

トカラ列島周辺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¹・山崎 誠²・
有元 純¹・徳田 悠希³・千徳 明日香⁴・清家 弘治^{1,5}

SUZUKI Yoshiaki, ITAKI Takuya, KATAYAMA Hajime, KANEKO Naotomo, YAMASAKI Makoto, ARIMOTO Jun, TOKUDA Yuki, SENTOKU Asuka and SEIKE Koji (2023) Submarine sediment distribution and its controlling factors around the Tokara Islands. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 74 (5/6), p. 259–286, 12 figs and 4 tables.

Abstract: Surface sediment sampling was conducted at 102 sites during two marine geological survey cruises (GB21-2 and GB21-3) around the Tokara Islands. Muddy sediments are generally distributed on the flat seafloor below 800 m depth, and are strongly bioturbated in many sites. The distribution of sandy sediments, gravels, and outcrops is not necessarily limited to shallow water depths, but coarse-grained materials of biogenic and non-biogenic sources were observed in and around islands as well as shallow water areas. This distribution of bottom sediments is believed to be influenced by the presence of submarine volcanoes which are a potential source of sediments beneath the seafloor, in addition to islands and shallow-water areas where biological production occurs. The distribution of bedforms such as ripples, outcrops, and gravelly sediments, commonly found around islands, suggests a strong influence of the meandering Kuroshio Current in this area. Analyses of bryozoans, coral distribution, assemblages, size distribution, and preservation of planktic foraminifera suggest that the Kuroshio Current exerts both mechanical effects, through bottom currents, and biological effects, such as on community composition and the body size of organisms, on the sediments.

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

要 旨

トカラ列島周辺海域において実施した海底地質調査航海GB21-2及びGB21-3では、102地点で表層採泥を実施した。おおむね水深800 m以上の平坦な海底には泥質堆積物が分布し、多くの地点で強い生物擾乱を受けている。砂質堆積物や礫、露頭の分布は、必ずしも浅い水深には限定されないが、島嶼部や浅海域およびその周辺では生物源または非生物源の粗粒物質が多く観察された。こうした底質分布は生物生産の場である島嶼部や浅海域に加えて、海底下の堆積物供給源となりうる海底火山の存在に規制されていると思われる。島嶼部周辺で多く見られるリップルなどのベッドフォーム、露頭や礫質堆積物の分布は、本海域で蛇行する黒潮の強い影響を示唆する。コケムシ類の分析結果、サンゴ類の分布、及び浮遊性有

孔虫の群集・サイズ分布・保存状態の検討から、黒潮は底層流を通じた力学的な影響とともに、生物群集組成やその体サイズなど生物学的な影響も同時に堆積物に与えている可能性が示唆された。

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、2021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(GB21-2, GB21-3)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域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

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

³ 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)

⁴ 琉球大学 理学部 (Faculty of Science, University of the Ryukyus, Okinawa, 903-0213, Japan)

⁵ 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

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年度の三年間にわたり実施され、2020年度は海域南側を中心として地球物理探査、反射法音波探査、表層採泥などの項目を実施する航海(GK20航海及びGB21-1航海)が実施された(鈴木ほか, 2022)。GB21-2, GB21-3航海はその2年目として、トカラ列島周辺海域の島嶼部周辺を主な調査対象範囲として実施された。

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」(後述)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.*, 2021; Minami *et al.*, 2014; 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海域全体にわたり供給されていると考えられ、宝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砕屑物が分布していることが分かった。このような火山群からもたらされる堆積物が、トカラ列島の中部から北部にかけてどのように分布しているか、また諏訪之瀬島、中之島、口之島、口永良部島などの島嶼群から供給される物質とあわせてどのような底質を形成しているかは現在のところ明らかになっていない。本海域における火山起源堆積物の起源ごとの分布やその時系列変化を堆積物の組成・分布解析や柱状試料の分析に基づいて解明することができれば、本海域における火山活動をはじめとした地質災害リスクの評価に貢献することができる。

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、黒潮逆流の形成、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く、トカラ列島周辺での海底付近での黒潮に伴う底層流の拳動実態や、ベッドフォーム、堆積物の組成分布に与える影響についての詳細は分かっていたが、宝島周辺海域においては黒潮の蛇行と島嶼部

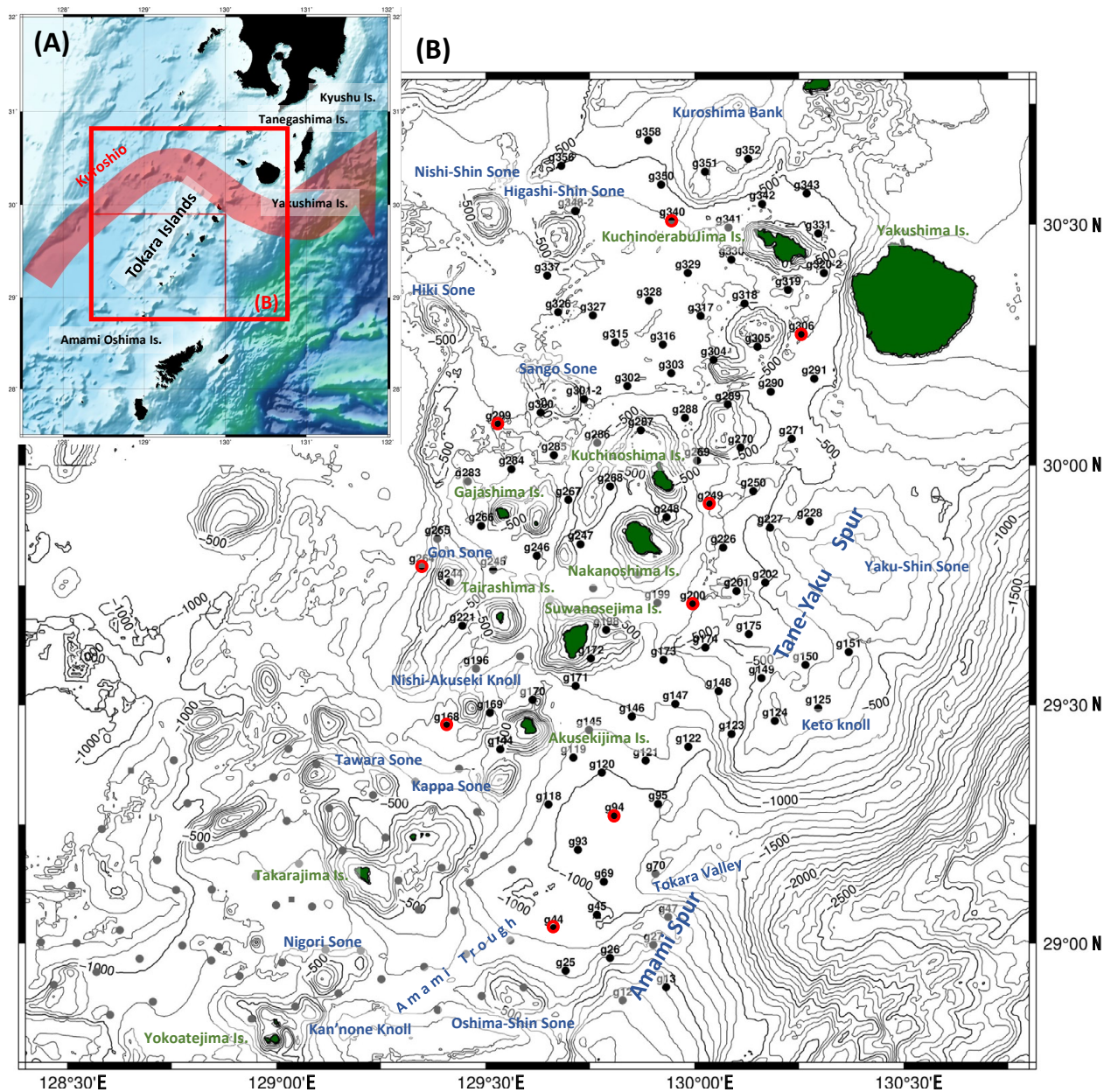
の浅海域通過に伴って底層流の流速が高い値を取り、その変化が波長数十cm程度のリップルや、波長数百m程度のサンドウェーブなどのベッドフォームを特定の水深で形成することや、局所的に生物源砕屑物や細粒砕屑物が吹き溜まりのように集積する堆積場が存在することが明らかになってきた(鈴木ほか, 2022)。こうした堆積過程がトカラ列島の全体にわたり同様に見られるのかについてはまだわかっていない。

また、黒潮が通過してくる東シナ海においては、アジア大陸の揚子江や黄河など巨大河川群から多量の河川水や土砂、栄養塩が供給されており、長江希釈水と呼ばれる独特な水塊を形成している(Kim *et al.*, 2009)。黒潮の流路として東シナ海の下流側かつ近傍に位置するトカラ列島周辺海域もこうした大陸河川起源水の影響下にある可能性が高い。こうした黒潮の流路や黒潮を通じて供給される物質は黒潮そのものに加えて島嶼部や海底地形の影響を受けて複雑に分布していると考えられ、その詳細は未解明である。

「トカラギャップ」は奄美海脚と種子・屋久海脚の境界となる“海底の1000 mの等深線がトカラ海峡を分断するように、海溝側から、西側に向けて入りこんでいる”部分(木村ほか, 1993, p.284)で、ここで琉球海嶺が途切れるためギャップと称される(Matsumoto *et al.*, 1996)。生物地理区の旧北区と東洋区の境界である渡瀬線は、このトカラギャップに重なるように位置し、悪石島と小宝島の間に引かれるものと近年広く認識されていた(Motokawa and Kajihara, 2017; Ota, 1998)。しかし、Komaki (2021)は、そもそも悪石島と小宝島の間に渡瀬線を置く根拠は無く、生物地理学的な統計解析においてもこれら2島の間で陸上生物相の明確な切り替わりが認められないことを示した。一方、海洋生物においても渡瀬線を境界として生物相が切り替わると考えられてきたが、具体的な研究データは浅海の魚類などに限られ(たとえば、坂井ほか, 2005)、本海域の浅海から深海までを網羅した生物地理学的研究はほとんど認められない。そのため、本海域における海洋生物分布の解明は、いまだに生物地理学上の重要な課題である。

このように、トカラ列島周辺海域は地質学、海洋学、生物学など多くの面で未知の課題を多く含む海域である。網羅的な海域地質調査による表層堆積物の採取・分析やそれに含まれる生物群集の解析、水塊構造の直接観測といった基礎データを蓄積することで、こうした課題を解決することに大きく貢献できる。

本論文では、2021年度に実施したGB21-2, GB21-3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主に船上記載データと生物試料の分析結果に基づいて検討を行った。



第1図 (A)トカラ列島位置図。(B) GB21-2及びGB21-3航海の実施範囲におけるグラフ試料採取地点図。地点番号のない灰色の点はGB21-1航海におけるグラフ試料(丸)およびコア試料(四角)採取点を示す。浮遊性有孔虫分析を実施した地点を赤丸で囲った。海底地形は岸本(2000)に基づく。

Fig. 1 (A) Location of the Tokara Islands. (B) Sampling points of K-grab on GB21-2 and GB21-3 cruises. Gray circles and squares indicate sampling points of K-grab and gravity corer on GB21-1 cruise. The analysis of planktonic foraminifera is conducted on red circled points. Sea-bottom topography is based on Kishimoto (2000).

2. 調査・分析方法

2.1 表層試料採泥

トカラ列島悪石島, 諏訪之瀬島, 平島, 中之島, 臥蛇島, 口之島, 口永良部島周辺及び諏訪之瀬島東方, 南方海域において, 表層堆積物の組成や分布を把握するため, 木下式グラフ採泥器(K-グラフ)による表層採泥をGB21-2

航海で20地点, GB21-3航海で82地点の計102地点で実施した(第1図)。K-グラフには海底カメラ, 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-グラフは海中下降時の動揺により着底前に誤作動する場合がある。これを防ぐため, 超音波高度計と連動して海底上7 mで解除される電磁石式

の誤作動防止システム(板木, 2018b)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2 m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7 m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(板木ほか, 2022)。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。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(高下ほか, 2023)。またGB21-3航海では、10 cm間隔で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。

K-グラフの揚収後、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5 cm、横6 cm、高さ30 cm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1 cmのスラブ試料と、5 cm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2 cm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。

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5 mmメッシュを用いて水洗いし、5 mm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。

2.2 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。

2.3 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g244とg305にコケムシ骨格が豊富に含まれていたものの、試料の全体量が少なかつたため、コケムシ類分析用試料の分取ができなかった。

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(g221・g228・g245・g269・g304)についても、コケムシ骨格は少量であるか、変色・摩耗して保存状態が非常に悪かつた。これらのうち比較的豊富にコケムシ骨格を含むg228(水深346 m)とg304(水深607 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。

2.4 浮遊性有孔虫分析

海洋表層に生息する動物プランクトンの一種である浮遊性有孔虫の炭酸塩殻は、遠洋域における生物源炭酸塩粒子として重要で(Schiebel, 2002)、例えば沖縄島周辺の水深1000 m以深では、表層堆積物の中粒砂サイズ粒子の80%以上を占める地点が認められる(板木, 2018a, 2022)など、南西諸島海域の堆積作用及び物質循環において大きな役割を担うと考えられる。浮遊性有孔虫殻の表層堆積物への集積過程は、水塊構造などに関連する表層での生産あるいは群集構造などの生物学的要因と、死後の水平・鉛直方向への輸送や堆積後の再移動など非生物学的要因に影響されると考えられる。以上の観点から、表層堆積物中の浮遊性有孔虫殻の群集組成、保存状態、サイズ分布に着目し、群集組成について9地点、保存状態と

サイズ分布についてはさらに1地点を加えて計10地点で分析を実施した。分析試料にはK-グラブで採取された表層堆積物の表層約1 cm部分を用いた。

群集組成分析用の試料は採取後、船上で直ちにローズ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または薬包紙に保存した。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63–2,000 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った。乾燥試料1–10 g程度を開口径63 μmの篩を用いて水洗し、40℃のオーブンで一晩以上乾燥させた。得られた残渣から開口径2 mmの篩を用いて礫サイズの粒子を除いた後、1画分あたり数十から最大で300個体程度を含むよう簡易分割器を用いて適宜半割を行った。分割した画分に含まれる全ての個体を、1試料あたり200–300個体を目安として実体顕微鏡下で拾い出した。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。

得られた全ての個体について、試料ごとに実体顕微鏡下において保存状態を観察し、主に殻表面の着色や鉱物粒子の付着の程度に従い定性的なグループ分けを以下のように行った。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鉱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–褐色の着色や鉱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として計数した。また、ランクA–Cの個体とは別に、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が認められる場合があり、これをランクDとした。

また拾い出した個体のうち、ランクD個体及び房室の破損により元のサイズに比べて小さくなっていると考えられるランクA–C個体(合わせて各試料の検討個体数の2–6%)を除いて、各個体のサイズ計測を行った。微化石用マイクロスライドに各個体の臍側面あるいは背側

面が鏡下で見えるようトラガカントゴムで固定し、双眼実体顕微鏡OLYMPUS SZX16に顕微鏡用デジタルカメラOLYMPUS DP74を接続して撮影を行った。1視野あたり最大45個体程度を含む画像を取得し、画像解析ソフトウェアOLYMPUS Streamを用いて最大径、最小径、シレット面積、等価円直径などのパラメータを取得した。本研究では、サイズを代表するパラメータとして予想的に最大径と最小径についてのみ検討を行った。

2.5 サンゴ類分析

K-グラブにより採泥したGB21-2およびGB21-3の全102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 μm, 74 μm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(Leica M165C)を用いて種の同定を行った。また、K-グラブ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、八放サンゴ、ヒドロサンゴの生息状況を検討した。

3. 堆積物採取・分析結果

3.1 表層堆積物採取結果

GB21-2/3航海では採泥を実施した102地点のうち計98地点(水深60–1201 m)においてK-グラブによる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1表に示した。また、採泥を実施した102地点のうち101地点で海底写真の撮影に成功した。サイトg343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。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を第2表に示す。サイトg301, g320, g348ではグラブ採泥器が作動しなかったため、それぞれ2回ずつ投入を行った。これら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それぞれ投入回数をつけ、g301-2, g320-2, g348-2とした。このほかサイトg149, g319, g350ではグラブ採泥器が作動せず、底質試料を得られなかったが、海底カメラの撮影及び底層水試料の採取に成功した。これらのグラブ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グラブは、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

第1表 GB21-2及びGB21-3航海で採取されたグラブ・コア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く主要構成物、5 mm以上残渣として回収された生物遺骸の一覧。

Table 1 List of grab and core samples collected during the GB21-2 and GB21-3 cruise, 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 vased on VCD	Organic residue
GB21-2	g12	K-grab	2021/7/27	14:02:23	28-52.8441 N	129-49.6912 E	244	251.7	0	Bioclastic coarse to medium sand	
GB21-2	g13	K-grab	2021/7/27	12:49:53	28-54.4981 N	129-55.9144 E	406	417.6	0	Bioclastic medium sand including coral and sponge spines	
GB21-2	g25	K-grab	2021/7/27	16:37:58	28-56.5691 N	129-41.4903 E	839	854.3	27	foraminifera bearing coarse to medium sand (19cm)	
GB21-2	g26	K-grab	2021/7/27	15:11:41	28-58.1767 N	129-47.8704 E	681	705.4	13	foraminifera bearing coarse to medium sand (11.9cm)	Mollusk, Crinoid, Barnacle, Sponge, Coral
GB21-2	g27	K-grab	2021/7/27	11:31:55	28-59.8176 N	129-54.07 E	673	684.7	0	Min-coated gravel and bioclasts	
GB21-2	g44	K-grab	2021/7/27	18:08:01	29-1.938 N	129-39.7905 E	940	951.8	22	medium sand rich in bioclasts (10.7cm)	
GB21-2	g45	K-grab	2021/7/28	7:54:17	29-3.6165 N	129-45.9852 E	999	1008.9	18	cterigenous coarse sand interbedded by foraminifera bearing medium sand (15.9cm)	Fish, Brachiopod, Sponge
GB21-2	g47	K-grab	2021/7/27	10:15:27	29-3.347 N	129-56.2131 E	793	806.6	4	foraminifera bearing medium sand (5.4cm)	Brachiopod, Arthropod, Sponge
GB21-2	g69	K-grab	2021/7/28	9:13:20	29-7.7937 N	129-46.9766 E	1025	1029.8	36	silty very fine sand (20.4cm)	Mollusk, Fish, Sea Urchin
GB21-2	g70	K-grab	2021/7/27	8:38:25	29-8.7866 N	129-54.3861 E	1201	1202.2	36	very fine sandy silt (20.6cm)	Fish, wood fragments
GB21-2	g93	K-grab	2021/7/28	10:50:43	29-11.8044 N	129-43.2593 E	1053	1058.2	36	very fine sandy silt (22.5cm)	Sponge, Ragworm, wood fragments
GB21-2	g94	K-grab	2021/7/28	18:14:51	29-16.0811 N	129-48.5085 E	1064	1071.9	36	silty clay (20.8cm)	Fish
GB21-2	g95	K-grab	2021/7/28	16:45:06	29-17.5776 N	129-54.76 E	1051	1064.4	36	silty clay overlapped by fine to very fine sand sized ash(2.5cm) (20cm)	
GB21-2	g118	K-grab	2021/7/28	12:24:29	29-17.5111 N	129-39.0261 E	942	948.4	33	fine to very fine sand (19.9cm)	Fish, Sponge
GB21-3	g119	K-grab	2021/11/20	17:40:18	29-23.3909 N	129-42.6053 E	933	936.4	18	foraminifera bearing very fine sandy silt (15.4cm)	Mollusk, Fish
GB21-2	g120	K-grab	2021/7/28	13:56:38	29-21.5219 N	129-46.683 E	1012	1019.6	36	very fine sand (20.1cm)	
GB21-2	g121	K-grab	2021/7/28	15:22:37	29-23.0265 N	129-52.9739 E	925	945.8	36	very fine sandy silt (22.5cm)	Snail, Fish
GB21-3	g122	K-grab	2021/11/5	4:40:49	29-24.7637 N	129-59.0974 E	968	985.9	4	scoria and bioclastic fine to very fine sand (7.9cm)	
GB21-3	g123	K-grab	2021/11/5	3:22:47	29-26.371 N	130-5.2913 E	605	620	1	very coarse to medium scoria sand and sub-angular calcareous sandstone	
GB21-3	g124	K-grab	2021/11/5	2:11:22	29-28.0052 N	130-11.5071 E	306	320	0	bioclastic fine to very fine sand	
GB21-3	g125	K-grab	2021/11/5	0:58:49	29-29.6034 N	130-17.7445 E	327	371.4	0	coral fragment, very coarse sand and angular mudstone	Mollusk, Sponge, Cnidaria
GB21-3	g144	K-grab	2021/11/20	16:06:57	29-24.4491 N	129-32.1209 E	652	736.2	0	sub-angular altered pumice pebbles to very coarse sand with cobbles	
GB21-3	g145	K-grab	2021/11/4	17:58:09	29-26.8688 N	129-44.8459 E	915	921.2	25	very fine sand patched by very fine sandy silt (1.6cm)	Shell, wood fragments
GB21-3	g146	K-grab	2021/11/4	19:30:44	29-28.547 N	129-50.9916 E	789	831.7	33	interbedding of foraminifera bearing pumiceous very fine sand and scoria rich(?) pumiceous very coarse sand (17.1cm)	
GB21-3	g147	K-grab	2021/11/4	20:56:09	29-30.1386 N	129-57.2296 E	801	807.8	18	scoria pebbles and poorly sorted sandy matrix (12.9cm)	Shell, Fish
GB21-3	g148	K-grab	2021/11/4	22:18:15	29-31.7512 N	130-3.4417 E	671	694.9	31	weakly upward fining of angular scoria granules with foraminifera and bioclasts (11.4cm)	Shell, Echinodermata, Barnacle, Arthropod, Bryozoa, Sponge, Cnidaria, Ragworm
GB21-3	g149	K-grab	2021/11/4	23:33:55	29-33.3875 N	130-9.5926 E	490	506.3	--	no sediment sample	
GB21-3	g150	K-grab	2021/11/13	0:15:42	29-35.0375 N	130-15.9132 E	423	431.9	1	bioclastic scoria pebbles to coarse sand (pteropod, foramedium, coral-rich)	Sponge, Cnidaria
GB21-3	g151	K-grab	2021/11/13	1:21:42	29-36.6548 N	130-22.1134 E	313	315.5	0	altered pumice(?) pebbles to medium sand rich in organism	Sponge
GB21-3	g168	K-grab	2021/11/20	14:48:21	29-27.4277 N	129-24.4289 E	861	865.9	31	foraminifera bearing silty very fine sand (17.5cm)	Pteropod, Sponge, wood fragments
GB21-3	g169	K-grab	2021/11/20	11:57:28	29-29.0328 N	129-30.6314 E	923	932.6	16	ash rich medium to fine sand (12.9cm)	Brachiopod, Sponge
GB21-3	g170	K-grab	2021/11/20	10:29:44	29-30.6561 N	129-36.7512 E	837	896.4	0	altered sandstone(?) pebbles to medium sand	
GB21-3	g171	K-grab	2021/11/20	9:03:42	29-32.3959 N	129-42.9255 E	799	806	18	volcanic fine sand interbedded by foraminifera rich fine sand (11.5cm)	

GB21-2, GB21-3 航海における表層採泥調査結果 (鈴木ほか)

GB21-3	g172	K-grab	2021/11/12	18:16:13	29-35.8496 N	129-45.1156 E	401	442.6	0	scoraceous(?) medium to fine sand with coral fragment		
GB21-3	g173	K-grab	2021/11/12	21:12:49	29-35.6634 N	129-55.5406 E	727	738	22	sub-angular scoria pebbles and foraminifera bearing fine sandy matrix (10.7cm)		
GB21-3	g174	K-grab	2021/11/12	22:28:34	29-37.2147 N	130-1.5352 E	525	547.8	2	altered calcite-cemented(?) sandstone pebbles and bioclastic coarse to medium sand	Mollusk, Echinodermata, Sponge, Chidaria	
GB21-3	g175	K-grab	2021/11/13	3:35:46	29-38.8917 N	130-7.78 E	554	567.6	15	interbedding of poorly sorted scoria-rich coarse to medium sand and foraminifera bearing fine to very fine sand (11.3cm)	Mollusk, Coral	
GB21-3	g196	K-grab	2021/11/20	13:18:39	29-34.5414 N	129-28.6448 E	780	784.5	24	ash-rich very fine sand (15.9cm)	Fish, Ragworm, wood fragments	
GB21-3	g198	K-grab	2021/11/12	19:19:56	29-39.4104 N	129-47.3132 E	507	529.7	18	scoria and ash rich fine sand patched by foraminifera(?) bearing finesand (14.3cm)	Mollusk, Sponge	
GB21-3	g199	K-grab	2021/11/15	18:06:22	29-42.8066 N	129-54.6632 E	669	679.5	22	poorly sorted bioclastic and scoriaceous medium to coarse sand overlapping sub-angular scoria pebble and ash-rich medium to fine sand (13.1cm)	Shell	
GB21-3	g200	K-grab	2021/11/13	5:16:52	29-42.6446 N	129-59.7237 E	601	610.5	18	ash-rich fine to very fine sand and scoria pebbles (10.4cm)	Mollusk	
GB21-3	g201	K-grab	2021/11/15	21:53:23	29-44.2746 N	130-6.0069 E	736	762.9	2	semi-consolidated sandstone fragments and foraminifera rich bioclastic medium sand (7.5cm)		
GB21-3	g202	K-grab	2021/11/15	22:55:01	29-45.3386 N	130-10.137 E	519	523	13	foraminifera and bioclast rich medium sand (13.4cm)	Mollusk, Sea Urchin, Brachiopod, Sponge, Coral	
GB21-3	g221	K-grab	2021/11/19	8:27:56	29-39.9401 N	129-26.674 E	659	668.5	9	foraminifera bearing bioclast-rich medium sand (9.9cm)	Mollusk, Shark, Brachiopod, Coral	
GB21-3	g226	K-grab	2021/11/16	2:21:01	29-49.7286 N	130-4.092 E	569	575.8	18	interbedding of bioclast-rich coarse to medium sand and bioclast-rich poorly sorted coarse to fine sand (16.4cm)	Mollusk, Sea Urchin, Brachiopod, Sponge, Coral	
GB21-3	g227	K-grab	2021/11/16	1:14:01	29-52.216 N	130-10.8326 E	320	325.7	0	bioclasts and calcite-cemented pebbles to coarse sand	Sponge	
GB21-3	g228	K-grab	2021/11/16	0:15:08	29-53.0052 N	130-16.5125 E	346	349.1	0	bioclast-rich medium to very coarse sand		
GB21-3	g244	K-grab	2021/11/21	14:50:41	29-45.3928 N	129-24.9019 E	136	135.9	0	bioclast-rich pumiceous(?) very coarse sand with rich organism		
GB21-3	g245	K-grab	2021/11/19	9:59:38	29-46.923 N	129-31.0903 E	560	569.6	18	medium to coarse sandy sized foram-rich bioclasts (14.5cm)	Mollusk, Echinodermata, Bryozoa, Coral	
GB21-3	g246	K-grab	2021/11/19	11:12:46	29-48.6881 N	129-37.3544 E	604	611.7	16	ash rich fine to very fine sand (12.4cm)	Mollusk, Echinodermata, Coral	
GB21-3	g247	K-grab	2021/11/19	12:33:02	29-50.1341 N	129-43.6298 E	582	596.1	7	inter-bedding of foraminifera bearing bioclastic medium to very coarse sand and medium to fine sand (11.1cm)	Mollusk, Brachiopod, Arthropod, Bryozoa, Sponge	
GB21-3	g248	K-grab	2021/11/15	3:51:35	29-53.5244 N	129-55.9708 E	520	527.9	15	foraminifera-rich medium sand (14.8cm)	Coral	
GB21-3	g249	K-grab	2021/11/15	2:40:54	29-55.165 N	130-2.2322 E	624	629.4	13	foraminifera bearing ash-rich fine sand (10.9cm)		
GB21-3	g250	K-grab	2021/11/15	1:29:27	29-56.778 N	130-8.4167 E	599	606.3	33	foraminifera bearing bioclastic coarse to medium sand (interbedding of medium and coarse) (21.9cm)		
GB21-3	g264	K-grab	2021/11/21	13:54:01	29-47.3029 N	129-20.8613 E	651	658.7	22	foraminifera-rich medium to fine sand (13.6cm)	Mollusk, Fish, Sponge	
GB21-3	g265	K-grab	2021/11/21	12:51:35	29-50.8193 N	129-23.0847 E	478	483.9	0	Mn-coated calcareous sandstone pebbles and foram-rich (~50%) medium to fine sand		
GB21-3	g266	K-grab	2021/11/21	16:02:12	29-52.4372 N	129-29.3784 E	665	672.7	13	foraminifera-rich coarse to medium sand patched by fine sand (16.4cm)	Mollusk, Sea Urchin	
GB21-3	g267	K-grab	2021/11/19	13:53:27	29-55.6912 N	129-41.885 E	591	605.1	13	foraminifera bearing medium sand (8.2cm)	Mollusk, Sea Urchin, Brachiopod, Bryozoa, Coral	
GB21-2	g268	K-grab	2021/7/29	7:27:26	29-57.3591 N	129-47.8854 E	455.7	455.7	13	poorly sorted bioclastic medium sand (11cm)	Mollusk, Bryozoa, Cnidaria, Organic remains	
GB21-3	g269	K-grab	2021/11/16	3:59:44	30-0.5846 N	130-0.3375 E	644	662.1	27	sub-rounded and bioclastic coarse to very coarse sand and pebbles (18.4cm)	Mollusk, Arthropod, Bryozoa, Sponge, Coral	
GB21-3	g270	K-grab	2021/11/15	00:22:31	30-2.2152 N	130-6.5904 E	268	274.8	15	sub-angular very coarse sandy to granule-sized bioclasts and bioclast-rich coarse to very coarse sand (11cm)	Organic remains	
GB21-3	g271	K-grab	2021/11/14	23:06:59	30-3.3119 N	130-13.9385 E	575	583.2	0	altered pumice pebbles to coarse sand with coral fragments	Coral	
GB21-3	g283	K-grab	2021/11/21	11:22:35	29-57.996 N	129-27.4595 E	628	637.4	18	foraminifera-rich bioclastic medium to fine sand (14.8cm)	Mollusk, Echinodermata, Sponge, Coral	
GB21-3	g284	K-grab	2021/11/21	17:27:26	29-59.5282 N	129-33.7123 E	594	604.4	13	foraminifera-rich fine to medium sand (11cm)	Coral	
GB21-3	g285	K-grab	2021/11/19	15:12:56	30-1.2657 N	129-39.8079 E	643	648	15	foraminifera bearing ash-rich medium to fine sand (12.9cm)	Mollusk, Sea Urchin	
GB21-2	g286	K-grab	2021/7/29	8:37:24	30-2.8013 N	129-46.027 E	479	488.8	16	bioclastic coarse to medium sand (15cm)	Shell, Brachiopod, Sponge, Coral	
GB21-2	g287	K-grab	2021/7/29	9:41:51	30-4.384 N	129-52.2696 E	60	58	0	Bioclastic medium sand	Organic remains	
GB21-2	g288	K-grab	2021/7/29	10:53:24	30-5.9241 N	129-58.6266 E	584	590.3	18	Bioclastic coarse sand (14.8cm)	Shell, Bryozoa, Sponge, Coral	
GB21-3	g289	K-grab	2021/11/14	20:47:11	30-7.6099 N	130-4.7658 E	352	357.2	0	bioclast-rich medium sand and sub-rounded Mn-coated sandstone pebbles		

GB21-3	g290	K-grab	2021/11/14	21:49:17	30-5.2025 N	130-10.9401 E	570	575.5	11	foraminifera bearing bioclastic medium sand patched by well-sorted fine sand (13.5cm)	Mollusk, Echinodermata, Coral
GB21-3	g291	K-grab	2021/11/16	23:55:51	30-10.8072 N	130-17.1606 E	563	568.9	7	bioclastic medium sand patched by ash-rich(?) fine sand (11.5cm)	Mollusk, Coral
GB21-3	g299	K-grab	2021/11/21	9:53:22	30-5.1237 N	129-31.8315 E	584	594.3	9	foraminifera-rich medium to fine sand (11cm)	
GB21-3	g300	K-grab	2021/11/19	16:31:43	30-6.5817 N	129-37.9208 E	644	653.8	0	Mn-coated sub-rounded pebbles and foraminifera-rich coarse to medium sand	
GB21-3	g301-1	K-grab	2021/11/19	17:44:04	30-8.261 N	129-44.1054 E	563	565.4	--	no sediment sample	
GB21-3	g301-2	K-grab	2021/11/19	18:13:47	30-8.2573 N	129-44.136 E	570	582.7	0	Mn-coated sub-rounded pebbles and bioclastic coarse to medium sand	
GB21-3	g302	K-grab	2021/11/14	18:20:39	30-9.8953 N	129-50.3445 E	606	613	16	foraminifera bearing fine to very fine sand (13.3cm)	Mollusk, Sponge
GB21-3	g303	K-grab	2021/11/14	19:34:49	30-11.4956 N	129-56.651 E	619	626.3	13	bioclastic fine to very fine sand (11.9cm)	Mollusk, Sponge
GB21-3	g304	K-grab	2021/11/16	22:18:26	30-13.1486 N	130-2.7209 E	607	612	27	poorly sorted bioclastic pebbles to fine sand (16.5cm)	Mollusk, Brachopod, Arthropod, Bryozoa, Sponge, Coral
GB21-3	g305	K-grab	2021/11/17	21:18:37	30-14.7903 N	130-9.0264 E	282	292.4	0	bioclast-rich sub-rounded very coarse sand	Bryozoa, Coral
GB21-3	g306	K-grab	2021/11/17	1:11:04	30-16.3211 N	130-15.3099 E	595	597.3	7	bioclastic medium sand patched by ash-rich(?) fine sand (12.6cm)	
GB21-3	g315	K-grab	2021/11/16	18:42:56	30-15.3425 N	129-48.6219 E	636	641.5	9	poorly sorted foraminifera bearing medium to fine sand (11.9cm)	Mollusk, Brachopod, Coral
GB21-3	g316	K-grab	2021/11/16	21:06:39	30-15.0611 N	129-55.4408 E	618	624	16	ash-rich foraminifera bearing fine sand (14.1cm)	Sea Urchin, Sponge, Ragworm
GB21-3	g317	K-grab	2021/11/17	3:38:07	30-18.6162 N	130-0.8627 E	615	617	15	muddy-patched foraminifera bearing ash rich fine to very fine sand (12.5cm)	
GB21-3	g318	K-grab	2021/11/18	4:07:03	30-20.1703 N	130-7.1715 E	599	606.8	4	foraminifera bearing medium to fine sand (6.8cm)	
GB21-3	g319	K-grab	2021/11/18	2:58:29	30-21.8632 N	130-13.4014 E	626	628.7	--	no sediment sample	
GB21-3	g320-1	K-grab	2021/11/18	1:08:08	30-23.9701 N	130-18.5618 E	590	592.1	--	no sediment sample	
GB21-3	g320-2	K-grab	2021/11/18	1:52:48	30-23.9731 N	130-18.5569 E	590	592.3	4	poorly sorted sub-angular-very coarse to medium sand interbedded by foraminifera bearing medium to fine sand (10.3cm)	
GB21-3	g326	K-grab	2021/11/24	11:49:48	30-19.0955 N	129-40.4151 E	548	553.8	2	semi-consolidated mud(sand?)stone	Sponge
GB21-3	g327	K-grab	2021/11/16	19:46:43	30-18.6917 N	129-45.4074 E	676	680.5	2	foraminifera bearing medium to fine sand (4.6cm)	
GB21-3	g328	K-grab	2021/11/17	4:51:19	30-20.545 N	129-53.4639 E	639	642.5	27	foraminifera bearing ash-rich fine to very fine sand (14cm)	
GB21-3	g329	K-grab	2021/11/18	5:33:38	30-23.9852 N	129-59.0226 E	639	644.3	4	foraminifera rich medium to fine sand (6cm)	
GB21-3	g330	K-grab	2021/11/17	23:34:45	30-25.6267 N	130-5.2652 E	636	644.4	16	ash-rich very fine sand (10.9cm)	Mollusk, Sponge
GB21-3	g331	K-grab	2021/11/14	1:26:42	30-28.8807 N	130-17.7406 E	546	552.5	11	foraminifera bearing poorly sorted medium sand patched by bioclastic coarse to medium sand (10cm)	Mollusk, Brachopod, Sponge, Ragworm
GB21-3	g337	K-grab	2021/11/24	13:04:47	30-23.6533 N	129-38.8635 E	752	754.6	5	poorly sorted foraminifera bearing coarse to fine sand patched by ash-rich medium to fine sand (5.5cm)	
GB21-3	g340	K-grab	2021/11/14	4:31:55	30-30.4798 N	129-56.7746 E	598	603.5	36	foraminifera bearing fine sandy silt with fine sandy patch (burrow?) (20.4cm)	
GB21-3	g341	K-grab	2021/11/17	22:26:22	30-29.6103 N	130-4.8592 E	636	639.5	36	ash-rich foraminifera-bearing very fine sandy silt (21cm)	Mollusk, Sponge, Ragworm, wood fragments
GB21-3	g342	K-grab	2021/11/14	02:50:55	30-32.5421 N	130-9.698 E	592	593	36	foraminifera-bearing very fine sandy silt (24cm)	Mollusk
GB21-3	g343	K-grab	2021/11/14	0:23:39	30-33.852 N	130-16.0847 E	502	516.3	36	foraminifera bearing silt (20.9cm)	Mollusk, Sponge, Ragworm
GB21-3	g348-1	K-grab	2021/11/17	18:50:18	30-31.6691 N	129-42.857 E	615	619.2	--	no sediment sample	
GB21-3	g348-2	K-grab	2021/11/17	19:25:42	30-31.6745 N	129-42.9391 E	615	617.4	--	no sediment sample	
GB21-3	g350	K-grab	2021/11/17	20:55:32	30-34.9459 N	129-55.2022 E	545	547.2	--	no sediment sample	
GB21-3	g351	K-grab	2021/11/13	22:05:25	30-36.5536 N	130-1.4858 E	185	187.2	18	well sorted medium sand (ash?) interbedded by pumiceous pebbles, granules and coarse sand (12.9cm)	Mollusk, Brachopod, Arthropod, Coral
GB21-3	g352	K-grab	2021/11/13	23:04:04	30-38.1473 N	130-7.6854 E	184	192.1	0	semi-altered pumice pebbles and very coarse sand and foraminifera bearing medium to fine sand	
GB21-3	g356	K-grab	2021/11/13	19:21:35	30-37.2985 N	129-40.8755 E	536	543.6	18	coarse sandy bioclast interbedded by foraminifera rich bioclastic very coarse sand to granules (12.9cm)	Mollusk, Sponge, Cnidaria, Ragworm
GB21-3	g358	K-grab	2021/11/13	20:50:49	30-40.4442 N	129-53.3488 E	472	476.2	16	foraminifera bearing fine sand (12.3cm)	Mollusk, Echinodermata, Sponge, Coral

GB21-2, GB21-3 航海における表層採泥調査結果 (鈴木ほか)

第2表 グラブ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. 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 2 Orientation, inclination and orientation data at 2 m above the seafloor (2 m asb) at the time of landing of K-grab. 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)
GB21-2	g12	294.6	1.5	4.78	305.9	flat bed with gravels	
GB21-2	g13	97.6	-0.31	2.09	94.6	flat bed	
GB21-2	g25	208.5	7.32	-1.53	211.5	rippled(?) bed	
GB21-2	g26	138.2	-2.22	1.27	139.1	flat bed	
GB21-2	g27	312.8	-1.97	0.11	317.4	outcrop	
GB21-2	g44	185.8	0.77	2.21	186.4	flat bed with gravels	
GB21-2	g45	71.2	1.11	3.51	65.4	flat bed	
GB21-2	g47	152.5	-2.38	2.61	149.4	outcrop overlapped by sand	
GB21-2	g69	326.1	1.8	1.93	325.6	flat bed with burrows	
GB21-2	g70	121.1	1.78	3.68	120.7	flat bed	
GB21-2	g93	38.1	1.44	4.94	55.0	muddy cloud	
GB21-2	g94	6.4	0.93	1.52	11.4	flat bed with burrows	
GB21-2	g95	354.1	4.04	-2.33	7.4	flat bed	
GB21-2	g118	203.2	-1.36	2.34	207.5	flat bed	
GB21-3	g119	12.9	-1.66	1.52	22.7	flat bed with burrows	
GB21-2	g120	334.2	0.54	2.04	333.5	muddy cloud	
GB21-2	g121	279.9	-1.38	2.75	281.6	flat bed	
GB21-3	g122	315	0.04	1.15	315.1	flat bed	
GB21-3	g123	6.8	9.83	6.85	11.8	flat bed(outcrop?)	
GB21-3	g124	145	-1.65	3.27	152.3	outcrop with rich organism	
GB21-3	g125	160.9	-2.82	7.36	154.8	outcrop and boulders with rich organism	
GB21-3	g144	141.8	16.03	-0.56	140.2	outcrop	
GB21-3	g145	208.5	-1.21	1.19	213.2	flat bed	
GB21-3	g146	242.8	-0.44	1.67	241.6	flat bed	
GB21-3	g147	351.7	1.39	4.04	350.2	flat bed	
GB21-3	g148	81.2	-9.9	21.8	77.4	flat bed	
GB21-3	g149	185.1	-2.33	4.19	188.4	rippled bed with rich bioclasts	77.4
GB21-3	g150	171.9	-14.72	2.21	104.7	flat bed	
GB21-3	g151	251.1	-1.41	11.6	246.7	outcrop	
GB21-3	g168	185.1	-3.68	0.94	193.0	flat bed	
GB21-3	g169	356.2	-0.05	4.45	2.7	rippled bed	145.7
GB21-3	g170	81.3	11.71	29.36	95.0	outcrop	
GB21-3	g171	141.4	-1.66	3	153.2	chaotic rippled bed	??
GB21-3	g172	131.7	20.85	-33.78	116.3	outcrop	
GB21-3	g173	166.1	0.55	2.9	158.3	flat bed (?)	
GB21-3	g174	194.6	-2.24	6.74	189.4	outcrop covered by bioclastic sediment	
GB21-3	g175	295.9	-1.24	2.08	292.2	flat bed	
GB21-3	g196	185.7	-1.48	0.93	190.3	rippled bed	147.3
GB21-3	g198	266.6	-4.24	-2.2	271.9	flat bed	
GB21-3	g199	44.3	1.47	4.14	42.1	rippled bed	42.1
GB21-3	g200	350.6	-0.14	1.02	354.7	flat bed	
GB21-3	g201	168.8	-0.85	1.76	161.1	flat bed	
GB21-3	g202	187.8	1.19	1.32	188.1	flat bed	
GB21-3	g221	351.3	-3.5	-2.11	352.5	flat bed with gravels	
GB21-3	g226	78	0.29	2.26	76.9	flat bed	
GB21-3	g227	68	4.61	0.95	71.8	outcrop	
GB21-3	g228	24	-5.65	-0.52	35.5	outcrop covered by bioclastic sediment	
GB21-3	g244	1.6	-2.51	2.85	357.5	outcrop with sediment (sand?) and rich organism	
GB21-3	g245	61.1	-3.78	6.22	65.8	flat bed with gravels	
GB21-3	g246	207.3	-0.84	1.64	208.3	flat bed	
GB21-3	g247	157.7	1.66	1.01	154.0	faint rippled bed	8.0
GB21-3	g248	266.6	3.37	4.17	275.6	rippled bed	316.6
GB21-3	g249	192.4	0.63	3.84	201.8	flat bed with gravels	
GB21-3	g250	20.3	6.86	-0.21	23.4	chaotic rippled bed	??
GB21-3	g264	6.3	1.61	0.92	6.4	flat bed	
GB21-3	g265	150.3	-5.69	-1.53	140.4	gravels overlapped by sediment	

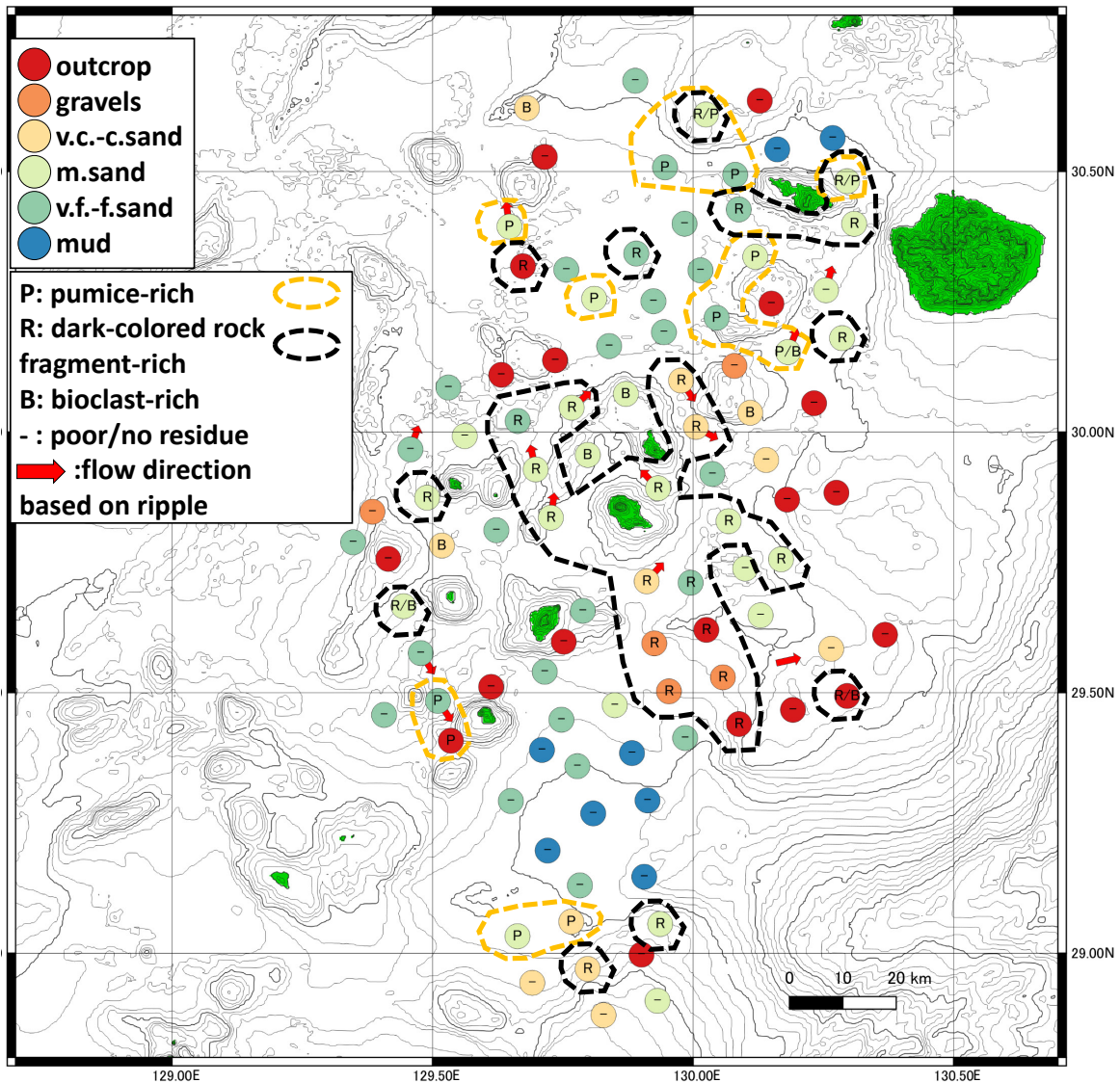
第2表 続き.
Table 2 Continued.

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)
GB21-3	g266	126.8	-3.14	-3.16	129.5	flat bed	
GB21-3	g267	108.7	-1.01	9.12	114.5	rippled bed	347.5
GB21-2	g268	156.4	-1.12	-1.05	162.6	faint rippled bed	
GB21-3	g269	277.9	-1.79	4.1	283.2	rippled bed (wave length ~1m)	119.2
GB21-3	g270	271.7	-1.22	5.02	287.6	flat bed	
GB21-3	g271	97.4	-2.67	-6.08	94.1	channel of 10cm width covered by rippled sediment on outcrop	
GB21-3	g283	43	-1.15	-0.66	34.0	rippled bed	19.0
GB21-3	g284	98.3	0.42	-0.93	97.5	flat bed	
GB21-3	g285	342.1	-1.58	2.81	347.8	flat bed with gravels (outcrop?)	
GB21-2	g286	183.4	1.13	0.27	186.9	rippled bed	49.8
GB21-2	g287	264	0.8	4.08	222.8	flat bed with rich organism	
GB21-2	g288	92.9	0.73	6.33	99.5	rippled bed	146.5
GB21-3	g289	103.1	2.18	-2.1	100.9	outcrop with gravels	
GB21-3	g290	103.1	-2.35	-2.9	99.7	rippled bed	21.7
GB21-3	g291	275.7	1.97	6.94	268.3	mottled flat bed	
GB21-3	g299	358.3	-1.39	1.29	346.5	flat bed	
GB21-3	g300	322.2	-3.03	7.04	329.0	outcrop	
GB21-3	g301-1	41.8	51.11	-11.03	18.0	outcrop with rich organism	
GB21-3	g301-2	312.9	6.42	-15.12	29.4	outcrop with rich organism	
GB21-3	g302	289.4	0.27	2.31	289.7	flat bed	
GB21-3	g303	16.1	-2.85	0.11	12.0	flat bed	
GB21-3	g304	174.4	-1.26	2.05	173.9	flat bed	
GB21-3	g305	140.1	-1.23	0.87	146.0	outcrop with rich organism and bioclasts	
GB21-3	g306	36.6	-0.55	4.52	35.3	rippled bed	14.3
GB21-3	g315	269	1.09	8.34	276.1	flat bed with gravels	
GB21-3	g316	141.7	-0.32	-4.37	145.1	flat bed	
GB21-3	g317	145.4	-1.38	1.13	144.5	flat bed with densely distributed ophiuroids	
GB21-3	g318	123.2	0.66	-0.74	124.4	flat bed with gravels	
GB21-3	g319	203.9	-1.04	3.01	206.7	faint rippled bed(?)	??
GB21-3	g320-1	163.9	-1.5	2.1	174.7	flat bed	
GB21-3	g320-2	263.8	-2.7	4.05	270.3	flat bed	
GB21-3	g326	97.5	-16.69	0.45	99.3	outcrop	
GB21-3	g327	79	-1.13	1.45	76.1	flat bed with gravels	
GB21-3	g328	ND	ND	ND	ND	flat bed with densely distributed ophiuroids	
GB21-3	g329	222.1	-2.51	4.62	231.5	flat bed with densely distributed ophiuroids	
GB21-3	g330	123.7	-1.14	2.51	128.8	flat bed with densely distributed ophiuroids	
GB21-3	g331	306.4	-1.39	3.5	314.8	flat bed	
GB21-3	g337	319.2	-3.82	3.19	318.2	faint rippled bed with gravels	352.2
GB21-3	g340	209.1	-1.96	2.1	209.2	flat bed with densely distributed ophiuroids	
GB21-3	g341	347.8	-0.67	2.98	355.4	flat bed	
GB21-3	g342	357.4	1.18	1.56	356.5	muddy cloud	
GB21-3	g343	287.7	-2.13	2.43	298.7	no photo	
GB21-3	g348-1	157.9	-1.49	0.79	153.2	outcrop with bioclasts	
GB21-3	g348-2	126	-3.75	0.07	133.3	outcrop	
GB21-3	g350	11.3	-3.99	2.76	22.4	flat bed	
GB21-3	g351	302.7	-0.88	2.92	307.2	flat bed with pebbles	
GB21-3	g352	320.8	1.11	1.2	318.9	outcrop	
GB21-3	g356	241.6	-2.27	1.46	240.5	flat bed	
GB21-3	g358	104.5	-0.27	2.32	109.3	flat bed	

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グラフ本体に落着かない、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、GB21-3航海中の

11/18以降、メインワイヤー傾角から推測される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。



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、充分量のメッシュ洗浄をした結果残渣の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。オレンジ及び黒色の破線はそれぞれパミス質、暗色岩片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 GB21-1 cruise. 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 and black dashed lines indicate the areas where pumice and dark-colored rock fragment deposits are found, respectively. Sea-bottom topography is based on Kishimoto (2000).

・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、サイトg329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。これらの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。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、19地点が露頭、4地点が礫質堆積物と分類された。採取水深範囲は露頭が136～837 m、礫質堆積物478～801 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海脚から分岐する尾根上地形とその周辺、奄美海脚、悪石島周辺、諏訪瀬島南東方、権曾根、サンゴ曾根周辺から東新曾根に連なる地形の高まり、黒島堆の西部、口永良部島南方の地形の高まりに分布する。礫質堆積物は種子・屋久海脚の西方と、権曾根の北方に局所的に分布する。露頭と認定された19地点のうち17地点では露頭の表面を覆う礫、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、海底写真の観察に基づいて露頭と認定した。

悪石島南西方のサイトg144では、グラフ採泥器作動時に露頭から剥離したと見られるパミス質の垂角礫が採取された(第3図A)。また、サンゴ曾根から東新曾根に連なる地形の高まりのサイトg326では、グラフ採泥器作動時に海底から剥離したと見られる半固結の石灰質泥質砂岩が採取された(第3図B)。

礫質堆積物は種子・屋久海脚の西方、諏訪之瀬島との中間部に位置する3地点(サイトg147, g148, g173)及び権曾根北方斜面(サイトg265)から採取された。種子・屋久海脚-諏訪之瀬島の中間の3地点はいずれもスコリア質の礫を主要成分とし(サイトg173の例: 第3図C)、基質として淘汰が悪く有孔虫を含み、珪質碎屑物を主体とする砂質堆積物を少量含む(サイトg147サブコア試料の例: 第5図A)。権曾根北方のサイトg265では少量の砂質堆積物のみが採取されたが、海底写真上では砂質堆積物に覆われる形で粒径数cm～数十cmの垂角礫が分布しており、主たる底質としては礫質堆積物と認定した(第3図D)。

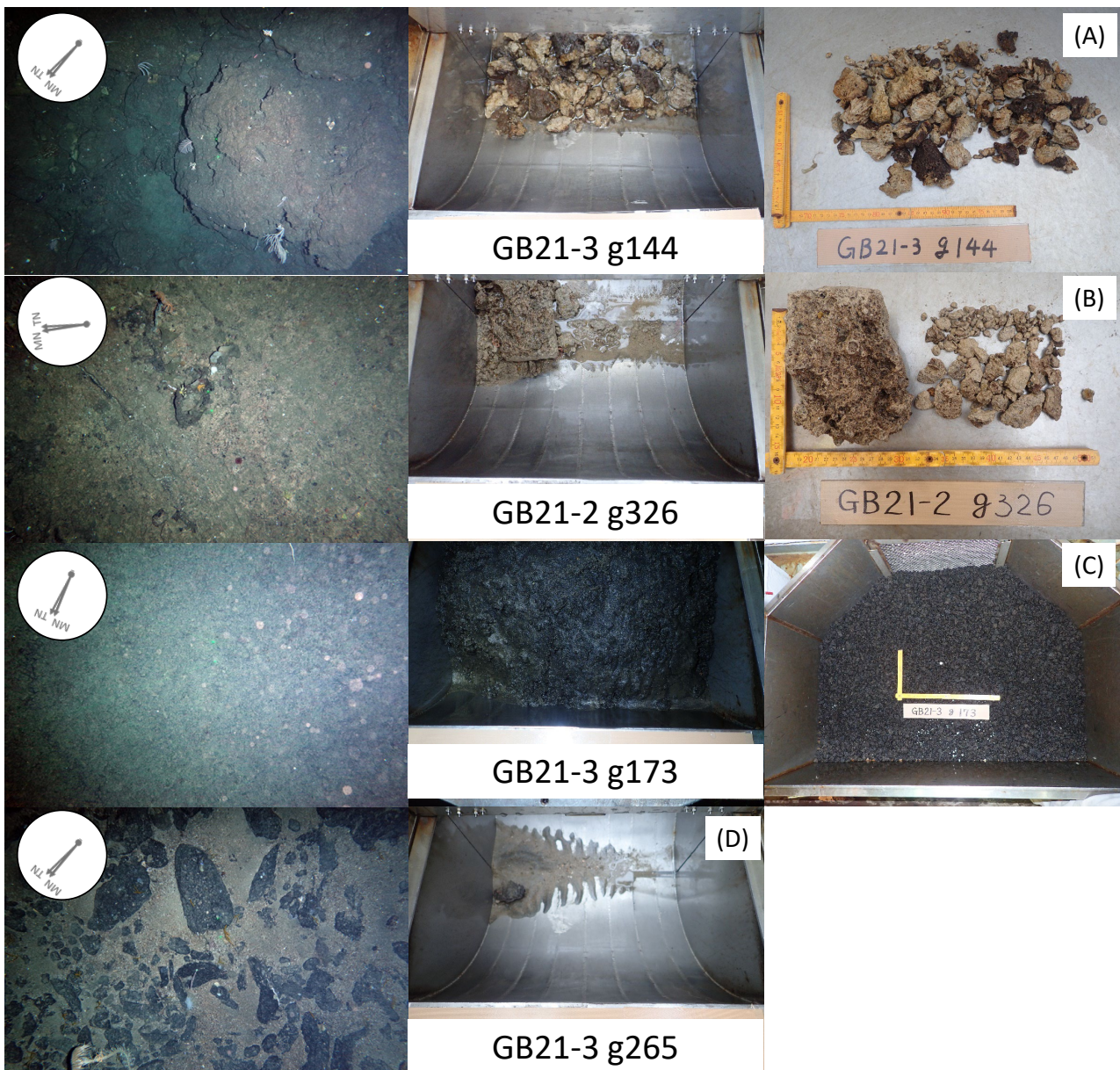
3.3 砂質堆積物

調査海域における主たる底質として、68地点が砂質堆積物と分類された。うち30地点が極細粒～細粒砂質(水深352～1025 mで採取)、26地点が中粒砂質(水深60～940 mで採取)、12地点が粗粒～極粗粒砂質(水深244～999 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に近い組成を持ち、灰色～灰黄色のパミス質ないし、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(第4図A～C)。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。たとえば口之島東方のサイトg270では、軟体動物、刺胞動物、コケムシ類の殻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は大島新曾根北方、悪石島西方、口之島から口永良部島、黒島堆にかけての海域に点在している。暗色岩片質の残渣を多く含む堆積物は奄美海脚付近、種子・屋久海脚西方から中之島周辺にかけての海域、口永良部島周辺など、島嶼部や地形の高まりの周辺に密集して存在する傾向がある。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口之島北西方、東新曾根北方の地形の高まりなどに局所的に確認された。

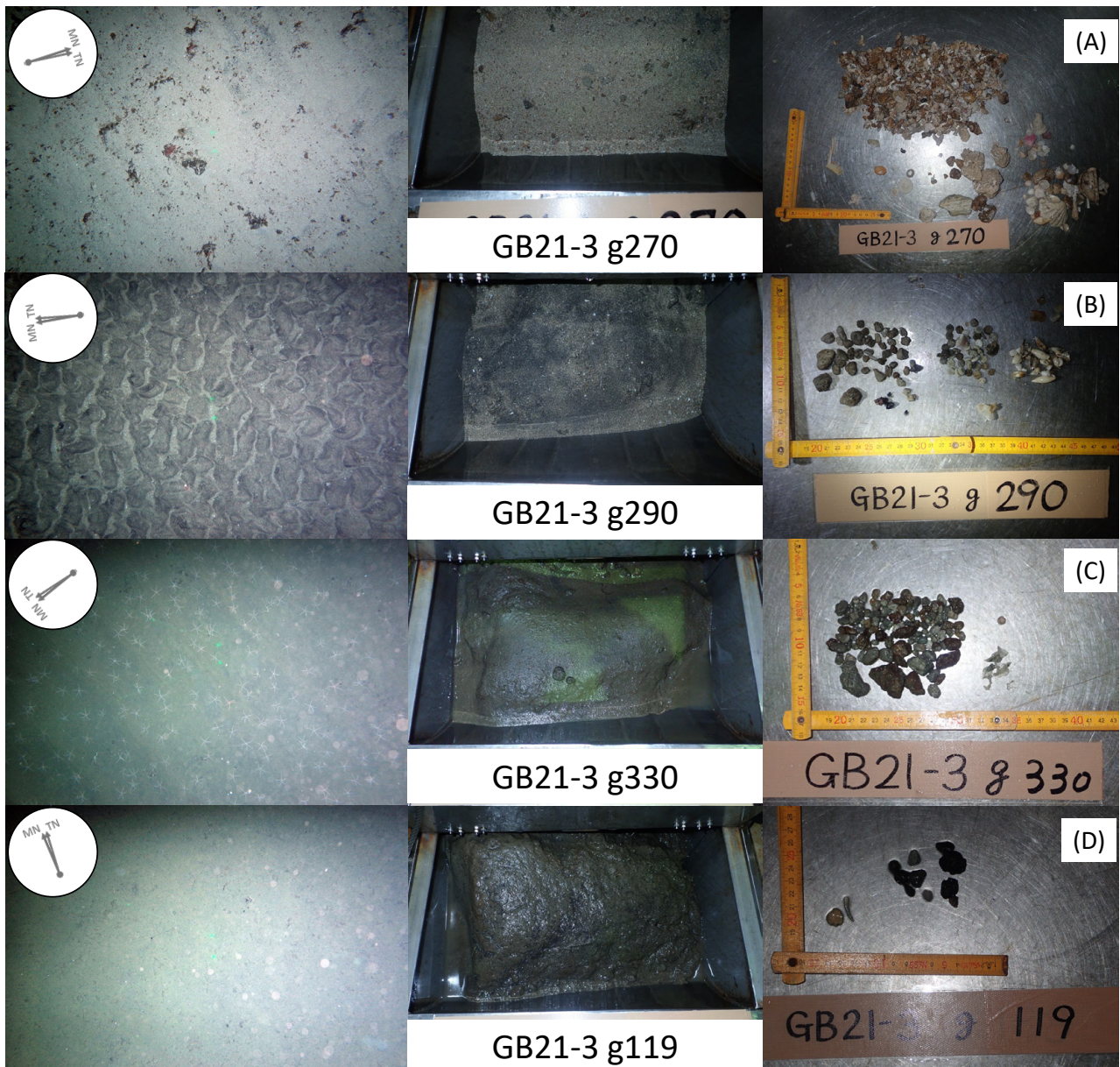
砂質堆積物が採取された地点のうち15地点で海底写真上にリップルが観察された。その多くは諏訪之瀬島南方から西方、中之島周辺、臥蛇島周辺、口之島から口永良部島にかけての浅海域など、トカラ列島を東西に取り囲む14地点(サイトg169, g171, g196, g199, g247, g248, g250, g267, g269, g286, g283, g288, g290, g306)と、東新曾根南方の1地点(サイトg337)である。口之島北西方のサイトg269では波長1 m程度のメガリップルが観察された。リップルが確認された地点ではサブコア試料にも粒径や淘汰度、粒子組成の異なる堆積物が斜交しつつ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(サイトg169の例: 第5図B)。

この他、K-グラフが作動せず海底写真のみが撮影でき、底質を「不明」とした、種子・屋久海脚西側のサイトg149



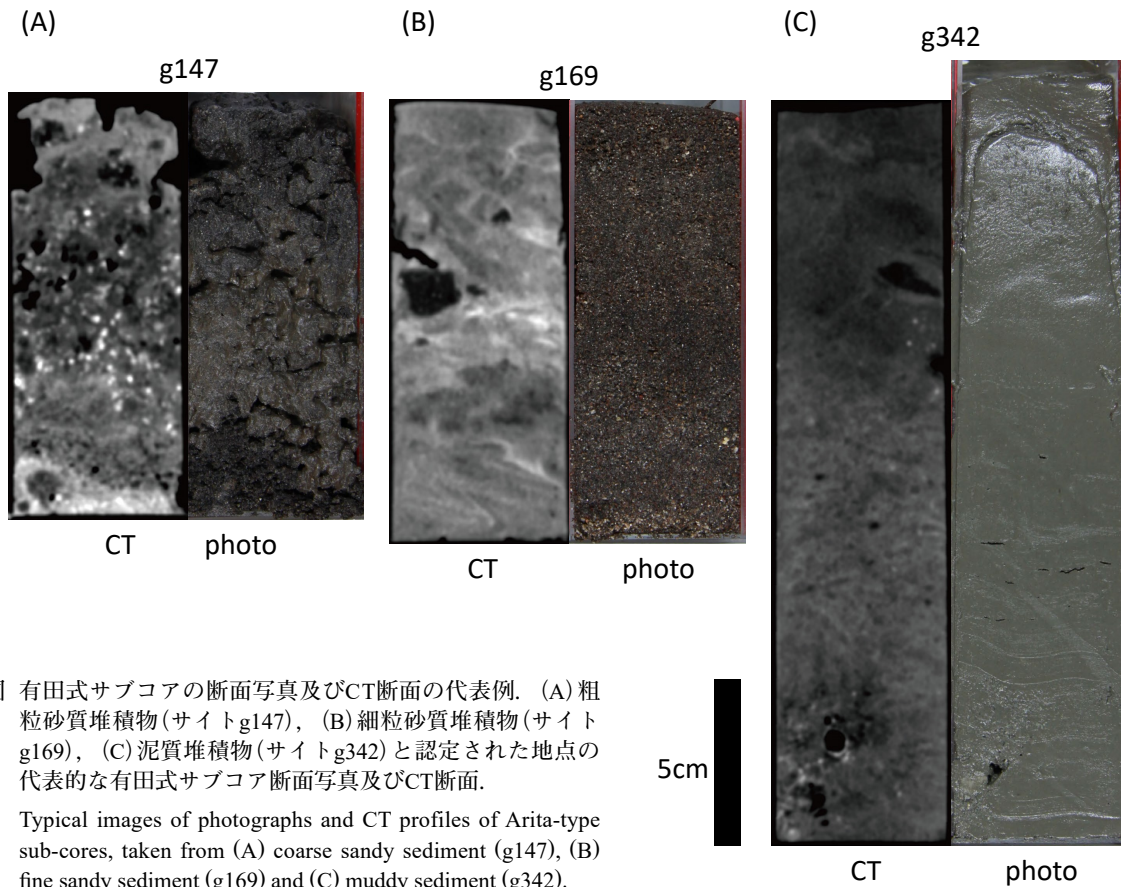
第3図 露頭、礫質堆積物と認定された地点の写真。海底写真には撮影時の方位(真北:TN, 磁北:MN)も示した。海底写真に写り込んだ緑色の光点(レーザースケール)の間隔は10 cmである。(A)(B)露頭と認定されたサイトg144, g326の海底写真, グラブ表面写真および5 mmメッシュで洗浄後の残渣。(C)礫質堆積物と認定されたサイトg173の海底写真, グラブ表面写真及び5 mmメッシュで洗浄後の残渣。(D)礫質堆積物と認定されたサイトg265の海底写真及びグラブ表面写真。

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). The green light spots (laser scale) in the seafloor photograph are 10 cm apart. (A)(B) Seafloor photos, grab surfaces and residues (>5 mm) of sites g144 and g326, classified as the outcrop. (C) A seafloor photo, grab surfaces and residues (>5 mm) of site g173, classified as gravels. (D) A seafloor photo and grab surface of site g265, classified as gravels.



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、グラブ表面写真及び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g270の写真。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g290の写真。海底写真上に明瞭なリップルが観察される。(C)細粒砂質堆積物と認定されたg330の写真。海底写真上に密に生息するクモヒトデ類が観察される。(D)泥質堆積物と認定されたg119の写真。海底写真上に巣穴や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 g270 classified in its major sediment types as coarse sand. Residues indicate that their major components are bioclasts. (B) Photos taken on the site g290 classified in its major sediment types as medium sand. Ripples are clearly observed in the seafloor photo. (C) Photos taken on the site g330 classified in its major sediment types as fine sand. Densely distributed ophiuroids are observed in the seafloor photo. (D) Photos taken on the site g119 classified in its major sediment types as mud. Burrows and benthos are found in the seafloor photo.



第5図 有田式サブコアの断面写真及びCT断面の代表例。(A)粗粒砂質堆積物(サイトg147), (B)細粒砂質堆積物(サイトg169), (C)泥質堆積物(サイトg342)と認定された地点の代表的な有田式サブコア断面写真及びCT断面。

Fig. 5 Typical images of photographs and CT profiles of Arita-type sub-cores, taken from (A) coarse sandy sediment (g147), (B) fine sandy sediment (g169) and (C) muddy sediment (g342).

及び口永良部島南方のサイトg319でも海底写真上にリップルが確認された。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g290の例:第4図C)。以上17地点のうち、14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。サイトg171, g250, g319のリップルは不明瞭、またはカオティックな様相を示し、流向を推測できなかった。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)はほぼ真北から真東、南南東にかけての方位を示し、調査海域の北西側、サンゴ曾根周辺から臥蛇島周辺に位置する地点では真北から北東、南から南東側、島嶼部から種子・屋久海脚に位置する地点では真東から南東にかけての方位を示す傾向を持つ。

3.4 泥質堆積物

調査海域における主たる底質として、グラブ採泥を実施した地点のうち8地点が泥質堆積物(水深502~1202mで採取)と分類された。泥質堆積物を得た8地点のうち6地点は、水深800mよりも深い地点から採取された。泥質堆積物を得た地点のうち水深が800mよりも浅かったのはサイトg342(水深592m)及びサイトg343(水深502

m)である。これら2地点は口永良部島北方に位置しており、口永良部島、黒島堆などの地形的障壁により流速が弱まり、局所的に細粒物質が堆積しやすい環境であると考えられる。水深800m以上で泥質堆積物と分類された6地点(サイトg70, g93, g94, g95, g119, g121)はいずれもトカラ海底谷西方、諏訪之瀬島、悪石島、宝島、大島新曾根、奄美海脚に囲まれた海盆に分布している。水深800m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。

泥質堆積物を得られた地点の海底写真では、クモヒトデやヤギなどの底生生物や、底生生物の巣穴が複数観察された(サイトg119の例:第4図D)。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(サイトg342の例:第5図C)。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。5mm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。

3.5 コケムシ試料分析結果

サイトg228及びg304に含まれるコケムシ骨格は、多くが変色・摩耗して保存の悪い状態であるため、同定は困難なものが多数を占めた。コケムシ骨格が堆積物中に占める重量は、g228で7.7%、g304で11.7%であった。

3.6 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28種である。10%以上の頻度を示す種は*Globigerinita glutinata* (Egger), *Neogloboquadrina dutertrei* (d'Orbigny), *Globigerina bulloides* d'Orbigny, *Pulleniatina obliquiloculata* (Parker and Jones) および *Globigerinoides ruber albus* (Morard et al., 2019) の5種である(第6図b~f)。またこれらの種に加え、*Trilobatus sacculifer* (Brady), *Globigerina falconensis* Blow, *Turborotalita quinqueloba* (Natland), *Globoconella inflata* (d'Orbigny) および *Globigerinoides elongatus* (d'Orbigny) が最大5~8%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68%を占める。

浮遊性有孔虫殻の保存状態及びサイズ分布を検討した試料と検討個体数の一覧を第3表に示す。63~125 μm の個体群は *Turborotalita* Blow and Banner や *Tenuitellita Li* などの属を主として含むが、このサイズレンジでは種レベルの同定やタクソンごとの計数を行っていない。

各地点における検討個体群の最大・最小径について、それぞれ20 μm ピン及び砂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3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g249を除くシルト・細粒砂相(g94, g200)及び背弧側の細粒・中粒砂相(g168, g221, g264, g299, g340)は全体として最もサイズの小さい個体群を含む。このグループの個体群は、最大径・最小径ともに概ね100~180 μm に最頻値をもち、最大径は細粒砂サイズ(125 μm より大きく250 μm 以下)、最小径は極細粒砂サイズ(63 μm より大きく125 μm 以下)の個体がそれぞれ砂粒度区分において最も多数を占める。中でも調査海域南半部に位置するg94, g168, g200の個体群は、中粒砂サイズ(250 μm より大きく500 μm 以下)以上の個体をほとんど含まず、細粒砂サイズ以下の小さな個体が90%以上を占める。次に前弧側のg44及びg249に含まれる個体群は、前述のグループと大きくは変わらないものの、サイズの大きい方にやや幅広の分布を示し、最大径・最小径ともに細粒砂サイズの個体が最も

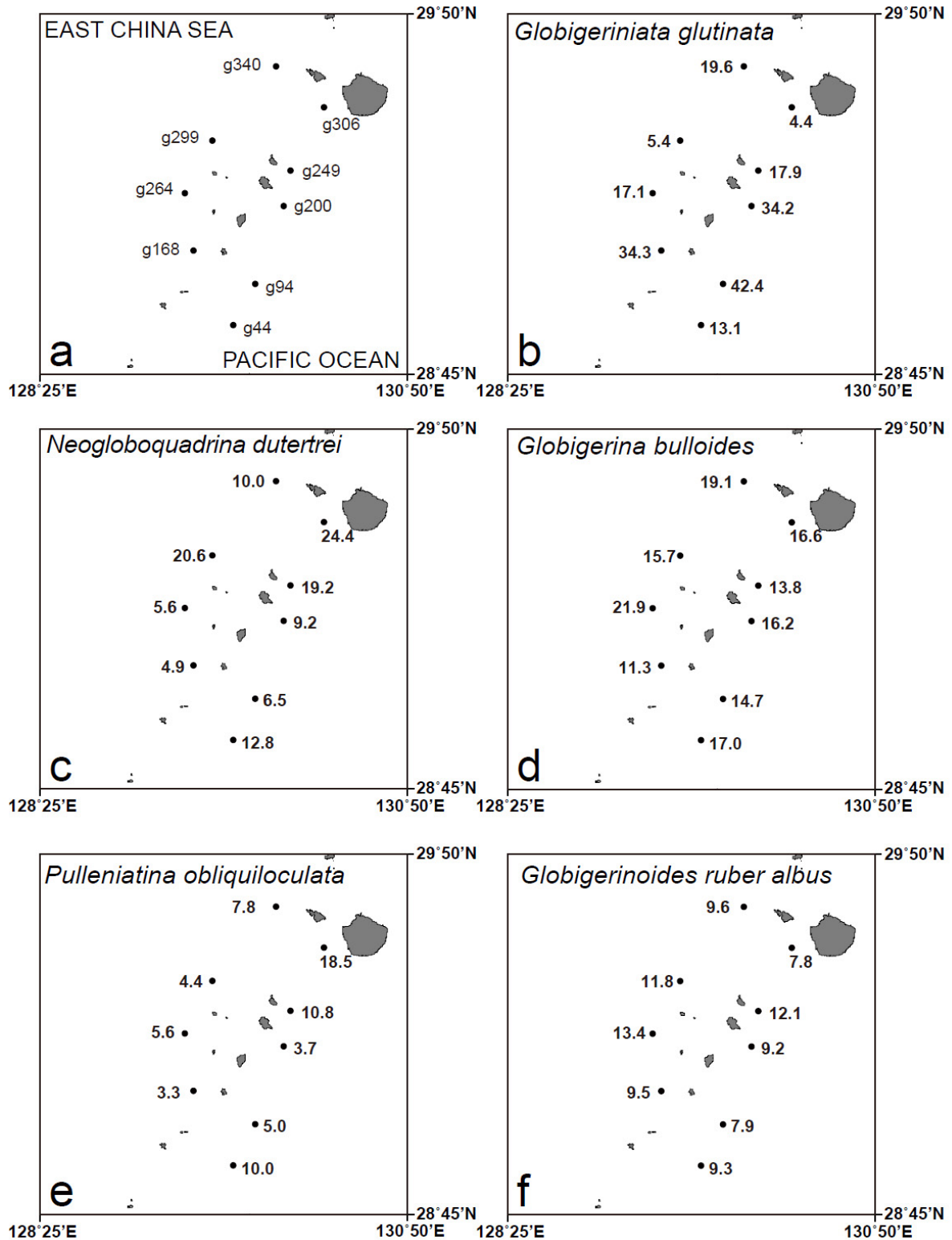
多い。中粒砂相であるg44では、中粒砂サイズの個体が30%を超える。最後に、前弧側で最も北に位置する中粒砂相のg306は他の地点と大きく異なるサイズ分布を示し、検討地点の中で全体として最もサイズの大きい個体群を含む。最大径・最小径ともに中粒砂サイズの個体が最も多く、ともに個体群の60%近くを占める。

各検討地点における浮遊性有孔虫殻の保存状態の典型的な例を第9図に示した。観察結果としては、ランクAの個体が約60~80%を占める地点がほとんどであり、最も多いg94では90%を超える。またランクCの個体の割合は全ての地点で10%を下回った。ランクDの個体はg168に1個体、g221に2個体のみが認められた。またサイズ計測を行った個体群を対象として、最小径サイズ分布を用いて予想的に保存状態とサイズの関係を検討した(第10図)。その結果、元々ランクB・Cの個体が少ないg94を除く多くの地点で、サイズが小さい砂粒度区分ほどランクAの個体が相対的に多い傾向が認められた。

3.7 サンゴ類分析結果

102地点(水深60~1201 m)のうち31地点でイシサンゴ類が採集された(第11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185~999 mであった。採集されたイシサンゴ標本を検討した結果、11科25属14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g267(水深591 m)、g304(水深607 m)、g351(水深185 m)であり、それぞれの地点から7属が認められた。また、ヒドロサンゴ類Family Styliasteridae (Cnidaria: Hydrozoa: Anthoathecata: Filifera)はサイトg26, g268, g288, g148, g247, g267, g269, g304, g351, g356から採集された。八放サンゴ類は堆積物サンプルからは認められなかった。

海底写真では25地点においてサンゴ類が確認された(第11図)。特に、サイトg125(水深327 m)では海底の露岩表面にヒドロサンゴ類の生体が八放サンゴ類や海綿動物などと共に数多く固着し、高密度で生息している様子が確認された。また、その露岩の平坦部には、ヒドロサンゴの遺骸が大量に集積している様子が認められた。サイトg124(水深306 m)、g174(水深525 m)及びg227(水深320 m)においても、露岩表面の凹地に多量のヒドロサンゴ遺骸が堆積している様子が認められた。サイトg270(水深268 m)における海底写真では2次元的な樹状形態を示す八放サンゴが認められた。それらの樹状形態の平面部分はほぼ同様の方向を向いており、その平面部分と直交する直線の真北からの角度は時計回りに61.5°であった。サイトg287(水深60 m)の海底写真では海綿動物や藻類に混じり有藻性イシサンゴ類のワレクサピライシや八放サンゴ類が数多く認められた。



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群集組成分析実施地点 (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 survey area. (a) Sampling points of K-grab. (b)–(f) Relative abundance (%) of major planktic foraminifera.

第3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は各試料における全ての検討個体数、#excludedはそのうちサイズ計測から除外した個体数を表す(詳細は本文を参照)。

Table 3 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 examined specimens for each sample and that of excluded from size analysis, respectively, for which detailed explanation is given in the manuscript.

Loc	#PF	#excluded
g44	202	3
g94	242	5
g168	325	10
g200	234	8
g221	228	5
g249	219	8
g264	245	11
g299	208	9
g306	234	14
g340	288	7

4. 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・分析結果の中から、本海域の底質分布を規定する主要因と考えられる、島嶼及び海底地形と黒潮の影響について考察する。

4.1 底質分布の規定要因1：島嶼部及び海底地形

2021年度の調査において、主たる底質として泥質堆積物は水深502～1201 m、細粒砂質堆積物は水深352～1025 m、中粒砂質堆積物は水深60～940 m、粗粒砂質堆積物は水深244～999 m、礫質堆積物は水深478～801 m、露頭は水深136～837 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、本調査範囲においては各底質の分布する最大水深と最小水深のいずれも、底質との明瞭な関係が見られなかった。ただし、中粒砂質堆積物、細粒砂質堆積物、泥質堆積物の3つの画分に注目すると、細粒化に伴って分布最大・最小水深が増大する傾向にある。この傾向は宝島周辺海域でも認められる(鈴木ほか, 2022)。主たる底質として露頭、礫、粗粒砂が観察された地点は調査範囲全体に散在しているわけではなく、とくに露頭及び礫質堆積物は、種子・屋久海脚

の主稜線部および枝分かれする稜線部やその周縁部、諏訪之瀬島や悪石島周辺、権曾根、サンゴ曾根から東新曾根に連なる地形的高まりの頂部付近、口永良部島南方など、地形高まりの頂部から稜線部に分布している。また礫質堆積物や粗粒砂質堆積物は、諏訪之瀬島東方、口之島東方、権曾根東方などに分布している。こうした粗粒物質の分布を規定する要因の一つとして、海域に水深を問わず広く分布する島嶼、海丘をはじめとする地形的高まりの存在が考えられる。これらの地形を構成するのは海底火山やサイトg326で観察されたような堆積岩露頭であり、本海域の深海部で見られる粗粒物質はこれらの山体から供給される粗粒物質、たとえば海底火山からの噴出物を主要な供給源とすると考えられる。奄美海脚、種子・屋久海脚から中之島周辺海域にかけての範囲や、口永良部島周辺などの砂質堆積物中に見られる5 mm以上の残渣の主成分が暗色岩片質であることも、山体から供給される粗粒物質の影響がこうした海域で強いことを裏付けている。

口之島周辺、臥蛇島周辺、種子・屋久海脚の稜線部などの600 m以浅において、主に石灰質の生物遺骸を主体とする底質が特徴的に観察された。以下、このような底質を有する代表的なサイトについて考察する。東新曾根の北方に位置するサイトg356(水深536 m)では深海域で大きな群集を形成することが可能な群体性イシサンゴ *Enallopsammia* sp.および *Madrepora* sp.の断片化した骨格が多数採集された。採集した骨格断片は、その表面が茶褐色に変色していることから、骨格が形成されてから、かなりの時間が経過していることが推測される。また、同サイトの海底写真では、これらのイシサンゴの生体は認められない。以上のことから、これらの多量のサンゴ遺骸は周辺からの流れ込みにより堆積しており、この供給源となる群体サンゴの群生地がサイトg356の近傍に存在していた可能性が高い。特に、サイトg356付近は、幅の狭い岬状の地形をしておりこの稜線付近などがその候補となる。

口之島の西に位置するサイトg268(水深456 m)は、その西側にある地形的高まりの斜面にあたる。このサイトでは、保存のよい自由生活性の単体イシサンゴ骨格と固着性の単体イシサンゴ、さらにはヒドロサンゴが多数採集された。基本的に骨格の保存状態が非常によいため、原地性の遺骸も含まれると考えられる。このサイトの主要な底質は中粒砂であるが、礫も海底面に散在しており、これらの礫に固着性の単体イシサンゴやヒドロサンゴが固着し生息している可能性が高い。一方で、当サイトは、その西側にある谷地形の出口付近に位置し、さらに、水深の浅い西側に比べて傾斜が緩やかになっている。そのため、浅海から流入した骨格遺骸がこの地点に集積している可能性も考えられる。

口之島の北に位置するサイトg287(水深60 m)は、中



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)、縦軸はそれらが各地点ごとの全計測個体数に占める割合(%)を表す。

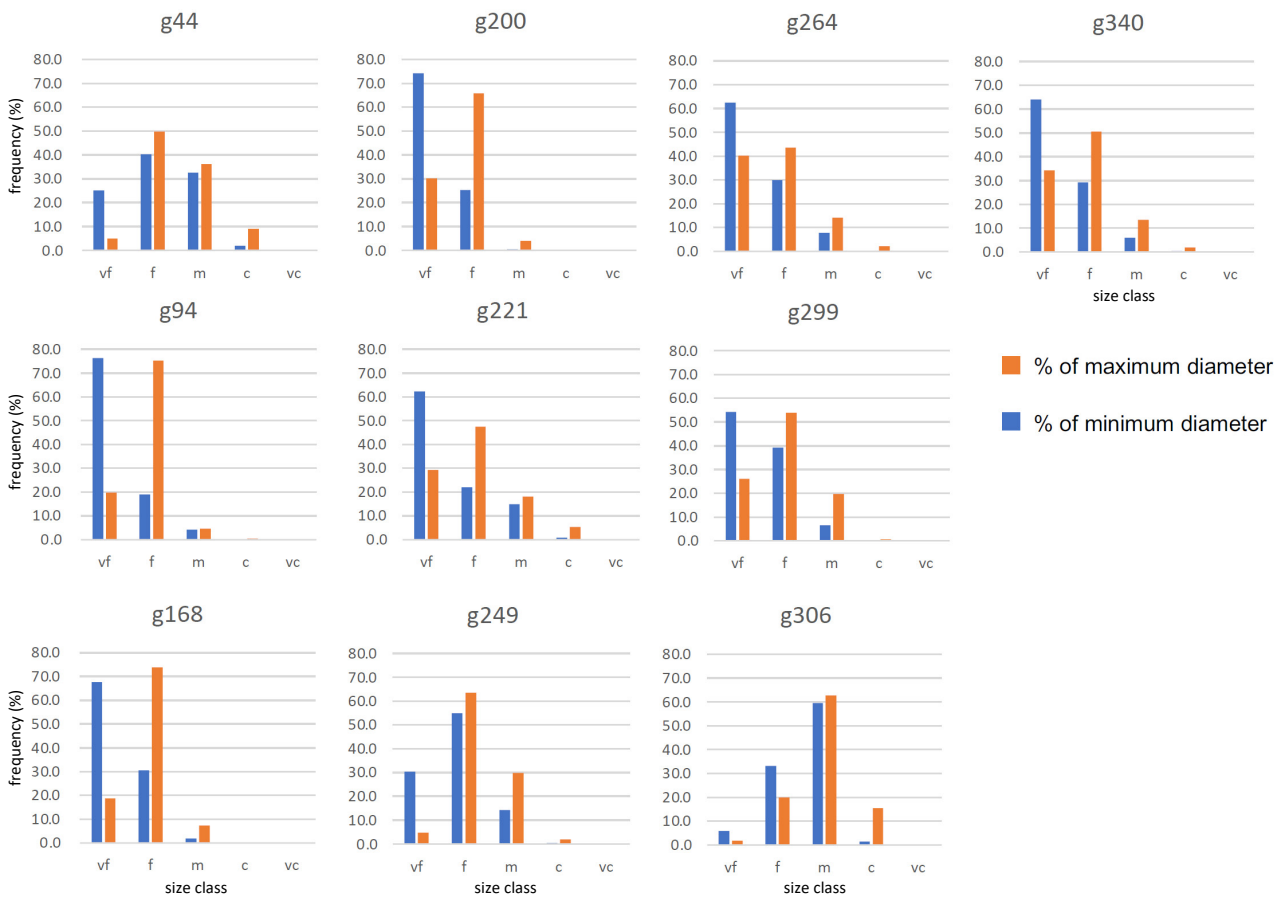
Fig. 7 Histograms with 20 μm-bin showing results for planktic foraminiferal size analysis regarding both maximum and minimum diameters. Horizontal and vertical axes indicate 20 μm-binned size class (μm) and its frequency (%), respectively.

有光層のサンゴ生態系が認められ、生体の有藻性イシサンゴや石灰藻類なども海底写真で数多く確認される。このことから、このサイトに堆積する生碎物の礫は浅海からの流入だけでなく、イシサンゴや石灰藻などの原地性の炭酸カルシウム骨格を起源とするものも含まれると考えられる。権曾根の頂部付近にあたるサイトg244(水深136 m)においても、生碎物を主体とする礫が認められるが、ここでは有藻性イシサンゴ類や藻類が海底写真からは認められない。水深136 mは有藻性イシサンゴが生息する中有光層のサンゴ生態系が成立する上での限界深度に近く(Lesser, Slattery and Mobley, 2018)、海底に届く光量の差異がg287と異なる群集構成をもたらしていると考えられる。そのため、g244で認められる生碎物の礫は、浅海からの流入の可能性が高い。

サイトg125(水深327 m)の海底写真では八放サンゴや海綿動物を伴うヒドロサンゴを中心とした高密度群集が

露岩表面に認められた。また、同じ海底写真内の露岩の平坦部には、ヒドロサンゴの遺骸が大量に集積している様子が認められた。写真内では露岩平坦部は周囲の壁面よりも深い場所に位置するため、周辺の露岩表面に固着しているヒドロサンゴが壁面から剥離・落下することでその場に集積したと考えられる。サイトg124(水深306 m)、g174(水深525 m)及びg227(水深320 m)では露岩表面の凹地にヒドロサンゴ遺骸が堆積している様子が海底写真から認められたが、露岩そのものには固着したヒドロサンゴが認められないため、近傍の生息場よりヒドロサンゴ遺骸が流入し堆積した可能性が高い。

口之島の北西に位置するサイトg270では、やや多様性の高い自由生活性イシサンゴ群集が認められた。海底写真では八放サンゴが礫から生えている様子が認められ、ある程度の流れがあると推測される。そのため、底質中の細粒粒子がバイパスされ、結果的に粗い骨格遺骸が密



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), 縦軸はそれらが各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.

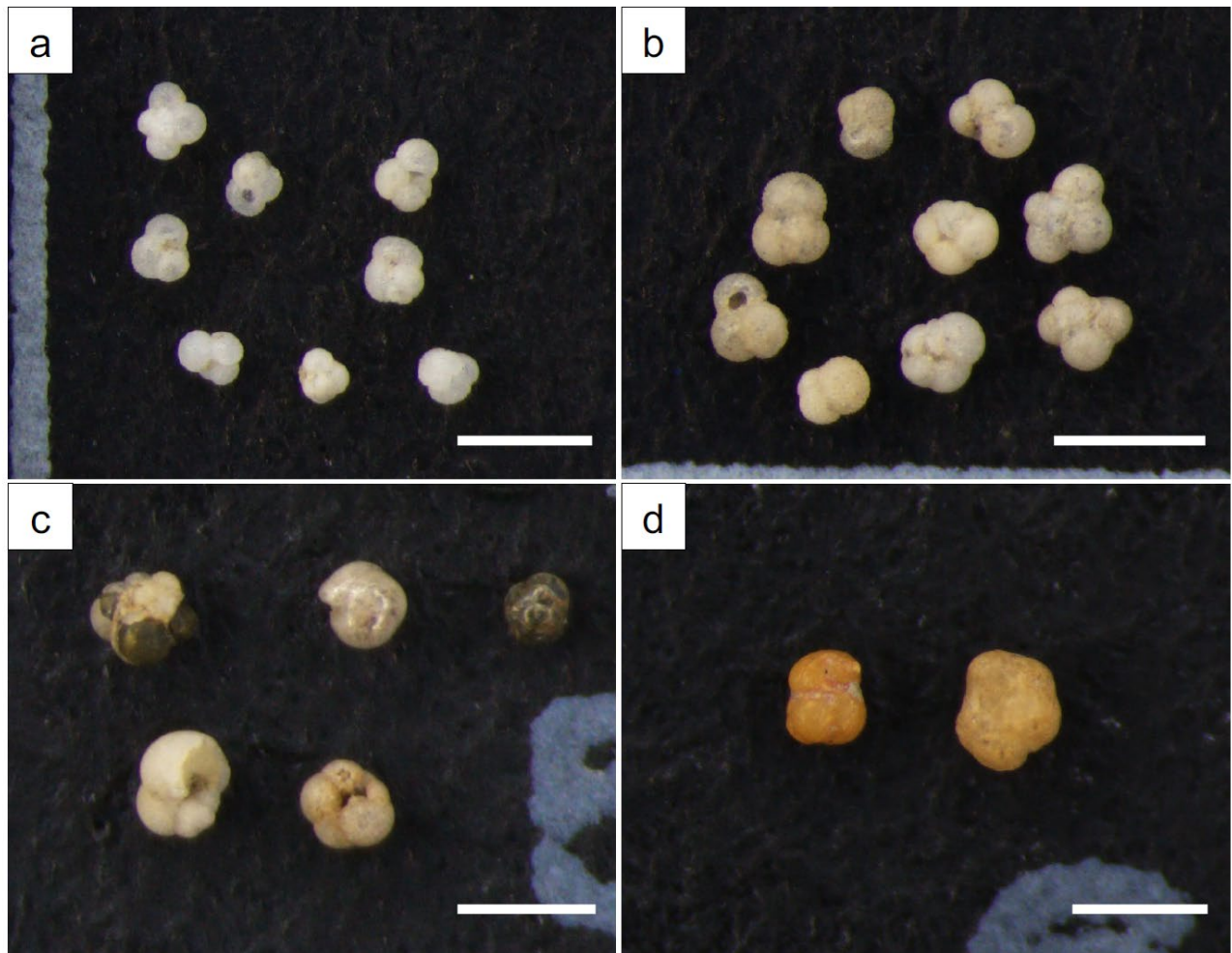
集している可能性がある。サイトg245はリップルが認められリップルの凹部に翼足類などの骨格生物遺骸が集積している。このサイトにおいても細粒粒子が流れによりバイパスされることで骨格遺骸が密集的な産状を示している可能性がある。

以上をまとめると、本海域の底質分布の規定要素の一つとして、海域東側の海脚や、点在する海丘群、海底火山群などの地形的高まりから供給される粗粒物質の供給が考えられる。またその粗粒物質の組成は、山体から供給される火山性ないし珪質碎屑物に加えて、浅海域で生産されたと見られる生物遺骸が混合しており、周辺の地質や水深(とくに最小水深)の影響を受けて多様化していることが考えられる。

すでに海脚、海丘などとして認定されている海底地形に加えて、本海域において取得された航走観測データによれば、既存の海底地形データでは検出されていなかっ

た未報告の海底火山も多数存在することが示唆されている。それらの一部は産総研の海域地質調査航海により地形が認定、記載されている(高下ほか, 2022)。

したがって、今回主たる底質として細粒物質が採取された範囲においても、表層採泥の実施間隔(約6海里 \approx 約11 km)よりも狭い範囲で局所的に粗粒物質が分布している可能性が高い。こうした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に基づく海底地質の認定(例えば、石野ほか, 2022)と組み合わせれば、海底の地形的高まりからの供給物質



第9図 本研究で定義した保存状態の定性的観察に基づくランクA–Dの代表的な個体の実体顕微鏡写真。a：ランクA (g249), b：ランクB (g299), c：ランクC (g306), d：ランクD (g221)。スケールバーは500 μm。

Fig. 9 Stereo microscope images of representative specimens belonging to the preservation ranks A–D defined on the basis of qualitative examination in this study. a: rank A (g249), b: rank B (g299), c: rank C (g306), d: rank D (g221). Scale bars represent 500 μm.

の種類についても制約を加えることが可能である。

4.2 底質分布の制御要因2：黒潮の力学的影響

砂質堆積物の章で記述した通り、調査海域の計17地点においてリップルが観察された。これらのリップルが観察される地点の水深範囲は479～923 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宝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)と一致しており、宝島周辺から口永良部島周辺にかけて、南北を縦断する形で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。本研究で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8地点、細粒から極細粒砂4地点、不明2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。今後、堆積物試料の粒度分析やリップルの形態解析などによりより詳細な底層流速の空間分布を解明することが期待される。

リップルが観察される地点近傍かつ水深のより浅い地点での採泥結果を参照すると、リップルが観察された地点よりも粗粒な底質(粗粒砂質堆積物、礫質堆積物、露頭)が観察される場合が多い。すなわち、リップルの形成水深よりも浅い地点では底層流の流速がさらに高まり、中粒砂質以下の粒径を持つ堆積物が堆積できない状況、またはほぼ無堆積ないし侵食作用が卓越する場となってい



第10図 浮遊性有孔虫殻の最小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. 10 Histograms showing relationships between minimum diameter size distribution and observed preservation states of foraminiferal tests. Horizontal and vertical axes follows those of Figure 8.

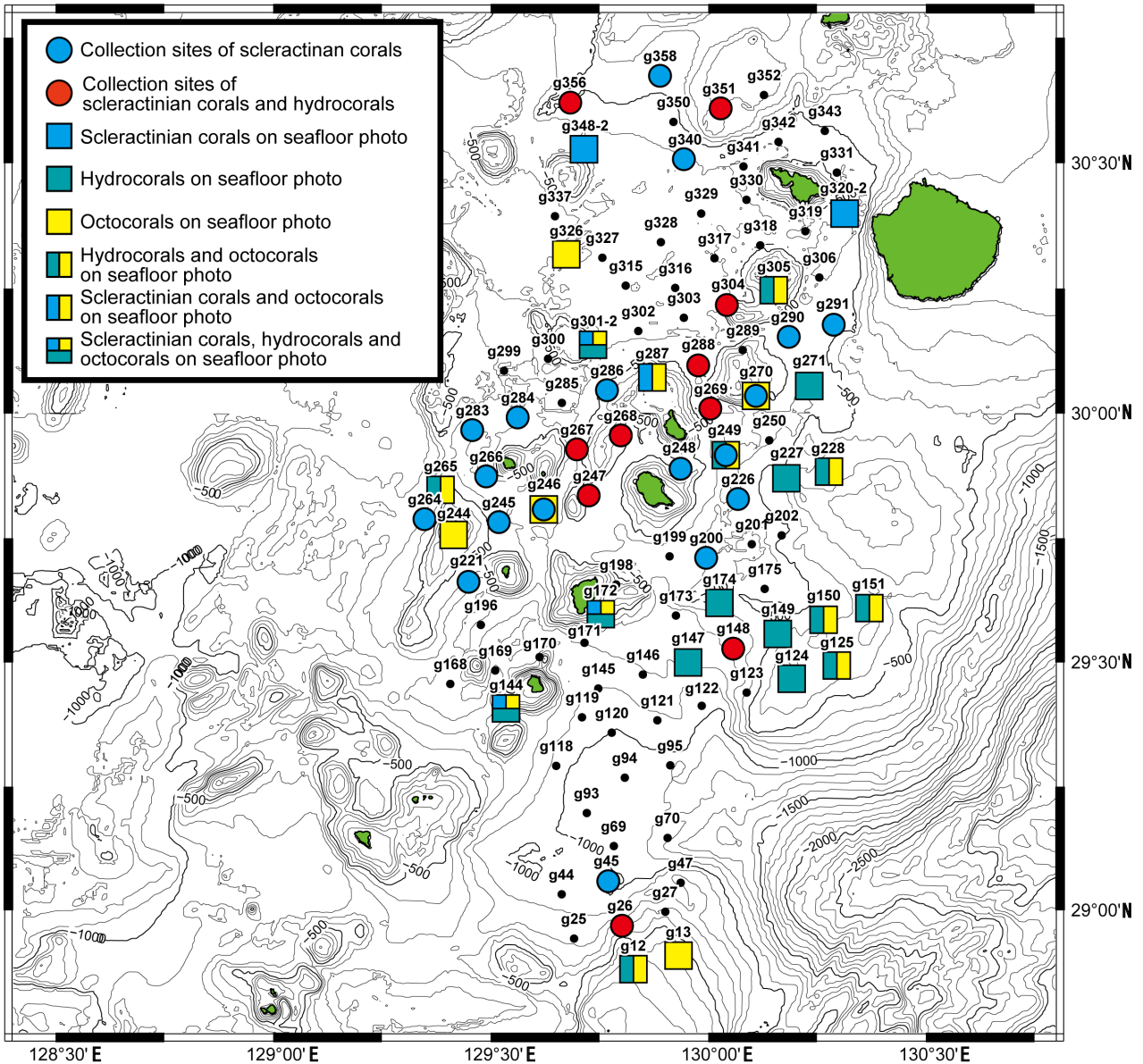
ると考えられる。

また、マルチビーム音響測深機により取得した海底地形データ(高下ほか, 2023)によれば、口之島北方から東方にかけての海域に波長200~300 m, 振幅1 m程度のサンドウェーブが発達する地形が三か所認められる(第12図)。それぞれのサンドウェーブの形状から推定される流向は、口之島北方において北北西から南南東、口之島北東方において北西から南東、口之島東方において西から東となっており、島嶼部及び海底下の地形の高まりの間で流向を変えつつ通過する底層流が存在することを示唆する。

サイトg270の海底写真では、平面的な樹形態を示す生体の八放サンゴ2群体が礫上に固着している様子も認められた。それら2群体の樹形態の平面部分は、ほぼ同様の方向を向いており、その平面部分に対する法線は真北から時計回りに61.5°, 概ね東北東-西南西方向を示した。このような八放サンゴでは能動的に群体の向きを変化させることは難しいが、群体成長の中で、最も卓越する流れの方向に対して直交方向に群体の平面部分が

成長することが知られている(たとえば, Grigg, 1972)。このことから、サイトg270においては、サンゴの群体成長の様子から、ある程度長期間にわたり、東北東-西南西方向に卓越する底層流(等深線流)がg24を含む地形的な高まり上に影響していると考えられる。サイトg270を含む地形的高まりの南側から東側、北東側にかけては、リップルの方位から等深線に沿う南東・東南東・北東向きの底層流(等深線流)の存在が示唆され、サイトg270の海底写真で確認された八放サンゴから得られた流れの方向はこの一連の傾向と整合的である。

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する。奄美大島近傍では沖縄トラフ側(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。その中間点に位置するトカラ列島周辺海域では流軸の移動とともに、海洋表層ではトカラ列島を横断する北西から南東向き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, 2021; 気象庁, 2021)。リップルやサンドウェーブから推測される流向もおおむね、海域の北



第11図 GB21-2及びGB21-3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. 11 Map of the survey area of GB21-2 and GB21-3 cruise with localities where corals were collected or identified on seafloor photos. Sea-bottom topography is based on Kishimoto (2000).

西側で北向きを示していた流れが、南東側に通過する際に流向を転じて東向きから南東向きの流れとなる傾向を示しており、こうした観測事実と整合的である。

リップルの形状から推定される流向に見られるばらつきは、底層流の流向が大局的には黒潮の流路の影響を受けつつも、島嶼部や海丘などの海底地形に制約されて、局地的には複雑に変化していることを示唆する。このような傾向は鈴木ほか(2022)において示した宝島周辺海域で見られる傾向と同様である。ただし、トカラ海底谷、沖縄トラフ等水深1000 m級の海底地形を含む宝島周辺海域と比べると、諏訪之瀬島から口永良部島にかけての海

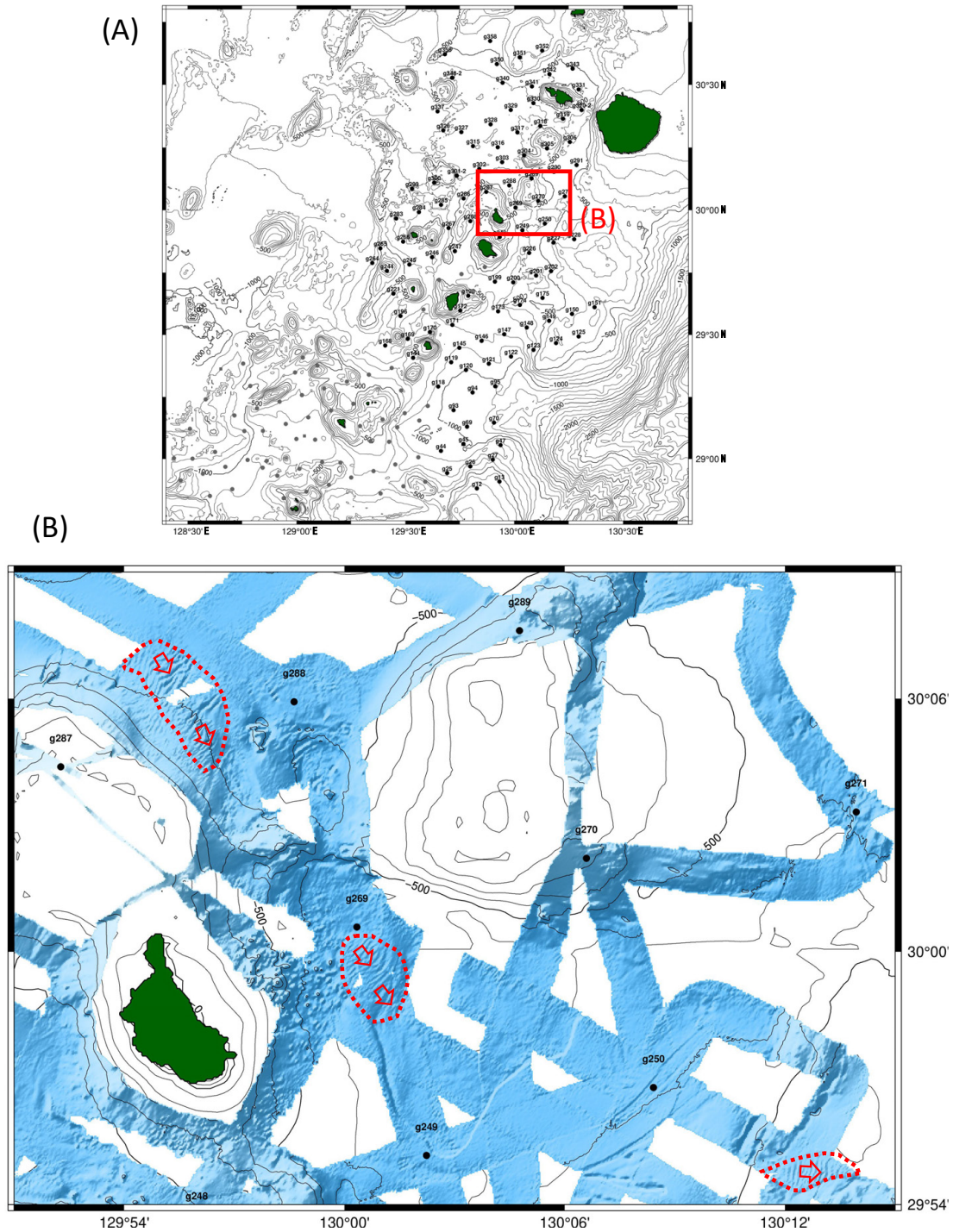
域は比較的水深が浅い。この結果として、リップルやサンドウェーブなどを形成する流速・粒径範囲を取る領域が宝島周辺海域よりも広い領域にわたると考えられる。

コケムシ類や有孔虫保存状態の分析結果も、本海域における黒潮の力学的影響を示唆する。鈴木ほか(2022)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ことの要因として、①底層の水流速度が大きい、または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。コケムシ類

第4表 GB21-2及びGB21-3航海で採集されたイシサンゴ類のリスト.

Table 4 List of coral species with sampling sites

ORDER	
Family	
Species	Collection locality (St.)
SCLERACTINIA	
Fungiacyathidae	
<i>Fungiacyathus (Fungiacyathus) paliferus</i> (Alcock, 1902)	g268, g351
<i>Fungiacyathus (Bathyactis) turbinolioides</i> Cairns, 1989	g200, g226, g249, g266, g267, g283, g290, g291
<i>Fungiacyathus</i> sp.	g221, g245, g266, g340
Micrabaciidae	
<i>Letepsammia formosissima</i> ? (Moseley, 1876)	g268
<i>Letepsammia</i> sp.	g226, g247, g269, g351
<i>Stephanophyllia fungulus</i> Alcock, 1902	g268, g270
Anthemiphylliidae	
<i>Anthemiphyllia spinifera</i> ? (Alcock, 1902)	g26
<i>Anthemiphyllia</i> sp.	g304
Oculinidae	
<i>Madrepora oculata</i> Linnaeus, 1758	g286, g304
<i>Madrepora</i> sp.	g356
Deltocyathidae	
<i>Deltocyathus</i> sp.	g45, g286, g288, g221, g226, g246, g264, g267, g269, g283, g284, g304, g356
Caryophylliidae	
<i>Caryophyllia (Caryophyllia)</i> sp.	g247, g304
<i>Conotrochus</i> sp.	g221
<i>Premocyathus dentiformis</i> (Alcock, 1902)	g351
<i>Goniocorella dumosa</i> (Alcock, 1902)	g247, g248
<i>Goniocorella</i> sp.	g267
<i>Thalamophyllia tenuescens</i> (Gardiner, 1899)	g247
<i>Trochocyathus (Trochocyathus) cepulla</i> ? Cairns, 1995	g267
Turbinoliidae	
<i>Deltocyathoides</i> sp.	g226
<i>Idiotrochus kikutii</i> (Yabe & Eguchi, 1941)	g270
<i>Peponocyathus folliculus</i> (Pourtalès, 1868)	g286, g269, g304, g351
<i>Peponocyathus</i> sp.	g226
<i>Thrypticotrochus petterdi</i> (Dennant, 1906)	g267
Stenocyathidae	
<i>Stenocyathus vermiformis</i> (Pourtalès, 1868)	g268, g247, g304, g356
<i>Stenocyathus</i> ? sp.	g221
Guyniidae	
<i>Guynia annulata</i> Duncan, 1872	g351
Flabellidae	
<i>Flabellum (Flabellum)</i> sp.	g267
<i>Flabellum (Ulocyathus)</i> sp.	g270
<i>Truncatoflabellum phoenix</i> Cairns, 1995	g351
<i>Truncatoflabellum</i> sp.	g270
Dendrophylliidae	
<i>Balanophyllia</i> sp.	g148, g351
<i>Dendrophyllia</i> sp.	g288
<i>Enallopsammia</i> sp.	g148, g267, g269, g356
<i>Endopachys grayi</i> Milne Edwards & Haime, 1848	g148, g270
<i>Eguchipsammia</i> sp.	g304



第12図 (A) GB21-2及びGB21-3航海の実施範囲におけるグラフ試料採取地点図。地点番号のない灰色の点はGB21-1航海におけるグラフ試料(丸)およびコア試料(四角)採取点を示す。(B)口之島周辺でマルチビーム音響測深機により取得された海底地形陰影図(高下ほか, 2023)。背景の海底地形は岸本(2000)に基づく。口之島北方、北東方、東方の赤い破線で囲まれた領域にサンドウェーブの発達が見られる。中抜き赤矢印はサンドウェーブの形状から推定される流向を示す。

Fig. 12 (A) Sampling points of K-grab on GB21-2 and GB21-3 cruise. Gray circles and squares indicate sampling points of K-grab and gravity corer on GB21-1 cruise. (B) Seafloor shaded topographic map acquired by a multibeam echo sounder around Kuchinoshima Island (Koge *et al.*, 2023). Background contour is based on Kishimoto (2000). On the north, northeast, and east off Kuchinoshima Island, surrounded by the red dotted lines, Sand waves are prominent. Red open arrows indicate flow directions estimated by the form of sand waves.

の検鏡分析を行ったサイトg228及びg304のようにコケムシ骨格を含むものの保存状態が悪い地点では、強い水流によって広い範囲から長距離・長期間にわたって掃き寄せられたことで、変質(変色)・摩耗を被ったものと推定される。

本研究においてランク分けした浮遊性有孔虫の保存状態のうち、サイトg168及びg221にのみ稀に産出したランクDの個体は、ランクA-Cの個体と質的に全く異なり、おそらく強い続成を被った特定の層準から洗い出された異地性のもと考えられる。また、ランクCの個体も状態の悪さから堆積後の再移動に関連する可能性があるが、ランクBとの中間的な個体も存在する。殻表面の着色の原因として、堆積物-水境界あるいは堆積物浅部の酸化層内部における酸化鉄などの付着が推定されるが、その時間スケールについては明らかではない。これに対して、例えば本研究のランクA-Cなど保存状態ごとに浮遊性有孔虫殻に対して放射性炭素年代測定などを行って、堆積物表層における浮遊性有孔虫殻の滞留時間と保存状態との関係のある程度定量的に見積もることにより、同地点の堆積プロセスに対しても制約を与える情報として活用できるようになることが期待される。

4.3 底質分布の制御要因3：黒潮の生物学的影響

前節で述べた通り、黒潮は主に底層流を通して底質の粒度・粒子組成や滞留時間に力学的影響を与えることが示唆されるが、この他に、サンゴ生体・遺骸の群集解析及び、浮遊性有孔虫の群集解析およびサイズ・保存状態の検討から、黒潮の影響が生物学的な観点でも底質に影響を与えている可能性が示唆された。

サンゴ類の分布は、種子・屋久海脚、悪石島・諏訪之瀬島・中之島・口之島から口永良部島に連なる浅海部に偏在していた(第11図)。また、これらの地形的高まり(浅海部ないし島嶼部)を繋ぐ鞍部には、海底写真上で生体サンゴが確認できた事例は少ないものの、サンゴ遺骸が多く分布していた(例えば、トカラ列島と種子・屋久海脚に挟まれた谷状地形など)。一般的にサンゴ類は泥などの細粒な堆積物への埋没に弱い(Weber *et al.*, 2012)。当海域においては、黒潮の流路上に存在する島や岩礁・海山など急峻な地形の200 m以深では、地形性の強い乱流混合や湧昇が生じ、これによる表層への多量の栄養塩供給が行われている(Hasegawa *et al.*, 2021)。これらの強い乱流は、当海域の地形的な高まりの浅海部において細粒堆積物の堆積量を減少させると同時に露岩域への餌の供給に寄与すると考えられる。さらには、より深い地形的鞍部への粗粒堆積物や骨格生物遺骸の輸送にも大きな影響を与えていると考えられる。その一方で、500 m以深の領域が広がる、例えば口永良部島西方の海域にはサンゴ遺骸または生体は疎らにしか確認されなかった。このようなサンゴ類の産出数の減少は、水深の増加に伴う細

粒堆積物の堆積量の増加など、何らかの環境変化が影響を与えていると考えられ、今後検討していく必要がある。

本研究における浮遊性有孔虫サイズ分布の検討結果からは、背弧側に比べて前弧側の地点、そして南に比べて北の地点に大きいサイズの浮遊性有孔虫が産出する傾向が示唆される。今後検討地点数を増やし、統計解析によりこのような傾向を裏付ける必要があるが、これらは大局的に東西方向及び南北方向の環境勾配を反映している可能性がある。g306を除く検討地点における浮遊性有孔虫の個体群は極細粒砂-細粒砂サイズに分布の極大を示す点において類似している一方、g306地点の個体群のみが中粒砂サイズに幅広の極大をもつ異なるサイズ分布を示す。このことはg306とそれ以外の地点における浮遊性有孔虫殻の堆積作用が異なるメカニズムに駆動されていることを示唆する。径125 μm 以上の浮遊性有孔虫群集の検討結果から、g306およびg340では*Pulleniatina obliquiloculata*や*Neogloboquadrina dutertrei*が共に他地点より多く産出しているが、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(Ujiie and Ujiie 2000)。このような水塊構造とそれに伴う生物学的要素としての群集構造の違いが、研究海域における生物炭酸塩粒子の堆積作用と、その結果としての堆積物特性のバリエーションに影響する要因のひとつとして考えられる。

5. まとめ

GB21-2及びGB21-3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102地点での表層採泥を実施した。本海域において泥質堆積物はそのほとんどが水深800 mより深い地点で採取された。泥質堆積物の多くには生痕が発達している。

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的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が粗粒物質の供給源ではないかと考えられる。本海域には未報告の海底火山地形が多数存在することが知られており、主にこれらに付随して局所的には露頭や粗粒物質の堆積場が多数存在すると思われる。

砂質堆積物には、水深479~923 mの地点でカレントリップルやサンドウェーブなどのベッドフォームが見られた。これらの構造は本海域において蛇行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。また、黒潮が蛇行して島嶼部を通過する際の流向・流速の変化に応じて場所ごとに堆積、輸送、侵食の各プロセスが卓越し、多様な底質を形成している。諏訪之瀬島周辺から口永良部島周辺海域では輸送による特徴的なベッドフォームが卓越する範囲が、宝島周辺海域と比べて広い。コケムシ、浮遊性有孔虫などの分析結果によれば、本海域において黒潮は、底層流を通じた力学的な影響の他に、

個体サイズのばらつきなど生物学的な観点でも影響を与えている可能性が高い。

本調査で対象としたトカラ列島周辺海域に加えて、2022年度はさらに水深が浅い種子・屋久海脚の中央部から東部、さらに水深が深いトカラ列島西方海域でも今後調査を実施する予定であり、黒潮の蛇行に伴う堆積物分布のより広域的な特徴を解明できると期待される。

謝辞: 石塚 治氏, 針金由美子氏, 山本浩万氏, 齋藤直輝氏, 池内絵里氏, 菅澤陽奈氏, 舘 宏輔氏, 中野太賀氏, 宮坂慎太郎氏, 若公良太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.
- Grigg, R. W. (1972) Orientation and Growth Form of Sea Fans. *Limnology and Oceanography*, **17**, 185-192. doi: 10.4319/lo.1972.17.2.0185
- 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**, e2020GL092063. doi:10.1029/2020GL092063
- 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・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.
- 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 (2018a) 沖縄島南部周辺海域表層堆積図. 海洋地質図, no. 90 (CD), 産総研地質調査総合センター.
- 板木拓也 (2018b) 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—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, 143-146.
- 板木拓也 (2022) 久米島周辺海域表層堆積図. 久米島周辺海域海洋地質図, 海洋地質図, no. 92, 産総研地質調査総合センター.
- 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.
- Kim, H.-C., Yamaguchi, H., Yoo, S., Zhu, J., Okamura, K., Kiyomoto, Y., Tanaka, K., Kim, S.-W., Park, T., Oh, I. S. and Ishizaka, J. (2009) Distribution of Changjiang Diluted Water detected by satellite chlorophyll-a and its interannual variation during 1998-2007. *Journal of Oceanography*, **65**, 129-135. doi:10.1007/s10872-009-0013-0
- 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.
- 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 (2021) 海流に関する診断表、データ 日別海流. https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/db/kaikyo/daily/current_HQ.html (閲覧日: 2023年3月23日)
- 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.
- Komaki, S. (2021) Widespread Misperception about a Major East Asian biogeographic boundary exposed through bibliographic survey and biogeographic meta-analysis. *Journal of Biogeography*, **48**, 2375-2386. doi:10.1111/jbi.14210
- Lesser, M. P., Slattery, M. and Mobley, C. D. (2018) Biodiversity and Functional Ecology of Mesophotic Coral Reefs. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, **49**, 49-71. doi:10.1146/annurev-ecolsys-110617-062423
- Matsumoto, T., Kimura, M., Nakamura, A. and Aoki, M. (1996) Studies of land bridges and the migration of men and other animals along them. Detailed bathymetric features of Tokara and Kerama gaps in the Ryukyu Arc. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **105**, 286-96. doi:10.5026/jgeography.105.3_286

- Minami, H., Oikawa, M. and Ito, K. (2014) Newly discovered submarine volcano near the Tokara islands. *Report of Hydrographic and Oceanographic Researches* (海洋情報部研究報告), **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
- Motokawa, M. and Kajihara, H., eds. (2017) *Species Diversity of Animals in Japan, Diversity and Commonality in Animals*. Springer Tokyo, Tokyo, 721p.
- 日本海洋データセンター (2021) 海流観測データ. https://www.jodc.go.jp/jodcweb/index_j.html (閲覧日: 2023年3月23日)
- Ota, H. (1998) Geographic patterns of endemism and speciation in amphibians and reptiles of the Ryukyu Archipelago, Japan, with special reference to their paleogeographical implications. *Population Ecology*, **40**, 189–204. doi: 10.1007/BF02763404
- 坂井陽一・門田 立・木寺哲明・相良恒太郎・柴田淳也・清水則雄・武山智博・藤田 治・橋本博明・具島健二 (2005) トカラ列島北部に位置する口之島, 中之島の浅海魚類相. *生物圏科学: 広島大学大学院生物圏科学研究科紀要*, **44**, 1–13.
- Schiebel, R. (2002) Planktic foraminiferal sedimentation and the marine calcite budget. *Global Biogeochemical Cycles*, **16**, 3-1-3–21. doi: 10.1029/2001GB001459
- 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.
- 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
- Weber, M., de Beer, D., Lott, C., Polerecky, L., Kohls, K., Raed, M. M. A., Ferdelman, T. G. and Fabricius, K. E. (2012) Mechanisms of damage to corals exposed to sedimentation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **109**, E1558-E1567. doi:10.1073/pnas.1100715109

(受付: 2022年10月31日; 受理: 2023年6月26日)