

トカラ列島周辺海域における底生有孔虫群集の概要 (予報)

長谷川 四郎^{1,*}

HASEGAWA Shiro (2023) Preliminary report on the benthic foraminifera in the seas surrounding the Tokara Islands, southwest Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 74 (5/6), p. 301-314, 3 figs and 1 table.

Abstract: Four depth zones are recognized based on occurrence of benthic foraminifera at 73 sites from 185 to 1,200 m depths during GB21-1, 2 and 3 cruises around the Tokara Islands. These depth zones correspond to previously reported Zones II to V around the Nansei Islands. However, there is a clear difference in water depth of those zones between the northern part (this sea) and southern end (Yaeyama Islands) in the Nansei Islands. This difference is thought to be related to the geographic variation of the stratified structure by the Kuroshio and intermediate/deep water in the East China Sea.

At some sites, abnormal values are shown in the depth distribution of foraminiferal indicators such as benthic and planktonic foraminiferal numbers, proportion among three types of test composition in benthic foraminifera, proportion of planktonic one in total foraminifera (PF%). Those peculiar occurrences of foraminiferal assemblages are presumed to have been locally formed by remarkable relief of seafloor due to volcanic activity in the Tokara Islands and the strong flow of the Kuroshio Current in this area.

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

要 旨

GB21-1, 2 及び 3 航海によるトカラ列島周辺海域の水深約 185-1,200 m の 73 地点の試料について, 有孔虫群集の産状を検討した。底生有孔虫主要種の深度分布をもとに識別した 4 帯の群集は, これまでに南西諸島周辺で報告された II 帯~V 帯に対応する。しかし, 南西諸島北部の本海域と南端の八重山周辺海域とでは, 深度帯の水深に明瞭な相違がある。その地理的変異は, 東シナ海における海洋構造に関連すると考えられる。

底生・浮遊性有孔虫数, 底生有孔虫の殻質構成比, 浮遊性有孔虫率などの指標を算出し, 各有孔虫指標の深度分布における異常値に着目して, それぞれの地点の有孔虫群集が形成される要因を検討した。トカラ列島周辺の起伏に富む海底地形と黒潮の強い流れによって, 局所的に多様な有孔虫遺骸群集が生まれることが推定された。

1. はじめに

産業技術総合研究所地質情報研究部門が望星丸により実施した 3 次わたる令和 3 年度の調査航海 (GB21-1, 2 & 3) により, トカラ列島周辺海域から採取された表層

堆積物について, 底生有孔虫群集の予察的調査を行った。本調査の中心を占めるトカラ (吐噶喇) 列島は, 屋久島と奄美大島との南北約 160 km に点在する火山島群で, その東縁は口之島から横当島に至る北北東-南南西方向の島列をなし, その西方には大小の島々が散在する (第 1 図)。列島東縁の島列は, 南九州から延びる琉球弧の火山フロントに相当するもので, 列島北部の口之島, 中之島及び諏訪之瀬島には活火山が見られる。東縁の島列より西側には, 臥蛇島・平島などの火山島のほかに, 海面下に曾根・堆などと呼ばれる多数の火山性海丘が点在する。火山島の周囲や多くの海丘頂部には, 水深約 200 m 以浅 (まれに 300 m 付近) に平坦面が認められるが, それ以深は水深 500 ~ 700 m に向かって急斜面をなす。また, その西方は, 大局的には緩やかに西方の沖繩舟状海盆底に向かう。一方, 列島の東側は, 悪石島以北では屋久島から南南西に延びる種子・屋久海脚と列島との間に水深 600 ~ 700 m の谷地形があり, また, 宝島以南では奄美大島から北東に延びる奄美海脚との間に水深約 800 m で幅広の奄美舟状海盆があって, 両海脚の間の鞍部 (トカラギャップと呼ばれる) の西方において合流する。

本調査海域の南側に隣接する奄美大島周辺から八重山

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

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

諸島に至る南西諸島の周辺海域では、産総研地質情報研究部門による調査航海が2008年以来実施されており、その採取試料にもとづく有孔虫分布の概要として、群集の基礎的統計量で表される指標と主要構成種の水深に伴う変化の概略が、速報として報告されてきた(たとえば、大井ほか, 2009; 長谷川・内村, 2017; 長谷川, 2020など)。今回のトカラ列島を中心とする調査海域は、これまでの奄美大島周辺やそれ以南に比べて、とくに多くの火山島と海丘群が集中して存在し、海底地形の起伏が著しく大きい。加えて、東シナ海を北上する黒潮がこのトカラ列島周辺海域を経て太平洋側に抜ける。トカラ海峡付近における流軸の位置は時期により変動し、時には悪石島付近まで南偏するが、概ね列島の北部海域を通過する(橋本・井上, 2009)。その際に列島を構成する島嶼や海丘群などの高まりによって海流に擾乱が生じることで、有孔虫殻の堆積作用に大きな影響を与えていることが推定される。

そこで、今後のより詳細な解析の予察として、ここではこれまでの報告と同様の有孔虫群集の各指標や主要構成種の深度分布を調査し、奄美大島以南の各海域において示された結果がどの程度の広域性を有するのかを検証するとともに、海底地形に影響されると考えられる群集組成の局所的な変異について検討する。

2. 調査試料

有孔虫分析に用いる試料は、3次にわたる航海で採取された以下の計124地点である。

GB21-1航海: 列島のほぼ中央に位置する悪石島を北端とし、トカラ列島南端の横当島に至る島列を軸に東西に広がる海域の水深353 m (St. g90) ~ 1,169 m (St. g108)にわたる計48地点。

GB21-2航海: 悪石島を北西端とするGB21-1の東側の海域の水深450 m (St. g268) ~ 1,201 m (St. g70)の15地点。

GK21-3航海: 悪石島付近を南限とするトカラ列島の北半部、並びにその北側の口永良部島周辺からその西方に広がる海域の、水深185 m (St. g351) ~ 968 m (St. g122)の61地点。

これらの全地点の試料について、底生有孔虫の生体識別のためのローズベンガル染色と、乾燥重量を算出するための所定の手順(下記)で処理したのち、水深、含泥率、及び処理後の試料について、構成粒子の粒度・岩質などの特性の違いを考慮のうえで、計73地点を選定して、有孔虫類の産状を予察的に分析した(第1表)。

本報告に用いる試料の採取地点はトカラ列島を中心とする海域で、いずれも種子島・屋久島から奄美群島一沖縄諸島に至る島列より西側の東シナ海に位置する。その中でも、トカラ列島付近はとくに多くの火山島と海丘群が集中することから、それによる著しく起伏に富む海底地形が有孔虫群集の分布に及ぼす影響を把握するための

予備調査として、海丘群がとくに多い海域を仮に“トカラ火山群島海域”とし、その周囲の比較的起伏の少ない海域と対比しつつ有孔虫群集の差異を検討する(第1図)。

トカラ火山群島海域の範囲は、第1図において破線で示すように、北東端をトカラ列島北端の口之島から北方の口永良部島に続く海丘列、北西端をひきそね曾根、南西端は五号曾根タコから西ノ曾根-横ガン曾根-宝島を経て横当島周辺の海丘群、東端は小宝島から諏訪之瀬島-中之島を経て平瀬-口永良部島に至る島列とし、各山体の斜面下底の傾斜変換点付近(水深500 m ~ 700 m)を結ぶ線の内側とする。なお、第1図には、有孔虫用全試料の採泥位置を示し、予察に用いた地点にのみ地点名を付した。

トカラ火山群島海域(以下では、“火山群島海域”と記す)では30地点を選定した。その最浅地点は平瀬南東の上部斜面にあたるSt. g270(水深268 m)、最深地点は五号曾根の南西、海丘に囲まれた小海盆にあたるSt. g190(水深932 m)である。火山島及び海丘の斜面は急傾斜をなし、それで深で緩傾斜となる。その傾斜変換点は北半部では水深500 ~ 600 mであるが、悪石島より南西側で深くなる傾向にあり、横当島周辺で約800 m、沖縄トラフ縁辺にあたる五号曾根タコや西ノ曾根付近では水深約1,000 mである。

火山群島海域を取り巻く東シナ海海域では、43地点を選定した。以下では、便宜上、火山群島海域の東・西・南・北側の4海域に分けて述べる。北側海域は口之島の北側に広がる平坦面とその北側の黒島堆周縁域である。最浅地点は黒島堆上のSt. g351(水深185 m)だが、これを除く残りの7地点はいずれも海丘斜面から若干離れた、水深が472 m (St. g358) ~ 752 m (St. g337)の平坦面に位置する。西側海域は水深651 m (St. g264)を最浅とし、緩斜面を経て水深1,000 m超の沖縄トラフ底に至る範囲に位置する12地点である。南側海域は奄美舟状海盆底にあたる水深702 m (St. 40) ~ 999 m (St. g45)の8地点と、その延長上でトカラ海底谷に連なる本調査の最深採泥地点St. g70(1,201 m)、及び舟状海盆底縁辺部のSt. g24(水深473 m)とSt. g26(水深681 m)である。東側海域はトカラ列島と種子・屋久海脚に挟まれた幅広の谷の内部にあたる、水深525 m (St. g174) ~ 1,064 m (St. g94)の12地点である。

試料は、木下式グラブ採泥器によって採取された表層堆積物の表層2 cmの部分で、当初の目標として約30 ml、実際には20 ~ 60 mlが分取された。採取試料は直ちに冷蔵保存され、寄港先から研究室に輸送された。

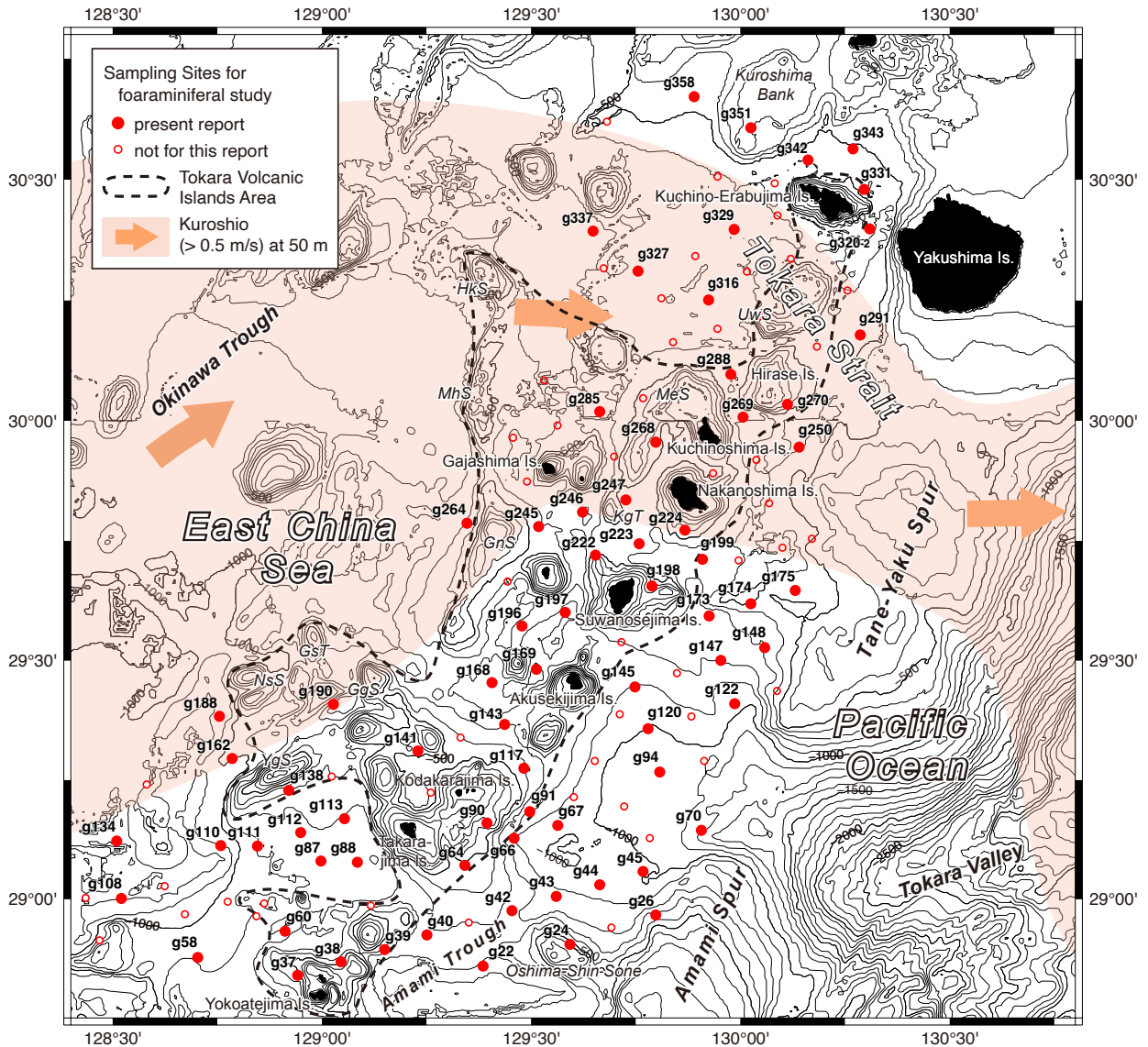
湿潤状態にある有孔虫用試料の室内処理において、試料の乾燥重量を求める目的で、なおかつ有孔虫生体を識別するための染色処理に至る工程を通じて、試料の乾燥を忌避するために、処理作業の初期段階で試料中の泥分を分離・回収し、その一定分量の重量を測定して、総重量の推計値を算出した。その手順は以下に示すとおりで、

トカラ列島周辺の底生有孔虫群集 (長谷川)

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

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

Area	Site	Latitude (N)	Longitude (E)	Water Depth (m)	Cruise GB	Dry Weight (estimated) (g)	Mud Content (%)	Foraminiferal No. (/g)		Wall Composition of Benthic Foraminiferal Test (%)			Planktonic Foraminifera Ratio (%)	Pteropoda / Plankt. Foram. Ratio	Living Benthic Foraminifera	
								Benthic	Planktonic	Agglutinated	Porcellaneous	Hyaline				
Tokara Volcanic Islands Area	g270	30° 02.22'	130° 06.59'	268	21-3	43.5	2.1	439	433	4.9	14.7	80.4	49.7	0.21	+	
	g90	29° 09.55'	129° 23.70'	353	21-1	36.9	5.5	2,024	2,024	5.9	16.4	77.6	73.3	0.65	+	
	g224	29° 46.34'	129° 51.87'	416	21-1	56.4	1.1	132	467	1.7	25.3	73.0	78.0	0.06	+	
	g268	29° 57.36'	129° 47.89'	450	21-2	52.6	8.7	2,075	5,871	1.4	13.1	85.4	73.9	0.16	+	
	g141	29° 18.69'	129° 13.86'	475	21-1	56.9	3.5	1,319	2,809	3.4	10.9	85.7	68.0	0.24	+	
	g38	28° 52.05'	129° 02.71'	489	21-1	28.1	1.0	12	58	4.0	14.9	81.0	82.9	0.20	+	
	g198	29° 39.41'	129° 47.31'	507	21-3	49.8	17.2	70	871	12.4	11.0	76.7	92.6	0.07	+	
	g222	29° 43.24'	129° 39.27'	509	21-1	49.6	4.3	240	1,599	2.1	19.3	78.5	86.9	0.13	+	
	g64	29° 04.28'	129° 20.39'	524	21-1	6.8	26.5	134	470	4.5	25.8	69.7	77.8	0.08	+	
	g37	28° 50.46'	128° 56.45'	543	21-1	46.6	6.1	80	1,824	10.5	16.9	72.6	95.8	0.38	+	
	g331	30° 28.88'	130° 17.74'	546	21-3	30.9	18.5	232	1,708	7.7	4.1	88.3	88.0	0.00	+	
	g245	29° 46.92'	129° 31.09'	560	21-3	51.1	7.6	1,148	4,189	3.9	24.5	71.6	78.5	0.14	+	
	g223	29° 44.63'	129° 45.44'	563	21-1	45.1	7.9	204	2,557	5.9	9.8	84.3	92.6	0.03	+	
	g117	29° 16.56'	129° 28.81'	576	21-1	41.9	2.4	110	552	5.1	11.1	83.9	83.3	0.08	+	
	g247	29° 50.13'	129° 43.63'	582	21-3	45.9	7.9	202	806	6.0	18.0	76.0	80.0	0.04	-	
	g288	30° 05.92'	129° 58.63'	584	21-2	59.1	5.3	131	246	8.0	18.9	73.1	65.2	0.03	+	
	g320-2	30° 23.97'	130° 18.56'	590	21-3	51.4	6.9	168	1,367	4.9	2.0	93.1	89.0	0.02	+	
	g246	29° 48.69'	129° 37.35'	604	21-3	35.2	24.1	756	15,700	7.7	7.2	85.1	95.4	0.10	+	
	g285	30° 01.27'	129° 39.81'	643	21-3	27.7	24.1	1,270	19,234	17.9	0.3	81.8	93.8	0.00	+	
	g269	30° 00.58'	130° 00.34'	644	21-3	48.3	6.9	22	58	2.0	10.0	88.1	72.4	0.03	-	
	g39	28° 53.70'	129° 08.90'	657	21-1	51.2	3.9	340	3,442	11.3	10.3	78.4	91.0	0.11	+	
	g143	29° 22.00'	129° 26.21'	669	21-1	48.2	4.1	515	4,673	2.4	11.2	86.4	90.1	0.07	+	
	g138	29° 13.84'	128° 55.32'	714	21-1	27.8	20.5	508	9,571	26.3	4.3	69.4	95.0	0.01	+	
	g196	29° 34.54'	129° 28.64'	780	21-3	38.2	32.9	868	29,464	17.9	0.3	81.8	97.1	0.00	+	
	g91	29° 11.06'	129° 29.81'	808	21-1	24.3	18.7	2,176	11,429	8.5	0.0	91.5	84.0	0.01	+	
	g60	28° 55.91'	128° 54.71'	841	21-1	21.8	72.1	221	6,665	54.9	0.4	44.7	96.8	0.00	+	
	g168	29° 27.43'	129° 24.43'	861	21-3	24.1	60.2	519	17,060	29.8	0.5	69.7	97.0	0.00	+	
	g197	29° 36.11'	129° 34.96'	868	21-1	55.9	10.2	185	2,035	3.0	1.0	96.0	91.7	0.01	+	
	g169	29° 29.03'	129° 30.63'	923	21-3	51.8	6.3	32	944	7.6	0.5	91.9	96.8	0.00	-	
	g190	29° 24.49'	129° 01.72'	932	21-1	30.2	95.5	136	2,691	52.9	0.5	46.6	95.2	0.00	+	
East China Sea	northern sector (North of Kuchinoshima Is.)	g351	30° 36.55'	130° 01.49'	185	21-3	47.2	7.3	156	145	1.3	17.4	81.3	48.2	0.12	+
		g358	30° 40.44'	129° 53.35'	472	21-3	28.4	38.8	1,524	22,672	8.5	1.4	90.0	93.7	0.00	+
		g343	30° 33.85'	130° 16.08'	502	21-3	18.6	80.1	375	2,209	33.9	4.6	61.5	85.5	0.06	+
		g342	30° 32.54'	130° 09.70'	592	21-3	23.9	80.4	306	8,328	12.6	0.5	86.9	96.5	0.02	+
		g316	30° 15.06'	129° 55.44'	618	21-3	36.1	32.3	582	2,562	17.1	3.4	79.5	81.5	0.00	+
		g329	30° 23.98'	129° 59.02'	639	21-3	35.6	25.2	236	14,331	15.6	1.0	83.4	98.4	0.00	+
		g327	30° 18.69'	129° 45.41'	676	21-3	33.0	22.5	423	8,187	14.2	0.0	85.8	95.1	0.00	+
		g337	30° 23.65'	129° 38.86'	752	21-3	55.3	12.7	132	1,519	4.5	2.5	93.0	92.0	0.00	+
		g174	29° 37.21'	130° 01.54'	525	21-3	11.6	39.2	373	3,620	10.5	5.9	83.6	90.7	0.04	+
		g175	29° 38.89'	130° 07.78'	554	21-3	39.7	25.1	233	2,435	11.5	15.7	72.8	91.3	0.43	+
	eastern sector (western flank of Tane-Yaku Spur)	g291	30° 10.81'	130° 17.16'	563	21-3	39.3	9.3	371	2,837	3.5	10.5	86.0	88.4	0.06	+
		g250	29° 56.78'	130° 08.42'	599	21-3	34.0	10.3	828	5,979	5.0	16.8	78.2	87.8	0.02	-
		g199	29° 42.81'	129° 54.66'	669	21-3	43.4	16.5	187	2,228	8.1	4.1	87.8	92.3	0.20	+
		g148	29° 31.75'	130° 03.44'	671	21-3	28.1	11.3	10	164	3.7	4.7	91.6	94.2	0.01	+
		g173	29° 35.66'	129° 55.54'	727	21-3	43.0	18.3	127	845	18.2	0.0	81.8	86.9	0.02	+
		g147	29° 30.14'	129° 57.23'	801	21-3	49.9	21.8	72	1,889	22.1	0.0	77.9	96.3	0.00	+
		g145	29° 26.87'	129° 44.85'	915	21-3	25.5	61.1	210	2,521	59.8	0.0	40.2	92.3	0.00	+
		g122	29° 24.76'	129° 59.10'	968	21-3	46.4	20.5	64	1,747	18.0	0.7	81.3	96.5	0.00	+
		g120	29° 21.52'	129° 46.68'	1,012	21-2	31.7	86.8	103	938	72.5	1.0	26.5	90.1	0.00	+
		g94	29° 16.08'	129° 48.51'	1,064	21-2	31.3	83.6	143	842	79.5	0.0	20.5	85.5	0.00	+
	southern sector (Amami Trough)	g24	28° 54.46'	129° 35.46'	473	21-1	38.4	4.2	1,381	5,680	5.0	11.6	83.4	80.4	0.00	+
		g26	28° 58.18'	129° 47.87'	681	21-2	53.3	7.3	1,051	6,502	4.1	7.8	88.1	86.1	0.14	-
		g40	28° 55.49'	129° 15.06'	702	21-1	69.8	4.6	32	2,668	11.7	8.4	79.8	98.8	0.00	+
		g42	28° 58.65'	129° 27.20'	735	21-1	30.0	3.2	69	771	2.7	8.4	88.9	91.8	0.05	+
		g22	28° 51.60'	129° 23.15'	823	21-1	45.7	3.8	405	2,487	1.4	9.2	89.4	86.0	0.05	+
		g43	29° 00.39'	129° 33.55'	861	21-1	51.3	2.7	10	16	1.9	2.3	95.8	62.9	0.00	-
		g66	29° 07.65'	129° 27.74'	896	21-1	29.1	73.1	508	13,256	21.9	1.9	76.2	96.3	0.00	+
		g44	29° 01.94'	129° 39.79'	940	21-2	41.2	18.9	161	945	0.9	0.9	98.2	85.4	0.02	+
		g67	29° 09.29'	129° 33.82'	943	21-1	23.4	51.1	676	18,744	13.0	0.4	86.6	96.5	0.01	+
		g45	29° 03.62'	129° 45.99'	999	21-2	58.4	13.0	317	7,326	2.3	1.4	96.3	95.9	0.00	-
g70	29° 08.79'	129° 54.39'	1,201	21-2	26.7	62.5	256	4,322	61.5	0.0	38.5	94.4	0.00	+		
western sector (Okinawa Trough)	g264	29° 47.30'	129° 20.86'	651	21-3	32.0	28.8	756	14,163	13.2	1.7	85.1	94.9	0.00	+	
	g88	29° 04.65'	129° 05.11'	699	21-1	40.8	10.4	122	4,744	11.5	2.4	86.1	97.5	0.00	+	
	g113	29° 10.07'	129° 03.24'	828	21-1	26.3	30.3	859	37,324	7.7	1.4	91.0	97.7	0.00	+	
	g112	29° 08.46'	128° 57.03'	836	21-1	28.8	40.1	224	20,220	21.6	1.5	77.0	98.9	0.00	+	
	g87	29° 04.83'	128° 59.95'	883	21-1	21.3	95.9	76	2,613	60.1	0.0	39.9	97.2	0.00	+	
	g111	29° 06.79'	128° 50.73'	915	21-1	27.2	47.2	235	13,120	9.3	0.9	89.8	98.2	0.00	-	
	g58	28° 52.66'	128° 42.27'	960	21-1	22.6	93.5	73	3,541	65.1	1.4	33.5	98.0	0.00	+	
	g162	29° 17.65'	128° 47.24'	1,003	21-1	17.4	96.8	310	1,071	95.7	0.0	4.3	77.5	0.00	+	
	g110	29° 06.74'	128° 45.60'	1,071	21-1	27.7	62.9	187	7,905	26.4	0.4	73.1	97.7	0.00	+	
	g188	29° 23.06'	128° 45.28'	1,145	21-1	17.4	92.1	256	2,155	75.6	0.0	24.4	89.4	0.00	+	
g134	29° 07.29'	128° 30.61'	1,151	21-1	29.9	98.7	62	366	82.6	0.4	17.0	85.5	0.00	+		
g108	29° 00.06'	128° 31.33'	1,169	21-1	27.2	93.5	104	2,419	55.1	2.9	42.0	95.9	0.00	+		



第1図 GB21-1, 2&3航海の底生有孔虫試料採取地点とトカラ火山群島海域(破線が囲む範囲)。淡赤色は黒潮軸部(50 m深の流速0.5 m/s以上)の2021年の最大変動範囲(気象庁ホームページ「各種データ資料/海流に関する診断表, データ/月旬平均海流」(気象庁, 2023)を元に, 1年分を合成して作成)。海丘等の名称は海底地形の名称に関する検討会(2022)及び横瀬ら(2010)による(GgS: 五号曾根, GnS: 権曾根, GsT: 五号曾根タコ, HkS: 墓曾根, KgT: 小隊蛇堆, MeS: 芽瀬, NsS: 西ノ曾根, YgS: 横ガン曾根)。海底地形は岸本(2000)に基づく。

Fig. 1 Sampling locations for benthic foraminifera research collected during GB21-1, 2 and 3 cruises. Light red area is maximum fluctuation range of strong current (more than 0.5 m/s) of Kuroshio during 2021. Area enclosed by dashed-dotted lines is Tokara Volcanic Islands Area. Undersea topographic names are based on Japanese Committee on Undersea Feature Names (2022); (GgS: Gogo-Sone, GnS: Gon Sone, GsT: Gogosone Tako, HkS: Hiki Sone, KgT: Ko-Gaja Tai, MeS: Me Se, NsS: Nishi-no-Sone, YgS: Yokogan Sone). Topographic map is based on Kishimoto (2000).

大井ほか(2009)や長谷川(2020)など, 産総研の西南諸島周辺における一連の有孔虫調査で継続して実施されてきたものである。

1) 泥分の分離: 250メッシュ(開口径63 μm)の篩上で水洗。篩を通過する泥分を含む洗浄水を3,000 mLビ-

カーに回収。

2) 泥分の測定: 1)の泥分を含む洗浄水を十分に攪拌し, その1/100量を抜き取って乾燥させ, 泥分の重量を測定。

3) 生体の染色: 篩に残る粗粒部に, それと同容量のローズベンガル液(0.5 g/L)を加え24時間保持。

- 4) 余分な染色液の除去：250メッシュの湯洗用特製篩上で、染色した粗粒部を約40℃の温水により洗浄した後、40℃で乾燥して計量。
- 5) 乾燥重量の算出：2)の泥分の重量 ($W_{t_{md}}$)と4)の粗粒部の重量 ($W_{t_{sd}}$)を元に、次式により試料の推計乾燥重量 ($W_{t_{est}}$)を算出。

$$W_{t_{est}}(g) = W_{t_{sd}} + (W_{t_{md}} \times 100)$$
- 6) 含泥率測定：2)の泥分の重量 ($W_{t_{md}}$)と5)の(推計)乾燥重量 ($W_{t_{est}}$)より含泥率 ($MC\%$)を算出。

$$MC\% = (W_{t_{md}} \times 100) \times 100 / W_{t_{est}}$$
- 7) 有孔虫個体の摘出：底生種と浮遊性種のそれぞれについて、1分割分あたり200個体以上を目標として、簡易試料分割器により2分割を繰り返して、最小分割分から全有孔虫個体を拾い出す。なお、拾い出す対象を、大井ほか(2009)を踏襲して、直径125 μm (115メッシュ)以上の比較的大きい個体とした。
- 8) 有孔虫個体数の計数：底生有孔虫の属種の同定を行うとともに、群集の概要を把握する目的で、次に挙げるa)～f)の6項目の検討を行った。
- 有孔虫数：単位乾燥重量 (1 g)あたりの有孔虫産出個体数。底生種と浮遊性種のそれぞれについて計数。
 - 底生有孔虫殻質構成比：底生有孔虫の殻質(膠着質・磁器質石灰質・ガラス状石灰質)の区分にもとづく構成比。
 - 浮遊性有孔虫率 (PF%)：全有孔虫個体に占める浮遊性有孔虫個体の割合。
 - 翼足類—浮遊性有孔虫比：浮遊性有孔虫に対する翼足類の比率。
 - 底生有孔虫の生体：確認された生体個体の有無。
 - 底生有孔虫群集の主要構成種。

なお、本調査の分析試料には、これまでに実施された南西諸島周辺海域の産状と同様に、化石と推定される保存不良個体がかかなりの頻度で含まれる。しかし、有孔虫殻の保存状態により化石と現世遺骸を区別することは必ずしも容易ではなく、現状では両者を識別する基準が定まっていない。また、従来の報告との継続性をはかるため、ここでは長谷川(2018)など従来の報告と同様に、化石個体を保存不良の個体に含めたうえで、現世遺骸の一部として扱った。

3. 有孔虫群集の分析結果

前節に挙げた分析項目のうち、項目1)～5)の結果を第1表及び第2図と第3図に示す。なお、前節に示す方法で算出した調査試料の乾燥重量は、最多はSt. g40の69.8 g、多くが20 g～60 gの範囲内にあり、20 g未満は4地点であった。なお、最小値は宝島南東斜面下底付近のSt. g64における6.8 gで、試料は淘汰不良の含細礫粗粒砂よりなるが、これにおいても、有孔虫解析に足る十分な個体数が得られた(第1表)。

3.1 有孔虫数 (Foraminiferal Number)

有孔虫数は表層堆積物中の有孔虫殻の現存量や、岩石中の化石の賦存量を表す基礎統計量の一種であり、生物生産性の一つの目安である。しかし、その値は、有孔虫自体の生産量のほかに、堆積物を構成する碎屑物粒子の密度や有孔虫殻との量比などに依存するので、その活用には、碎屑物の供給源を含めた堆積場の環境諸条件と照らし合わせた吟味が必要となる。

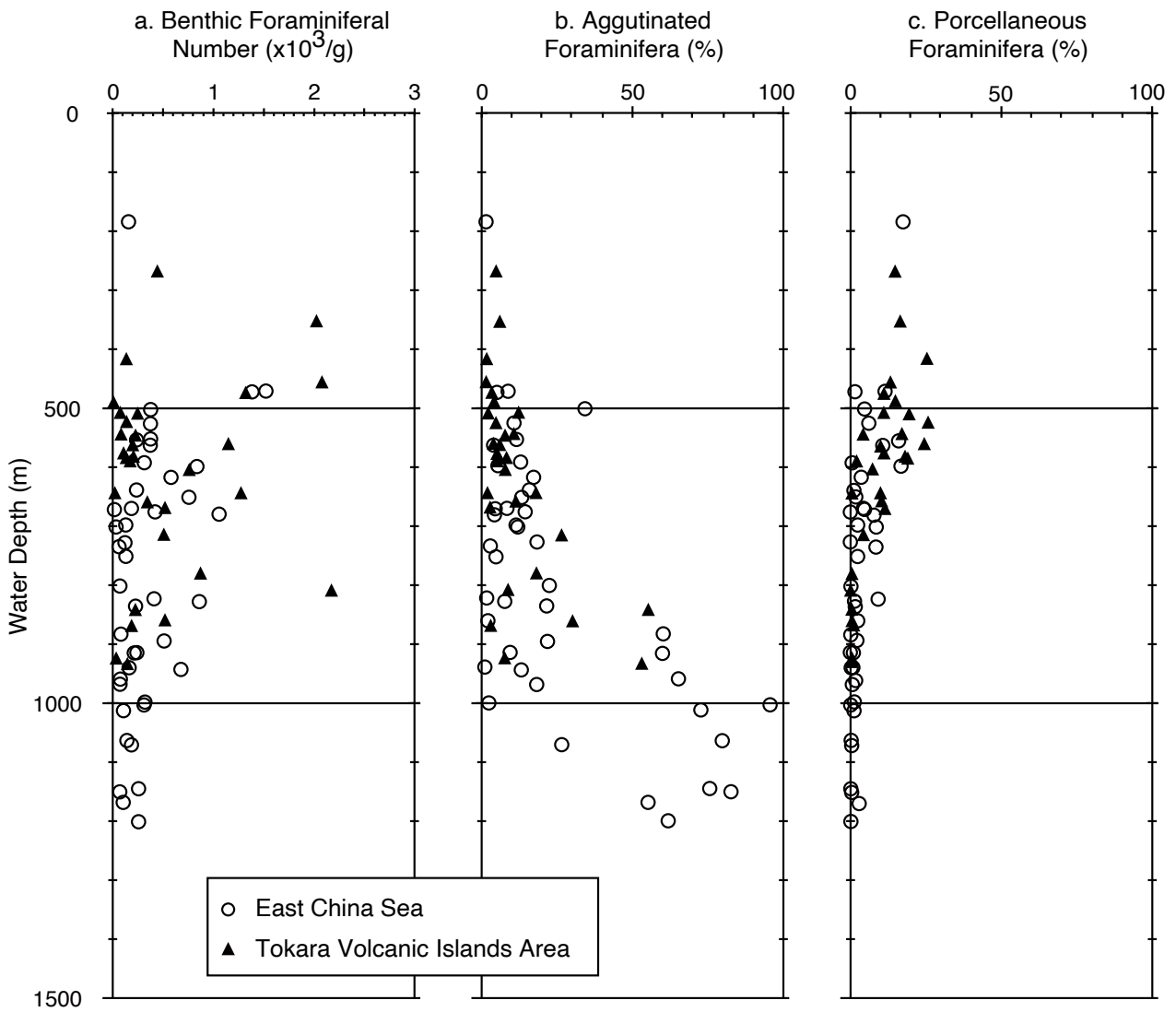
底生種の有孔虫数(底生有孔虫数 benthic foraminiferal number; FN_b)は9～2,176個体/gの値を示すが、全域を通じて300個体/g未満の地点が多い。その中で、火山群島海域では、水深約350～約800 mの地点で700個体/g以上の地点が確認され、とくに小宝島東側斜面のSt. g90(水深353 m)とSt. g91(808 m)、及び口之島西方の海丘の東斜面にあたるSt. 268(450 m)で2,000個体/g超の値を示す(第3図a)。東シナ海海域においては、水深600～950 mに500個体/gを超す地点が認められるほか、黒島堆西方の緩斜面上のSt. g358(水深472 m)で1,523個体/gの高い値を示す。また、奄美舟状海盆に向かう大島新曾根の斜面下部に位置するSt. g24(水深473 m)と奄美海脚北西斜面のSt. g26(681 m)で1,000個体/gを超す高い値を示す。

浮遊性種の有孔虫数(浮遊性有孔虫数 planktonic foraminiferal number; FN_p)は16～37,324個体/gと、地点による著しい違いはある。全体としては、水深約600～1,000 mの範囲で約10,000個体/g以上の高い値を示すが、全深度を通じて1,000個体/g未満の地点も少なくない(第3図b)。なお、火山群島海域のSt. g196(水深780 m)で29,464個体/g、東シナ海海域のSt. g358(水深472 m)で22,672個体/g、St. g113(水深828 m)では37,324個体/gなど、例外的に大きい値を示す地点も認められる。

3.2 底生有孔虫殻質構成比

有孔虫類は有機質、膠着質、石灰質または珪酸質の殻を有する原生物であり、殻の材質と構造は分類の基準として重視されてきた(Loeblich and Tappan, 1964; 1992など)。現生底生有孔虫に見られる殻のうち、有機質殻は試料処理の過程で元の形状が失われることが多いため、これまでの一連の調査で扱われておらず、今回も計数の対象に加えていない。また、珪酸質殻は、産総研による一連の南西諸島周辺調査の中で、沖縄周辺における大井ほか(2009)の報告を始めとして、これまでの有孔虫調査において確認されていない。

底生有孔虫は海洋のあらゆる海底環境に生息するが、膠着質殻種は海水の塩分が低下する沿岸域と、海水中の炭酸イオン濃度が減少する深海域で多産する傾向がある(Murray, 1973)。また、石灰質殻のうち磁器質殻の種は比較的高塩分の海域で増加する傾向にあり、その他の通常の海域では、ガラス状石灰質殻種が優勢である。これらの特性は環境指標として有効で、とくに化石群集によ



第2図 トカラ列島周辺海域における底生有孔虫の産状. a: 底生有孔虫数, b: 磁器質殻種の産出頻度, c: 膠着質有孔虫の産出頻度.

Fig. 2 General outline of benthic foraminifera in the seas surrounding Tokara Islands. a: benthic foraminiferal number; b and c: proportion of porcellaneous foraminifera (b) and agglutinated foraminifera (c) in benthic foraminifera.

る古環境指標として重視されている (Murray, 1991).

トカラ列島周辺海域においては、膠着質殻種の割合は1.3～95.7%まで、地点による大きな差異が認められるが、大局的には水深を増すにつれて増加する。すなわち、東シナ海・火山群島海域を通じて、水深500 m以浅では概ね10%未満であるが、水深約700 m以深で20%以上、約800 m以深では50%を越す地点が増加する(第2図b)。しかし例外的に、東シナ海海域の口永良部島北方のSt. g343(水深502 m)では33.9%と、水深の割に大きい値を示す。

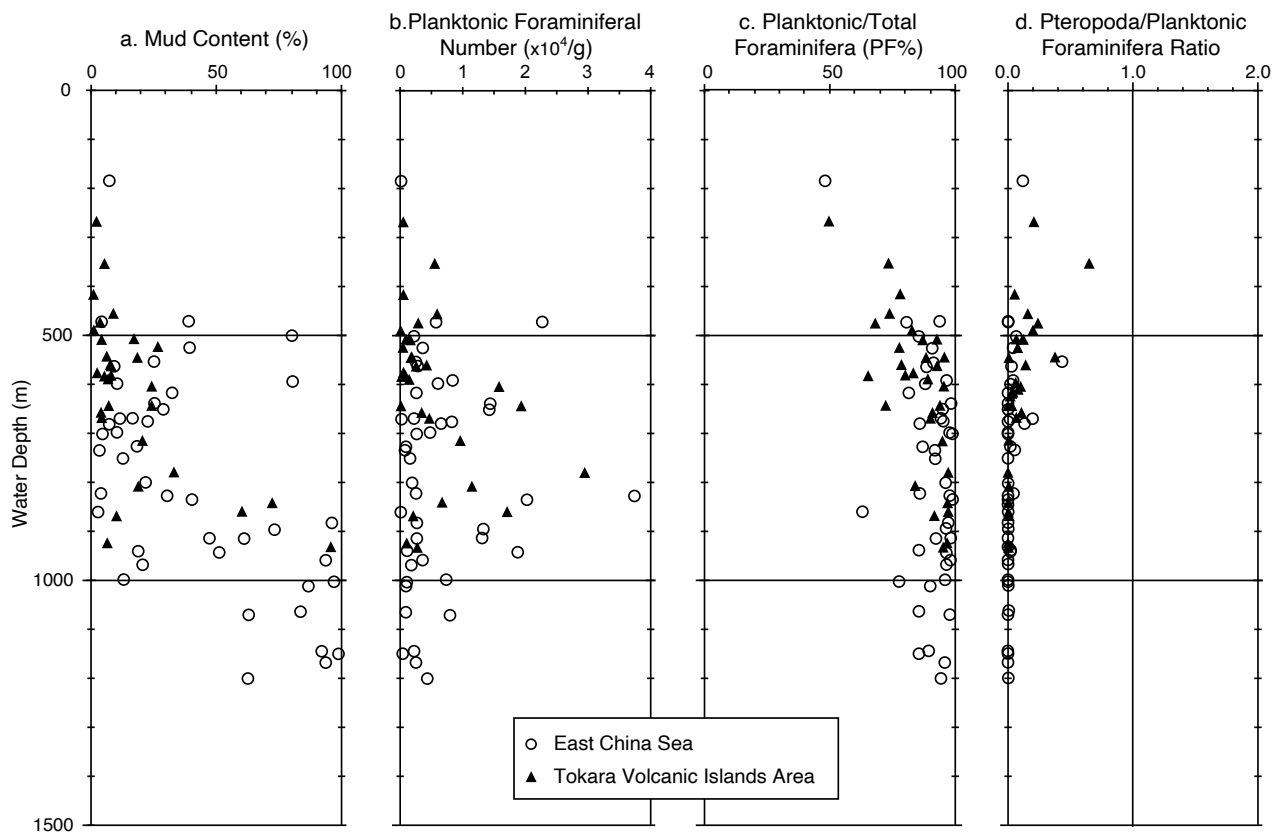
対照的に、火山群島海域では10%未満の地点も少なくない。東シナ海海域でも、奄美舟状海盆底の水深800 m

以深では5%以下の極端に小さい値を示す。また、宝島の西方には30%未満の地点(St. g110～g113)もある。

磁器質石灰質殻種の割合は、水深約600 m以浅で概ね10%以上の値を示し、とくに火山群島海域では約400～600 mで20%以上の地点も確認される。約600 m以深では10%未満、さらに700 m以深で5%未満と顕著に低下する(第2図c)。

3.3 浮遊性有孔虫率

浮遊性有孔虫が底生と浮遊性を合わせた全有孔虫群集の中で占める割合は古水深を示す指標の一つとして古環境解析において適用されてきた(Boltovskoy and Wright,



第3図 トカラ列島周辺海域における浮遊性有孔虫の産状. a: 含泥率, b: 浮遊性有孔虫数(/g), c: 浮遊性有孔虫率, d: 翼足類の浮遊性有孔虫に対する比率.

Fig. 3 General outline of planktonic foraminifera in the seas surrounding Tokara Islands. a: mud content; b: planktonic foraminiferal number; c: proportion of planktonic foraminifera in total foraminifera, d: ratio of pteropods to planktonic foraminifera.

1976; Murray, 1991). この指標は、従来、P/B比、P/T比のように、“比”として表記されることが多いが、実際は百分率である。そこで、ここでは浮遊性有孔虫率(planktonic foraminifera rate)と呼び、“PF%”と表記する。調査対象とした全地点におけるPF%は、48.2～98.9%の値を示す(第3図c)。東シナ海では、最浅地点のSt. g351(水深185 m)で48.2%だが、水深470 m以深で80%以上、650 m以深でほぼ90%以上となる。火山群島海域においても、最浅のSt. g270(水深268 m)で約50%、水深400 m以深で70%以上、500 m以深で90%に達するなど、周囲の東シナ海海域とほぼ同様、水深が増すにつれて増加する傾向にあるが、その一方で、水深500 m以深においても90%に達しない地点が少なくない。

なお、以上のような一般的な傾向に比べて、例外的に小さな値として、火山群島海域の口之島付近のSt. g288(水深584 m)とSt. g269(水深644 m)でそれぞれ約65%と72%、また東シナ海海域でも、沖縄トラフ縁辺のSt. g162(水深1,003 m)と奄美舟状海盆のSt. g43(861 m)でそれぞれ約78%と63%が確認された。

3.4 翼足類

アラレ石で作られる翼足類(軟体動物)の殻は、方解石からなる有孔虫の殻よりも溶解しやすい。そこで、その存在比が有孔虫殻の溶解の目安になる可能性を考慮して、南西諸島周辺海域におけるこれまでの調査において、翼足類遺骸と浮遊性有孔虫殻の産出個体数比(Pteropods/Planktonic foraminifera ratio; Pt/PF比)を検討してきた(長谷川・内村, 2017など)。本調査海域におけるPt/PF比は、0.00～0.65の値を示し、水深約550 m以浅の地点で0.4を上回るものの、大多数の試料が得られた水深約500 m以深では0.1未満であり、翼足類遺骸がまったく含まれない地点も多い(第3図d)。一方、例外的に高い値を示す地点として、火山群島海域におけるSt. g90(水深353 m)の0.65(最大値)とSt. g37(水深543 m)の0.38、東シナ海海域におけるSt. g175(水深554 m)の0.43が挙げられる。

3.5 底生有孔虫生体個体

有孔虫の生体個体は、ローズベンガルで赤色に染まった軟体部(原形質)の有無により識別される。本報告の

海域において確認された生体個体の産出率は、全調査地点を通じて非常に小さい。定量的群集解析のため200個体以上を目標に有孔虫殻を拾い出した結果では、1地点あたり最大でも4個体、すなわち産出頻度によると2%未満であり、大多数の地点では生体が確認されなかった。そこで、処理済み試料の半量(最大分割分)について、あらためて生体の有無を調べたところ、多くの地点で数個体以上の染色個体が抽出された。その一方で、火山群島海域の3地点と東シナ海海域の5地点では、これまでに生体個体が検出されていない。なお第1表には、産出の有無(+または-)のみを示す。

3.6 底生有孔虫群集の主要構成種

GB21-1, 2 & 3航海により採取された試料の有孔虫について、今後の詳細な分類学的検討に基づく群集解析に先立ち、ここでは前項の各種指標を得る過程で把握された底生有孔虫主要種の産出状態について概観する。

本調査海域の南側に隣接する奄美大島周辺海域では、かつて実施された調査航海(GK15-2, GK17-2)の際に、主要底生有孔虫種の水深に伴う遷移にもとづいて、I帯～V帯の群集が識別されている(長谷川・内村, 2017; 長谷川, 2018)。その帯区分を参考にして、本調査海域における有孔虫群集の産出について検討した結果、奄美大島周辺のII帯～V帯に対応する4群集が確認された。しかし、I帯については、長谷川(2018)が奄美大島周辺で水深120 m以浅に分布すると報告したが、本調査では該当する水深の有孔虫分析試料が得られておらず、相当する群集は確認されない。

II帯(水深360 m以浅)：火山群島海域の水深268 m (St. g270)と353 m (St. g90)、及び東シナ海海域の水深185 m (St. g351)で確認される。II帯の群集組成は奄美大島周辺におけるII帯(水深160 m～350 m)の群集組成とほぼ一致し、*Quinqueloculina*属、*Spiroloculina*属、*Triloculinella*属などの磁器質殻種のほか、*Cibicides*属、*Globocassidulina subglobosa*、*Rectobolivina bifrons*などが多産し、*Glabrattella*属、*Anomalinaella rostrata*などを伴う。

本調査海域でもっとも浅い東シナ海海域のSt. g351では保存状態の良好の殻が多く、染色個体(生体)としては、*Quinqueloculina*属と*Lenticulina*属が確認される。その一方で、保存不良で再堆積と考えられる個体も少なくない。火山群島海域では、St. g270で*Lenticulina*属と*Dentalina*属の染色個体が確認される。また、St. g90では、保存状態の良い有孔虫や翼足類の遺骸が多く含まれるものの、生体は*Quinqueloculina*属の1個体が確認されたのみである。さらに、保存不良で再堆積と考えられる個体やマンガン様の物質で覆われた個体や、サンゴ・コケムシ類などの骨格も多く認められる。

III帯(水深380 m～550 m)：火山群島海域では水深416 m (St. g224)～543 m (St. g37)までの8地点、及び東シナ海

域の水深472 m (St. g358)～546 m (St. g331)の5地点で確認される。III帯の群集は*Ammolagena clavata*、*Psammosphaera*属、*Bolivina robusta*、*Cibicides*属、*Cibicoides pachydermus*、*Eponides repandus*、*Globocassidulina*属、*Heterolepa subhaidingerii*、*Hoeglundina elegans*、*Lenticulina*属、*Paracassidulina*属などで構成されており、奄美大島周辺のIII帯の組成に酷似する。また、*Cibicides refulgens*、*Hoeglundina elegans*、*Lenticulina*属及び*Burseolina*属などに、比較的多くの染色個体が認められた。

III帯の試料には、長谷川(2018)がI帯の特徴とした大型有孔虫類が確認されるものの、その多くは破損個体または殻の薄い幼体である。また、火山群島海域の約半数の地点と東シナ海海域のSt. g24(水深473 m)で、黄褐色に変質した殻の個体が確認された。なお、口永良部島の北側のSt. g343(水深502 m)では、III帯を特徴づける種群に加えて、IV帯～V帯に特徴的な*Pullenia bulloides*、*Sigmoilina sigmoidea*や膠着質殻の*Ammodiscus*属、*Bathysiphon*属、*Saccorhiza*属なども含まれる特異な様相を呈する。これについては後節(考察)において検討する。

IV帯(水深550 m～880 m)：火山群島海域の水深560 m (St. g245)～868 m (St. g197)までの計17地点、及び東シナ海海域の水深554 m (St. g175)～861 m (St. g43)の21地点が該当する。IV帯の群集組成は、*Reophax*属、*Ehrenbergina histrix*、*Fontbotia wuellerstorfi*、*Globocassidulina elegans*、*Gyroidinoides neosoldanii*、*Hoeglundina elegans*、*Melonis pompilioides*、*Parrelloides bradyi*、*Sigmoilina sigmoidea*などよりなり、水深800 m以深では、*Martinottiella communis*、*Pullenia bulloides*などが加わる。これは奄美大島周辺におけるIV帯の群集にきわめて類似する。染色個体としては、*Ammobaculites*属、*Hormosinella distans*、*Placopsillina bradyi*、*Psammosphaera*属、*Reophax*などの膠着質殻種、*Sigmoilina sigmoidea*、*Pyrgoella*属などの磁器質殻種、及び*Ehrenbergina histrix*、*Gyroidinoides neosoldanii*、*Hoeglundina elegans*、*Spincterules anaglyptus*などが確認された。

IV帯の試料には、東シナ海海域の水深約700 m以浅で、III帯に見られた黄褐色に変質した個体のほか、明らかに化石と認定される褐色または灰色の変色した個体が含まれる。また、大型有孔虫類を含む浅海生種やコケムシ、サンゴ、巻貝などの化石が確認される地点も少なくない。それらの個体の多くが破損または溶食を受けており、再堆積した化石と考えられる。

V帯(水深880 m以深)：東シナ海の水深883 m (St. g87)～1,201 m (St. g70)の17地点、及び火山群島海域の水深923 m (St. g169)と932 m (St. g190)の2地点が該当する。V帯の群集には*Ammodiscus*属、*Cribrostomoides subglobosus*、*Discammina depressa*、*Eggerelloides scabra*、*Lituotuba lituiformis*、*Rhabdammina cylindrica*、*Marsipella elongata*、*Psammosiphonella*属、*Saccorhiza ramosa*など

多様な膠着質殻種と、*Melonis*属、*Sphaeroidina bulloides*、*Siphouvigerina hispida*などの石灰質殻種が含まれる。また、IV帯の特徴種である*F. wuellerstorfi*、*H. elegans*、*O. umbonatus*、*P. bulloides*なども産出する。多くの膠着質殻種と石灰質の*Sphaeroidina bulloides*、*Siphouvigerina hispida*、*F. wuellerstorfi*及び*Pullenia*属に染色個体が確認される。

なお、V帯の試料に含まれる浮遊性有孔虫には、溶解により脆弱になった考えられる遺骸が少なくない。また、東シナ海海域の沖縄トラフ内の各地点には比較的多くの放散虫遺骸が確認される。また、火山群島海域のSt. g169（水深923 m）では、*Ammodiscus*属（生体を含む）、*Rhabdammina*属、*Rhizammina*属などの膠着質殻種を主とする群集に、異地性と見られる石灰質の*Amphistegina*属、*Planorbulina*属、*Cibicidoides*属、*Discanomalina*属等が混入する群集が確認された。この群集とともに産する浮遊性種の遺骸の多くが灰色に変色した殻を有しており、異地性の底生種遺骸と共に再移動した個体と推定される。

4. 考察

4.1 有孔虫群集の広域分布

トカラ列島周辺海域において識別された4帯の底生有孔虫群集は、本調査海域の南側につづく奄美大島周辺海域において長谷川（2018）により確認された5帯のうちのII帯～V帯の群集とほぼ一致する。同様の群集区分は、これまでの地質情報研究部門による研究航海により、八重山列島周辺に至る海域で確認されており（小柳ほか、2010；長谷川、2020など）、その帯区分が南西諸島のほぼ全海域に適用できる可能性がある。

その一方で、区分された各帯の境界の水深は海域により若干の差異が確認された。たとえば、東シナ海におけるIV帯・V帯の境界は、本調査では約870 m（正確にはSt. g43（水深861 m）とSt. 87（883 m）の間）であるのに対し、八重山列島周辺では約980 m（960 mと1,000 mの間）に引かれる。すなわち、両海域間で水深に100 m以上の差があり、V帯の上限水深が、トカラ列島周辺で浅くなる。これに対し、IV帯・III帯の境界については、本調査海域では約550 mだが、八重山周辺では約470 mに引かれ、IV帯の上限水深がトカラ列島付近でむしろ深めになる。

底生有孔虫の水深に伴う群集遷移のパターンが、南西諸島に沿う東シナ海海域を通じてほぼ一定であることは、有孔虫群集の深度分布と東シナ海における密度成層との対応関係を示唆しており、表層の黒潮とその下層を占めて沖縄トラフを満たす中・深層水による成層構造を、群集の深度分布が反映しているものと考えられる。黒潮は南端の台湾東方から東シナ海に流入して、大陸棚縁に沿って北上し、トカラ海峡付近から九州東方の太平洋に抜ける。水野ほか（1991）による沖縄島西方での直接測流では、流軸部における深度ほぼ500 mまでの強い流れと、約900 mの無流面が確認され、また、流軸の位置は

概ね沖縄トラフの大陸斜面寄りに位置するが、春期には不安定になり東側に移動する傾向が示された。気象庁の資料によると、西南諸島周辺は、流軸の東側にあつて一般的に流れは弱いが、黒潮が太平洋に抜けるトカラ列島周辺海域のみは、常に東～南東向きの強い流れがある（気象庁、2023）。一方、中深層水は、琉球列島東側斜面の中層流が慶良間海裂（水深1,100 m）で分岐して、慶良間ギャップ通過流として東シナ海に流入する海流を起源とし（Na *et al.*, 2014）、その浅水部は黒潮下層に取り込まれ、深水部は大陸棚斜面反流に取り込まれて沖縄トラフ中深層を巡回しながら湧昇したあと黒潮下層に取り込まれて、北上すると考えられている（Nakamura *et al.*, 2013；Nishina *et al.*, 2016；中村、2017）。東シナ海におけるこのような海洋構造の実態が、底生有孔虫群集の分布にどのように反映されるのか、今後の定量的な解析が期待される。

4.2 トカラ列島周辺海域の異地性有孔虫遺骸

火山活動により生じた起伏の激しい海底地形と、その海域を通過する黒潮で特徴づけられるトカラ列島周辺海域では、それらにより生じる底層の強い流れが海底堆積物の再配置を促し、有孔虫殻の再移動や破壊・変質をもたらす。さらに、起伏に富む地形のもとで浅海域から深海域へ遺骸は流され、さらに、そこには堆積岩から洗い出された化石個体も加わる場合もある。それらの結果として、多彩な遺骸群集が局所的に形成されることが推定される。実際、前節で示した有孔虫群集に関わる指標についても、それぞれ水深の変化に伴う一般的な傾向が見られる反面、そこから大きく逸脱する「異常値」も確認された。以下では、浮遊性有孔虫率、底生有孔虫数及び膠着質殻種の異常値を例にとり、それらを手掛かりに、遺骸群集の形成条件について考察する。

4.2.1 浮遊性有孔虫率の異常値

全有孔虫群集の中で浮遊性有孔虫殻が占める割合（浮遊性有孔虫率；PF%）は一般的には沿岸域から沖合に向かって増加し、陸棚縁辺域で約50%、深海底では90%を越すとされる（たとえば、Brasier, 1980）。調査海域南方の奄美大島西方の東シナ海では、水深440 mで約55%、それ以深では90%以上となる深度変化が示されている（長谷川、2018）。本調査海域においても、火山群島海域を含めて概ね同様の深度分布が確認されるが、その一方で、水深が500 mより大きいにもかかわらず、小さいPF%値を示す地点が認められた。それは、火山群島域のSt. g288（水深584 m）とSt. g269（水深644 m）の、それぞれ65.2%と72.4%、並びに、東シナ海海域のSt. g43（水深861 m）とSt. g162（水深1,003 m）の、62.9%と77.5%である（第3図c）。

これら各地点では、有孔虫数もまた、 $FN_p \cdot FN_b$ ともに

小さく、とくにSt. g288とSt. g43では2桁以下となる(第2図a, 第3図a, b)。また、St. g162を除く3地点は含泥率の低い中・粗粒堆積物からなり、そこに含まれる有孔虫殻も中粒砂サイズの個体が多く、浮遊性種では幼体などの小型個体が極度に少ない。一方、St. g162は含泥率が非常に大きい細粒堆積物よりなり、浮遊性種には他の3地点とは異なり小型個体が多い。以下に、各地点について順に検討する。

St. g288及びSt. g269：両地点は、火山群島海域北部の口之島と平瀬に挟まれた狭小な緩傾斜面の、水深584 mと水深644 mに位置する。ともに火山岩片の細礫を含む中・粗粒砂よりなるが、St. g288には細粒砂とコケムシ・二枚貝などの生物碎屑物が少量含まれるのに対し、St. g269には軽石礫とウニ・コケムシ・サンゴなど多量の生物碎屑物が含まれる。両地点の有孔虫群集にはIV帯を特徴づける現地性底生種群集とともに、保存不良の大型有孔虫遺骸を含む浅海性種が確認されるが、とくにSt. g269で多い。一方、St. g288には幼形など小型の浮遊性個体が認められるほか、底生種の染色個体(生体)も確認される。

St. g288・St. g269両地点で認められる大型有孔虫遺骸などの浅海性有孔虫は浅海域からの異地性個体と考えられる。両地点を間に挟む平瀬と口之島から北側に続く芽瀬には、水深200 m以浅に平坦面があることから(横瀬ほか, 2011)、それらが異地性の有孔虫殻や生物碎屑物の主要な供給源の可能性が大きい。

平瀬と口之島は、黒潮が通過するトカラ海峡を横断するように連なる、口永良部島から諏訪之瀬島の島列のほぼ中央にあたる。海峡を通過する黒潮の流軸は、時期により変動するが、たとえば本調査航海が行われた2021年には、気象庁の資料によると年間を通じて口永良部島と中之島の間を、西(または西北西)から東(または東南東)へ通過していた(気象庁, 2023; 第1図に淡赤色で示す)。

黒潮流軸の厚みのある速い流れが海峡を横断する島嶼の間をすり抜けるように通過することを想定すると、口之島と平瀬の狭間にあるSt. g288・g269両地点はほぼ恒常的に強い流れに晒されると推定される。両島間のシルを挟んで下流側に位置するSt. g269においてカレントリップルが確認されていることは(鈴木ほか, 2023)、一方向の強い流れの影響が水深600 mの海底にまで及んでいることを示している。それに対し、上流側のSt. g288では底質がやや細かく、底生種*Reophax*属と*Sigmoilina sigmoidea*の生体(染色個体)が確認され、さらに、浮遊性有孔虫に小型個体が含まれることなどから、下流側に比べて流れがやや緩やかであると推定される。

St. g269とSt. g288の両地点と同様の水深(550~700 m)で、生物碎屑物を含む近隣の2地点St. g245とg247は、ともに海丘の麓に位置しており、そのPF%値は78.5%と

80.0%である。また、海丘の麓から離れた位置にある5地点(St. g223, g246, g285, g329, g327)ではPF%値が92~98%と非常に大きい(第1表)、それらに比べると、St. g269・St. g288のPF%値(72.4%と65.2%)はかなり小さいといえる。そのため、トカラ列島を構成する火山島の基底に相当する500~700 mの水深で確認される生物碎屑物は、各々の地点に隣接する海丘・海山の斜面上部を起源する異地性粒子であると考えられる。

さらに、St. g269・St. g288両地点では有孔虫数(FN_p , FN_b)が著しく小さいことも顕著な特徴である。すなわち、両地点のうちでより大きい値を示すSt. g288でも、 FN_p が246個体/g、 FN_b は131個体/gであり、前述した生物碎屑物を含む近隣の2地点と比べると、St. g247(806個体/g)の1/3以下、St. g245(4,189個体/g)の1/10に満たない。また、St. g269にいたってはさらに小さく、 FN_p はSt. g288の1/4、 FN_b は1/6である。

St. g269・St. g288両地点の有孔虫数が著しく低下した要因としては、碎屑物の相対的付加による希釈効果と有孔虫殻の溶解か破壊が考えられる。また、両地点で浮遊性有孔虫率(PF%)が小さくなっており、浮遊性有孔虫殻の逸失を促すメカニズムも併せて働いたことが示唆される。既に述べたように、両地点を間に挟む口之島と平瀬の山体は恒常的に黒潮の強流に晒され、また、その岩礁性海岸は波浪の強力な圧力を受けていることから、常時、多量の碎屑物が生成されて、周辺海底に沈積していることが予想される。その結果、堆積物中の有孔虫殻は多量の碎屑物粒子により希釈されるので、その賦存量が相対的に減少したと考えられる。さらにこの海域の浮遊性有孔虫は、その死後の殻が海底に向かって落下する間に黒潮の強い流れによって、あるいはまた、海底に沈積した遺骸が底層の流れによって、吹き分け(winning)を被ることにより、とりわけ小型個体が下流側のより遠方に運び去られることが予想される。とくに、カレントリップルが確認されたSt. g269の周辺では、その効果が強く働き、結果として、より多くの粗粒堆積物が集積したものと想定される。

St. g43：St. g43は奄美舟状海盆底の水深861 mにあり、含泥率が2.7%で淘汰良好の軽石質中・粗粒砂よりなり、大型生物遺骸は含まれない。有孔虫群集は中粒砂サイズに良く淘汰されており、浮遊性有孔虫には幼体などの小型個体がほとんど含まれない。また、底生有孔虫の生体(染色個体)は確認されない。この地点におけるPF%値は62.9%で、奄美舟状海盆周辺の各地点が80%以上であるのに対し、唯一の小さい値を示す。また、その有孔虫数は FN_p が9個体/g、 FN_b は16個体/gで、いずれも本稿の調査対象地点の中での最小値である。

良く淘汰された中・粗粒砂よりなり、有孔虫群集はPF%値と有孔虫数がとくに小さく、生体がまったく見られないことなど、St. g43にみられる特徴は強い水流に

よって形成される流動的な堆積物を示唆する。これは、三澤・鈴木 (2022) 及び鈴木ほか (2022) により指摘された St. g43 とその周辺におけるサンドウェーブに符合すると考えられる。

St. g43 と同じ奄美舟状海盆底の2地点、St. g40 (水深 702 m) と St. g42 (水深 735 m) においても、 FN_p は 33 個体/g と 69 個体/g で、水深の割には著しく小さい値を示す。これらの3地点では、いずれも含泥率が低く、火山性碎屑物が非常に多くを占める点で共通することから、奄美舟状海盆底における小さい有孔虫数は、多量に運び込まれた碎屑物による希釈に負うところが大きいと推定される。その一方で、碎屑物を構成する軽石・スコリア・その他の碎屑物の量比には地点間で違いがあることから、近傍の地形や火山活動との関連性を引き続き検討する必要がある。また、St. g40 と St. g41 では、鈴木ほか (2022) によりカレントリップルが観察されており、先に述べた St. g288 の場合と同様に、底層流の影響が強いと考えられる。しかし、St. g40 (St. g41 は予察の対象外のためここでは言及しない) 及び St. g42 には、St. g43 には見られない有孔虫の小型個体や生体が確認されており、St. g288 で推定されたような、底層の強い流れによる吹き分けの効果はそれほど大きくないと考えられる。

St. g162 : St. g162 は沖繩トラフの縁辺部、横ガン曾根北西方の水深 1,003 m に位置し、含泥率が 86.9 % の有孔虫軟泥よりなる。有孔虫群集は、V 帯に特徴的な膠着質種が卓越する底生種群からなり、浮遊性種には白濁した脆い殻壁の個体が多く見られ、また、カウントの対象ならない破片化した殻が目立って多い。

St. g162 の PF% 値は 77.5 % で、近傍の沖繩トラフ底内の各地点が 85 % 以上であるのに比べて、明らかに小さい。隣接する St. g188 (水深 1,145 m) では、同様に有孔虫軟泥よりなるものの、その PF% 値は 92.1 % で、St. g162 とは大きく異なる。その違いは有孔虫数の差異によるもので、St. g162 における浮遊性有孔虫数 FN_p が 1,071 個体/g で St. g188 の約 1/2 であるのに対し、底生有孔虫数 FN_b は 310 個体/g で、逆に St. g188 よりも多い。また、St. g162 では底生有孔虫の 95.7 % が膠着質殻種であるのに対し、St. g188 では 75.6 % で、かなりの差がある。すなわち、St. g162 の PF% 値が小さい要因は、底生有孔虫群集で膠着質殻種が卓越することにある。

深海底において膠着質殻種が多い場合、一般的には、まず石灰質殻の溶解が想起される。その溶解によって、浮遊性種とともに底生種群集の中でも脆弱な石灰質殻の個体が失われると、相対的に膠着質殻種の割合は増加する。St. g162 の浮遊性種で確認される白濁して脆くなった殻壁やその破片は溶解を受けたことを示している。さらに、これと同様に白濁した脆い浮遊性種の殻は、近隣の St. g188 のほか、有孔虫軟泥からなる沖繩トラフ底の3地点 (St. g58, g134, g108) でも確認される。そこで、以

上の5地点について底生種群集の中で膠着質殻種が占める割合を比較すると、その割合がもっとも大きいのは水深 1,003 m の St. g162 で、もっとも小さいのは最深地点の St. g108 (1,145 m) である (第1表)。しかし、この事実をもって、もっとも深い水深 1,145 m よりも、1,003 m で石灰質殻の溶解が進んでいると判定するのは早計であろう。

沖繩トラフ底で溶解が目立ち始める水深のリソクライン (lysocline) は、底生有孔虫群集の V 帯の上限深度に相当する水深約 900 m と考えられる。しかしその水深は、約 3,500 m とされる太平洋の深海底におけるリソクラインに比べて余りにも浅い。またこの海域の中層では、酸素極小層 (OMZ) のように有機物に富む堆積物が形成されるほどの表層生産性は確認されていない。そのため、St. g162 で膠着質種が多くなり、あるいは St. g108 で石灰質殻種が比較的増加する原因としては、CCD や OMZ のようにある程度の広がりをもつ事象ではなく、より局所的な要因が寄与している可能性が高い。沖繩トラフの縁辺部に位置する5地点は、活動的なテクトニクスのあることから、その運動に付随して、さまざまな微小環境が形成されていることが予想される。底生有孔虫は生物の一員として、種ごとに固有の環境に適応して生息することから、水深、水塊分布、栄養塩、溶存酸素などの比較的広域に及ぶ環境要素とは別に、局地的で多様な環境条件との関連性をも考慮して、より詳細な有孔虫分類にもとづく解析が必要と考えられる。

4. 2. 2 底生有孔虫数の異常値

底生有孔虫数 (FN_b) は、一般に、浅海域では地点によるばらつきが大きい、深海に向かって減少し、およそ 500 個体/g 以下に収束する。奄美大島周辺海域の例では、浅海域では 1,500 個体/g 程度までのばらつきがあるが、水深約 500 m を境に深海部では概ね 1,000 個体/g 以下となる (長谷川, 2018)。そこで、それらの値を大きく上回る値を異常値とすると、本調査海域では、火山群島海域の St. g90, St. g91, St. g268 の3地点が該当する (第2図A)。

これらのうち、St. g90 (水深 353 m; 小宝島南東の斜面中部) と St. g268 (水深 450 m; 中之島北西方の海丘東斜面下部) では、底生有孔虫数とともに浮遊性有孔虫数 (FN_p) も 5,000 個体/g 以上の比較的大きい値を示す。両地点とも、試料は含泥率が 10 % 未満で、火山岩細礫を含む中-粗粒砂よりなる。また、*Amphistegina* 属、*Miniacina miniacea* などの熱帯浅海性有孔虫に加えて、コケムシ・サンゴなどの骨格を含む生物碎屑物が含まれるが、それらは斜面上方の浅海域からもたらされた異地性個体と推定される。有孔虫群集の概要を調査した限りでは、生体は極めて希で、化石と見なされる黄色に変質した個体と異地性個体が群集の大半を占めると見られる。

St. g91 (水深 808 m; 小宝島東方の斜面下部) では含泥率が約 20 % とやや大きい。 FN_p については他の2地点よ

りもさらに大きく、11,000個体/gを越す。また、定性的観察ではあるが、有孔虫群集には幼体を含む小型個体が多くに多いことを特徴的とする。この地点は小宝島の麓に位置し、前項(4.2.1 浮遊性有孔虫率の異常値)で述べた奄美舟状海盆のサンドウェーブが確認された領域の北西側にあたる。そのベッドフォームの形状から推定される流向が南東から南南東であることから(鈴木ほか, 2022), St. g91はサンドウェーブ領域を通過する流れの上流側にあたる。また、この地点の上流側には小宝島があるので、流れに沿って眺めると、St. g91は小宝島の島陰に入ることになる。そのため、St. g91の堆積物は、サンドウェーブを形成する水流の縁辺部の比較的弱い流れが、小宝島の縁を廻った裏手で澱みを形成したことで、そこに浮遊性種の幼生を含む小型個体が沈積したものと推定される。

4. 2. 3 膠着質殻種の増加

底生有孔虫群集の中で膠着質殻種が占める割合は、沿岸汽水域を除く通常の海域では全般的に少なく、深海底に至って急激に増加する。しかし、口永良部島北方のSt. g343では、水深502 mにしては例外的に、膠着質殻種が33.9%を占める特異な組成を示す。同地点は屋久島、薩摩硫黄島などに囲まれる小海盆内に位置しており、試料の含泥率は東シナ海における一般的傾向に比べて異常に大きく、80%に達する。また、水洗後の砂粒部の観察では、フィーカルペレットや、比較的多くの放散虫と珪藻が確認された。本調査海域において放散虫が目立って産出するのは水深約900 m以深、底生有孔虫のV帯に相当する深海部に限られることから、比較的水深の浅い(約500 m) St. g343における産出は特異な現象といえる。

その底生有孔虫群集は、おもにⅢ帯を特徴づける *Ammolagena clavata*, *Globocassidulina*属, *Paracassidulina*属などと、*Globobulimina auriculata*, *Chilostomella*属などの貧酸素種群で構成されるが、それらに加えて、IV帯~V帯に特徴的な *Pullenia bulloides*, *Sigmoilina sigmoidea* や膠着質殻の *Amodiscus*属, *Bathysiphon*属, *Saccorhiza*属なども含まれる特異な様相を呈する。これと似た群集は、隣接するSt. g342(水深592 m)でも確認されるが、膠着質殻種については12.6%で、St. g343に比べてかなり少なく、産出する種数も限られることから、その特異な群集の分布はきわめて局地的であると見なされる。

なお、St. g343の有孔虫群集に貧酸素環境を示す種群も含まれることは、その海底付近が貧酸素化し、とくに海底下の微小環境において、貧酸素領域が浅くなった可能性を示唆する。また、St. g343の試料には、フィーカルペレットや珪藻が含まれる。それらは、植物プランクトンが増殖し、それに伴って動物プランクトンが増加したことの痕跡であり、それらの集積によって海底付近が富栄養化し、結果として海底下の貧酸素化が引き起こさ

れたと考えられる。また、その一方で、底生有孔虫群集には浅内生でⅢ帯を特徴づける種が一定の割合で含まれており、海底表層部にはそれらが生息する余地があったことも確実であろう。実際、船上での試料の採取時に酸化層が確認されている。そのため、海域の表層における生物生産性の高まりは、おそらくは季節的ブルームのような比較的短期間のイベントであると推定される。さらに、フィーカルペレットは隣接するSt. 342では確認されていないことから、動物プランクトンの増加はかなり限定された範囲で生じる局地的現象と推定される。

St. g343において、水深に相応するⅢ帯の組成に加えて、より深い水深を特徴づける種群が含まれる事実は、深度帯の区分、あるいは帯を特徴づける種の認定について、再検討の余地があることを示している。とくにV帯を特徴づけるとされる膠着質殻種については、これまでの調査地点数が十分でなかったこともあり、今後、分類学的検討とともに、種の分布をさらに調査し、その生息環境に関する理解を深める必要がある。

5. まとめ

GB21-1, 2 及び3航海によりトカラ列島周辺海域より得られた有孔虫群集について、分布の概要を検討するため、水深185 m~1,201 mの計73地点を選定して、底生種と浮遊性種の単位乾燥重量あたりの有孔虫個体数、底生有孔虫殻質構成比、浮遊性有孔虫率、翼足類-浮遊性有孔虫比を算出し、それぞれの水深による変化を分析した結果、産総研によるこれまでの南西諸島周辺海域調査で得られたものと概ね一致する傾向が確認された。また、底生有孔虫群集の主要構成種の分布をもとに4帯の群集を認定した。各群集の分布は、これまでに南西諸島周辺海域で報告されたI帯~V帯のうち、もっとも浅い帯の群集を除く4帯の群集に対応することを確認した。しかし、もっとも深いV帯の群集の上限水深が、本調査海域では最南端の八重山周辺に比べて100 mほど浅く、深度帯の水深範囲が海域により異なることが判明した。さらに、V帯を特徴づける膠着質種の一部がⅢ帯に相当する水深でも確認されており、さらに詳細な検討の必要がある。

浮遊性有孔虫率、底生有孔虫数、及び膠着質殻種の産出率など、算出した有孔虫指標の異常値に着目してその要因について検討し、局所的に形成される特異な有孔虫群集の形成過程の考察を行った。トカラ列島周辺海域は起伏に富む複雑な海底地形と黒潮の強い流れで特徴づけられ、地形条件の違いによって局所的な底層の流れが生じる結果、多様な有孔虫遺骸群集が形成されることが推定された。

本稿は調査航海で採取された全試料の半数余にもとづく概要調査の結果である。これらをもとに、今後、多くの試料を加えて行われる検証の成果は有孔虫化石群集の

タフォノミーという観点において多くの示唆を与えるものであり、堆積盆解析のための基礎的資料として大きな意義があると考えられる。そのための多彩な事例を蓄積するうえで、トカラ列島周辺海域はとくに好適な海域として注目される。

謝辞: 本研究の機会を与えてくださった産業技術総合研究所地質情報研究部門海洋地質研究グループの方々、並びに試料採取に際してご尽力いただいた研究員及び望星丸の乗組員の方々に深く感謝いたします。また、本概報をまとめるにあたり、同所海洋地質研究グループの鈴木克明博士には航海に関する情報を提供して頂いた。さらに、同グループの有元 純博士から査読者として、多くの有益な助言を頂きました。ここに記して謝意を表します。

文 献

- Boltovskoy, E. and Wright, R. (1976) *Recent Foraminifera*. R. W. Junk b.v., The Hague, 515p.
- Brasier, M.D. (1980) *Microfossils*. George Allen and Unwin, London, 193p.
- 橋本 晋・井上博敬 (2009) 南西諸島周辺における黒潮の流路変動と海況変動, 測候時報, **76**, 特別号, S55-S81.
- 長谷川四郎 (2018) 奄美大島西方海域の底生有孔虫群集 (予報). 板木拓也 (編) 「沖繩周辺海域の海洋地質学的研究」平成29年度研究概要報告書—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, 109-116.
- 長谷川四郎 (2020) 八重山列島周辺海域の底生有孔虫群集 (予報). 井上卓彦 (編) 「沖繩周辺海域の海洋地質学的研究」令和元年度研究概要報告書—石垣島・西表島・与那国島周辺海域—, 地質調査総合センター速報, no. 80, 106-114.
- 長谷川四郎・内村仁美 (2017) 奄美大島周辺海域の底生有孔虫群集 (予報). 板木拓也 (編) 「沖繩周辺海域の海洋地質学的研究」平成28年度研究概要報告書—宮古島周辺海域—, 地質調査総合センター速報, no. 72, 85-91.
- 海底地形の名称に関する検討会 (2022) 承認された海底地形. 海上保安庁, <https://www1.kaiho.mlit.go.jp/KOKAI/ZUSHI3/topographic/JCUFN/jcufn.html>. (閲覧日: 2022年12月19日)
- 岸本清行 (2000) 海陸を合わせた日本周辺のメッシュ地形データの作成: Japan250m.grd. 地質調査所研究資料集, no. 353 (CD).
- 気象庁 (2023) 旬平均海流. 気象庁, 各種データ・資料, 海洋の健康診断表, 海流に関する診断表. https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/db/kaikyoku/jun/current_HQ.htm. (閲覧日: 2023年4月19日)
- 小柳満佐子・増田侑美・大井剛志・長谷川四郎 (2010) 沖繩本島西方海域の底生有孔虫群集 (予報). 荒井晃作 (編) 「沖繩周辺海域の海洋地質学的研究」平成21年度研究概要報告書—沖繩島北西方沖海域—, 地質調査総合センター速報, no. 51, 133-138.
- Loeblich, A. R., Jr. and Tappan, H. (1964) Sarcodina chiefly "Thecamoebians" and Foraminiferida. In Moore, R. C., ed., *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part C, Protista 2*. Lawrence: Geological Society of America and University of Kansas Press, i-xxxix + C1-C900.
- Loeblich, A. R., Jr., and Tappan, H. (1992) Present status of foraminiferal classification. In Takayanagi, Y. and Saito, T., eds., *Studies in Benthic Foraminifera, Proceedings of the Fourth International Symposium on Benthic Foraminifera, Sendai, 1990*, Tokai University Press, Tokyo, 93-102.
- 三澤文慶・鈴木克明 (2022) GK20 航海での高分解能サブボトムプロファイラー探査に基づくトカラ列島周辺海域の海底下浅部構造. 地質調査研究報告, **73**, 235-248.
- 水野信二郎・川建和雄・金子 新・長浜智基 (1991) 東シナ海における黒潮の直接測流結果 (Ⅲ) —海洋における熱および運動量フラックスの計測法に関する開発研究 (第1報) —. 九州大学応用力学研究所所報, no. 71, 1-18.
- Murray, J. W. (1973) *Distribution and Ecology of Living Benthic Foraminiferids*. Heinemann, London, 274p.
- Murray, J. W. (1991) *Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera*. Longman Scientific & Technical, Harlow, 397p.
- Na, H., Wimbush, M., Park, J.-H., Nakamura, H. and Nishina, A. (2014) Observations of flow variability through the Kerama Gap between the East China Sea and the Northwestern Pacific. *Journal of Geophysical Research*, **119**, 689-703.
- 中村啓彦 (2017) 黒潮の流路・流量変動の研究—源流域から九州東岸まで—. 海の研究 (Oceanography in Japan), **26** (4), 113-147.
- Nakamura, H., Nishina, A., Liu, Z., Tanaka, F., Wimbush, M. and Park, J.-H. (2013) Intermediate and deep water formation in the Okinawa Trough. *Journal of Geophysical Research*, **118**, 6881-6893.
- Nishina, A., Nakamura, H., Park, J.-H., Hasegawa, D., Tanaka, Y., Seo, S. and Hibiya, T. (2016) Deep ventilation in the Okinawa Trough induced by Kerama Gap overflow. *Journal of Geophysical Research, Oceans*, **121**, 6092-6102. doi: 10.1002/2016JC011822
- 大井剛志・小柳満佐子・長谷川四郎 (2009) 沖繩本島周辺海域の底生有孔虫群集 (予報). 荒井晃作 (編) 「沖

縄周辺海域の海洋地質学的研究]平成20年度研究概要報告書—沖縄島東方沖海域—, 地質調査総合センター速報, no. 46, 138–144.

鈴木克明・板木拓也・片山 肇・兼子尚知・山崎 誠・徳田悠希・千徳明日香 (2022) 宝島及び諏訪之瀬島周辺海域の底質分布とその制御要因. 地質調査研究報告, **73**, 275–299.

鈴木克明・板木拓也・片山 肇・兼子尚知・山崎 誠・有元 純・徳田悠希・千徳明日香・清家弘治 (2023)

トカラ列島周辺海域の底質分布とその制御要因. 地質調査研究報告, **74**, 259–286.

横瀬久芳・佐藤 創・藤本悠太・Mirabueno, Maira Hanna T.・小林哲夫・秋元和實・吉村 浩・森井康宏・山脇信博・石井輝秋・本座栄一 (2010) トカラ列島における中期更新世の酸性海底火山活動. 地学雑誌, **119**, 46–68.

(受 付 : 2022年10月31日 ; 受 理 : 2023年8月25日)