

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

有元 純<sup>1,\*</sup>・田中 裕一郎<sup>2</sup>

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

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

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

### 要 旨

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

#### 1. はじめに

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

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

#### 2. 試料と方法

##### 2.1 試料

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

<sup>1</sup> 産業技術総合研究所 地質調査総合センター地質情報研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Geology and Geoinformation)

<sup>2</sup> 産業技術総合研究所 地質調査総合センター (AIST, Geological Survey of Japan)

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

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

### 2.1.1 GB22-1航海：地点D07及びD08

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

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

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

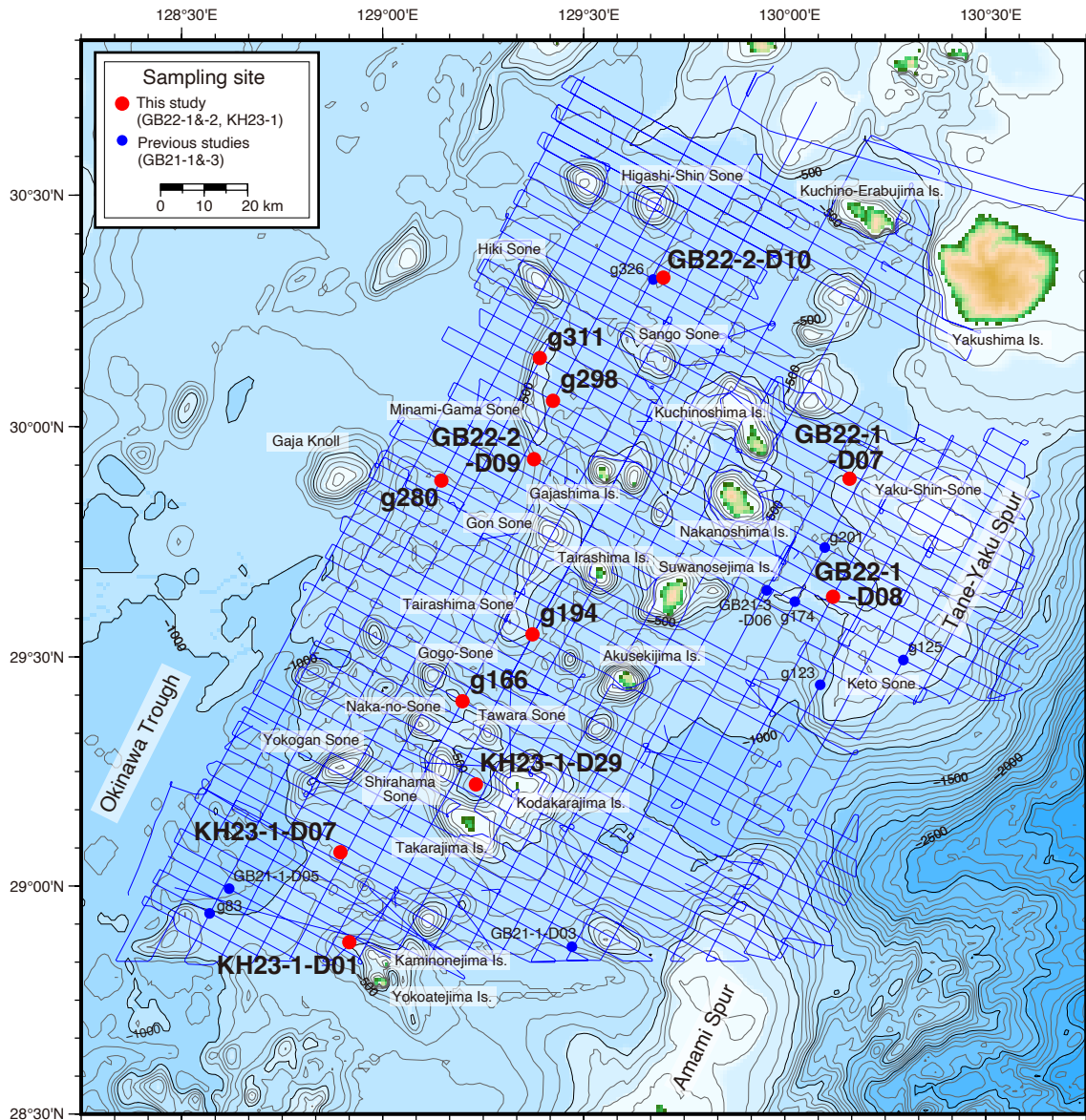
1表)。D08-R04試料は斜交葉理が発達する淘汰の良い細粒砂岩であり、よく固結している。本試料には<sup>れつが</sup>を充填する白色鈹物脈や暗紫色の石灰質泥岩脈が顕著に発達しており、実体顕微鏡下での観察により後者には石灰質生物遺骸片が認められた。このことから、D08-R04試料の砂岩部分と石灰質泥岩脈部分をそれぞれD08-R04 (rock)とD08-R04 (vein)として別個に検討した。D08-R08試料は中礫サイズの角礫-円礫を含む、よく固結した基質支持の礫岩である。D08-R11は軟体動物やサンゴなどの石灰質生物遺骸や砂岩・泥岩の角礫を含む石灰岩である。基質は非常に細粒であ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

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

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

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

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



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

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

細粒凝灰岩であり、有孔虫の炭酸塩殻が溶脱した痕がまばらに認められる。

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

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

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

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

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

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

2.1.3 KH23-1航海：地点D01, D07, D29

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

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

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

り、表面にマンガン酸化物の被覆が認められる。

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

## 2.2 方法

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

### 2.2.1 石灰質ナノ化石

計36試料について、風化面を避けて米粒大の量を取り、スミアスライドを作成した後、偏光顕微鏡を用いて1,250倍の倍率で観察を行った。産出量と保存状態については、有元・宇都宮(2022, 2023)に従い、0.1 mm<sup>2</sup>内に観察される平均的な個数が10個より多い場合をAbundant, 1-10個をCommon, 1個未満の場合をFew, 1 mm<sup>2</sup>内で1個未満の場合をRare, 産出しない場合はBarrenとして評価した。保存の程度については、溶解または再結晶により同定が困難な個体がおよそ3割以下の場合Good, 3-6割を占める場合はModerate, 6-8割を占める場合はPoor, 8割より多い場合はVery Poorとして評価した。

### 2.2.2 浮遊性有孔虫化石

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

程度、残渣の洗浄を行った。

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

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

## 3. 結果

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

### 3.1 石灰質ナノ化石

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



第2表 各航海で採取された堆積岩試料から産出した石灰質ナノ化石。産出頻度は次のように示す；A: abundant (多産), C: common (普通), F: few (少産), B: barren (不産出)。保存状態は次のように示す；G: good (良好), M: moderate (中程度), P: poor (悪い)。産出状況は次のように示す；+ : 産出が確認された種, r: 再堆積と判断される種。

Table 2 Distribution chart of calcareous nannofossil identified from the present study materials. Abundance; A: abundant, C: common, F: few, B: barren. Preservation; G: good, M: moderate, P: poor. +: present; r: rework.

Sample ID	GB22-1										GB22-2										KH23-1																	
	D07-R01M	D07-R01G	D07-R03	D07-R05	D07-R07	D07-R11	D07-R13	D07-R14	D08-R04 (rock)	D08-R04 (vein)	D08-R08	D08-R11	D08-R13	D08-R14	D09-R03	D09-R05	D09-R09	D09-R11	D09-R14	D09-R16	D10-R03	D10-R08	D10-R09	D10-R10	g166	g194	g280A	g280B	g298	g311	D01-R12	D07-R01	D07-R03	D07-R04	D29-R03	D29-R09		
Abundance	C	C	C	C	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	F	F	F	F	F	F	F	F	F	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R		
Preservation	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M		
<i>Calodiscus leptoporus</i> (Murray and Blackman)																																						
<i>C. macintyre</i> (Buky and Bramlette)																																						
<i>Calcosolenia</i> sp.																																						
<i>Ceratolithus armatus</i> Müller																																						
<i>C. cristatus</i> Kamphner																																						
<i>Coccolithus pelagicus</i> (Wallich)																																						
<i>Discoaster brouweri</i> Tan Sin Hok																																						
<i>D. challenger</i> Bramlette and Riedel																																						
<i>D. surculus</i> Martini and Bramlette																																						
<i>D. variabilis</i> Martini and Bramlette																																						
<i>Discoaster</i> spp.																																						
<i>Emiliania huxleyi</i> (Lohmann)																																						
<i>Gephyrocapsa caribbeanica</i> Boudreaux and Hay																																						
<i>G. oceanica</i> Kamphner																																						
<i>G. parallela</i> Hay and Beaudry																																						
<i>Gephyrocapsa</i> spp. small (<3 µm)																																						
<i>Helicosphaera carteri</i> (Wallich)																																						
<i>H. sellii</i> Buky and Bramlette																																						
<i>H. wallichii</i> (Lohmann)																																						
<i>Pontosphaera</i> spp.																																						
<i>Pseudoemiliania lacunosa</i> (Kamphner)																																						
<i>Reticulofenestra minuta</i> Roth																																						
<i>R. minutula</i> (Gartner)																																						
<i>R. producta</i> (Kamphner)																																						
<i>R. pseudoubilicis</i> (Gartner)																																						
<i>Rhabdosphaera clavigera</i> Murray and Blackman																																						
<i>Scyphosphaera</i> spp.																																						
<i>Sphenolithus abies</i> Dellandrie																																						
<i>Syracosphaera pulchra</i> Lohmann																																						
<i>Umbilicosphaera sibogae</i> (Weber-van Bosse)																																						
CN zone (Okada and Buky, 1980)	14a	14a	14a	11b	14b	14b	14b	14b	14b	14b	14b	14b	14b	14b	15 14b?	10c	13a	14a	14a	12	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

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

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

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

第3表 続き.  
Table 3 Continued.

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



第3表 続き.  
Table 3 Continued.

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

## 3.2 浮遊性有孔虫化石

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

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

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

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

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

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

#### 4. 議論

##### 4.1 石灰質微化石の産出状況・保存状態と岩相の関係

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

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

##### 4.2 化石帯の対比

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

##### 4.2.1 石灰質ナノ化石

示準化石の産出に基づき、検討試料は概ね鮮新統-完

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

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

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

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

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

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

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

**CN14b亜帯(中部更新統チバニアン階)**. GB22-1 D07-R13,

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

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

#### 4. 2. 2 浮遊性有孔虫化石

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

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

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

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

### 4. 3 堆積年代と地質学的意義

#### 4. 3. 1 CN10–CN12 帯：鮮新統-下部更新統

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

#### 4. 3. 2 CN13–CN14 帯 / PT1 帯：下部-中部更新統

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

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

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

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

れる。

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

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

#### 4.3.3 CN15帯／PT1b帯：中部更新統–完新統

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

## 5. まとめ

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

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

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

## 文 献

- 有元 純・宇都宮正志 (2022) GB21-1航海においてトカラ列島周辺海域で採取された堆積物および堆積岩の石灰質微化石に基づく年代推定。地質調査研究報告, **73**, 267-274.
- 有元 純・宇都宮正志 (2023) GB21-3航海においてトカラ列島北部周辺海域で採取された堆積岩の石灰質微化石に基づく堆積年代と地質学的意義。地質調査研究報告, **74**, 245-257.
- Blair, S. A., Bergen, J. A., de Kaenel, E., Browning, E. and Boesiger, T. M. (2017). Upper Miocene-Lower Pliocene taxonomy and stratigraphy in the circum North Atlantic Basin: radiation and extinction of Amauroliths, Ceratoliths and the *D. quinqueramus* lineage. *Journal of Nannoplankton Research*, **37**(2-3): 113-144.
- 千代延俊・猿渡隼人・佐藤時幸・樺元淳一・井龍康文 (2009) 沖縄本島勝連半島に分布する知念層の石灰質ナノ化石生層序。地質学雑誌, **115**, 528-539.
- 下司信夫・石塚 治 (2007) 琉球弧の火山活動。地質ニュース, no. 634, 6-9.
- Ibaraki, M. (1981) OKINAWA ISLAND. In *Neogene of Japan - Its biostratigraphy and chronology -*, 34-36, IGCP-114 National Working Group of Japan.
- 井上卓彦・天野敦子・板木拓也 (2022) 巻頭言: 鹿児島県トカラ列島周辺の海洋地質 —2020年度調査航海結果—。地質調査研究報告, **73**, 193-196.
- 井上卓彦・板木拓也・天野敦子 (2023) 巻頭言: 鹿児島県トカラ列島周辺の海洋地質 —2021年度調査航海結果—。地質調査研究報告, **74**, 187-191.
- Iryu, Y., Matsuda, H., Machiyama, H., Piller, W. E., Quinn, T. M. and Mutti, M. (2006) Introductory perspective on the COREF Project. *Island Arc*, **15**, 393-406.
- 石野沙季・三澤文慶・有元 純・井上卓彦 (2022) トカラ列島南西沖におけるGB21-1航海の反射法音波探査概要。地質調査研究報告, **73**, 219-234.
- 石野沙季・針金由美子・三澤文慶・井上卓彦 (2023) 2021年度海域地質図航海で行ったトカラ列島周辺海域の反射法音波探査及びドレッジ概要。地質調査研究報告, **74**, 211-230.
- 石野沙季・石塚 治・針金由美子・有元 純・三澤文慶・井上卓彦 (2024) 2022年度海域地質図航海で行ったトカラ列島北方海域における反射法音波探査及びドレッジ概要。地質調査研究報告, **75**, 167-196.
- 岸本清行 (2000) 海陸を合わせた日本周辺のメッシュ地形データの作成: Japan250m.grd. 地質調査所研究資料集, no. 353 (CD).
- Lam, A. R., Crundwell, M. P., Leckie, R. M., Albanese, J. and Uzel, J. P. (2022) Diachroneity rules the mid-latitudes: A test case using Late Neogene planktic foraminifera across the Western Pacific. *Geosciences*, **12**, 190.
- Li, B., Jian, Z., Li, Q., Tian, J. and Wang, P. (2005) Paleocyanography of the South China Sea since the middle Miocene: evidence from planktonic foraminifera. *Marine Micropaleontology*, **54**(1-2), 49-62.
- 松田博貴・林田将英・千代延俊・山崎 誠・佐々木圭一 (2023) 鹿児島県喜界島で発見された下部更新統知

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

( 受付：2024年1月19日； 受理：2024年9月26日 )