。本試料には、保存の良い二枚貝や巻貝など大型軟体動物化石が認められる。またD29-R03及びD29-R09試料には、細礫-中礫サイズの変質した火山岩角礫がまれに含まれる。

2.2 方法

第1表に示した試料について、石灰質微化石群集を検討するため処理、同定を行った。この時、1試料あたりひとかたまりの岩石から必要量を取るようにして、異なる層準の微化石群集が1つの検討試料内に混在しないよう注意を払った(有元・宇都宮, 2022, 2023)。以下、石灰質ナノ化石と浮遊性有孔虫化石に分けて記述する。

2.2.1 石灰質ナノ化石

計36試料について、風化面を避けて米粒大の量を取り、スミアスライドを作成した後、偏光顕微鏡を用いて1,250倍の倍率で観察を行った。産出量と保存状態については、有元・宇都宮(2022, 2023)に従い、0.1 mm²内に観察される平均的な個数が10個より多い場合をAbundant, 1-10個をCommon, 1個未満の場合をFew, 1 mm²内で1個未満の場合をRare, 産出しない場合はBarrenとして評価した。保存の程度については、溶解または再結晶により同定が困難な個体がおよそ3割以下の場合Good, 3-6割を占める場合はModerate, 6-8割を占める場合はPoor, 8割より多い場合はVery Poorとして評価した。

2.2.2 浮遊性有孔虫化石

浮遊性有孔虫化石は、試料量や岩相、続成の程度等を考慮して、計22試料について検討を行った。風化面を極力除いた後1-2 cmまで砕いた試料の乾燥重量3-70 g程度について、ボロン法(Hanken, 1979)により粒子間の膠結の分解を促進させた。その後、開口径63 μmの篩上で水洗し、40 °Cの恒温乾燥機内で一晚以上乾燥させた。水洗後の砂サイズ粒子になお基質の付着が認められた場合、生物源粒子の著しい破損による損失が起きないことを確認した上で、超音波洗浄機(40 kHz)を用いて15秒

程度、残渣の洗浄を行った。

定量的検討手法として、得られた残渣のうち125 μm以上のサイズの粒子について適宜分割し、実体顕微鏡下において200個体以上を目安に浮遊性有孔虫化石を抽出した。処理試料中の個体数が200に満たないものについては、処理した残渣に含まれる全ての個体を拾い出した。また試料中の有孔虫全群集に対する浮遊性有孔虫の割合(P/T比)を計算するため、底生有孔虫化石も同時に計数した。一方で、残渣化が進まず定量的な検討が難しい試料については、可能な限り残渣を検鏡し、同定可能な化石個体があればその産出を記録した。

産出量については、検討面分内の堆積物粒子に占める浮遊性有孔虫化石の割合を基準として、Dominant (>50%), Abundant (>30-50%), Common (>10-30%), Few (>5-10%), Rare (>1-5%), Present (>0-1%) およびBarren (0%)の7段階で評価した。各試料に含まれる個体の平均的な保存状態は、定性的観察に基づく溶解・破損・着色等の程度によりVery Good, Good, Moderate, Poor, Very Poorの5段階を基本として評価した。抽出した全ての個体について種レベルまで同定し、種ごとに個体数を計数した。さらに、産出頻度が少ない大型の示準種を取りこぼさないよう、残渣全量の1/4-1/2程度に含まれる180 μm以上のサイズの粒子について検鏡を行った。浮遊性有孔虫の形態種分類は、mikrotaxデータベース(<https://www.mikrotax.org/pforams>; Young *et al.*, 2017)を基本とし、*Globorotalia truncatulinoides*系列種や*Neogloboquadrina*属、*Pulleniatina*属及び*Tenuitellita*属については有元・宇都宮(2023)を踏襲した。

3. 結果

各試料における産出量、保存状態および産出した種のリストを、石灰質ナノ化石と浮遊性有孔虫化石に分けてそれぞれ第2表と第3表に示す。

3.1 石灰質ナノ化石

検討した36試料のうち、26試料から石灰質ナノ化石の産出が認められた(第2表)。全体として16属25種が同定された。同一ドレッジで石灰質ナノ化石の産出が認められた試料でも、その産出頻度及び保存状態が異なっている試料が確認された。産出が認められた試料の年代決定において、*Emiliana huxleyi*, *Pseudoemiliana lacunosa*及び*Gephyrocapsa oceanica*は更新統、*Calcidiscus macintyreii*, *Discoaster brouweri*, *Discoaster challengerii*, *Discoaster surculus*, *Reticulofenestra pseudumbilicus*及び*Sphenolithus abies*は鮮新統-更新統の示準化石として重要である。また、年代決定に直接的に関与しない随伴種として、*Calcidiscus leptoporus*, *Coccolithus pelagicus*, *Helicosphaera carteri*などが多くの検討試料から産出した。

第3表 各航海で採取された堆積岩試料から産出した浮遊性有孔虫化石。産出頻度は次のように示す: D: dominant (卓越), A: abundant (多産), C: common (普通), F: few (少産), R: rare (極めて少産), P: present (稀産), B: barren (産出なし)。保存状態は次のように示す: VG: very good (極めて良好), G: good (良好), M: moderate (中程度), P: poor (悪い), VP: very poor (極めて悪い)。種ごとの産出状況は、定量的検討において確認された個体数をアラビア数字で、 $>180 \mu\text{m}$ の残渣の定量的検討でのみ確認されたものについて+で示す。

Table 3 Distribution chart of planktic foraminifera identified from the present study materials. Abundance: D: dominant, A: abundant, C: common, F: few, R: rare, P: present, B: barren. Preservation: VG: very good, G: good, M: moderate, P: poor, VP: very poor. In the case a species was missed in the quantitative count and only checked by $>180 \mu\text{m}$ -scanning, it is represented by the signature "+".

Sample ID	GB22-2										KH23-1									
	D07-R01M	D07-R01G	D07-R03	D07-R05	D07-R07	D07-R11	D08-R04 (rock)	D09-R03	D09-R05	D09-R11	D10-R03	D10-R08	D10-R09	D10-R10	9194	D01-R12	D07-R01	D07-R03	D29-R03	D29-R09
Quantitative check	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Abundance	P	P	P	P	P	P	P	B	B	P	D	P	P	P	P	A	A	F	F	F
Preservation	VP	VP	VP	VP	VP	VP	VP	-	-	G	VG-G	VP	VP	VP	P	VG-G	M-P	P	P	M
<i>Candeina nitida</i> d'Orbigny	0	0	-	-	-	-	-	0	-	0	0	-	-	-	0	1	0	0	0	0
<i>Dentoglobigerina baroemouensis</i> (LeRoy)	0	2	-	-	-	-	-	0	-	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0
<i>Globigerina bulloides</i> d'Orbigny	6	7	-	-	-	-	-	0	-	2	23	-	-	-	0	5	18	13	7	10
<i>Globigerina falconensis</i> Blow	55	50	+	-	1	-	-	0	-	0	60	-	-	-	1	47	45	30	37	31
<i>Globigerina umbilicata</i> Orr and Zaltzeff	0	0	-	-	-	-	-	0	-	0	+	-	-	-	0	0	1	0	0	0
<i>Globigerina</i> sp.	0	0	-	-	-	-	-	0	-	0	2	-	-	-	0	0	0	0	0	0
<i>Globigerinella calida</i> (Parker)	0	0	+	-	-	-	-	0	-	0	0	-	-	-	0	2	4	3	0	0
<i>Globigerinella obesa</i> (Bolli)	0	0	-	-	-	-	-	0	-	0	5	-	-	-	0	0	1	0	0	0
<i>Globigerinella</i> cf. <i>praesiphonifera</i> (Blow)	0	0	-	-	-	-	-	0	-	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0
<i>Globigerinella pseudobesa</i> (Salvatolini)	2	0	-	-	-	-	-	0	-	0	5	-	-	-	0	0	0	0	0	1
<i>Globigerinella siphonifera</i> (d'Orbigny)	3	0	-	-	-	-	-	0	-	0	+	-	-	-	0	0	1	1	2	7
<i>Globigerinita glutinata</i> (Egger)	18	25	-	-	-	-	-	0	-	1	21	-	-	-	6	53	34	25	9	11
<i>Globigerinita minuta</i> (Natlund)	0	2	-	-	-	-	-	0	-	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	2
<i>Globigerinita uvula</i> (Ehrenberg)	0	0	-	-	-	-	-	0	-	0	2	-	-	-	0	0	0	0	0	0
<i>Globigerinoides elongatus</i> (Brady)	1	0	-	-	-	-	-	0	-	0	0	-	-	-	0	0	+	1	+	1
<i>Globigerinoides conglobatus</i> (Brady)	3	1	-	-	-	-	-	0	-	0	2	-	-	-	0	1	1	5	0	5
<i>Globigerinoides elongatus</i> (d'Orbigny)	0	0	-	-	-	-	-	0	-	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0
<i>Globigerinoides eocoglobatus</i> Stainbank, Spezzaferri, Kroon, de Leau and Rüggeberg	0	0	-	-	-	-	-	0	-	0	0	-	-	-	0	1	0	0	1	0
<i>Globigerinoides extremus</i> Bolli and Bermúdez	0	0	-	-	-	-	-	0	-	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0
<i>Globigerinoides kennetti</i> Keller and Poore	1	0	-	-	-	-	-	0	-	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	2
<i>Globigerinoides</i> cf. <i>kennetti</i> Keller and Poore	0	0	-	-	-	-	-	0	-	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0
<i>Globigerinoides obliquus</i> Bolli	0	0	-	-	-	-	-	0	-	0	+	-	-	-	0	0	0	0	0	0
<i>Globigerinoides ruber</i> (d'Orbigny)	32	14	+	-	-	-	-	0	-	3	22	-	-	-	10	56	48	46	25	34
<i>Globigerinoides tenellus</i> Parker	1	0	-	-	-	-	-	0	-	1	1	-	-	-	0	0	9	7	0	0
<i>Globigerinoides</i> sp.	0	0	-	-	-	-	-	0	-	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0
<i>Globigerinoidesella fistulosa</i> (Schubert)	0	0	-	-	-	-	-	0	-	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0
<i>Globoconella inflata</i> (d'Orbigny)	38	1	+	-	-	-	-	0	-	0	+	-	-	-	69	+	8	7	21	19
<i>Globoconella punctulata</i> (Deshayes)	9	0	+	-	-	-	-	0	-	0	1	-	-	-	9	2	2	2	5	0
<i>Globoconella triangula</i> (Theyer)	25	2	+	-	-	-	-	0	-	0	+	-	-	-	19	0	0	6	15	2
<i>Globoconella</i> sp.	1	0	-	-	-	-	-	0	-	1	0	-	-	-	0	0	0	1	0	0
<i>Globorotalia bermúdez</i> Rögl and Bolli	2	0	-	-	-	-	-	0	-	1	0	-	-	-	0	0	0	0	0	1
<i>Globorotalia crassaformis</i> (Galloway and Wisler)	4	0	-	-	-	-	-	0	-	0	+	-	-	-	3	2	0	3	8	+
<i>Globorotalia excelsa</i> Sprovieri and Ruggieri	0	0	-	-	-	-	-	0	-	0	0	-	-	-	0	0	1	1	1	0
<i>Globorotalia hessi</i> Bolli and Premoli Silva	0	0	-	-	-	-	-	0	-	0	+	-	-	-	0	0	0	+	0	+
<i>Globorotalia hirsuta</i> (d'Orbigny)	0	0	-	-	-	-	-	0	-	0	0	-	-	-	0	0	+	0	0	0
<i>Globorotalia imbricata</i> Krashenimikov and Bylinskaya	0	0	-	-	-	-	-	0	-	0	+	-	-	-	0	0	0	0	0	0
<i>Globorotalia menardii</i> (Parker, Jones and Brady)	2	0	+	-	-	-	-	0	-	0	+	-	-	-	+	4	1	2	2	6

第3表 続き.
Table 3 Continued.

Sample ID	GB22-1										GB22-2										KH23-1									
	D07-R01M	D07-R01G	D07-R03	D07-R05	D07-R07	D07-R11	D08-R04 (rock)	D09-R03	D09-R05	D09-R11	D10-R03	D10-R08	D10-R09	D10-R10	g194	D01-R12	D07-R01	D07-R03	D07-R03	D29-R03	D29-R09									
Quantitative check	x	x	x	x	x	x	-	x	-	x	x	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x									
Abundance	P	P	P	P	P	P	B	B	B	P	D	P	P	F	P	A	F	F	F	F	F									
Preservation	VP	VP	VP	VP	VP	VP	-	-	-	G	VG-G	VP	VP	P-V	P	VG-G	M-P	P	P	P	M									
<i>Globorotalia merotumida</i> Blow and Banner	0	0	-	-	0	-	-	0	-	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0									
<i>Globorotalia pachytheca</i> Blow	0	0	-	-	0	-	-	0	-	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0									
<i>Globorotalia pseudomioecena</i> Bolli and Bermudez	0	+	-	-	0	-	-	0	-	0	+	-	-	0	0	0	0	1	0	0	0									
<i>Globorotalia ronda</i> Blow	2	0	-	-	0	-	-	0	-	0	+	-	-	0	0	0	0	1	0	0	0									
<i>Globorotalia scitula</i> (Brady)	0	1	-	-	0	-	-	0	-	0	0	-	-	0	0	2	0	2	0	0	0									
<i>Globorotalia tenuithecica</i> Blow	0	0	-	-	0	-	-	0	-	0	0	-	-	0	0	0	1	0	0	0	0									
<i>Globorotalia tosaensis</i> Takayanagi and Saito	1	0	-	-	0	+	-	0	-	0	+	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0									
<i>Globorotalia truncatulinoides</i> (d'Orbigny)	0	0	-	-	0	+	-	0	-	0	+	-	-	0	0	7	11	12	2	0	0									
<i>Globorotalia tumida</i> (Brady)	2	0	-	-	0	+	-	0	-	0	+	-	-	+	1	0	0	2	+	0	0									
<i>Globorotalia unguata</i> Bermudez	2	0	-	-	0	-	-	0	-	0	0	-	-	0	2	0	0	0	0	0	0									
<i>Globorotalia viola</i> Blow	2	0	-	-	0	-	-	0	-	0	0	-	-	0	0	0	1	2	2	0	0									
<i>Globorotalia</i> sp.	0	0	-	-	0	-	-	0	-	0	0	-	-	0	0	0	0	0	1	0	0									
<i>Globorotalloides</i> sp.	0	0	-	-	0	-	-	0	-	0	3	-	-	0	0	0	1	0	0	0	0									
<i>Globobulimina decoraperta</i> (Takayanagi and Saito)	0	4	-	-	0	-	-	0	-	0	2	-	-	0	0	0	1	2	2	0	0									
<i>Globobulimina</i> cf. <i>nepenthes</i> (Todd)	0	2	-	-	0	-	-	0	-	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0									
<i>Globobulimina rubescens</i> (Hofer)	0	0	-	-	0	-	-	0	-	0	0	-	-	0	4	10	3	4	2	0	0									
<i>Globobulimina woodi</i> Jenkins	9	17	-	-	0	-	-	0	-	0	8	-	-	1	27	10	9	7	8	0	0									
<i>Globobulimina</i> cf. <i>woodi</i> Jenkins	0	2	-	-	0	-	-	0	-	0	0	-	-	0	0	0	1	0	3	0	0									
<i>Neglobobulimina acostaensis</i> (Blow)	4	8	-	-	0	-	-	0	-	0	2	-	-	7	0	8	12	2	2	0	0									
<i>Neglobobulimina asanoi</i> (Maiva, Saito and Saito)	2	4	-	-	0	-	-	0	-	0	0	-	-	0	0	1	0	0	0	0	0									
<i>Neglobobulimina atlantica</i> (Berggren)	30	20	+	-	0	+	-	0	-	0	14	-	-	7	3	0	14	16	7	0	0									
<i>Neglobobulimina duterrei</i> (d'Orbigny)	45	4	+	-	0	+	-	0	-	0	13	-	-	40	11	25	29	28	19	0	0									
<i>Neglobobulimina humerosa</i> (Takayanagi and Saito)	1	1	+	-	0	+	-	0	-	0	0	-	-	0	0	0	4	0	0	0	0									
<i>Neglobobulimina incompta</i> (Cifelli)	9	37	+	-	0	-	-	0	-	0	13	-	-	33	29	33	29	2	26	0	0									
<i>Neglobobulimina inglei</i> Kucella and Kennett	0	2	-	-	0	-	-	0	-	0	0	-	-	0	1	0	0	1	1	0	0									
<i>Neglobobulimina pachyderma</i> (Ehrenberg)	0	8	-	-	3	-	-	0	-	0	1	-	-	1	1	0	0	1	1	1	1									
<i>Neglobobulimina</i> sp.	5	1	-	-	0	-	-	0	-	0	3	-	-	0	1	3	9	0	0	0	0									
<i>Orbulina universa</i> d'Orbigny	0	0	-	-	0	-	-	0	-	0	1	-	-	0	+	4	1	1	2	0	0									
<i>Pulleniatina finalis</i> Banner and Blow	1	0	-	-	0	-	-	0	-	0	0	-	-	0	0	+	2	0	0	0	0									
<i>Pulleniatina obliquiculata</i> (Parker and Jones)	36	6	+	-	0	+	-	0	-	2	2	-	-	19	10	5	12	13	4	0	0									
<i>Pulleniatina okinawaensis</i> Natori	1	0	-	-	0	-	-	0	-	0	1	-	-	1	2	2	1	1	2	0	0									
<i>Pulleniatina primaris</i> Banner and Blow	1	0	-	-	0	-	-	0	-	0	0	-	-	0	0	0	1	0	0	0	0									
<i>Sphaeroidinella dehiscentis</i> (Parker and Jones)	1	0	-	-	0	-	-	0	-	0	+	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0									
<i>Sphaeroidinella dehiscentis</i> (Parker and Jones)	0	1	-	-	0	-	-	0	-	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0									
<i>Sphaeroidinella seminulina</i> (Schwager)	0	0	-	-	0	-	-	0	-	0	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0									
<i>Tenuitella fleisheri</i> Li	0	0	-	-	0	-	-	0	-	0	0	-	-	0	0	2	0	0	0	0	1									
<i>Tenuitella lota</i> (Parker)	1	1	-	-	0	-	-	0	-	0	0	-	-	0	0	5	4	1	2	0	0									
<i>Tenuitella parkerae</i> (Brönnimann and Resig)	0	0	-	-	0	-	-	0	-	0	0	-	-	0	0	3	0	0	0	0	0									
<i>Trilobatus immaturus</i> (LeRoy)	6	+	-	-	0	-	-	0	-	0	4	-	-	2	2	2	1	6	2	0	0									
<i>Trilobatus quadrilobatus</i> (d'Orbigny)	3	0	-	-	0	-	-	0	-	0	0	-	-	0	0	2	1	0	1	0	1									
<i>Trilobatus sacculifer</i> (Brady)	8	0	-	-	0	-	-	0	-	0	+	-	-	1	2	1	0	1	0	1	4									
<i>Trilobatus trilobus</i> (Reuss)	8	1	-	-	0	-	-	0	-	0	2	-	-	2	5	7	7	7	8	0	0									

第3表 続き.
Table 3 Continued.

Sample ID	GB22-1										GB22-2										KH23-1									
	D07-R01M	D07-R01G	D07-R03	D07-R05	D07-R07	D07-R11	D08-R04 (rock)	D09-R03	D09-R05	D09-R11	D10-R03	D10-R08	D10-R09	D10-R10	g194	D01-R12	D07-R01	D07-R03	D29-R03	D29-R09										
Quantitative check	x	x	x	x	x	x	B	B	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x										
Abundance	P	P	P	P	P	R	B	B	P	D	P	P	P	F	P	A	F	F	F	F										
Preservation	VP	VP	VP	VP	VP	VP	-	-	G	VG-G	VP	VP	VP	P-VP	P	VG-G	M-P	P	P	M										
<i>Trilobatus</i> sp.	3	0	-	-	0	-	-	0	0	0	-	-	-	0	0	0	1	0	0	0										
<i>Turborotalia clarkeri</i> (Rögl and Bøll)	2	1	-	-	0	-	-	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	5	5										
<i>Turborotalia humilis</i> (Brady)	2	1	-	-	0	-	-	0	0	0	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0										
<i>Turborotalia quinqueloba</i> (Natlund)	6	7	-	-	2	-	-	0	0	16	-	-	-	0	7	12	5	4	8	8										
Total examined PF specimens*	354	243	-	-	6	-	-	0	11	234	-	-	-	251	317	322	321	261	253	253										
PF gen., and sp. indet.	11	6	-	-	0	-	-	0	0	4	+	+	+	2	23	3	4	10	5	5										
<i>Pulleniatina colling</i> **	D	S	D	-	-	D	-	-	D	S	-	-	-	D	D	D	D	D	D	D										
<i>Gr. truncatulinoides colling</i> **	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
Presence of <i>Globigerinoides ruber</i> (pink)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-	-	-										
Bulk sample weight (g)	7.8	27.2	31.8	21.2	51.8	8.8	12.8	19.7	29.9	69.3	32.6	12.8	5.0	11.1	2.9	11.4	46.3	17.1	16.3	14.0										
Total PF density (#/g)	361	286	-	-	4	-	-	0	-	<1	919	-	-	467	296	1780	480	1635	1540	1540										
P/T ratio (%)	96.2	76.7	-	-	6.8	-	-	0.0	-	76.9	79.1	-	-	91.3	93.5	95.0	95.0	81.3	73.3	73.3										
PF zone (Wade et al., 2011)	PL5-	PL5-	PL5-	PL5-	PL5-	PL5-	PL5-	PL5-	PL5-	PL5-	PL5-	PL5-	PL5-	PL5-	PL5-	PL5-	PL5-	PL5-	PL5-	PL5-										
*Only for quantitatively counted specimens.	PT1a	PT1	PT1	PT1	PT1	PT1a	PT1a	PT1a	PT1a	PT1a	PT1a	PT1a	PT1a	PT1	PT1	PT1	PT1b	PT1b	PT1b	PT1b										
**D: dextral, S: sinistral.																														

3.2 浮遊性有孔虫化石

検討した22試料のうち、計18試料で浮遊性有孔虫化石の産出を確認した(第3表)。十分に残渣化し定量的検討を行った12試料のうち、9試料で200個体以上を計数した一方、GB22-1 D07-R07及びGB22-2 D09-R11の2試料では残渣中の計測個体数がそれぞれ6個体及び11個体と極めて少なかったほか、GB22-2 D09-R03試料からは浮遊性種を産出しなかった。一方、残渣化が困難だったため定性的検討に留めた10試料のうち、GB22-1 D08-R04, GB22-2 D09-R05及びg298の3試料では産出が認められなかったものの、GB22-1 D07-R03及びGB22-1 D07-R11の2試料では同定可能な複数種が産出し、ほか5試料では種レベルの同定は不可能であるものの産出のみ確認できた。

浮遊性有孔虫化石が産出し、かつ定量的検討を行った試料について、乾燥試料単位重量あたりの個体密度は概ね300–1,800個体/g程度であった。それに対して、計測数が少なかったGB22-1 D07-R07及びGB22-2 D09-R11試料ではいずれも10個体/gを下回った。また同じ試料群で産出されたP/T比は百分率で概ね73–95%であり、GB22-1 D07-R07試料のみ7%と例外的に低い値を示した。なお、浮遊性有孔虫化石を産出しなかった試料群のうち、D09-R03試料からはわずかながら底生有孔虫化石の産出が認められた。

検討試料のうち半固結の泥岩であるGB22-2 D09-R11, GB22-2 D10-R03及びKH23-1 D07-R01試料に含まれる個体は保存が良く、半透明ガラス質の殻をもった個体が多くを占めた。その他の試料から産する個体の保存状態は概して悪く、殻が白濁あるいは黄褐色に着色した個体や、表面の微細構造が部分的に失われた個体などが普遍的に産出した。特にg194試料から産する有孔虫化石は、殻の多くが破片化しているか溶脱した痕が顕著に認められた。

全体として19属75種の浮遊性有孔虫化石の産出が認められた(第3表)。重要な示準種として、*Globorotalia tosaensis*及び*Globorotalia truncatulinoides*などが認められたが、概ね産出は稀であった。KH23-1 D07-R03及び同D29-R03試料のみ例外的に*Gt. truncatulinoides*が群集の3%以上を占めた。また中部鮮新統以上の示準化石である*Globoconella inflata*がいくつかの試料で産出した。その他年代推定に関与しないが相対産出頻度が比較的高い種として*Globigerina falconensis*, *Globigerinita glutinata*, *Globigerinoides ruber*, *Neogloboquadrina incompta*, *Neogloboquadrina dutertrei*, *Pulleniatina obliquiloculata*などが認められた。産出した*Gs. ruber*は概ね白色あるいは無色の個体であるが、KH23-1 D07-R01試料のみピンク色を呈する個体が含まれる。

*Pulleniatina*属と*Gt. truncatulinoides*が産出する試料については、優勢な巻き方向を記録した(第3表)。*Pulleniatina*属については13試料で検討を行った結果、GB22-1

D07-R01及びGB22-2 D10-R03試料のみ左巻き(sinistral)個体が優勢であり、それ以外は右巻き(dextral)個体が優勢であった。また*Gt. truncatulinoides*については6試料で検討を行い、KH23-1 D29-R03試料のみ左巻き個体が優勢であり、それ以外は右巻き個体が優勢であった。

4. 議論

4.1 石灰質微化石の産出状況・保存状態と岩相の関係

検討試料について、砂岩試料や細粒凝灰岩試料で石灰質ナノ化石を産出しない傾向が認められる(第1表、第2表)。また産出が認められた試料も、凝灰質の岩相では産出量が少ないか、保存状態が悪い傾向がある。同様の傾向は浮遊性有孔虫化石にもみられる(第1表、第3表)。砂岩や凝灰岩に関しては、珪質碎屑物粒子の堆積速度が大きいことによる生物源粒子の希釈が起こった可能性が考えられる。また凝灰岩・凝灰質砂岩試料にしばしば浮遊性有孔虫殻の溶脱の痕跡がみられることから、堆積後の間隙水pH変化による保存ポテンシャルの低下が示唆される。しかしGB22-1 D07-R01やKH23-1 D01-R12試料のような火山礫凝灰岩試料の基質には、溶解に弱いとされる翼足類の化石殻を含む石灰質微化石が保存されており、これらの凝灰質堆積岩中における石灰質微化石のタフノミーを規制する要素は単純には説明できない。

石灰質の岩相の試料群についても、概して石灰質微化石の保存状態が悪い傾向がみられた(第1表-第3表)。これは炭酸塩続成(溶解・再結晶)の進行による保存ポテンシャルの低下を反映していると考えられる。GB22-1 D07-R11試料のように、石灰質ナノ化石の産出を欠く一方で有孔虫砂により構成される石灰質堆積岩は、同じく種子・屋久海脚南部のg123地点でも得られている(有元・宇都宮, 2023)。対照的に、GB22-2 D10-R03やKH23-1 D07-R01試料のような泥岩試料では保存状態が良い石灰質微化石が得られた。こういった石灰質あるいは泥質の岩相に依存した石灰質微化石の保存状態の違いは、深海掘削試料でも報告されている(例えばSexton *et al.*, 2006)。

4.2 化石帯の対比

示準化石の産出に基づく国際標準化石帯との対比についてタクサごとに記述する。石灰質ナノ化石について、Okada and Bukry (1980)による化石帯区分(CNシリーズ)を適用した。浮遊性有孔虫化石については、Wade *et al.* (2011)による帯区分(PL/PTシリーズ)を用いた。化石帯境界やその他の示準面の数値年代較正は、原則としてGeologic Time Scale 2020 (Raffi *et al.*, 2020)に従った。その他、一部化石種の生層序年代については、佐藤ほか(2012)及びLam *et al.* (2022)を参考とした。

4.2.1 石灰質ナノ化石

示準化石の産出に基づき、検討試料は概ね鮮新統-完

新統に相当するCN10-CN15帯に対比される(第2表)。以下、下位から順に各試料の対比について述べる。

-CN10c亜帯(下部鮮新統ザンクリアン階). GB22-2 D09-R11試料は、*Ceratolithus armatus*と*Ceratolithus cristatus*の産出が認められた。*C. cristatus*はCN10c亜帯からCN15帯まで産出している種である。一方、多くの化石層序の研究において*C. armatus*は通常CN10a-10b亜帯に限定して記録されているが、Blair *et al.* (2017)はその上限がCN10c亜帯まで拡大していると記録し、終産出には注意が必要であるとしている。これらをふまえ、本試料は*C. armatus*と*C. cristatus*の共産が認められたことによりCN10c亜帯に対比される。

CN11b亜帯(下部鮮新統ザンクリアン階). GB22-1 D07-R07試料は、*P. lacunosa*, small *Gephyrocapsa*, *R. pseudoubilicus*及び*S. abies*の共産が認められる。*R. pseudoubilicus*の終産出はCN11b亜帯上限(3.82 Ma)を規定することから、本試料はCN11b亜帯に対比される。

CN12帯(下部鮮新統ザンクリアン階-下部更新統ジェラシアン階). GB22-2 D10-R10試料は*R. pseudoubilicus*が産出せず、*D. brouweri*, *Discoaster* spp., *P. lacunosa*及びsmall *Gephyrocapsa*が共産する。*D. brouweri*の終産出はCN12帯上限(1.93 Ma)を規定することから、本試料はCN12帯に対比される。

CN13a亜帯(下部更新統ジェラシアン階-下部更新統カラブリアン階). GB22-2 D10-R03試料は、*C. macintyreii*及び*P. lacunosa*が産出するが、*G. oceanica*, *G. caribbeanica*及び*Discoaster*属の産出は認められない。*G. caribbeanica*の初産出はCN13b帯下限(1.76 Ma)を規定することから、本試料はCN13a亜帯に対比される。

CN13b亜帯(下部更新統カラブリアン階). KH23-1 D29-R03試料は、保存状態が悪く産出量も非常に少ない。産出が認められたのは*G. caribbeanica*と*C. leptoporus*のみで、CN13b亜帯かそれより上位の層準に対比されると考えられる。

CN14a亜帯(下部更新統カラブリアン階-中部更新統チバニアン階). GB22-1及びGB22-2航海で得られたD07-R01M, D07-R01G, D07-R03, D10-R08及びD10-R09各試料からは、*G. oceanica*及び*P. lacunosa*の産出が認められた。*G. oceanica*の初産出はCN14a亜帯下限(1.71 Ma)を規定し、*P. lacunosa*の終産出は同亜帯の上限(0.43 Ma)を規定することから、これらの試料群はCN14a亜帯に対比される。KH23-1 D07-R04及びD29-R09試料は、同D29-R03試料と同様の保存状態・産出状況であるが、*G. caribbeanica*に加え*G. oceanica*の産出が認められ、CN14a亜帯以上に対比される。*G. parallela*の産出した試料であるD07-R01M, D07-R03及びD10-R08については、さらに年代下限が1.04 Maに制約される(辻ほか, 2005; 有元・宇都宮, 2023)。

CN14b亜帯(中部更新統チバニアン階). GB22-1 D07-R13,

D07-R14, D08-R08, D08-R11 及び GB22-2 D09-R05 各試料は, *G. oceanica* が産出し, *P. lacunosa* と *E. huxleyi* の産出が認められないことより CN14b 亜帯に対比される。GB22-1 D08-R04 試料は砂岩 (rock) 中に岩脈 (vein) が入り、それぞれについて石灰質ナノ化石の産出を検討したところ、岩石からはナノ化石の産出は認められなかったものの、岩脈からは, *G. oceanica* 及び *G. caribbeanica* の産出が認められ, *P. lacunosa* の産出が認められないことにより、岩脈については CN14b 亜帯に対比されることが確認された。GB22-2 D09-R05 試料には *Discoaster* spp. や *R. pseudumbilicus* のような、CN10–12 帯試料に産する鮮新統を特徴づける絶滅種が含まれていたが、再堆積による混入と判断される。また KH23-1 航海で採取された試料のうち、D01-R12, D07-R01 及び D07-R03 は比較的保存が良く、石灰質ナノ化石の産出頻度も高い。これら 3 試料からは, *G. oceanica* の産出が認められ, *P. lacunosa* や *E. huxleyi* の産出が認められないことより CN14b 亜帯に対比される。

CN15 帯 (中部更新統チバニアン階-完新統). GB22-2 D09-R03, g166, g194, g280B 及び g311 試料からは *E. huxleyi* の産出が認められたことから、同種の初産出 (0.29 Ma) を下限とする CN15 帯に対比される。

4. 2. 2 浮遊性有孔虫化石

浮遊性有孔虫化石が産出した計 18 試料中、年代決定に資する示準化石を産出したものは 11 試料であるが、それらは全体として上部鮮新統-完新統に相当する PL5–PT1 帯に対比される (第 2 表)。

検討試料中のうち、GB22-1 航海で得られた D07-R01G, -R01M, -R03 及び -R11, GB22-2 航海で得られた D10-R03 及び g194, そして KH23-1 航海で得られた D01-R12, D07-R01, -R03, D29-R03 及び -R09 からは *Gc. inflata* の産出が認められた。本種は太平洋地域中緯度の示準化石として重要であり、北西太平洋シャツキー海台や九州・パラオ海嶺では概ね 3.4–3.0 Ma の間に初産出層準をもつ (Lam *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2020)。一方、国際標準化石帯 PL4 帯上限を規定する *Dentoglobigerina altispira* の終産出層準は、同海域で十分に制約されていないものの、*Gc. inflata* 初産出層準のやや上位に位置するとみられる。さらに *Gc. inflata* が産出した上記 11 試料からはいずれも *D. altispira* が産出しなかったことから、これらは PL5 帯以上 (上部鮮新統ピアセンジャン階以上) に対比される。これらの中で、GB22-1 D07-R01G, -R01M, -R03, GB22-2 g194 及び KH23-1 D01-R12 の 5 試料については、より上位の示準化石を産出せず、保存状態も良くないことから PL5 帯以上と推定するに留めた。

GB22-1 D07-R11, GB22 D10-R03, KH23-1 D07-R01, -R03, D29-R03 及び -R09 の 6 試料については、更新統以上の示準化石である *Gt. truncatulinoides* の産出が認

められた。さらに GB22-1 D07-R11 及び GB22-2 D10-R03 試料からは上部鮮新統-下部更新統の重要な示準化石である *Gt. tosaensis* が産出した。KH23-1 D07-R01 試料のみ、*Globigerinoidesella fistulosa* の産出が認められるが、*Gt. tosaensis* の産出を欠く。*Gsl. fistulosa* と *Gt. tosaensis* の終産出はそれぞれ PL6 帯及び PT1a 亜帯の上限を規定することから、GB22-1 D07-R11 及び GB22-2 D10-R03 試料は PT1a 亜帯 (ジェラシアン階-チバニアン階)、KH23-1 D07-R03, D29-R03 及び -R09 試料は PT1b 亜帯 (チバニアン階以上) に対比される。KH23-1 D07-R01 試料からはピンク色を呈する *Gs. ruber* が産出する (第 2 表)。本派生種は南シナ海で 1.6 Ma に出現し、0.4–0.12 Ma に多産したことが報告されている (Li *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2020)。このことから、稀産種である *Gsl. fistulosa* の再堆積による混入の可能性を考慮し、KH23-1 D07-R01 試料は PT1 帯に対比されると推定した。

4. 3 堆積年代と地質学的意義

4. 3. 1 CN10–CN12 帯：鮮新統-下部更新統

検討試料のうち、最も古い年代を示すグループをなす GB22-2 D09-R11, GB22-1 D07-R07 及び GB22-2 D10-R10 はそれぞれ石灰質ナノ化石帯 CN10c 亜帯, CN11b 亜帯及び CN12 帯に対比され (第 2 表)、数値年代は順に 5.08–4.50 Ma, 4.04–3.82 Ma, 3.82–1.93 Ma に制約される。これら鮮新統-最下部更新統の試料群は、琉球弧に広く分布する島尻層群の中部-上部層準に対比される (Tanaka and Ujiie, 1984; Watanabe *et al.*, 2023)。またこれらの試料群は、上位層準のものに対して有孔虫化石の産出量が著しく少ない特徴があり、陸源珪質碎屑粒子の供給量が相対的に大きい堆積場で形成された地質体に由来する可能性がある。

4. 3. 2 CN13–CN14 帯 / PT1 帯：下部-中部更新統

更新世以降の堆積年代を示す試料のうち、最も古い GB22-2 D10-R03 試料は石灰質ナノ化石 CN13a 亜帯に対比され (第 2 表)、数値年代は 1.93–1.76 Ma に制約される。これは浮遊性有孔虫化石の結果とも矛盾しない。松田ほか (2023) は、本調査海域南方の喜界島に分布する島尻層群早町層が部分的に CN13a 亜帯相当層準を含むことを明らかにしたが、岩相 (青灰色泥岩) の類似からも、本試料は同層の海域延長に相当する地質体に由来すると考えられる。なお喜界島における CN13a 亜帯相当の島尻層群は、石灰質碎屑岩を主とし、CN14a 亜帯に相当する知念層により傾斜不整合で覆われる (松田ほか, 2023)。一方、中琉球以南における CN13 帯は、島尻層群の上限をなす不整合によって欠如するか、あるいは沖縄島周辺の一部地域では知念層に含まれることがわかっている (千代延ほか, 2009; Watanabe *et al.*, 2023)。このように琉球弧における CN13 帯は、現在の島弧を形成するに至るテクト

ニックな変動を記録するユニークな層準であると位置付けられる。トカラ列島周辺海域に分布する同帯を含む地質体は、北部琉球弧における第四紀テクトニクス転換期初期の地史・環境変動を明らかにするうえで重要なものといえる。

石灰質ナノ化石が産出しなかったGB22-1 D07-R11試料についても、浮遊性有孔虫示準化石PT1a帯に対比され、*Gt. truncatulinoides*及び*Gt. tosaensis*が共産することから堆積年代の制約が可能である。有元・宇都宮(2023)は、既存の研究から北西太平洋遠洋域における*Gt. truncatulinoides*の初産出年代が2.4–2.0 Maの範囲にあり、本種の産出した試料は最下部更新統ジェラシアン階以上に対比されるとした。さらに沖縄島南部に分布する島尻層群最上部において、石灰質ナノ化石*D. brouweri*の終産出層準(1.93 Ma)のやや上位に*Gt. truncatulinoides*の初産出層準が位置する(Ibaraki, 1981; Ujiie, 1985)ことから、中琉球弧における同初産出層準は石灰質ナノ化石CN13a帯に対比されるといえる。これは松田ほか(2023)の喜界島における検討結果とも整合的である。またPT1a帯の上限を規定する*Gt. tosaensis*終産出層準の数値年代は、東赤道太平洋のデータに基づいてGeologic Time Scale 2020では0.61 Maとされているが、西太平洋では中緯度のシャツキー海台で0.59–0.29 Ma、赤道域のオントンジャワ海台で0.74 Maと推定されている(Lam *et al.*, 2022)。一方、宮古島西方海域のボーリングコアにおいて*Gt. tosaensis*終産出層準は海洋酸素同位体ステージ(MIS) 17–16境界付近に位置することが明らかとなっている(Sakai, 2003)。このため、本研究では調査海域における同層準の年代を約0.6 Maと仮定し、以上よりGB22-1 D07-R11試料の堆積年代は1.9–0.6 Maと推定される。

GB22-1 D07-R01M, -R01G, -R03, GB22-2 D10-R08及びR09試料は石灰質ナノ化石CN14a帯に対比され(第2表)、数値年代は1.71–0.43 Maに制約される。このうち、*G. parallela*が産出した試料GB22-1 D07-R01M, D07-R03及びGB22-2 D10-R08についてはさらに1.04–0.43 Maに制約できると考えられる。また保存状態の問題からCN14帯以上に対比されるKH23-1 D07-R04試料の堆積年代も、同様に1.71 Ma以降と考えられる。CN14a帯の堆積岩は、2020–2021年度調査において前弧側の種子・屋久海脚付近(地点GB21-3 D06, g174)、奄美海脚付近(地点GB21-1 D03)や、背弧側の沖縄トラフ東縁部(地点GB21-1 D05)、より北方の地点g326など、広範囲の露岩域で採取されている(第1図; 有元・宇都宮, 2022, 2023)。このうち調査海域北半部で得られたCN14a帯下部(1.6–1.0 Ma)の試料群は、火山噴出物由来と考えられる堆積粒子を顕著に含むことが報告されていた(有元・宇都宮, 2023)。本研究でも火山礫凝灰岩など火山性物質に富む堆積岩が広く得られたことから、現在のトカラ列島周辺での、活発な前期–中期更新世火山活動の存在が示唆さ

れる。

また今回、石灰質ナノ化石CN14b帯に対比される試料群がGB22-1 D07及びD08地点、そしてKH23-1 D01及びD07地点で得られた(第2表)。これら9試料(GB22-1 D07-R13, -R14, D08-R04 (vein), -R08, -R11, GB22-2 D09-R05, KH23-1 D01-R12, D07-R01及びR03)の堆積年代は0.43–0.29 Maに制約される。KH23-1 D07-R01試料に関しては、ピンク色を呈する*Gs. ruber*が産出することも整合的である。この時代は、中–南琉球弧では琉球層群主部から「新期石灰岩」への移行期に相当し(Iryu *et al.*, 2006; Watanabe *et al.*, 2023)、テクトニクス場の変化が起きたと考えられている(Watanabe *et al.*, 2023)。トカラ列島周辺で得られたCN14b帯の堆積岩類は、石灰岩や非石灰質の泥岩、火山性物質に富むものなど、多様な堆積環境を背景として形成されたことを示唆している。

KH23-1 D07-R04試料と同様、保存状態の問題からCN13–14帯以上として化石帯をよく制約できていなかった同D29-R03及びR09試料は、浮遊性有孔虫化石PT1b帯に対比され、堆積年代は0.6 Ma以降に制約される。

4.3.3 CN15帯／PT1b帯：中部更新統–完新統

検討試料群のうち最も若いグループである、ドレッジ試料GB22-2 D09-R03及びグラブ試料g166, g194, g280B, g311は、石灰質ナノ化石CN15帯に対比され、堆積年代は0.29 Ma以降と推定される。特にGB22-2 D09-R03試料は、同地点のCN14b帯試料であるD09-R05と同様に浮遊性有孔虫を産出せず、ともに鮮新統由来の石灰質ナノ化石を含む。これに類似する岩相及び微化石産出状況のCN15帯堆積岩は、前弧側の地点GB21-3 D06で得られている(有元・宇都宮, 2023)。それに対して今回のGB22-2 D09地点及びグラブ採泥地点における検討結果は、背弧側における新たな知見となる。また鮮新統地質体の海底への露出が前弧側・背弧側で確認されたことは、有元・宇都宮(2023)で議論された中–後期更新世における鮮新統地質体の削剥と堆積物の再移動、という地質体形成メカニズムに関する仮説を支持するとともに、同様の現象がより広域に起きたことを示唆する。

5. まとめ

トカラ列島周辺海域において、2022年度に実施された計3航海で採取された堆積岩試料の、石灰質ナノ化石及び浮遊性有孔虫化石に基づく堆積年代の検討を行った。海洋地質図整備を目的として行われたGB22-1及びGB22-2航海において、4地点でのドレッジと5地点でのグラブ採泥により得られた計30試料について検討した。これに加え、北部沖縄トラフの火山活動史と構造発達過程の解明を目的としたKH23-1航海において、3地点でのドレッジで得られた計6試料についても検討した。検討に用いた試料の岩相は多岐にわたるが、凝灰質

あるいは石灰質の試料については、石灰質微化石の保存状態が悪く、検討が困難な傾向にあった。石灰質ナノ化石については、検討した36試料のうち26試料で産出が認められ、これらはOkada and Bukry (1980)のCN10c亜帯(下部鮮新統ザンクリアン階)からCN15帯(中部更新統チバニアン階-完新統)に対比される。浮遊性有孔虫化石については、検討した22試料のうち18試料で産出が認められ、このうち同定可能な示準化石が産出した11試料はWade *et al.* (2011)のPL5帯(上部鮮新統ピアセンジャン階)からPT1b亜帯(中部更新統チバニアン階-完新統)に対比される。鮮新統-下部更新統(5.08-1.93 Ma)の試料群は、中-南琉球弧に広く分布する島尻層群の同時異相と考えられる。またCN13a帯(1.93-1.76 Ma)に対比される試料は、調査海域の喜界島に分布する島尻層群最上部の海域延長部に由来すると考えられる。下部-中部更新統に相当するCN14a亜帯に対比される試料の堆積年代は1.71-0.43 Maに制約され、これらの試料群は火山礫凝灰岩など火山活動を背景として形成された地質体由来するものを含む。中部更新統以上に相当するCN14b帯(0.43-0.29 Ma)及びCN15帯(0.29 Ma以降)に対比される試料群は、多様な堆積環境において形成されたことを示唆する。一部試料には鮮新統地質体からの再堆積を示す石灰質ナノ化石が含まれ、トカラ列島周辺海域の第四紀地質構造発達史の解明に資する時空間的な地質情報を提供する。

謝辞: GB22-1及びGB22-2航海音波探査・採泥調査の各主任である石野沙季研究員・鈴木克明研究員には、本研究に使用した堆積岩試料、及び試料採取地点や航走観測の位置情報、試料の産状に関する情報を提供いただきました。KH23-1航海の主席調査員である石塚 治首席研究員には、岩石試料の使用及び試料採取に関する情報や研究成果の公表に関してご協力いただきました。石塚治首席研究員及び針金由美子上級主任研究員にはドレッジによる試料採取に際してご尽力いただきました。上河内信義船長をはじめとする望星丸乗組員の皆様、酒井直人船長をはじめとする白鳳丸乗組員の皆様、また各航海の乗船研究者および学生の皆様には、調査の実施に関してご尽力いただきました。査読者である宇都宮正志主任研究員と、編集委員会の有益なご指摘により、本稿は改善されました。以上の方々に厚く御礼申し上げます。

文 献

有元 純・宇都宮正志(2022) GB21-1航海においてトカラ列島周辺海域で採取された堆積物および堆積岩の石灰質微化石に基づく年代推定。地質調査研究報告, **73**, 267-274。
有元 純・宇都宮正志(2023) GB21-3航海においてトカラ列島北部周辺海域で採取された堆積岩の石灰質

微化石に基づく堆積年代と地質学的意義。地質調査研究報告, **74**, 245-257。

- Blair, S. A., Bergen, J. A., de Kaenel, E., Browning, E. and Boesiger, T. M. (2017). Upper Miocene-Lower Pliocene taxonomy and stratigraphy in the circum North Atlantic Basin: radiation and extinction of Amauroliths, Ceratoliths and the *D. quinqueramus* lineage. *Journal of Nannoplankton Research*, **37**(2-3): 113-144.
- 千代延俊・猿渡隼人・佐藤時幸・樺元淳一・井龍康文(2009) 沖縄本島勝連半島に分布する知念層の石灰質ナノ化石生層序。地質学雑誌, **115**, 528-539。
- 下司信夫・石塚 治(2007) 琉球弧の火山活動。地質ニュース, no. 634, 6-9。
- Ibaraki, M. (1981) OKINAWA ISLAND. In *Neogene of Japan - Its biostratigraphy and chronology -*, 34-36, IGCP-114 National Working Group of Japan.
- 井上卓彦・天野敦子・板木拓也(2022) 巻頭言: 鹿児島県トカラ列島周辺の海洋地質 —2020年度調査航海結果—。地質調査研究報告, **73**, 193-196。
- 井上卓彦・板木拓也・天野敦子(2023) 巻頭言: 鹿児島県トカラ列島周辺の海洋地質 —2021年度調査航海結果—。地質調査研究報告, **74**, 187-191。
- Iryu, Y., Matsuda, H., Machiyama, H., Piller, W. E., Quinn, T. M. and Mutti, M. (2006) Introductory perspective on the COREF Project. *Island Arc*, **15**, 393-406。
- 石野沙季・三澤文慶・有元 純・井上卓彦(2022) トカラ列島南西沖におけるGB21-1航海の反射法音波探査概要。地質調査研究報告, **73**, 219-234。
- 石野沙季・針金由美子・三澤文慶・井上卓彦(2023) 2021年度海域地質図航海で行ったトカラ列島周辺海域の反射法音波探査及びドレッジ概要。地質調査研究報告, **74**, 211-230。
- 石野沙季・石塚 治・針金由美子・有元 純・三澤文慶・井上卓彦(2024) 2022年度海域地質図航海で行ったトカラ列島北方海域における反射法音波探査及びドレッジ概要。地質調査研究報告, **75**, 167-196。
- 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)。
- Lam, A. R., Crundwell, M. P., Leckie, R. M., Albanese, J. and Uzel, J. P. (2022) Diachroneity rules the mid-latitudes: A test case using Late Neogene planktic foraminifera across the Western Pacific. *Geosciences*, **12**, 190。
- Li, B., Jian, Z., Li, Q., Tian, J. and Wang, P. (2005) Paleocyanography of the South China Sea since the middle Miocene: evidence from planktonic foraminifera. *Marine Micropaleontology*, **54**(1-2), 49-62。
- 松田博貴・林田将英・千代延俊・山崎 誠・佐々木圭一(2023) 鹿児島県喜界島で発見された下部更新統知

- 念層とその意義. 地質学雑誌, **129** (1), 153–164.
- Okada, H. and Bukry, D. (1980) Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry 1973, 1975). *Marine Micropaleontology*, **5**, 321–325.
- Raffi, I., Wade, B. S., Pälike, H., Beu, A. G., Cooper, R., Crundwell, M. P., Krijgsman, W., Moore, T., Raine, I., Sardella, R. and Vernyhorova, Y. V. (2020) Chapter 29 - The Neogene Period. *In Geologic Time Scale 2020*, Elsevier, 1141–1215.
- Sakai, S. (2003) Shallow - water carbonates record marginal to open ocean Quaternary paleoceanographic evolution. *Paleoceanography*, **18**(4).
- 佐藤時幸・千代延俊・ファリーダメウティア (2012) グローバル気候変動と新第三紀の終わり／第四紀の始まり：石灰質ナンノ化石層序から. 地質学雑誌, **118**, 87–96.
- Sexton, P. F., Wilson, P. A. and Pearson, P. N. (2006). Microstructural and geochemical perspectives on planktic foraminiferal preservation: “Glassy” versus “Frosty”. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **7**(12).
- 鈴木克明・板木拓也・片山 肇・兼子尚知・針金由美子・齋藤直輝・岩谷北斗・松井浩紀・石塚 治・山崎 誠・有元 純・徳田悠希・千徳明日香・池内絵里・井口亮・鈴木 淳・清家弘治 (2024) トカラ列島西方海域及び屋久島南方海域の底質分布とその制御要因. 地質調査研究報告, **75**, 223–248.
- Tanaka, Y. and Ujiie, H. (1984) A standard late Cenozoic microbiostratigraphy in southern Okinawa-jima, Japan. I: Calcareous nannoplankton zones and their correlation to the Planktonic foraminiferal zones. *Bulletin of the National Science Museum. Series C*, **10**, 141–168.
- Ujiie, H. (1985) A standard late Cenozoic microbiostratigraphy in southern Okinawa-jima, Japan. II: Details on the occurrence of planktonic foraminifera with some taxonomic annotations. *Bulletin of the National Science Museum. Series C*, **11**, 103–136.
- Wade, B. S., Pearson, P. N., Berggren, W. A. and Pälike, H. (2011) Review and revision of Cenozoic tropical planktonic foraminiferal biostratigraphy and calibration to the geomagnetic polarity and astronomical time scale. *Earth-Science Reviews*, **104**, 111–142.
- Wang, J., Chang, F., Li, T., Sun, H., Cui, Y. and Liu, T. (2020) The evolution of the Kuroshio Current over the last 5 million years since the Pliocene: Evidence from planktonic foraminiferal faunas. *Science China Earth Sciences*, **63**, 1714–1729.
- Watanabe, N., Arai, K., Otsubo, M., Toda, M., Tominaga, A., Chiyonobu, S., Sato, T., Ikeda, T., Takahashi, A., Ota, H. and Iryu, Y. (2023) Geological history of the land area between Okinawa Jima and Miyako Jima of the Ryukyu Islands, Japan, and its phylogeographical significance for the terrestrial organisms of these and adjacent islands. *Progress in Earth and Planetary Science*, **10**(1), 40.
- Young, J. R., Wade, B. S. and Huber B. T., eds. (2017) pforams@mikrotax. <https://www.mikrotax.org/pforams> (閲覧日：2023年7月21日)

(受付：2024年1月19日； 受理：2024年9月26日)

トカラ列島西方海域及び屋久島南方海域の底質分布とその制御要因

鈴木 克明^{1,*}・板木 拓也¹・片山 肇¹・兼子 尚知²・針金 由美子¹・齋藤 直輝¹・
岩谷 北斗³・松井 浩紀⁴・石塚 治⁵・山崎 誠⁴・有元 純¹・徳田 悠希⁶・
千徳 明日香⁷・池内 絵里¹・井口 亮¹・鈴木 淳¹・清家 弘治^{1,8}

SUZUKI Yoshiaki, ITAKI Takuya, KATAYAMA Hajime, KANEKO Naotomo, HARIGANE Yumiko, SAITO Naoki, IWATANI Hokuto, MATSUI Hiroki, ISHIZUKA Osamu, YAMASAKI Makoto, ARIMOTO Jun, TOKUDA Yuki, SENTOKU Asuka, IKEUCHI Eri, IGUCHI Akira, SUZUKI Atsushi and SEIKE Koji (2024) Submarine sediment distribution and its controlling factors around the western area off Tokara Islands and southern area off Yakushima Island. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 75 (5/6), p. 223–248, 11 figs and 5 tables.

Abstract: As part of geological survey cruises GB22-1 and GB22-2 conducted in the area west of the Tokara Islands and the area south of Yaku Island, we conducted surface sediment sampling at 95 sites and sediment core sampling at 1 site. Sediment data, such as sediment samples and photographs of the seafloor, were analyzed for various species (e.g., bryozoa); the distribution of living corals and coral remains; planktic foraminifera assemblages, size distribution, and preservation; and environmental DNA extraction.

In the area west of the Tokara Islands, medium sandy to muddy sediments are distributed on the flat seafloor at depths of 800 m or more, and scattered outcrops occur near the top of a topographic high. We found gravelly sediments and locally rippled sandy sediments around the topographic high. This sediment distribution can be explained by the abundant supply of fine-grained sediment from surrounding land areas such as the Asian continent and Kyushu Island, the influence of the Kuroshio Current flowing northward in this area, and locally generated bottom currents related to topographic effects.

In the area south of Yakushima Island, a large area of outcrop occurs along the Tane-Yaku Spur, including Yaku-Shin Sone, and gravelly to muddy sediments are distributed to the east and west of the spur. The sandy sediments contain a large amount of biogenic material, and ripples were observed at several points. The distribution of these sediments reflects the erosion and sediment transport associated with the changing velocity of the Kuroshio Current as it moves eastward across the Tane-Yaku Spur and out to the Pacific Ocean. The analysis of bryozoa, coral distribution, and planktic foraminifera assemblage, size distribution, and preservation suggests that biological production is strongly influenced by the Kuroshio Current in the area west of the Tokara Islands and the area south of Yaku Island.

Keywords: Tokara Islands, East China Sea, Northwest Pacific, Sedimentology, Bryozoa, Planktic foraminifera, Coral, Sedimentary DNA

要 旨

トカラ列島西方海域および屋久島南方海域で実施した
海底地質調査航海GB22-1及びGB22-2では、95地点で表

層採泥、1地点で柱状採泥を実施した。取得した堆積物
試料や海底写真等の底質データに対して、コケムシ類の
分析、生体サンゴ・サンゴ遺骸の分布の検討、浮遊性有
孔虫の群集・サイズ分布・保存状態の検討、環境DNA抽

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 産業技術総合研究所 地質調査総合センター地質情報基盤センター (AIST, Geological Survey of Japan, Geoinformation Service Center)

³ 山口大学大学院創成科学研究科 (Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi University, Yamaguchi, 753–8512, Japan)

⁴ 秋田大学大学院国際資源学研究科 (Graduate School of International Resource Sciences, Akita University, Akita, 010-0852, Japan)

⁵ 産業技術総合研究所 地質調査総合センター活断層火山研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Earthquake and Volcano Geology)

⁶ 公立鳥取環境大学 環境学部 (Faculty of Environmental Studies, Tottori University of Environmental Studies, Tottori, 689-1111, Japan)

⁷ 琉球大学 理学部 (Faculty of Science, University of the Ryukyus, Okinawa, 903-0213, Japan)

⁸ 東京大学新領域創成科学研究科 (Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, Chiba, 277-8563, Japan)

* Corresponding author: SUZUKI, Y., AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: yoshiaki.suzuki@aist.go.jp

出などの各種分析を行った。

トカラ列島西方海域においては、おおむね水深800 m以上の平坦な海底に中粒砂質から泥質の堆積物が分布し、点在する地形的高まりの頂部付近に露頭が点在する。地形的高まりの周囲には礫質堆積物や局所的にリップルを呈する砂質堆積物が確認された。こうした底質分布はアジア大陸や九州など周辺の陸地からの豊富な細粒堆積物供給と、海域を北上する黒潮と地形効果により局所的に発生している底層流の影響で説明できる。屋久島南方海域においては、屋久新曾根をはじめとする種子・屋久海脚の稜線部に広大な露岩域が分布し、その東西に礫質から泥質堆積物が分布する。この中で砂質堆積物は生物源碎屑物を多く含んでおり、リップルを呈する地点も複数観察された。こうした底質分布は、海域を東に進み太平洋に抜ける黒潮が海脚を横切の際の流速増大・減少にともなう侵食作用の卓越や堆積物の移動を示していると考えられる。コケムシ類の分析結果、サンゴ類の分布、浮遊性有孔虫の群集・サイズ分布・保存状態の検討から、トカラ列島西方海域および屋久島南方海域においても、生物生産が黒潮の影響を強く受けていることが示唆された。

1. はじめに

産業技術総合研究所では、日本周辺海域における20万分の1海洋地質図の網羅的な作成を目的とした海域地質図プロジェクトの一環として、2022年7月及び11月に東海大学の調査実習船「望星丸」を使用してトカラ列島周辺海域において海底地質調査航海(GB22-1, GB22-2)を実施した。南西諸島において、屋久島・種子島以北及び奄美大島以南の海域は詳細な地質調査が完了しており、表層堆積図を含む海洋地質図の出版が進んでいる(例えば、板木, 2015; 池原, 2014)。本海域での調査を行うことで、南西諸島での縦断的な海域地質調査が完了する。トカラ列島周辺における海域地質調査は2020～2022年度の3年間にわたり実施され、GB22-1, GB22-2航海はその3年目として、トカラ列島西方海域及び屋久島南方海域(トカラ列島東方)に残された調査範囲を主な対象として実施された。

トカラ列島は南西諸島を北部・中部・南部に分ける地形学的境界のうち北部と中部の境界である「トカラギャップ」の周辺に位置する島嶼群の総称であり、主要な島として口永良部島、口之島、中之島、諏訪之瀬島、平島、悪石島、小宝島、宝島などから構成される。トカラ列島の西方には北部沖縄トラフの一部であるトカラ長谷が存在する。トカラ列島の東方には屋久島から奄美大島に連なる海底の地形的高まりである種子・屋久海脚と奄美海脚が存在する。

トカラ長谷は北北東-南南西に走る幅広の谷状地形で、底部に水深800～900 m程度の平坦面を持つ。一方で隣

接するトカラ列島周辺海域は水深600 m前後の平坦面が存在しており、これら2つの平坦面の境界には巽曾根、南 窯曾根、権曾根、平島曾根、五号曾根、西ノ曾根と地形的高まりが南北に列をなして存在し、沖縄トラフ底部とトカラ列島周辺の海底を区切るリッジ上の高まりとなっている。これらの高まりには島嶼部こそ存在しないものの、最も水深の浅い権曾根では水深が100 mを切っている。またトカラ長谷にも沖臥蛇堆などの地形的高まりが存在する。

トカラ列島の東方には屋久島から奄美大島に連なる海底の地形的高まりである種子・屋久海脚と奄美海脚が存在する。種子・屋久海脚は北北東-南南西に伸びる稜線を持ち、その中に屋久新曾根、ケトウ曾根などの地形的高まりが存在する。

トカラ列島の島々の多くは第四紀に活動の履歴が認められる火山島である。特に口之島、中之島、諏訪之瀬島は現在でも活発な活動の記録がある活火山である(下司・石塚, 2007)。また、島嶼部の西側を中心に多数の海丘が存在しており、未報告の海底火山が数多く存在する海域でもある。近年でも、詳細な海底地形データの解析などから海底火山地形が新規に報告されている(Minami *et al.*, 2014, 2021; 高下ほか, 2022)。これらの火山、海底火山群の活発な活動により火山性物質が周辺海域に供給されていると考えられる。

2020年度及び2021年度の海底地質調査によって、トカラ列島周辺海域では島嶼部周辺や海底火山等の地形的高まりを中心に火山起源とみられる碎屑物が分布していることが分かった(鈴木ほか, 2022, 2023)。ただしこれらの調査範囲は宝島西方を除くとトカラ列島島嶼部の東西30 km程度の範囲にとどまっており、トカラ長谷や種子・屋久海脚および奄美海脚稜線部といったより広いスケールにおいて、このような火山群からもたらされる堆積物がどのように分布しているかの詳細は明らかではない。

トカラ列島周辺の海洋環境に火山群と同様に多大な影響を与えているのが本海域付近を通過する黒潮の流路である。黒潮は大局的には東シナ海から北上して太平洋に向かうが、トカラ列島周辺で大きく東に蛇行して太平洋側へ抜けることが知られている。トカラ列島は陸地面積こそ小さいものの周辺の海底は比較的浅くなっているため、黒潮の蛇行時は地形的な制約に伴って流速の増加、黒潮反流の形成、下流側での活発な乱流の形成などの様々な現象が観測されている(例えば、Tsutsumi *et al.*, 2017)。黒潮に関連する観測、研究は海洋表層部に着目したものが多かったが、トカラ列島周辺での海底地質調査により、宝島周辺海域およびトカラ列島周囲30km程度のエリアでは、黒潮の蛇行と島嶼部の浅海域通過に伴って底層流の流速が高い値を取り、波長数十cm程度のリップルや波長数百m程度のサンドウェーブなどのベッ

ドフォームが流速の変化に応じて特定の水深で形成することや、局所的に生物源碎屑物や細粒碎屑物が吹き溜まりのように集積する堆積場が存在することが明らかになった(鈴木ほか, 2022)。蛇行した黒潮が最終的に太平洋に流出する際に通過する最大の地形障壁である種子・屋久海脚の構成岩体は「古期岩類」と呼称され、形成年代や岩種等が不明であり(本座ほか, 1977)、その周囲の底質との接続や遷移についても、すでに海域地質調査が完了している屋久島・種子島付近のエリア(池原, 2014)を除き詳細な地質調査は実施されていない。

本論文では、2022年度に実施したGB22-1, GB22-2航海で採取した堆積物について、主要な底質とその分布、それらを制御していると考えられる要因について船上記載データと生物試料の分析結果に基づいて記述するとともに、これらから示唆されるトカラ列島西方海域および屋久島南方海域の底質分布とその制御要因について検討を行った。

2. 調査・分析方法

2.1 表層試料採泥

表層採泥の調査仕様及び各種分析手法は2020年度及び2021年度調査(鈴木ほか, 2022, 2023)と重複するが、念のため再度記述する。表層堆積物の組成や分布を把握するため、木下式グラブ採泥器(Kグラブ)による表層採泥をGB22-1航海では屋久島南方の海域において31地点、GB22-2航海でトカラ列島西方の海域において63地点の計94地点で実施した(第1図)。Kグラブには海底カメラ、ニスキン採水器、CTD(CTD90M, Sea & Sun Marine Tech社製)を装備し、海底面の画像撮影、底層水の採取、水質データの連続取得を行った。Kグラブは海中下降時の動揺により着底前に誤作動する可能性がある。これを防ぐため、超音波高度計と連動して海底上7mで解除される電磁石式の誤作動防止システム(板木, 2018)を運用した。海底カメラは超音波高度計と連動させ、海底面上2mで作動し、海底面の写真を撮影する。ニスキン採水器も同様に超音波高度計と連動し、海底面上7mで蓋が閉まるようセットした。これらの超音波高度計と連動する装置群と独立に、降下中の水質データを連続取得するためにCTDを設置した(齋藤ほか, 2024)。また、降下・上昇中の回転や採取時の転倒といった投入中の採泥器の状態及び採取した堆積物や海底写真の方位を把握するために方位傾斜計を設置した。海底カメラには10cm間隔で平行に設置されたレーザーポインター2器から構成されるレーザースケールを装備し、海底カメラ撮影時に照射することで被写体の大きさを把握することを試みた。一部の地点では音速度計Midas(Midas MiniSVP, Valeport社製)を装着し、水中音速度の直接観測を行った。また一部の地点ではアクションカメラGoproを横向きに装着し、海中及び海底の動画撮影を実施した。GB22-1/2航海で

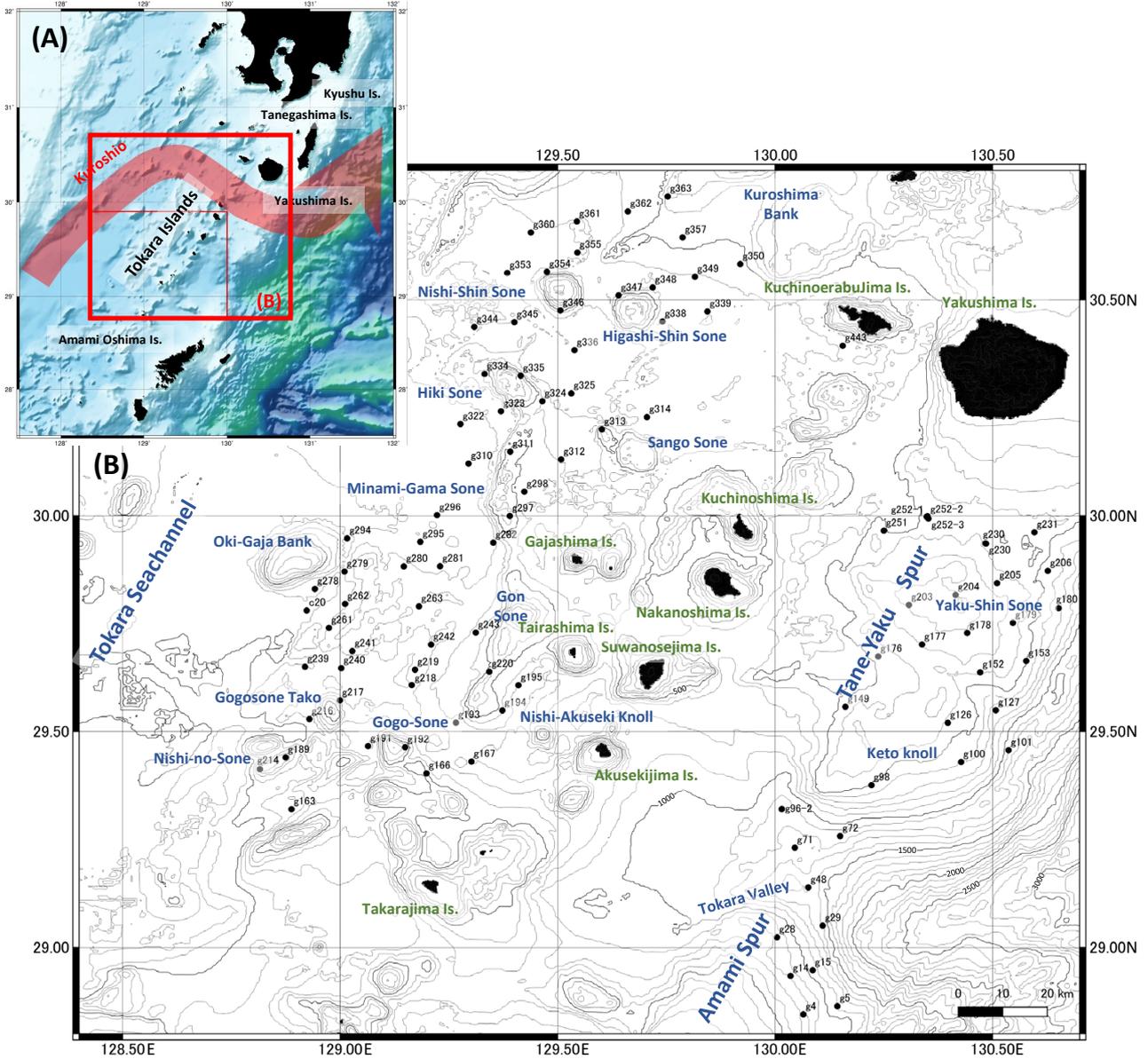
は、海洋生物分布や懸濁粒子動態、海底微地形の空間的広がりを把握するため、一部地点でアクションカメラをKグラブに設置して海中・海底の水平方向の動画撮影を実施した。使用したカメラは市販のGoPro社製HERO4で、外付けバッテリーとしてAnker製Astro E1を用いた。アクションカメラにはディレイタイマー機能が備わっていないため、Kグラブに取り付けた時点から取り外すまでの動画を撮影し続ける。アクションカメラを収納する耐圧容器には水深3000m対応の有限会社 エヌティエフ製SVH-HERO3-3000を用いた。水中ライトとして有限会社 エヌティエフ製SDL-26HE-Pを用い、圧力点灯スイッチによって水深5mで点灯するよう設定して使用した。アクションカメラを収納した耐圧容器は水平方向を撮影するように、水中ライトはその上方から伏角45度程度で照射するよう、Kグラブフレーム部にアングルやホースバンド等を用いて固定した。

Kグラブの揚収後、取得した堆積物表面の写真撮影を行った。堆積物が充分量採取された場合は、採取された堆積物にプラスチック製の縦5cm、横6cm、高さ30cmの有田式角柱容器を貫入し、柱状試料(以下サブコア)を採取した。サブコアは1地点につき2本採取した。1本は保存用とし、もう一本は実験室において分割(厚さ1cmのスラブ試料と、5cmの角柱試料)した。角柱試料は断面を整形した後、写真撮影と肉眼記載、CT像取得に用いた。スラブ試料は軟X線写真による堆積構造解析に使用した。サブコア試料採取と並行し、以下の試料分取を試料の量に応じて行った。

- ・岩石磁気的研究用のキューブ試料を定方位で1個採取。
- ・粒子組成分析及び地球化学分析用の試料として、表層から約2cmをスパチュラでプラスチック容器に採取。
- ・採取した底質に応じて、堆積物DNA、コケムシ類(コケムシ動物門; Phylum Bryozoa)、サンゴ類(刺胞動物門; Phylum Cnidaria)、浮遊性有孔虫(有孔虫門; Phylum Foraminifera)、底生有孔虫(有孔虫門; Phylum Foraminifera)、貝形虫(節足動物門; Phylum Arthropoda)、ウシオダニ類(節足動物門; Phylum Arthropoda)、クモヒトデ類(棘皮動物門; Phylum Echinodermata)分析用の試料をそれぞれスパチュラで棒瓶ないしビニール袋に採取した。

これらの試料分取を実施した後、残った試料を底面積1815cm²のプラスチックバケツに移し、おおよその試料体積を確認した。バケツに移した試料は開口径5mmのステンレスメッシュにて篩過し、5mmより大きな残渣を礫、二枚貝、巻貝、翼足類、腕足類、サンゴ類などに可能な限り分類してビニール袋に採取した。ニスキン採水器から得た底層水は、pHの測定を行った後、塩分測定及び水素・炭素同位体測定に用いる試料をそれぞれ棒瓶、バイアル瓶に分取した。

サイトg96ではボックスコーラーによる大容量表層採



第1図 (A) 調査海域位置図. (B) GB22-1 及びGB22-2 航海の実施範囲における堆積物試料採取地点図. 海底地形は岸本 (2000) に基づく.
 Fig. 1 (A) Location of the sampling area. (B) Sampling points of K-grab on GB22-1 and GB22-2 cruises. Sea-bottom topography is based on Kishimoto (2000).

泥を試みた。ボックスコーラーの投入は2回実施したが、1回目はトリガーが十分に作動せず、ジョーの片方が閉鎖しない状態で揚収された。2回目の投入では着底後の繰り出し余長を5mとすることでジョーの両方を閉鎖することができたが、コーラー下部にメインワイヤーが入り込んだためにコーラーが横向きに揚収され、ほとんどの試料が流失してコーラー内壁にわずかに付着した堆積物が回収された。メインワイヤーがコーラー下部に入り込む可能性を下げるため、GB22-1航海以後のボックスコーラー使用時(2022年8月のMR22-06C, 2023年1月の

白鳳丸航海KH-23-1)にはメインワイヤーとコーラーの接続部付近を塩ビパイプ等で養生し、メインワイヤーがコーラーから離れた位置に垂れ下がる構造にすることで正常に作動させることができた。

2.2 柱状試料採泥

本海域での典型的な堆積速度や堆積物組成、堆積環境の時代変化を把握するため、沖縄トラフ北東縁のサイトc20において大口径グラビティコーラー(バレル長5m)を用いた柱状試料採泥を行った(第1図)。採取時に欠損

するコア最上部を擾乱なく採取するため、パイロットとして簡易式マルチプルコアラー(アシュラ式採泥装置)を用いた。グラビティコアラー本体のフリーフォールは3 mに設定し、ヘッド部には方位傾斜計を装着した。採取したグラビティコア試料は船上でアーカイブハーフとワーキングハーフに分割した。アーカイブハーフは表面を整形後、実験室内で写真撮影、肉眼記載、分光測色計コニカミノルタCM-600dを用いた1 cm間隔での色測定を行った。

アシュラ式採泥装置で取得した3本の表層堆積物コアは、回収率が高い順に、1本目はアーカイブハーフとワーキングハーフに分割して、アーカイブハーフは表面を整形後、グラビティコア試料と同様に実験室内での写真撮影、肉眼記載、1 cm間隔での色測定を行った。2本目、3本目はアーカイブ及びCT像取得用、サンプリング用として分割は行わずにホールコアのまま持ち帰った。

2.3 軟X線像及びCT像取得

グラフ試料から採取した有田式サブコア及び柱状試料から採取したスラブ試料を用いて、堆積構造を把握するため軟X線像撮影を実施した。実施条件は鈴木ほか(2022)と同様である。撮影条件は電流1.5 mA、電圧40 kVとし、露光時間は20秒に設定した。

また、堆積物の内部構造を三次元的に把握するためにX線CT装置(Supria Grande, 日立製作所製, 産総研 地質調査総合センター共同利用実験室)を用いた。CT像撮影には有田式サブコアより分割した角柱試料及び柱状試料のアーカイブハーフを用いた。撮影条件は電流120 mA、電圧80 kV、撮影視野90 mmとした。画像再構成にあたってスライス厚を0.625 mm、マトリクス数を512×512と設定し、再構成フィルターとして軟物質用フィルター(人体・内臓観察用)を用いた。

2.4 コケムシ類分析

Kグラフ採泥器が船上に揚収された後、コケムシ類分析用として約100 ccの堆積物試料を分取し、常温保存した。採泥時の目視観察では、多くの地点で試料中にコケムシ骨格は含まれていなかった。目視観察でコケムシ骨格が認められた地点g179(水深362 m)・g231(水深476 m)・g335(水深257 m)について、検鏡を行った。試料を開口0.125 mmの篩で水洗し、篩上に残った堆積物を自然乾燥した。乾燥した試料から開口4 mmの篩で岩塊を取り除き、2.5 g以上5.0 g未満となるよう分割・秤量し、検鏡試料とした。この試料に含まれるコケムシ類の骨格破片を双眼実体顕微鏡下で拾い出した。コケムシ骨格の合計重量を秤量して、堆積物中のコケムシ骨格含有率を算出した。

2.5 浮遊性有孔虫分析

群集組成分析用の試料は採取後、船上で直ちにローズ

第1表 砂粒子サイズ浮遊性有孔虫殻の保存状態の検討及びサイズ計測を行なった地点と検討数のまとめ。#PFは各試料から抽出した全ての個体数、#excludedはそのうち分析から除外した破損個体数を表す。

Table 1 Summary of study locations and sample sizes for checking preservation states and size analysis of sand grain-sized planktic foraminiferal tests. #PF and #excluded indicate the total number of picked specimens for each sample and that of excluded from analyses, respectively.

sample	#PF	#excluded
g5	265	3
g29	303	4
g71	254	15
g101	277	11
g180	410	20
g214	287	5
g239	260	13
g278	226	8
g296	240	8
g323	289	30
g360	319	21

ベンガル染色液を添加し冷暗所に保管した。この染色液はろ過海水で希釈した10%ホルマリン溶液に0.5 g/Lのローズベンガルを加え、四ホウ酸ナトリウムで緩衝した溶液である。

室内に持ち帰った試料を開口径63 µmの篩上で水洗し泥質分を除去し、篩上の粒子に付着した余分なローズベンガルを除去するため、温水(約40℃)で十分に水洗した。その後、それぞれの残渣を濾紙上に回収し、60℃で乾燥させた後、63 µm以上の粒子については有孔虫分析用として重量を測定したうえで封筒に保存した。各試料は微化石用分割器で適宜分割し、径125 µm以上の浮遊性有孔虫について計200個体を目安に分割試料中に含まれるすべての個体を拾い出し、種の同定・計数を行ったのち各種の産出頻度(%)を算出した。種の同定はSchiebel and Hemleben (2017)とMorard *et al.* (2019)に基づいて行った。

群集組成検討用と別途採取した試料に含まれる63~2000 µmの浮遊性有孔虫殻について、保存状態及びサイズ分布の検討を行なった。試料処理、保存状態の評価及びサイズ計測の手法は基本的に鈴木ほか(2023)に従う。本研究では、各検討試料から200~400個体前後の浮遊性有孔虫殻を抽出した(第1表)。この時、多少の破損があっても全体の3分の2以上の殻が保たれているものは1個体として扱った。各試料において拾い出した全個体のうち、破損個体は概ね1~6%であったが、g323試料のみ約10%と少し高い割合で含まれる。

破損個体を除く全ての個体について、実体顕微鏡下に

において保存状態を観察し、殻表面の着色や鈹物粒子の付着の程度により定性的に区分されるグループ(ランクA～D; 鈴木ほか, 2023)ごとに計数を行った。乾燥状態で半透明の殻表面にほぼ着色が認められないものをランクA、殻表面に明らかに黄色-黄褐色の着色があり少量の鈹物粒子の付着なども認められるが、表面の微細構造を保持し殻自体の変質が著しくないと考えられるものをランクB、殻表面に黄褐色-褐色の着色や鈹物粒子の付着が著しく、殻の部分的な破損、変質や充填物の固結などがしばしば認められるものをランクC、殻表面構造あるいは初生的な殻を完全に失った橙色の個体をランクDとした。またそれらの個体群について、双眼実体顕微鏡OLYMPUS SZX16に接続した顕微鏡用デジタルカメラOLYMPUS DP74により取得した画像をソフトウェアOLYMPUS Streamを用いて解析することにより、サイズ計測を行った。本研究では鈴木ほか(2023)と同様に、サイズを代表するパラメータとして予察的に最大径と最小径について検討を行った。

2.6 サンゴ類分析

Kグラフにより採泥したGB22-1およびGB22-2の全93地点中、堆積物試料が十分量あった72地点においてサンゴ分析用に500 cc程度の堆積物を採取し常温保存した後、持ち帰った。その後、実験室において採取した堆積物を4 mm, 2 mm, 500 μ m, 74 μ mの各目合いの篩を用いて順次水洗し残渣中から全てのサンゴ類を採取した。採取されたイシサンゴ類については、その全てについて双眼実体顕微鏡を用いて種の同定を行った。また、Kグラフに付属した海底カメラによる海底写真を用いてイシサンゴ、ヒドロサンゴの生息状況を検討した。

2.7 遺伝子抽出

深海底は堆積物とその上の水柱に生息する生物に関する遺伝情報を保存する地球規模のDNA貯蔵庫であると言われている(Pawlowski *et al.* 2011)。そのため、大量の遺伝子情報を取得可能なハイスループットシーケンサーを用いて、深海堆積物の生物多様性情報を抽出し解析する、いわゆる環境DNA (environmental DNA : eDNA) 分析の手法が普及し始めている(Jackson *et al.* 2016 ; Pawlowski *et al.* 2020ほか)。しかしこの手法で通常用いられるDNA産物は、保存性が高く、特に低温で酸素が乏しい深海堆積物では長い期間のDNAが蓄積している可能性もあり、得られた生物多様性情報がどの程度の時間スケールを反映しているかは不明な点が多い。また、生物多様性の動向をモニタリングする方法として、環境RNA (environmental RNA : eRNA) が注目され始めてきている(例えば, Yates *et al.* 2021)。eRNAはeDNAよりも分解されやすく(Yates *et al.* 2021)、代謝が速いため、ある特定のサンプリング地点において、より生物の生息環境の現場を反映した生

物多様性情報の取得に優れた遺伝子情報となりうる。しかし、実際、深海堆積物において、eRNAがどのような環境条件下で、どの程度残存しているかは情報が非常に限られている(Kitahashi *et al.* 2020)。そこで、本航海で得られた採泥試料を用いて、堆積物中のDNA及びRNAの存在量について比較検討を実施した。

遺伝子解析用の試料として、充分量の底質試料が回収できた72地点において、使い捨ての滅菌済みプラスチックスプーンを用いてユニパックに湿重量10 g程度を採取した。採取した試料は船内の-60 $^{\circ}$ Cの冷凍庫内で保存、下船時に-15 $^{\circ}$ C以下で保冷して輸送し研究室に持ち帰り、研究室では-20 $^{\circ}$ Cで保管した。底質は船上でグラフ試料表面の肉眼観察に基づき礫、砂、泥の3種類に簡易的に分類した。この分類を参考にして、泥に分類された試料を対象とし、RNAとDNAの抽出をおこなった。

底質試料は、PowerMax Soil RNA Isolation kit (QIAGEN, Valencia, CA, USA)を用いて、RNA抽出をおこなった。抽出の主な操作はキットの手順書に従った。Griffiths *et al.* (2000)の手法を参考に、RNA抽出をおこなった後、同じ資料からDNAの回収もおこなった。NanoDrop微量分光光度計(Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA)を用いて、DNA及びRNA濃度を測定した。その結果を、堆積物1 gあたりに含まれるDNAあるいはRNA量(mg/g)として算出した。統計解析にソフトウェアR(R Core Team, 2023)を用いた。

3. 堆積物採取結果

3.1 表層堆積物採取結果

GB22-1/2航海ではKグラフおよびボックスコーラーにより表層採泥を実施した95地点のうち全地点(水深181 ~ 1438 m)において表層堆積物試料の採取に成功した。取得した堆積物について、採取緯度経度、着底時の水深、残渣分類結果、サブコア試料ないしタッパー試料の肉眼観察に基づく船上記載結果を第2表に示した。また、Kグラフによる表層採泥を実施した94地点のうち84地点で海底写真の撮影に成功した。サイトg101, g203, g204, g205, g216, g310, g322, g323, g325, g361での投入時は海底カメラが作動せず、写真を撮影できなかった。2021年度までの調査と比較すると海底カメラでの撮影成功率は低下しており、GB21-3航海から本格的に導入されたレーザースケール増設に伴う配線の複雑化により、結線不良等の発生確率が上昇していると考えられる。海底写真及び方位傾斜計から得た、着底時及び海底上約2 mにおける採泥器方位(真北からの時計回り角度で表記)、写真から判別できる底質及びリップルの有無、追加観測機器(GoproおよびMidas)装着の有無を第3表に示した。11月20日の観測時は方位傾斜計の電池切れにより、方位データを取得できなかった。サイトg252ではグラフ採泥器が作動しなかったため、3回の投入を

GB22-1, GB22-2 航海における表層採泥調査結果 (鈴木ほか)

第2表 GB22-1及びGB22-2航海で採取された採泥試料の採取位置, 着底時の水深, ワイヤー長, 試料容積と肉眼観察に基づき主要構成物, 5 mm以上残渣として回収された生物遺骸の一覧.

Table 2 List of sediment samples collected during the GB22-1 and GB22-2 cruises, showing position, water depth, and wire out at the landing time. Major components based on macroscopic observation, sample volume, and biological remains collected as a residue larger than 5 mm are also shown.

Cruise	Sample name	Sampler	date (Y/M/D)	JST	Latitude (deg-min)	Longitude (deg-min)	Depth (m)	Wire out (m)	Sample volume (L)	major component based on VCD	Organic residue
GB22-1	g4	K-grab	2022/7/20	7:07:35	130-3.9072 E	28-50.6977 N	737	747.9	9	foraminifera rich medium sand interbedded by coarse sandy bioclastic foraminifera rich medium sand(8 cm)	Mollusk, Brachiopod, Arthropod, Bryozoa, Cnidaria
GB22-1	g5	K-grab	2022/7/20	16:07:38	130-8.5982 E	28-51.8374 N	1044	1044	20	silt-sized ash overlapped by poorly sorted foraminifera Bearing puniceous coarse to fine sand(11 cm)	Sponge, Ragworm
GB22-1	g14	K-grab	2022/7/20	8:27:03	130-2.1407 E	28-56.0263 N	818	833.1	0	Mn-coated rock fragments (sandstone?) and sponge-rich bioclastic fine sand(0 cm)	Sponge
GB22-1	g15	K-grab	2022/7/20	14:41:17	130-5.1938 E	28-56.8365 N	1070	1072.3	4	foraminifera rich (>90%) medium to fine sand with dark patch of scoria medium sand(6 cm)	Sponge
GB22-1	g28	K-grab	2022/7/20	9:42:00	130-0.2708 E	29-1.4208 N	825	837.8	0	Mn-coated rock fragments and foraminifera bearing siliciclastic medium sand(0 cm)	
GB22-1	g29	K-grab	2022/7/20	13:07:19	130-6.5723 E	29-3.0273 N	1438	1451.4	9	foraminifera rich fine to very fine sand with ash patched by bioclastic medium sand(13 cm)	Mollusk, Brachiopod
GB22-1	g48	K-grab	2022/7/20	11:15:54	130-4.586 E	29-8.3393 N	1402	1410.5	0	poorly sorted foraminifera rich scoriaceous fine sand(0 cm)	
GB22-1	g71	K-grab	2022/7/22	12:00:06	130-2.7305 E	29-13.8656 N	1277	1283.1	>36	foraminifera bearing ash-rich(?) silt(21 cm)	Mollusk
GB22-1	g72	K-grab	2022/7/22	10:21:07	130-8.9807 E	29-15.4838 N	1186	1195.7	27	foraminifera rich scoriaceous fine to very fine sand patched by foraminifera bearing ash rich(?) scoriaceous very fine sand including sub-rounded punice gravels(14 cm)	
GB22-1	g96-2	box corer	2022/7/22	15:05:30	130-0.9419 E	29-19.2505 N	1180	1172.5	4	foraminifera bearing scoriaceous medium sand(0 cm)	
GB22-1	g98	K-grab	2022/7/22	8:45:43	130-13.3079 E	29-22.5663 N	532	543.6	0	foraminifera bearing scoriaceous coarse sand overlapped by bioclast-rich sub-rounded scoria granules (5 cm)	Mollusk, Echinodermata, Brachiopod, Sponge, Cnidaria
GB22-1	g100	K-grab	2022/7/17	10:45:43	130-25.673 E	29-25.7631 N	606	618.5	13	poorly sorted foraminifera Bearing scoriaceous coarse to fine sand(0 cm)	
GB22-1	g101	K-grab	2022/7/17	12:10:17	130-32.216 E	29-27.4103 N	1105	1121.5	>36	bioclastic foraminifera and sponge spines rich very fine sand to silt(19 cm)	
GB22-1	g126	K-grab	2022/7/17	9:32:54	130-23.8378 E	29-31.2259 N	443	453.2	0	poorly sorted bioclast-rich scoriaceous sub-angular very coarse to medium sand(0 cm)	
GB22-1	g127	K-grab	2022/7/17	14:02:40	130-30.4567 E	29-32.9601 N	740	740.8	27	interbedding of bioclastic coarse to medium sand and very coarse sandy bioclast included sediment(14 cm)	Mollusk, Echinodermata, Brachiopod, Bryozoa, Cnidaria
GB22-1	g149	K-grab	2022/7/23	18:01:18	130-9.7059 E	29-33.4438 N	493	490.4	4	cross-bedding of bioclast rich siliciclastic very coarse to coarse sand, foraminifera rich siliciclastic coarse to medium sand and foraminifera bearing siliciclastic medium sand(9 cm)	Mollusk, Echinodermata, Brachiopod, Arthropod, Cnidaria
GB22-1	g152	K-grab	2022/7/17	15:22:34	130-28.3016 E	29-38.2419 N	409	408.9	0	bioclastic fine sand(0 cm)	
GB22-1	g153	K-grab	2022/7/16	14:25:49	130-34.6523 E	29-39.8173 N	521	527.3	15	interbedding of foraminifera bearing bioclastic m. sand and foraminifera rich bioclastic fine sand(12 cm)	Mollusk, Bryozoa, Cnidaria
GB22-1	g176	K-grab	2022/7/23	14:00:22	130-14.2326 E	29-40.4511 N	469	469.2	9	foraminifera rich bioclastic coarse to medium sand with Mn-coated scoria(?) gravels(11 cm)	Mollusk, Echinodermata, Brachiopod, Sponge, Cnidaria
GB22-1	g177	K-grab	2022/7/23	15:07:47	130-20.2804 E	29-42.1053 N	308	304.6	0	bioclast-rich siliciclastic sub-angular medium sand(0 cm)	
GB22-1	g178	K-grab	2022/7/23	16:01:09	130-26.5134 E	29-43.7068 N	242	239.3	0	poorly sorted bioclast-rich siliciclastic medium sand(0 cm)	
GB22-1	g179	K-grab	2022/7/16	15:57:37	130-32.811 E	29-45.1351 N	362	363.3	20	cross-bedding of graded sediment of bioclastic coarse to medium sand to foraminifera rich medium sand(14 cm)	Shell, Echinodermata, Brachiopod, Arthropod, Bryozoa, Sponge, Coral
GB22-1	g180	K-grab	2022/7/16	12:44:37	130-39.1202 E	29-47.1508 N	682	696.4	9	foraminifera bearing bioclastic poorly sorted medium to very fine sand(7 cm)	Mollusk, Shark, Sponge, Coral, Cnidaria, wood fragments
GB22-1	g203	K-grab	2022/7/15	10:04:38	130-18.4684 E	29-47.6068 N	181	186.7	0	sponge fragments(-3 cm) and bioclast-rich siliciclastic sub-angular coarse to medium sand(0 cm)	
GB22-1	g204	K-grab	2022/7/15	8:36:40	130-24.9079 E	29-49.0012 N	208	218.5	0	thin Mn-coated rock fragments and poorly sorted bioclast-rich siliciclastic sub-angular very coarse to medium sand(0 cm)	
GB22-1	g205	K-grab	2022/7/16	17:15:32	130-30.6317 E	29-50.6438 N	338	334.1	0	very coarse sand size bioclasts and foraminifera bearing siliciclastic coarse sand(0 cm)	
GB22-1	g206	K-grab	2022/7/16	11:21:04	130-37.629 E	29-52.3552 N	590	619.6	18	bioclast-bearing siliciclastic fine sand with foraminifera Interbedded by foraminifera rich siliciclastic medium sand(14 cm)	Shell, Brachiopod, Bryozoa, Sponge, Coral
GB22-1	g230	K-grab	2022/7/16	8:32:58	130-29.0453 E	29-56.1658 N	430	446.5	0	no sample(cm)	Organic remains
GB22-1	g230	K-grab	2022/7/16	8:37:46	130-29.1075 E	29-56.1313 N	423	433	0	organic fragments (coral, pteropods, sponge)(0 cm)	Organic remains

第2表 続き.
Table 2 Continued.

GB22-1	g231	K-grab	2022/7/16	9:53:37	130-35.7809 E	29-57.6992 N	476	494.1	>36	cross-bedding of graded sediment of bioclastic very coarse sand to foraminifera-rich bioclastic coarse sand (11 cm)	Mollusk, Echinodermata, Arthropod, Bryozoa, Sponges, Cnidaria
GB22-1	g251	K-grab	2022/7/15	14:04:56	130-15.0061 E	29-57.9378 N	469	482.6	22	foraminifera-rich bioclastic well-sorted fine sand and coarse patches(15 cm)	Mollusk, Echinodermata, Brachiopod, Arthropod, Sponges, Cnidaria
GB22-1	g252-3	K-grab	2022/7/15	17:05:48	130-21.1617 E	29-59.6174 N	485	508.3	20	siliclastic fine sand interbedded by bioclastic medium to fine sand with shell fragments(14 cm)	Mollusk, Echinodermata, Brachiopod, Arthropod, Bryozoa, Sponges, Cnidaria, Ragworm
GB22-2	g163	K-grab	2022/11/15	8:47:05	128-53.2922 E	29-19.219 N	771	765.5	4	foraminifera rich pumiceous medium sand(4 cm)	Brachiopod, Sponge
GB22-2	g166	K-grab	2022/11/9	10:16:45	129-11.922 E	29-24.1966 N	532	520.1	9	very coarse to coarse sized bioclasts with medium sand sized foraminifera and strongly altered pumice pebbles(0 cm)	Snail, Coral, Sponge, Pteropod, Bivalve
GB22-2	g167	K-grab	2022/11/9	8:55:25	129-18.1157 E	29-25.8324 N	797	792.6	24	cross-bedding of foraminifera bearing siliclastic medium sand and pumiceous very coarse sand(14 cm)	Bivalve, Snail, Sea Urchin, Barnacle, Brachiopod, Sponges, Coral, Lugworm
GB22-2	g189	K-grab	2022/11/15	11:14:31	128-52.493 E	29-26.409 N	782	784.5	0	granules and pebbles of pumice fragments(0 cm)	Wood fragments, Organic remains, Fish
GB22-2	g191	K-grab	2022/11/9	12:38:05	129-3.8497 E	29-27.98 N	825	819.8	22	foraminifera bearing ash-rich(?) very fine sandy silt(16 cm)	Sponge, Brachiopod, Bivalve, Bryozoa, Organic remains, Coral, Snail, Lugworm, Sea Urchin, Barnacle
GB22-2	g192	K-grab	2022/11/9	11:24:33	129-8.981 E	29-27.8341 N	407	400.7	0	altered sub-rounded limestone cobble(0 cm)	Sponge, Scaphopoda, Coral, Snail
GB22-2	g193	K-grab	2022/11/9	17:12:29	129-15.9838 E	29-31.2481 N	760	755.2	22	cross-bedding of foraminifera rich (>80%) medium sand and foraminifera rich coarse sand(11 cm)	Barnacle, Coral, Sea Urchin, Pteropod, Sponge, Brachiopod, Bryozoa, Bivalve
GB22-2	g194	K-grab	2022/11/10	8:20:05	129-22.3829 E	29-32.937 N	669	665.9	4	foraminifera rich volcanoclastic (?) fine to very fine sand(5 cm)	Bivalve, Snail, Sea Urchin, Barnacle, Brachiopod, Bryozoa, Organic remains
GB22-2	g195	K-grab	2022/11/10	9:28:48	129-24.5967 E	29-36.446 N	673	664	13	foraminifera rich bioclastic coarse to fine sand(12 cm)	Sponge, Lugworm
GB22-2	g214	K-grab	2022/11/15	10:09:04	128-48.9356 E	29-24.7742 N	616	616.9	20	cross-bedding of foraminifera rich bioclastic medium to fine sand and coarse to medium sand(13 cm)	Organic remains, Sponge
GB22-2	g216	K-grab	2022/11/15	12:40:20	128-55.7621 E	29-31.7547 N	905	902.8	33	foraminifera rich medium to fine sand(16 cm)	Organic remains, Sponge
GB22-2	g217	K-grab	2022/11/9	14:07:05	128-59.9688 E	29-34.3331 N	776	767.5	24	foraminifera bearing very fine sand to silt patched by foraminifera rich pumiceous medium to fine sand(20 cm)	Sponge, Bivalve, Sea Urchin
GB22-2	g218	K-grab	2022/11/9	15:42:43	129-9.8822 E	29-36.4694 N	820	818.2	31	cross-bedding of foraminifera rich bioclastic en sand and foraminifera rich medium to fine sand(16 cm)	Sponge, Organic remains
GB22-2	g219	K-grab	2022/11/10	12:03:24	129-10.3399 E	29-38.6034 N	838	835.4	22	pebble size coral and sponge fragments(0 cm)	Sea Urchin, Lugworm, Sponge, Coral, Bryozoa, Wood fragments
GB22-2	g220	K-grab	2022/11/10	10:33:42	129-20.5779 E	29-38.3363 N	433	427.5	0	foraminifera bearing pumiceous fine to very fine sand(19 cm)	Sponge, Wood fragments
GB22-2	g239	K-grab	2022/11/15	14:09:25	128-55.1572 E	29-39.0151 N	900	898.3	31	poorly sorted foraminifera bearing bioclastic fine to very fine sand with fresh pumice gravel, overlapped by altered sub-rounded pumice gravel(7 cm)	Sea Urchin, Brachiopod, Sponge, Lugworm
GB22-2	g240	K-grab	2022/11/15	15:31:13	129-0.1583 E	29-38.8287 N	869	867.1	2	foraminifera rich medium sand with sub-angular fresh pumice pebbles(10 cm)	Lugworm, Bivalve, Snail, Sponge, Coral
GB22-2	g241	K-grab	2022/11/15	16:36:37	129-1.6806 E	29-41.1921 N	796	794.7	18	interbedding of foraminifera rich bioclastic medium to fine sand and foraminifera bearing silt(21 cm)	Pteropod, Brachiopod, Lugworm, Sponge
GB22-2	g242	K-grab	2022/11/10	13:15:02	129-12.5548 E	29-42.0949 N	822	819.1	31	poorly sorted foraminifera rich bioclastic medium to fine sand(11 cm)	Sponge
GB22-2	g243	K-grab	2022/11/10	14:30:29	129-18.7158 E	29-43.7582 N	649	648	20	fragments of angular pumice pebbles(0 cm)	Bivalve, Sponge, Lugworm
GB22-2	g261	K-grab	2022/11/21	7:15:56	128-58.4569 E	29-44.4236 N	729	732.4	0	poorly sorted foraminifera rich fine to very fine sand(22 cm)	Sea Urchin, Lugworm
GB22-2	g262	K-grab	2022/11/16	10:04:19	129-0.6828 E	29-47.754 N	804	802.2	20	cross-bedding of foraminifera bearing pumiceous fine sand and foraminifera rich medium sand(11 cm)	Snail, Sponge, Lugworm, Organic remains
GB22-2	g263	K-grab	2022/11/16	8:23:09	129-10.8777 E	29-47.4121 N	769	764.2	13	clayey silt with poorly sorted medium sand to silty patch rich in sponge spines(20 cm)	Sponge, Lugworm
GB22-2	g278	K-grab	2022/11/16	11:21:48	128-56.5182 E	29-49.8252 N	901	896.4	31	well sorted foraminifera rich fine sand overlapped by poorly sorted(?) bioclastic medium to fine sand(11 cm)	Bivalve, Snail, Sea Urchin, Sponge, Lugworm, Organic remains
GB22-2	g279	K-grab	2022/11/16	12:35:27	129-0.6011 E	29-52.2538 N	808	802.4	18	poorly sorted foraminifera bearing volcanoclastic medium to fine sand(4 cm)	Pteropod, Bivalve, Sponge, Lugworm, Wood fragments
GB22-2	g280	K-grab	2022/11/16	15:18:11	129-8.7889 E	29-52.9697 N	757	747.3	2	poorly sorted foraminifera rich bioclastic fine sand to silt(21 cm)	Pteropod, Sponge
GB22-2	g281	K-grab	2022/11/17	11:15:39	129-13.79 E	29-52.9927 N	822	814.9	29	foraminifera medium bearing bioclastic fine sand to silt(23 cm)	Pteropod, Snail, Sea Urchin, Brachiopod, Sponges, Coral, Lugworm, Organic remains
GB22-2	g282	K-grab	2022/11/10	16:15:18	129-21.1303 E	29-56.2704 N	850	847.1	>36	cross-bedding of foraminifera bearing volcanoclastic coarse sand and foraminifera rich bioclastic medium to fine sand(13 cm)	Brachiopod, Sponges, Lugworm, Wood fragments
GB22-2	g294	K-grab	2022/11/16	13:54:42	129-0.9681 E	29-56.8649 N	916	913.2	15	poorly sorted foraminifera bearing clayey silt(22 cm)	Sponge, Lugworm
GB22-2	g295	K-grab	2022/11/16	16:25:01	129-11.066 E	29-56.3813 N	894	887.9	7	foraminifera bearing bioclastic fine to very fine sand(12 cm)	
GB22-2	g296	K-grab	2022/11/17	12:44:57	129-13.3687 E	30-0.0965 N	891	888.6	>36		

GB22-1, GB22-2 航海における表層採泥調査結果 (鈴木ほか)

第2表 続き.
Table 2 Continued.

GB22-2	g297	K-grab	2022/11/21	18:50:52	129-23.4117 E	29-59.9718 N	452	453.7	0	very coarse sand size pumice grain(0 cm)	Coral
GB22-2	g298	K-grab	2022/11/21	19:44:49	129-25.4139 E	30-3.3488 N	561	564.5	2	foraminifera rich bioclastic medium to fine sand(4 cm)	Sponge, Lugworm
GB22-2	g310	K-grab	2022/11/17	14:17:19	129-17.7152 E	30-7.2529 N	888	883.8	>36	massive foraminifera bearing silty clay(20 cm)	Lugworm, Sponge, Snail, Peropod
GB22-2	g311	K-grab	2022/11/11	13:07:35	129-23.4695 E	30-8.9126 N	506	509.5	0	foraminifera rich siliciclastic coarse to medium sand and Mn-coated sub-angular pebbles(0 cm)	Sea Urchin, Coral, Sponge, Brachiopod, Peropod, Bryozoa, Bivalve, Snail, Organic remains
GB22-2	g312	K-grab	2022/11/11	14:17:40	129-30.4919 E	30-7.8356 N	615	610.6	11	foraminifera rich medium sand with dark band (biotite rich?)(13 cm)	Wood fragments, Organic remains, Sponge, Bivalve, Lugworm
GB22-2	g313	K-grab	2022/11/11	15:28:37	129-36.1139 E	30-12.0166 N	495	509.5	24	foraminifera rich bioclastic very coarse to medium sand(13 cm)	Wood fragments
GB22-2	g314	K-grab	2022/11/11	16:35:05	129-42.3276 E	30-13.7204 N	680	675.1	27	foraminifera bearing bioclastic fine to very fine sand(16 cm)	Peropod, Bivalve, Sponge
GB22-2	g322	K-grab	2022/11/17	16:18:09	129-16.5997 E	30-12.754 N	881	919	>36	foraminifera bearing bioclastic very fine sandy silt-patched by pumice rich very fine sand(23 cm)	
GB22-2	g323	K-grab	2022/11/17	17:33:48	129-22.1934 E	30-14.5289 N	890	886.4	31	poorly sorted foraminifera bearing pumiceous medium to fine sand with altered pumice gravels(19 cm)	
GB22-2	g324	K-grab	2022/11/11	11:44:59	129-27.8983 E	30-15.934 N	597	586.2	0	foraminifera bearing siliciclastic sub-rounded coarse to medium sand with bryozoa fragments(0 cm)	
GB22-2	g325	K-grab	2022/11/11	10:37:33	129-31.8966 E	30-17.0121 N	735	727.8	36	bioclastic very fine sand(19 cm)	
GB22-2	g334	K-grab	2022/11/20	17:50:47	129-19.9333 E	30-19.7 N	639	649.4	0	very coarse to very fine sandy size rock fragments(0 cm)	
GB22-2	g335	K-grab	2022/11/20	18:46:26	129-24.9109 E	30-19.4662 N	257	242.7	7	bioclast rich very coarse to coarse sand with thorolith and bioclast rich coarse to medium sand(8 cm)	Bivalve, Snail, Sea Urchin, Barnacle, Brachiopod, Bryozoa, Coral, Lugworm, Organic remains, Rhodolith, foraminifera
GB22-2	g336	K-grab	2022/11/11	9:08:27	129-32.3336 E	30-23.018 N	791	788.4	31	altered pumice pebbles and foraminifera rich bioclastic medium sand (grain supported) with foraminifera bearing bioclastic medium sand patch(15 cm)	Sea Urchin, Lugworm
GB22-2	g338	K-grab	2022/11/12	8:06:32	129-44.4715 E	30-27.0097 N	738	731.1	9	poorly sorted foraminifera bearing bioclastic medium to very fine sand(13 cm)	Snail, Organic remains, Bivalve, Sponge, Lugworm
GB22-2	g339	K-grab	2022/11/12	15:17:27	129-50.6713 E	30-28.4011 N	616	613.6	7	foraminifera bearing pumiceous bioclastic fine sand(11 cm)	Peropod, Bivalve, Sponge, Lugworm
GB22-2	g344	K-grab	2022/11/20	16:25:19	129-18.5119 E	30-26.2487 N	812	816.5	11	cross bedding of foraminifera rich bioclastic fine sand and foraminifera bearing bioclastic fine to very fine sand(10 cm)	
GB22-2	g345	K-grab	2022/11/20	15:04:52	129-24.0427 E	30-26.9083 N	778	779	13	poorly sorted bioclastic fine to very fine sand patched by foraminifera rich fine sand(12 cm)	Bivalve, Snail, Brachiopod, Sponge, Lugworm, Wood fragments
GB22-2	g346	K-grab	2022/11/11	7:54:39	129-30.3839 E	30-28.5419 N	659	649	31	poorly sorted foraminifera bearing bioclastic fine to very fine sand(21 cm)	Bivalve, Sea Urchin, Wood fragments, Bryozoa, Lugworm, Coral, Snail, Sponge, Scaphopoda, Organic remains
GB22-2	g347	K-grab	2022/11/12	9:33:35	129-38.4184 E	30-30.6498 N	673	669.5	9	foraminifera rich bioclastic medium to fine sand(9 cm)	Brachiopod, Lugworm, Sponge, Fish
GB22-2	g348	K-grab	2022/11/22	13:46:07	129-43.1215 E	30-31.7507 N	621	619.5	16	foraminifera bearing siliciclastic coarse to medium sand(8 cm)	Bivalve, Snail, Barnacle, Sponge, Coral
GB22-2	g349	K-grab	2022/11/12	14:12:33	129-48.9473 E	30-33.2307 N	611	604.1	13	bioclastic very fine sand(11 cm)	Sea Urchin, Sponge
GB22-2	g350	K-grab	2022/11/22	15:12:15	129-55.2027 E	30-34.9921 N	549	545.5	13	foraminifera rich medium to fine sand(11 cm)	Peropod, Bivalve, Scaphopoda, Sea Urchin, Sponge, Lugworm, Wood fragments
GB22-2	g353	K-grab	2022/11/20	13:43:35	129-23.0595 E	30-33.7544 N	796	794.5	>36	bioclastic very fine sand to silt-patched by bioclastic fine to very fine sand(20 cm)	
GB22-2	g354	K-grab	2022/11/20	12:23:18	129-28.527 E	30-33.9099 N	781	783.1	>36	foraminifera bearing bioclastic very fine sand to silt(22 cm)	Peropod, Sponge, Lugworm
GB22-2	g355	K-grab	2022/11/12	11:04:40	129-32.7555 E	30-36.5942 N	732	723.1	16	fresh pumice gravels with poorly sorted foraminifera rich bioclastic very coarse to medium sand(10 cm)	Bivalve, Brachiopod, Sponges, Coral, Lugworm
GB22-2	g357	K-grab	2022/11/12	12:59:12	129-47.2468 E	30-38.6956 N	481	475.4	7	poorly sorted foraminifera rich pumiceous medium sand(11 cm)	Brachiopod, Sponge
GB22-2	g360	K-grab	2022/11/20	11:07:17	129-26.3134 E	30-39.3821 N	723	721.9	36	foraminifera bearing ash-rich(?) very fine sand to silt(21 cm)	Lugworm, Scaphopoda, Peropod, Sea Urchin, Organic remains, Sponge, Coral, Bivalve, Brachiopod, Snail
GB22-2	g361	K-grab	2022/11/20	9:40:31	129-32.6596 E	30-40.8952 N	713	711.6	>36	foraminifera bearing silt(21 cm)	Lugworm, Wood fragments, artifact (fishing line?)
GB22-2	g362	K-grab	2022/11/20	8:14:49	129-39.6973 E	30-42.3095 N	596	593.9	18	bioclastic fine to very fine sand(12 cm)	Peropod, Bivalve, Snail, Scaphopoda, Sea Urchin, Crinoid, Sponge, Coral, Lugworm
GB22-2	g363	K-grab	2022/11/22	16:30:30	129-45.2007 E	30-44.3957 N	334	329.7	0	bioclastic coarse to medium sand(0 cm)	
GB22-2	g443	K-grab	2022/11/12	17:10:08	130-9.339 E	30-23.6395 N	635	627.7	5	volcaniclastic(?) coarse sand with foraminifera rich patch(9 cm)	
GB22-2	e20	GC / AS	2022/11/21	9:50:46	128-55.3904 E	29-46.8432 N	906	893.5	>36	silty clay (0-40 cm), foraminifera bearing silt (40-96cm), ash-rich silt with normal grading (96-bottom).(113 cm)	

第3表 採泥器着底時の方位、傾斜及び海底から2 m上 (2m asb)での方位データと、海底写真によって認められた各地点の海底の特徴と、GoproまたはMidas取付状況の一覧。リップルが観察された地点についてはリップルから推定される流向も示した。

Table 3 Orientation, inclination and orientation data at 2 m above the sea bottom (2 m asb) at the time of landing of K-grab. Equipment of Gopro and/or Midas is also shown. Seafloor characteristics at each point recognized by the seafloor photograph are also shown. Flow direction estimated by ripple is also shown at the site where rippled bed is observed.

Cruise	Sample name	Direction (bottom) (degree)	X-tilt (bottom) (degree)	Y-tilt (bottom) (degree)	Direction (2m asb) (degree)	Characteristics of seafloor	flow direction based on ripple (degree)	equipments
GB22-1	g4	93.5	1.33	5.57	93.2	gravel and sand ribbons		Gopro
GB22-1	g5	215.1	0.7	4.51	236.0	flat bed		Gopro
GB22-1	g14	172.4	-8.62	5.7	171.7	outcrop partly covered by sediment	272.6	Gopro
GB22-1	g15	248.7	-1.93	2.79	241.6	rippled bed		Gopro
GB22-1	g28	130.8	-5.04	1.68	120.9	outcrop thinly overlapped by coarse sediment		Gopro
GB22-1	g29	228.5	-2.12	-2	215.6	faint rippled(?) bed		Midas
GB22-1	g48	180	1.19	6.3	183.5	outcrop(?) thinly covered by sandy sediment		Midas
GB22-1	g71	242.4	-0.01	2.83	268.5	flat bed		Gopro
GB22-1	g72	261.1	-0.66	3.59	269.2	sandy flat bed with gravels		
GB22-1	g96-2	--	--	--	--	no photo		
GB22-1	g98	273.8	-1.09	-0.04	270.5	coarse sandy to gravelly flat bed		Midas
GB22-1	g100	22.4	-4.45	1.82	34.4	coarse sandy flat bed		Midas
GB22-1	g101	241.1	-0.89	0.48	235.0	no photo		Midas
GB22-1	g126	328.8	-1.5	-0.16	315.7	outcrop partly covered by sediment		
GB22-1	g127	96.8	-1.71	6.75	101.4	coarse sandy flat bed	185.6	Gopro
GB22-1	g149	58.4	2.64	5.23	56.6	coarse sandy faint rippled bed		Gopro
GB22-1	g152	37.4	-0.88	8.13	21.6	outcrop		
GB22-1	g153	56.9	-0.89	5.71	53.0	rippled bed		
GB22-1	g176	184.5	1.08	8.96	186.1	coarse sandy flat bed with gravels		Midas
GB22-1	g177	296.4	-0.38	-1.79	301.9	outcrop (gopro: outcrop)		Gopro
GB22-1	g178	105.1	-3.06	12.86	103.2	outcrop		Gopro
GB22-1	g179	168.5	3.58	-4.42	156.8	faint rippled bed	54.4	
GB22-1	g180	265.1	-4.07	-6.21	252.4	rippled bed		
GB22-1	g203	3.6	1.73	4.78	359.9	no photo		Midas
GB22-1	g204	312.6	1.48	-0.14	293.3	no photo		Midas
GB22-1	g205	116.4	1.42	0.31	97.4	no photo		
GB22-1	g206	98.3	-4.2	8.33	111.2	coarse sandy flat bed with organism(?)		
GB22-1	g230	93.3	1.64	7.84	117.0	outcrop		
GB22-1	g230	ND	ND	ND	ND	outcrop	122.2	
GB22-1	g231	111.9	-6	27	130.2	rippled bed	107.9	
GB22-1	g251	133.8	-0.19	4.03	127.9	rippled bed with rich organism	39.1	
GB22-1	g252-3	185.7	-18.27	14.62	189.1	rippled bed		
GB22-2	g163	265.9	3.64	10.99	277.6	boulders to pebbles wity sandy sediment		
GB22-2	g166	210.7	-4.17	1.17	205.4	outcrop thinly covered by gravel and sandy sediment		
GB22-2	g167	180.9	0.61	1.4	178.7	outcrop thinly covered by sandy sediment		
GB22-2	g189	5.7	19.61	23.07	24.7	outcrop with sub-angular boulders to cobbles		Gopro
GB22-2	g191	282.8	1.03	2.3	294.7	mud cloud(?)		
GB22-2	g192	301.6	-0.77	2.37	309.5	outcrop thinly covered by sandy sediment		
GB22-2	g193	192.7	2.19	0.88	191.8	outcrop thinly covered by sandy sediment		
GB22-2	g194	23.5	-2.15	1.94	10.5	outcrop thinly covered by sandy sediment		
GB22-2	g195	167.3	-4.01	-0.66	171.1	flat bed		
GB22-2	g214	54.7	2.06	0.06	75.8	faint rippled(?) bed		Gopro
GB22-2	g216	328	-6.96	30.33	3.6	no photo		
GB22-2	g217	54.4	5.79	5.33	67.6	flat bed with rich organism		
GB22-2	g218	340	-2.13	1.18	355.9	flat bed with rich organism		
GB22-2	g219	358.1	0.31	1.83	1.4	flat bed with densely distributed ophiuroids		
GB22-2	g220	334.1	-1.09	-11.47	332.5	outcrop covered by bioclastic coarse sandy sediment with rich organism		
GB22-2	g239	94.9	-2.08	4.76	89.3	flat bed with ophiuroids		Midas
GB22-2	g240	112.6	-8.82	3.36	98.5	outcrop thinly covered by sandy sediment		Midas
GB22-2	g241	114.8	3.03	12.62	87.8	flat bed		Midas
GB22-2	g242	314.6	-0.02	2.75	323.7	flat bed with sponge spines		
GB22-2	g243	1.3	-2.53	2.62	5.0	flat bed		
GB22-2	g261	84.3	2.53	5.38	83.8	outcrop		
GB22-2	g262	270.1	-3.87	0.58	278.8	flat bed with densely distributed ophiuroids		
GB22-2	g263	254.5	-1.64	2.61	260.2	flat bed with ophiuroids		
GB22-2	g278	53.9	1.96	4.67	50.3	flat bed with densely distributed ophiuroids		
GB22-2	g279	109.9	-0.48	-0.3	147.2	flat bed with densely distributed ophiuroids		Gopro
GB22-2	g280	73	0.18	-1.87	64.9	outcrop thinly covered by sandy sediment		Midas
GB22-2	g281	341.9	0.22	1.71	3.8	flat bed with densely distributed ophiuroids		
GB22-2	g282	152.7	1.46	2.11	155.9	flat bed with densely distributed ophiuroids	202.8	
GB22-2	g294	265.6	0.88	-1.37	258.8	rippled bed		Gopro, Midas
GB22-2	g295	282.8	-0.69	1.3	305.3	flat bed with densely distributed ophiuroids		Midas
GB22-2	g296	83.2	-0.09	3.84	88.3	flat bed with ophiuroids		
GB22-2	g297	40	0.76	2.56	19.4	outcrop with rich organism		
GB22-2	g298	6.6	4.18	6.91	28.5	flat sandy bed with gravels		
GB22-2	g310	82.7	-0.18	6.27	76.4	no photo		
GB22-2	g311	176.5	0.98	1.22	205.4	gravels with rich organism		Midas
GB22-2	g312	93.8	-0.61	4.13	94.1	flat bed with rich organism	70.0	
GB22-2	g313	61	-12.67	5.98	58.0	rippled bed		
GB22-2	g314	216.1	-0.5	-0.23	228.9	flat bed with densely distributed ophiuroids		
GB22-2	g322	302.2	0.35	-2.35	287.3	no photo		
GB22-2	g323	120.2	-1.07	6.84	117.3	no photo		
GB22-2	g324	204.1	-12.18	-3.08	191.3	outcrop thinly covered by sandy sediment with rich organism		
GB22-2	g325	359.4	2.07	4.26	3.8	no photo		Midas
GB22-2	g334	ND	ND	ND	ND	gravels with sandy sediment		Gopro
GB22-2	g335	ND	ND	ND	ND	lhodorith(?) with bioclastic sandy sediment		Gopro
GB22-2	g336	107.3	2.34	3.24	114.1	flat bed with ophiuroids		Midas
GB22-2	g338	17.3	-0.2	3.45	30.0	flat bed		
GB22-2	g339	285.7	0.63	1.24	286.8	flat bed with ophiuroids		
GB22-2	g344	ND	ND	ND	ND	flat bed		
GB22-2	g345	ND	ND	ND	ND	flat bed with densely distributed ophiuroids		

第3表 続き.

Table 3 Continued.

Cruise	Sample name	Direction (bottom) (degree)	X-tilt (bottom) (degree)	Y-tilt (bottom) (degree)	Direction (2m asb) (degree)	Characteristics of seafloor	flow direction based on ripple (degree)	equipments
GB22-2	g346	349.4	0.55	1.54	4.0	flat bed		
GB22-2	g347	345.2	-2.18	3.92	8.4	faint rippled(?) bed with ophiuroids		Midas
GB22-2	g348	241	-2.14	-3.03	254.8	gravels thinly covered by sandy sediment	178.0	Gopro
GB22-2	g349	255.4	-1.43	2.33	265.0	rippled bed with densely distributed ophiuroids		
GB22-2	g350	146.9	0.96	1.05	147.5	flat bed		Gopro
GB22-2	g353	ND	ND	ND	ND	flat bed with densely distributed ophiuroids		
GB22-2	g354	ND	ND	ND	ND	flat bed with densely distributed ophiuroids		Gopro
GB22-2	g355	72.3	-0.21	2.61	66.1	gravels overlapped by sandy sediment		Midas
GB22-2	g357	112.1	0.04	5.57	126.4	flat bed		
GB22-2	g360	ND	ND	ND	ND	flat bed with densely distributed ophiuroids		
GB22-2	g361	ND	ND	ND	ND	no photo		Midas
GB22-2	g362	ND	ND	ND	ND	flat bed with densely distributed ophiuroids		Midas
GB22-2	g363	58.5	0.4	1.86	54.4	outcrop		Gopro
GB22-2	g443	128.7	2.32	10.29	129.5	faint rippled(?) bed		
GB22-2	c20	231.6	-5.65	1.29	--	--		

行った。再投入を実施した地点で最後の投入により取得した採泥試料番号は投入回数をつけ、g252-3とした。グラフ不作動の主な原因として、黒潮を主体とする強い潮流により、採泥器の作動に必要なメインワイヤーのたるみが得られなかったことが考えられる。Kグラフは、本体の着底後、メインワイヤーに接続されたヘッド部分が自重で本体部に落下し、この際にヘッドに架けられた本体のフックが外れることにより作動する。このとき、海中のメインワイヤー全体にかかる潮流の影響により生じる鉛直方向の張力がヘッド部分の自重を上回っているとヘッド部がKグラフ本体に落下しない、すなわちフックが外れず、結果として作動に失敗する。そこで、通常時は着底直前にワイヤー繰り出し線速0.3 m/s、張力計から確認できる着底後の余分な繰り出しを3 mとしていたが、GB22-1航海中ではg252において採泥を実施した7月15日以降、GB22-2航海では潮流速が観測地点付近で2ノット程度に達した時点で、潮流の強さに応じて以下のような対策を講じた。

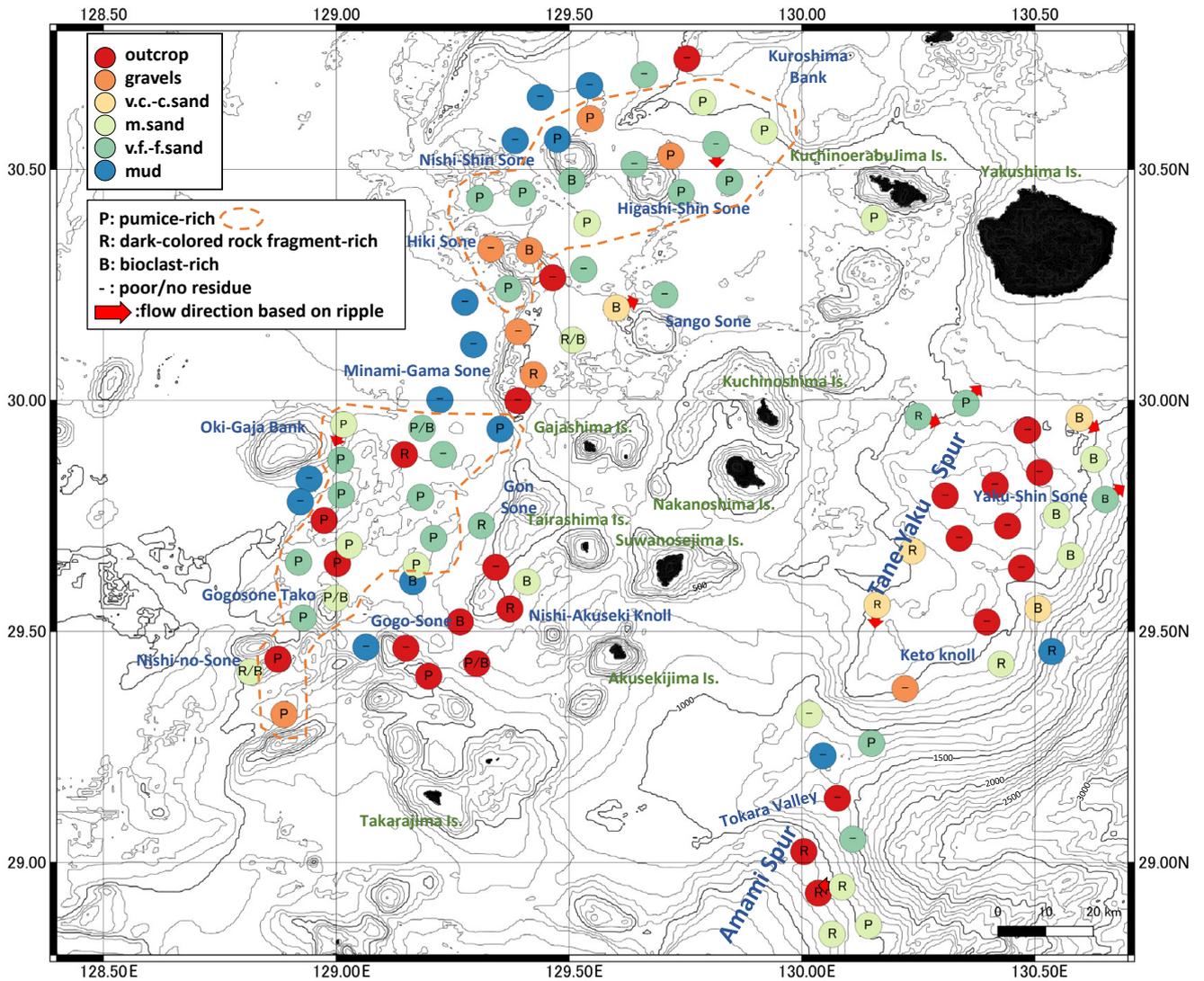
- ・ Kグラフのヘッド部に錘 (合計約30 kg) を装着し、ヘッド部の重量を増すことで落下しやすくする。
 - ・ 着底確認後の繰り出し余長を3 mとしたところを、5~7 mにすることで、メインワイヤーのたるみを大きくする。
 - ・ 着底直前の繰り出し線速を、通常0.3 m/sのところ0.5~1.0 m/sにすることでヘッド部分の降下速度を上げる。
- また、採泥器降下中のワイヤー傾角状況から着底時の定点保持に時間を要すると予想された場合は、定点保持をせずにワイヤー傾角の解消のみを優先する操船に切り替えた。サイトg230では離底時の張力計の数値変化から、採泥器が作動していない可能性があったため、離底から数m巻き上げたのちの再着底を2回実施した。再投入ないし再着底を実施した地点について、採泥位置、着底時水深、方位は試料採取に成功した再投入時及び再着底時の記録を示した。

第2図には船上記載及び海底写真判読から総合的に判断、分類した主たる底質 (露頭、礫質、粗粒砂質、中粒

砂質、細粒砂質、泥質) を示す。加えて海底写真上でリップルが認められる地点には矢印でその流向を示した。底質が露頭の場合、グラフ試料で採取できるのは露頭を薄く覆っていた少量の細粒物質であることが多い。この場合は第2図に示す「主たる底質」としては海底写真判読結果 (露頭) を採用した。Kグラフにより採取した試料からは、主たる底質を問わずほとんどの地点で5 mm以上の礫ないし生物遺骸を主要成分とする残渣が採取された。これら5 mm以上の残渣の主要構成物については第2図に「P」 (パミス質)、「R」 (暗色岩片質)、「B」 (生物遺骸) の文字で示した。メッシュ洗浄を行ったが残渣がごく少量しか得られなかった地点、全く得られなかった地点及び、試料が極少量しか取得できずメッシュ洗浄を実施しなかった地点は「-」で示した。一部地点では、メッシュ洗浄を実施しなかったものの海底写真上で明瞭に粗粒物質が認められた。この場合は残渣の主要構成物と同様に海底写真から判別可能な範囲でP/R/Bでの分類を行い、第2図ではカッコ付きで表記することで残渣が得られた地点と区別した。以下に本海域における底質の分布を、露頭及び礫質堆積物、砂質堆積物、泥質堆積物に分類して記述する。なお本論文では「半固結ないし固結した岩石が主要底質と考えられる地点の底質としての呼称を「露頭」、海底面に存在する (主に海底写真等から認められる) 半固結ないし固結した岩石を「露岩」と呼称する。

3.2 露頭及び礫質堆積物

調査海域における主たる底質として、25地点が露頭、8地点が礫質堆積物と分類された。採取水深範囲は露頭が181~1402 m、礫質堆積物が257~771 mで、様々な水深に分布している。露頭は、種子・屋久海脚の主稜線および奄美海脚に連なる稜線部、西ノ曾根、五号曾根、権曾根と続く悪石島西方の地形の高まりの周辺に多く見られ、その他、五号曾根タコから沖臥蛇堆にかけての海域、南窓曾根東方、藁曾根東方、黒島堆西方などに点在する。露頭から剥離したと見られる岩石としては、表面



第2図 調査海域における主たる底質の分布。各地点の主たる底質は主にサブコア試料の肉眼記載と海底写真観察に基づいて判定した。海底写真でリップルが認められた地点ではその位置と流向を赤矢印で示した。P/R/Bの表記は、メッシュ洗浄をした結果残渣が充分量得られ、主要構成物としてパミス質、暗色岩片質、生物源碎屑物に富んでいた地点を示す。オレンジ色の破線はパミス質の堆積物が認められる範囲を示す。海底地形は岸本(2000)に基づく。

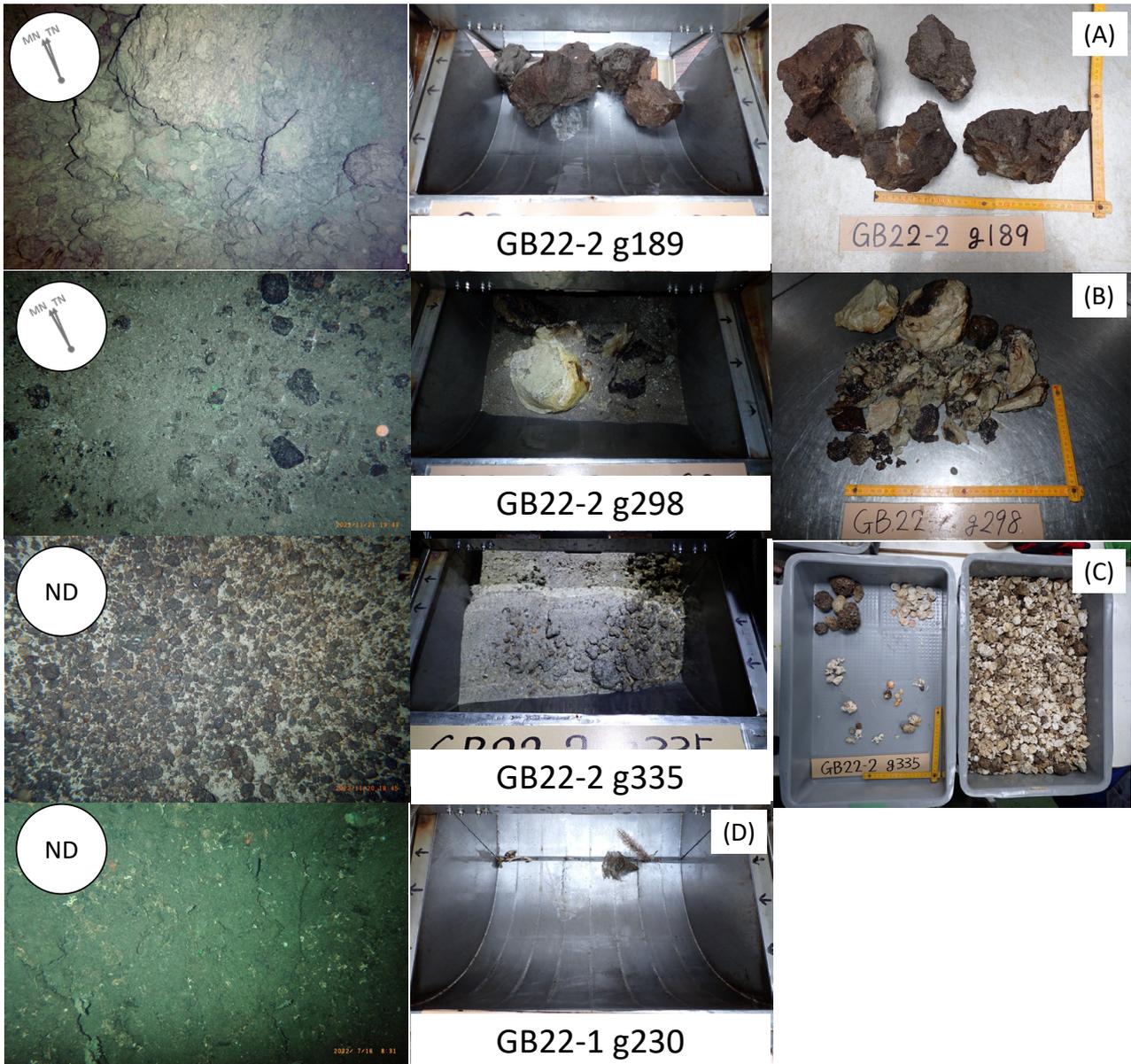
Fig. 2 The distribution of major sediment types in the survey area of GB22-1/2 cruises. Major sediment types are classified mainly based on the visual core description of sub-core samples and observation of seafloor photos. Red arrows and their directions indicate positions and directions of rippled beds. The P/R/B designations indicate locations where the residue was rich in pumice-rich, dark-colored rock fragment-rich, and bioclast as major residues after a sufficient amount of mesh cleaning. The orange dashed lines indicate the areas where pumiceous deposits are found, respectively. Sea-bottom topography is based on Kishimoto (2000).

が変質した軽石や、石灰質砂岩などが回収された(第3図A, B)。露頭と認定された25地点のうち15地点では露頭の表面を覆う砂泥、固着生物やその遺骸のみが採取され、露頭を構成する岩石試料は採取できなかったが、海底写真や動画の観察に基づいて露頭と認定した(サイトg230の例:第3図D)。礫質堆積物は南窯曾根から墓曾根にかけての地形的高まりに4地点見られる他、種子・屋久海脚、西ノ曾根南方、西新曾根北方、東新曾根北東方

で1地点ずつ認定された。うち4地点では砂質堆積物のみが回収されたが、海底写真や動画の観察にもとづいて主たる底質としては礫質堆積物と認定した。サイトg335では変質を受けた石灰藻球を主体とし、その他数cm程度の生物遺骸を多く含む礫質堆積物が採取された(第3図C)。

3.3 砂質堆積物

調査海域における主たる底質として、49地点が砂質



第3図 露頭、礫質堆積物と認定された地点の写真。海底写真には撮影時の方位 (真北:TN, 磁北:MN) も示した。方位データを取得できなかった地点にはND (No data) と記載した。海底写真に写り込んだ緑色の光点 (レーザースケール) の間隔は 10 cm である。(A) 露頭と認定されたサイトg189の海底写真, グラブ表面写真および5 mmメッシュで洗浄後の残渣。(B)(C) 礫質堆積物と認定されたサイトg298およびg335の海底写真, グラブ表面写真及び5 mmメッシュで洗浄後の残渣。(D) 露頭と認定されたサイトg230の海底写真及びグラブ表面写真。

Fig. 3 Seafloor photos, grab surfaces, and residues(>5mm) taken on the sites of outcrop and gravels. Arrows on seafloor photos indicate true north (TN) and magnetic north (MN)(ND: no data). The green light spots (laser scale) in the seafloor photograph are 10 cm apart. (A) A seafloor photo, grab surface and residues (>5 mm) of site g189, classified as the outcrop. (B)(C) Seafloor photos, grab surfaces and residues (>5 mm) of sites g298 and g335, classified as gravels. (D) A seafloor photo and grab surface of site g230, classified as gravels.

堆積物と分類された。うち25地点が極細粒～細粒砂質 (水深469～1438 mで採取), 19地点が中粒砂質 (水深362～1180 mで採取), 5地点が粗粒～極粗粒砂質 (水深469～740 m)である。砂粒子は主に火山ガラスや、パミスないしスコリア質の火山性碎屑物, その他砂岩, 泥岩

や, これらがマンガン被覆を受けた岩片, サンゴ, 有孔虫, 翼足類などの軟体動物, 海綿動物などを起源とする生物源碎屑物などから構成される。砂質堆積物を取得した地点の全てで5 mm以上の残渣が回収された。残渣はおおむねその地点の砂粒子と近い組成を持ち, パミス質

ないし、暗褐色～黒色のスコリア、砂岩、泥岩、これらがマンガン被覆を受けた岩片（本論文ではこれらを一括して暗色岩片と呼称する）、これらの中間的な組成を持つ黄土色～褐色の碎屑物と、生物源碎屑物を主要成分とする。こうした礫種はいずれかの種類が卓越して見られることが多いが、パミス質及び暗色岩片質の礫が混合して採取された地点もある。5 mm以上の大型の生物遺骸としては海綿動物、刺胞動物、軟体動物、コケムシ動物、腕足動物、棘皮動物、脊椎動物（サメの歯、魚類の耳石など）などが採取された。たとえば屋久新曾根北方のサイトg231では、コケムシ、節足動物、棘皮動物、カイメン、軟体動物、刺胞動物を主体とする生物遺骸が得られた（第4図A）。

パミス質の残渣を多く含む砂質堆積物（サイトg336の例：第4図B）はトカラ列島西方海域に広く分布し、その他口永良部島南方、種子・屋久海脚の西側斜面や奄美海脚の東側斜面に点在して認定された。

暗色岩片質の残渣を多く含む砂質堆積物は2022年度の調査範囲では種子・屋久海脚の東側斜面、奄美海脚の東側斜面、西ノ曾根南方、権曾根西方、南窯曾根東方に点在した。

生物源碎屑物を主体とする残渣を多く含む砂質堆積物は種子・屋久海脚東側斜面に6地点が確認された他、西ノ曾根、五号曾根タコ、西悪石海丘、サンゴ曾根、藁曾根、西新曾根など地形的高まりの周辺部に多く確認された。また、トカラ列島西方海域で中粒砂質堆積物、または細粒砂質堆積物と認定された地点では、海底写真上でクモヒトデが密に分布する様子が多く観察された。

砂質堆積物が採取された地点のうち15地点で海底写真上にリップルが観察された。特に種子・屋久海脚から奄美海脚にかけての稜線部を挟んで9地点見られ、その他トカラ列島西方海域で5地点、口永良部島南方で1地点が確認された。リップルが確認された地点ではサブコア試料にも粒径や淘汰度、粒子組成の異なる堆積物が斜交しつつ明瞭ないし漸移的な境界をもって互層を成す堆積構造が肉眼ないしCT断面で確認できる場合がある。

リップルはその峰に対して非対称な断面形状を持っており、底層流の影響で形成されるカレントリップルと考えられる（サイトg231の例：第4図A）。以上15地点のうち、9地点では海底写真上のリップルの形状に基づいて流向を推測できた。リップルの形状から推測される流向（緩傾斜側から急傾斜側に向かう方位）は、種子・屋久海脚周辺（6地点）では北東から南南東の方位を示し、奄美海脚東方のサイトg15では真西の方位を示した。トカラ列島西方海域で流向を認定できた3地点では東北東から南南西にかけての方位を示した。これらのリップルが観察される地点の水深範囲は459～1438 mである。この水深では潮汐や波浪の影響は考えにくく、また前述したように多くの地点でリップルの形状が非対称性を持

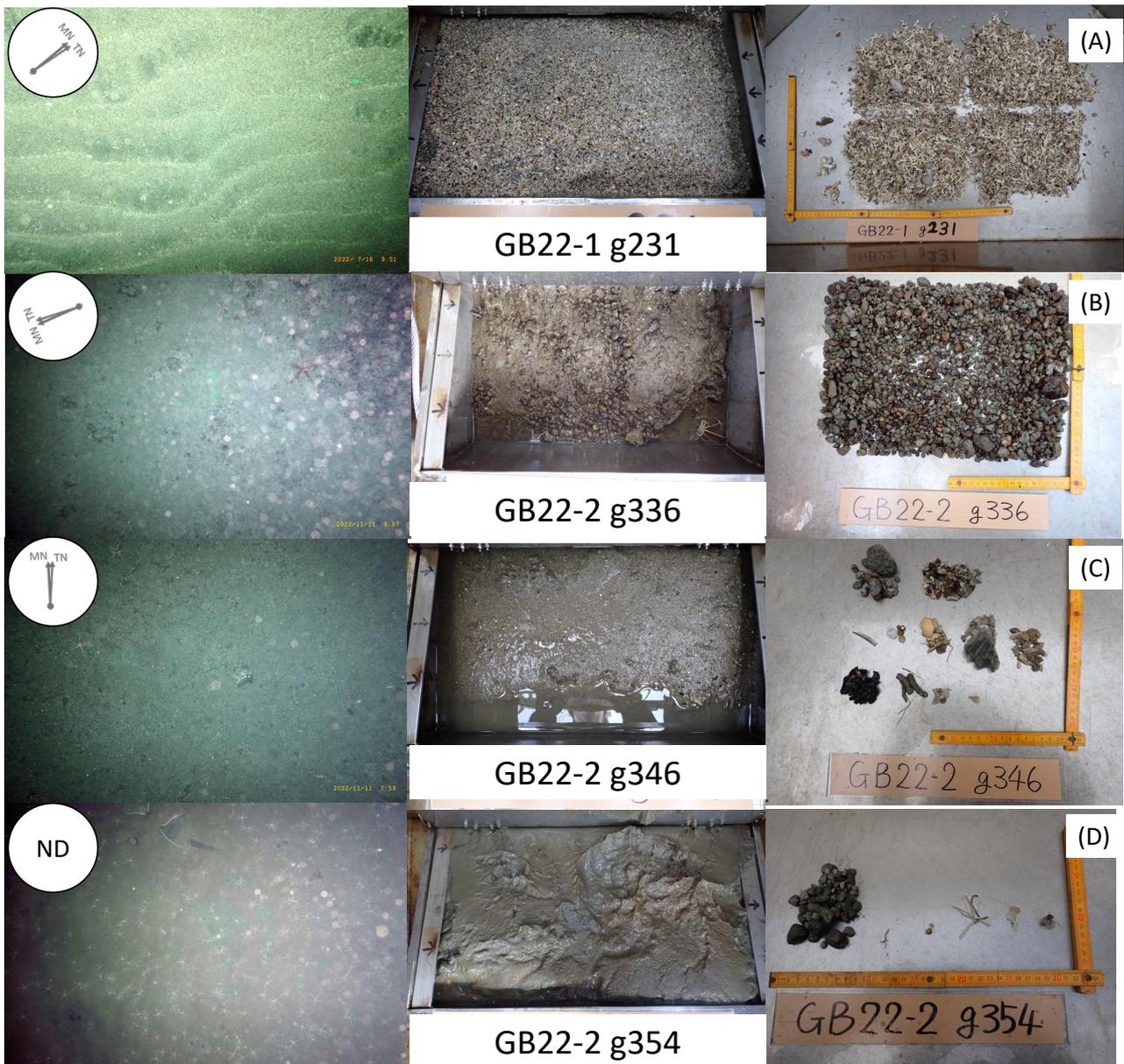
つ、従ってこれらのリップルはいずれも、潮汐や波浪によるウェーブリップルではなく、底層流により形成されたカレントリップルと考えられる。このリップルの水深範囲はトカラ列島周辺海域で見られたリップルの分布水深（500～800 m：鈴木ほか、2022、2023）と重複しており、トカラ列島西方海域および種子・屋久海脚周辺海域にも、カレントリップルを形成しうる流速の底層流が存在することが示唆される。リップルが認定された地点（主たる底質は、極粗粒から粗粒砂3地点、中粒砂6地点、細粒から極細粒砂6地点）に対してStow *et al.* (2009)により示されたBedform-velocity matrixを適用すると、おおむね0.2～0.5 m/s程度（0.4～1.0ノット程度）の底層流の存在が示唆される。

3.4 泥質堆積物

調査海域における主たる底質として、14地点が泥質堆積物（水深713～1277 mで採取）と分類された。また柱状試料を採取した地点についても泥質堆積物が採取されたため、本節で一括して記載する。泥質堆積物と分類された地点はトカラ列島西方海域の水深700 m以上の範囲に多く分布する（12地点）ほか、種子・屋久海脚東方およびトカラ峡谷底部に1地点ずつ認定された。水深700 m以上の採泥点であっても、その全ての堆積相が泥質堆積物というわけではなく、3.2、3.3節で記述した通り、より粗粒な物質が主たる底質として認定された地点も多く存在する。

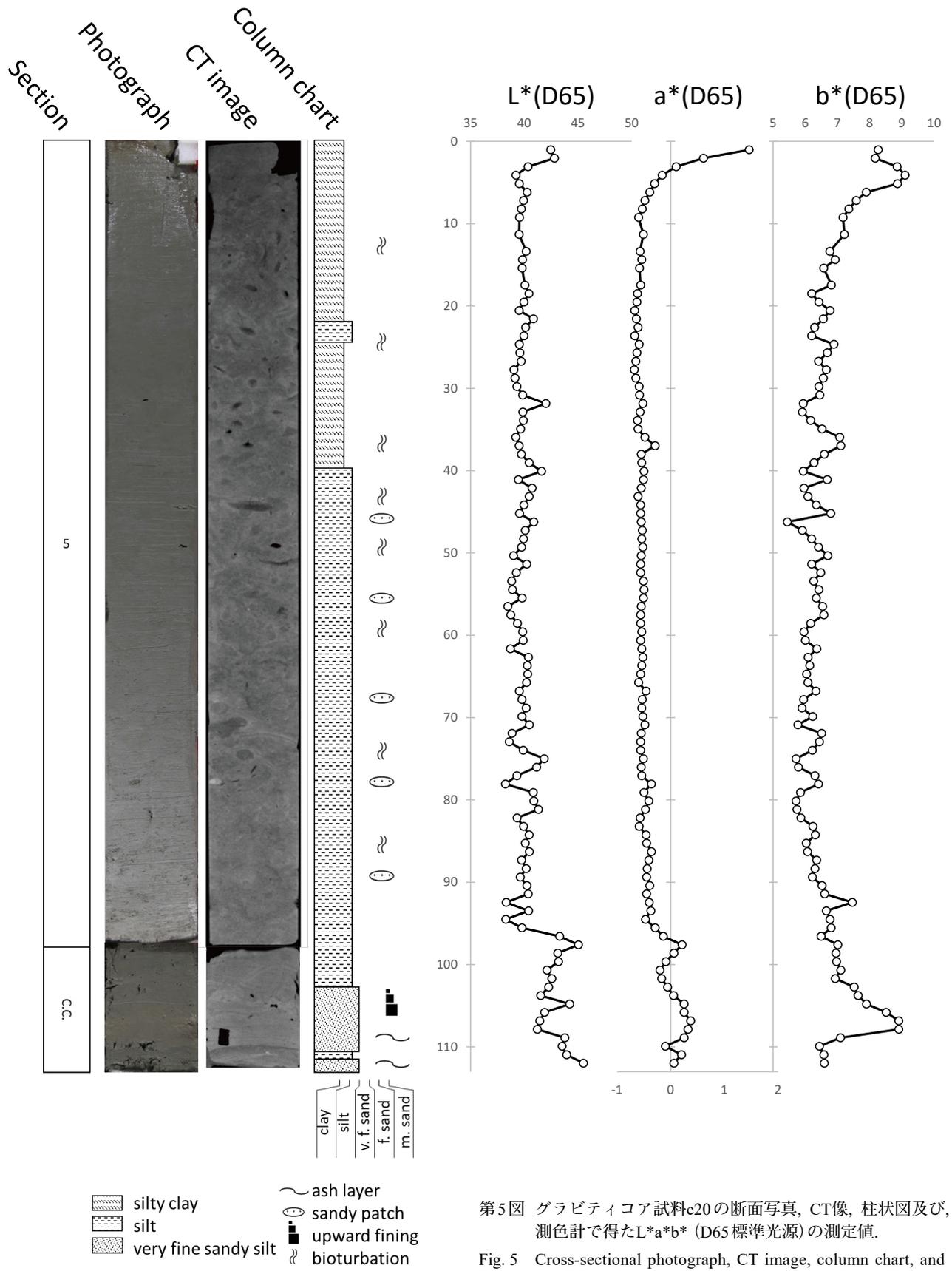
泥質堆積物が得られた地点の海底写真では、クモヒトデ、ヤギ、カイメンなどの底生生物や、底生生物の巣穴が多数観察された（サイトg354の例：第4図D）。とくにトカラ列島西方海域ではクモヒトデが密に分布する様子が多く観察された。また肉眼観察でも粒径がパッチ状に粗粒化している様子は多く観察され、CT画像、軟X線像において生痕が発達する様子が観察された。スミアスライドを用いた鏡下観察によれば、泥質堆積物を構成するのは主に有色鉱物、粘土鉱物、火山ガラス、有孔虫などの微生物殻であった。5 mmメッシュで篩にかけた残渣はどの地点でも採取された堆積物量に対してごく僅かであるが、パミス質ないしスコリア質の礫や海綿骨針が多くの地点で採取され、一部の地点では軟体動物殻なども回収された。

柱状試料採泥サイトc20は沖臥蛇曾根南方に位置し、コア長113 cmのグラビティコア試料及びコア長33 cmのアシュラ試料を採取した。このコア試料は0～40 cmが有孔虫殻を含むシルト質粘土、40～96 cmは有孔虫殻を含むシルト、96～113 cm（最下部）が火山灰を多く含む極細粒砂質シルトで構成されている（第5図）。最下部はさらに、102.0～110.0 cmの正級化構造を持つ極細粒砂からシルトサイズの火山灰層、110.0～111.5 cmの極細粒砂質シルト層、111.5～113.0 cm（最下部）の極細粒砂



第4図 砂質堆積物、泥質堆積物と認定された地点の代表的な海底写真、Grab表面写真及び5 mmメッシュで洗浄後の残渣写真。海底写真には撮影時の方位 (真北 : TN, 磁北 : MN) も示した。(A)粗粒砂質堆積物と認定されたg231の写真。海底写真上に明瞭なリップルが観察される。生物源碎屑物を主体とする残渣が回収された。(B)中流砂質堆積物と認定されたg336の写真。軽石を主体とする残渣が回収された。(C)細粒砂質堆積物と認定されたg346の写真。海底写真上に巣穴や底生生物が観察される。(D)泥質堆積物と認定されたg354の写真。海底写真上に巣穴や、密に生息するクモヒトデ類などの底生生物が観察される。

Fig. 4 Typical seafloor photos, grab surfaces, and residues (>5 mm) taken on the sites of sand and mud. Arrows on seafloor photos indicate true north (TN) and magnetic north (MN). (A) Photos taken on the site g231 classified in its major sediment types as coarse sand. Ripples are clearly observed in the seafloor photo. Residues indicate that their major components are bioclasts. (B) Photos taken on the site g336 classified in its major sediment types as medium sand. Residues indicate that their major components are pumice. (C) Photos taken on the site g346 classified in its major sediment types as fine sand. Burrows and benthos are found in the seafloor photo. (D) Photos taken on the site g354 classified in its major sediment types as mud. Burrows and benthos such as densely distributed ophiuroids are found in the seafloor photo.



第5図 グラビティコア試料c20の断面写真, CT像, 柱状図及び, 測色計で得たL*a*b* (D65標準光源)の測定値.

Fig. 5 Cross-sectional photograph, CT image, column chart, and L*-a*-b* values (D65 standard light source) obtained by colorimeter CM-600d of the gravity core sample c20.

質シルトサイズの火山灰層がそれぞれ明瞭な境界を持って接している。コアの全体にわたり生痕が発達しており、とくに深度40 cm以深ではやや粗粒なパッチ状の構造として観察できる。

4. 生物源物質分析結果

本章ではコケムシ類分析、浮遊性有孔虫群集解析およびサイズ・保存状態分析、サンゴ類分析、遺伝子解析について、結果とそれぞれの分析から示唆される事柄を記載する。

4.1 コケムシ試料分析結果

g179, g231, g335に含まれるコケムシ骨格は、保存が比較的良好なものから、摩耗したり茶褐色～黒褐色に変色した保存の悪いものまでが混在した状態であった。堆積物中のコケムシ骨格含有率は、g179は1.9%, g231は7.4%, g335は5.9%であった。

鈴木ほか(2022, 2023)に述べたとおり、本海域の多くの地点においてコケムシ骨格が含まれない要因として、①底層の水流速度が大きい、②堆積速度が大きい(堆積物供給量が多い)といったことが挙げられる。これは、固着性・濾過食のコケムシ類は水流が速すぎると摂食ができず、堆積物に埋没すると生存不可となることによる。

検鏡を行ったg179, g231, g335に含まれるコケムシ骨格は、保存状態が良いものから悪いものまでが混在している。g231のコケムシ含有量は、その水深(476 m)に比して高い値である。これらの地点では、浅所からコケムシを含む様々な生物種の石灰質骨格が運搬されて集積したと考えられる。保存状態が悪いものは、強い水流によって運搬され、長期間海底に曝されていたために摩耗・変質(変色)したと推定される。一方、比較的保存状態の良いコケムシ骨格も認められる。これは、最近までこのような運搬作用が働いていたことを示唆する。

4.2 浮遊性有孔虫分析結果

本調査海域の9試料(第6図a)から産出した径125 μm以上の浮遊性有孔虫は16属29種である。高い産出頻度を示す種は*Globigerinita glutinata* (Egger), *Globigerina bulloides* d'Orbigny, *Neogloboquadrina dutertrei* (d'Orbigny), *Globigerinoides ruber albus* (Morard et al.) および*Pulleniatina obliquiloculata* (Parker and Jones)の5種である(第6図b-f)。またこれらの種に加え、*Globigerinoides elongatus* (d'Orbigny), *Trilobatus sacculifer* (Brady), *Globoconella inflata* (d'Orbigny), *Globigerinoides tenellus* Parker および*Globigerinella siphonifera* (d'Orbigny)が5%以上の頻度で産出した。本調査測点を特徴づける種として*G. glutinata*, *N. dutertrei*, *G. bulloides*, *P. obliquiloculata* および*G. ruber albus*の5種が挙げられ、浮遊性有孔虫が産出するすべての試料で群集の69%を占める。径125 μm以上の浮遊性有孔虫群集

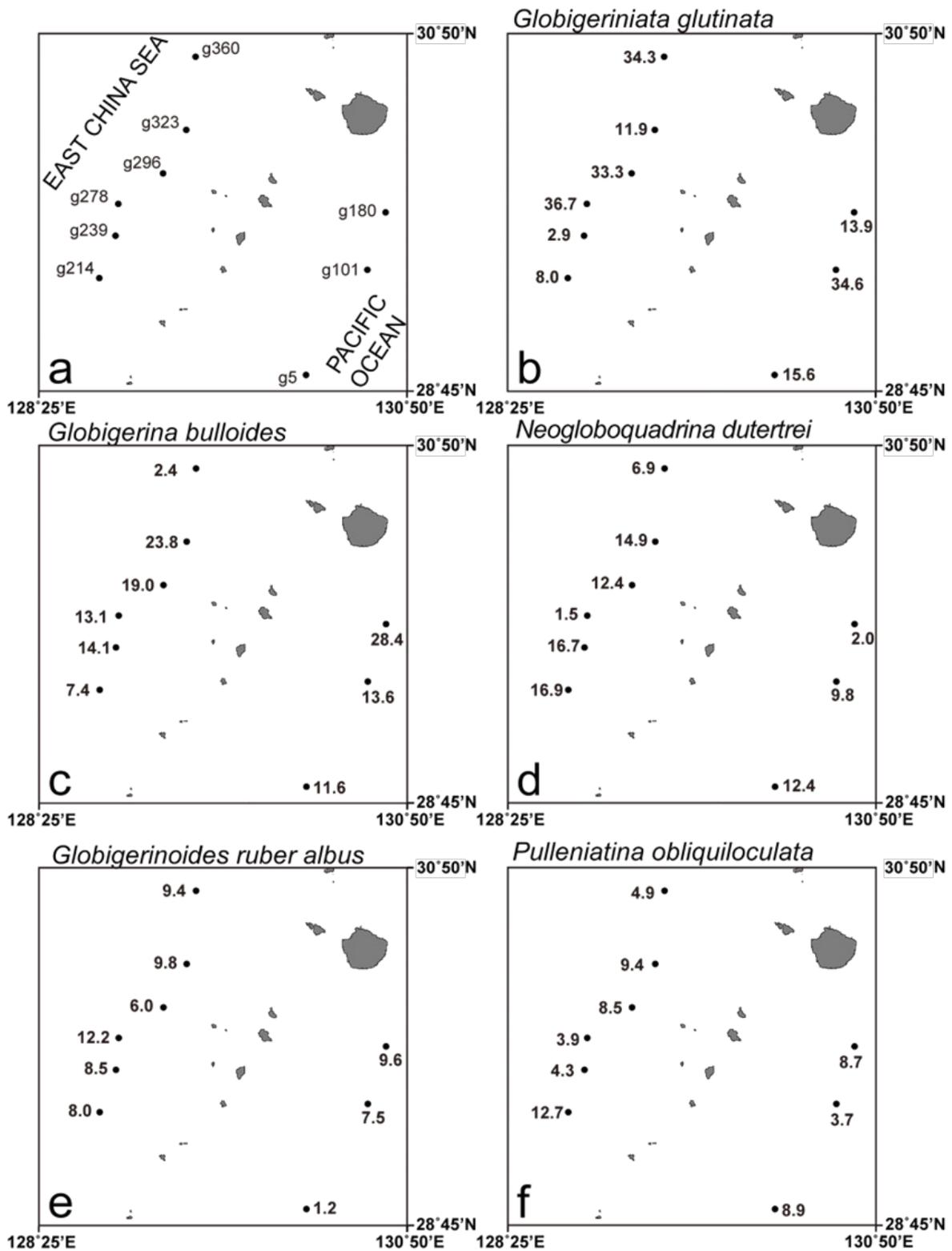
の検討結果は、一般的に背弧側の地点で*P. obliquiloculata* や*N. dutertrei*が多く産出する傾向にある。これは南西諸島周辺海域において黒潮水塊に対応する群集の特徴とされていることと調和的である(Xu and Oda, 1999; Ujiie and Ujiie, 2000)。

浮遊性有孔虫殻の保存状態及びサイズ分布について、各地点における検討個体群の最大・最小径データセットについて、それぞれ20 μmビン及びウェントワースの粒度区分を基準とするヒストグラムを作成し、比較検討を行なった(第7図, 第8図)。サイズ分布からみて各検討地点は2つのグループに大別される。火山フロントを挟んで前弧側の地点g5, g29, g71及び背弧側の地点g296, g360は、サイズが比較的小さい個体群により特徴付けられる。このグループの個体群は、最大径及び最小径がそれぞれ概ね100～120 μm及び80～100 μmに最頻値をもち(第7図)、最大径が極細粒砂サイズ(63 μmより大きく125 μm以下)の個体が全個体の約40～70%, 最小径が極細粒砂サイズの個体は約60～90%を占める(第8図)。また地点g29を除き、中粒砂サイズ(250 μmより大きく500 μm以下)以上の個体が10%未満と非常に少ない(第8図)。一方、前弧側の地点g101, g180及び背弧側の地点g214, g239, g278, g323の個体群は、ややサイズの大きい側に幅広の分布を示す(第7図)。このグループの個体群は、最大径が細粒砂サイズ(125 μmより大きく250 μm以下)のものが最も多く、全個体の約40～60%を占める(第8図)。最大径が中粒砂サイズ以上の個体の含有率については、約30～40%を占める地点(g180, g214, g323)があるのに対し、約10～20%程度の地点(g101, g239, g278)もあるなど、ばらつきが認められる(第8図)。

各検討地点における保存状態の観察結果として、最も状態の良いランクA個体の含有率は前弧側の地点で63～75%, 背弧側で50～72%であった。ランクAとランクBの個体を合わせるとほとんどの地点で95%を超え、比較的状态の悪いランクC個体の含有率は最も高い地点g29でも7%であった。本研究で検討した全ての地点でランクDの個体は認められなかった。

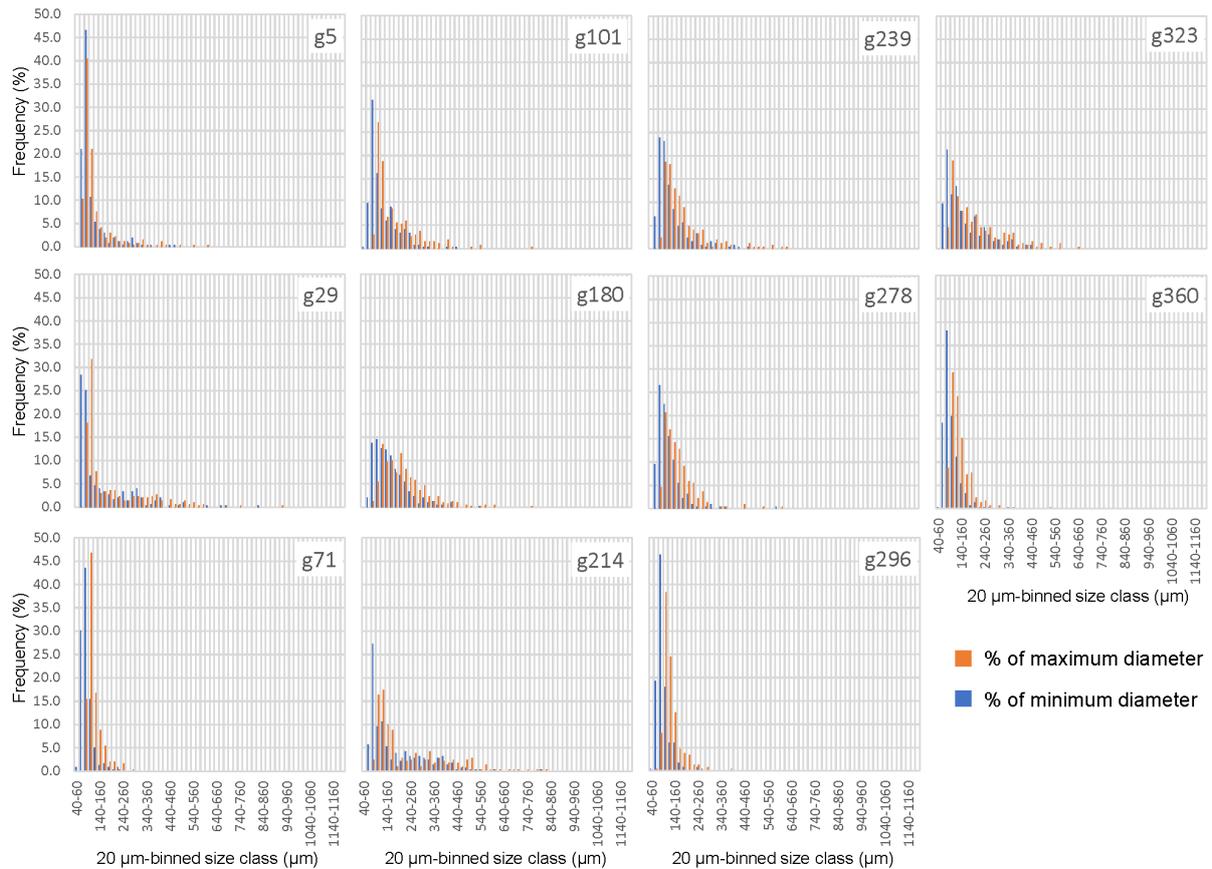
また、最大径サイズ分布を用いて予察的に保存状態とサイズの関係を検討した(第9図)。その結果、中粒砂サイズ以上におけるランクB及びランクCの個体の寄与が比較的大きい傾向が認められる。この傾向は前弧側の地点g5, g29や背弧側の地点g214, g323などで顕著である。

浮遊性有孔虫殻のサイズ分布及び保存状態を検討した地点の水平的位置関係に着目すると、前弧側と背弧側でそれぞれ浮遊性有孔虫殻サイズ分布は異なる傾向を示す。前弧側ではトカラギャップ及び奄美海脚斜面に位置する地点に比べ、以北の種子・屋久海脚斜面に位置する地点で得られた個体群はややサイズの大きいものを多く含む。このような南北方向のサイズ分布勾配の大局的傾向は、同海域における別地点での予察的検



第6図 調査海域における表層堆積物のうち浮遊性有孔虫分析実施地点 (a) と浮遊性有孔虫の相対頻度分布 (b-f). b-fの数値は各試料中の産出頻度 (%) を示す。

Fig. 6 The distributions of six major planktic foraminifera in the study area. (a) Sampling points of K-grab. (b)-(f) Relative abundance (%) of major planktic foraminifera.



第7図 浮遊性有孔虫殻サイズ(最大径・最小径)計測結果の20 µmビンヒストグラム。それぞれ横軸は20 µm刻みのサイズ階級(µm)、縦軸はそれらが地点ごとの全計測個体数に占める割合(%)を表す。

Fig. 7. Histograms with 20 µm-bin showing results for planktic foraminiferal size analysis regarding both maximum and minimum diameters. Horizontal and vertical axes indicate 20 µm-binned size class (µm) and its frequency (%), respectively.

討の結果に整合的である(鈴木ほか, 2023)。一方、本研究における背弧側の検討地点では、南北方向に同様の傾向は認められない。サイズの小さい個体を特に多く含む背弧側の地点(g296, g360)は地形的に平坦な、泥質の表層堆積物の分布域に当たる。これに対して、よりサイズの大きい個体を含む地点g214やg323などは堆のような地形的高まりの近傍に位置する。

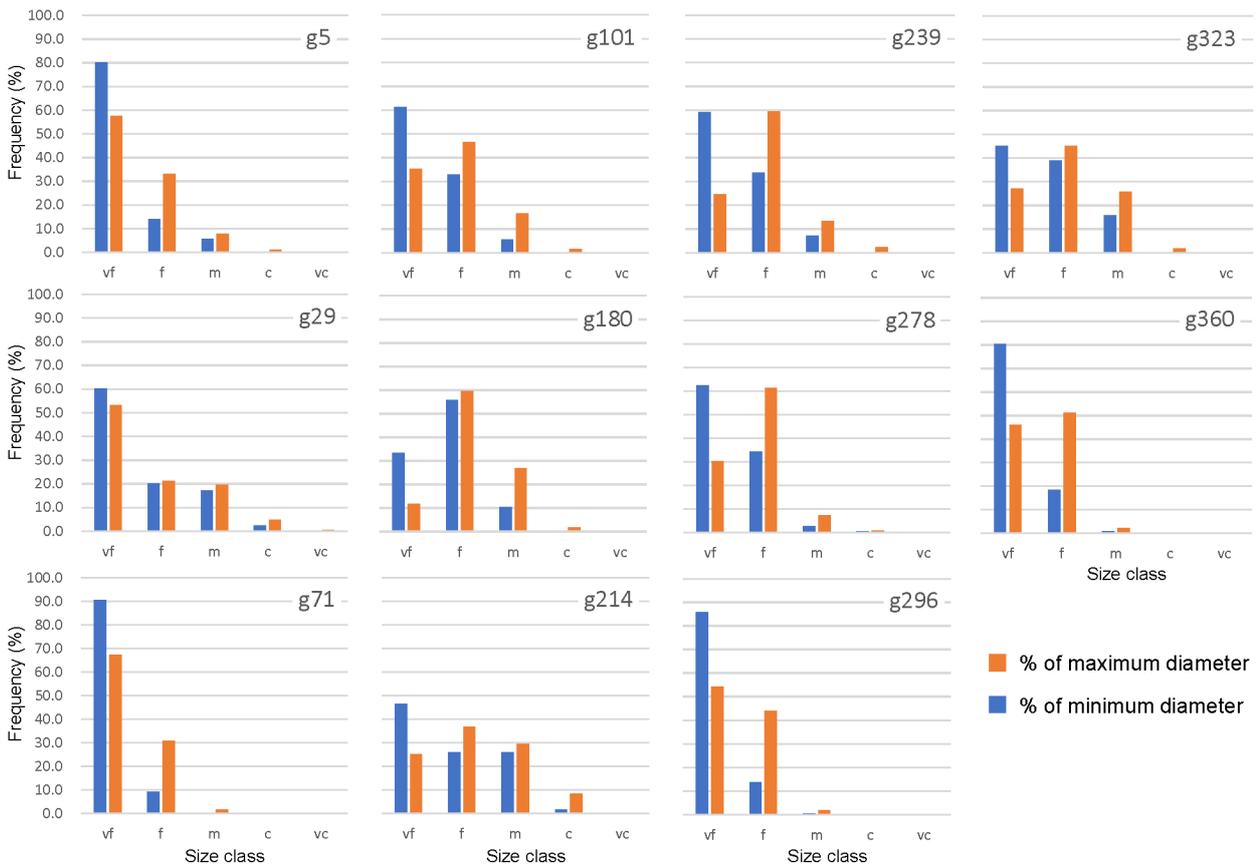
4.3 サンゴ類分析結果

採泥を行った93地点(水深181~1402 m)のうち7地点でイシサンゴ類が採集された(第10図)。本調査域における、イシサンゴ類(Cnidaria: Anthozoa: Hexacorallia: Scleractinia)の採集深度は257~808 mであった。採集されたイシサンゴ標本を検討した結果、8科6属4種が同定された(第4表)。本調査域内において採集されたイシサンゴの属数が最も大きい地点はサイトg335(水深257 m)であり3属が認められた。また、ヒドロサンゴ類Family

Stylasteridae (Cnidaria: Hydrozoa: Anthoathecata: Filifera)はサイトg167, g195, g312, g313, g335の5地点から採集された。海底写真では4地点においてイシサンゴ類が13地点においてヒドロサンゴが確認された。

4.4 遺伝子抽出結果

今回は13地点(g71, g101, g191, g218, g278, g282, g310, g322, g353, g354, g360, g361)から得られた採泥試料を用いて、DNA及びRNA抽出をおこなった。その結果、全地点で十分量のDNA及びRNA産物が得られた(第5表)。DNA量とRNA量について相関分析をおこなった結果、有意な相関が見られた($p < 0.05$, ピアソンの相関係数: 0.70)。このことから、堆積物中の生物量が多いほど、DNAもRNAも十分量抽出される可能性が考えられる。しかし第11図のXYプロットを見ると、ある程度ばらつきも見られることから、現存している生物量と過去に生息していた生物のDNAの残存量の差が反映



第8図 浮遊性有孔虫殻サイズ(最大径・最小径)計測結果の砂粒度区分階級ヒストグラム、それぞれ横軸は砂粒度区分に従った階級(vf: very fine, f: fine, m: medium, c: coarse, vc: very coarse)、縦軸はそれらが地点ごとの全計測個体数に占める割合(%)を表す

Fig. 8 Histograms with sand grain-size division-based class showing results for planktic foraminiferal size analysis regarding both maximum and minimum diameters. Horizontal and vertical axes indicate sand grain-size division-based size class (μm) and its frequency (%), respectively.

されている可能性も示唆される。今後は、ハイスルーブットシーケンサーによるメタバーコーディング解析をおこなない(例えば, Kitahashi *et al.* 2020), DNAサンプルを用いた場合とRNAサンプルを用いた場合での生物組成の違いを検証すること, また今回対象とした泥質堆積物以外の底質についても, DNA・RNA量の違いや生物組成の違いを検討する必要がある。

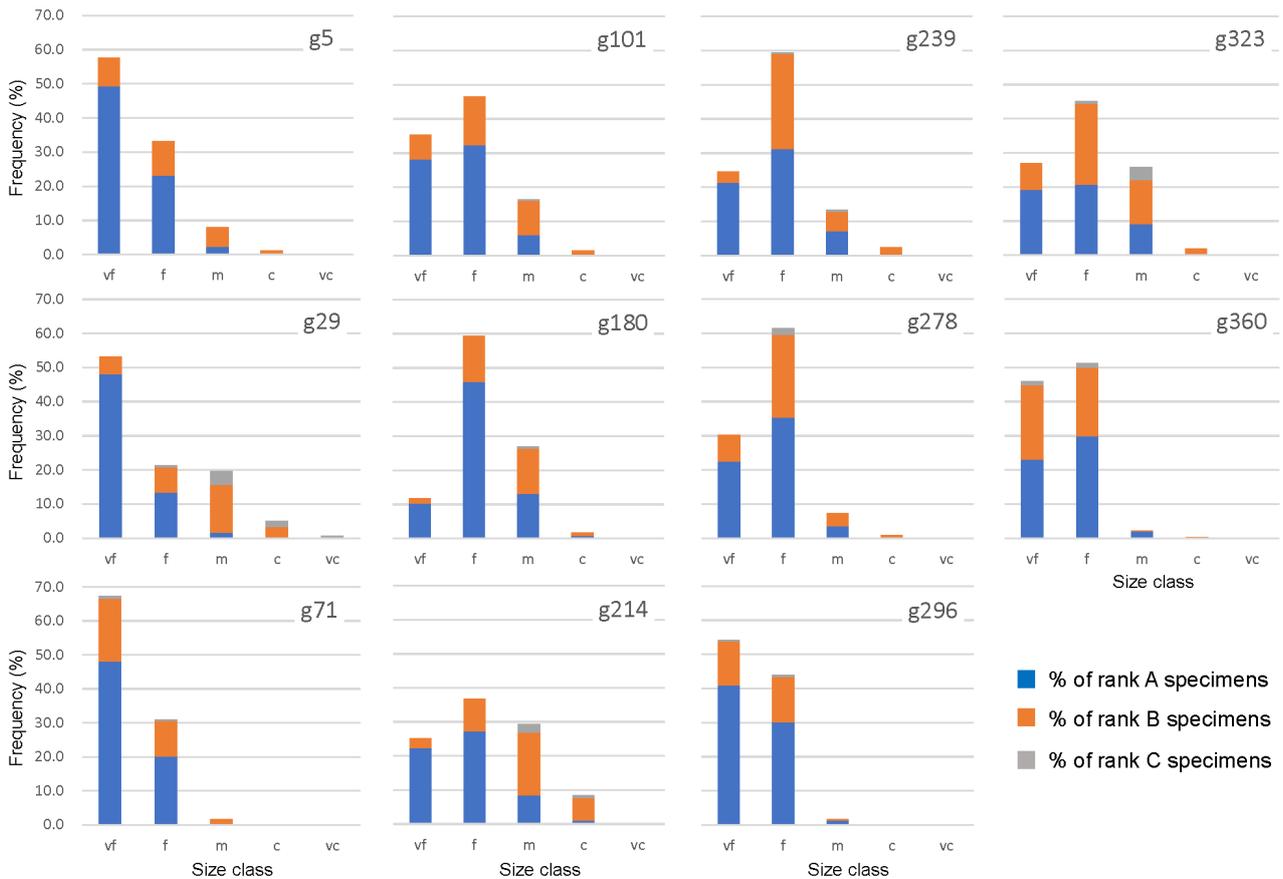
5. 議論

本章では, Kグラフで実施した表層採泥試料とその観察・分析結果に基づいて, トカラ列島西方海域および屋久島南方海域の底質分布を規定すると考えられる代表的な要因について, 底質分布や各種分析結果を参照しながら検討する。

5.1 トカラ列島西方海域の底質分布規定要因

トカラ列島西方海域において, 主たる底質として泥質

堆積物は水深713 ~ 906 m, 細粒砂質堆積物は水深596 ~ 905 m, 中粒砂質堆積物は水深481 ~ 916 m, 粗粒砂質堆積物は水深495 mの一地点, 礫質堆積物は水深257 ~ 771 m, 露頭は水深329 ~ 867 mの範囲で確認された。それぞれの底質について, 本調査海域に接続するトカラ列島南側の宝島周辺海域では「細粒物質は深い水深にしか分布しないが, 粗粒物質は水深を問わず分布する」という特徴を持っていた(鈴木ほか, 2022)が, トカラ列島西方海域においても類似する特徴がみられた。それぞれの底質は調査範囲全体に散在しているわけではなく, 露頭及び礫質堆積物は, 地形の高まりの頂部から稜線部に分布している。また, 細粒砂質堆積物及び泥質堆積物は, こうした地形の高まりを取り囲む平坦部に分布しており, 海域の東側に向かって粗粒化する傾向が見られた。これらの中間である粗粒砂質堆積物はほとんど確認できず, カレントリップルなど底層流を示唆する堆積構造は地形の高まりの周辺に散在するにとどまっている。



第9図 浮遊性有孔虫殻の最大径サイズ分布と保存状態の関係。ヒストグラムの横軸・縦軸は第8図に同じ。

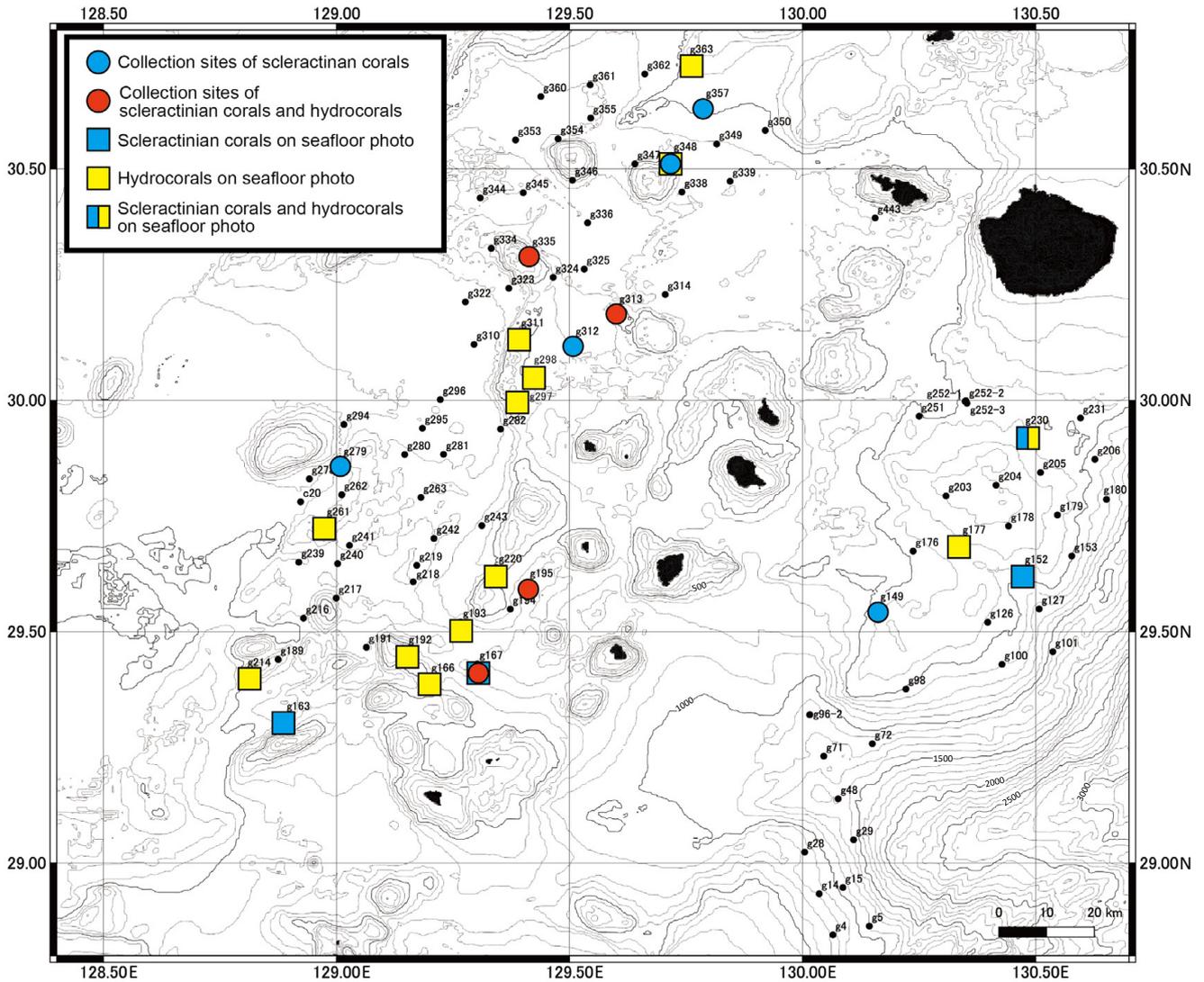
Fig. 9 Histograms showing relationships between maximum diameter size distribution and observed preservation states. Horizontal and vertical axes follow those of Figure 8.

本海域では東シナ海を通過する黒潮が、太平洋に向けて北東から南東へ流向を変化させるが、黒潮が水塊構造として明瞭に見られる水深は500 m程度 (板木ほか, 2022) なのに対して依然として平均水深は深く、島嶼部もほとんど存在しないため、トカラ列島周辺部とは異なり、海底の多くの範囲には底層流のような形での大きな影響は及ぼしていないと考えられる。ただし、地形的高まりの周辺では局所的に流れが強まり、リップルを示す砂質堆積物や地形的高まりの周辺における生物源碎屑物の堆積を引き起こしていると考えられる。沖縄トラフの底部から縁辺部、トカラ列島へと、東側に行くほど水深の浅化や地形的高まりの増加が進むので、それに伴って黒潮の海底への影響が徐々に強まり、局所的な露頭・礫質堆積場の分布や、平坦部における細粒堆積物の粗粒化が起こっていると考えられる。

また、5 mm以上の粒子の分布に着目すると、主要成分としてはパミスが広く分布しており、暗色岩片質の粒子や生物源粒子を残渣の主成分とする地点も点在する。軽石や暗色岩片の供給源としては、海域に点在する

海底火山をはじめとする地形的高まりが考えられる。また、軽石は泥質堆積物や細粒砂質堆積物の認定された地点でも広く見つかっている。軽石は海中を浮遊することで長距離移動しうることが知られており、これらの地点では遠方より移動し堆積した軽石も多く含んでいる可能性が高い。生物源碎屑物を主体とする堆積物は地形的高まりの周辺に集中して存在しており、その供給源としては、堆積場近傍の地形的高まりにおいて、流速が堆積物による固着生物の埋没を妨げる程度に高く、なおかつ栄養源を供給することにより、生物生産に適した底層環境が形成されている可能性がある。例えば、サイトg335では石灰藻球が多く観察されたが、このサイトの水深は有光層より深く、また、石灰藻球の表面に生体のサンゴモが認められなかった。石灰藻球は外洋に張り出した流速の大きな陸棚上などで卓越することが知られており (松田・富山, 1988)、近傍の蓐曾根の平頂部で成長した石灰藻球が黒潮などの潮流の影響を受けて本サイトまで移動し、堆積した可能性が高い。

こうした数kmスケールの生物源碎屑物の供給場・堆



第10図 GB22-1及びGB22-2航海でサンゴ類が採集されたサイト及び海底写真でサンゴ類が確認されたサイト。海底地形は岸本(2000)に基づく。

Fig. 10 Map of the survey area of GB22-1 and GB22-2 cruises with localities where corals were collected or identified on seafloor photos. Sea-bottom topography is based on Kishimoto (2000).

積場の形成は、本調査における表層採泥の実施間隔(約6海里≒約11 km)よりも狭い範囲で局所的に分布している可能性が高い。局所的な底質の分布については、サブボトムプロファイラーによる浅層地層探査の結果や海底地形データを取得する際に得られるマルチビーム音響測深器の後方散乱強度など、高い連続性を持つが詳細な解釈が難しい音波探査データと、採泥試料分析をはじめとする離散的だが情報量が多く、詳細な解釈が可能な採泥データを組み合わせることで、調査海域全体について面的に解明できると考えられる。また反射法音波探査や岩石採取に基づく海底地質の認定(例えば、石野ほか, 2023; 石塚ほか, 2022)と組み合わせれば、海底の地形

の高まりからの供給物質の種類についても、地質学的な観点で制約を加えることが可能であると考えられる。

5.2 屋久島南方海域の底質分布規定要因

屋久島南方海域において実施されたGB22-1航海における結果として、主たる底質として泥質堆積物は水深1105 mと1277 mの2地点、細粒砂質堆積物は水深469 ~ 1438 m, 中粒砂質堆積物は水深362 ~ 1180 m, 粗粒砂質堆積物は水深469 ~ 740 m, 礫質堆積物は水深532 mの1地点、露頭は水深181 ~ 1402 mの範囲で確認された。

分布最大・最小水深と粒径の間には明瞭な相関は見られないが、分布範囲を見ると種子・屋久海脚から奄美海

第4表 GB22-1 およびGB22-2航海で採集されたイシサンゴ類のリスト.

Table 4 Scleractinian coral species list with sampling sites.

ORDER	
Family	
Species	Collection locality (St.)
SCLERACTINIA	
Micrabaciidae	
gen. et sp. Indet.	g195
Oculinidae	
<i>Madrepora</i> sp.	g313
Deltocyathidae	
<i>Deltocyathus vaughani</i> Yabe & Eguchi, 1937	g313, g335
<i>Deltocyathus</i> sp.	g195, g279, g312, g313, g357,
Caryophylliidae	
<i>Goniocorella dumosa</i> (Alcock, 1902)	g348
gen. et sp. Indet.	g167
Turbinoliidae	
<i>Idiotrochus kikutii</i> (Yabe & Eguchi, 1941)	g335
Stenocyathidae	
<i>Stenocyathus vermiformis</i> (Pourtalès, 1868)	g195
Gardineriidae	
<i>Gardineria</i> sp.	g335
Dendrophylliidae	
gen. et sp. Indet.	g348

第5表 抽出したDNAとRNAの堆積物1gあたりの量 (mg/g).

Table 5 Amount of extracted DNA and RNA per g of sediment (mg/g).

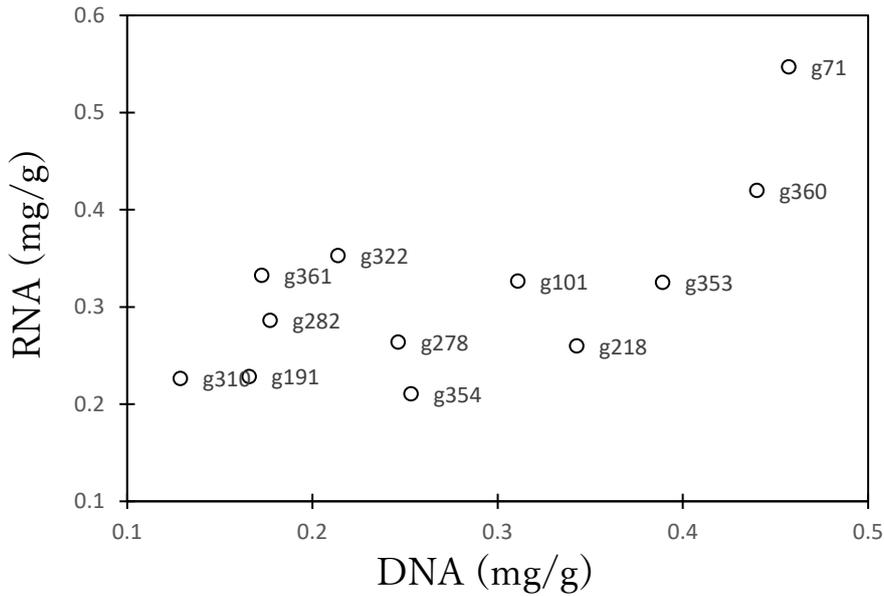
sample	DNA(mg/g)	RNA(mg/g)
g71	0.46	0.55
g101	0.31	0.33
g191	0.17	0.23
g218	0.34	0.26
g278	0.25	0.26
g282	0.18	0.29
g310	0.13	0.23
g322	0.21	0.35
g353	0.39	0.33
g354	0.25	0.21
g360	0.44	0.42
g361	0.17	0.33

脚に連なる稜線部に露頭が集中的に存在し、その東西を礫質から泥質堆積物が、各斜面で稜線部から離れるほど細粒化する傾向を持って分布する様子が見て取れる。この分布様式はGB21-2およびGB21-3航海で得た種子・屋久海脚および奄美海脚の西側斜面とも共通している。また、とくに種子・屋久海脚の東西斜面の砂質堆積物にはリップルが多く観察され、その形状および方位から推察される底層流の流向はおおむね東向きから等深線と平行な範囲に収まっている。したがって、海脚の東西斜面域

にリップルを形成する程度の流速値をとる底層流が存在すると思われる。種子・屋久海脚の稜線部に広大な露岩域が存在すること、種子島南方海域に、露岩域に隣接する形でリップルを呈する砂質堆積物が分布することはすでに知られていた(池原, 2014)が、本調査によってその範囲が少なくとも29.5°Nまで広がっていることが分かった。さらに南方の奄美海脚周辺についても、鈴木ほか(2022, 2023)の結果とあわせると同様に、「露岩域の広がる稜線部、その両側斜面に広がる底層流を示唆する堆積構造を持つ砂質堆積場」という底質が広がっている。トカラ列島周辺では東シナ海を北上してくる黒潮の流路が蛇行し、奄美大島近傍の緯度では沖縄トラフ側(南西諸島西側)にあった流軸が、屋久島近傍で蛇行し、太平洋側(南西諸島東側)に移動する。この出口にあたる屋久島南方海域では、種子・屋久海脚の稜線とほぼ直交する東南東から南東の流れが卓越することが海洋観測により知られている(日本海洋データセンター, 2023; 気象庁, 2023)。

このような底質分布は、本海域で東進して太平洋に抜ける黒潮が種子・屋久海脚という地形障壁を通過する際の流速増大および通過後の流速減少を反映していると考えられる。

砂質堆積物の残渣分類結果としては、種子・屋久海脚の東側斜面では生物源碎屑物に富んだ残渣が多く見られ



第11図 DNA含有量とRNA含有量のプロット図. ($p < 0.05$, ピアソンの相関係数: 0.70)
 Fig. 11 Plot of DNA and RNA amounts in the sediment. ($p < 0.05$, Pearson's product moment correlation coefficient: 0.70)

た。種子・屋久海脚の稜線部からの海底写真からは生体サンゴ等の存在が確認できており、また、屋久新曾根の頂部では海底写真は撮影できなかったが、生体八放サンゴや多数の海綿動物が採集された。これらのことから、この地域では浅海部で生産された生物源碎屑物が黒潮による東向きの流れによって種子・屋久海脚の東側斜面域に供給されている可能性が高い。

こうした環境多様性およびその分布は地質時代においては海水準変動等の影響を受けて変動している可能性があり、とくに石灰質の生物源碎屑物を用いた放射性炭素年代測定や、環境DNAをはじめとする生物源物質の分析によって検討していく必要がある。

種子・屋久海脚の東側斜面および奄美海脚側の斜面域では暗色岩片質の残渣が多く観察された。暗色岩片は種子・屋久海脚および奄美海脚を構成する基盤岩を起源とする可能性がある。本海域で実施した反射法音波探査やドレッジによる岩石採取に加えて本調査で得た岩石試料も補助的情報として活用し、とくに未だ詳細が解明されていない種子・屋久海脚の構成岩体に制約を与えることが期待される。

6. まとめ

GB22-1及びGB22-2航海では海洋地質図作成を目的としてトカラ列島周辺海域において95地点での表層採泥および1地点での柱状採泥を実施した。調査範囲において認定された底質は、粒径が小さいほど分布最小水深が深くなる一方で、分布最大水深は粒径と明瞭な関係がみ

られなかった。

トカラ列島西方海域の底質は、平坦部に分布する中粒砂質堆積物から泥質堆積物と、その中に点在する礫質堆積物および露頭で特徴づけられる。礫質堆積物、露頭は必ずしも浅い水深のみに分布するわけではなく、島嶼部や海脚の周辺、海域に点在する地形の高まりの付近に分布しており、これらの地形を形作る山体や火山起源物質、さらに地形高まりの頂部付近で生産される生物源物質が粗粒物質の供給源ではないかと考えられる。

屋久島南方海域の底質は、種子・屋久海脚から奄美海脚にかけての稜線部に広がる露頭と、その東西に分布する礫質堆積物から砂質堆積物、泥質堆積物で特徴づけられる。砂質堆積物には東向き、または等深線とおおむね平行な流向を示唆するカレントリップルが発達している。これらの構造は本海域において東シナ海を抜けて太平洋に流入する黒潮に伴う底層流の影響により生じている可能性が高い。サンゴ類、コケムシなどの分析結果から、本海域において黒潮は、底層流を通じた力学的な影響により、海脚頂部において生産された生物源物質を速やかに前弧斜面域に運搬する役割を果たしていると考えられる。

2020年度から2022年度まで実施されたトカラ列島周辺海域の堆積物採取により、本海域における約10 kmグリッドでの網羅的な底質調査が完了した。3年間の調査結果の統合および粒度分析や粒子組成分析など底質に関する定量分析の実施、音波探査記録との対比、柱状堆積物試料の分析などにより、本海域の底質分布や海洋環境

との関係, その時代変化をより詳細に解明することが期待される。

謝辞: 水山 克氏, 石井悟司氏, 木本ゆうな氏, 黒田智也氏, 酒向実里氏, 平山恵見氏, 渡邊聡士氏には良質な海底堆積物試料の採取にあたり多大なご協力をいただいた。

東海大学の玉井隆章技術員, 産業技術総合研究所の井上卓彦調査団長, 石野沙季氏, 高下裕章氏, 三澤文慶氏ほか乗船研究員の方々には採泥点選定やシップタイム調整, コアリング作業, 観測機器取付作業など様々な面でご協力いただき, 採泥調査を効率的に遂行することができた。東海大学坂本研究室の乗船学生の方々には観測記録や採泥作業の実施において多くの助力を頂いた。東海大学望星丸の上河内信義船長をはじめとする乗組員の皆様, 航海工学科航海学専攻の実習生の方々には調査船の運航及び採泥器投入・揚収をはじめとした甲板作業を安全かつ効率的に実施して頂いた。堆積物試料のX線CT像撮影及びデータ解析にあたり横井久美氏にご助力をいただいた。以上の皆様に心より御礼申し上げます。

文 献

- 下司信夫・石塚 治 (2007) 琉球弧の火山活動. 地質ニュース, no. 634, 6-9.
- Griffiths, R. I., Whiteley, A. S., O'Donnell, A. G. and Bailey, M. J. (2000) Rapid method for coextraction of DNA and RNA from natural environments for analysis of ribosomal DNA-and rRNA-based microbial community composition. *Applied and environmental microbiology*, **66**, 5488-5491.
- 本座栄一・宮崎光旗・玉木賢策・村上文敏・石原丈実・小野寺公児・有田正史・奥田義久・湯浅真人・玉木賢策・井内美郎 (1977) 琉球島弧周辺広域海底地質図. 海洋地質図, no. 7, 地質調査所.
- 池原 研 (2014) 種子島付近表層堆積図及び説明書. 海洋地質図, no. 84 (CD), 産総研地質調査総合センター.
- 石野沙季・針金由美子・三澤文慶・井上卓彦 (2023) 2021年度海域地質図航海で行ったトカラ列島周辺海域の反射法音波探査及びドレッジ概要. 地質調査研究報告, **74**, 211-230.
- 石塚 治・石野沙季・鈴木克明・横山由香・三澤文慶・有元 純・高下裕章・井上卓彦 (2022) トカラ列島南部海域で得られた海底岩石試料の特徴. 地質調査研究報告, **73**, 249-265.
- 板木拓也 (2015) 沖縄島北部周辺海域表層堆積図. 海洋地質図, no. 85 (DVD), 産総研地質調査総合センター.
- 板木拓也 (2018) 超音波高度計によるK-グラフ採泥器の誤作動防止システム. 板木拓也 (編) 「沖縄周辺海域の海洋地質学的研究」平成29年度研究概要報告書
- 一石垣島・奄美大島周辺海域一, 地質調査総合センター速報, no. 75, 143-146.
- 板木拓也・鈴木克明・池内絵里・及川一真・片山 肇・飯塚 睦・鈴木 淳・高柳栄子 (2022) 宝島及び諏訪之瀬島周辺海域における海洋環境. 地質調査研究報告, **73**, 301-311.
- Jackson, M. C., Weyl, O. L. F., Altermatt, F., Durance, I., Friberg, N., Dumbrell, A. J., Piggott, J. J., Tiegs, S. D., Tockner, K., Krug, C. B., Leadley, P. W. and Woodward, G. (2016) Recommendations for the next generation of global freshwater biological monitoring tools. *Advances in ecological research*, **55**, 615-636.
- 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).
- 気象庁 (2023) 50 m深の流速の実況図と30日先までの予想図 https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/db/kaikyo/daily/current_HQ.html (閲覧日: 2023年8月11日)
- Kitahashi, T., Sugime, S., Inomata, K., Nishijima, M., Kato, S. and Yamamoto, H. (2020) Meiofaunal diversity at a seamount in the pacific ocean: a comprehensive study using environmental DNA and RNA. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, **160**, 103253.
- 高下裕章・佐藤太一・横山由香・佐藤悠介・三澤文慶 (2022) GB21-1及びGK20航海(トカラ列島周辺海域)における海底地形観測. 地質調査研究報告, **73**, 197-209.
- 松田伸也・富山卓子 (1988) 琉球列島の島棚上にみられる現生サンゴモ球に関する一考察. 琉球大学教育学部紀要 第一部・第二部, **33**, 343-354.
- Minami, H., Oikawa, M. and Ito, K. (2014) Newly discovered submarine volcano near the Tokara islands. Report of Hydrographic and Oceanographic Researches, **51**, 145-151.
- Minami, H., Ohara, Y. and Tendo H. (2021) Volcanic and tectonic features of Shirahama Bank in the northern Ryukyu Arc: Implications for cross-arc volcanism controlled by arc-parallel extension. *Marine Geology*, **441**, 106623. doi:10.1016/j.margeo.2021.106623
- Morard, R., Füllberg, A., Brummer, G-J A., Greco, M., Jonkers, L., Wizemann, A., Weiner, A. K. M., Darling, K., Siccha, M., Ledevin, R., Kitazato, H., de Garidel-Thoron, T., de Vargas C. and Kucera, M. (2019) Genetic and morphological divergence in the warm-water planktonic foraminifera genus *Globigerinoides*. *PLoS One*, **14**, e0225246. doi: 10.1371/journal.pone.0225246
- 日本海洋データセンター (2023) 海流観測データの統計値 (水平分布). https://www.jodc.go.jp/jodcweb/index_

- j.html (閲覧日：2023年8月11日)
- Pawlowski, J., Apothéloz-Perret-Gentil, L. and Altermatt, F. (2020) Environmental DNA: What's behind the term? Clarifying the terminology and recommendations for its future use in biomonitoring. *Molecular Ecology*, **29**, 4258–4264.
- Pawlowski, J., Christen, R., Lecroq, B., Bachar, D., Shahbazkia, H. R., Amaral-Zettler, L. and Guillou, L. (2011) Eukaryotic richness in the abyss: insights from pyrotag sequencing. *PLoS One*, **6**, e18169.
- R Core Team (2023) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/> (閲覧日：2023年7月25日)
- 齋藤直輝・鈴木克明・板木拓也・鈴木 淳 (2024) トカラ列島周辺海域におけるCTD観測および海洋大循環モデルに基づく海洋環境. 地質調査研究報告, **75**, 279–297.
- Schiebel, R. and Hemleben, C. (2017) *Planktic Foraminifers in the Modern Ocean*. Springer Berlin, Heidelberg, 358p.
- Stow, D.A.V., Hernández-Molina, F. J., Llave, E., Sayago-Gil, M., Díaz del Río, V. and Branson, A. (2009) Bedform velocity matrix: The estimation of bottom current velocity from bedform observations. *Geology*, **37**, 327–330. doi:10.1130/G25259A.1
- 鈴木克明・板木拓也・片山 肇・兼子尚知・山崎 誠・徳田悠希・千徳明日香 (2022) 宝島及び諏訪之瀬島周辺海域の底質分布とその制御要因. 地質調査研究報告, **73**, 275–299.
- 鈴木克明・板木拓也・片山 肇・兼子尚知・山崎 誠・有元 純・徳田悠希・千徳明日香・清家弘治 (2023) トカラ列島周辺海域の底質分布とその制御要因. 地質調査研究報告, **74**, 259–286.
- Tsutsumi, E., Matsuno, T., Lien, R. C., Nakamura, H., Senjyu, T. and Guo, X. (2017) Turbulent mixing within the Kuroshio in the Tokara Strait. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, **122**, 7082–7094. doi: 10.1002/2017JC013049
- Ujiie, Y. and Ujiie, H. (2000) Distribution and oceanographic relationships of modern planktonic foraminifera in the Ryukyu Arc region, northwest pacific ocean. *Journal of Foraminiferal Research*, **30**, 336–360. doi: 10.2113/0300336
- Xu, X. and Oda, M. (1999) Surface-water evolution of the eastern East China Sea during the last 36,000 years. *Marine Geology*, **156**, 285–304. doi:10.1016/S0025-3227(98)00183-2
- Yates, M. C., Derry, A. M. and Cristescu, M. E. (2021) Environmental RNA: a revolution in ecological resolution? *Trends in Ecology & Evolution*, **36**, 601–609.

(受 付 : 2024年1月19日 ; 受 理 : 2024年11月6日)

GB22-1 及び 2 航海（トカラ列島周辺海域）で採取された底生有孔虫群集の概要

長谷川 四郎^{1,*}

HASEGAWA Shiro (2024) Preliminary results on distribution of benthic foraminifera collected during the GB22-1 and 2 cruises around Tokara Islands. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 75 (5/6), p. 249–263, 4 figs and 2 tables.

Abstract: Basic statistics on the occurrence of benthic foraminifera are investigated using sediment samples collected from east and west of the Tokara Islands (from around the Tane-Yaku Spur and the Amami Spur, and from the eastern margin of the Okinawa Trough, respectively) during cruises GB22-1 and -2. Using 47 samples collected from depths of 257 to 1,438 m, I calculated foraminiferal indices such as the benthic and planktic foraminiferal numbers (FN_b and FN_p, respectively), the proportions of three types of test composition of benthic foraminifera, and the proportion of planktic foraminifera relative to the total foraminifera (PF%). These indices were almost constant with water depth throughout the Nansei Islands. Four depth zones, corresponding to previously reported Zones II to V around the Nansei Islands, are recognized based on the depth distribution of characteristic species.

The proportion of agglutinated forms of benthic foraminifera is reduced at depths of ≥ 700 m in the area “East of Spurs”, suggesting that allochthonous calcareous species of shallow-water origin are widely distributed in the sediments. In addition, a reduction in the planktic/total foraminifera (PF%) value is observed at sites dominated by abiotic clastic sediment or allochthonous benthic foraminiferal remains. Both anomalies are likely to have formed under the influence of the strong Kuroshio Current and the topography surrounding each site.

Keywords: benthic foraminifera, Tokara Islands, East China Sea, Northwest Pacific, Recent

要 旨

GB22-1 及び 2 航海によるトカラ列島を東西に挟む海域（種子・屋久海脚-奄美海脚と沖縄トラフ東縁部）の水深 257 m–1,438 m の計 47 地点を選定し、有孔虫群集の産状を表すための基礎統計量として、底生・浮遊性有孔虫数、底生有孔虫の殻質構成比、浮遊性有孔虫率などの有孔虫指標を算出した。それらの水深に伴う変化と、主要種の深度分布にもとづく II 帯から V 帯の群集区分については、これまでに南西諸島周辺で報告されたものに対応する。

膠着質殻種の産出率の異常な低下が海脚東方海域で確認され、浅海起源の異地性遺骸を含む堆積物が広く分布することが示唆される。また、浮遊性有孔虫率の深度分布における異常は、底生・浮遊性の両有孔虫数の特徴から、非生物性碎屑物の増加による底生・浮遊性有孔虫数の相対的減少と、異地性底生有孔虫遺骸の付加による底生有孔虫数の増加が、各地点の周辺の地形に応じた黒潮の強い流れの影響を受けることで生じる。

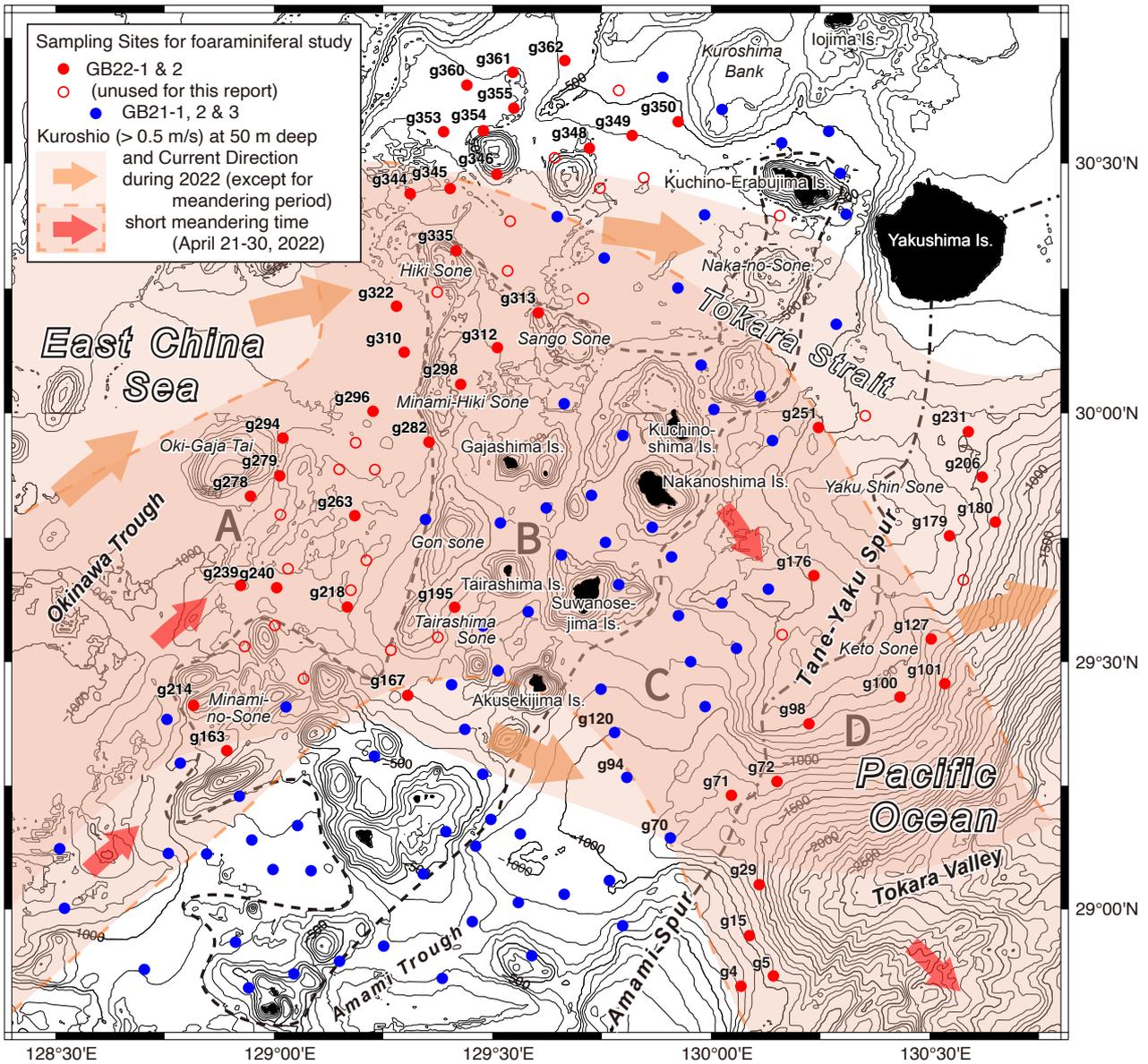
1. はじめに

産業技術総合研究所地質情報研究部門による令和 4 年度の 2 度の望星丸調査（GB22-1 及び 2）により、九州南西方のトカラ（吐噶喇）列島周辺を挟んだ東西の二つの海域にて採取された表層堆積物について、底生有孔虫群集の予察的調査を行った。本調査は令和 3 年度のトカラ列島周辺海域調査（GB21-1、2 及び 3；井上ほか、2022；2023）に引き続いて施されたもので、調査海域は GB22-1 航海がトカラ列島東方の種子・屋久海脚と奄美海脚の周辺海域、GB22-2 航海はトカラ列島西部から沖縄トラフに至る海域で実施された（第 1 図）。調査海域の海底地形は、前年度のトカラ列島周辺海域、とくに長谷川（2023）が“トカラ火山群島海域”と仮称した起伏の著しい海域に比べて地形の変化が緩やかな地点が多く、局所的な環境要因の影響が小さい可能性があることから、海洋構造と有孔虫群集の対応関係を理解するのに相応しい海域と期待される。

東シナ海中部の沖縄島西方において、黒潮流軸部の強

¹ 東北大学学術資源研究公開センター総合学術博物館 (Tohoku University Museum, 6-3, Aramaki Aoba, Aoba-ku, Sendai, 980-8578, Japan)

* Corresponding author: HASEGAWA, S. Email: shiro@museum.tohoku.ac.jp



第1図 GB22-1及び2航海の底生有孔虫試料採取地点。海域区分 A：沖縄トラフ東縁部，B：トカラ火山群島海域，C：トカラ東方海域，D：海脚東方海域。橙色の範囲・橙色の矢印は黒潮軸部（流速0.5 m/s以上）の2022年の最大変動範囲と流向。図下部の淡色部と赤色矢印は蛇行期（2022年4月21-30日。）の流域と流向（気象庁ホームページ「各種データ・資料/海流に関する診断表，データ/月旬平均海流」（気象庁，2023）を元に，1年分を合成して作成）。海丘等の名称は海底地形の名称に関する検討会（2022）および横瀬ら（2010）による。海底地形は岸本（2000）に基づく。

Fig. 1 Sampling locations for benthic foraminifera research collected during GB22-1 and 2 cruises. Division: A: Eastern margin of Okinawa Trough, B: Tokara Volcanic Islands Area, C: East of Tokara Islands, D: East of Spurs. Orange colored area and arrows: Maximum fluctuation range of fast current (more than 0.5 m/s) of Kuroshio during 2022. Lighter colored area and a red arrow at lower part of the map indicate those of meandering period (April 21-30, 2022). Undersea topographic names are based on Japanese Committee on Undersea Feature Names (2022). Topographic map is based on Kishimoto (2000).

い流れが水深500 m付近にまで及ぶことが、直接測流により確認されている（水野ほか，1991）。また、太平洋に流れ出した黒潮についても、屋久島南東における直接測流により、強い流れは上層600 mに限られるとされている（竹松，1984）。本調査海域の南西部に隣接するトラフ

縁辺域のGB21-3による水深1,000 mを越える調査地点では、表層流の影響がまったく認められていない（長谷川，2023）。一方、トカラ列島付近では多くの地点でカレントリップルが確認されており、起伏に富む海域を抜けた黒潮の強い流れの影響が水深600 mの海底にまで及んでいる

ことを示されており(鈴木ほか, 2023), 有孔虫群集でもその影響が確認されている(長谷川, 2023).

GB22-2 調査海域の西方における沖縄トラフ底はほぼ平坦で, その水深は平島・権曾根の西方で約1,000 m, それより北方に向かうにつれて水深が徐々に浅くなり, 南九州の薩摩半島西方では約700 mとなる. GB22-2 航海が実施された調査海域内の沖縄トラフ東縁部においても, “トカラ火山群島海域”(以下では, 単に“火山群島海域”と略す)の西縁をなす藁曾根から平島曾根に至る海丘列の西側斜面下底の水深が約600–800 mであり, 藁曾根北方の西方に緩やかに傾く平坦面でも, 点在する海山を除いて, 水深は概ね600–800 mである. したがって, GB22-2 調査海域を黒潮の流軸部が通過するものの, 海底の大半にはその流れの影響が及ぶことはないと推定される. そのため, 黒潮の下位に分布する東シナ海北部の中・深層水に関わる有孔虫群集についてデータが得られると期待される. その一方で, 同海域内に点在する海丘等の高まりの周辺部では表層流の下底付近に乱れが生じて, 底質や群集組成に局所的な変化をもたらすことが考えられる.

東シナ海を北上しトカラ列島を通過した黒潮は, GB22-1 調査海域内の屋久島の南方を経て太平洋に流れ出る. 種子・屋久海脚は屋久島から南南西方に約100 km張り出す高まりで, その稜線のほぼ中央に位置する屋久新曾根は水深が138 mであり, その南側には水深300 m以浅のケトウ曾根を始めとするピークが連なる. 屋久新曾根と北側の屋久島との間の鞍部は最大水深が約500 m, 南側のケトウ曾根との間の鞍部は水深約400 mである. したがって, 海脚の高まりは黒潮の流れに対する障壁となり得ることから, 黒潮の底部が稜線を乗り越えることに伴い, その強い流れが海脚周辺の底質や有孔虫群集に大きな影響を及ぼすことが想定される. 黒潮の流れによる同様の効果については, 起伏の著しい火山群島海域においても検討された(長谷川, 2023). しかし, その海域における多数の火山性海丘の集合による著しい起伏とは違って, 種子・屋久海脚は単一の高まりをなしており, 障壁として果たす効果に違いがある可能性もあることから, 海底地形の規模の違いが海底堆積物に及ぼす影響を理解するよい事例となるだろう.

さらに, 種子・屋久海脚の南方は, トカラギャップ(松本ほか, 1996)を隔てて, 奄美大島から北北東へ60 km張り出す奄美海脚の高まりが続く. 両海脚の東側斜面はトカラ海底谷の2,500 mを超える深みに続いており, 西フィリピン海盆の中・深層環境における有孔虫群集の特徴を理解するうえで, 貴重なデータが提供されると期待できる.

産総研地質情報研究部門により南西諸島周辺海域で実施された調査航海に伴い, これまでに有孔虫群集の分布の概要として, 筆者らは群集の基礎的統計量で表される指標と主要構成種の水深に伴う変化の概要を速報として

報告してきた(たとえば, 大井ほか, 2009; 長谷川・内村, 2017; 長谷川, 2020; 2023など). その際の対象は, 一貫して表層堆積物中の生体と遺骸を合わせた全体群集である. 有孔虫の寿命は分類群や生息環境によって異なり, 2週間から1年以上(Boltovskoy and Wright, 1976), あるいは数ヶ月から数年(藤田, 2013)とされる. それに対して遺骸群集は, 長寿命種の年齢を遙かに上回る長期間の集積体であり, その間に生起したであろう環境変化に応じて, 遷移を繰り返した様々な群集を構成した多くの種の遺骸が累積したものである. さらに加えて, それらは海底面下での生物擾乱による攪拌, 底層の流れにより搬出, あるいは海流や重力流などによる異地性遺骸の加入などの影響を被っている.

南西諸島周辺海域の調査航海で得られた有孔虫群集においては, 生体の産出量が少なく, 異地性個体が多い傾向にあることが大井ほか(2009)により報告されており, それ以後の報告では, 保存状態の比較的良い化石や異地性個体と現世の遺骸を区別することなしに, 一括して統計量を算出している. そのため, これにより得られる各試料採取地点の有孔虫群集に関する情報には, 混入した堆積物粒子の起源や粒子の運搬機構に関わる情報が含まれることになる. 長谷川(2023)は, 異地性個体の多い火山群島海域において, 遺骸を構成する殻の粒径や分級の程度をもとに, 異地性個体の起源や運搬過程について考察している. その反面, とくに異地性個体の混入が著しい地点では, 現地性種群に関する情報量が少なく, 生態に関する理解の妨げになる場合もある. そこで, 群集の中から異地性個体を識別し, それを除いて解析することが重要である.

異地性個体の殻は, 現生種遺骸に比べて破損や溶解による変質を受ける機会が多いことから, 殻の保存状態による判別が期待される. しかし, 変質の程度には大きな変異があり, 一方で, 現生種の現地性遺骸であっても, 殻の保存状態はその生息環境により大きな違いがある. そのため, 現地性遺骸と保存状態が良い異地性個体や再堆積した化石とを区別することは必ずしも容易ではない.

そこで, ここでは上述の有孔虫群集に関するさまざまな課題に取り組むための予備調査として, これまでの報告に準じて有孔虫群集の各指標を求めたうえで, 火山群島海域における成果を参照しつつ, 局所的な環境条件に影響される群集組成の変異に関する事例を検討する. 加えて, 調査海域における主要構成種の深度分布を周辺海域と比較検討し, さらに, 各指標から推定される異地性個体の認定について考察する.

2. 調査試料

2.1 試料の採取地点

有孔虫分析に用いる試料は, 種子・屋久海脚と奄美海脚周辺におけるGB22-1航海の水深362 m (St. g179) から

第1表 トカラ列島周辺海域 (GB22-1及び2航海)における有孔虫群集の産状。(底生有孔虫生体個体: + 産出, - 未発見)

Table 1 General outline of foraminiferal assemblages in the seas surrounding Tokara Islands (GB22-1 and 2 cruises) . (Living benthic foraminifera: + present, - absent)

Area	Site	Latitude (N)	Longitude (E)	Water Depth (m)	Cruise GB	Dry Weight (estimated) (g)	Mud Content (%)	Foraminiferal No. (/g)		Composition of Benthic Foraminiferal Test Wall (%)			Planktic Foraminifera (%)	Pteropoda / Planktic Foram. Ratio	Living Benthic Foraminifera	
								Benthic	Planktic	Agglutinated	Porcellaneous	Hyaline				
East China Sea	A: Eastern Margin of Okinawa Trough	g350	30°34.99'	129°55.02'	549	22-2	34.3	16.6	809	8,058	7.4	4.6	88.0	90.9	0.00	+
		g362	30°42.31'	129°39.07'	596	22-2	25.8	32.6	962	11,857	10.1	3.7	86.2	92.5	0.01	+
		g349	30°33.23'	129°48.95'	611	22-2	31.4	29.0	620	11,781	3.5	0.9	95.6	95.0	0.00	+
		g348	30°31.75'	129°43.12'	621	22-2	44.1	9.2	276	1,183	1.7	1.3	97.1	81.1	0.00	+
		g346	30°28.54'	129°30.38'	659	22-2	71.2	16.2	3,450	12,190	2.5	2.1	95.4	77.9	0.00	+
		g361	30°40.09'	129°32.66'	713	22-2	19.7	82.1	101	2,181	17.6	3.4	79.0	95.6	0.00	+
		g360	30°39.38'	129°26.31'	723	22-2	23.5	57.9	247	11,439	7.4	1.0	91.7	97.9	0.00	+
		g355	30°36.59'	129°32.74'	732	22-2	22.0	26.1	343	8,158	7.6	1.3	91.1	96.0	0.01	+
		g263	29°47.41'	129°10.88'	769	22-2	36.2	25.4	966	28,290	9.5	0.9	89.6	96.7	0.00	—
		g345	30°26.91'	129°24.04'	778	22-2	33.0	27.8	532	33,500	5.7	1.4	92.9	98.4	0.00	+
		g354	30°33.91'	129°28.53'	781	22-2	23.0	71.8	325	8,542	13.3	1.2	85.5	96.3	0.00	+
		g353	30°33.75'	129°23.06'	796	22-2	29.1	57.9	169	20,880	23.3	0.5	76.2	99.2	0.00	+
		g279	29°52.25'	129°00.06'	808	22-2	56.2	23.0	649	34,137	12.6	1.1	86.3	98.1	0.00	+
		g344	30°26.25'	129°18.51'	812	22-2	36.4	18.0	478	8,659	2.5	0.5	97.1	94.8	0.00	—
		g218	29°36.47'	129°09.88'	820	22-2	77.0	15.0	213	6,061	13.6	1.9	84.5	96.6	0.00	+
	g282	29°56.27'	129°21.13'	850	22-2	24.8	85.9	205	5,289	42.3	1.4	56.3	96.3	0.00	+	
	g240	29°38.83'	129°00.16'	869	22-2	21.9	40.0	420	24,435	29.1	0.5	70.5	98.3	0.00	—	
	g322	30°12.75'	129°16.06'	881	22-2	22.9	76.9	163	5,083	33.2	0.5	66.4	96.9	0.00	+	
	g310	30°07.25'	129°17.72'	888	22-2	26.6	92.6	62	1,934	36.6	3.9	59.5	96.9	0.00	+	
	g296	30°00.01'	128°13.37'	891	22-2	32.2	73.4	182	4,880	56.2	0.0	43.8	96.4	0.00	+	
	g239	29°39.02'	128°55.16'	900	22-2	28.1	45.5	588	27,368	24.3	0.5	75.2	97.9	0.00	+	
	g278	29°49.83'	128°56.52'	901	22-2	26.8	81.0	394	11,130	31.6	1.5	67.0	96.6	0.00	+	
	g294	29°56.86'	129°00.97'	916	22-2	25.2	16.8	1,567	17,553	5.6	3.3	91.1	91.8	0.01	+	
	B: Tokara Volcanic Islands	g335	30°19.47'	129°24.91'	257	22-2	46.0	8.1	1,145	1,151	5.8	20.4	73.8	50.1	0.02	—
		g313	30°12.02'	129°36.11'	495	22-2	26.8	11.0	1,968	10,599	3.1	23.0	73.8	84.3	0.02	—
		g298	30°03.35'	129°25.41'	561	22-2	31.9	14.5	1,685	17,075	2.4	7.1	90.5	91.0	0.02	+
		g312	30°07.84'	129°30.49'	615	22-2	36.5	11.8	1,283	16,590	3.9	4.9	91.3	92.8	0.00	+
		g214	29°24.77'	128°48.94'	616	22-2	38.3	14.7	249	3,710	5.9	11.2	82.9	93.7	0.01	+
		g195	29°36.45'	129°24.06'	673	22-2	66.4	7.8	775	3,889	1.5	6.0	92.5	83.4	0.11	—
g163		29°19.22'	128°53.29'	771	22-2	38.3	29.7	542	13,313	13.6	2.3	84.0	96.1	0.00	+	
g167	29°25.83'	129°18.12'	797	22-2	44.8	10.8	271	1,525	0.8	4.2	94.9	84.9	0.01	—		
C: East of Tokara	g176	29°40.45'	130°14.23'	469	22-1	45.6	6.9	598	5,506	2.8	13.1	84.0	90.2	0.25	+	
	g251	29°57.94'	130°15.01'	469	22-1	39.3	5.6	671	3,946	2.4	17.5	80.1	85.5	0.14	+	
	g71	29°13.87'	130°2.73'	1277	22-1	37.5	68.0	182	2,482	67.8	0.0	32.2	93.2	0.00	+	
Pacific Ocean	D: East of Spurs	g179	29°45.14'	130°32.81'	362	22-1	33.1	8.2	1,622	9,394	4.3	13.8	81.9	85.3	0.35	+
		g231	29°57.07'	130°35.78'	476	22-1	36.3	6.8	163	439	8.6	18.4	73.0	72.9	0.14	—
		g98	29°22.57'	130°13.31'	532	22-1	42.8	13.2	307	3,160	4.4	9.8	85.9	91.2	0.03	+
		g206	29°52.36'	130°37.63'	590	22-1	13.8	25.7	3,621	11,752	4.5	7.3	88.2	76.4	0.05	—
		g100	29°25.76'	130°25.67'	606	22-1	30.4	27.2	910	14,220	9.3	2.8	88.0	94.0	0.01	+
		g180	29°47.15'	130°39.12'	682	22-1	36.9	12.6	1,183	7,668	6.1	5.6	88.3	86.6	0.18	+
		g4	28°50.07'	130°03.91'	737	22-1	50.4	9.5	1,169	4,004	1.7	9.6	88.7	77.4	0.11	—
		g127	29°32.96'	130°30.46'	740	22-1	37.1	7.6	398	2,218	5.0	17.8	77.2	84.8	0.08	—
		g5	28°51.84'	130°08.06'	1044	22-1	39.9	24.9	196	9,796	8.4	1.4	90.2	98.0	0.00	—
		g15	28°56.84'	130°05.19'	1070	22-1	30.8	11.9	857	49,621	3.4	0.4	96.1	98.3	0.00	—
		g101	29°27.41'	130°32.22'	1105	22-1	31.4	54.0	671	6,385	15.5	0.0	84.5	90.5	0.02	—
g72	29°15.48'	130°08.98'	1186	22-1	41.6	22.5	104	9,025	21.2	3.4	75.4	98.9	0.00	—		
g29	29°03.03'	130°06.57'	1438	22-1	46.8	26.2	190	4,396	18.0	1.0	81.0	95.9	0.00	+		

1,438 m (St. g29)に至る19地点, およびトカラ列島西部域から沖繩トラフ東縁部におけるGB22-2航海の水深257 m (St. g335)から916 m (St. g294)に至る53地点, 合計72地点で採取された。これらの全地点の試料について, 底生有孔虫の生体識別のためのローズベンガル染色と, 乾

燥重量を算出するための所定の手順で処理したのち, 海域と水深, 含泥率, ならびに, 処理後の試料における構成粒子の粒度・種類などの特性の違いを考慮して, 計47地点を選定して, 有孔虫類の産状を予察的に分析した(第1表)。

本調査海域は太平洋と東シナ海に跨がるが、一般に、両海域の境界は種子島・屋久島から奄美群島・沖縄諸島に至る島列を境界として区分されることから、本稿では種子・屋久海脚と奄美海脚の稜線を境界とする。それにより、GB22-1の試料採取地点は両海脚の東側斜面が太平洋、西側斜面は東シナ海の海域に区分される。ここでは、東側斜面の海域を“海脚東方海域”と呼称することにする。また、西側斜面は、先に長谷川(2023)が火山群島海域を取り巻く東シナ海を便宜的に細分した際の“東側海域”とその南側に続く“南側海域”に相当する。ここでは、両“海域”を併せて“トカラ東方海域”と呼ぶ。一方、GB22-2航海の調査範囲はトカラ火山群島海域の西部から沖縄トラフ東縁部にかけての海域であり、両海域の境界については長谷川(2023)による区分を踏襲する。以下では、海域ごとに試料採取地点の概要を示す。なお、第1図には有孔虫用全試料の採泥位置を示し、本報告に用いた地点にはその地点名を付す。

海脚東方海域：種子・屋久海脚東斜面の水深362 m (St. g179)–1,186 m (St. g72)の9地点、および奄美海脚北東斜面の水深737 m (St. g4)–1,438 m (St. g29)の4地点。

トカラ東方海域：種子・屋久海脚東斜面の水深469 mの2地点、St. g176とSt. g251、および1,277 mのSt. g71の3地点。

火山群島海域：臥蛇島北西における水深257 m (St. g335)–615 m (St. g312)の4地点、および悪石島西方における水深616 m (St. g214)–797 m (St. g167)の4地点。海丘に隣接する地点のほか、海丘から若干離れた緩傾斜の地点が含まれる。

沖縄トラフ東縁部：本調査海域内では、地形的特徴から、おおよそ南・中・北部に細分される。南部の権曾根と平島曾根の西方における、水深769 m (St. g263)–916 m (St. g294)の7地点。水深約600 mから約1,000 mのトラフ底に向かって全体としては南西方向に傾斜する。また、北西端には頂部水深が77 mの沖臥蛇堆が水深約900 mのトラフ底からそびえ立つ。中部の南墓曾根から墓曾根の西方の、水深850 m (St. g282)–891 m (St. g296)の4地点。水深約800–900 mのトラフ底で、海底の起伏は非常に小さい。北部は墓曾根の北方における、水深549 m (St. g350)–812 m (St. g344)の12地点。黒島と黒島堆周辺の水深約500 mから南西方の水深800 mに向けて緩やかに傾斜する平坦面に加え、水深約700 mから聳える2座の海丘（西新曾根と東新曾根）の周辺を含む。

2.2 試料の室内処理

GB22-1および2の両航海で得られた有孔虫分析用試料は、木下式グラブ採泥器によって採取された表層堆積物の表層2 cmの部分で、当初の目標として約30 ml、実際には20–60 mlが分取された。採取試料は直ちに冷蔵保存

され、寄港先から研究室に輸送された。

湿潤状態にある有孔虫用試料の室内処理において、試料の乾燥重量を求めるとともに、併せて有孔虫生体を識別するための染色処理に至る工程を通じて、試料の乾燥を忌避することを目的として、試料中の泥分を分離・回収し、その一定分量の重量を測定して、総重量の推計値を算出した。その処理の手順は長谷川(2023)に記述があることから、以下には、項目のみを列挙する。

1) 泥分の分離、2) 泥分の測定、3) 生体の染色、4) 余分な染料の除去、5) 乾燥重量の算出、6) 含泥率測定、7) 有孔虫個体の摘出、8) 有孔虫個体数の計数。

最後の項目8)では、項目7)で摘出された規定量の有孔虫群について、底生有孔虫の属種を暫定的に同定するとともに、群集の概要を把握するため、底生・浮遊性有孔虫数、底生有孔虫の殻質構成比、浮遊性有孔虫率、翼足類–浮遊性有孔虫比などの基礎統計量の算出を目的として実施する。

南西諸島周辺海域の有孔虫群集には、前述のように、異地性個体が多い傾向にあることから、ここでも長谷川(2023)など従来の報告と同様に、保存状態の比較的良好な化石や異地性個体と現世の遺骸を区別することなしに一括して統計量を算出しており、現世の遺骸の一部として扱う。

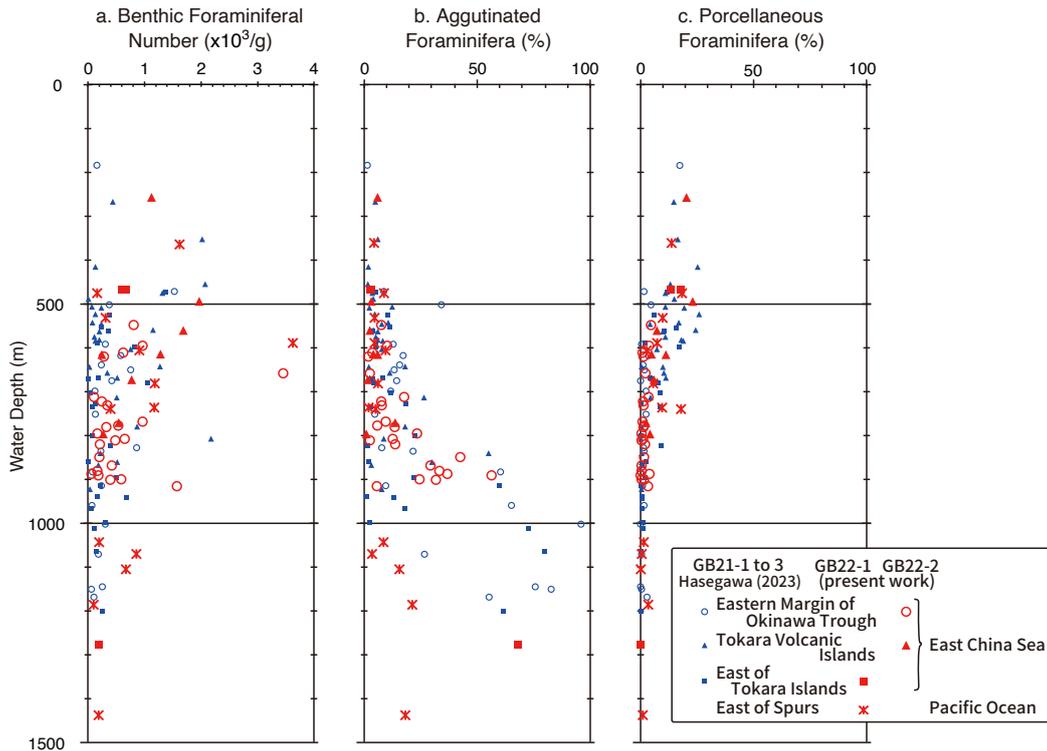
3. 有孔虫群集の基礎統計量

有孔虫群集に関して算出した基礎統計量を第1表に、それぞれの水深に伴う変化を第2図と第3図にまとめて示す。なお、本報告の調査が、令和3年度のトカラ列島を中心とする調査海域を挟む東西の海域で行われたことから、第2図と第3図には、赤色記号で示す本調査のデータに加えて、GB21-1–3航海による長谷川(2023)のデータを青色記号で示す。

3.1 有孔虫数 (Foraminiferal Number)

有孔虫数は単位乾燥重量(1 g)あたりの、底生種と浮遊性種の有孔虫産出個体数である。底生種の有孔虫数(底生有孔虫数 benthic foraminiferal number ; FN_b)は62–3,621個体/gの値を示す。全体としては、水深約450–500 m付近の約2,000個体/gをピークに、値は水深を増すにつれて減少し、1,000 m以深で300個体/g以下となる(第2図a)。しかし、海脚東方海域のSt. g206(水深590 m)と沖縄トラフ東縁のSt. g346(659 m)では、3,000個体/gを超す非常に大きな値を示した。また、海脚東方海域のSt. g15(水深1,070 m)で857個体/g、St. g101(1,105 m)で671個体/g、沖縄トラフ東縁のSt. g294(916 m)で1,567個体/g、など、水深の割に大きい値を示す地点が確認された。

浮遊性種の有孔虫数(浮遊性有孔虫数 planktic foraminiferal number ; FN_p)は439–49,621個体/gのパラッキがあるが、全体としては水深約500–1,000 mの範囲で



第2図 トカラ列島周辺海域 (GB22-1及び2航海)における底生有孔虫の産状。GB21-1, 2及び3航海による結果 (長谷川, 2023) を合わせて示す。 a: 底生有孔虫数, b: 磁器質殻種の産出頻度, c: 膠着質有孔虫の産出頻度。

Fig. 2 General outline of benthic foraminifera in the seas surrounding Tokara Islands for GB22-1 and 2 cruises, with results of GB21-1, 2 and 3 cruises (Hasegawa, 2023). a: benthic foraminiferal number; b and c: proportion of porcellaneous (b) and agglutinated (c) taxa in benthic foraminifera.

約10,000個体/g以上の高い値を示す地点が多い(第3図b)。沖縄トラフ東縁海域の権曾根西方と西新曾根西方では、St. g279 (水深806 m)の34,137個体/gを頂点に、20,000個体/gを上回る大きな値を示す地点がある一方で、近隣の地点で9,000個体/gに満たない地点も認められる。また、奄美海脚北東斜面のSt. g15 (水深1,070 m)は、本調査における最大値の49,621個体/gを記録している。

3.2 底生有孔虫殻質構成比

現生底生有孔虫の殻は主に膠着質・磁器質石灰質・ガラス状石灰質によって構成される。産総研の南西諸島周辺調査に伴う大井ほか(2009)以来の有孔虫予備調査では、海底環境の概要を表す指標の一つとして、底生有孔虫群集の殻質構成比が検討されてきた(長谷川, 2023)。

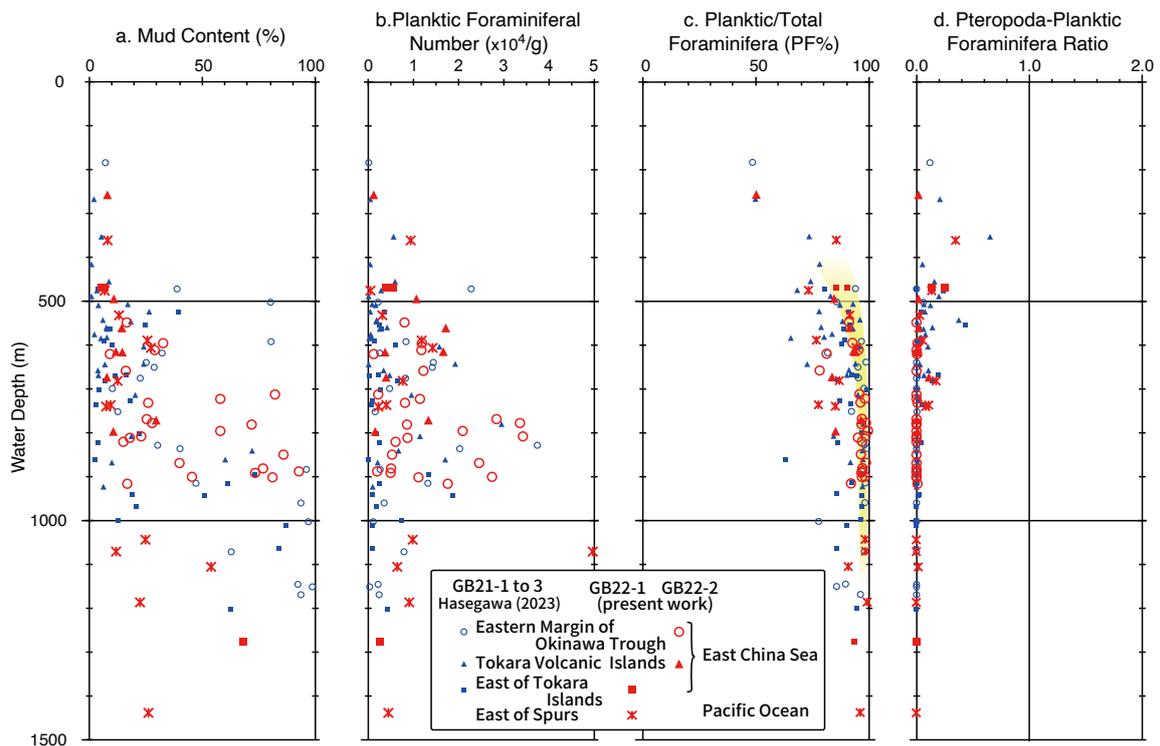
本調査海域において、膠着質殻種の割合は0.8–67.8%まで、地点による大きな差異が認められるが、水深700 m以浅では概ね10%未満の小さい値を示す。それ以深では、とくに沖縄トラフ東縁海域において水深を増すにつれて増加し、850 m以深ではおおむね30%以上となる(第2図b)。また、トカラ東方海域のSt. g71 (水深1,277 m)で

は、本調査における最大値の67.8%を記録している。その一方で、海脚東方海域の水深1,000 m以深では全般的に値が小さく、最大でもSt. g72 (水深1,186 m)の21.2%である。

磁器質石灰質殻種の割合は、水深約600 mを境に、それ以浅で概ね5%以上だが、以深では5%未満となる。とくに水深500 m付近では10%を越える。一方で、南ノ曾根(火山群島海域)の水深616 m (St. g214)で11.2%、種子・屋久海脚東斜面の水深737 m (St. g127)と奄美海脚北東斜面の水深740 m (St. g4)で、それぞれ17.8%と9.6%など、大きい値を示す地点も散見される(第2図c)。

3.3 浮遊性有孔虫率

全有孔虫個体に占める浮遊性有孔虫個体の割合は古水深指標の一つで(Murray, 1991など)、ここでは、長谷川(2023)と同様に浮遊性有孔虫率(PF%)と表記する。本調査の対象地点におけるPF%は、50.1–99.2%の値を示す(第3図c)。本調査の最浅地点である藁曾根北東斜面中部(火山群島海域)のSt. 335 (水深257 m)で50.1%だが、屋久新曾根東斜面(海脚東方海域)のSt. 179 (水深362 m)など水



第3図 トカラ列島周辺海域（GB22-1 及び 2 航海）における浮遊性有孔虫の産状（GB21-1, 2 及び 3 航海による結果（長谷川, 2023）を合わせて示す）。 a: 含泥率の水深に伴う変化, b: 浮遊性有孔虫数 (g), c: 浮遊性有孔虫率 (黄色: 標準的PF%深度分布), d: 翼足類の浮遊性有孔虫に対する比率。

Fig. 3 General outline of planktic foraminifera in the seas surrounding Tokara Islands for GB22-1 and 2 cruises, with results of GB21-1, 2 and 3 cruises (Hasegawa, 2023). a: mud content; b: planktic foraminiferal number; c: planktic/total foraminifera (PF%; yellow belt indicating standard PF% depth distribution), d: ratio of pteropods to planktic foraminifera.

深350 m以深で概ね80 %以上、600 m以深ではほぼ90 %以上となり、水深が増すにつれて増加する傾向が確認される。この深度変化は、後述のように、多くの海域で一般的に確認される傾向とほぼ同様であり(4.2.2項を参照)、第3図cでは黄色の帯で示す。

一方で、その一般的な深度変化に比べ、やや小さい値を示す別の系列が認められた。それは沖縄トラフ東縁部の水深621–916 mの3地点、火山群島海域の水深673–797 mの2地点、ならびに海脚東方海域の水深476–1,105 mの6地点の合計11地点よりなる(第2表)。それらのうち、最浅のSt. g231(水深476 m)は屋久島–屋久新曾根間の鞍部の東部にあたるやや平坦な地形上にあるが、その他の10地点は、いずれも斜面の中部またはその麓に位置する。

3.4 翼足類–浮遊性有孔虫比

アラレ石からなる翼足類(軟体動物)の殻が、方解石からなる有孔虫の殻よりも溶解し易いことから、有孔虫殻の溶解に関する目安になる可能性を意図し、南西諸島周辺海域の調査において、翼足類殻と浮遊性有孔虫殻の産出個体数比(Pteropods/planktic foraminifera ratio; Pt/PF

比)を検討してきた(長谷川・内村, 2017, 長谷川, 2023など)。

本調査海域におけるPt/PF比は、0.00–0.35の値を示す。屋久新曾根東斜面のSt. 179(水深362 m)では0.35の比較的大きい値を示し、水深約500 m以浅の地点では0.1を上回る地点が認められる。また、種子・屋久海脚と奄美海脚の東斜面と火山群島域の水深約650–750 mにおいても0.1を上回る地点が散見される。

3.5 底生有孔虫生体個体

ローズベンガル染色により識別される有孔虫の生体個体の産出は、本報告の調査地点を通じて非常に小さく、群集解析用に定量的に有孔虫殻を摘出した結果では、1地点あたり最大でも2%未満で、未検出の地点も多い。そこで、処理済み試料の半量(最大分割分)について生体個体を調べたところ、生体個体が確認された地点数は32地点、すなわち47調査地点の約68%である(第1表)。なお、表には、産出の有無(+または-)のみを示す。一方、生体個体が検出されない地点は海脚東方海域で8地点、火山群島海域で4地点、沖縄トラフ東縁部

で3地点の合計15地点に達した。この数は、これまでの産総研による西南諸島周辺調査に伴う有孔虫調査を通じてもっとも多く、とくに海脚東方海域では調査地点の約62%に及ぶ。

4. 考察

4.1 底生有孔虫群集の分布と異地性遺骸

GB22-1及び2航海により採取された試料の有孔虫について、今後の詳細な分布と分類学的検討、ならびにそれに基づく群集解析に先立ち、水深に伴う分布の概要と異地性個体の産状について検討する。

本調査海域における有孔虫群集について、組成の水深に伴う変化を概観したところ、長谷川(2023)により報告されたトカラ列島周辺における変化とほぼ共通していることが確認された。長谷川(2023)では、その変化を、本調査海域の南側に隣接する奄美大島周辺海域において識別されたI帯-V帯の5群集(長谷川・内村, 2017; 長谷川, 2018)と比較し、組成の遷移における共通性に基づきII帯-V帯に対応する4群集を確認しており、本調査においても同様の結果が得られた。

この帯区分に用いられた底生有孔虫主要種の一部は、本調査海域において、異地性個体としても確認されるが、その点もまた、長谷川(2023)で指摘されている。それらは、本調査海域の一部も含むトカラ火山群島海域の地形的高所の麓付近を中心に分布しており、その海域を特徴づける起伏に富む海底地形と、そのほぼ全域の表層を通過する黒潮流軸の強流に起因するものと考えられている。それとは対照的に、奄美大島周辺海域では、黒潮は大島の遙か西方の大陸斜面に沿って流れており、強流の直接的影響を受けることは少ない。また、水深の大きな落差は奄美大島・喜界島・徳之島などの周囲に限られており、異地性個体の分布も島嶼周辺と谷状地形の下底部に限られる(長谷川・内村, 2017; 長谷川2018)。

そこで、本稿では、異地性遺骸の影響が小さい奄美大島周辺海域で設定された帯区分(長谷川, 2018)を基準とし、有孔虫群集の中で異地性個体を識別することを念頭において、本調査海域における有孔虫殻の産状を検討する。

奄美大島周辺海域(以下、“奄美周辺”と記し、長谷川(2018)の引用を省略する)でのI帯は水深120 m以浅に分布しており、*Amphistegina*属を主とし、大型の*Calcarina*属、*Baculogypsinoides spinosus*、*Planorbulinella larvata*、*Heterostegina depressa*、*Sphaerogypsina globulus*や、小型の*Textularia*属、*Elphidium*属、*Cibicides*属、*Quinqueloculina*属などで構成される。本調査海域では、I帯に該当する水深の有孔虫分析試料が採取されていない。一方で、火山群島海域のSt. g335(水深257 m)には、後述するII帯の特徴種に加えて、I帯を特徴づける*Amphistegina*属、*Calcarina*属、*Miniacina miniacea*、*Sphaerogypsina globulus*

などの熱帯性大型有孔虫と*Elphidium crispum*などの浅海性種が含まれており、調査海域にも分布する可能性がある。

II帯の水深は、奄美周辺では160 m–350 mの範囲とされる。その群集には*Lenticulina*属、*Asanonella tubulifera*、*Paracassidulina neocarinata*、*Bolivina robusta*、*Glabrata*属、*Quinqueloculina*属、*Triloculina*属、*Triloculinella*属を含み、水深約200 m以深には*Rectobolivina bifrons*、*Heterolepa subhaidingerii*、*Globocassidulina subglobosa*、*Cibicoides*属が加わるとされる。本調査海域では上述のSt. g335(水深257 m)のみが該当し、ほぼ同様の種群が確認されるが、*Asanonella*属と*Glabrata*属は確認されない。また、生体と見なし得るローズベンガルによる染色個体は、これまでに確認されていない。

この試料にはサンゴ、コケムシ、二枚貝、腕足類などを含む生物碎屑性堆積物が含まれる。同地点は火山群島海域北西端暮曾根の北東斜面上部に位置するが、その頂部の水深が108 mであることから、それらの浅海性種群は、現在も頂部付近に分布する可能性がある。また、それらの殻には破損し、再結晶の兆候も見られることから、海底で長時間底層水に晒されたいわゆる“半化石”の可能性もあり、前述したI帯を特徴づける有孔虫種とともに、異地性遺骸として混入したと考えられる。

III帯は*Bulimina marginata*、*Reussella spinulosa*、*Sigmoilina sigmoidea*、*Siphouvigerina* spp.などで構成され、奄美周辺の水深380 m–550 mに設定された。本調査海域では、沖縄トラフ東縁部のSt. g350(黒島堆西麓、水深549 m)、火山群島海域のSt. g313(サンゴ曾根北斜面中部、495 m)、トカラ東方海域のSt. g176とSt. g251(屋久新曾根南西斜面および同北西斜面下部、469 m)、および海脚東方海域のSt. g179、g231およびg98(種子・屋久海脚斜面中部、水深362–532 m)で確認される。また、*Cyclammina cancellata*、*Trochammina*属、*Burseolina pacifica*、*Cibicides refulgens*、*Lenticulina*属などで染色個体が確認された。そのほかに、膠着質殻の*Ammolagena clavata*、*Psammosphaera*属、石灰質殻の*Eponides repandus*、*Globocassidulina*属、*Ehrenbergina*属、*Heterolepa subhaidingerii*、*Hoeglundina elegans*なども比較的多く群集に含まれる。

なお、火山群島海域のSt. g313と海脚東方海域のSt. g176、g179、St. g231では、ウニ、コケムシ、二枚貝、サンゴ骨格などの生物碎屑物とともに、石灰質殻の*Amphistegina*属、*Carpenteria*属、*Miniacina miniacea*および膠着質殻の*Gaudryina*属、*Spirorutilus*属、*Textularia*属などの浅海性有孔虫が確認されており、いずれも浅海域から運ばれた異地性遺骸と推定される。加えて、奄美周辺でII帯を特徴づけるとされた*Bolivina robusta*、*Paracassidulina*属、*Cibicoides pachydermus*も各地点で産出するが、試料採取地点がいずれも斜面の中・下部に位

置ることから、少なくともそれらの一部は異地性の可能性がある。

また、上述した屋久新曾根周辺の3地点 (St. g176, St. g179, St. g231) の有孔虫殻には、白色で透明感のある新鮮な個体のほかに、殻が黄色に変色した個体も含まれる。同様の変色個体は奄美大島周辺海域からも報告されており、その水深もおもに500 m以浅で、本海域との共通性が高い(長谷川・内村, 2017; 長谷川, 2018)。

IV帯は *Anomalinoidea glabratus*, *Ehrenbergina histrix*, *Gyroidinoides neosoldanii*, *Parrelloides bradyi* などで構成され、奄美周辺の水深600–1,000 mに設定された。また、水深800 m以深では、*Melonis pompilioides*, *Oridorsalis umbonatus* などが加わるとされる。本調査海域では、沖縄トラフ東縁部の水深596 m (St. g362)–869 m (St. g240) の16地点、火山群島海域の水深561 m (St. g298)–797 m (St. g167) の計6地点、および海脚東方海域の水深590 m (St. g206)–740 m (St. g127) の5地点が該当する。生体と見なし得る染色個体としては、*Cribrostomoides* 属、*Lagenammina* 属、*Nodulina dentaliniformis*, *Rhabdammina cylindrica*, *Reophax* 属などの膠着質殻種、および *Burseolina pacifica*, *Dentalina emaciata*, *Discanomalina semipunctata*, *Gyroidinoides neosoldanii*, *Hoeglundina elegans*, *Melonis pompilioides*, *Sphaeroidina bulloides* などが多くの地点で確認される。なお、火山群島海域では、5地点中2地点 (St. g312, g 214) においてのみ生体が確認された。

IV帯に相当する地点の有孔虫遺骸群集は、褐色–淡褐色に変色した個体で占められることが多い。その反面、変色の程度に差異があり、白色で透明感のある新鮮な個体とも漸移的であることから、やや長い期間海水と接触する間に酸化物質などが殻表面に沈着したことよることも考えられ、現地性遺骸の可能性もある。

一方、明らかに異地性と見なされる粒子が、海丘斜面の麓にあたる数地点で確認された。たとえば、沖縄トラフ東縁部のSt. g348 (東新曾根北麓, 水深621 m) の大型有孔虫 *Carpenteria* 属や *Cibicides* 属、*Elphidium* 属などの浅海生種群、火山群島海域のSt. g195 (平島曾根東麓, 673 m) ではサンゴ、コケムシなどを含む生砕性粗粒砂、海脚東方海域のSt. g4 (奄美海脚北麓, 737 m) 橙色に変色したサンゴ、巻貝、コケムシ、およびSt. g206 (屋久新曾根北東斜面, 590 m) のサンゴなどである。さらに、沖縄トラフ東縁部のSt. g279 (沖臥蛇堆東麓, 808 m) とSt. g346 (西新曾根南麓, 659 m) には海緑石が殻内部に詰まった有孔虫個体が確認された。

V帯はIV帯の深海部に分布する *M. pompilioides*, *O. umbonatus* に加えて、石灰質殻の *Pullenia bulloides* のほか、*Reophax* 属、*Rhabdammina* sp., *Marsipella* 属、*Rhizammina* sp. など多様な膠着質殻のタクサで構成され、奄美周辺では水深1,000 m以深に設定された。本調査海域では、沖縄トラフ東縁部の水深881 m (St. 322)–916 m (St. g294)

の6地点、トラフ東方海域の水深1,277 m (St. g71)、および海脚東方海域の1,044 m (St. g5)–1,438 m (St. g29) の5地点が該当する。すなわち、沖縄トラフ海域におけるV帯の上限水深は他の海域に比べて浅いように見える。しかし、GB21-1調査により、トカラ東部海域にあたるSt. g145 (915 m) とg91 (808 m) でV帯に該当する群集が確認されていることから(長谷川, 2023)、両海域における帯境界の差異は大きくないと見なされる。

染色個体としては、沖縄トラフ東縁部海域とトカラ東部海域の全地点 (g322, g310, g296, g239, g278, g294, およびg71) で *Lagenammina* 属、*Lituotuba lituiformis*, *Reophax* 属、*Rhabdammina abyssorum*, *Textularia* 属、*Bulimina aculeata*, *Globocassidulina subglobosa* など確認された。一方海脚東方海域では、St. g29においてのみ *Ceratobulimina jonesiana*, *Fissurina* 属、*Recurboides* 属、*Saccorhiza ramosa* などの産出が確認された。

V帯に相当する地点の有孔虫遺骸群集には、IV帯に見られるような褐色に汚染された個体は希で、白色で透明感のある個体が多い。しかし、沖縄トラフ東縁部のSt. 239 (沖臥蛇堆南方, 水深900 m) では、例外的に、褐色に汚染された有孔虫殻が確認される。また、明らかに異地性と見なされる *Amphistegina* 属、*Cibicides* 属、*Elphidium* 属などの浅海性のタクサが、V帯に相当する沖縄トラフ東縁部のSt. g294 (916 m)、および海脚東方海域の多くの地点 (St. g5, g.15, g72, g29) で確認された。

4.2 有孔虫群集の基礎統計量指標とその異常値

有孔虫群集の各基礎統計量は、値自体とそのバラツキの程度において、水深の増加に伴う変化が見られる。その変化パターンには、南西諸島周辺の海域全般にわたり共通性の高いことが、産総研の一連の調査に伴う分析により確認されてきた(大井ほか, 2009; 長谷川・内村, 2017; 長谷川, 2020など)。本報告の調査海域においても同様の傾向はあるものの、一方で、第3節で記したように、基本統計量の一般的な変化傾向から逸脱する異常な値を示す地点も確認されている。中でも、特定の海域の水深1,000 m以深で膠着質殻種の割合がとくに小さいこと(第2図b)、また、水深600 m以深で浮遊性有孔虫率(PF%)の小さい値を示す地点が各海域に散見されること(第3図c)などが注目される。以下では、有孔虫群集に確認されたそのような“特異な値”が生じる要因について、おもに周囲の地形的特徴と堆積物の特性との関係から検討する。

4.2.1 膠着質殻種

底生有孔虫群集の中で膠着質殻種が占める割合は、沿岸汽水域を除く通常の海域では全般的に小さく、水深約700 mより深海に向かうにつれて増加する傾向にある(長谷川, 2023)。沖縄トラフ東縁部の水深850 m (St. g282)

-901 m (St. g278) の7地点では24-56 %の中間的な値をとるが、その海域で最深の採取地点St. g294 (水深916 m) では例外的に小さい5.6 %を示した。その地点は沖臥蛇堆 (頂部水深77 m) の北東麓に位置し、底質は含泥率が16.8 %で、浮遊性有孔虫殻を多く含む細-中粒砂よりなり、前項 (4.1) で示した浅海性底生有孔虫種やサンゴ、コケムシなど、浅海性生物の遺骸が含まれる。それらは、黒潮流軸部の通過経路にあたる沖臥蛇堆周辺の位置からの推定として、常に強流に晒される堆頂部の浅海域を起源とする異地性遺骸と考えられる。一方の7地点のうち、とくにSt. g294に比較的近い5地点 (St. g282, g322, g310, g296, g278) は、ほぼ平坦な海底にあって (第1図)、底質は含泥率が73-93 %のシルトであり、おもに浮遊性有孔虫殻よりなる砂分を含む。これらの地点では浅海域起源の異地性粒子が確認されておらず、St. g294とは対照的に静穏な海底環境であり、黒潮に伴う強い流れの影響が水深800 m超の深海底にまでは及ばないことを示唆する。

本調査海域で膠着質殻種の割合が最大の67.8 %となるSt. g71 (水深1,277 m) は、トカラ東方海域に位置する (第2図b)。また、同地点に近接するGB21-2航海の3地点、St. g120, St. g94およびSt. g70 (水深1,012-1,201 m) でも、同様に60 %以上の高い値が報告されている (長谷川, 2023)。加えて、今回のSt. g71を含むトカラ東方海域の各地点では、生体 (染色個体) が確認され、石灰質殻の保存状態の良好な個体も多い一方で、異地性と見なし得る浅海性種の遺骸が含まれないことも再確認された。

一方、トカラ東方海域の東側に位置する海脚東方海域では、膠着質殻種の割合がSt. g72 (水深1,186 m) の21.2 %を最大として、V帯に相当する他の4地点でいずれも18.0-3.4 %と極めて小さい値を示す。種子・屋久海脚南端の斜面上にあるSt. g72では、多産する石灰質殻種のほとんどが破損または変色した個体で、少数ながら *Carpenteria* 属、*Cibicides lobatulus* などの浅海性種の遺骸も含まれる。同海脚東斜面のSt. g101では、浅海域からの明確な異地性遺骸は含まれないが、白濁した小型個体が非常に多い。また、St. g5, g15およびg29の3地点は奄美海脚末端の北東側斜面に位置しており、群集に灰褐色に変色した個体や白濁した個体が多く、*Amphistegina* 属や*Elphidium* 属など浅海性タクサの遺骸を伴う。なお、以上のいずれの地点でも、染色個体は確認されていない。

St. g71とSt. g72は、ともにトカラギャップ内の、互いに隣接した試料採取地点であるが、海底地形に基づく海域区分では、St. g71が種子-屋久海脚の南西側にあって、トカラ東方海域に相当するのに対し、St. g72は同海脚の南東側で、海脚東方海域にあたる (第1図)。両地点の底生有孔虫群集は、予備調査において、ともにV帯を特徴づける膠着質殻種を含み、主要構成タクサに大きな差異は認められない。その反面、群集に含まれる石灰質殻種

の保存状態に上述のように明瞭な違いが認められる。このような底生有孔虫群集の産状を総合すると、底生有孔虫によるV帯の群集は、膠着質殻種が卓越するトカラ東方海域では、石灰質殻種の保存状態も良好で、おもに現地性個体で構成される。それに対し、膠着質殻種の割合が非常に小さい海脚東方海域では、群集に保存不良の石灰質殻種が多く含まれ、一部には明確な浅海性種の遺骸を伴うことから、本来なら深海底で優勢になる膠着質殻種が、多量に混入した異地性個体により希釈され、見かけ上、産出頻度が低下したものと考えられる。

なお、異地性個体の供給源としては、膠着質殻種の割合が10 %未満である水深700 m以浅の海底が考えられる。さらに、調査海域において確認される異地性遺骸の中で、明確に浅海性と認定し得る種の頻度はさほど大きくない。このことは、再堆積により混入した堆積物粒子の多くが、より深い水深、たとえば上部漸深海帯またはそれ以深 (約200 m以深) を起源とする可能性を示唆するといえる。

4.2.2 浮遊性有孔虫率と有孔虫数

浮遊性有孔虫率 (PF%) は浮遊性有孔虫の全有孔虫に対する相対比であり、堆積物中に含まれる浮遊性種と底生種の量比を表す。浮遊性種はおもに外洋域の表層部に生息するのに対し、底生種は沿岸汽水域から深海底にまで棲息しており、海洋では通常、陸棚中部から漸深海帯上部付近で種数・個体数ともに多くなる。そのため、PF% は一般的には沿岸域から沖合の深海域に向かって増加している (Brasier, 1980)。本調査海域を含むトカラ列島周辺海域においても、これと同様の“標準的”なPF%の深度分布が第3図cにおける赤色の点群の密集領域 (黄色の帯で示す) として確認された。それに加えて同図には、3.3項で示したように、“標準”より5-20 %程度小さい値の11地点が“標準”とほぼ並走するような深度変化を示す。一方、GB21-1-3航海によるトカラ列島付近の概査地点 (青色記号) では、標準よりもさらに大きく外れる異常なPF%値が確認されて、異常な群集組成が形成される環境要因について検討されている (長谷川, 2023)。そこで本稿では、PF%の“標準”からの逸脱がさほどではなく、しかも、多少まとまりのある深度変化を示す上述の11地点について、堆積環境との関連性などを検討する。

浮遊性有孔虫率は、一定量の堆積物中における浮遊性種と底生種それぞれの個体数をもとに算出される。そこで、本調査で概査を行った各地点の底生および浮遊性有孔虫数 ($FN_b \cdot FN_p$) を両対数軸で示すと、PF%の等値線は並行線で表される (第4図)。上述した11地点 (番号①-⑪で示す) はいずれも92 %未満の領域 (図の右下半部) にプロットされるが、それらの分布範囲には、右上 (有孔虫数 $FN_b \cdot FN_p$ が共に大) から左下 (共に小) まで幅がある。それらを、仮に第1-3群の3群に区分し、各々の特性を検討する (第2表)。

第2表 トカラ列島周辺海域 (GB22-1 及び2航海) における PF%の異常な減少を示す地点 (第1表より抜粋).

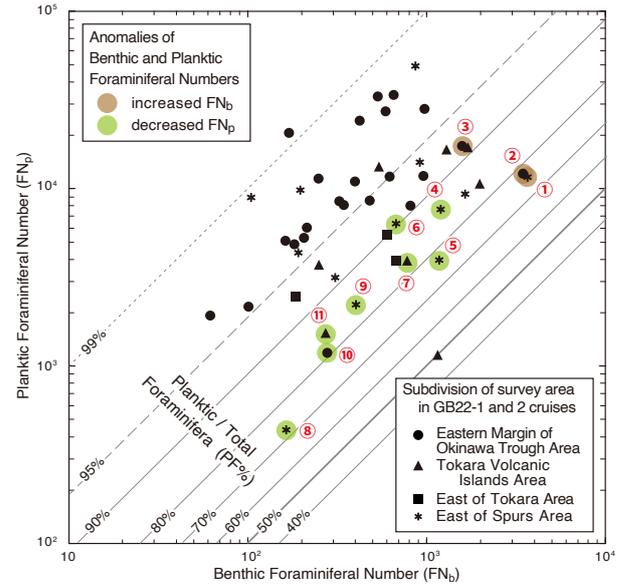
Table 2 Sites showing abnormal decrease in proportion of planktic foraminifera (PF%) in the seas surrounding Tokara Islands (GB22-1 and 2 cruises) . (Data extracted from Table 1).

Group	Site & No. on Fig.	Water Depth	Planktic/Total Foraminifera (%)	Foraminiferal Number (N/g)		Area
				FN _b	FN _p	
1	St. g206 ①	590	76.4	3,621	11,752	D
	St. g346 ②	659	77.9	3,450	12,190	A
	St. g294 ③	916	91.8	1,567	17,553	A
2	St. g180 ④	682	86.8	1,183	7,668	D
	St. g4 ⑤	737	77.4	1,168	4,004	D
	St. g101 ⑥	1,105	90.5	671	6,385	D
	St. g195 ⑦	637	83.4	775	3,889	B
3	St. g231 ⑧	476	72.9	163	439	D
	St. g127 ⑨	740	84.8	398	2,218	D
	St. g167 ⑩	797	84.9	271	1,523	B
	St. g348 ⑪	621	81.1	276	1,183	A

第1群の3地点は、底生・浮遊性有孔虫数 (FN_b・FN_p) とともに大きな値を示す。とくに屋久新曾根北東斜面のSt. g206と西新曾根南斜面のSt. g346は、FN_bが3,000個体/gを超え、周囲の水深が同程度の地点 (St. g179; St. g350, g362など) の2-4倍である。また、両地点とは水深の異なる沖臥蛇堆北東麓のSt. g294でもFN_bは周囲の地点 (St. g296, g322など) よりも倍以上も高い。その反面、いずれの地点でもFN_pは周囲の地点と同程度の値を示す。

第1群の各地点は含泥率が13-17%で、St. g206は淘汰の良い中粒砂、St. g346は中粒砂、St. g294は細-中粒砂よりなり、地点によりサンゴ、コケムシなどの遺骸を含む。底生有孔虫群集はおもにIV帯の種よりなるが、次のようなI帯に多いタクサも含まれる。St. g206ではCibicides属、Elphidium属などのガラス状石灰質殻種、St. g346では磁器質殻のTriloculina属、Vertebralina属、St. g294でも磁器質殻のHauerina属、Quinqueloculina属などであり、いずれも浅海域から運ばれた異地性遺骸と見なされる。また、St. g206では生体 (染色個体) は確認されず、浮遊性有孔虫には殻の保存状態が悪く、暗褐色に変色した化石個体が含まれるのに対し、St. g346とSt. g294では底生種の生体が確認され、浮遊性有孔虫殻には、淡褐色に変色した個体が多い。以上の3地点に混入した異地性の生物遺骸の起源は、それぞれの地点に隣接する地形の高まりの、水深がI帯相当の浅海域にあると見込まれる。

I帯 (120 m以浅) の水深におけるPF%は、該当する試料採取地点がないトカラ列島周辺海域では確認できないものの、隣接する奄美周辺海域で概ね20%以下と報告されている (長谷川, 2018)。それに対し、IV帯に相当する水深600-1,000 mにおける標準的な値は90%以上であることから、第1群のようなIV帯の水深に相当する地点では、底生有孔虫の割合が非常に小さい。そのため、I帯起源の遺骸を含む碎屑物が加わった場合、底生有孔虫数が相対的に増加することが予想される。



第4図 トカラ列島周辺海域 (GB22-1 及び2航海) の調査地点の底生有孔虫数と浮遊性有孔虫数の両対数グラフ。浮遊性有孔虫率 (PF%) を等値線で示す。PF%の異常を示す地点には着色した円と番号 (第2表参照) を付す。

Fig. 4 Double logarithmic plot for selected sites on planktic and benthic foraminiferal numbers in the seas surrounding Tokara Islands for GB22-1 and 2 cruises. Inclined lines indicate contour of planktic/total foraminifera (PF%). Numerals with colored circle (1 to 11; see Table 2) indicate sites of PF% anomalies.

第2群の4地点における有孔虫数はFN_bが600-1,200個体/g、FN_pが3,000-8,000個体/gであり、ともに第1群の値より小さい。また、周辺で水深が同程度の地点と比べると、屋久新曾根東方斜面のSt. g180は、やや南方のSt. g100に比べてFN_bが3/4、FN_pは約1/2である。また、奄美海脚北東斜面のSt. g4と平島曾根北東麓のSt. g195については、長谷川 (2023) の第1表をもとに、それぞれGB21-2-g26 (トカラ東方海域の水深681 m) とGB21-3-g264 (トカラ火山群島海域の651 m) と比較したところ、FN_pがg26の約2/3、また、St. 195のFN_pはg264の約1/3であるが、一方で、底生有孔虫数 (FN_b) はいずれの地点においてもほぼ同等の値であることが確認された。なお、ケトウ曾根南東斜面のSt. g101については、近隣に同等の水深で有孔虫数を比較できる調査地点がないものの、その値は他の3地点の値の範囲内に収まる。

以上の4地点のうち、St. g180とSt. g4はともに含泥率が約10%で、前者は細粒砂、後者は中-粗粒砂、また、水深1,105 mのSt. g101は含泥率が54%の砂質シルトであるが、いずれの地点においても砂粒分はおもに浮遊性有孔虫殻と碎屑物で構成され、淘汰度が比較的よい。また、前2地点は水深が700 m前後で、底生有孔虫群集は

Ⅲ-Ⅳ帯を特徴づける種よりなり、St. g180には膠着質殻種に生体個体が確認される。その一方で、600 mを超す水深にしては磁器質石灰質殻種の割合がやや高く、さらに、翼足類、サンゴ、コケムシなどの遺骸も産出するなど、浅海域から混入した異地性遺骸が多く含まれる。一方、水深1,105 mのSt. g101については、浮遊性有孔虫殻の多くが細粒砂サイズの幼体で、白濁した小型個体が非常に多い。

以上の3地点は、St. g4が奄美海脚、他の2地点が種子・屋久海脚の東斜面にある。その両海脚は太平洋側に向けて通過する黒潮の流れに対向する障壁の位置にあることから、厚さが500 mに及ぶ黒潮はその障壁を乗り越え、あるいは浅所を迂回すると想定されるが、その際には局所的に強い水流が形成される可能性がある。そのため、とくに沈降過程にある浮遊性有孔虫遺骸は水流による吹き分け効果で選別されて、障壁の下流側では、地点によって異なる粒径分布の堆積物が形成されると推定される。

第2群に含まれるSt. g195は平島曾根の東麓に位置しており、底質は含泥率が7.8%で、火山砂、浮遊性有孔虫、その他の生物碎屑物よりなる淘汰の良い細-中粒砂である。底生有孔虫群集はⅢ-Ⅳ帯の種群よりなるが、磁器質石灰質殻種の割合がやや高く、また翼足類遺骸が比較的多く、サンゴ、コケムシの遺骸を含むことなど、St. g180およびg4との類似点が多い。その一方で、浮遊性有孔虫殻は細-中粒砂サイズと、やや小さめであること、膠着質種の比率が小さく、生体個体が確認されないことなどの相違点も少なからずある。St. g195の西側には、平島曾根から藝曾根へと南北に連なる嶺があり、沖縄トラフの東縁をなす(第1図)。大陸棚縁辺に沿って東シナ海を北東に流れる黒潮は、その南北方向の嶺の西方海域において流向を東方に転じることから、平島曾根の北東麓に位置するSt. g195には、嶺を乗り越えた黒潮が到達することになる。その位置関係は、黒潮とその障壁となる種子・屋久海脚の東斜面の場合と似た状況にあるが、その反面、黒潮が乗り越える障壁の規模が小さく、障壁の手前にトカラ列島のように著しく起伏に富む海底地形が存在しないことなどの大きな違いもある。海脚東方海域の3地点とトカラ火山群島海域のSt. g195の間の有孔虫群集に関する共通性や海底地形に見られる相違は、黒潮の流れに及ぼす海底地形の影響を探求するうえでの重要な視点になりうる。

第3群の4地点における有孔虫数は、 FN_b が150-500個体/g、 FN_p が400-2,300個体/gで、ともに第1・2群の値より遙かに小さい。たとえば、St. g231では水深が同程度のSt. g251に比べて、 FN_b が約1/4、 FN_p は1/12に過ぎない。また、St. g167では近隣のSt. g163に比べて、 FN_b は約1/2、 FN_p は約1/9である。ほかの2地点、St. g127とSt. 348も同様で、いずれの地点においても有孔虫数は、近隣の同

水深における標準的な値と比べると、 FN_b は標準よりも1/4-1/2、 FN_p は1/6-1/12である。

これらの4地点の中でもっとも浅い地点St. g231は、屋久島-屋久新曾根間の鞍部の東側に位置し、そこを黒潮流軸の強流部がほぼ恒常的に通過している。そのうえ、その水深476 mは黒潮の厚さ(約500 m)よりも浅いことから、その付近の海底は常に強流の影響を被る浸食または無堆積の場の可能性がある。同地点の堆積物は含泥率6.8%の粗粒砂で、石英粒、軽石粒を含む碎屑物と浮遊性有孔虫殻を主とする生碎屑物などで構成される。底生有孔虫群集はおもにⅢ帯を特徴づける種よりなるが、小型の個体は非常に少ない。また、*Amphistegina*属、*Cibicides*属、*Pararotalia*属、*Siphogenerina*属などの浅海生タクサの破損あるいは変質した個体が比較的多いが、これらは明らかな異地性個体であり、この地点付近に遺骸が付加されていることを示す。一方、粗粒碎屑物は屋久島あるいは種子・屋久海脚の岩石に由来すると推定されるが、おそらくは共に供給されたであろう細粒碎屑物は強流によって運び去られ、結果として残留した堆積物であろう。有孔虫数の著しい低下もまた、底生・浮遊性有孔虫殻の多くが、強流によって運び去られたことにより残されたものと推定される。

St. g231を除く第3群の3地点もまた、黒潮の中軸部が通過する範囲内またはそれに隣接する位置にある。その水深は600-800 mで、強流の直接的な影響を受けることはないものの、周辺の浅海域は強流に晒されることが想定される。St. g127は、St. g231と同じ種子・屋久海脚の東側に位置するが、同海脚南部のケトウ曾根と屋久新曾根との間を南東に下る谷の内部にある。同地点の試料は含泥率が7.6%の中-粗粒砂で、砂粒分はおもに浮遊性有孔虫殻と碎屑物により構成される。また、底生有孔虫群集はⅢ-Ⅳ帯を特徴づける種よりなり、磁器質石灰質殻種の割合が多く、さらにサンゴ、コケムシ、翼足類などの遺骸も含まれるなど、上述した第2群のSt. g4(水深737 m)との類似点が多く、周囲の浅海域から流入する多くの異地性遺骸が含まれると考えられる。

他の2地点においても、異地性遺骸の混入が確認される。St. g167は火山群島海域の南西部、五号曾根東方の海盆の縁にあたる水深797 mに位置する。その地点は五号曾根の麓からはやや離れているが、北側の平島曾根との間の堆積物は含泥率が10.8%の中粒火山砂よりなり、底生有孔虫群集がⅣ帯を示すが、生体個体は検出されず、化石と推定される変質の進んだ*Cibicides lobatulus*および*Carpenteria balaniformis*の遺骸が確認された。また、St. g348は沖縄トラフ東縁部の東新曾根北東麓の水深621 mに位置する。堆積物は含泥率が9.2%の軽石粒を含む細-中粒火山砂よりなる。底生有孔虫群集にはⅣ帯を示す群集の中に*Elphidium crispum*、*C. lobatulus*、*C. balaniformis*などの浅海性種が含まれる。東新曾根は黒潮流軸部の縁

辺に接しており(第1図), 強流の影響を受けて頂部(水深117 m)周辺の浅海域で巻き上げられた生物遺骸が, 北東麓のSt. g348など堆周辺の斜面下部で再堆積する可能性は小さくない。

以上の第3群の各地点では有孔虫数が底生と浮遊性ともに小さいが, とりわけ水深の浅いSt. g231の周辺では, 底層にまで及ぶ黒潮の強い流れのために, 碎屑物粒子が定着しにくい環境にあると推察される。そのため, 生物遺骸を含むSt. g231の堆積物は, 局所的な凹所に沈積することで搬出を免れて残留したものと考えられる。それに対し同地点を除く他の3地点は水深が600 mを超えており, 黒潮の強い流れが直接には及ぶことがなく, 重力流によって周辺の浅海域から異地性遺骸を含む碎屑物粒子が流入する場にあると推定される。

しかし, これらの3地点と同様に浅海起源の遺骸群集が含まれる第2群の各地点では, 浮遊性有孔虫数が減少する一方で, 底生有孔虫数の変化は小さい。それに対し, 第3群の各地点では, 有孔虫数が浮遊性・底生ともに著しく減少しており, その要因として, 有孔虫を除く生物遺骸や非生物性碎屑物の増加に伴う希釈の効果が考えられる。実際に, 海脚東方海域の2地点では生物碎屑物が, また, St. g167(火山群島海域)とSt. g348(沖縄トラフ東縁部)では火山碎屑物が多く含まれており, それらの付加により, 堆積物中に占める有孔虫遺骸の割合を相対的に減少した可能性は十分にある。ただし, その他にも, 遺骸が運搬される過程で被る, 殻の破壊や溶解の影響など, 考慮すべき要素はあり得ることから, さらなる検討が必要である。

以上の, 有孔虫数にもとづいて区分された3群と供給される碎屑物の関連性について, それぞれの地点の地形との関係からその意味を確認する。屋久新曾根東方の3地点のうち, g206, g180, g127はそれぞれ第1, 2, 3群に該当する。St. g206は屋久新曾根-屋久島間の鞍部の南東端にあたり, その水深590 mは鞍部を通過する黒潮軸流の影響を強く受ける水深であり, 細かな碎屑物ほど堆積し難い。St. g180(水深682 m)は屋久新曾根の東方で, 黒潮の流向からは外れた島陰にあたり, 堆積物が比較的沈積しやすい位置にあるといえる。また, St. g127(水深740 m)は屋久新曾根南方の谷の内部にあり, 同曾根側とケトウ曾根側からの供給により, 3地点の中で比較的多くの有孔虫遺骸が集積すると考えられる。

また, 沖縄トラフ海域の沖臥蛇堆北東麓のSt. g294(水深916 m)と西新曾根南麓のSt. g346(水深659 m)は第1群に含まれる。両地点は, ともにトラフ底から聳え立つ独立した海丘であり, そこに供給される碎屑物の起源はそれぞれの海丘の浅海部にほぼ限定されるため, その量も多くはなり得ない。それに対し, St. g346に隣接するSt. g348(水深621 m)は東新曾根の北東麓にあるが, 第3群

に含まれる。同地点の北側は黒島堆から南西側に広がる緩斜面の末端に接していることから, 黒島堆の北東側に隣接する鬼界カルデラ・薩摩硫黄島などの火山碎屑物が斜面を経て流入している可能性があり, 有孔虫遺骸の希釈をもたらしたとも考えられる。

以上に示した事例から, 本調査海域において確認されるPF%の異常な低下は, 黒潮の流れが, 水深と起伏の著しい地形に応じて, 局地的に多様な形で影響を及ぼすことにより起きたことが推察される。具体的には, 有孔虫殻以外の生物碎屑物や火山碎屑物を含む碎屑物の増加と, それによる底生および浮遊性有孔虫数($FN_b \cdot FN_p$)の相対的減少, ならびに, 浅海域起源の有孔虫遺骸が異地性遺骸として付加することにより生じる深海底での FN_b の増加が, 地点ごとの条件の違いに応じて生じたと考えられる。

一方で, 異常を示す11地点のうち, 最浅地点のSt. g231と最深地点のSt. g101については, 異なる要素が加わる。すなわち, St. g231は屋久島南方の水深476 mにあり, 中粒砂や生物遺骸が確認されることから, 第3群のほかの地点と同様に, 異地性遺骸の流入が考えられる反面, 黒潮流軸部の強い流れの影響を常に受けて, 堆積物の多くが失われている可能性がある。また, St. g101はケトウ曾根南東斜面の水深1,105 mにある砂質シルトで, 底生有孔虫には中粒砂サイズの個体も含まれるが, 浮遊性種は細粒砂サイズの幼体が多く, 強流により選別され, 遠距離を運ばれた小型個体の集合群集と推定される。

なお, 火山群島海域を中心とした先のKB21-1-3航海の報告(長谷川, 2023)では, PF%の異常を示す地点として, 火山群島海域のSt. g288(水深584 m, PF%: 65.2%)とSt. g269(644 m, PF%: 72.4%), トカラ東方海域のSt. g43(水深861 m, PF%: 62.9%), および沖縄トラフ東縁部のSt. g162(水深1,003 m, PF%: 77.5%)の4地点が報告された。これらのうち, St. g269とSt. g43では, 底生・浮遊性ともに有孔虫数が極端に小さく, 有孔虫殻は粗粒砂サイズに良く淘汰されている。この両地点では, ともにカレントリップルが報告されており(鈴木ほか, 2023), 底層の強い流れによる堆積物粒度の選別で, 有孔虫殻の多くが消失したものと理解される。それに対し, St. g162は有孔虫数が FN_b は310個体/g, FN_p は1,071個体/gで, 本報告のSt. g167に近い値を示すものの, 水深が深く, 膠着質殻種の割合が非常に大きい群集であり, St. g167とはまったく異なる。その地点については石灰質殻が溶解されるような環境が想定されるが, その実態の解明は今後の課題の一つである。また, St. g288は FN_b が131個体/g, FN_p は246個体/gであって, 底生群集については本報告における最小の有孔虫数を示すSt. g231に匹敵するが, 浮遊性群集はその約1/2で, 大きく減退しており, その要因については今後の検討課題として残されている。

5. おわりに

GB22-1及び2航海によりトカラ列島を東西に挟む、東側の種子・屋久海脚と奄美海脚、および西側の沖繩トラフ東縁部の海域より得られた有孔虫群集について、分布の概要を検討するために、水深257 m–1,438 mの計47地点を選定し、基礎統計量として算出した底生・浮遊性有孔虫数、底生有孔虫殻質構成比、浮遊性有孔虫率、翼足類–浮遊性有孔虫比の分布を検討し、その水深に伴う変化が南西諸島周辺海域を通じて認められることを確認した。トカラ列島周辺海域の底生有孔虫群集には異地性遺骸が多量に含む可能性のあることから、異地性個体が比較的少ないと見込まれる奄美大島周辺海域の帯区分を基準にして、調査海域の群集の深度変化を比較検討した。

膠着質殻種の産出率の異常値の地理的分布から、種子–屋久海脚と奄美海脚の東側斜面域において異地性遺骸が広く分布することを確認した。また、浮遊性有孔虫率の深度分布における異常値に着目し、底生・浮遊性の両有孔虫数の特徴から、浮遊性有孔虫率の異常は、有孔虫殻以外の火山砕屑物や生物砕屑物を含む砕屑物の増加と、それによる底生および浮遊性有孔虫数の相対的減少と、異地性底生有孔虫遺骸の付加による底生有孔虫数の増加が、地点ごとに、異なる条件下で生じたと推定される。なお、これらの異常は、明らかに異地性と認定される少数の個体の混入では説明ができない。むしろ、それらの個体を遙かに上回る数の異地性遺骸が混入している可能性が示唆される。

トカラ列島周辺海域は、北西太平洋の亜熱帯から温帯に遷移する生物地理学的にも重要な海域である。有孔虫の異地性遺骸は現生種の生態を掌握するうえでの妨げになることから、それを識別し、対照から除くためには、その実態を把握する必要がある。その反面、生態が知られた有孔虫の異地性遺骸は、潜在的にその供給源に関する情報を保持することから、異地性個体の分布はそれを動かす営力を追究する手段ともなりうる。異地性個体の挙動を堆積学的なプロセスとして理解することは、タフオミーの視点から意義深いことといえる。その点で、多くの海底火山による複雑な海底地形と、そこを通過する黒潮により、遺骸の運搬・再堆積が頻繁に起こるトカラ列島周辺海域は、興味深い実験場といえる。

さらに、本稿で主な対象とした異地性遺骸を含む本調査地域の堆積物は、石灰質有孔虫の殻を多く含む細–中粒砂で、沖繩島南方から奄美大島北方に至る海域に広く分布するRyukyu Sand Sheet (Nishida *et al.*, 2022) とほぼ同質と考えられ、その一部にあたる可能性がある。また、その堆積物には、地点により堆積岩片、火山岩片、火砕物、生砕物などが含まれ、有孔虫遺骸と同様、局所的にそれぞれの起源の特性が反映されていることから、コンターライトとして広域に分布する砂層の起源や流動の実

態解明に向けて、有効な手段を提供すると期待される。

謝辞：本研究の機会を与えてくださった産業技術総合研究所地質情報研究部門海洋地質研究グループの方々、並びに試料採取に際しご尽力いただいた研究員及び望星丸の乗組員の方々に深く感謝いたします。また、また、同グループの有元 純博士から査読者としても、多くの有益な助言を頂いた。ここに記して謝意を表します。

文献

- Boltovskoy, E. and Wright, R. (1976) *Recent Foraminifera*. R. W. Junk b.v., The Hague, 515p.
- Brasier, M.D. (1980) *Microfossils*. George Allen and Unwin, London, 193 p.
- 藤田和彦 (2013) サンゴ礁海域に分布する大型底生有孔虫の生態. 日本サンゴ礁学会誌, **15**, 57–77.
- 長谷川四郎 (2018) 奄美大島西方海域の底生有孔虫群集 (予報). 板木拓也 (編) 「沖繩周辺海域の海洋地質学的研究」平成29年研究概要報告書—石垣島・奄美大島周辺海域—, 地質調査総合センター速報, no. 75, 109–116.
- 長谷川四郎 (2020) 八重山列島周辺海域の底生有孔虫群集 (予報). 井上卓彦 (編) 「沖繩周辺海域の海洋地質学的研究」令和元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, 106–114.
- 長谷川四郎 (2023) トカラ列島周辺海域における底生有孔虫群集の概要 (予報). 地質調査研究報告, **74**, 301–314.
- 長谷川四郎・内村仁美 (2017) 奄美大島周辺海域の底生有孔虫群集 (予報). 板木拓也 (編) 「沖繩周辺海域の海洋地質学的研究」平成28年度研究概要報告書—宮古島周辺海域—, 地質調査総合センター速報, no. 72, 85–91.
- 井上卓彦・天野敦子・板木拓也 (2022) 巻頭言：鹿児島県トカラ列島周辺の海洋地質—2020年度調査航海結果—. 地質調査研究報告, **73**, 193–196.
- 井上卓彦・板木拓也・天野敦子 (2023) 巻頭言：鹿児島県トカラ列島周辺の海洋地質—2021年度調査航海結果—. 地質調査研究報告, **74**, 187–191.
- 海底地形の名称に関する検討会 (2022) 承認された海底地形. 海上保安庁, <https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KOKAI/ZUSHI3/topographic/JCUFN/jcufn.html>. (閲覧日：2023年7月8日)
- 気象庁 (2023) 旬平均海流. 気象庁, 各種データ・資料, 海洋の健康診断表, 海流に関する診断表, https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/db/kaikyoo/jun/current_HQ.html. (閲覧日：2023年4月19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).
- 水野信二郎・川建和雄・金子 新・長浜智基 (1991) 東シナ海における黒潮の直接測流結果(III)—海洋における熱および運動量フラックスの計測法に関する開発研究(第1報)一. 九州大学応用力学研究所所報, no. 71, 1-18.
- 松本 剛・木村政昭・仲村明子・青木美澄 (1996) 琉球弧のトカラギャップおよびケラマギャップにおける精密地形形態. 地学雑誌, **105**, 286-296.
- Murray, J. W. (1991) *Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera*. Longman Scientific & Technical, Harlow, 397p.
- Nishida, N., Itaki, T., Amano, A., Katayama, H., Sato, T., Stow, D. and Nicholson, U. (2022) Anatomy and dynamics of a mixed contourite sand sheet, Ryukyu Island Arc, northwestern Pacific Ocean. *Marine Geology*, **444**. doi:10.1016/j.margeo.2021.106707
- 大井剛志・小柳満佐子・長谷川四郎 (2009) 沖縄本島周辺海域の底生有孔虫群集(予報). 荒井晃作(編)「沖縄周辺海域の海洋地質学的研究」平成20年度研究概要報告書—沖縄島東方沖海域—, 地質調査総合センター速報, no. 46, 138-144.
- 鈴木克明・板木拓也・片山 肇・兼子尚知・山崎 誠・有元 純・徳田悠希・千徳明日香・清家弘治 (2023) トカラ列島周辺海域の底質分布とその制御要因. 地質調査研究報告, **74**, 259-286.
- 竹松正樹・光易 恒・本地弘之・川建和雄・大楠 丹・栖原寿郎・高橋 清・水野信二郎・金子 新・山形俊男・小寺山 亘・高雄善裕・増田 章・草場忠夫・馬谷紳一郎・長浜智基・石井秀夫・肥山 央 (1984) 直接測流結果からみた黒潮の構造と変動 —総合ブイシステムによる海洋計測法の開発研究(第5報)一. 九州大学応用力学研究所所報, **60**, 403-413, 1984-09, 九州大学応用力学研究所. doi:10.15017/4743741
- 横瀬久芳・佐藤 創・藤本悠太・Mirabueno, Maira Hanna T.・小林哲夫・秋元和實・吉村 浩・森井康宏・山脇信博・石井輝秋・本座栄一 (2010) トカラ列島における中期更新世の酸性海底火山活動. 地学雑誌, **119**, 46-68.
- (受 付 : 2024年1月19日 ; 受 理 : 2024年9月26日)

トカラ列島周辺海域 (GB22-1 および 22-2 航海) で採取された海底堆積物の化学組成

久保田 蘭^{1,*}・立花 好子¹・板木 拓也¹・片山 肇¹・鈴木 克明¹・間中 光雄¹

KUBOTA Ran, TACHIBANA Yoshiko, ITAKI Takuya, KATAYAMA Hajime, SUZUKI Yoshiaki and MANAKA Mitsuo (2024) Chemical composition of marine surface sediments around Tokara Islands (GB22-1 and 22-2 cruises), Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 75 (5/6), p. 265-278, 4 figs and 6 tables.

Abstract: The contents of 24 elements in 71 samples of marine surface sediment collected from the Tokara Islands were determined, and the geochemistry and spatial patterns of the data were investigated. Compared with Okinawa Island, the samples of this study are rich in Al_2O_3 and T- Fe_2O_3 , and poor in CaO. The survey region is divided into four areas based on geochemistry. The sediments in the southeastern area are rich in Al_2O_3 , TiO_2 , and T- Fe_2O_3 , and poor in CaO and Sr. Those in the northeastern area are rich in CaO and Sr, and those in the southwestern area are rich in MnO, Ni, and Pb. The sediments in the northwestern area are rich in K_2O , Na_2O , and Rb. Although the relationship between elemental contents and water depth is spatially variable, the marine sediments of this study are estimated to be derived from three sources: bioclasts, mafic clastic material, and felsic clastic material.

Keywords: simultaneous multi-element analysis, clastic material, bioclast, mafic rock, felsic rock, early diagenesis, accumulation of heavy metal element

要 旨

トカラ列島周辺海域で採取された海底表層堆積物 71 試料について 24 元素を定量した結果を示し、化学組成の特徴や分布特性について報告する。本調査海域では生物源炭酸塩が主成分である沖縄本島周辺海域に比べ、堆積物中の Al_2O_3 、T- Fe_2O_3 濃度が高く相対的に CaO 濃度が低い結果となった。調査海域を 4 つに区分すると、南東海域は水深が深いため Al_2O_3 、 TiO_2 、T- Fe_2O_3 などの濃度が高く CaO、Sr 濃度が低い一方、北東海域は浅海部が多く CaO、Sr 濃度が高い。南西海域が MnO、Ni、Pb 濃度が高いのに対し、北西海域は粘土鉱物の増加により K_2O 、 Na_2O 、Rb 濃度が高いという結果となった。水深および元素濃度間の関係では各海域で異なる傾向が認められるが、本調査海域の海底堆積物は生物遺骸粒子・苦鉄質火山岩類由来の碎屑性粒子・珪長質火山岩類由来の碎屑性粒子の 3 要素に由来することが推測され、既報のトカラ列島周辺海域の分析結果と調和的であった。

1. はじめに

筆者らは、「本邦沿岸海域底質地球化学図」の作成に関する基礎的研究を継続しており、平成 20 年度より沖縄

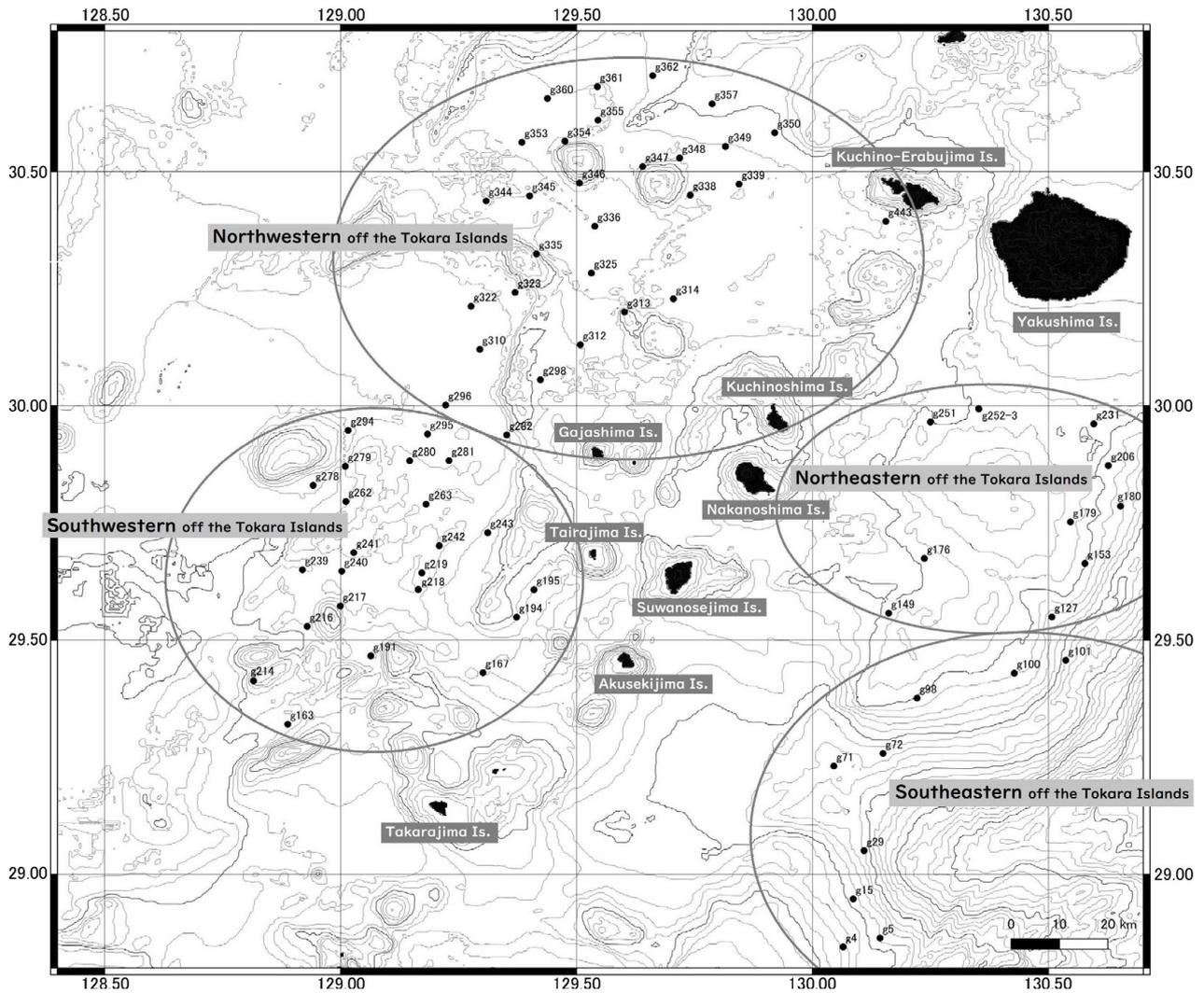
本島周辺海域の海底表層堆積物の化学分析を行っている(寺島ほか, 2009; 太田ほか, 2010, 2011, 2013, 2016, 2017, 2019; 久保田ほか, 2019, 2022, 2023)。GB22-1 および 22-2 航海では、トカラ列島周辺海域の 95 地点で木下式グラブ採泥器 (K-グラブ採泥器) により海底表層堆積物が採取され、このうち 71 地点の試料 (第 1 図) について 53 元素の化学分析を行った。本概要報告では、GB22-1 および 22-2 航海で採取された海洋堆積物中の、主成分元素 (Na_2O 、 MgO 、 Al_2O_3 、 P_2O_5 、 K_2O 、CaO、 TiO_2 、MnO、Total (T-) Fe_2O_3 (全鉄量を Fe_2O_3 に換算したもの)) といくつかの微量元素 (Li, Be, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Y, Mo, Ba, Pb) を分析した結果と化学組成の特徴について報告する。

2. 試料処理及び分析方法

K-グラブ採泥器で採取された試料のうち、表層部 0-3 cm を適量分取した。礫質の堆積物試料については、可能な限り付随する細粒の堆積物を分取した。試料を室温で乾燥した後、石川式めう粉碎機で約 80 メッシュ (約 180 μm) 以下に粉碎して分析試料とした。粉碎した試料 0.1 g を硝酸 3 ml、過塩素酸 2 ml、フッ化水素酸 5 ml の混酸を用いて、120 $^{\circ}C$ で 2 時間加熱して分解後、さらに 145

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)

* Corresponding author: KUBOTA, R., AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: ran-kubota@aist.go.jp



第1図 GB22-1および22-2航海におけるトカラ列島周辺海域での表層堆積物試料の採取地点。海底地形は岸本(2000)に基づく。

Fig. 1 Sampling locations of marine surface sediments around Tokara Islands (GB22-1 and 22-2 cruises). Sea-bottom topography is based on Kishimoto (2000).

℃で1時間加熱分解を行った。その後、200℃以下で蒸発乾固した後、7M硝酸5mlを加えて加温溶解し、超純水で希釈して試料溶液(100ml)とした。各種成分の測定では、主成分元素(Na₂O, MgO, Al₂O₃, P₂O₅, K₂O, CaO, TiO₂, MnO, Total (T-) Fe₂O₃)とSr, BaをICP発光分光分析計(Thermo Fisher Science iCap-6300)で、そのほかの微量元素(Li, Be, Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Rb, Y, Mo, Pb)はICP質量分析計(Agilent 7900)を用いて測定した。分析結果を第1表および第2表にまとめた。なお測定誤差についてはOhta(2018)に報告がある。今回は海塩の除去を行っていないため、海塩の影響を最も受けるNa₂Oは参考値として示している。

3. 結果と考察

3.1 GB22-1および22-2航海で採取された表層堆積物の元素濃度の特徴

第1表に堆積物中に含まれる単位質量あたりの主成分元素濃度、第2表に微量元素濃度を示した。GB22-1および22-2航海の試料採取地点は、GK15-2, GB21-2およびGB21-3航海の範囲と近接しており、口永良部島、口之島、中之島、諏訪之瀬島などの活火山が分布する琉球弧火山フロントの外洋海域に位置する(鈴木ほか, 2024)。元素濃度はCaO(8.31–48.2 wt%), T-Fe₂O₃(0.262–16.6 wt%), Al₂O₃(0.364–13.7 wt%)が高く、MgO(0.77–6.00 wt%), Na₂O(0.74–4.77 wt%)がこれに続い

トカラ列島周辺海域で採取された海底表層堆積物の化学組成 (久保田ほか)

第1表 GB22-1および22-2航海で採取されたトカラ列島周辺海域表層堆積物の主成分元素の分析結果.

Table 1 Major element composition of marine surface sediments around Tokara Islands (GB22-1 and 22-2 cruises).

Location no.	Lat (N)	Long (E)	W. D.	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	T-Fe ₂ O ₃
			m	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%
g4	28.845	130.065	737	2.67	3.33	10.0	0.164	0.712	19.7	1.16	0.162	8.88
g5	28.864	130.143	1044	2.80	3.58	13.3	0.150	0.961	14.6	0.829	0.176	7.84
g15	28.947	130.087	1070	2.86	1.65	6.75	0.074	0.752	31.3	0.264	0.104	3.05
g29	29.050	130.110	1438	3.28	2.65	12.1	0.104	1.17	17.5	0.484	0.164	5.30
g71	29.231	130.046	1277	3.86	2.86	13.1	0.143	1.71	9.71	0.571	0.293	5.64
g72	29.258	130.150	1186	3.09	3.24	12.1	0.112	1.05	18.3	0.558	0.140	6.68
g98	29.376	130.222	532	3.03	4.43	13.2	0.094	0.904	13.2	0.531	0.129	7.14
g100	29.429	130.428	606	2.71	5.12	11.8	0.120	0.766	13.8	0.613	0.237	8.14
g101	29.457	130.537	1105	3.70	1.73	8.88	0.121	1.45	13.6	0.364	0.248	3.29
g127	29.549	130.508	740	1.92	3.55	9.42	0.087	0.404	27.8	0.285	0.095	4.17
g149	29.557	130.162	493	2.31	5.56	12.1	0.094	0.576	12.3	0.763	0.198	9.93
g153	29.664	130.578	521	1.89	3.05	7.64	0.104	0.408	33.8	0.193	0.058	2.77
g163	29.320	128.888	771	2.38	1.30	6.30	0.108	1.11	29.8	0.290	0.136	2.57
g167	29.431	129.302	797	3.05	2.97	11.1	0.187	0.768	12.0	1.12	0.237	10.4
g176	29.674	130.237	469	2.50	5.40	11.8	0.130	0.695	16.7	0.901	0.187	10.7
g179	29.752	130.547	362	1.91	2.98	4.83	0.091	0.336	38.2	0.159	0.041	1.86
g180	29.786	130.652	682	3.26	1.32	9.54	0.084	1.74	15.3	0.337	0.055	2.77
g191	29.466	129.064	825	3.57	1.99	10.4	0.160	2.00	17.5	0.432	0.408	3.98
g194	29.549	129.373	669	2.07	3.56	6.67	0.186	0.598	24.5	1.69	0.347	13.7
g195	29.607	129.410	673	2.14	4.17	8.49	0.142	0.448	26.3	0.473	0.167	5.94
g206	29.873	130.627	590	2.44	2.57	10.0	0.115	1.36	10.7	0.516	0.109	5.42
g214	29.413	128.816	616	2.40	1.42	6.34	0.115	1.16	27.3	0.278	0.236	3.81
g216	29.529	128.929	905	3.12	1.82	9.30	0.125	1.70	23.7	0.399	0.195	3.81
g217	29.573	128.999	776	3.10	1.48	7.46	0.114	1.24	34.4	0.331	0.208	3.09
g218	29.608	129.165	820	3.17	1.60	8.11	0.108	1.49	26.3	0.333	0.220	3.43
g219	29.643	129.172	838	2.66	1.45	7.27	0.075	0.879	30.2	0.221	0.106	4.40
g231	29.962	130.596	476	2.01	2.02	8.74	0.097	1.59	21.5	0.281	0.074	3.11
g239	29.650	128.919	900	2.88	1.51	8.01	0.111	1.42	27.9	0.327	0.198	3.23
g240	29.647	129.003	869	2.69	1.68	8.31	0.117	1.18	27.5	0.415	0.196	4.10
g241	29.687	129.028	796	2.50	1.86	8.37	0.117	1.03	28.3	0.492	0.144	5.27
g242	29.702	129.209	822	2.29	3.84	9.58	0.140	1.16	20.2	0.896	0.202	10.3
g243	29.729	129.312	649	2.45	1.87	7.72	0.104	0.878	30.0	0.353	0.134	4.21
g251	29.966	130.250	469	2.26	5.47	10.8	0.159	0.678	15.1	1.52	0.231	15.4
g252-3	29.994	130.353	485	2.58	2.60	12.0	0.095	1.08	17.0	0.342	0.093	3.88
g262	29.796	129.011	804	2.21	1.38	6.71	0.087	1.10	29.7	0.278	0.066	3.03
g263	29.790	129.181	769	2.58	1.55	6.76	0.090	1.16	30.5	0.273	0.162	4.09
g278	29.830	128.942	901	3.67	2.15	11.2	0.158	2.28	15.3	0.454	0.374	4.39
g279	29.871	129.010	808	2.56	1.38	6.70	0.100	1.32	27.6	0.298	0.102	3.20
g280	29.883	129.146	757	2.41	3.01	9.62	0.367	1.39	18.2	0.826	0.205	10.8
g281	29.883	129.230	822	3.41	1.57	9.37	0.121	1.87	21.1	0.368	0.187	3.35
g282	29.938	129.352	850	3.62	2.12	11.7	0.144	2.39	14.1	0.466	0.136	4.43
g294	29.948	129.016	916	2.16	1.13	3.74	0.066	0.771	34.3	0.147	0.047	1.48
g295	29.940	129.184	894	3.56	1.31	9.13	0.121	1.80	20.6	0.368	0.179	2.91
g296	30.002	129.223	891	3.79	1.94	12.1	0.145	2.46	12.0	0.507	0.139	4.29
g298	30.056	129.424	561	2.05	1.78	6.00	0.446	0.969	28.3	0.353	0.175	4.81
g310	30.121	129.295	888	3.98	2.18	12.2	0.137	2.49	11.3	0.518	0.058	4.43
g312	30.131	129.508	615	2.80	1.94	9.68	0.140	0.976	23.0	0.420	0.138	4.72
g313	30.200	129.602	495	1.77	1.62	3.66	0.072	0.422	41.5	0.159	0.060	2.00
g314	30.229	129.705	680	3.72	1.39	9.65	0.126	1.81	18.5	0.413	0.100	3.31
g322	30.213	129.277	881	4.08	1.96	11.4	0.141	2.31	13.2	0.499	0.122	4.25
g323	30.242	129.370	890	3.67	1.62	9.61	0.125	1.93	18.1	0.430	0.238	3.53
g325	30.284	129.532	735	4.05	1.47	10.7	0.131	2.12	14.4	0.454	0.119	3.51
g335	30.324	129.415	257	0.735	3.97	0.364	0.110	0.098	48.1	0.021	0.017	0.26
g336	30.384	129.539	791	4.70	1.42	11.4	0.137	2.12	11.0	0.504	0.226	3.76
g338	30.450	129.741	738	3.70	2.60	13.7	0.217	1.32	10.8	0.910	0.175	6.81
g339	30.473	129.845	616	3.60	2.00	12.4	0.168	1.14	14.9	0.560	0.135	4.82
g344	30.437	129.309	812	3.63	1.84	11.8	0.161	1.62	13.6	0.575	0.119	4.66

第1表 続き.

Table 1 Continued.

Location no.	Lat (N)	Long (E)	W. D.	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	T-Fe ₂ O ₃
			m	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%
g345	30.448	129.401	778	3.64	1.38	9.69	0.127	1.79	18.4	0.424	0.103	3.44
g346	30.476	129.506	659	1.99	0.768	5.44	0.064	0.809	9.91	0.225	0.057	1.89
g347	30.511	129.640	673	3.85	1.39	10.0	0.147	1.59	19.0	0.456	0.111	3.63
g348	30.529	129.719	621	3.03	3.88	11.9	0.317	0.727	9.88	2.33	0.255	16.6
g349	30.554	129.816	611.0	3.79	1.21	9.94	0.122	1.89	16.1	0.433	0.087	3.33
g350	30.583	129.920	549	3.36	1.86	11.9	0.190	1.23	15.4	0.573	0.110	5.06
g353	30.563	129.384	796	4.22	1.54	11.7	0.142	2.29	11.0	0.498	0.127	3.80
g354	30.565	129.475	781	4.05	1.82	11.2	0.132	2.20	13.6	0.476	0.069	3.90
g355	30.610	129.546	732	4.77	1.73	12.4	0.131	1.98	9.67	0.506	0.123	4.48
g357	30.645	129.787	481	3.43	2.00	11.8	0.178	1.26	19.7	0.646	0.101	5.83
g360	30.656	129.439	723	4.11	1.61	11.0	0.134	2.11	14.2	0.477	0.104	3.76
g361	30.682	129.544	713	4.00	1.89	11.5	0.134	2.22	13.0	0.488	0.055	3.92
g362	30.705	129.662	596	3.30	1.58	8.92	0.131	1.45	23.1	0.465	0.091	4.34
g443	30.394	130.156	635	2.88	6.00	12.1	0.094	1.04	8.31	0.721	0.235	10.3

※ Bold type indicates the concentration of the richest element in each sample.

た. 微量元素で高い濃度を示すのは, Sr (285–2,218 mg/kg), V (6.23–496 mg/kg), Ba (13.8–472 mg/kg), Zn (10.2–177 mg/kg), Rb (3.35–113 mg/kg)などで, 他の微量元素は全ての試料で100 mg/kg以下を示した. 本海域で採取した71試料のうち, 一部の試料は, 粒度や採取深度にかかわらず, 炭酸塩骨格や殻から構成される生物遺骸破片を含んでいた. しかしながら, 30 wt%以上のCaO濃度を示したのは10試料 (20 wt%以上の濃度を示したのは29試料)と少なく, 9試料でCaO濃度よりAl₂O₃濃度が高く, 2試料でT-Fe₂O₃濃度が最も高かった(第1表). Al₂O₃, T-Fe₂O₃濃度が高く相対的にCaO濃度が低いという特徴は, 既報のトカラ列島周辺海域 (GB21-1, 21-2および21-3)における海底表層堆積物試料の分析結果 (久保田ほか, 2022, 2023)と同様であり, 生物起源の炭酸塩鉱物が主成分である沖縄周辺海域の海底表層堆積物試料 (寺島ほか, 2009; 太田ほか, 2010, 2011, 2013, 2016, 2017; 久保田ほか, 2019)とは明らかに傾向が異なる.

第3表に, 粒度別試料 (粗粒砂, 中粒砂, 細粒砂, 砂質泥-泥質)の各元素濃度の中央値を示した. 粒度区分は船上記載データに基づく (鈴木ほか, 2024). Al₂O₃, Na₂O, K₂O, Cr, Ni, Cu, Zn, Pbなどの地殻起源の成分は砂質泥-泥質試料で濃度が最も高く, 細粒化に伴って濃度が高くなる傾向がみられた. 一方で, MgO, TiO₂, T-Fe₂O₃, Sc, V, Coといった成分は粗粒砂試料で高濃度を示し, 生物遺骸粒子に由来するCaOやSrの濃度は砂質泥-泥質試料で最も低かった. どの粒度でも最高濃度を示す成分はCaOではあるものの, Al₂O₃の濃度も比較的高く, これら試料の主な構成成分は生物遺骸粒子だけでなく火山岩由来の碎屑性粒子の寄与が大きいたことが示唆される.

次に, 調査海域を4つに区分した海域別の元素濃度平

均値を第4表に示した. 海域の区分は, GB21-1, 21-2および21-3航海の報告書 (久保田ほか, 2022, 2023)を参考に, g4, g5, g15, g29, g71, g72, g98, g100, g101をトカラ列島南東海域, g127, g149, g153, g176, g179, g180, g206, g231, g251, g252-3をトカラ列島北東海域, g163, g167, g191, g194, g195, g214, g216-g219, g239-g243, g262, g263, g278-g281, g294, g295をトカラ列島南西海域, g282, g296, g298, g310, g312-g314, g322, g323, g325, g335, g336, g338, g339, g344-g350, g353-g355, g357, g360-g362, g443をトカラ列島北西海域とした(第1図). トカラ列島南東海域試料の多くは1000 m以深で採取され, Al₂O₃, TiO₂, T-Fe₂O₃, Co, Cu, Zn, Pbなどの濃度が高く, CaOやSrの濃度が低い傾向にあった. 南東海域はGK15-2航海における奄美大島北部海域と最も近接しており, g4およびg5は奄美大島の北方約10kmに位置する. 両海域はT-Fe₂O₃濃度が高いという特徴が一致していた (太田ほか, 2017). 北東海域は浅海部が多く, 比較的CaO濃度が高い. CaOに伴って濃集すると考えられるSrも高濃度を示すことから, 生物生産が盛んである可能性がある. また, K₂O, Na₂O, MnOの濃度が低かった. 南西海域はMnO, Ni, Pb濃度が高く, 0.35 wt%以上の高MnO濃度を示す試料 (g191, g194, g278)は南西海域に分布する. 北西海域は, GB21-2および21-3航海における口永良部島周辺海域の西部に位置しており, 同様にK₂O, Na₂O, Li, Be, Rb, Baといった成分の濃度が高い傾向がみられた.

3.2 トカラ列島周辺海域 (GB22-1 および 22-2 航海) における水深および元素濃度間の関係

第5表に, 水深データを含む測定値間の相関係数を示した. 相互に高い相関係数を示すK₂O, Rb, Baは珪長質

トカラ列島周辺海域で採取された海底表層堆積物の化学組成 (久保田ほか)

第2表 GB22-1 および22-2航海で採取されたトカラ列島周辺海域表層堆積物の微量元素の分析結果.

Table 2 Trace element composition of marine surface sediments around Tokara Islands (GB22-1 and 22-2 cruises).

Location no.	W. D. m	Li mg/kg	Be mg/kg	Sc mg/kg	V mg/kg	Cr mg/kg	Co mg/kg	Ni mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Rb mg/kg	Sr mg/kg	Y mg/kg	Mo mg/kg	Ba mg/kg	Pb mg/kg
g4	737	13	0.7	23	226	20	18	8.9	11	117	23	926	21	0.5	119	9.9
g5	1044	16	0.8	24	168	27	19	15	23	88	33	393	20	0.7	191	13
g15	1070	12	0.6	10	60	15	11	16	16	49	27	742	16	0.6	129	15
g29	1438	19	0.9	19	139	34	17	26	37	74	42	459	20	1.2	237	17
g71	1277	27	1.1	18	157	54	17	33	53	83	61	352	20	2.6	315	21
g72	1186	15	0.7	21	165	36	21	21	37	75	32	453	18	0.9	173	14
g98	532	11	0.5	25	216	68	26	31	65	74	26	465	17	1.0	126	11
g100	606	12	0.5	27	208	67	31	45	40	89	22	414	16	1.5	125	17
g101	1105	29	1.0	10	78	34	10	24	29	70	60	584	16	2.3	284	20
g127	740	8.9	0.4	16	108	13	13	10	16	54	11	1502	12	0.4	61	8.0
g149	493	11	0.5	32	280	39	31	20	23	100	15	398	14	0.5	86	9.3
g153	521	8.9	0.4	10	67	15	9.3	10	12	44	12	1606	12	0.3	64	10
g163	771	22	0.9	6.8	52	29	8.8	27	15	57	48	835	11	0.6	223	20
g167	797	13	0.7	18	215	16	19	10	6.8	155	23	435	16	0.6	146	13
g176	469	11	0.5	34	365	46	33	26	32	115	20	640	18	0.8	103	13
g179	362	7.8	0.3	6.3	47	9.4	5.1	7.8	6.4	36	8.6	1658	9.4	0.5	46	6.0
g180	682	36	1.2	8.0	47	18	5.9	10	10	58	69	715	15	0.7	263	17
g191	825	42	1.7	11	89	56	13	46	31	97	94	602	17	2.5	413	41
g194	669	11	0.5	23	386	33	27	27	15	149	19	816	16	1.7	89	15
g195	673	9.2	0.4	23	115	25	19	17	11	82	14	1337	15	0.4	71	13
g206	590	27	1.0	15	120	17	13	11	8.6	74	49	474	13	0.4	214	13
g214	616	17	1.0	6.2	56	27	14	46	11	73	47	1140	12	1.9	203	25
g216	905	33	1.4	11	85	45	12	34	26	84	77	655	16	0.9	338	26
g217	776	25	1.0	8.5	72	32	11	34	18	68	52	848	13	1.2	229	22
g218	820	26	1.1	9.3	72	42	11	34	21	71	70	716	15	1.7	272	22
g219	838	14	0.9	8.2	55	27	11	23	12	52	37	719	11	0.6	109	18
g231	476	30	1.0	8.5	54	11	7.6	10	5.9	50	58	1176	11	0.3	214	13
g239	900	27	1.2	8.9	69	40	11	32	20	65	64	727	14	1.3	269	24
g240	869	23	1.0	10	84	32	12	29	17	64	51	694	14	1.1	225	20
g241	796	18	0.8	12	123	30	14	24	14	74	42	699	13	0.6	167	18
g242	822	20	1.2	23	206	45	24	26	16	108	48	502	14	0.5	153	15
g243	649	14	0.8	11	87	25	14	25	13	58	35	761	12	0.8	128	16
g251	469	13	0.6	33	496	28	36	16	16	137	20	595	17	0.6	108	11
g252-3	485	19	0.8	14	78	12	11	10	8.6	50	35	750	14	0.5	145	13
g262	804	22	0.9	7.6	55	30	8.6	20	13	52	48	762	12	0.4	189	15
g263	769	23	1.1	8.3	58	34	12	30	14	59	50	747	12	1.0	181	18
g278	901	49	1.9	11	88	64	15	43	27	88	104	551	15	1.3	440	25
g279	808	26	1.2	7.6	58	38	10	25	14	63	61	727	13	0.8	228	17
g280	757	19	1.5	18	165	48	22	35	13	108	51	485	18	0.9	152	20
g281	822	31	1.4	9.1	64	41	10	30	19	69	79	591	17	1.7	336	23
g282	850	45	1.7	11	84	62	12	38	28	92	102	498	17	0.8	424	27
g294	916	10	0.6	3.6	26	17	4.6	12	5.8	28	29	1424	9.4	0.3	119	8.1
g295	894	27	1.3	9.3	55	28	8.3	24	15	63	69	550	21	1.7	302	23
g296	891	48	1.9	12	85	61	12	36	27	94	109	447	21	1.2	442	27
g298	561	16	0.8	8.2	81	28	18	47	10	69	38	881	14	1.3	118	22
g310	888	52	1.9	11	96	67	11	42	32	103	113	449	18	0.7	472	28
g312	615	14	0.9	13	84	21	15	20	12	62	34	638	15	0.9	145	20
g313	495	8.5	0.4	5.8	37	11	7.5	12	6.6	35	16	2218	10	0.3	59	8.9
g314	680	23	1.1	10	57	25	7.3	17	14	63	65	540	21	1.9	297	18
g322	881	39	1.7	11	77	54	11	33	25	91	97	464	19	1.1	425	26
g323	890	31	1.4	10	68	41	11	32	19	74	80	521	18	2.0	357	23
g325	735	29	1.3	11	61	35	8	22	18	73	84	462	24	1.6	370	22
g335	257	3.1	0.1	1.0	6.2	8.1	1.0	2.4	1.9	10	3.3	1987	5.6	0.2	14	3.7
g336	791	22	1.2	12	61	19	8.8	17	12	70	71	348	26	2.3	344	23
g338	738	15	0.9	21	137	16	13.4	10	10	84	40	372	23	1.2	233	14
g339	616	15	1.0	16	104	18	11.3	11	10	73	41	455	18	1.0	218	16
g344	812	21	1.2	14	86	22	10.0	14	13	70	58	406	22	1.3	279	17
g345	778	24	1.1	11	63	27	8.3	19	13	67	69	512	23	1.5	301	20
g346	659	9.3	0.5	6.4	30	8.7	4.0	6.4	5.2	30	27	300	12	0.8	128	8.9
g347	673	18	0.9	12	64	17	8.3	13	9.7	60	56	579	23	1.7	252	18
g348	621	10	0.7	32	465	19	30	10	11	177	22	370	22	0.9	144	10
g349	611	22	1.1	10	49	19	6.3	13	11	64	65	479	24	1.5	305	18
g350	549	15	1.0	13	85	17	10	9.8	9.0	68	36	507	16	0.9	200	15
g353	796	33	1.5	11	62	36	7.9	23	19	76	85	394	23	1.7	409	21
g354	781	38	1.6	11	73	48	9.0	30	23	86	92	482	20	1.1	403	23
g355	732	24	1.3	13	76	23	9.6	15	12	73	68	353	24	1.7	315	18
g357	481	17	1.0	15	106	21	11	13	9.3	76	42	606	17	0.9	192	14

第2表 続き.

Table 2 Continued.

Location no.	W. D. m	Li mg/kg	Be mg/kg	Sc mg/kg	V mg/kg	Cr mg/kg	Co mg/kg	Ni mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Rb mg/kg	Sr mg/kg	Y mg/kg	Mo mg/kg	Ba mg/kg	Pb mg/kg
g360	723	35	1.5	11	64	36	7.9	23	19	76	80	471	22	1.4	371	20
g361	713	40	1.6	12	83	51	10	33	26	92	97	478	21	1.0	401	23
g362	596	23	1.1	11	82	26	9.0	16	12	70	55	640	17	0.9	237	15
g443	635	14	0.6	40	261	33	31	14	19	103	30	285	23	1.3	169	10

第3表 GB22-1 および 22-2 航海で採取された海底表層堆積物の粒度別化学組成の中央値.

Table 3 Median elemental concentrations by particle size.

Elements		Coarse sand n=18	Medium sand n=16	Fine and very fine sand n=23	sandy silt, silty clay n=14
Na ₂ O	wt %	2.28	2.83	3.30	3.82
MgO	wt %	3.56	1.82	1.55	1.91
Al ₂ O ₃	wt %	10.0	9.65	9.54	11.3
P ₂ O ₅	wt %	0.112	0.124	0.122	0.139
K ₂ O	wt %	0.69	1.05	1.45	2.21
CaO	wt %	18.4	21.3	19.0	13.6
TiO ₂	wt %	0.524	0.498	0.415	0.477
MnO	wt %	0.145	0.142	0.134	0.136
T-Fe ₂ O ₃	wt %	6.54	4.76	3.53	3.95
Li	mg/kg	11.2	16.2	22.6	38.2
Be	mg/kg	0.524	0.914	1.102	1.60
Sc	mg/kg	20.3	12.5	10.4	11.0
V	mg/kg	164	82.4	64.5	80.3
Cr	mg/kg	18.3	26.6	28.2	52.5
Co	mg/kg	18.1	12.5	9.76	10.9
Ni	mg/kg	10.7	18.7	21.8	33.0
Cu	mg/kg	11.4	12.1	13.8	26.4
Zn	mg/kg	78.2	71.6	64.8	87.2
Rb	mg/kg	19.9	37.3	57.7	93.0
Sr	mg/kg	783	622	550	480
Y	mg/kg	15.0	16.0	17.3	18.9
Mo	mg/kg	0.461	0.910	1.16	1.21
Ba	mg/kg	106	171	252	406
Pb	mg/kg	10.6	17.6	17.6	23.1

の火山性物質の影響を、TiO₂、T-Fe₂O₃、Sc、V、Co、Zn は苦鉄質の火山性物質の影響を強く反映していると推測される。水深と各元素濃度の間には有意な相関関係は認められなかった ($r < 0.6$)。しかしながら、前項で示した海域別に水深と各元素濃度の関係をみると、南東海域および北西海域においては正および負の相関関係が認められた(第6表)。それぞれの海域で特徴は異なり、まず南東海域においては珪長質岩に多く含まれるK₂O、Rb、Ba濃度と水深の間に正の相関関係が認められた。また、北

西海域では水深が深くなるにつれ、K₂O、Rb、B、Na₂O、Al₂O₃、Li、Be、Cr、Cu、Pb濃度が増加し、CaOおよびSr濃度は減少することが確かめられた。第2図は、Al₂O₃、K₂O、CaO、Cu濃度と水深の関係を、海域別に示したものである。Al₂O₃、K₂O、CaO濃度と水深の関係は概ねGB21-2および21-3航海における同図(久保田ほか、2023)と一致しており、Al₂O₃およびK₂O濃度は水深が増すにつれ緩やかに増加し、CaO濃度は緩やかに減少する傾向が見られた。ただ、同程度の水深でトカラ列島の南

第4表 GB22-1 および22-2航海で採取されたトカラ列島周辺海域表層堆積物の海域別平均値.
Table 4 Average elemental concentration and water depth by sea area.

Sea area	(n)	W. D.	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	T-Fe ₂ O ₃
		m	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%
Southeastern	9	999	3.11	3.18	11.2	0.120	1.05	16.8	0.597	0.184	6.22
Northeastern off the Tokara Islands	10	529	2.31	3.45	9.68	0.106	0.887	20.9	0.529	0.114	6.01
Southwestern	23	800	2.74	2.00	8.12	0.131	1.25	25.3	0.481	0.194	5.02
Northwestern	29	691	3.46	2.02	10.2	0.153	1.61	17.0	0.535	0.124	4.62
All the samples	71	743	3.02	2.36	9.59	0.135	1.32	20.2	0.524	0.153	5.15

Sea area	(n)	Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Mo	Ba	Pb
		mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Southeastern	9	17.2	0.756	19.6	157	39.4	18.9	24.3	34.6	79.9	36.2	532	18.0	1.26	189	15.3
Northeastern off the Tokara Islands	10	17.2	0.671	17.6	166	20.9	16.6	13.1	13.8	71.8	29.7	951	13.6	0.503	130	11.2
Southwestern	23	22.6	1.06	11.5	101	35.0	13.5	28.3	16.0	77.6	52.7	753	14.2	1.07	217	19.8
Northwestern	29	24.2	1.13	13.0	92.7	30.0	11.0	20.4	15.1	75.3	61.3	591	19.3	1.20	277	18.3
All the samples	71	21.8	1.00	14.0	114	31.5	13.6	22.4	17.7	76.2	50.9	687	16.7	1.07	226	17.4

※Southeastern: g4, g5, g15, g29, g71, g72, g98, g100, g101, Northeastern: g127, g149, g153, g176, g179, g180, g206, g231, g251, g252-3,

Southwestern: g163, g167, g191, g194, g195, g214, g216-g219, g239-g243, g262, g263, g278-g281, g294, g295,

Northwestern: g282, g296, g298, g310, g312-g314, g322, g323, g325, g335, g336, g338, g339, g344-g350, g353-g355, g357, g360-g362, g443

Bold letters indicate the highest concentration of each element.

第5表 GB22-1および22-2航海で採取されたトカラ列島周辺海域表層堆積物の各測定値間の相関係数。
Table 5 Correlation coefficient matrix for studied sediments (n = 71).

	Depth	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	T-Fe ₂ O ₃	Li	Be	Sc	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Mo	Ba	
Na ₂ O	0.41																								
MgO	-0.27	-0.36																							
Al ₂ O ₃	0.25	0.67	0.28																						
P ₂ O ₅	-0.08	0.08	0.11	0.20																					
K ₂ O	0.37	0.84	-0.50	0.45	0.06																				
CaO	-0.21	-0.66	-0.17	-0.86	-0.22	-0.53																			
TiO ₂	-0.06	0.06	0.52	0.43	0.50	-0.14	-0.44																		
MnO	0.29	0.15	0.28	0.27	0.32	0.08	-0.27	0.46																	
T-Fe ₂ O ₃	-0.10	-0.11	0.72	0.42	0.45	-0.28	-0.40	0.92	0.50																
Li	0.38	0.64	-0.42	0.33	0.00	0.91	-0.38	-0.17	0.13	-0.28															
Be	0.40	0.72	-0.48	0.40	0.15	0.94	-0.43	-0.10	0.15	-0.21	0.94														
Sc	-0.08	-0.03	0.86	0.58	0.23	-0.28	-0.49	0.74	0.40	0.87	-0.32	-0.29													
V	-0.13	-0.16	0.78	0.37	0.32	-0.34	-0.34	0.89	0.47	0.96	-0.31	-0.31	0.88												
Cr	0.36	0.37	0.16	0.41	0.08	0.51	-0.35	0.70	0.07	0.41	0.15	0.18	0.15	0.33											
Co	-0.06	-0.19	0.84	0.41	0.30	-0.34	-0.32	0.70	0.55	0.41	0.15	0.18	0.15	0.33	0.20										
Ni	0.35	0.23	-0.09	0.11	0.22	0.44	-0.08	-0.09	0.50	-0.01	0.55	0.55	-0.08	-0.03	0.83	0.20									
Cu	0.45	0.32	0.30	0.50	-0.09	0.26	-0.37	0.06	0.35	0.16	0.31	0.23	0.33	0.24	0.80	0.40	0.57								
Zn	0.09	0.22	0.49	0.54	0.50	0.09	-0.55	0.89	0.60	0.87	0.12	0.17	0.71	0.81	0.37	0.73	0.23	0.25							
Rb	0.40	0.74	-0.53	0.33	0.03	0.97	-0.40	-0.20	0.09	-0.33	0.96	-0.51	-0.37	-0.38	0.57	-0.37	0.54	0.27	0.07						
Sr	-0.39	-0.68	0.01	-0.75	-0.22	-0.55	0.84	-0.37	-0.33	-0.34	-0.39	-0.51	-0.37	-0.26	-0.43	-0.29	-0.26	-0.38	-0.48	-0.46					
Y	0.27	0.82	0.00	0.73	0.28	0.59	-0.73	0.38	0.19	0.25	0.32	0.44	0.36	0.19	0.21	0.13	0.03	0.24	0.43	0.44	-0.67				
Mo	0.37	0.65	-0.26	0.29	0.14	0.54	-0.39	0.02	0.55	-0.07	0.37	0.42	-0.06	-0.08	0.33	-0.05	0.44	0.35	0.14	0.48	-0.46	0.56			
Ba	0.44	0.84	-0.48	0.45	0.02	0.98	-0.51	-0.12	0.15	-0.29	0.93	0.93	-0.27	-0.32	0.55	-0.33	0.47	0.32	0.13	0.97	-0.53	0.57	0.56		
Pb	0.44	0.61	-0.46	0.25	0.16	0.78	-0.25	-0.17	0.40	-0.24	0.80	0.84	-0.31	-0.30	0.82	-0.19	0.77	0.34	0.14	0.84	-0.41	0.32	0.62	0.81	

Bold type indicates that the correlation coefficient is larger than 0.6 or smaller than -0.6.

第6表 各海域における水深と全元素濃度間の相関係数.

Table 6 Correlation coefficients between water depth and all element concentrations by sea area.

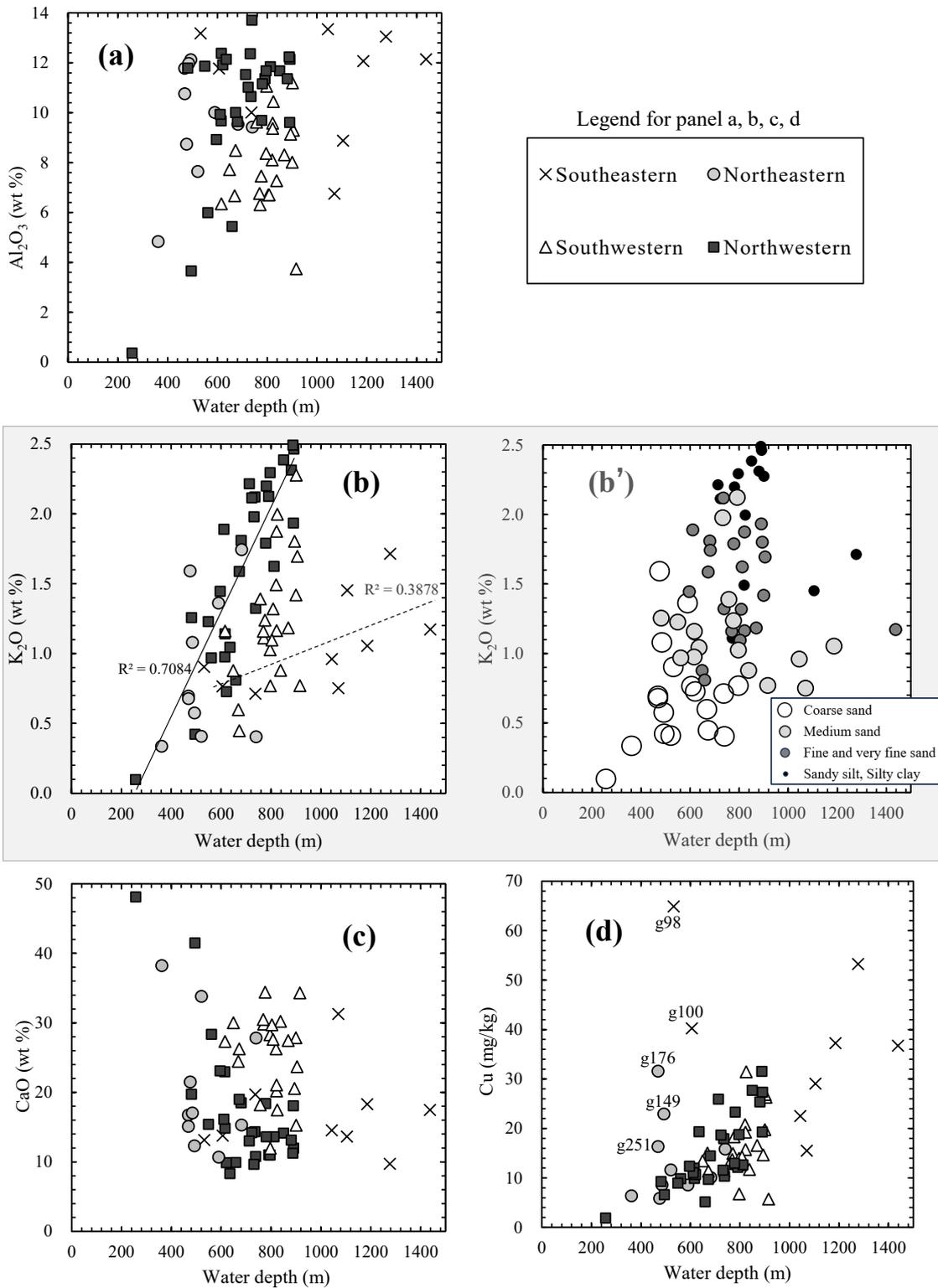
	Depth			
	South eastern	North eastern	South western	North western
Na ₂ O	0.59	0.32	0.51	0.73
MgO	-0.69	-0.31	-0.37	-0.29
Al ₂ O ₃	-0.04	0.19	0.20	0.63
P ₂ O ₅	-0.05	-0.32	-0.19	-0.12
K ₂ O	0.62	0.27	0.53	0.84
CaO	0.09	-0.21	-0.15	-0.70
TiO ₂	-0.34	-0.20	-0.30	0.09
MnO	0.16	-0.18	-0.07	0.29
T-Fe ₂ O ₃	-0.55	-0.21	-0.36	0.03
Li	0.59	0.33	0.50	0.78
Be	0.74	0.35	0.50	0.83
Sc	-0.55	-0.17	-0.36	0.07
V	-0.61	-0.24	-0.35	-0.01
Cr	-0.45	-0.16	0.31	0.71
Co	-0.62	-0.21	-0.46	0.06
Ni	-0.21	-0.21	-0.06	0.59
Cu	-0.14	-0.01	0.34	0.76
Zn	-0.36	-0.14	-0.26	0.42
Rb	0.66	0.31	0.53	0.83
Sr	-0.23	-0.03	-0.31	-0.64
Y	0.35	0.11	0.16	0.59
Mo	0.29	-0.02	-0.06	0.50
Ba	0.72	0.33	0.52	0.86
Pb	0.54	0.32	0.19	0.80

Bold type indicates that the correlation coefficient is larger than 0.6 or smaller than -0.6.

側 (南西および南東海域) 試料と北側 (北西および北東海域) 試料を比較すると, Al₂O₃ および K₂O 濃度は北側が高く, CaO 濃度は北側が低い. K₂O 濃度と水深の関係においては, 各海域について高い相関係数 (第6表) が得られるが, それぞれの回帰直線の傾きが異なるため, 全体的にはばらつきがやや大きくなった (第2図 (b)). また, 第2図 (b') より, 細粒化に伴って K₂O 濃度が高くなることが確かめられ, 他の元素に比べてより鮮明にその特徴が示された. 水深と Cu 濃度間の関係では, 特に北西海域において正の相関が確認され ($r=0.76$), 他海域についてもその直線関係に準ずる傾向にある. その直線関係からずれる粗粒堆積物試料 (g98, g100, g149, g176, g251) は採取地点が近接しており, 付近の海域には古期岩類 (古第三系・中生界・古生界) が分布する (本座ほか, 1977).

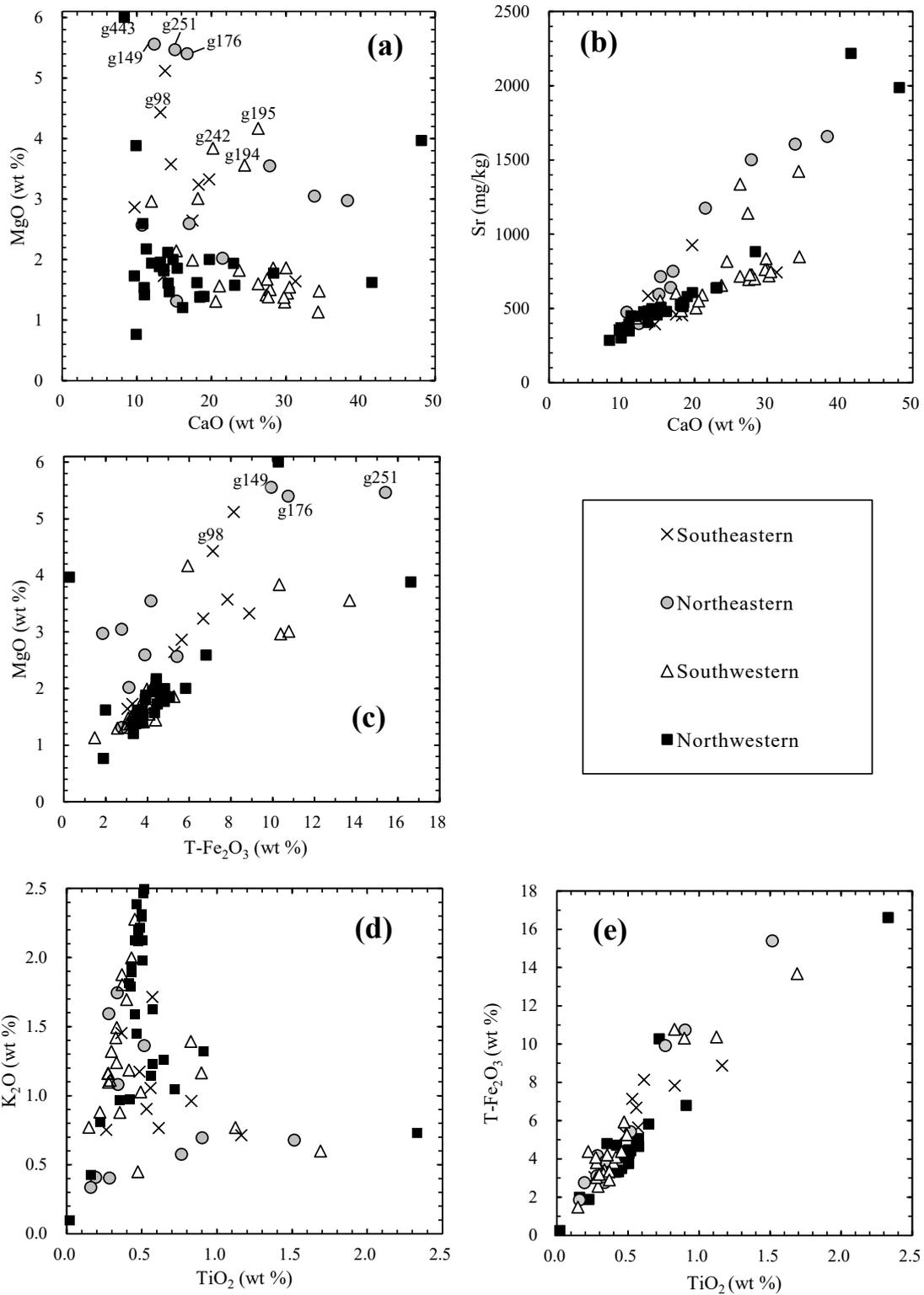
第3図a, bは, 生物遺骸粒子の主成分である CaO, MgO, Sr の濃度の関係を示したものである. 3成分間の相関係数は, CaO-Sr (0.84), CaO-MgO (-0.17), MgO-Sr (0.01) となっており (第5表), 海域別にみても高い相関

係数を示すのは CaO-Sr 濃度間のみであった. これら3成分は, 石灰藻, 珊瑚, 貝類などの生物活動で同様に濃集されると考えられるが, 本海域において MgO の濃集挙動は他の2成分と異なることが推測される. 第3図aで CaO 低濃度かつ MgO 高濃度の試料は, 粒度が粗く, T-Fe₂O₃, TiO₂, Sc, V, Zn 等の濃度が高く, K₂O, Rb, Ba に乏しいことが確かめられた. この特徴は GB21-2 および 21-3 航海における報告 (久保田ほか, 2023) と同様であり, これら試料の起源として苦鉄質火山岩由来の碎屑粒子の寄与が大きいことが示唆される. また CaO 低濃度・MgO 高濃度試料の多くは, トカラ列島の東側 (北東および南東海域) で採取された試料で, 一部南西海域の島近傍の試料が含まれる. 海底地質図によると, トカラ列島東方沖には第四紀堆積層および古期岩類 (古第三系・中生界・古生界) が分布しており (本座ほか, 1977), 特に g98, g149, g176, g251 は奄美大島周辺海域試料 (太田ほか, 2017) と同様に MgO, Co, T-Fe₂O₃ 濃度が高く, CaO 濃度が低い (第2表および第3図a, c) という特徴を有する.



第2図 GB22-1 および22-2航海で採取されたトカラ列島周辺海域表層堆積物中の Al_2O_3 、 K_2O 、 CaO 、 Cu 濃度と試料採取地点の水深の関係(海域別)。(b) 実線と破線はそれぞれ、北西部と南東部のサンプルにおける相関関係を示す。(b')は K_2O 濃度と水深の関係を粒度別に示す。

Fig. 2 The relationship between elemental concentrations (Al_2O_3 , K_2O , CaO , Cu) and water depth by sea area. (b) The solid and broken lines show the correlation lines for Northwestern and Southeastern samples, respectively. (b') is the relationship between K_2O concentration and water depth by particle size.



第3図 GB22-1および22-2航海で採取されたトカラ列島周辺海域表層堆積物中のCaO-MgO, CaO-Sr, T-Fe₂O₃-MgO, TiO₂-K₂O, TiO₂-T-Fe₂O₃濃度間の関係 (海域別).

Fig. 3 The relationship between elemental concentrations of marine sediments by sea area ((a) CaO-MgO, (b) CaO-Sr, (c) T-Fe₂O₃-MgO, (d) TiO₂-K₂O, (e) TiO₂-T-Fe₂O₃).

苦鉄質火山岩由来の碎屑粒子の寄与については、MgO-T-Fe₂O₃濃度間およびT-Fe₂O₃-TiO₂濃度間の相関係数が高いことから確認することができる(第3図cおよびe, 相関係数はそれぞれ0.72および0.92)。また、TiO₂濃度とK₂O濃度の関係(第3図d)では、GK15-2航海(太田ほか, 2017)、GB21-2および21-3航海(久保田ほか, 2023)の試料の分析結果と同様に、①TiO₂、K₂Oともに低濃度、②高濃度TiO₂・低濃度K₂O、③低濃度TiO₂・高濃度K₂Oの3つの傾向が確かめられた。これにより、本航海で採取した試料についても、CaO、Srに富む生物遺骸粒子、T-Fe₂O₃やMgOなどに富む苦鉄質火山岩類由来の碎屑性粒子、K₂Oなどに富む珪長質火山岩類由来の碎屑性粒子の3つの起源物質の影響を受けているものと推測された。

次にAl₂O₃濃度とCaO、K₂O、T-Fe₂O₃、TiO₂、Cu濃度の関係を粒度別に示した(第4図)。Al₂O₃濃度とCaO濃度間には明瞭な負の相関係数(r=-0.86)が認められる(第4図a)。これはCaOを主成分とする生物遺骸粒子(炭酸塩鉱物)とAl₂O₃を主とする碎屑性粒子(ケイ酸塩鉱物)の単純な混合関係を示していると考えられる。この直線関係から外れるg101、g206、g346は粒度および分布海域が異なるなど共通点はなく、他に比べCaO濃度が低くなる要因は不明瞭である。第4図(b)はAl₂O₃-K₂O濃度間の関係を示しており、全体の相関係数は0.45と高くない。一般的なケイ酸塩岩石(苦鉄質岩-珪長質岩)中のK₂O濃度は1-6%、Al₂O₃濃度は12-17%程度変化すると言われ、異なる岩石由来の碎屑性粒子が近傍に堆積する場合はAl₂O₃-K₂O濃度間の相関係数は小さくなると考えられる。一方で、粒度別にみるとそれぞれ正の相関が認められる。粒度によって回帰直線の傾きが異なり、砂質泥-泥質から粒度が粗くなるにつれ傾きが緩やかになることが確認できた。また、Al₂O₃高濃度(10 wt%以上)かつK₂O高濃度(2.0 wt%以上)の砂質泥-泥質試料は、すべて陸域から遠く離れた北西海域の水深700-900 mの海底面から採取された試料であった。これらは陸源性の碎屑物の影響だけでなく、堆積場が半遠洋性の環境下に移行し、粘土鉱物の含有量が増加したことを反映している可能性が考えられる。

第4図cに示す通り、Al₂O₃-T-Fe₂O₃濃度間では、T-Fe₂O₃低濃度域(8.0 wt%以下)において正の相関係数が認められる(r=0.74)。g194、g251、g348は、Al₂O₃-T-Fe₂O₃間の直線的な傾向から外れ、著しく高いT-Fe₂O₃濃度を持つ粗粒堆積物試料である。これら3試料はT-Fe₂O₃とMgOの他、TiO₂、Sc、Vなどの不可動性元素の濃度が高いため、鉄酸化物被覆ではなく苦鉄質火成岩類の影響が強く表れた試料であると考えられる。トカラ列島周辺海域におけるT-Fe₂O₃高濃度試料に関しては、GB21-1、21-2および21-3航海のデータ(久保田ほか, 2022, 2023)を含めて考察しても地域性が認められないため、局所的な要因によ

るものと推測される。Al₂O₃-TiO₂濃度間の関係(第4図d)においても、TiO₂低濃度域(0.8 wt%以下)で正の相関係数が認められ(r=0.87)、T-Fe₂O₃高濃度試料とTiO₂高濃度試料はほぼ一致していた。

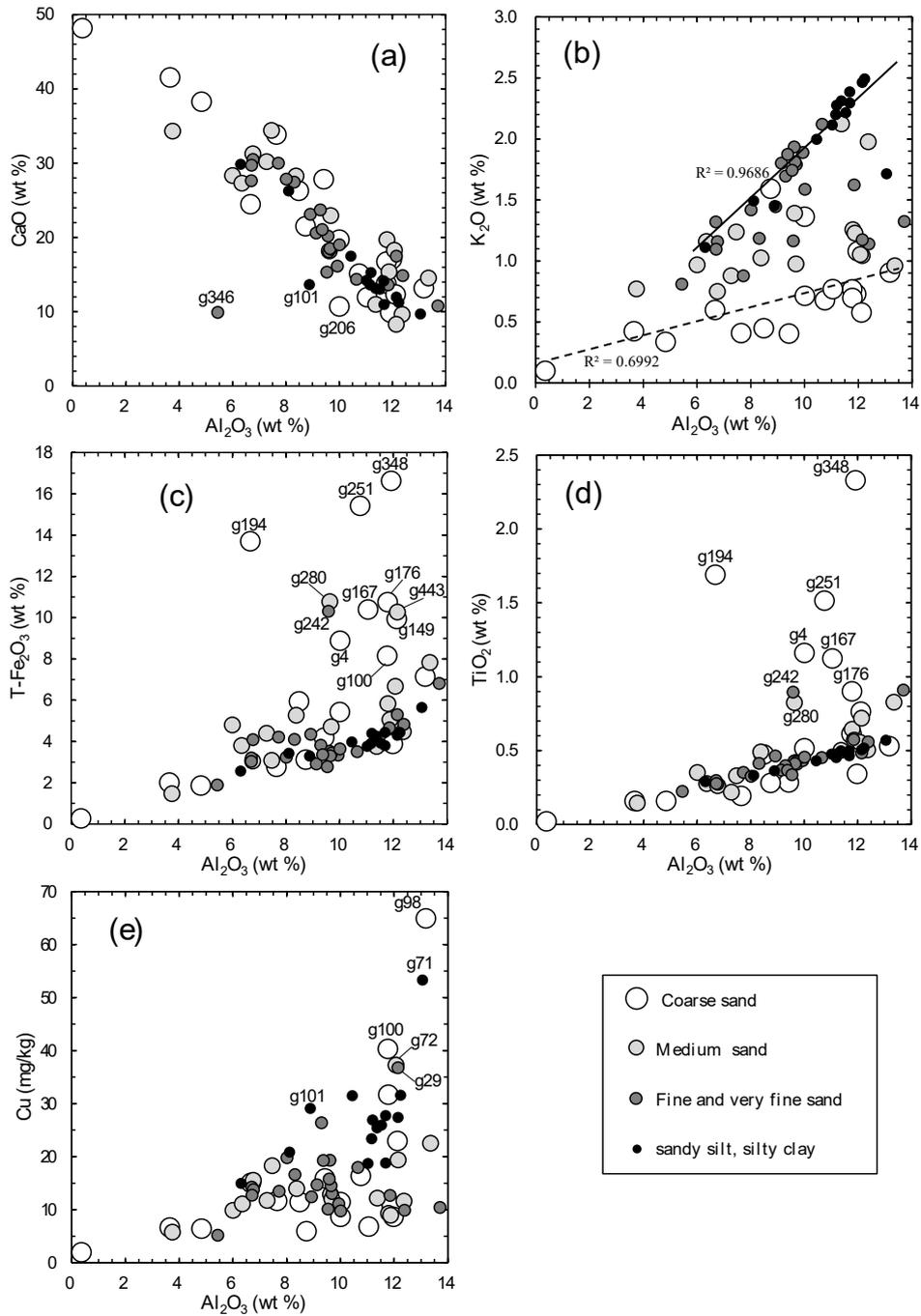
Al₂O₃濃度とCu濃度の関係(第4図e)では、ばらつきが大きくはっきりとしたトレンドは確認できない。Cu高濃度試料(35 mg/kg以上)はすべて南東海域の深海域で採取され、中でもg71、g100はMn濃度がやや高い。これらはGB21-2および21-3航海(久保田ほか, 2023)におけるCu高濃度試料と採取地点が近接、また類似点も多いことから、GH09航海の報告(太田ほか, 2010)にあるようにCu高濃度化の要因の一つとして初期続成作用による濃集が考えられる。すなわち、このCu高濃度試料は、還元的环境下にある下層堆積物から溶出したイオンが堆積物表層や海中で酸化されて再沈殿(堆積物表層部の粒子表面に吸着)したものと推測される。

4. まとめ

トカラ列島の口之島、中之島、諏訪之瀬島および口永良部島などの活火山が分布する琉球弧火山フロントの外洋海域から採取した海底表層堆積物71試料について、53元素の化学分析を行い、主成分元素および微量元素24元素の化学組成の特徴や分布特性について検討を行った。本調査海域においては、生物源炭酸塩が主成分である沖縄本島周辺海域とは異なり、Al₂O₃、T-Fe₂O₃濃度が高く相対的にCaO濃度が低い傾向が見られた。これは既報のトカラ列島周辺海域(GB21-1、21-2および21-3)における海底表層堆積物試料の分析結果と一致しており、火山岩由来の碎屑性粒子の影響が大きいと推測された。本調査海域を4つの海域に区分したところ、海域によって各元素の分布特性および水深データを含む測定値間の相関係数に明らかな違いが見られた。生物遺骸粒子の主成分であるCaO、MgO、Srの濃度の関係は、海域別にみてもCaO-Sr濃度間のみ高い相関係数を示し、MgOの濃集挙動は他の2成分と異なることが推測された。主要元素の濃度間の相関係数から、本調査海域で採取した海底表層堆積物試料は、生物遺骸粒子・苦鉄質火山岩類由来の碎屑性粒子・珪長質火山岩類由来の碎屑性粒子の3つの起源物質の影響を受けているものと考えられた。また、Al₂O₃高濃度かつK₂O高濃度の砂質泥-泥質試料は、すべて陸域から遠く離れた北西海域の水深700-900 mの海底面から採取された試料であり、これらは堆積場が半遠洋性の環境下に移行して粘土鉱物の含有量が増加したことを反映している可能性が考えられた。

文献

本座栄一・宮崎光旗・玉木賢策・村上文敏・石原丈実・小野寺公児・有田正史・奥田義久・湯浅真人・玉木



第4図 GB22-1および22-2航海で採取されたトカラ列島周辺海域表層堆積物中の Al_2O_3 -CaO, Al_2O_3 - K_2O , Al_2O_3 -T- Fe_2O_3 , Al_2O_3 - TiO_2 , Al_2O_3 -Cu濃度間の関係 (粒度別). 粒度区分は船上記載データに基づく. (b) 図中の実線と破線はそれぞれ, 砂質泥-泥質試料および粗粒砂試料における相関関係を示す.

Fig. 4 The relationship between elemental concentrations of marine sediments by particle size ((a) Al_2O_3 -CaO, (b) Al_2O_3 - K_2O , (c) Al_2O_3 -T- Fe_2O_3 , (d) Al_2O_3 -Ti, (e) Al_2O_3 -Cu). Particle size classification is based on data recorded on board the ship. (b) The solid and broken lines show the correlation lines for sandy silt-silty clay and coarse sand samples, respectively.

- 賢策・井内美郎 (1977) 琉球島弧周辺広域海底地質図. 海洋地質図, no. 7, 地質調査所.
- 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).
- 久保田 蘭・太田充恒・今井 登・立花好子・板木拓也・片山 肇・杉崎彩子・岡井貴司 (2019) 奄美大島西方海域 (GK17-2 航海) で採取された海底表層堆積物の化学組成. 井上卓彦 (編) 「沖繩周辺海域の海洋地質学的研究」平成30年度研究概要報告書—宮古島・石垣島・西表島周辺海域—, 地質調査総合センター速報, no. 77, 153–161.
- 久保田 蘭・太田充恒・立花好子・板木拓也・片山 肇・鈴木克明・間中光雄 (2022) トカラ列島周辺海域 (GB21-1 航海) で採取された海底表層堆積物の化学組成. 地質調査研究報告, 73, 337–347.
- 久保田 蘭・太田充恒・立花好子・板木拓也・片山 肇・鈴木克明・間中光雄 (2023) トカラ列島周辺海域 (GB21-2 および 21-3 航海) で採取された海底堆積物の化学組成. 地質調査研究報告, 74, 287–300.
- Ohta, A. (2018) Evaluation of straightforward and rapid multi-element analysis of stream sediments for geochemical mapping in the remote islands of Japan – Seto Inland Sea region – *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 69, 1–30.
- 太田充恒・寺島 滋・今井 登・立花好子・板木拓也・荒井晃作・片山 肇・池原 研 (2010) 沖繩島西方海域の海底表層堆積物の化学組成. 荒井晃作 (編) 「沖繩周辺海域の海洋地質学的研究」平成21年度研究概要報告書—沖繩島北西方沖海域—, 地質調査総合センター速報, no. 51, 103–115.
- 太田充恒・今井 登・立花好子・板木拓也・荒井晃作・片山 肇・池原 研 (2011) 沖繩島周辺海域の海底表層堆積物の化学組成. 荒井晃作 (編) 「沖繩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—沖繩島西方沖海域—, 地質調査総合センター速報, no. 55, 124–136.
- 太田充恒・今井 登・立花好子・天野敦子・板木拓也・荒井晃作・池原 研・岡井貴司 (2013) 沖永良部島周辺海域の海底表層堆積物の化学組成. 荒井晃作 (編) 「沖繩周辺海域の海洋地質学的研究」平成24年度研究概要報告書—沖永良部島周辺海域—, 地質調査総合センター速報, no. 61, 99–107.
- 太田充恒・今井 登・立花好子・天野敦子・板木拓也・片山 肇・岡井貴司 (2016) 沖永良部島—徳之島北西海域 (GK14 航海) で採取された海底表層堆積物の化学組成. 板木拓也 (編) 「沖繩周辺海域の海洋地質学的研究」平成27年度研究概要報告書—奄美大島周辺海域—, 地質調査総合センター速報, no. 70, 88–98.
- 太田充恒・今井 登・立花好子・板木拓也・片山 肇・天野敦子・岡井貴司 (2017) 奄美大島, 徳之島, 喜界島周辺海域 (GK15-2 航海) で採取された海底表層堆積物の化学組成. 板木拓也 (編) 「沖繩周辺海域の海洋地質学的研究」平成28年度研究概要報告書—奄美大島周辺海域—, 地質調査総合センター速報, no. 72, 64–81.
- 太田充恒・久保田 蘭・今井 登・立花好子・板木拓也・片山 肇・杉崎彩子・岡井貴司 (2019) 宮古島, 石垣島, 西表島周辺海域 (GK18-1 航海) で採取された海底表層堆積物の化学組成. 井上卓彦 (編) 「沖繩周辺海域の海洋地質学的研究」平成30年度研究概要報告書—宮古島・石垣島・西表島周辺海域—, 地質調査総合センター速報, no. 77, 94–107.
- 鈴木克明・板木拓也・片山 肇・兼子尚知・針金由美子・齋藤直輝・岩谷北斗・松井浩紀・石塚 治・山崎 誠・有元 純・徳田悠希・千徳明日香・池内絵里・井口亮・鈴木 淳・清家弘治 (2024) トカラ列島西方海域及び屋久島南方海域の底質分布とその制御要因. 地質調査研究報告, 75, 223–248.
- 寺島 滋・板木拓也・片山 肇・池原 研・今井 登・太田充恒 (2009) 沖繩南東海域の表層堆積物等の化学組成. 荒井晃作 (編) 「沖繩周辺海域の海洋地質学的研究」平成20年度研究概要報告書—沖繩島東方沖海域—, 地質調査総合センター速報, no. 46, 99–106.

(受付: 2024年1月19日; 受理: 2024年9月26日)

トカラ列島周辺海域における CTD 観測および海洋大循環モデルに基づく海洋環境

齋藤 直輝^{1,*}・鈴木 克明¹・板木 拓也¹・鈴木 淳¹

SAITO Naoki, SUZUKI Yoshiaki, ITAKI Takuya and SUZUKI Atsushi (2024) Marine environment around the Tokara Islands based on CTD observations and ocean general circulation model. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 75 (5/6), p. 279–297, 9 figs and 2 tables.

Abstract: In order to make multifaceted interpretations of the seafloor geology around the Tokara Islands, it is necessary to understand the marine environment, including the Kuroshio Current. In this paper, we analyze CTD observations conducted from the south offshore of Yakushima Island to the north offshore of Takarajima Island during the GB21-2, GB21-3, GB22-1, and GB22-2 cruises. In addition, the flow patterns were analyzed using an ocean general circulation model. The Kuroshio Current generates relatively strong currents between Yakushima Island and Nakanoshima Island and between Nakanoshima Island and Suwanosejima Island, and the strong currents reach the seafloor. In the downstream direction of the Kuroshio Current between Nakanoshima Island and Suwanosejima Island, the surface layer has low water temperature and high salinity. This is thought to be due to the Kuroshio Current passing through the rising topography of the seafloor, causing vertical mixing. At the same location, dissolved oxygen in the surface layer is higher. This may be because vertical mixing supplies nutrients to the surface layer and stimulates primary production. In the vicinity of Kuchino-Erabujima Island, high turbidity layers on the seafloor were observed at many locations. This is possibly due to resuspension caused by strong currents associated with the Kuroshio Current or turbidity currents caused by active volcanic earthquakes.

Keywords: Tokara strait, Kuroshio current, CTD observation, dissolved oxygen, turbidity

要 旨

トカラ列島周辺の海底地質について多角的な解釈を行うためには、黒潮をはじめとする海洋環境を理解する必要がある。本稿では、GB21-2, GB21-3, GB22-1, およびGB22-2航海において、屋久島南沖から宝島北沖にかけて実施されたCTD観測を解析した。併せて、海洋大循環モデルによる流況解析を実施した。黒潮は屋久島–中之島間と中之島–諏訪之瀬島間で比較的強い流れを生じさせ、強い流れは海底上まで達する。中之島–諏訪之瀬島間の黒潮流下方向では、表層水が低水温・高塩分となる領域がみられる。これは海底地形の高まりを通過する黒潮が鉛直混合を引き起こすためと考えられる。同じ地点では表層の溶存酸素が高くなる。鉛直混合が表層へ栄養塩を供給し、一次生産を活発化させるためと推測される。口永良部島周辺では、海底付近で100 m程度の厚さを持つ高濁度層が多くの地点で観測された。黒潮に伴う強い流れによる再懸濁や、活発な火山性地震による混濁流の影響の可能性がある。

1. はじめに

トカラ列島は、九州南方の屋久島から奄美大島の間に位置する島嶼群である。主要な島は口之島、中之島、諏訪之瀬島、平島、悪石島、小宝島、および宝島から構成される。周辺海域には黒潮が流れる。黒潮は、トカラ列島の西側を北上したあと、屋久島の南側で東向きに変わり、トカラ列島周辺海域を通過して太平洋へと流れる。

トカラ列島周辺の海底地質に関する現地調査は、黒潮に代表される海洋環境の影響を示した。例えば、リップルなどのベッドフォーム、生物遺骸の局所的な濃集、露頭や礫質堆積物の分布といった底質分布は、黒潮の流路と強く関連している可能性がある(鈴木ほか, 2022)。貝形虫などの底生生物の群集組成の分布についても、黒潮の影響が推測されている(中野ほか, 2022)。宝島東方沖では、海底付近に厚さ数十mの高濁度層が観測され、黒潮が堆積物の再懸濁を引き起こしていることが示唆された(板木ほか, 2022)。トカラ列島周辺の海底地質を多角的に解釈するためには、黒潮をはじめとした海洋環境の

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)

* Corresponding author: SAITO, N., AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1 Higashi, Tsukuba, Ibaraki 305-8567, Japan. Email: n.saito@aist.go.jp

実態の把握が必要である。

トカラ列島周辺では、海底地形と黒潮の相互作用により、複雑な海洋環境が形成される。トカラ列島周辺の海底には、島の斜面や海山など、地形の高まりが多く存在する。黒潮が通過する際、これらの地形が流れを歪め、海洋内部で強い乱流混合を引き起こす。現地調査により、トカラ列島周辺海域の黒潮下流側では、上流側と比べて乱流の強さが100～1000倍となることが示された(Tsutsumi *et al.*, 2017; Nagai *et al.*, 2021)。混合は底層から栄養塩を巻き上げ、表層の一次生産を活性化させている可能性がある(Hasegawa *et al.*, 2021)。黒潮がトカラ列島周辺の海洋環境に及ぼす影響は理解されつつあるが、研究対象は表層に集中しており、底層付近についてのデータや知見は不足している。板木ほか(2022)は、表層から底層までのCTD観測を実施した。しかし、調査対象地は黒潮の流軸からやや南に外れた宝島及び諏訪之瀬島周辺海域であり、黒潮の影響を網羅的に把握するには不十分であったと考えられる。

本稿では、トカラ列島周辺海域の海洋環境の実態を明らかにすることを目的に、屋久島南沖から宝島北沖にかけての計178地点でCTD観測を実施した。併せて、本海域を通過する黒潮について基本的な理解を得るため、海洋大循環モデルを用いて流れの解析を実施した。

2. 方法

2.1 CTD観測

CTD観測は4度の調査航海、すなわちGB21-2航海(2021年7月)、GB21-3航海(2021年11月)、GB22-1航海(2022年7月)、およびGB22-2航海(2022年11月)で実施した。観測地点は屋久島から宝島にかけての計178地点であり、その内訳はGB21-2航海で17地点、GB21-3航海で75地点、GB22-1航海で25地点、GB22-2航海で61地点を調査した(第1図)。

測器はSea & Sun Marine Tech社製CTD 90Mを使用した。測定項目は圧力(水深)、温度、電気伝導度(塩分)、濁度および溶存酸素(DO)とした。測定精度は、圧力センサーは-5～35℃において0.1%、温度センサーは-2～35℃の測定レンジで±0.005℃である。濁度センサーは光源波長880 nm、測定レンジは0～25 FTUである。DOセンサーは測定レンジ0～240%、精度は±2%である。DOについては校正を行っていないため、測定値は参考扱いとし、変化の傾向のみ議論する。採水による塩分の補正(板木ほか, 2022)は、採水試料の分析が完了していないため未実施である。CTDはセンサーが下向きになるように木下式グラフ採泥器(K-グラフ)に取り付け、採泥中に0.2秒間隔の連続モードで観測を行った。K-グラフは投入後、線速1.0 m/s程度で下降させ、海底面上30 m前後で一旦停止させてワイヤー傾角を調整した後、線速0.3～0.5 m/s程度で着底させた。

測定値の解析には、着底時の懸濁の影響を受けないようにするため、水面から海底までの下降中のデータを用いた。表層水は、一時的な降水などの影響を受けにくい水深2～5 mの平均値とした。底層水は、着底時の懸濁の影響を受けにくい海底上5～7 mの平均値の値とした。GB22-1航海およびGB22-2航海のDOと濁度は、異常値(負の値)が測定されたため、解析から除外した。

本稿では解析の便宜上、海底上の高濁度層を以下のように定義した。水深0 m～海底上100 mまでの濁度の中央値を $T_{surface}$ 、海底上0～100 mの濁度の中央値を T_{bottom} とする。ここで、 $T_{surface} \times 1.05 < T_{bottom}$ を満たすとき、海底上に高濁度層が存在するとみなした。

2.2 海洋大循環モデル

データ同化型海洋大循環モデルJCOPE2M(Miyazawa *et al.* 2017; Miyazawa *et al.* 2019)による流速を解析した。JCOPE2Mの特徴は、日本以南の黒潮の流路、海面高度、水温・塩分プロファイルを精度良く再現できることである(Miyazawa *et al.* 2017)。解像度は、水平分解能1/12°、垂直分解能はσ座標系で46層、データの時間間隔は1日である。データ同化により観測値を計算に取り込んでおり、用いているデータは衛星海面高度、衛星海面水温、および現場水温・塩分である。主な駆動力は大気強制であり、風応力および海面での熱・塩分フラックスで駆動される。数値モデルはPrinceton Ocean Model (POM)(Mellor *et al.*, 2002)を基盤としている。本稿では、2019年1月1日から2022年1月1日までの3年間の水平流速を解析した。

3. 結果と考察

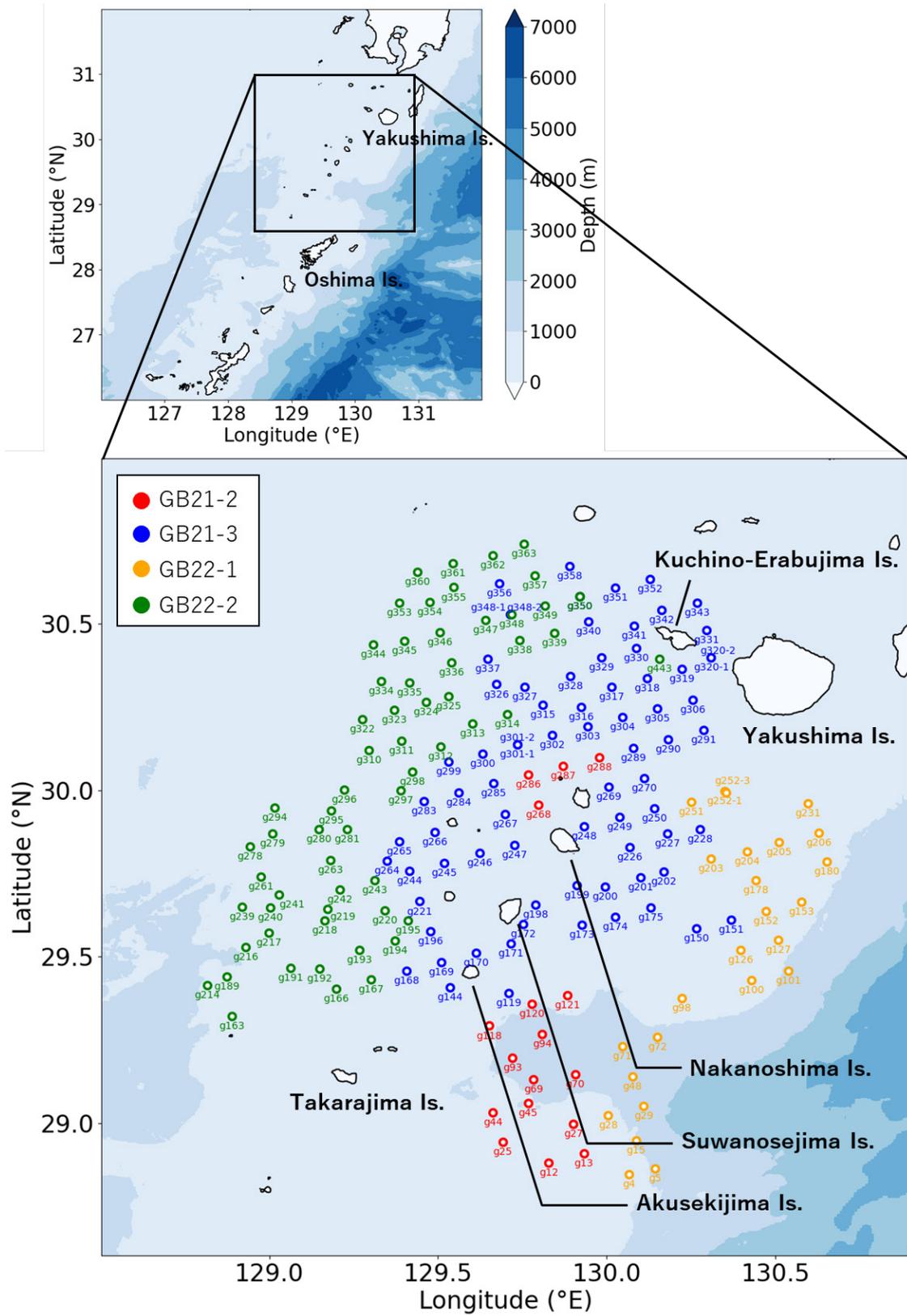
3.1 流況

水深0 mにおける3年間の平均流について、黒潮が通過する屋久島-中之島間で流速が最大(～1.2 m/s)となった(第2図)。上流側よりも流れが強い理由は、屋久島-中之島間を通過することで流路が狭まり、かつ島間の海底地形の高まりによって水深が浅くなるためだと考えられる。黒潮は中之島-諏訪之瀬島間にも流出し、～0.8 m/sの比較的強い流れを生じさせた。中之島や諏訪之瀬島の南西側は黒潮に対して島陰となり、流れが比較的弱い(～0.2 m/s)パッチ状の領域を形成した。黒潮が通過する屋久島から悪石島にかけて、流向は南東方向が卓越した。黒潮を横断する南北方向の断面図より、黒潮がもたらす比較的速い流れは海底上まで達していることが示された(第3図)。

3.2 水温・塩分

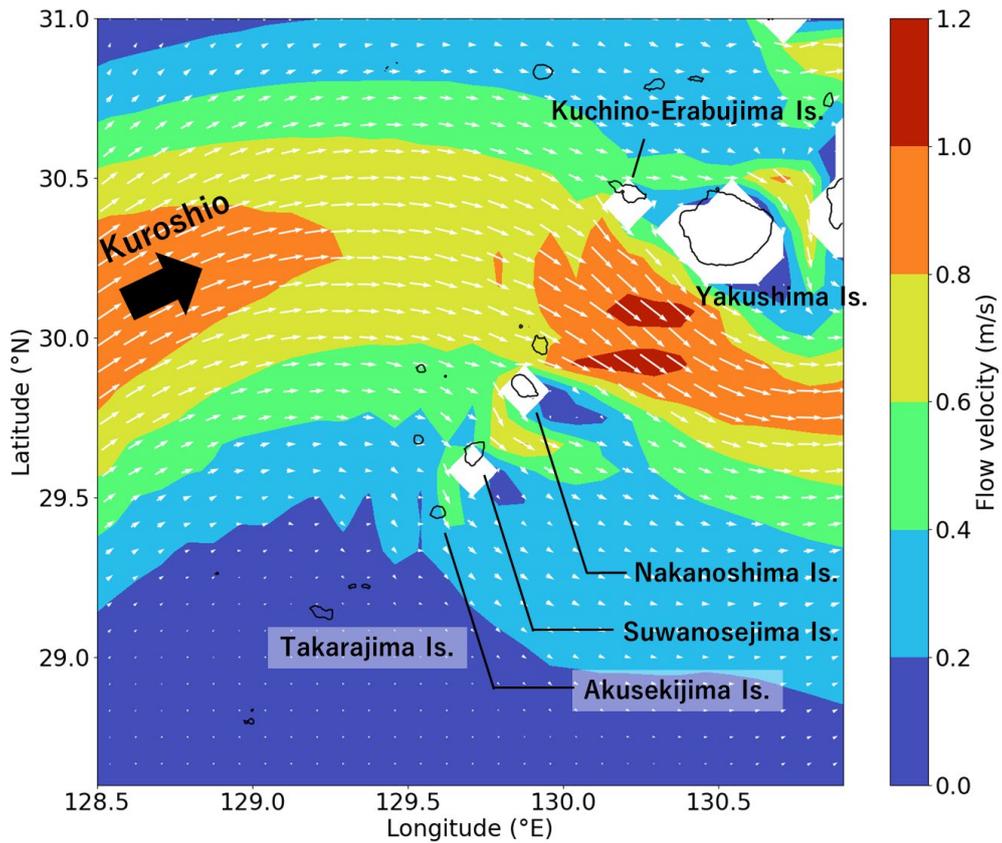
表層の水温・塩分の範囲は、水温が23.42～29.79℃、塩分が33.13～34.21であった(第1, 2表)。平均値は、水温で 25.82 ± 1.63 ℃、塩分で 33.72 ± 0.2 であった(±

トカラ列島の海洋環境 (齋藤ほか)



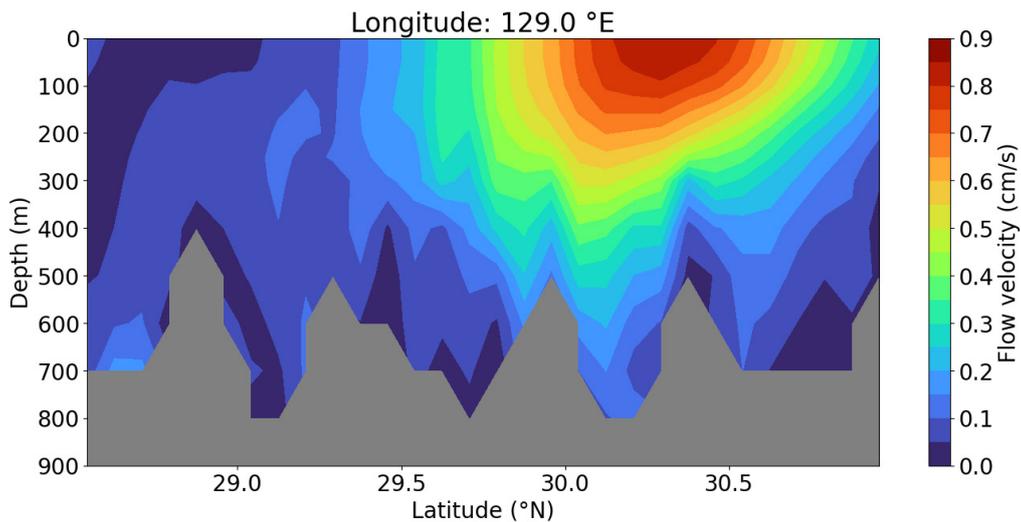
第1図 調査海域と観測地点.

Fig. 1 Study area and observation points.



第2図 海洋大循環モデルJCOPE2Mによる、水深0 mにおける3年間の平均流。色は流速の大きさ、矢印は流向を示す。

Fig. 2 Three-year mean flow at 0 m depth from the ocean general circulation model JCOPE2M. The color indicates the magnitude of the velocity and the arrow indicates the direction of the flow.



第3図 海洋大循環モデルJCOPE2Mによる、東経129°における3年間の平均流の断面図。

Fig. 3 Cross section of three-year mean flow at 129° E from the ocean general circulation model JCOPE2M.

第1表 CTDで取得された表層(水深2~5 mの平均)と底層(海底面上5~7 mの平均)の水温(Temp), 塩分(Sal), 濁度(Turb), 溶存酸素(DO). 観測日および位置, 水深はグラフ着底時のものを示した.

Table 1 Water temperature (Temp), salinity (Sal), turbidity (Turb), and dissolved oxygen (DO) in surface (average of 2 to 5 m depth) and bottom (average of 5 to 7 m above the seafloor) layers obtained by CTD. The date, locations, and water depths are those at the time of grab landing on the seabed.

Cruise	Site	Date	Lat (N)	Long (E)	Depth (m)	CTD surface (2-5 m below sea surface)				CTD bottom (5-7 m above seafloor)			
						Temp (°C)	Sal	Turb (FTU)	DO (ml/L)	Temp (°C)	Sal	Turb (FTU)	DO (ml/L)
GB21-2	g118	2021/7/28	29.292	129.650	942	27.45	33.84	1.25	3.92	3.45	33.93	1.18	1.87
GB21-2	g12	2021/7/27	28.881	129.828	244	28.00	33.95	1.37	3.83	17.57	34.26	1.17	3.96
GB21-2	g120	2021/7/28	29.359	129.778	1012	27.90	33.90	2.10	4.03	3.22	33.95	1.17	1.89
GB21-2	g121	2021/7/28	29.384	129.883	925	27.71	33.95	1.35	3.94	3.48	33.93	1.16	1.87
GB21-2	g13	2021/7/27	28.908	129.932	406	27.90	33.93	1.23	3.97	14.95	34.12	1.18	4.00
GB21-2	g25	2021/7/27	28.943	129.692	839	27.84	33.97	1.48	3.92	4.40	33.90	1.22	2.06
GB21-2	g268	2021/7/29	29.956	129.798	455.7	28.26	33.72	1.24	3.94	10.65	33.90	1.21	3.37
GB21-2	g27	2021/7/27	28.997	129.901	673	27.22	33.84	1.31	4.04	7.69	33.85	1.16	2.80
GB21-2	g286	2021/7/29	30.047	129.767	479	28.44	33.74	1.25	3.85	9.54	33.85	1.16	3.20
GB21-2	g287	2021/7/29	30.073	129.871	60	28.37	33.73	1.24	3.95	26.87	33.67	1.22	3.90
GB21-2	g288	2021/7/29	30.099	129.977	584	28.43	33.73	1.26	3.87	7.28	33.86	1.32	2.66
GB21-2	g44	2021/7/27	29.032	129.663	940	27.89	33.93	1.33	3.88	3.58	33.94	1.19	1.88

第1表 続き.
Table 1 Continued.

GB21-2	g45	2021/7/28	29,060	129,766	999	27.66	33.91	1.26	3.91	3.15	33.95	1.15	1.90
GB21-2	g69	2021/7/28	29,130	129,783	1025	27.12	33.85	1.22	3.93	3.20	33.99	1.17	1.91
GB21-2	g70	2021/7/27	29,146	129,906	1201	27.16	33.83	1.32	4.12	2.86	34.00	1.21	2.05
GB21-2	g93	2021/7/28	29,197	129,721	1053	27.82	33.92	1.38	3.88	3.22	33.95	1.21	1.90
GB21-2	g94	2021/7/28	29,268	129,808	1064	27.97	33.93	1.43	3.91	3.16	33.96	1.34	1.92
GB21-3	g119	2021/11/20	29,390	129,710	933	25.09	33.68	1.35	3.98	3.49	33.76	1.10	1.94
GB21-3	g144	2021/11/20	29,407	129,535	652	25.06	33.72	1.18	3.92	6.96	33.64	1.10	2.62
GB21-3	g150	2021/11/13	29,584	130,265	423	24.58	33.94	1.16	4.15	10.24	33.77	1.02	3.31
GB21-3	g151	2021/11/13	29,611	130,369	313	24.71	33.87	1.71	4.22	13.33	33.88	0.98	3.80
GB21-3	g168	2021/11/20	29,457	129,407	861	25.17	33.85	1.32	3.93	4.69	33.91	1.20	2.13
GB21-3	g169	2021/11/20	29,484	129,511	923	25.07	33.82	1.57	3.88	4.61	33.91	1.16	2.12
GB21-3	g170	2021/11/20	29,511	129,613	837	25.04	33.68	1.27	3.87	4.90	33.90	1.13	2.18
GB21-3	g171	2021/11/20	29,540	129,715	799	24.99	33.83	1.33	3.87	4.02	33.91	1.27	1.96
GB21-3	g172	2021/11/12	29,597	129,752	401	24.68	33.92	1.14	4.15	12.74	33.85	0.99	3.77
GB21-3	g173	2021/11/12	29,594	129,926	727	24.55	33.90	1.21	4.16	3.93	33.77	0.99	1.96
GB21-3	g174	2021/11/12	29,620	130,026	525	24.53	33.91	1.49	4.19	6.03	33.75	1.12	2.45
GB21-3	g175	2021/11/13	29,648	130,130	554	24.47	33.91	1.21	4.22	8.00	33.72	1.03	2.89
GB21-3	g196	2021/11/20	29,576	129,477	780	25.26	33.68	1.24	3.91	5.09	33.90	1.18	2.21
GB21-3	g198	2021/11/12	29,657	129,789	507	24.54	33.90	1.29	4.16	10.08	33.74	1.00	3.36
GB21-3	g199	2021/11/15	29,713	129,911	669	24.72	33.71	1.10	4.01	4.74	33.72	1.05	2.14

トカラ列島の海洋環境（齋藤ほか）

第1表 続き.
Table 1 Continued.

GB21-3	g200	2021/11/13	29.711	129.995	601	24.32	33.93	1.13	4.20	7.94	33.71	1.03	2.89
GB21-3	g201	2021/11/15	29.738	130.100	736	24.59	33.82	1.10	3.95	6.99	33.68	1.18	2.60
GB21-3	g202	2021/11/15	29.756	130.169	519	24.61	33.85	1.23	4.01	9.37	33.72	1.04	3.07
GB21-3	g221	2021/11/19	29.666	129.445	659	25.08	33.52	1.24	3.99	6.43	33.65	1.11	2.53
GB21-3	g226	2021/11/16	29.829	130.068	569	24.88	33.76	1.09	3.97	8.31	33.67	1.06	2.89
GB21-3	g227	2021/11/16	29.870	130.181	320	24.59	33.82	1.07	3.98	12.68	33.85	1.02	3.63
GB21-3	g228	2021/11/16	29.883	130.275	346	24.62	33.80	1.38	4.00	11.88	33.79	1.02	3.51
GB21-3	g244	2021/11/21	29.757	129.415	136	25.17	33.87	1.29	3.94	24.03	34.12	1.14	3.69
GB21-3	g245	2021/11/19	29.782	129.518	560	25.19	33.68	1.20	3.89	7.78	33.65	1.12	2.86
GB21-3	g246	2021/11/19	29.811	129.623	604	25.07	33.69	1.36	3.93	7.23	33.64	1.15	2.70
GB21-3	g247	2021/11/19	29.836	129.727	582	25.18	33.72	1.16	3.93	7.83	33.66	1.13	2.82
GB21-3	g248	2021/11/15	29.892	129.933	520	24.65	33.88	1.49	3.97	8.69	33.70	1.04	2.97
GB21-3	g249	2021/11/15	29.919	130.037	624	24.68	33.83	1.28	4.00	7.61	33.67	1.15	2.74
GB21-3	g250	2021/11/15	29.946	130.140	599	24.74	33.82	1.24	3.94	7.73	33.69	1.02	2.75
GB21-3	g264	2021/11/21	29.788	129.348	651	25.04	33.86	1.21	3.96	5.87	33.88	1.17	2.36
GB21-3	g265	2021/11/21	29.847	129.385	478	25.05	33.86	1.44	3.92	11.44	33.88	1.11	3.55
GB21-3	g266	2021/11/21	29.874	129.490	665	25.14	33.86	1.20	3.91	7.47	33.84	1.20	2.72
GB21-3	g267	2021/11/19	29.928	129.698	591	25.40	33.69	1.15	3.94	7.53	33.67	1.14	2.75
GB21-3	g269	2021/11/16	30.010	130.006	644	24.98	33.74	1.68	4.01	7.74	33.69	1.05	2.78
GB21-3	g270	2021/11/15	30.037	130.110	268	24.68	33.86	1.11	3.94	16.05	34.03	1.00	3.80

第1表 続き.
Table 1 Continued.

GB21-3	g283	2021/11/21	29.967	129.458	628	24.98	33.87	1.17	3.90	7.39	33.84	1.27	2.69
GB21-3	g284	2021/11/21	29.992	129.562	594	24.93	33.88	1.21	4.00	6.81	33.86	1.26	2.57
GB21-3	g285	2021/11/19	30.021	129.663	643	25.54	33.72	1.16	3.90	7.20	33.67	1.13	2.68
GB21-3	g289	2021/11/14	30.127	130.079	352	24.86	33.67	1.06	3.98	12.92	33.83	1.00	3.73
GB21-3	g290	2021/11/14	30.153	130.182	570	24.73	33.76	1.32	3.96	7.61	33.68	1.03	2.73
GB21-3	g291	2021/11/16	30.180	130.286	563	24.67	33.74	1.82	4.04	6.90	33.69	1.08	2.58
GB21-3	g299	2021/11/21	30.085	129.531	584	24.64	33.92	2.05	3.98	7.49	33.82	1.14	2.73
GB21-3	g300	2021/11/19	30.110	129.632	644	25.39	33.68	1.15	3.94	6.73	33.68	1.26	2.57
GB21-3	g301-1	2021/11/19	30.138	129.735	563	25.17	33.67	1.27	3.94	8.03	33.65	1.14	2.87
GB21-3	g301-2	2021/11/19	30.138	129.736	570	25.19	33.68	1.19	3.97	7.80	33.67	1.16	2.82
GB21-3	g302	2021/11/14	30.165	129.839	606	24.94	33.68	1.23	3.90	6.55	33.66	1.08	2.53
GB21-3	g303	2021/11/14	30.192	129.944	619	24.89	33.65	1.14	3.91	6.48	33.69	1.12	2.46
GB21-3	g304	2021/11/16	30.219	130.045	607	25.14	33.86	1.23	3.96	6.71	33.78	1.13	2.54
GB21-3	g305	2021/11/17	30.247	130.150	282	24.80	33.69	1.50	4.03	10.96	33.74	1.05	3.40
GB21-3	g306	2021/11/17	30.272	130.255	595	24.49	33.70	1.42	4.02	6.40	33.70	1.12	2.47
GB21-3	g315	2021/11/16	30.256	129.810	636	25.29	33.82	1.18	3.93	6.53	33.87	1.13	2.48
GB21-3	g316	2021/11/16	30.251	129.924	618	24.85	33.82	1.17	4.06	6.14	33.89	1.13	2.41
GB21-3	g317	2021/11/17	30.310	130.014	615	24.58	33.68	1.55	4.03	6.12	33.70	1.13	2.42
GB21-3	g318	2021/11/18	30.336	130.120	599	23.42	33.61	1.63	4.13	6.17	33.71	1.64	2.44
GB21-3	g319	2021/11/18	30.364	130.223	626	23.83	33.60	1.12	4.08	5.87	33.71	1.20	2.37

トカラ列島の海洋環境 (齋藤ほか)

第1表 続き.
Table 1 Continued.

GB21-3	g320-1	2021/11/18	30.400	130.309	590	24.27	33.69	1.33	4.07	7.08	33.68	1.15	2.64
GB21-3	g320-2	2021/11/18	30.400	130.309	590	24.39	33.70	1.40	4.06	6.80	33.67	1.25	2.59
GB21-3	g326	2021/11/24	30.318	129.674	548	24.78	33.88	1.28	3.82	7.07	33.83	1.22	2.58
GB21-3	g327	2021/11/16	30.312	129.757	676	24.78	33.77	1.30	4.00	6.11	33.90	1.11	2.41
GB21-3	g328	2021/11/17	30.342	129.891	639	24.92	33.64	1.28	4.01	6.59	33.69	1.10	2.52
GB21-3	g329	2021/11/18	30.400	129.984	639	24.42	33.80	1.34	4.07	6.11	33.89	1.24	2.42
GB21-3	g330	2021/11/17	30.427	130.088	636	23.92	33.76	1.12	4.10	5.81	33.90	1.17	2.36
GB21-3	g331	2021/11/14	30.481	130.296	546	24.51	33.75	1.61	3.96	7.17	33.70	1.14	2.62
GB21-3	g337	2021/11/24	30.394	129.648	752	24.62	33.87	1.69	3.92	5.63	33.87	1.29	2.30
GB21-3	g340	2021/11/14	30.508	129.946	598	24.82	33.69	1.35	3.93	6.56	33.70	1.06	2.50
GB21-3	g341	2021/11/17	30.494	130.081	636	24.00	33.65	1.37	4.11	5.76	33.71	1.25	2.35
GB21-3	g342	2021/11/14	30.542	130.162	592	24.90	33.85	1.23	3.90	6.63	33.71	1.20	2.50
GB21-3	g343	2021/11/14	30.564	130.268	502	24.33	33.72	1.24	3.97	7.31	33.69	1.34	2.65
GB21-3	g348-1	2021/11/17	30.528	129.714	615	24.69	33.63	1.18	4.06	6.08	33.70	1.14	2.42
GB21-3	g348-2	2021/11/17	30.528	129.716	615	24.68	33.76	1.32	4.04	6.08	33.71	1.14	2.42
GB21-3	g350	2021/11/17	30.582	129.920	545	23.70	33.62	1.37	4.08	6.73	33.86	1.10	2.54
GB21-3	g351	2021/11/13	30.609	130.025	185	24.86	33.83	1.16	3.94	17.21	34.08	1.00	3.73
GB21-3	g352	2021/11/13	30.636	130.128	184	24.34	33.71	1.10	4.00	17.13	33.99	1.04	3.56
GB21-3	g356	2021/11/13	30.622	129.681	536	24.18	33.65	1.29	3.90	6.90	33.71	1.03	2.54
GB21-3	g358	2021/11/13	30.674	129.889	472	24.79	33.81	1.15	3.93	7.32	33.70	1.03	2.64

第1表 続き.
Table 1 Continued.

GB22-1	g100	2022/7/17	29.429	130.428	606	29.47	33.97	NA	NA	NA	5.58	34.27	NA	NA
GB22-1	g101	2022/7/17	29.457	130.537	1105	29.23	33.96	NA	NA	NA	3.35	34.43	NA	NA
GB22-1	g126	2022/7/17	29.520	130.397	443	28.90	34.14	NA	NA	NA	7.18	34.30	NA	NA
GB22-1	g127	2022/7/17	29.549	130.508	740	29.12	34.06	NA	NA	NA	5.63	34.29	NA	NA
GB22-1	g15	2022/7/20	28.947	130.087	1070	29.53	33.90	NA	NA	NA	3.31	34.45	NA	NA
GB22-1	g152	2022/7/17	29.637	130.472	409	27.68	34.09	NA	NA	NA	14.05	34.52	NA	NA
GB22-1	g153	2022/7/16	29.664	130.578	521	29.35	33.87	NA	NA	NA	7.01	34.26	NA	NA
GB22-1	g178	2022/7/23	29.728	130.442	242	29.12	33.66	NA	NA	NA	17.29	34.63	NA	NA
GB22-1	g180	2022/7/16	29.786	130.652	682	28.95	33.93	NA	NA	NA	5.14	34.27	NA	NA
GB22-1	g203	2022/7/15	29.793	130.308	181	28.70	33.86	NA	NA	NA	20.65	34.64	NA	NA
GB22-1	g204	2022/7/15	29.817	130.415	208	29.13	33.58	NA	NA	NA	18.28	34.67	NA	NA
GB22-1	g205	2022/7/16	29.844	130.511	338	29.33	33.73	NA	NA	NA	12.37	34.43	NA	NA
GB22-1	g206	2022/7/16	29.873	130.627	590	28.45	33.92	NA	NA	NA	5.99	34.28	NA	NA
GB22-1	g231	2022/7/16	29.962	130.596	476	27.65	33.94	NA	NA	NA	7.53	34.27	NA	NA
GB22-1	g251	2022/7/15	29.966	130.250	469	27.98	34.21	NA	NA	NA	7.70	34.34	NA	NA
GB22-1	g252-1	2022/7/15	29.998	130.349	483	29.30	33.74	NA	NA	NA	8.23	34.33	NA	NA
GB22-1	g252-3	2022/7/15	29.994	130.353	485	28.41	33.92	NA	NA	NA	9.02	34.32	NA	NA
GB22-1	g28	2022/7/20	29.024	130.005	825	29.36	33.86	NA	NA	NA	3.89	34.39	NA	NA
GB22-1	g29	2022/7/20	29.050	130.110	1438	29.34	34.02	NA	NA	NA	2.57	34.53	NA	NA
GB22-1	g4	2022/7/20	28.845	130.065	737	29.50	33.82	NA	NA	NA	6.32	34.32	NA	NA

トカラ列島の海洋環境（齋藤ほか）

第1表 続き.
Table 1 Continued.

GB22-1	g48	2022/7/20	29.139	130.076	1402	29.46	34.01	NA	NA	NA	2.65	34.51	NA	NA
GB22-1	g5	2022/7/20	28.864	130.143	1044	29.54	33.89	NA	NA	NA	3.34	34.45	NA	NA
GB22-1	g71	2022/7/22	29.231	130.046	1277	29.79	33.63	NA	NA	NA	2.86	34.50	NA	NA
GB22-1	g72	2022/7/22	29.258	130.150	1186	29.69	33.71	NA	NA	NA	3.07	34.47	NA	NA
GB22-1	g98	2022/7/22	29.376	130.222	532	29.67	33.52	NA	NA	NA	7.58	34.27	NA	NA
GB22-2	g163	2022/11/15	29.320	128.888	771	25.47	33.49	NA	NA	NA	5.58	33.54	NA	NA
GB22-2	g166	2022/11/9	29.403	129.199	532	24.98	33.88	NA	NA	NA	9.77	33.79	NA	NA
GB22-2	g167	2022/11/9	29.431	129.302	797	25.00	34.18	NA	NA	NA	5.90	34.14	NA	NA
GB22-2	g189	2022/11/15	29.440	128.875	782	25.47	33.55	NA	NA	NA	5.46	33.58	NA	NA
GB22-2	g191	2022/11/9	29.466	129.064	825	25.00	33.84	NA	NA	NA	5.44	33.83	NA	NA
GB22-2	g192	2022/11/9	29.464	129.150	407	25.01	33.84	NA	NA	NA	15.56	34.05	NA	NA
GB22-2	g193	2022/11/9	29.521	129.266	760	24.98	33.92	NA	NA	NA	5.62	33.82	NA	NA
GB22-2	g194	2022/11/10	29.549	129.373	669	25.07	33.82	NA	NA	NA	7.07	33.70	NA	NA
GB22-2	g195	2022/11/10	29.607	129.410	673	25.04	33.82	NA	NA	NA	6.54	33.72	NA	NA
GB22-2	g214	2022/11/15	29.413	128.816	616	25.52	33.51	NA	NA	NA	8.91	33.51	NA	NA
GB22-2	g216	2022/11/15	29.529	128.929	905	25.53	33.52	NA	NA	NA	4.91	33.60	NA	NA
GB22-2	g217	2022/11/9	29.573	128.999	776	25.30	33.85	NA	NA	NA	5.57	33.83	NA	NA
GB22-2	g218	2022/11/9	29.608	129.165	820	25.08	33.87	NA	NA	NA	5.50	33.84	NA	NA
GB22-2	g219	2022/11/10	29.643	129.172	838	25.22	33.78	NA	NA	NA	5.51	33.73	NA	NA
GB22-2	g220	2022/11/10	29.639	129.343	433	24.99	33.80	NA	NA	NA	12.39	33.79	NA	NA

第1表 続き.
Table 1 Continued.

GB22-2	g239	2022/11/15	29.650	128.919	900	25.50	33.54	NA	NA	NA	4.70	33.62	NA	NA
GB22-2	g240	2022/11/15	29.647	129.003	869	25.45	33.54	NA	NA	NA	4.82	33.61	NA	NA
GB22-2	g241	2022/11/15	29.687	129.028	796	25.37	33.61	NA	NA	NA	5.80	33.57	NA	NA
GB22-2	g242	2022/11/10	29.702	129.209	822	25.11	33.78	NA	NA	NA	5.52	33.72	NA	NA
GB22-2	g243	2022/11/10	29.729	129.312	649	25.13	33.79	NA	NA	NA	6.97	33.71	NA	NA
GB22-2	g261	2022/11/21	29.740	128.974	729	25.04	33.45	NA	NA	NA	6.14	33.46	NA	NA
GB22-2	g263	2022/11/16	29.790	129.181	769	25.53	33.53	NA	NA	NA	5.38	33.53	NA	NA
GB22-2	g278	2022/11/16	29.830	128.942	901	25.36	33.55	NA	NA	NA	5.05	33.55	NA	NA
GB22-2	g279	2022/11/16	29.871	129.010	808	25.28	33.48	NA	NA	NA	5.71	33.54	NA	NA
GB22-2	g280	2022/11/16	29.883	129.146	757	25.26	33.46	NA	NA	NA	6.06	33.50	NA	NA
GB22-2	g281	2022/11/17	29.883	129.230	822	25.63	33.40	NA	NA	NA	5.32	33.52	NA	NA
GB22-2	g294	2022/11/16	29.948	129.016	916	25.35	33.42	NA	NA	NA	4.81	33.56	NA	NA
GB22-2	g295	2022/11/16	29.940	129.184	894	25.25	33.46	NA	NA	NA	4.78	33.56	NA	NA
GB22-2	g296	2022/11/17	30.002	129.223	891	25.64	33.37	NA	NA	NA	4.73	33.55	NA	NA
GB22-2	g297	2022/11/21	30.000	129.390	452	24.58	33.44	NA	NA	NA	13.16	33.57	NA	NA
GB22-2	g298	2022/11/21	30.056	129.424	561	24.76	33.43	NA	NA	NA	8.41	33.43	NA	NA
GB22-2	g310	2022/11/17	30.121	129.295	888	25.75	33.40	NA	NA	NA	4.79	33.55	NA	NA
GB22-2	g311	2022/11/11	30.149	129.391	506	25.52	33.65	NA	NA	NA	8.39	33.66	NA	NA
GB22-2	g312	2022/11/11	30.131	129.508	615	25.18	33.76	NA	NA	NA	7.98	33.68	NA	NA
GB22-2	g313	2022/11/11	30.200	129.602	495	25.18	33.75	NA	NA	NA	10.03	33.69	NA	NA

トカラ列島の海洋環境（齋藤ほか）

第1表 続き.
Table 1 Continued.

GB22-2	g314	2022/11/11	30.229	129.705	680	25.18	33.75	NA	NA	NA	6.70	33.69	NA	NA
GB22-2	g322	2022/11/17	30.213	129.277	881	25.06	33.28	NA	NA	NA	5.01	33.55	NA	NA
GB22-2	g323	2022/11/17	30.242	129.370	890	25.30	33.32	NA	NA	NA	4.97	33.54	NA	NA
GB22-2	g324	2022/11/11	30.266	129.465	597	25.73	33.66	NA	NA	NA	7.61	33.68	NA	NA
GB22-2	g325	2022/11/11	30.284	129.532	735	25.72	33.67	NA	NA	NA	6.61	33.70	NA	NA
GB22-2	g334	2022/11/20	30.328	129.332	639	24.83	33.51	NA	NA	NA	6.35	33.49	NA	NA
GB22-2	g335	2022/11/20	30.324	129.415	257	24.76	33.50	NA	NA	NA	14.21	33.67	NA	NA
GB22-2	g336	2022/11/11	30.384	129.539	791	25.83	33.67	NA	NA	NA	6.39	33.70	NA	NA
GB22-2	g338	2022/11/12	30.450	129.741	738	25.36	33.61	NA	NA	NA	6.36	33.71	NA	NA
GB22-2	g339	2022/11/12	30.473	129.845	616	25.31	33.60	NA	NA	NA	7.03	33.68	NA	NA
GB22-2	g344	2022/11/20	30.437	129.309	812	25.23	33.49	NA	NA	NA	5.15	33.54	NA	NA
GB22-2	g345	2022/11/20	30.448	129.401	778	25.41	33.42	NA	NA	NA	5.28	33.52	NA	NA
GB22-2	g346	2022/11/11	30.476	129.506	659	25.90	33.66	NA	NA	NA	7.11	33.69	NA	NA
GB22-2	g347	2022/11/12	30.511	129.640	673	25.38	33.64	NA	NA	NA	6.59	33.71	NA	NA
GB22-2	g348	2022/11/22	30.529	129.719	621	24.24	33.24	NA	NA	NA	6.08	33.45	NA	NA
GB22-2	g349	2022/11/12	30.554	129.816	611	25.64	33.64	NA	NA	NA	6.56	33.69	NA	NA
GB22-2	g350	2021/11/17	30.582	129.920	545	24.82	33.23	NA	NA	NA	7.08	33.43	NA	NA
GB22-2	g353	2022/11/20	30.563	129.384	796	25.07	33.24	NA	NA	NA	5.59	33.53	NA	NA
GB22-2	g354	2022/11/20	30.565	129.475	781	25.13	33.20	NA	NA	NA	5.64	33.52	NA	NA
GB22-2	g355	2022/11/12	30.610	129.546	732	25.71	33.66	NA	NA	NA	6.38	33.70	NA	NA

第1表 続き.
Table 1 Continued.

GB22-2	g357	2022/11/12	30.645	129.787	481	25.65	33.64	NA	NA	NA	9.15	33.70	NA	NA
GB22-2	g360	2022/11/20	30.656	129.439	723	24.96	33.13	NA	NA	NA	5.36	33.54	NA	NA
GB22-2	g361	2022/11/20	30.682	129.544	713	24.81	33.22	NA	NA	NA	5.51	33.51	NA	NA
GB22-2	g362	2022/11/20	30.705	129.662	596	24.77	33.28	NA	NA	NA	6.54	33.50	NA	NA
GB22-2	g363	2022/11/22	30.740	129.753	334	24.63	33.22	NA	NA	NA	10.41	33.46	NA	NA
GB22-2	g443	2022/11/12	30.394	130.156	635	25.39	33.60	NA	NA	NA	6.65	33.64	NA	NA

は標準偏差). GB21-3航海において, 中之島-諏訪瀬島間の黒潮流下方向に表層が低水温・高塩分となる地点が集中していた(第4図). また, 低水温・高塩分の領域を横断する断面図(第5図)より, 黒潮流下方向ほど海面下100 m前後に見られる塩分躍層が弱くなる傾向が認められた.

中之島-諏訪之瀬島間の東方海域において観測された表層水の低温・高塩分領域は, 黒潮と海底地形の相互作用による強い混合によるものである可能性がある. 一般に, 島の斜面や海山などの海底地形が存在する海域では, 通過する流れが妨げられ, 海洋内部の乱流混合が著しく強くなる(Garrett, 2003). トカラ列島周辺海域における過去の調査では, 中之島東沖で特に強い乱流が観測された. 黒潮がトカラ列島周辺海域の海山を通過した結果, 近慣性内部波が生じ, 亜表層で乱流を引き起こしたためである(Tsutsumi *et al.*, 2017; Nagai *et al.*, 2021). 今回観測された中之島-諏訪之瀬島間の東方に見られる表層の低温・高塩分領域は, このような混合によって, 下層の低温・高塩分な水塊が表層とかき混ぜられた結果と考えられる.

底層の水温・塩分の範囲は, 水温が2.57 ~ 26.87 °C, 塩分が33.43 ~ 34.67であった(第1, 2表). 平均値は, 水温で7.45 ± 3.79 °C, 塩分で33.83 ± 0.28であった. 標準偏差の大きさの主な要因は, 観測地点ごとに水深が大きく異なるためである. 観測地点の水深の範囲は60 ~ 1438 mであった.

3.3 溶存酸素

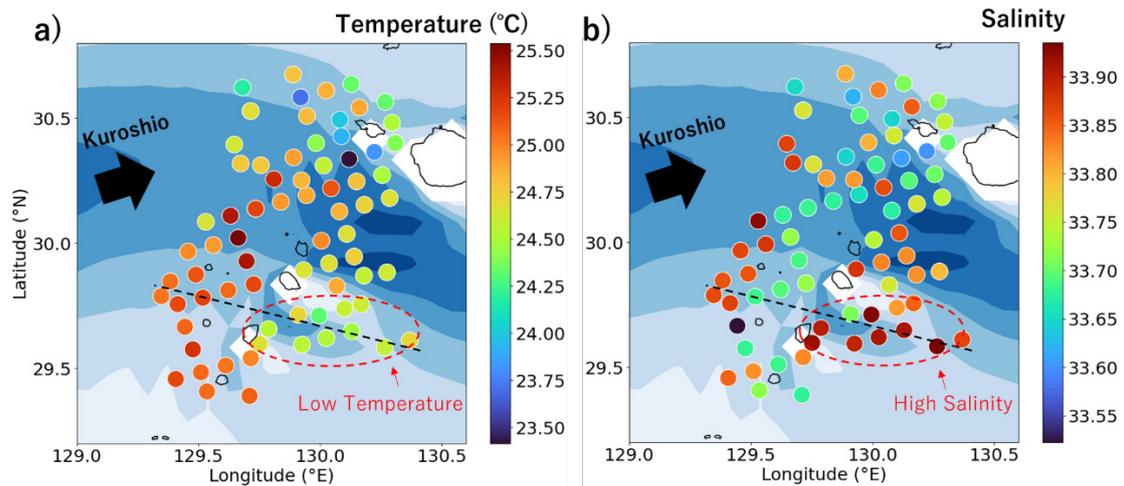
表層のDOの範囲は3.82 ~ 4.22 mg/L, 平均値は3.98 ± 0.09 mg/Lであった(第1, 2表). GB21-3航海において, 平均値を上回る高いDO(4.16 ~ 4.22 mg/L)が中之島-諏訪之瀬島間の黒潮流下方向に集中していた(第6図). 中之島-諏訪之瀬島間の黒潮上流側において, 水深 ~ 100 mのDOは ~ 4.0 mg/Lであった(第7図a). 対して, 下流側のDOは比較的高く, ~ 4.4 mg/Lであった(第7図b). 黒潮流下方向に沿った断面図においても, 中之島-諏訪之瀬島の下流側でDOが高くなる傾向が認められた(第7図c).

表層の高いDOは, 黒潮に伴う乱流混合に起因する可能性がある. DOが高い地点は, 表層の低水温・高塩分が観測された地点(第4図)とほぼ一致していた. すなわち, DOが高い地点では, 下層から表層への鉛直混合が生じていたと推定される. Hasegawa *et al.* (2021)は, トカラ列島周辺海域の黒潮による乱流混合に伴って, 多大な栄養塩の湧昇が起きることを観測した. これにより, 島や海山の下流側で植物プランクトンの一次生産が活発に行われる可能性が示唆された. しかし, Hasegawa *et al.* (2021)は, 栄養塩の湧昇による生態系への影響の解明には至っていない. 本稿で観測された高いDOは, 黒

第2表 表層 (水深2～5 mの平均)と底層 (海底面上5～7 mの平均)のCTD観測についての統計量. Countはサンプル数, Meanは平均値, Stdは標準偏差, Mdnは中央値, Minは最小値, Maxは最大値を示す.

Table 2 Statistics for CTD observations in the surface (average of 2 to 5 m depth) and bottom (average of 5 to 7 m above the seafloor) layers, where “Count” means the number of samples, “Std” means the standard deviation, “Mdn” means the median, “Min” means the minimum, and “Max” means the maximum value.

	Depth (m)	CTD surface (2-5 m below sea surface)				CTD bottom (5-7 m above seafloor)			
		Temp (°C)	Sal	Turb (FTU)	DO (ml/L)	Temp (°C)	Sal	Turb (FTU)	DO (ml/L)
Count	178	178	178	92	92	178	178	92	92
Mean	655	25.82	33.72	1.31	3.98	7.45	33.83	1.14	2.69
Std	225	1.63	0.2	0.19	0.09	3.79	0.28	0.10	0.55
Mdn	627	25.15	33.74	1.26	3.96	6.57	33.72	1.14	2.59
Min	60	23.42	33.13	1.06	3.82	2.57	33.43	0.98	1.87
Max	1438	29.79	34.21	2.1	4.22	26.87	34.67	1.64	4.00



第4図 GB21-3航海における表層 (水深2～5 mの平均)の水温 (a)と塩分 (b)の観測結果. 背景の青色は平均流速を示す (第2図を参照). 点線は第5図の断面の位置を示す.

Fig. 4 Observed water temperature (a) and salinity (b) in the surface layer (average of 2 to 5 m depth) during the GB21-3 cruise. The blue background indicates the mean current velocity (see Figure 2). The dotted lines indicate the locations of the cross sections shown in Figure 5.

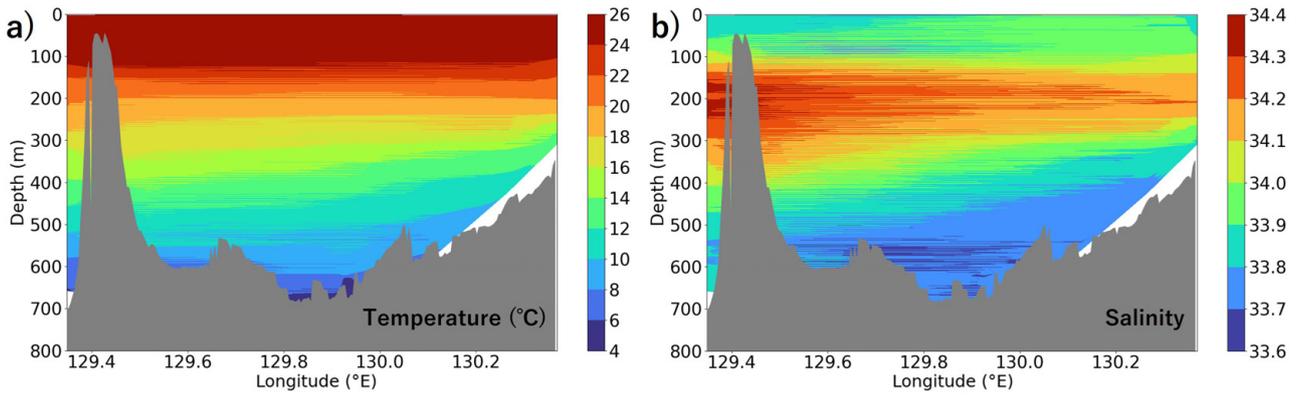
潮が島の下流側で湧昇を起こし、一次生産を活発化させ、結果として表層のDOを上昇させた可能性を示唆している。

3.4 濁度

GB21-2航海とGB21-3航海で観測を行った92地点のうち、15地点で海底上の高濁度層が認められた (第8, 9

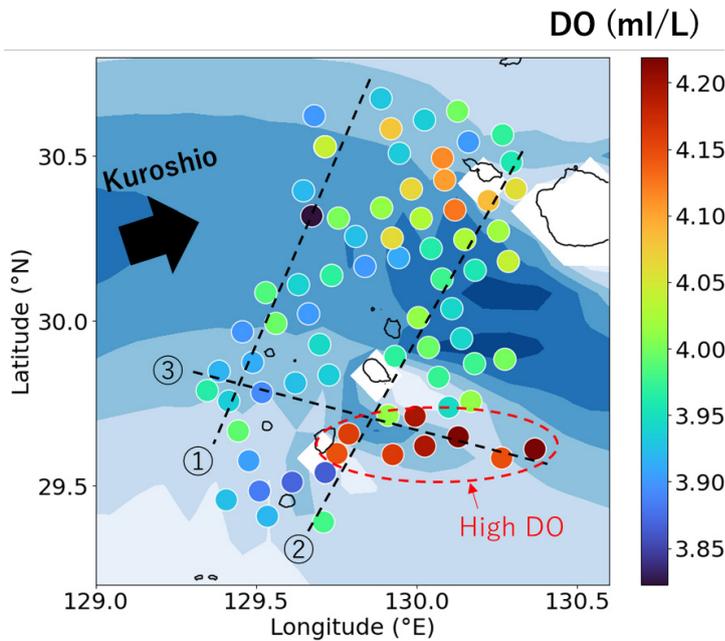
図). 高濁度層は今回の調査海域全体に見られるが、特に口永良部島くちのえらぶしま周辺で多く分布しており、15地点中6地点が口永良部島周辺に位置していた。

高濁度層の原因として以下の2つが考えられる。(1)口永良部島の周囲の海底には、島嶼部周辺で粗粒堆積物や露頭が多く見られるトカラ列島の他の島とは異なり、細粒砂から泥質堆積物が堆積していることが報告されて



第5図 水温 (a) と塩分 (b) の観測結果の断面図. 断面の位置は第4図の点線部分.

Fig. 5 Cross sections of the observed water temperature (a) and salinity (b). The location of the cross section is the dotted line in Figure 4.



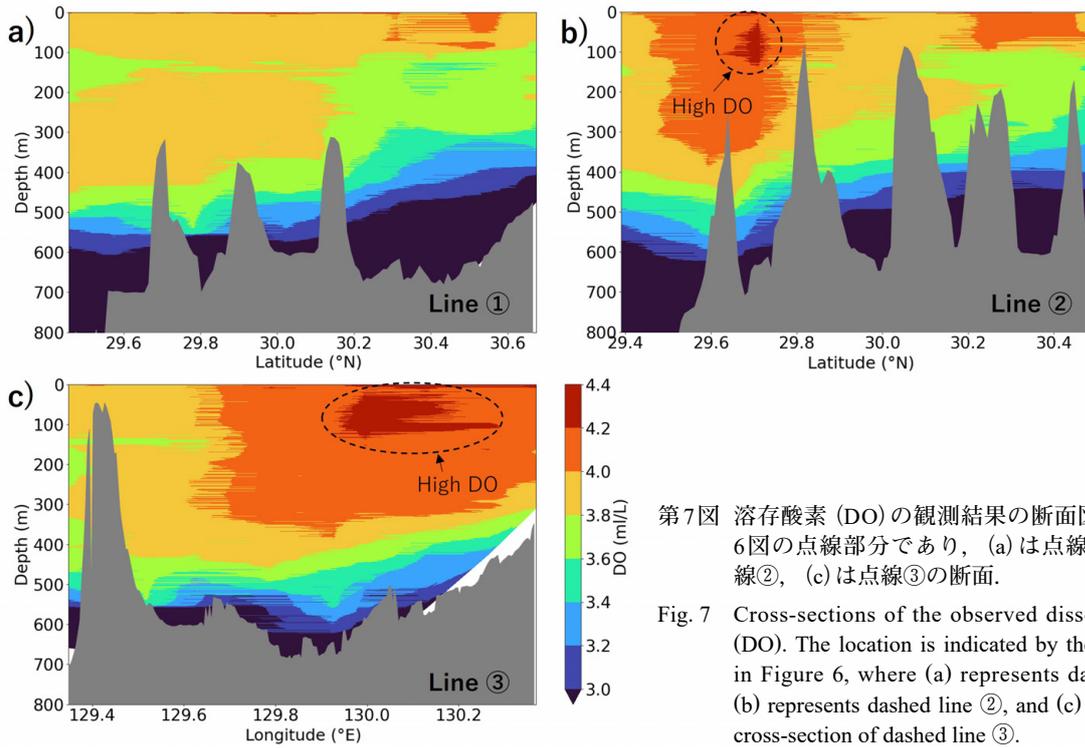
第6図 GB21-3航海における表層(水深2~5mの平均)の溶存酸素(DO)の観測結果. 背景の青色は平均流速を示す(第2図を参照). 点線は第7図の断面の位置を示す.

Fig. 6 Observed dissolved oxygen (DO) in the surface layer (average of 2 to 5 m depth) during the GB21-3 voyage. The blue background indicates the mean current velocity (see Figure 2). The dotted lines indicate the locations of the cross sections shown in Figure 7.

いる(鈴木ほか, 2023). 一方で黒潮が近傍を通過するため, 周辺海域の流れは比較的強い(第2図). 堆積物の特に細粒成分が, 黒潮の通過に伴う強い底層流によって活発に再懸濁されることで, 高濁度層を形成している可能性がある. (2)口永良部島は活発な噴火活動を繰り返している火山島であり(下司・小林, 2007), 月100回を超える火山性地震が継続的に発生している(気象庁, 2023). 火山島の海面下の斜面では, 火山性地震に伴う斜面崩壊などによって, 混濁流が発生し得る. 本稿で観測された高濁度層は, 火山性地震による混濁流, あるいはその痕跡を捉えた可能性がある.

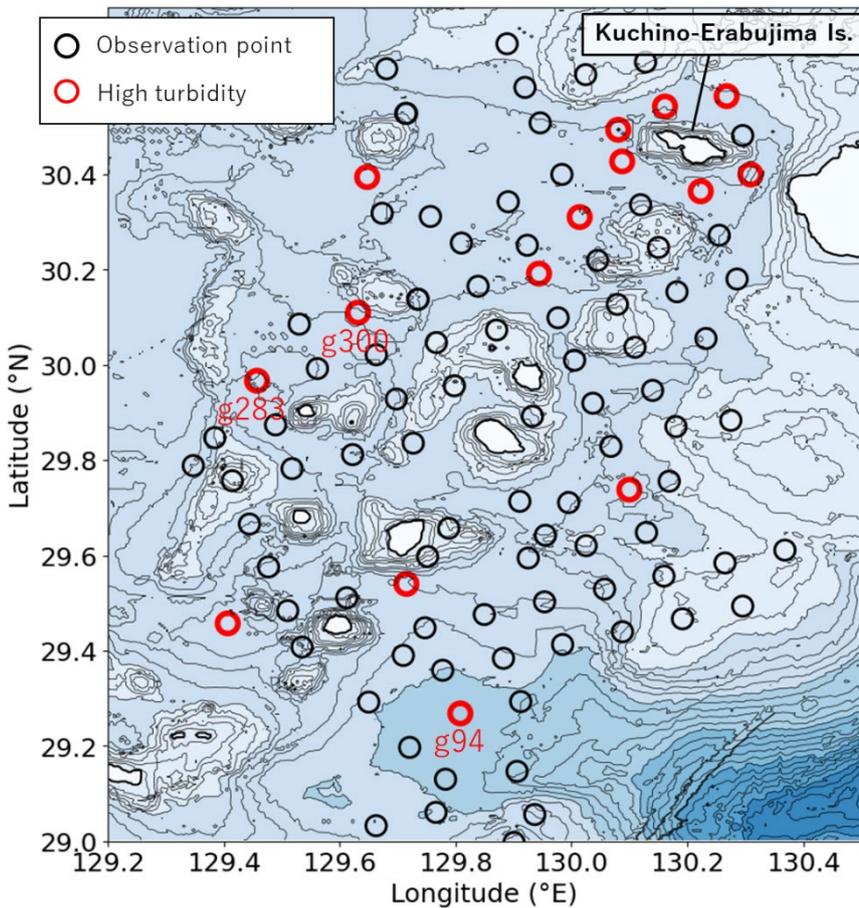
4. まとめ

GB21-2, GB21-3, GB22-1, およびGB22-2航海において, トカラ列島周辺海域の計178地点でCTD観測を実施した. 併せて, 海洋大循環モデルJCOPE2Mによる流況解析を行った. トカラ列島周辺海域の流況は黒潮に支配されており, 屋久島-中之島間と中之島-諏訪之瀬島間で特に強い流れが認められた. 黒潮による強い流れの影響は, 海底上まで達していることが示された. CTD観測より, 中之島-諏訪之瀬島の黒潮下流側において, 表層に低水温・高塩分が認められた. 島間を通過した黒潮が, 海



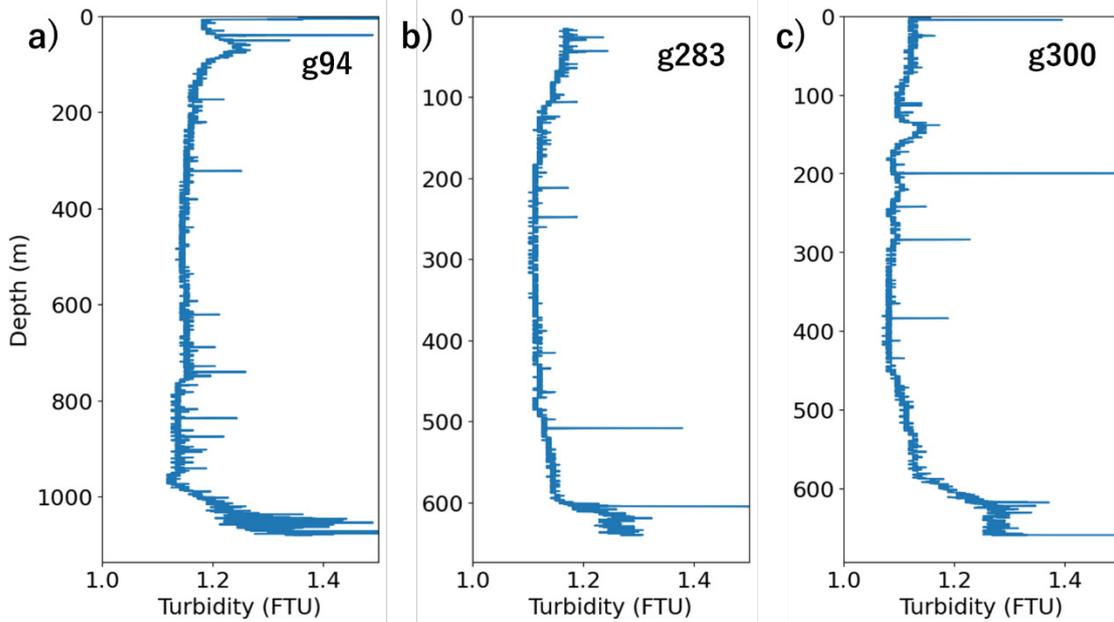
第7図 溶存酸素 (DO) の観測結果の断面図. 位置は第6図の点線部分であり, (a) は点線①, (b) は点線②, (c) は点線③の断面.

Fig. 7 Cross-sections of the observed dissolved oxygen (DO). The location is indicated by the dashed lines in Figure 6, where (a) represents dashed line ①, (b) represents dashed line ②, and (c) represents the cross-section of dashed line ③.



第8図 高濁度層の分布. 丸点はGB21-2 およびGB21-3航海の観測地点であり, 赤い丸点は高濁度層が観測された地点を示す. 地形の等水深線は100 m間隔. 海底地形データはGEBCO 2023 Grid (GEBCO Compilation Group, 2023)を使用した.

Fig. 8 Distribution of the high turbidity layers. Red circles indicate locations where the high turbidity layers were observed. Topographic isobaths are at 100 m intervals. The bathymetric data used was the GEBCO 2023 Grid (GEBCO Compilation Group, 2023).



第9図 高濁度層が観測された地点における濁度の鉛直プロファイルの例。地点g94 (a), 地点g283 (b), 地点g300 (c)の鉛直プロファイル。

Fig. 9 Examples of vertical profiles of turbidity at sites where high turbidity layers were observed. Vertical profiles of point g94 (a), point g283 (b), and point g300 (c) are shown.

底地形との相互作用により、強い乱流混合を発生させたことが原因と考えられる。さらに、同じ地点で表層の高いDOも観測された。乱流混合が栄養塩を表層へ湧昇させ、植物プランクトンの一次生産を活発化させたためと考えられる。口永良部島周辺の多くの地点で海底上数十mの高濁度層が生じていた。黒潮による強い流れや、口永良部島の活発な火山活動に起因すると推測される。

文 献

- Garrett, C. (2003) Internal Tides and Ocean Mixing. *Science*, **301**, 5641, 1858–1859. doi: 10.1126/science.1090002
- GEBCO Compilation Group (2023) GEBCO 2023 Grid. doi:10.5285/f98b053b-0cbc-6c23-e053-6c86abc0af7b
- 下司信夫・小林哲夫 (2007) 口永良部島火山地質図。火山地質図, 14.
- Hasegawa, D., Matsuno, T., Tsutsumi, E., Senjyu, T., Endoh, T., Tanaka, T., Yoshie, N., Nakamura, H., Nishina, A., Kobari, T., Nagai, T. and Guo, X. (2021) How a small reef in the Kuroshio cultivates the ocean. *Geophysical Research Letters*, **48**, e2020GL09206. doi: 10.1029/2020GL09206
- 板木拓也・鈴木克明・池内絵里・及川一真・片山 肇・飯塚 睦・鈴木 淳・高柳栄子 (2022) 宝島及び諏訪之瀬島周辺海域における海洋環境, 地質調査研究報告, **73**, 301–311.
- 気象庁 (2023) 口永良部島の火山活動解説資料 (令和5年5月). https://www.data.jma.go.jp/vois/data/tokyo/STOCK/monthly_v-act_doc/monthly_vact_vol.php?id=509 (閲覧日: 2023年7月10日)
- Mellor, G. L., Häkkinen, S. M., Ezer, T. and Patchen, R. C. (2002) A generalization of a sigma coordinate ocean model and an intercomparison of model vertical grids. *In*: Pinardi, N. and Woods, J. D. (eds) *Ocean Forecasting*. Springer, Berlin, 55–72. doi: 10.1007/978-3-662-22648-3_4
- Miyazawa, Y., Varlamov, S. M., Miyama, T., Guo, X., Hihara, T., Kiyomatsu, K., Kachi, M., Kurihara, Y., and Murakami, H. (2017) Assimilation of high-resolution sea surface temperature data into an operational nowcast/forecast system around Japan using a multi-scale three-dimensional variational scheme. *Ocean Dynamics*, **67**, 713–728. doi: 10.1007/s10236-017-1056-1
- Miyazawa, Y., Kuwano-Yoashida, A., Doi, T., Nishikawa, H., Narazaki, T., Fukuoka, T. and Sato, K. (2019) Temperature profiling measurements by sea turtles improve ocean state estimation in the Kuroshio-Oyashio Confluence region. *Ocean Dynamics*, **69**, 267–282. doi: 10.1007/s10236-018-1238-5
- Nagai, T., Hasegawa, D., Tsutsumi, E., Nakamura, H., Nishida, A., Senjyu, T., Endoh, T., Matsuno, T., Inoue,

- R. and Tandon, A. (2021) The Kuroshio flowing over seamounts and associated submesoscale flows drive 100-km-wide 100-1000-fold enhancement of turbulence. *Communications Earth & Environment*, **2**, 170. doi:10.1038/s43247-021-00230-7
- 中野太賀・岩谷北斗・鈴木克明・板木拓也・久保 観・佐々木聡史 (2022) トカラギャップ周辺海域における現生貝形虫群集 (予報). 地質調査研究報告, **73**, 329-335.
- 鈴木克明・板木拓也・片山 肇・兼子尚知・山崎 誠・徳田悠希・千徳明日香 (2022) 宝島及び諏訪之瀬島周辺海域の底質分布とその制御要因. 地質調査研究報告, **73**, 275-299.
- 鈴木克明・板木拓也・片山 肇・兼子尚知・山崎 誠・有元 純・徳田悠希・千徳明日香・清家弘治 (2023) トカラ列島周辺海域の底質分布とその制御要因. 地質調査研究報告, **74**, 259-286.
- Tsutsumi, E., Matsuno, T., Lien, R.-C., Nakamura, H., Senjyu, T. and Guo, X. (2017) Turbulent mixing within the Kuroshio in the Tokara Strait. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, **122**, 7082-7094. doi: 10.1002/2017JC013049
- (受 付 : 2024年1月19日 ; 受 理 : 2024年7月25日)

地質調査研究報告 第75巻 (第1号—第5/6号)

第1号

[論文]

- テフラ対比に基づく愛知県西三河平野地下に分布する更新統の年代層序
阿部朋弥・水野清秀・納谷友規1-19

[論文]

- 愛知県西三河平野における過去100万年間の浅海生珪藻化石群集の変遷
納谷友規・阿部朋弥・水野清秀21-59

第2号

[概報]

- Zircon U-Pb age constraints on the history of Carboniferous volcanism in the South Kitakami Belt, Northeast Japan
KAWAMURA Toshio and UCHINO Takayuki61-72

[概報]

- 研究者連携システム“Ask AnyOne”その設計・実装・将来展望
城 真範・宮川歩夢・藤田 司・大知正直・岩崎雄一・保高徹生73-81

第3号

[論文]

- 広島湾におけるアサリ浮遊幼生輸送の季節変動
高橋 暁83-91

[概報]

- P波反射法測線に加えた3成分地震計1個でのS波速度の簡易推定—埼玉県鴻巣市での探査例—
大滝壽樹93-101

第4号

[論文]

- 棚倉堆積盆東縁の里美地域に分布する中新統の珪藻化石年代とU-Pb年代
柳沢幸夫・細井 淳103-120

[論文]

- 茨城県日立市南部の久慈町離山に分布する新第三系多賀層群と日立層群の層序と珪藻化石
柳沢幸夫・安藤寿男・櫛引 碧121-159

第5/6号 特集：鹿児島県トカラ列島周辺の海洋地質—2022年度調査航海結果—

[巻頭言]

- 鹿児島県トカラ列島周辺の海洋地質—2022年度調査航海結果—
井上卓彦・板木拓也・天野敦子161-165

[概報]

- 2022年度海域地質図航海で行ったトカラ列島北方海域における反射法音波探査及びドレッジ概要
石野沙季・石塚 治・針金由美子・有元 純・三澤文慶・井上卓彦167-196

[概報]

- GS22航海での高分解能サブボトムプロファイラー探査に基づくトカラ列島周辺海域の海底下浅部構造
三澤文慶・古山精史朗・高下裕章・有元 純・石野沙季・鈴木克明197-208

[概報]

- GB22-1, GB22-2及びKH23-1航海においてトカラ列島周辺海域で採取された堆積岩の石灰質微化石に基づく堆積年代
有元 純・田中裕一郎209-222

[論文]

トカラ列島西方海域及び屋久島南方海域の底質分布とその制御要因

鈴木克明・板木拓也・片山 肇・兼子尚知・針金由美子・齋藤直輝・岩谷北斗・松井浩紀・石塚 治・山崎 誠・有元 純・徳田悠希・千徳明日香・池内絵里・井口 亮・鈴木 淳・清家弘治.....223-248

[概報]

GB22-1 及び 2 航海（トカラ列島周辺海域）で採取された底生有孔虫群集の概要

長谷川四郎.....249-263

[概報]

トカラ列島周辺海域（GB22-1 および 22-2 航海）で採取された海底堆積物の化学組成

久保田 蘭・立花好子・板木拓也・片山 肇・鈴木克明・間中光雄.....265-278

[概報]

トカラ列島周辺海域における CTD 観測および海洋大循環モデルに基づく海洋環境

齋藤直輝・鈴木克明・板木拓也・鈴木 淳.....279-297

CONTENTS OF VOLUME 75

No. 1

[Article]

- Pleistocene chronostratigraphy based on correlation of tephra in the Nishimikawa Plain, Aichi Prefecture, central Japan
ABE Tomoya, MIZUNO Kiyohide and NAYA Tomonori1–19

[Article]

- Shallow marine diatom assemblage change during the past million years in the Nishimikawa Plain, Aichi Prefecture, Japan
NAYA Tomonori, ABE Tomoya and MIZUNO Kiyohide21–59

No. 2

[Report]

- Zircon U–Pb age constraints on the history of Carboniferous volcanism in the South Kitakami Belt, Northeast Japan
KAWAMURA Toshio and UCHINO Takayuki61–72

[Report]

- “Ask AnyOne” Researcher Collaboration System: Design, Implementation, and Future Prospects
SHIRO Masanori, MIYAKAWA Ayumu, FUJITA Tsukasa, OCHI Masanao, IWASAKI Yuichi and YASUTAKA Tetsuo
.....73–81

No. 3

[Article]

- Seasonal Variation of Transportation of Manila (Asari) Clam Larvae in Hiroshima Bay
TAKAHASHI Satoru 83–91

[Report]

- Simple estimation of an S-wave velocity profile by adding one three-component geophone to a P-wave reflection survey line
— Example of an exploration in Konosu City, Saitama Prefecture, Japan —
OHTAKI Toshiki 93–101

No. 4

[Article]

- Diatom biochronology and U–Pb age of the Miocene strata in the Satomi area along eastern margin of the Tanakura sedimentary basin, Japan
YANAGISAWA Yukio and HOSOI Jun103–120

[Article]

- Stratigraphy and diatoms of the Neogene Taga and Hitachi groups in the Hanareyama district, Kuji Town, Hitachi City, Ibaraki Prefecture, Japan
YANAGISAWA Yukio, ANDO Hisao and KUSHIBIKI Sora121–159

No. 5/6 Special issue on marine geology around Tokara Islands in Kagoshima Prefecture: result of marine geological mapping survey cruises in 2022

[Preface]

- Special issue on marine geology around Tokara Islands in Kagoshima prefecture: result of marine geological mapping survey cruises in 2022 Fiscal Year
INOUE Takahiko, ITAKI Takuya and AMANO Atsuko161–165

[Report]

- Overview of the seismic survey and dredge in the vicinity of Northern Tokara Islands conducted during geological map research cruises in 2022FY
ISHINO Saki, ISHIZUKA Osamu, HARIGANE Yumiko, ARIMOTO Jun, MISAWA Ayanori and INOUE Takahiko
.....167–196

[Report]	Shallow submarine structure around Tokara Islands based on the high-resolution subbottom profiler survey during the GS22 cruise MISAWA Ayanori, FURUYAMA Seishiro, KOGE Hiroaki, ARIMOTO Jun, ISHINO Saki and SUZUKI Yoshiaki ...	197–208
[Report]	Depositional ages of sedimentary rocks obtained from the sea floor around the Tokara Islands during GB22-1, GB22-2 and KH23-1 cruises, based on calcareous microfossil assemblages ARIMOTO Jun and TANAKA Yuichiro	209–222
[Article]	Submarine sediment distribution and its controlling factors around the western area off Tokara Islands and southern area off Yakushima Island SUZUKI Yoshiaki, ITAKI Takuya, KATAYAMA Hajime, KANEKO Naotomo, HARIGANE Yumiko, SAITO Naoki, IWATANI Hokuto, MATSUI Hiroki, ISHIZUKA Osamu, YAMASAKI Makoto, ARIMOTO Jun, TOKUDA Yuki, SENTOKU Asuka, IKEUCHI Eri, IGUCHI Akira, SUZUKI Atsushi and SEIKE Koji	223–248
[Report]	Preliminary results on distribution of benthic foraminifera collected during the GB22-1 and 2 cruises around Tokara Islands HASEGAWA Shiro	249–263
[Report]	Chemical composition of marine surface sediments around Tokara Islands (GB22-1 and 22-2 cruises), Japan KUBOTA Ran, TACHIBANA Yoshiko, ITAKI Takuya, KATAYAMA Hajime, SUZUKI Yoshiaki and MANAKA Mitsuo	265–278
[Report]	Marine environment around the Tokara Islands based on CTD observations and ocean general circulation model SAITO Naoki, SUZUKI Yoshiaki, ITAKI Takuya and SUZUKI Atsushi	279–297

本年掲載論文の査読を下記及び匿名の方々にお願いました。厚くお礼申し上げます。

浅田美穂・有元 純・宮川歩夢・内藤一樹・中嶋 健・斎藤めぐみ (国立科学博物館)・鈴木敬介・
谷内 元・宇都宮正志・山岡香子・横田俊之・渡辺真人

(敬称略)

地質調査総合センター研究資料集

- | | | |
|-----|--|---|
| 748 | 斜面災害リスク評価のための地質情報集 - その2: 九州地域の地質図データ等 - | 宮地 良典・川畑 大作・星住 英夫・
下司 信夫 |
| 749 | 伊豆大島火山の火口位置データおよび噴火イベント集 | 川辺 禎久 |
| 750 | 地質粒子画像分類を支援する深層学習を活用したソフトウェア | 宮川 歩夢・松本 恵子・板木 拓也・
下司 信夫 |
| 751 | 羊蹄火山の降下テフラ分布の GIS データ | 米谷 珠萌・荻谷 恵美・宝田 晋治 |
| 752 | 湯沢地熱地域の酸性変質帯の土壤植生 | 佐々木 宗建 |
| 753 | 阿蘇・御嶽・箱根・萌消火山の噴火推移と大規模噴火の前駆活動 | 金田 泰明・宝田 晋治・河野 裕希 |
| 754 | 斜面災害リスク評価のための地質情報集 - その3: NDVI, 磁気異常及び微動データ | 宮地 良典・川畑 大作・松岡 萌・
水落 裕樹・宮川 歩夢・大熊 茂雄・
長 郁夫・米岡 佳弥 |
| 755 | 2002 年から 2023 年 8 月における硫黄島の噴出地点 | 関 晋・長井 雅史・及川 輝樹 |
| 756 | 5 万分の 1 地質図幅「高見山」に分布する秩父帯付加コンプレックス, 三波川-四万十変成付加コンプレックス及び領家深成岩類から得られたジルコン U-Pb 年代 | 竹内 誠・常盤 哲也・森 宏・
志村 侑亮 |
| 757 | 九州南部地域の地下水・温泉水の化学・同位体組成 | 森川 徳敏・高橋 正明・稲村 明彦・
高橋 浩・東郷 洋子・中村 仁美・
北村 有迅・川端 訓代・風早 康平・
安原 正也・佐藤 努・戸崎 裕貴・
半田 宙子・仲間 純子・染谷 雅美・
中村 有理・大和田 道子・浅井 和
由・藪崎 志穂・鈴木 裕一・大丸
純・清水 日奈子 |
| 758 | 第 41 回地質調査総合センターシンポジウム講演要旨集「デジタル技術で繋ぐ地質情報と防災対策 活断層 - 火山 - 斜面災害 - 海洋地質」 | 地質調査総合センター (編) |

地質調査総合センターの最新出版物

5 万分の 1 地質図幅		伊予長浜 外山
20 万分の 1 地質図幅		広尾 (第 2 版修正版)
海洋地質図	No. 94	積丹半島付近海底地質図
火山地質図	No. 22	日光白根及び三岳火山地質図
海陸シームレス地質図	S-7	海陸シームレス地質情報集「相模湾沿岸域」
大規模火砕流分布図	No. 4	阿蘇カルデラ阿蘇 3 火砕流堆積物分布図
水文環境図	No. 14	越後平野 (信濃川流域)
重力図 (ブーゲー異常)	No. 36	甲府-静岡地域重力図
土壌評価図	E-10	表層土壌評価基本図 ~中国地方~
特殊地質図	Sr. 41	栃木県シームレス地質図 (第 2 版)
その他		東・東南アジア磁気異常図 改訂版 (第 3 版) 中部地方の地球化学図

地質調査研究報告編集委員会

委員長 鈴木 淳
副委員長 宮城 磯 治
委員 東郷 洋 子
丸山 正
藤井 孝 志
持丸 華 子
斎藤 健 志
大谷 竜 竜
長森 英 明
納谷 友 規
天野 敦 子
伊藤 剛
森尻 理 恵

Bulletin of the Geological Survey of Japan Editorial Board

Chief Editor: SUZUKI Atsushi
Deputy Chief Editor: MIYAGI Isoji
Editors: TOGO Yoko
MARUYAMA Tadashi
FUJII Takashi
MOCHIMARU Hanako
SAITO Takeshi
OHTANI Ryu
NAGAMORI Hideaki
NAYA Tomonori
AMANO Atsuko
ITO Tuyoshi
MORIJIRI Rie

事務局

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター
地質情報基盤センター 出版室
<https://www.gsj.jp/inquiries.html>

Secretariat Office

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
Geological Survey of Japan
Geoinformation Service Center Publication Office
<https://www.gsj.jp/en/>

地質調査研究報告 第75巻 第5/6号
令和6年12月27日 発行

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター

〒305-8567
茨城県つくば市東1-1-1 中央事業所7群

Bulletin of the Geological Survey of Japan
Vol. 75 No. 5/6 Issue December 27, 2024

Geological Survey of Japan, AIST

AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1, Higashi,
Tsukuba, Ibaraki 305-8567 Japan

BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Vol. 75 No. 5/6 2024

CONTENTS

- Special issue on marine geology around Tokara Islands in Kagoshima Prefecture:
result of marine geological mapping survey cruises in 2022
- Special issue on marine geology around Tokara Islands in Kagoshima prefecture: result of marine geological mapping survey cruises in 2022 Fiscal Year
INOUE Takahiko, ITAKI Takuya and AMANO Atsuko161
- Overview of the seismic survey and dredge in the vicinity of Northern Tokara Islands conducted during geological map research cruises in 2022FY
ISHINO Saki, ISHIZUKA Osamu, HARIGANE Yumiko, ARIMOTO Jun, MISAWA Ayanori and INOUE Takahiko 167
- Shallow submarine structure around Tokara Islands based on the high-resolution subbottom profiler survey during the GS22 cruise
MISAWA Ayanori, FURUYAMA Seishiro, KOGE Hiroaki, ARIMOTO Jun, ISHINO Saki and SUZUKI Yoshiaki197
- Depositional ages of sedimentary rocks obtained from the sea floor around the Tokara Islands during GB22-1, GB22-2 and KH23-1 cruises, based on calcareous microfossil assemblages
ARIMOTO Jun and TANAKA Yuichiro 209
- Submarine sediment distribution and its controlling factors around the western area off Tokara Islands and southern area off Yakushima Island
SUZUKI Yoshiaki, ITAKI Takuya, KATAYAMA Hajime, KANEKO Naotomo, HARIGANE Yumiko, SAITO Naoki, IWATANI Hokuto, MATSUI Hiroki, ISHIZUKA Osamu, YAMASAKI Makoto, ARIMOTO Jun, TOKUDA Yuki, SENTOKU Asuka, IKEUCHI Eri, IGUCHI Akira, SUZUKI Atsushi and SEIKE Koji223
- Preliminary results on distribution of benthic foraminifera collected during the GB22-1 and 2 cruises around Tokara Islands
HASEGAWA Shiro249
- Chemical composition of marine surface sediments around Tokara Islands (GB22-1 and 22-2 cruises), Japan
KUBOTA Ran, TACHIBANA Yoshiko, ITAKI Takuya, KATAYAMA Hajime, SUZUKI Yoshiaki and MANAKA Mitsuo265
- Marine environment around the Tokara Islands based on CTD observations and ocean general circulation model
SAITO Naoki, SUZUKI Yoshiaki, ITAKI Takuya and SUZUKI Atsushi 279