

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、西ノ曾根と地形的な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な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

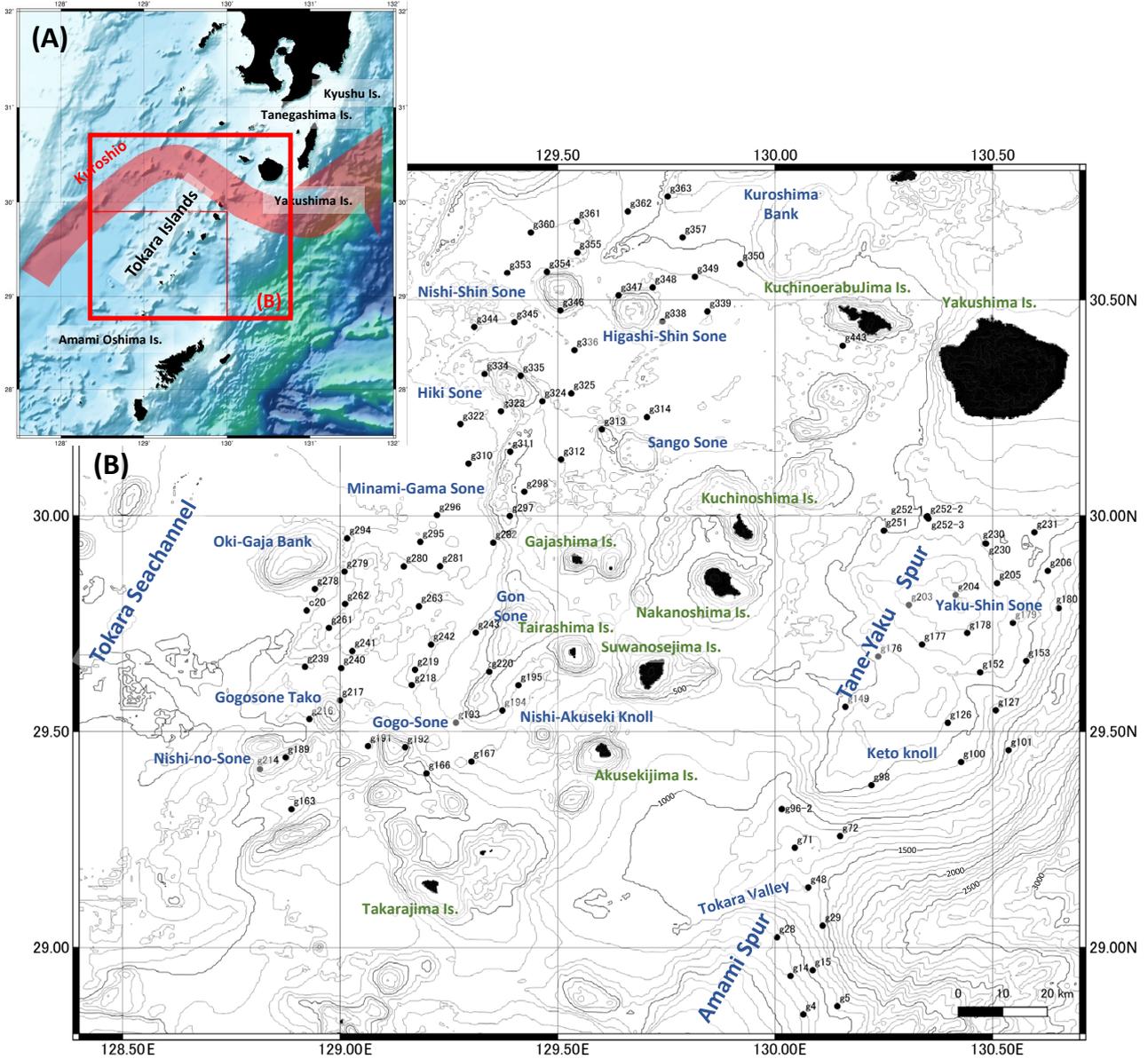
は、海洋生物分布や懸濁粒子動態、海底微地形の空間的広がりを把握するため、一部地点でアクションカメラをKグラブに設置して海中・海底の水平方向の動画撮影を実施した。使用したカメラは市販のGoPro社製HERO4で、外付けバッテリーとしてAnker製Astro E1を用いた。アクションカメラにはディレイタイマー機能が備わっていないため、Kグラブに取り付けた時点から取り外すまでの動画を撮影し続ける。アクションカメラを収納する耐圧容器には水深3000m対応の有限会社 エヌティエフ製SVH-HERO3-3000を用いた。水中ライトとして有限会社 エヌティエフ製SDL-26HE-Pを用い、圧力点灯スイッチによって水深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1815 cm²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ではボックスコアラ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, Pteropod, 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)	
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)	Peropod, Bivalve, Sponge, Lugworm
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)	
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, Pteropod, 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)	
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)	Pteropod, 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。グラフ不動作の主な原因として、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。

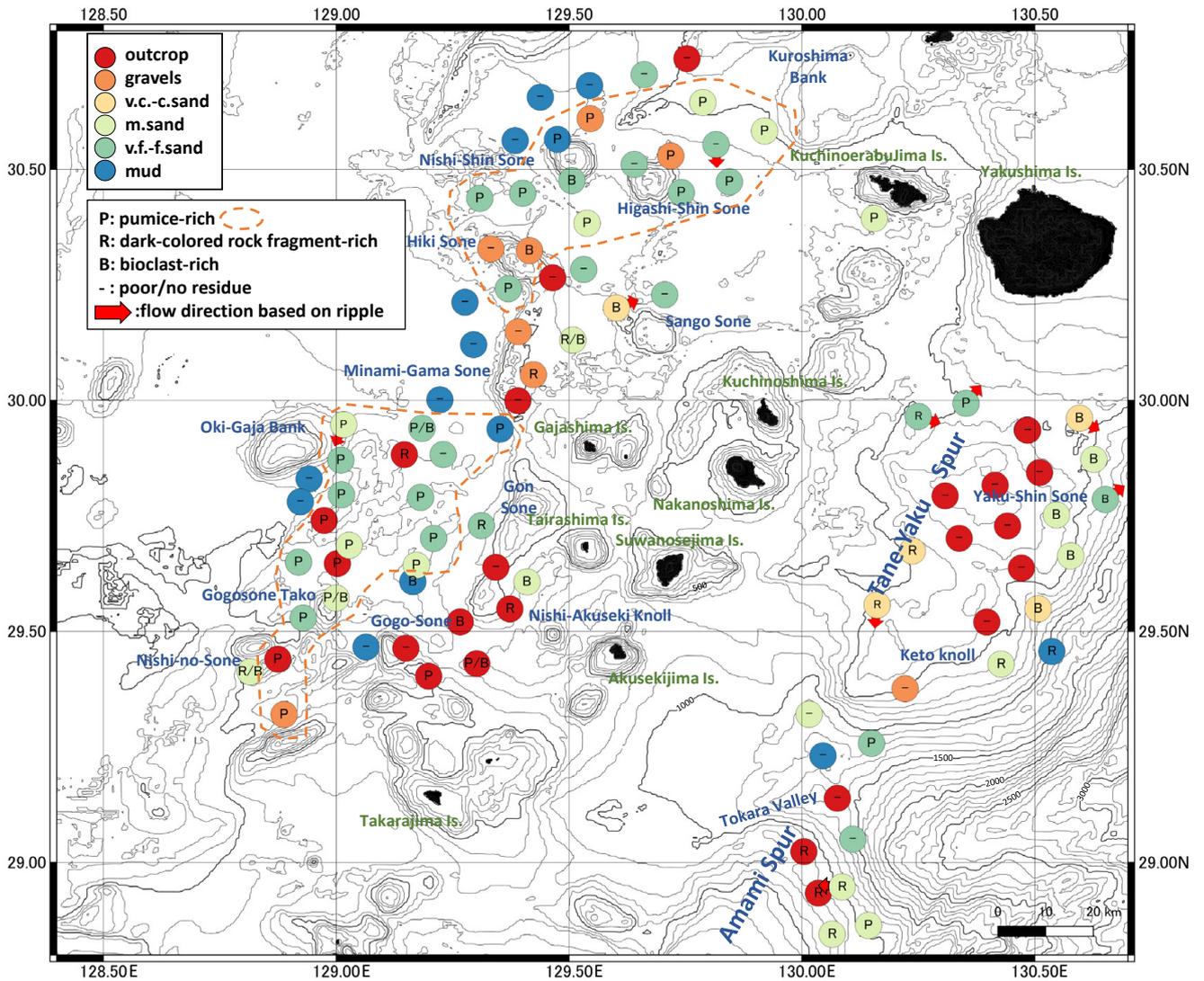
- ・ Kグラフのヘッド部に錘 (合計約30 kg) を装着し、ヘッド部の重量を増すことで落下しやすくする。
 - ・ 着底確認後の繰り出し余長を3 mとしたところを、5~7 mにすることで、メインワイヤーのたるみを大きくする。
 - ・ 着底直前の繰り出し線速を、通常0.3 m/sのところ0.5~1.0 m/sにすることでヘッド部分の降下速度を上げる。
- また、採泥器降下中のワイヤー傾角状況から着底時の定点保持に時間を要すると予想された場合は、定点保持をせずにワイヤー傾角の解消のみを優先する操船に切り替えた。サイトg230では離底時の張力計の数値変化から、採泥器が作動していない可能性があったため、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。

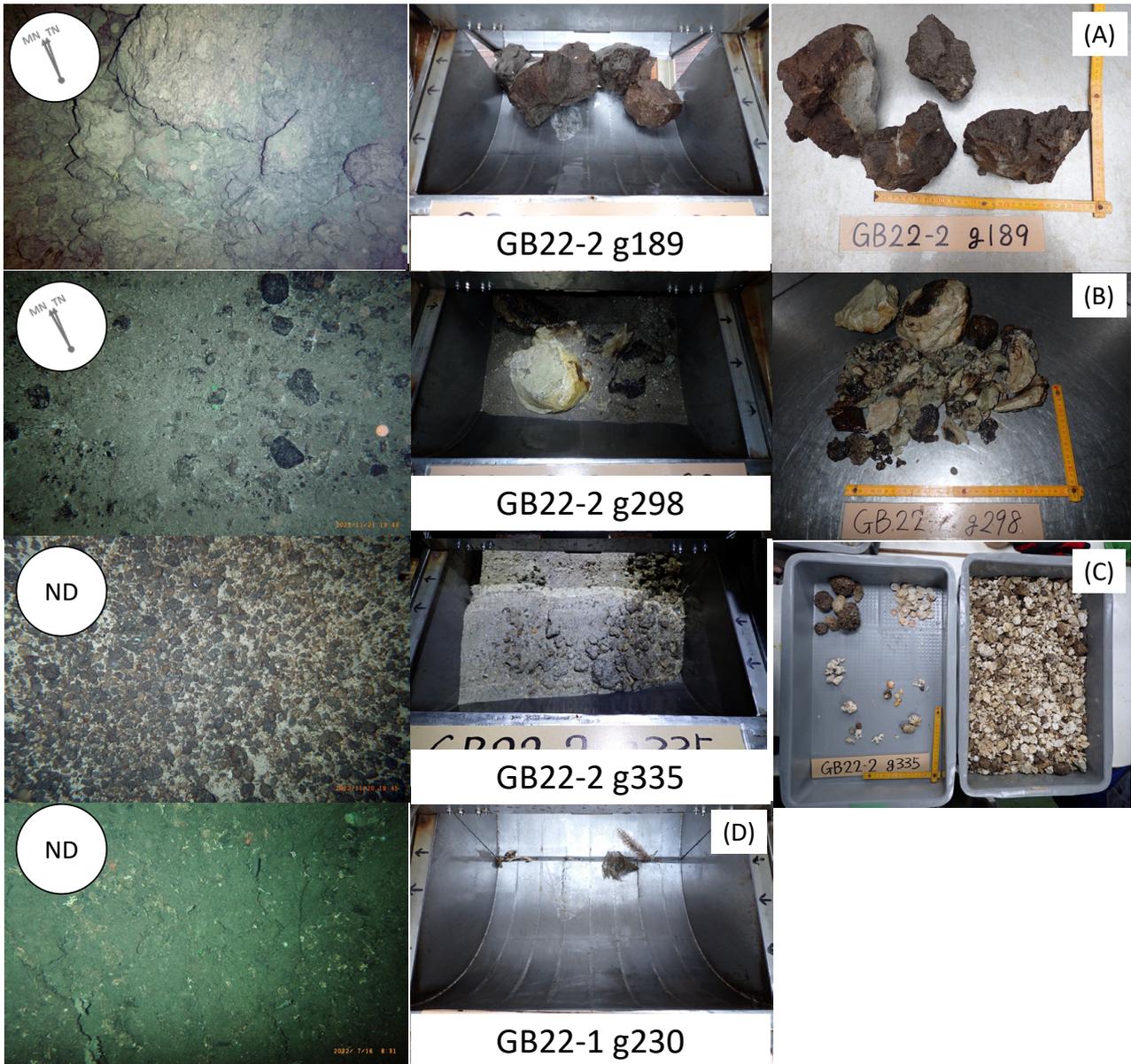
Fig. 2 The distribution of major sediment types in the survey area of GB22-1/2 cruises. Major sediment types are classified mainly based on the visual core description of sub-core samples and observation of seafloor photos. Red arrows and their directions indicate positions and directions of rippled 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

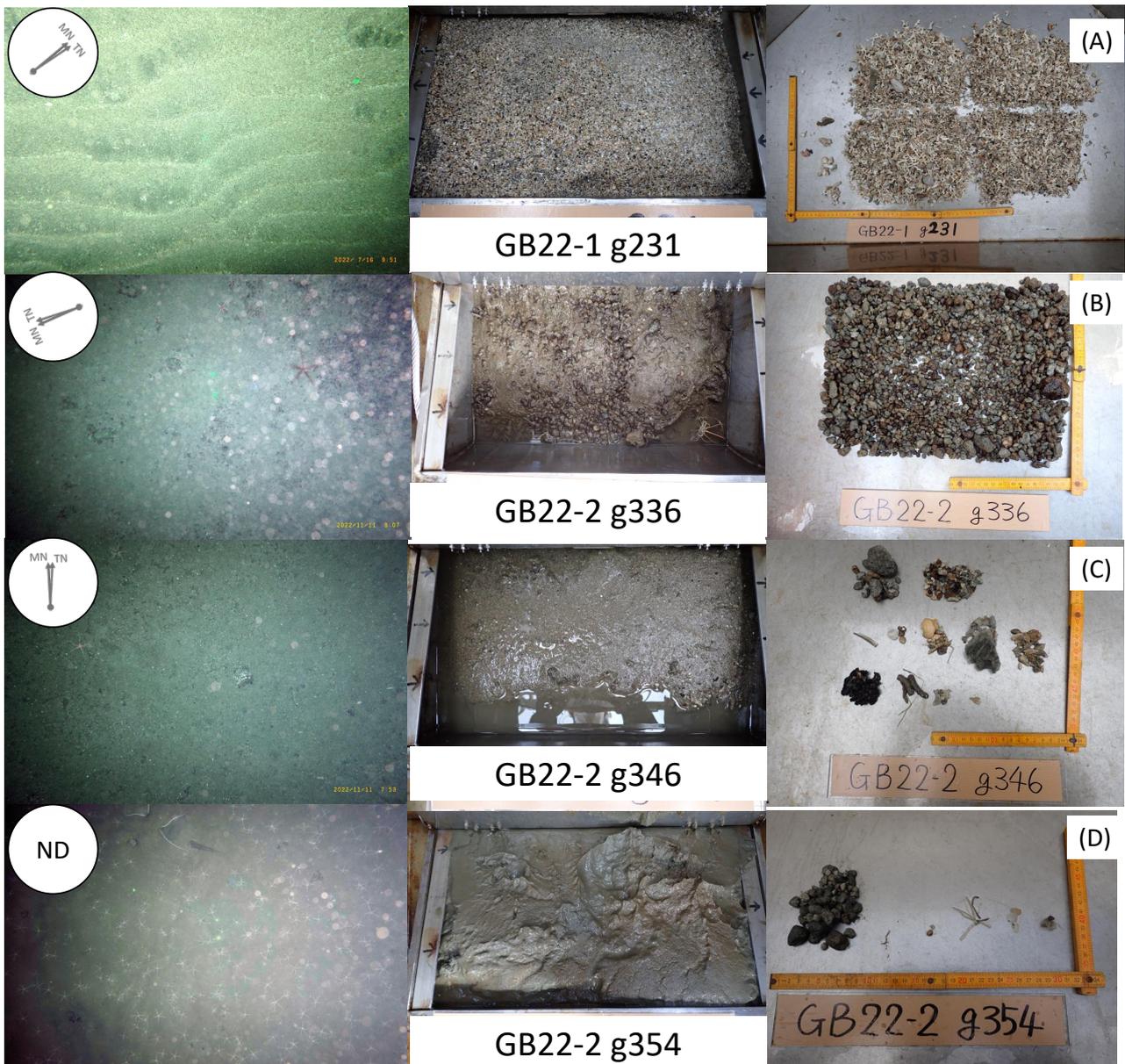
つ、従ってこれらのリップルはいずれも、潮汐や波浪によるウェーブリップルではなく、底層流により形成されたカレントリップルと考えられる。このリップルの水深範囲はトカラ列島周辺海域で見られたリップルの分布水深（500～800 m：鈴木ほか、2022、2023）と重複しており、トカラ列島西方海域および種子・屋久海脚周辺海域にも、カレントリップルを形成しうる流速の底層流が存在することが示唆される。リップルが認定された地点（主たる底質は、極粗粒から粗粒砂3地点、中粒砂6地点、細粒から極細粒砂6地点）に対してStow *et al.* (2009)により示されたBedform-velocity matrix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

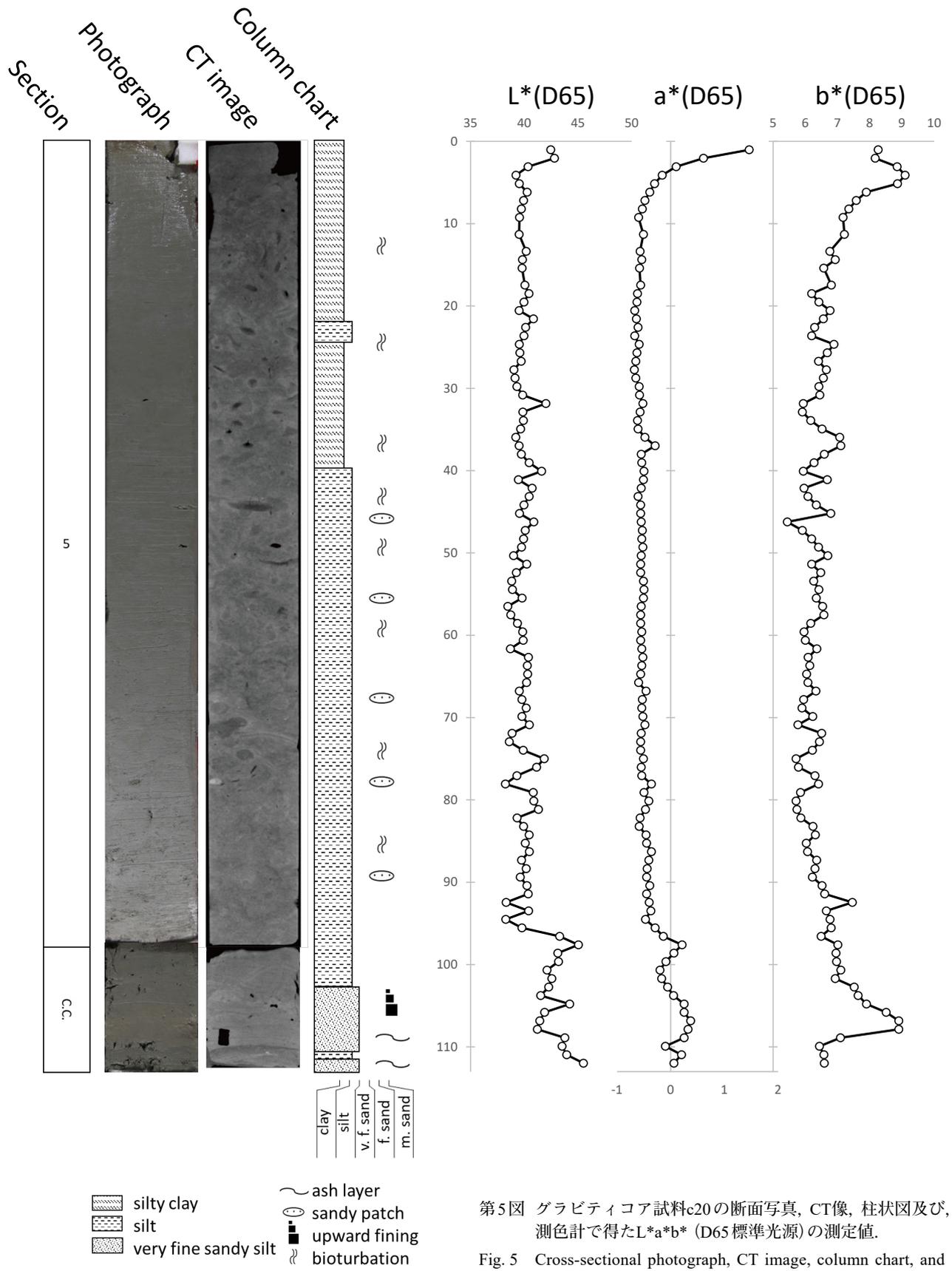
泥質堆積物が得られた地点の海底写真では、クモヒトデ、ヤギ、カイメンなどの底生生物や、底生生物の巣穴が多数観察された（サイトg354の例：第4図D）。とくにトカラ列島西方海域ではクモヒトデが密に分布する様子が多く観察された。また肉眼観察でも粒径がパッチ状に粗粒化している様子は多く観察され、CT画像、軟X線像において生痕が発達する様子が観察された。スミアスライドを用いた鏡下観察によれば、泥質堆積物を構成するのは主に有色鉱物、粘土鉱物、火山ガラス、有孔虫などの微生物殻であった。5 mmメッシュで篩にかけた残渣はどの地点でも採取された堆積物量に対してごく僅かであるが、パミス質ないしスコリア質の礫や海綿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

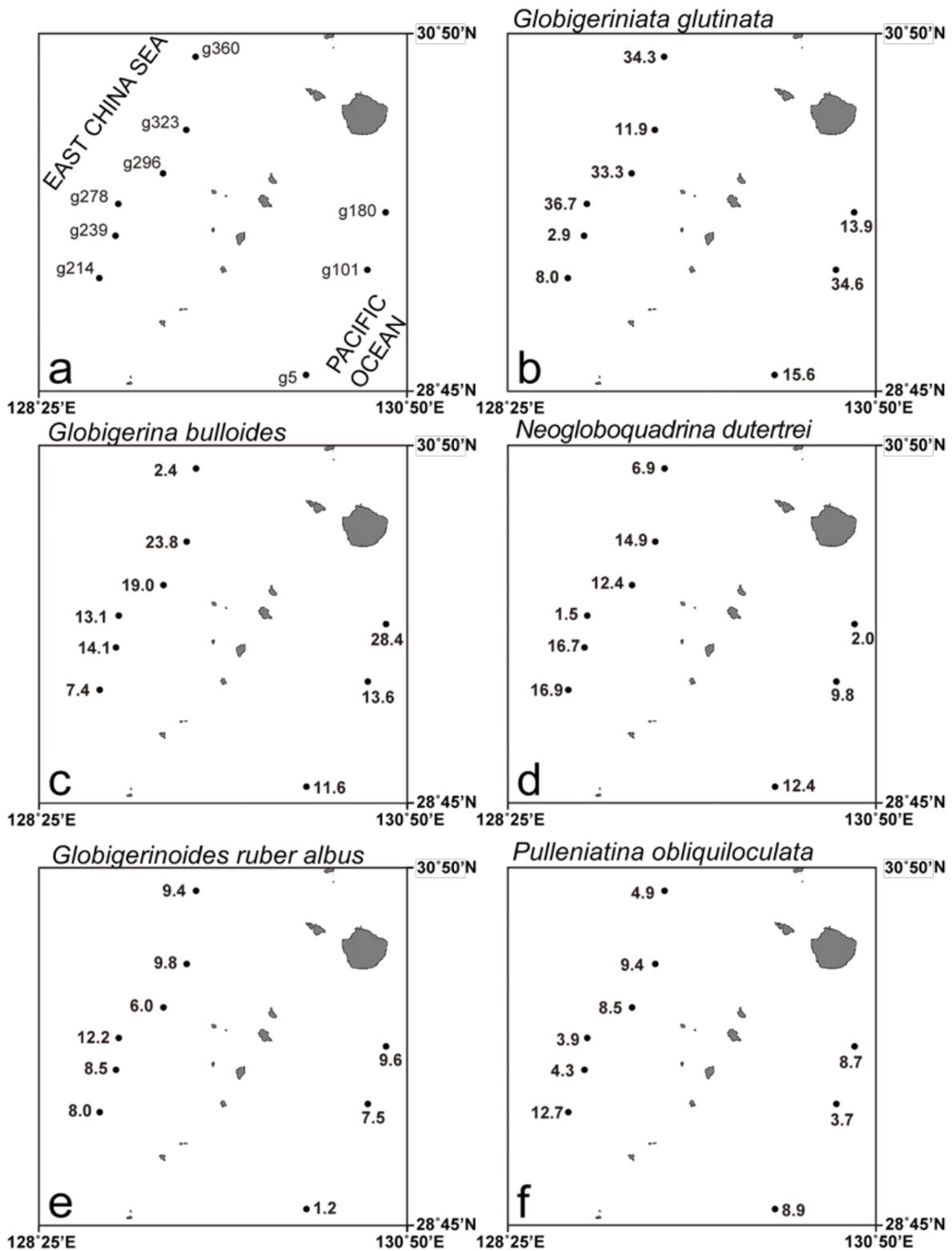
の検討結果は、一般的に背弧側の地点で*P. obliquiloculata* や*N. dutertrei*が多く産出する傾向にある。これは南西諸島周辺海域において黒潮水塊に対応する群集の特徴とされていることと調和的である(Xu and Oda, 1999; Ujiie and Ujiie, 2000)。

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。

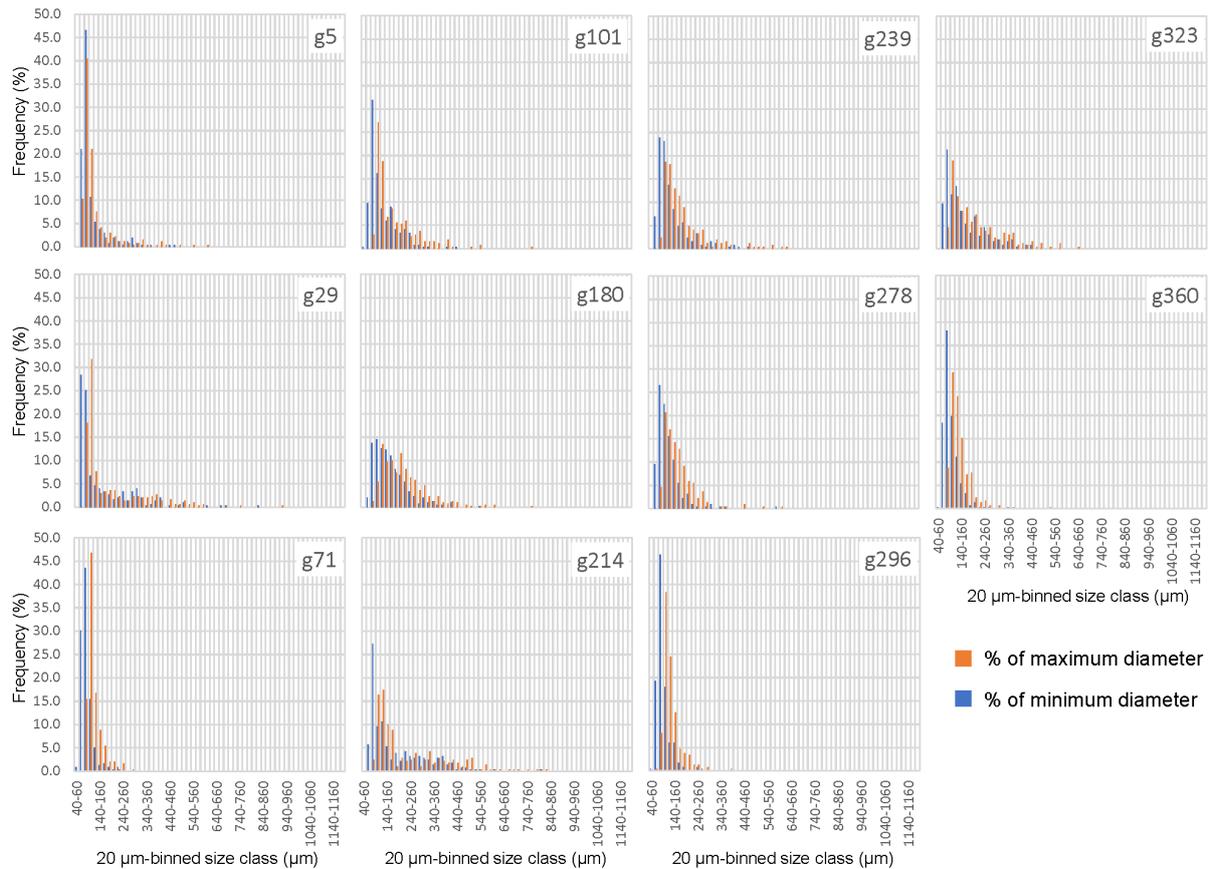
また、最大径サイズ分布を用いて予察的に保存状態とサイズの関係を検討した(第9図)。その結果、中粒砂サイズ以上におけるランクB及びランクCの個体の寄与が比較的大きい傾向が認められる。この傾向は前弧側の地点g5, g29や背弧側の地点g214, g323などで顕著である。

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。

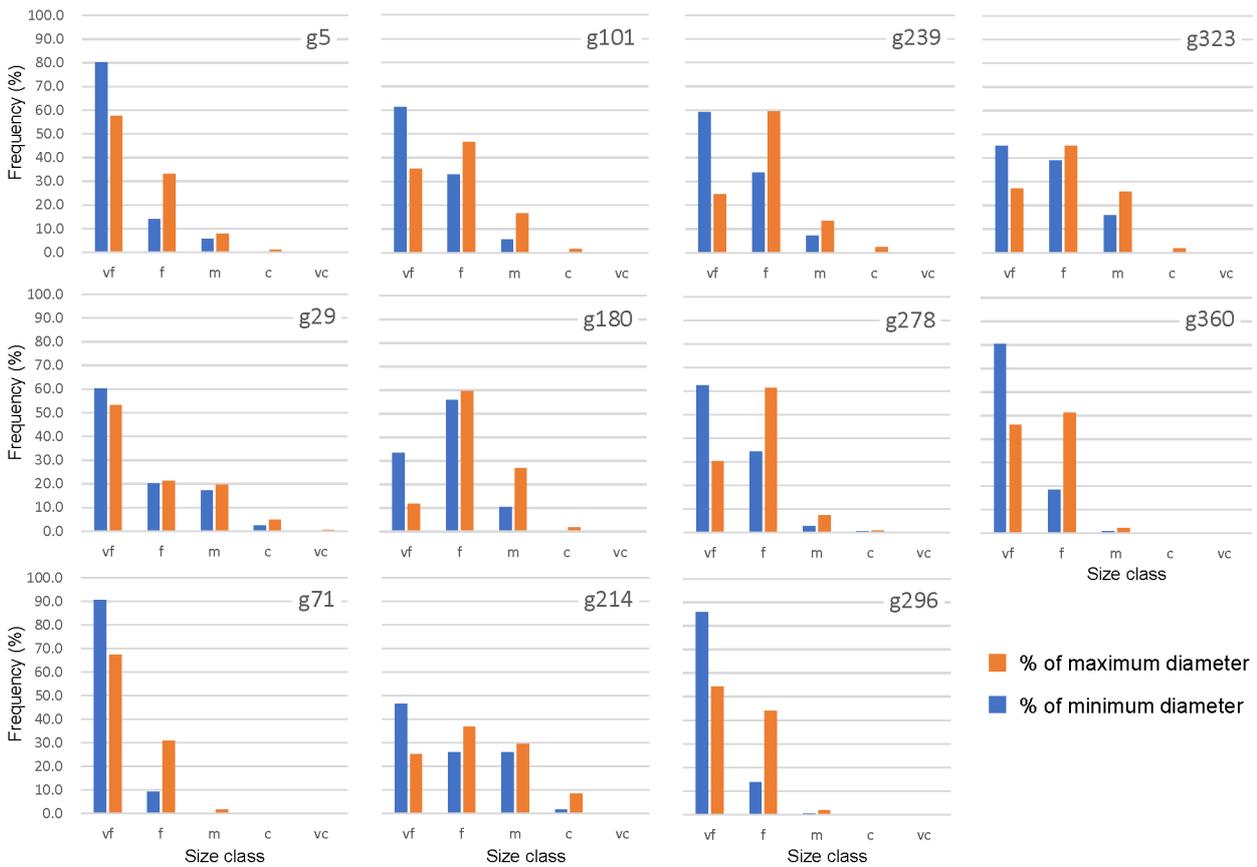
4.3 サンゴ類分析結果

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。

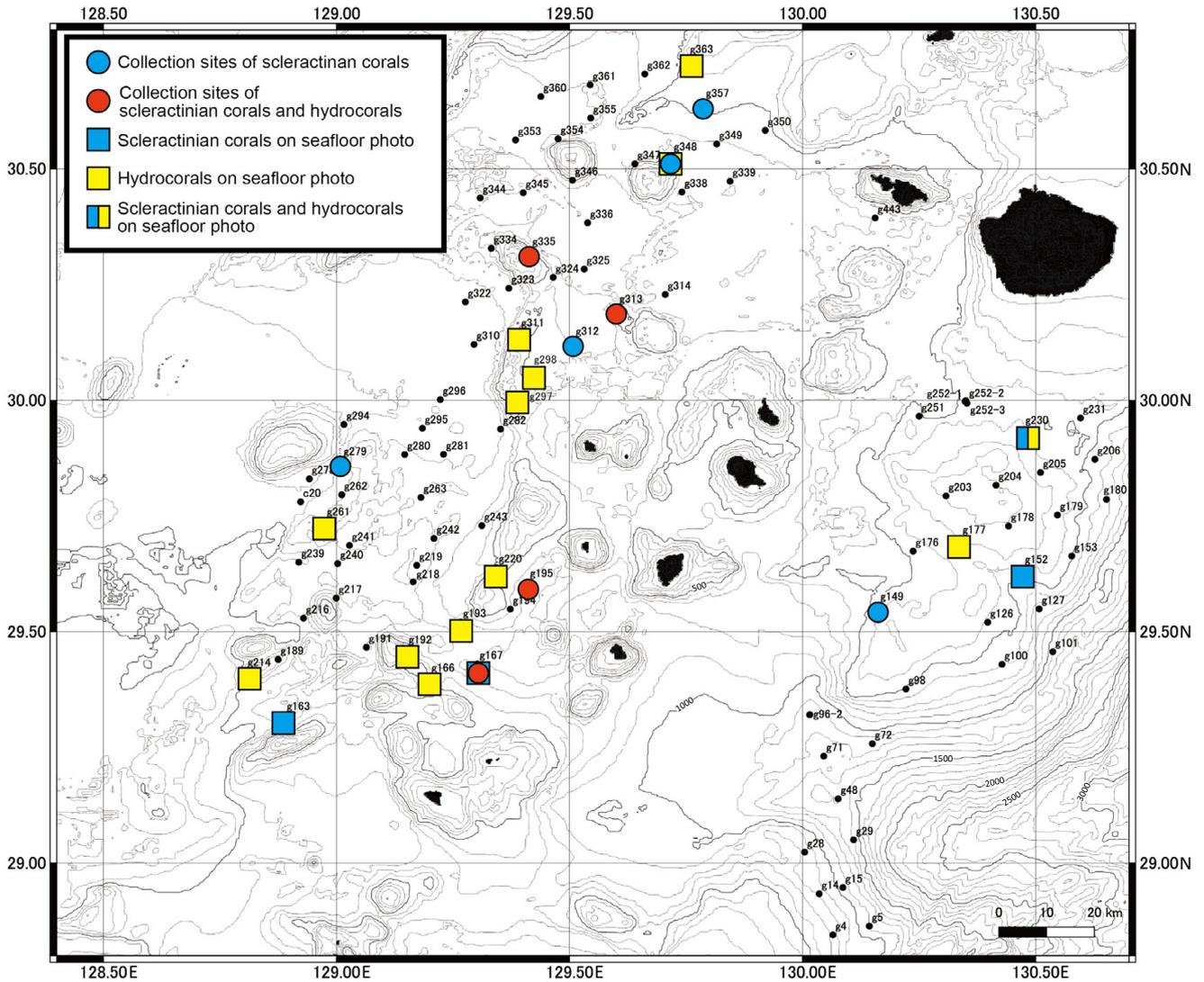
Fig. 9 Histograms showing relationships between maximum diameter size distribution and observed preservation states. Horizontal and vertical axes follow those of Figure 8.

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).

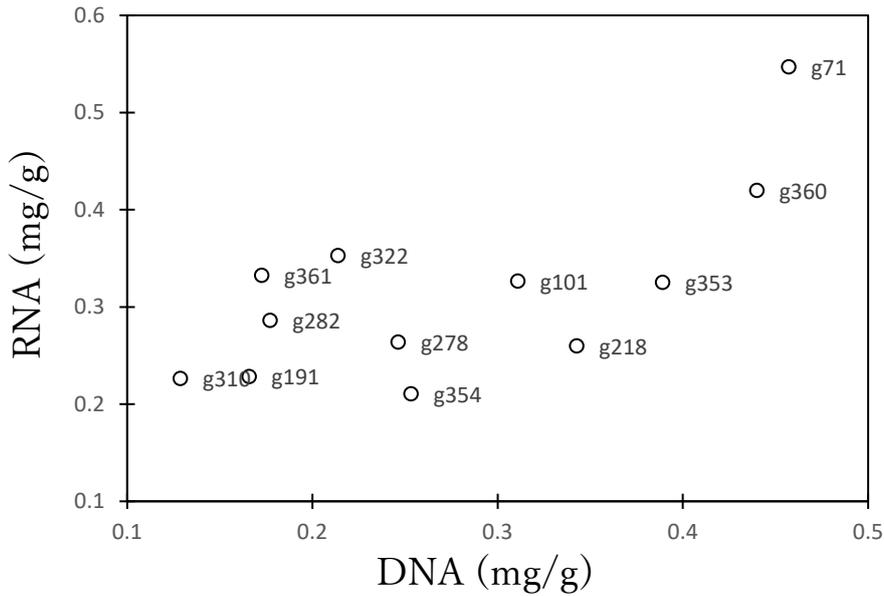
sample	DNA(mg/g)	RNA(mg/g)
g71	0.46	0.55
g101	0.31	0.33
g191	0.17	0.23
g218	0.34	0.26
g278	0.25	0.26
g282	0.18	0.29
g310	0.13	0.23
g322	0.21	0.35
g353	0.39	0.33
g354	0.25	0.21
g360	0.44	0.42
g361	0.17	0.33

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・小野寺公兎・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)