

## トカラ列島周辺海域における現生貝形虫相の空間変化

中野 太賀<sup>1,\*</sup>・岩谷 北斗<sup>1,\*</sup>・鈴木 克明<sup>2</sup>・板木 拓也<sup>2</sup>

NAKANO Taiga, IWATANI Hokuto, SUZUKI Yoshiaki and ITAKI Takuya (2023) Spatial variations in the modern ostracode fauna in the adjacent sea of Tokara Islands. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, vol. 74 (5/6), p. 315–324, 4 figs and 2 tables.

**Abstract:** We studied the spatial distribution of the modern ostracode in the “Tokara gap”. We examined the ostracod faunal composition in 5 surface sediments collected by GB21-3 cruise (AIST). As a result, at least 150 species of ostracods in 54 genera were identified. Most of the assemblages were subtropical and tropical water species that have been reported from the East China Sea. Four ostracode bioassociations and four biofacies were discriminated based on R-mode and Q-mode cluster analyses. Ostracode bioassociations and biofacies tended to vary with the mud content. We could not find a faunal change in the Tokara gap. On the other hand, the distribution of ostracode fauna was clearly changing between the East China Sea and the Philippine Sea. This spatial distribution variation might be accompanied by the change in the Kuroshio axis. The Kuroshio Current likely influenced modern ostracode fauna in the study site.

**Keywords:** Nansei Islands, Tokara Gap, biogeographic boundary, ostracode

### 要 旨

本研究では、生物地理分布境界である渡瀬線が設定される小宝島、悪石島間における海洋生物相の変化を、現生貝形虫をモデル生物として用いて検討した。解析にはGB21-3航海によって採取された表層堆積物5試料を用い、トカラ列島北部周辺海域における現生貝形虫組成の空間分布を明らかにした。結果として、54属150種以上の貝形虫が認められた。産出した貝形虫の多くは東シナ海で一般的に報告される亜熱帯–熱帯域に生息する分類群であった。R-modeクラスター分析の結果、4つの貝形虫種群に区分され、Q-modeクラスター分析では4つの貝形虫相が認められた。これらの種群や貝形虫相は特に底質によって変化する傾向が認められた。また、トカラ列島南部周辺海域の貝形虫相と比較した結果、貝形虫相は渡瀬線によって変化せず、黒潮の流路分布と調和的な傾向を示した。トカラ列島周辺海域の貝形虫相の空間分布は黒潮の影響を受けて形成されている可能性が示された。

### 1. はじめに

トカラ列島は、九州から台湾にかけて連なる琉球弧のうち、北部から中部琉球弧に位置する島嶼群である(兼

子, 2007;横瀬ほか, 2010)。トカラ列島に属する小宝島・悪石島間の海域には、トカラギャップと呼ばれる水深1000 mを超える海底谷が横たわり、北琉球と中琉球との地理的な境界となっている(木崎, 1985;木村, 1996)。このトカラギャップは、渡瀬線(第1図)と呼ばれる陸生生物の熱帯分類群の北限と暖帯分類群の南限とを区分する生物地理区境界に一致するとされてきた(例えば、黒田, 1931;木村, 1996)。また、トカラギャップ周辺海域は、陸生生物のみならず浅海性魚類の生物地理境界に重なるとする報告もあり(坂井ほか, 2005)、南西諸島から九州以北にかけて大きく変化する海洋生物相を理解する上でも重要な位置にある。

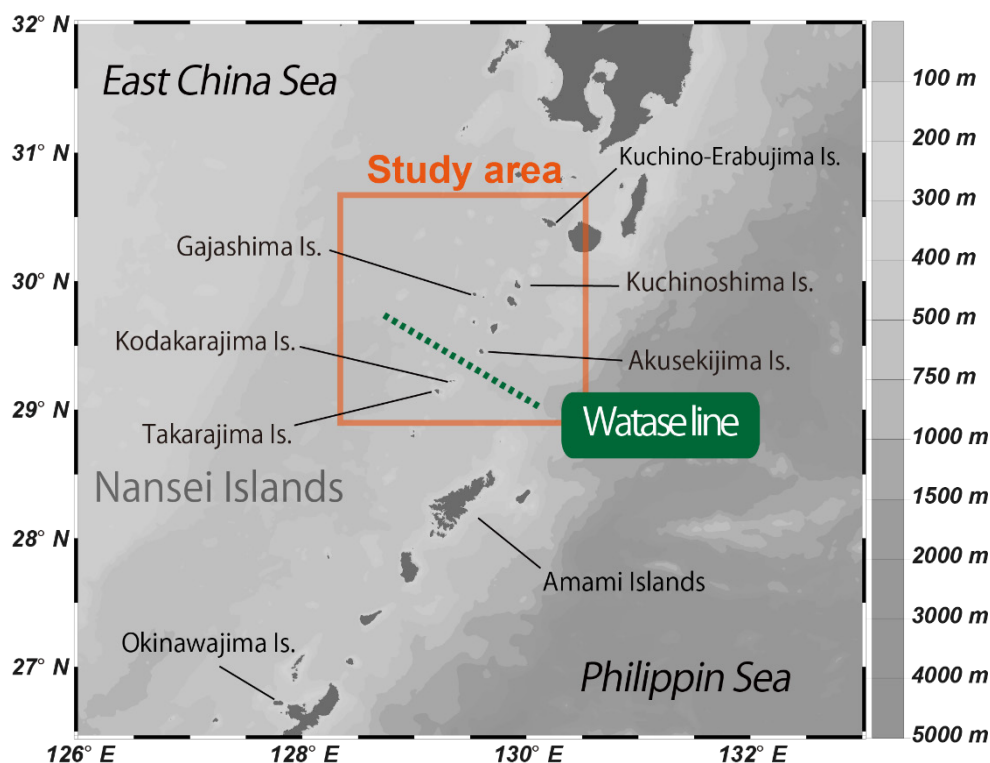
しかしながら、近年では陸生動物の文献調査および多分類群の生物地理学的解析の結果、渡瀬線によって生物相に変化は無いとする報告もあり(Komaki, 2021)、“ギャップ”と呼ばれる海底地形が生物の分散にどの程度影響をもたらすのかについては議論の余地がある。また、浮遊性や遊泳性の生活史を持つ海洋生物は、一般に空間的な分散能力が高いために(関口, 2009)、生物地理上の境界線を明確にとらえることが難しい。

このように、トカラギャップが海洋生物相にどのような影響を与えるのかは十分に解明されておらず、海洋生

<sup>1</sup> 山口大学大学院創成科学研究科 (Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi University, Yamaguchi 753–8512, Japan)

<sup>2</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)

\* Corresponding authors: NAKANO, T., Email: taiga.fkmf@gmail.com / IWATANI, H., Email: hokuto\_i@yamaguchi-u.ac.jp



第1図 調査地域広域海底地形図. 図中の等深線の間隔は100 mである.

Fig. 1 Bathymetric map of the northern Okinawa Trough. The spacing between contour lines in the figure is 100 m.

物相において渡瀬線は明確に認定されていなかった。こうした問題を解決する方法として、例えば貝形虫などの浮遊幼生期を持たず種の分散範囲が狭い海洋生物種(安原, 2007)をモデル生物として用い、トカラギャップ周辺海域の海洋生物相とその地理分布について検討するという方法が考えられる。

貝形虫は、体長1 mm以下程度の石灰質の殻をもつ微小な甲殻類であり、水温や塩分、底質など生息場の多種多様な環境変化に敏感に反応し、その種構成や多様性などを変化させるため、海洋環境の良い指標として利用される(例えば、安原, 2007; Irizuki *et al.*, 2009; 森下ほか, 2010; Iwatani *et al.*, 2016; 田中, 2016; 塚越, 2017)。中野ほか(2022)は、産業技術総合研究所地質調査総合センターが実施したGB21-1航海によって採取された表層堆積物を用い、トカラギャップ南方の宝島周辺海域における現生貝形虫の空間分布を検討した。結果として、宝島周辺海域から初めて現生貝形虫の産出を報告するとともに、調査海域の貝形虫群集分布は水深に伴い変化する底質の影響を大きく受けると結論付けた。しかしながら、中野ほか(2022)は、トカラギャップより北方の海域を対象としておらず、トカラギャップを挟んで海洋生物がどのように変化するののかについては検討していない。そこで本研究は、トカラギャップ北方に位置する悪石島から

屋久島周辺海域(第1図)における現生貝形虫相の空間分布を明らかにすると共に、その制御要因について検討した。

## 2. 試料と方法

本研究は、産業技術総合研究所地質調査総合センターにより実施されたGB21-3航海にて、トカラ列島北部に位置する口之島周辺海域で採取された表層堆積物を試料として用いた。調査海域の底質は主に砂質堆積物や泥質堆積物であり、サンゴ等の生物遺骸や火山性の碎屑物が多く試料で確認された(鈴木ほか, 2023)。GB21-3航海にて木下式グラブ採泥器により採取された78点の底質試料のうち、60試料から金属製スパチュラにより表層約1 cmを分取し、貝形虫分析用試料とした。本研究では、調査海域における貝形虫群集の水平分布及び水深毎の特徴を把握するため、5試料[試料採取地点: g270(試料採取水深:268 m), g265(478 m), g343(502 m), g328(639 m), g201(736 m)]を貝形虫分析に用いた(第1表)。また、底質を定量的に判断するため、調査海域から網羅的に選出した36試料を含泥率分析に用いた(第1表)。

本研究において、多様度及び均衡度の産出、各種クラスター分析、ノンパラメトリック多変量解析(PERMANOVA, PERmutational Multivariate ANalysis Of VAriance)等の

トカラ列島の現生貝形虫相 (中野ほか)

第1表 試料採取地点の詳細と含泥率分析結果. \*は貝形虫分析に使用した試料を示す.

Table 1 Sample information and results of the mud contents analysis. Stars show samples used for ostracode analyses.

site no.	latitude (° N)	longitude (° E)	Water depth (m)	sampler	wet weight (g)	Mud content (%MD)
g122	29.41	129.98	968	K-grab	71.39	16.38
g145	29.45	129.75	915	K-grab	95.62	59.08
g146	29.48	129.85	789	K-grab	152.68	38.34
g148	29.53	130.06	671	K-grab	95.81	1.00
g168	29.46	129.41	861	K-grab	288.98	49.42
g169	29.48	129.51	923	K-grab	201.26	2.30
g171	29.54	129.72	799	K-grab	277.75	4.34
g174	29.62	130.03	525	K-grab	76.15	3.80
g199	29.71	129.91	669	K-grab	245.11	22.08
g201*	29.74	130.10	736	K-grab	66.43	13.09
g202	29.76	130.17	519	K-grab	231.27	4.30
g226	29.83	130.07	569	K-grab	201.98	11.47
g249	29.92	130.04	624	K-grab	248.54	11.35
g250	29.95	130.14	599	K-grab	195.52	2.39
g265*	29.85	129.38	478	K-grab	25.67	6.57
g266	29.87	129.49	665	K-grab	250.19	4.14
g269	30.01	130.01	644	K-grab	133.86	0.43
g270*	30.04	130.11	268	K-grab	154.72	6.83
g283	29.97	129.46	628	K-grab	190.01	5.01
g291	30.18	130.29	563	K-grab	128.88	3.64
g302	30.16	129.84	606	K-grab	270.76	25.92
g304	30.22	130.05	607	K-grab	175.59	11.88
g306	30.27	130.26	595	K-grab	205.09	1.80
g315	30.26	129.81	636	K-grab	83.83	16.08
g316	30.25	129.92	618	K-grab	170.63	27.87
g317	30.31	130.01	615	K-grab	211.85	21.95
g320	30.40	130.31	590	K-grab	227.94	12.03
g326	30.32	129.67	548	K-grab	22.78	23.00
g327	30.31	129.76	676	K-grab	189.46	16.32
g328*	30.34	129.89	639	K-grab	117.73	26.79
g329	30.40	129.98	639	K-grab	174.86	37.43
g337	30.39	129.65	752	K-grab	139.31	10.34
g340	30.51	129.95	598	K-grab	149.15	23.19
g343*	30.56	130.27	502	K-grab	154.13	90.27
g351	30.61	130.02	185	K-grab	221.74	0.63
g356	30.62	129.68	536	K-grab	230.93	9.40

統計解析は、統計解析ソフトのPAST (Paleontological Statistics ; Hammer *et al.*, 2001)を用いた。

試料から抽出した貝形虫の群集構造を明らかにするために多様度 ( $H$ )、均衡度 ( $E$ )、産出頻度を算出した。多様度指数は、次のように定義されるShannon-Wiener指数 ( $H$ )を用いた： $H = -\sum pi \ln pi$ 、ここで $pi$ は試料 $i$ 番目の分類群の割合である。多様度 ( $H \geq 0$ )は、ある試料に産する種数が多く、各種が均等に産出する程、高い値をとる。均衡度は、試料中に分類群がどの程度均等に含まれているかを表す指標である。また、均衡度 $E$ はShannon-Wiener指数 $H$ と分類群数 $S$ を用いて $E = e^{-H/S}$ で示される。均衡度 $E$ は0-1の範囲を持ち、ある試料に各種が均等に

産出するほど高い値をとる。産出頻度は、属の同定が不可能であった破片殻を含めた湿潤試料1 gあたりの個体数として算出した。

研究試料を採取した地点を、産出した貝形虫の種構成および産出頻度に基づいた客観的なグループに分類するため、Q-modeクラスター分析による群集解析を行った。また、産出した貝形虫種を生態的に類似するグループに分類し、それぞれのグループの各地点における産出様式を明らかにするためにR-modeクラスター分析を行った。いずれの分析も各地点、各タクサにおける貝形虫の個体数を変数として用いた。この様にQ-mode及びR-modeクラスター分析により、地点毎の類似度、種毎の類似度を

推定する手法は貝形虫組成を統計的に分析する際に一般的に用いられる手法である(例えば, Iwatani *et al.*, 2011; 中野ほか, 2022).

Q-modeクラスター分析は1試料から3個体以上産出する58の分類群を, R-modeクラスター分析は全個体数中における産出割合が1%以上であった16の分類群を対象に検討を行った. クラスター分析の類似度には重複度指数(Horn, 1966)を用い, 算出された類似度を非加重結合法(UPGMA: Unweighted Pair-Group Method with arithmetic Average)により, 類似度の高いほうから順次クラスターを構成した.

## 2.1 含泥率

研究試料の含泥率を得るために, 以下の手順で試料の処理を行なった.

まず, 試料の湿潤重量を計測後, 約60℃に設定した恒温乾燥器内で試料を完全に乾燥させ, 乾燥重量[Bulk\_dry (g)]を計量した. 次に, 乾燥させた試料を孔径63 μmの篩上で水洗し, 砂粒子サイズより粗粒な画分を回収した. 洗浄した試料を上記と同様に恒温乾燥機内で乾燥させ, 水洗後の乾燥重量[Sand\_dry (g)]を計量した. 先に得られた試料の水洗前の乾燥重量[Bulk\_dry (g)]と, 水洗後の乾燥重量[Sand\_dry (g)]の差を求めることで含泥率[%MD]を算出した. 本研究による含泥率の算出法は次式によって示される:

$$\%MD = [\text{Bulk\_dry (g)} - \text{Sand\_dry (g)}] / [\text{Bulk\_dry (g)}] \times 100.$$

## 2.2 貝形虫分析

含泥率分析において分画した粒径63 μmより粗粒な画分には, 翼足類や棘皮動物等の大型の生物遺骸, 軽石等の礫が多く含まれていた. また同定が困難とされる, 成長ステージが初期段階の貝形虫幼体殻(安原, 2007)や微小な破片殻も多く確認された. これらを除くため, さらに試料を篩過し, 粒径125 μm以上かつ1 mm以下の画分を貝形虫分析に用いた. 篩過された試料は, 保存状態が良好な貝形虫が約200個体含まれるように簡易分割器を用いて適宜縮分し, 8–50の倍率に設定した双眼実体顕微鏡下で抽出を行った. なお, ここでの個体数は右殻・左殻を区分せず, それぞれ1個体とし, 両殻は2個体として計数した. また, 殻の破損が著しく同定が不可能であった場合は“破片”, 成長ステージが非常に初期段階であり同定が不可能であった場合は“幼体”として, 同定可能であった個体とは別に計数した.

産出した貝形虫は, ほぼすべてが遺骸殻であり, 軟体部が残存していた個体は, 口永良部島北方の地点(試料採取地点: g343)と口之島北方の地点(試料採取地点: g270)でそれぞれ1個体が確認されるに留まった. したがって, 本研究では, 殻形態の特徴に基づき種の同定を行った.

## 3. 結果

### 3.1 含泥率

含泥率測定の結果, 36試料のうち34試料が, 含泥率50%未満の砂質堆積物で構成され, 含泥率が90%以上の泥質堆積物が確認された地点は口永良部島北方の1地点(g343)に限られた(第1表). また, 含泥率と試料採取地点の水深の間に相関関係は認められなかった. この特徴は, 鈴木ほか(2023)により示された「トカラ列島周辺海域の底質は, 必ずしも粒径と水深が対応するわけではなく, 深い水深に粗粒堆積物が分布する場合も多い」という傾向とも一致している.

### 3.2 貝形虫

本研究で貝形虫の分析対象とした5地点すべてから貝形虫が産出し, 1172個体の貝形虫殻を抽出した. 種が不明であった個体や破片殻を除き, 少なくとも54属150種の貝形虫が確認された. 確認された種の多くは東シナ海で一般的に報告されている亜熱帯から熱帯域を分布の中心とする分類群であった(例えば, Ruan and Hao, 1988; Tabuki and Nohara, 1998; Hou and Gou, 2007; Iwatani *et al.*, 2013).

#### 3.2.1. 群集構造

分析の結果を第2表に示す. 種多様度は, 2.13–3.63の値を取り, 平均値は3.11であった. また, 属多様度は, 1.94–2.87であり, 平均値は2.49であった. 種均衡度は, 0.31–0.63の値を示し, その平均値は0.50であった. 産出頻度の値は6.74–37.08(個体/g)であり, 平均値は20.32(個体/g)であった.

種多様度は, 水深400–650 mで採取された3試料(g265, g328, g343)が3以上と相対的に高い値を示し, 最も水深が浅い試料(g270)が2.13と低い値であった. 対して, 種均衡度は水深による変化が認められなかった. また, 産出頻度は, 水深と強い正の相関( $r=0.87$ ,  $p=0.05$ )が認められ, 水深が増加する程, 堆積物湿潤重量1 g中に含まれる貝形虫の個体数が増加することが明らかとなった.

#### 3.2.2. クラスター分析

R-modeクラスター分析の結果, 類似度約0.56を境界に4つの種群(SX, NA, AC, Kr)に区分された(第2図).

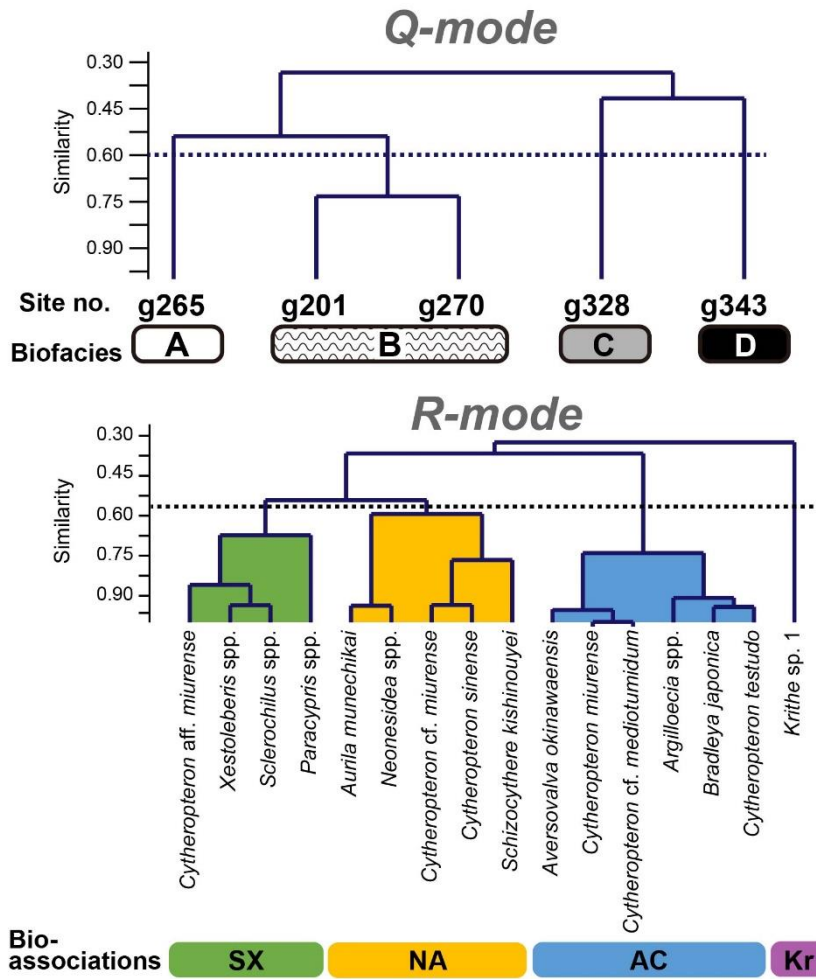
種群SXは, *Sclerochilus* spp.や*Xestoleberis* spp.といった海藻や石灰藻上に生息するとされる葉上種(Sato and Kamiya, 2006)によって特徴づけられ, その産出割合は, 水深600 m以深の2試料(g201, g328)で低く(<5%), 水深が大きくなるに従って減少する傾向を示した. 種群NAは, 熱帯から亜熱帯の浅海環境を生息の中心にする*Neonesidea* spp. (Maddoks, 1969; 鶴見・神谷, 2007)や, ホンダワラやアマモ等が繁茂する湾口に生息する

トカラ列島の現生貝形虫相 (中野ほか)

第2表 貝形虫の産出リスト(クラスター分析に用いた58タクサのみ).

Table 2 List of ostracodes from the adjacent sea of Kuchinoshima Island (The table displays 58 taxa used for cluster analyses).

sampling site	g201	g265	g270	g328	g343
species	736	478	268	639	502
<i>Acanthocythereis munechikai</i> Ishizaki, 1981	1			6	
<i>Argilloecia</i> spp.	2	5		14	11
<i>Aurila</i> cf. <i>corniculata</i> Okubo, 1980	4				
<i>Aurila</i> aff. <i>hataii</i> Ishizaki, 1968		2			4
<i>Aurila munechikai</i> Ishizaki, 1968	8		4		
<i>Aurila</i> aff. <i>uranouchiensis</i> Ishizaki, 1968			3		
<i>Aversovalva bispinea</i> Ruan, 1988		3			
<i>Aversovalva okinawaensis</i> Gou, 2007		2		21	1
<i>Aversovalva</i> sp. 2				3	
<i>Aversovalva</i> sp. 3				5	
<i>Bradleya albatrossia</i> Benson, 1972	1			4	
<i>Bradleya japonica</i> Benson, 1972	1			10	6
<i>Cardobairdia elongata</i> Ruan in Ruan & Hao(Yi-chun), 1988		3	1		1
<i>Cytherois leizhouensis</i> Gou & Huang, 1983		7	4		
<i>Cytheropteron abnormis</i> Guan, 1978		1		3	
<i>Cytheropteron</i> aff. <i>haoae</i> Zhao <i>et al.</i> , 2000		3			
<i>Cytheropteron</i> cf. <i>mediotumidum</i> Zhao <i>et al.</i> , 2000				12	
<i>Cytheropteron miurense</i> Hanai, 1957				23	1
<i>Cytheropteron</i> cf. <i>miurense</i> Hanai, 1957	8	12		9	
<i>Cytheropteron</i> aff. <i>miurense</i> Hanai, 1957		8			9
<i>Cytheropteron</i> aff. <i>nanhaiense</i> Zhao <i>et al.</i> , 2000		4			
<i>Cytheropteron pulchinella</i> Bonaduce, Masoli & Pugliese, 1976				3	3
<i>Cytheropteron quadrinodosa</i> Ruan, 1988				3	
<i>Cytheropteron</i> aff. <i>rhomboformis</i> Chen, 1981				3	6
<i>Cytheropteron sinense</i> Zhao, 1985	3	8		1	
<i>Cytheropteron testudo</i> Sars, 1869				5	7
<i>Cytheropteron uchioi</i> Hanai, 1957				5	
<i>Cytheropteron</i> sp. 7		1	3		
<i>Eucytherura japonica</i> Ishizaki, 1981	1			3	
<i>Eucytherura poroleberis</i> Zhao, 1988		1		3	
<i>Eucytherura utsusemi</i> Yajima, 1982	3				1
<i>Eucytherura</i> sp. 1		4		1	1
<i>Eucytherura</i> sp. 2		3			
<i>Hemicytherura cuneata</i> Hanai, 1957	3				
<i>Krithe</i> sp. 1	1				22
<i>Krithe</i> sp. 2					3
<i>Legitimocythere hanaii</i> Ishizaki, 1981				5	
<i>Loxococoncha japonica</i> Ishizaki, 1968	3				4
<i>Loxococoncha</i> aff. <i>japonica</i> Ishizaki, 1968			3		6
<i>Loxococoncha kattoi</i> Ishizaki, 1968	9		2		
<i>Loxococoncha propontica</i> Hu, 1983				5	
<i>Loxococoncha</i> sp. 1		3			
<i>Neonesidea</i> spp.	82	22	60	5	9
<i>Pacambycythere reticulata</i> Jiang & Wu, 1981				11	
<i>Paijenborchella iocosa</i> Kingma, 1948				4	
<i>Paracypris</i> spp.	1	9	7		
<i>Paracytheridea dialata</i> Gou & Huang in Gou Zheng & Huang 1983				3	
<i>Paracytheridea hispida</i> van den Bold, 1946				2	3
<i>Paranesidea</i> spp.	1		9		
<i>Phlyctocythere japonica</i> Ishizaki, 1981		4			
<i>Polycpe</i> spp.		6	3		2
<i>Pseudocythere caudata</i> Sars, 1866		5			
<i>Saida herrigi</i> Keij, 1975	1			5	
<i>Saida opima</i> Ruan, 1988				5	1
<i>Schizocythere kishinouyei</i> Kajiyama, 1913	8	1		7	
<i>Sclerochilus</i> spp.	1	7	2		5
<i>Semicytherura</i> sp. 1				1	4
<i>Xestoleberis</i> spp.	10	24	7	10	21
Others	48	32	14	43	54
Fragments	114	21	8	41	58
Total number of valves	314	201	130	284	243
Total ostracodes (/1g)	37.08	15.72	6.74	18.38	23.65
%fragments	36.31	10.45	6.15	14.44	23.87
Shannon_H (species)	2.81	3.38	2.13	3.63	3.58
Shannon_H (genus)	2.35	2.71	1.94	2.57	2.87
Evenness_e^H/S (species)	0.31	0.59	0.38	0.63	0.57
Evenness_e^H/S (genus)	0.33	0.52	0.41	0.44	0.50



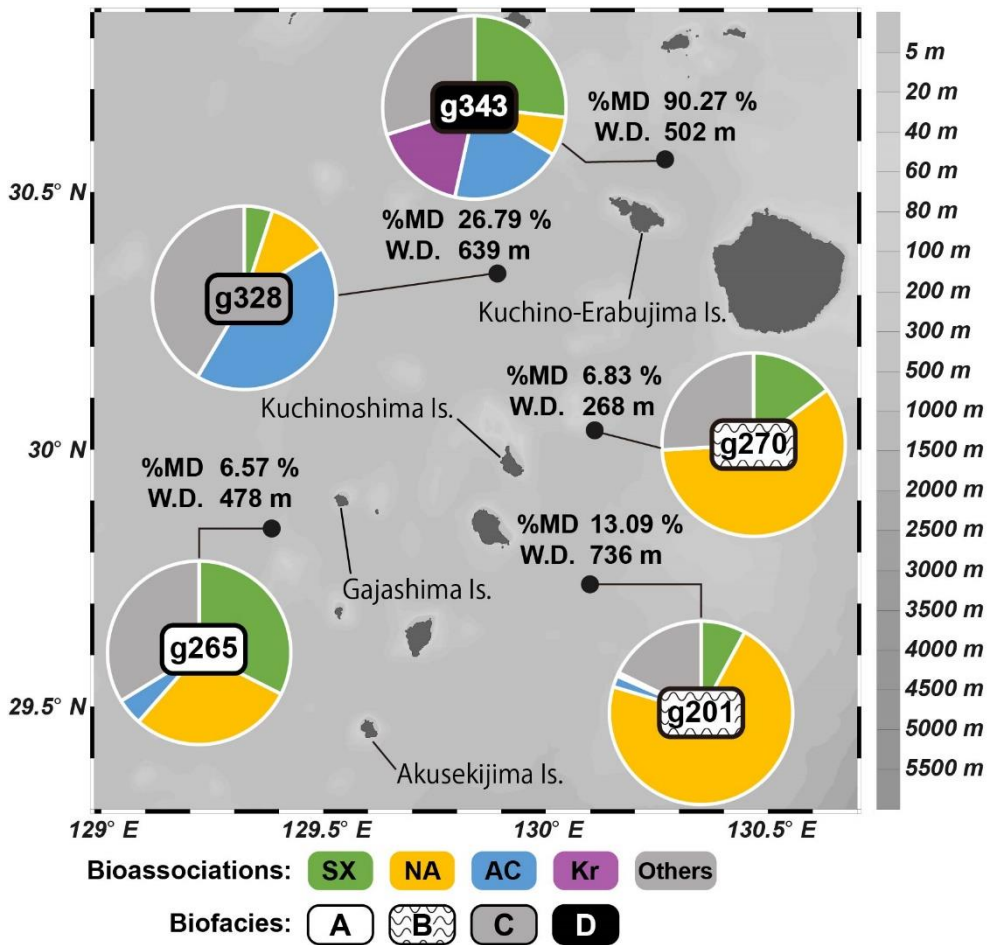
第2図 Q-modeクラスター分析およびR-modeクラスター分析結果。  
 Fig. 2 Dendrograms showing the result of Q-mode and R-mode cluster analysis.

*Aurila munechikai* (Kamiya, 1988), 南シナ海において水深50–150 mに生息の中心を持つ*Cytheropteron sinense* (Zhao *et al.*, 2000) など、浅海種によって特徴づけられた。また、その産出割合は含泥率が20%未満の3試料 (g201, g265, g270) で高く (>30%), 含泥率20%以上の2試料 (g328, g343) は低い値 (<10%) であったことから、含泥率が増加するに従って減少する傾向を持つことが示唆される。種群ACは、産出割合が含泥率の比較的高い2試料 (g328, g343) で高い (>10%) 傾向を示し、低酸素で適度に有機物に富む堆積物中から報告される*Argilloecia* spp. (Cronin, 1983)、深海や低水温環境に普遍的に確認される*Cytheropteron testudo*、暖流影響下の浅海域に生息する*Cytheropteron miurense* (例えば、Hanai *et al.*, 1977; Zhao *et al.*, 2000) などが区分された。種群Krは、深海の泥底に生息するとされる*Krithe*属 (Zhao and Whatley, 1997) の1種のみから構成され、産出割合が含泥率に対して強い正の相関 ( $r = 0.84$ ,  $p = 0.01$ ) を示した。

Q-modeクラスター分析の結果、類似度約0.60を境界に4つの貝形虫相 (A, B, C, D) に区分された (第2図)。貝形虫相Aは、臥蛇島西方沖で採取された含泥率の低い1試料 (g265) から構成される。また、貝形虫相Bは中之島東方沖で採取された水深が最も深い地点 (g201) と、口之島東方沖で採取された水深が最も浅い地点 (g270) の2試料から構成され、いずれも含泥率は低い。貝形虫相Cは口之島北方沖で採取された砂泥質の試料 (g328)、貝形虫相Dは口永良部島北方沖にて採取された泥質の試料 (g343) からなる。

貝形虫相A及びBは、ともに浅海系タクサにより特徴づけられる種群NAや種群SXが多産するが、貝形虫相Bは種群NAがより優占する傾向にある (第3図)。貝形虫相Cは深海系タクサを含む種群ACが多産する。貝形虫相Dは種群Krが他試料と比較すると多く産出し、種群ACや種群SXもそれと同程度に含まれることによって特徴づけられた。





第3図 貝形虫相と貝形虫種群の相対頻度分布図。%MD含泥率(%), W.D.は試料採取地点の水深(m)を示す。等深線図はOcean Data Viewにより作成(Schlitzer, 2021)。

Fig. 3 Diagram showing biofacies and relative abundances (%) of ostracodes in each bioassociation in the study area. %MD —mud contents (%), W.D. —water depth (m). Bathymetric map was created using Ocean Data View (Schlitzer, 2021).

#### 4. 考察

##### 4.1 調査海域の貝形虫の制御要因

R-modeクラスター分析の結果、砂質の試料からは浅海生種群が優占し、泥質の試料からは泥底種や深海生種群が多く産出する傾向が認められた。貝形虫相の分布が底質に依存することは広く知られており(池谷・塩崎, 1993)、調査海域の貝形虫相も底質の影響を受けている可能性がある。一方で、トカラギャップ以南の貝形虫相は、水深に伴い変化する底質の影響により制御される可能性が示唆されていたが(中野ほか, 2022)、本調査地域では貝形虫相の空間分布と水深の間に関係は認められなかった。

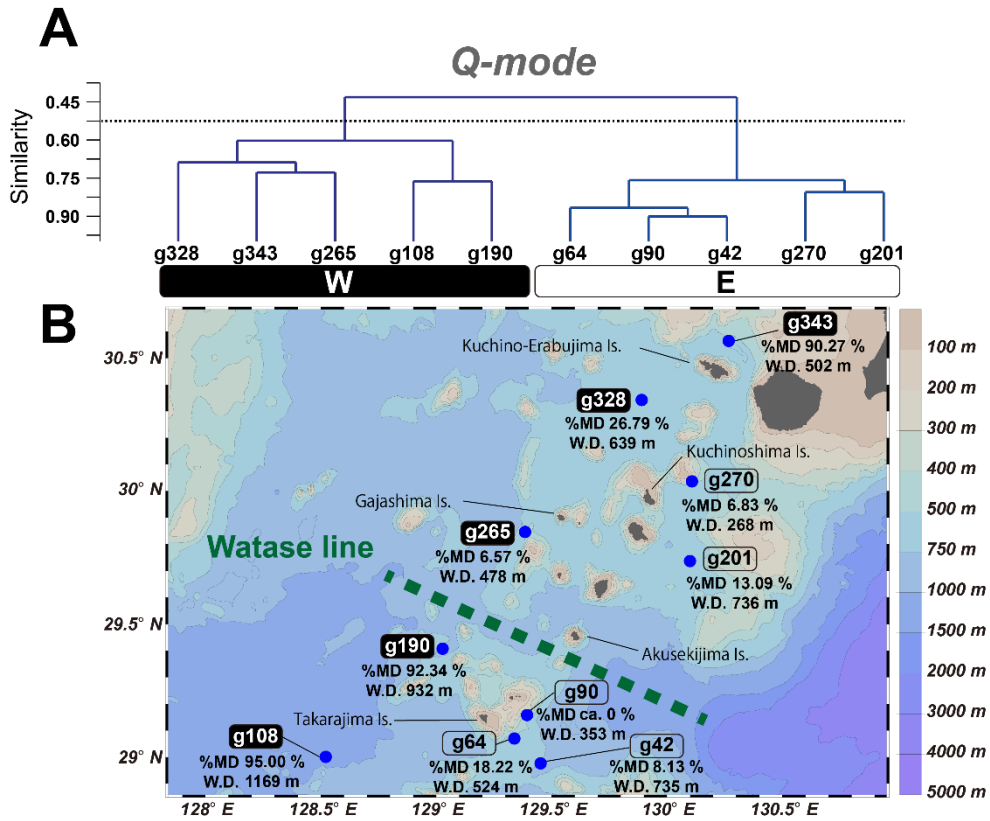
貝形虫相Dに該当する試料(g343)は、含泥率が低い地点が多いトカラ列島北部において、唯一、含泥率が60%を超える泥質の地点であった。この地点は深海泥底種で

ある*Krithe*属や深海域に分布の中心を持つ*Cytheropteron testudo* (Zhao *et al.*, 2000)と、熱帯から亜熱帯の浅海域に生息する*Neonesidea*属(鶴見・神谷, 2007)や葉上種である*Xestoleberis*属や*Loxoconcha japonica* (神谷, 1989; Tanaka and Ikeya, 2002)などの生息環境が大きく異なる種が混在する。さらに、浅海種や葉上種のほぼ全てが小型の幼体殻であった。つまり、貝形虫相Dは、浅海性の細粒堆積物の濃集を記録した混在性群集の可能性はある。

##### 4.2 トカラギャップ南北での貝形虫相変化

トカラギャップ以北にあたり、本研究で分析した口之島周辺海域の貝形虫組成と、トカラギャップ以南に該当する宝島周辺海域の貝形虫組成(中野ほか, 2022)を比較した。中野ほか(2022)で報告された貝形虫群集は属に留まるため、貝形虫組成の比較は属レベルで行った。

結果として、宝島周辺海域では属多様度が最浅部(g90)



第4図 A. トカラ列島全域におけるQ-modeクラスター分析結果. B. 貝形虫相の位置図. %MDは含泥率(%), W.D. は試料採取地点の水深(m)を示す. 等深線図はOcean Data Viewにより作成 (Schlitzer, 2021).

Fig. 4 Dendrogram showing the result of Q-mode cluster analysis. B. Locality map of the biofacies in Tokara Islands. %MD —mud contents (%), W.D. —water depth (m). Bathymetric map was created using Ocean Data View (Schlitzer, 2021).

で最も高く(2.89), 水深が深くなるにつれ, 低くなる傾向を示したが, 口之島周辺海域では水深が最浅部(g270)で最も低い値(1.94)を示した. 属均衡度は, 宝島周辺海域では水深が深くなるほど属均衡度が高くなる傾向が認められ, 最深部(g108)で最も高い値(0.94)を示した. しかし, 口之島周辺海域では最深部(g201)で最も低い値(0.33)を示し, 水深が深くなるほど属均衡度が下がる傾向が認められた. また, 宝島周辺海域では産出頻度の値が幅広い値を示し, 水深との相関関係は認められなかったものの, 口之島周辺海域では各地点間における産出頻度の差が比較的小さく, 水深が深くなるほど産出個体数が増えるといった違いが確認された. つまり, トカラ列島周辺海域における貝形虫群集の多様度・均衡度は, 少なくとも属において, トカラギャップ以北, 以南間では異なる傾向を示すことが明らかとなった.

渡瀬線による貝形虫相の変化を検討するため, 中野ほか(2022)によって報告されたトカラ列島宝島周辺海域の貝形虫群集と, 本研究で産出された口之島周辺海域の貝形虫群集をQ-modeクラスター分析によって比較した.

分析対象とする貝形虫はいずれかの地点において3個体以上産出した属とした. 結果として, 類似度約0.53を境界に, 貝形虫相Eと貝形虫相Wの2つに区分されたものの(第4図), 渡瀬線を挟んでの生物相の変化は確認されなかった. また, ノンパラメトリック多変量分散分析として知られるPERMANOVAを用いた有意差検定においても, 渡瀬線を境界とした生物相に有意な差は見られなかった( $p=0.95$ ).

しかしながら, 各貝形虫相は, 東シナ海側に位置する貝形虫相W, 太平洋側に位置する貝形虫相Eに明瞭に区分される. また, 貝形虫相Wの分布は, トカラ列島西方沖から口之島周辺にかけて流軸を持つ黒潮の流路と一致する. トカラ列島周辺海域において黒潮は, 島や海山などの海底地形により乱流を引き起こすことが報告されている(Hasegawa *et al.*, 2021). また, 鈴木ほか(2022)では, 砂質堆積物上のベッドフォームや, 生物遺骸の濃集する地点の存在から, 黒潮に伴う底層流がトカラ列島宝島周辺の深海域の表層堆積物へ影響を与えている可能性について報告している. つまり, 調査海域の貝形虫群集



は、黒潮の影響を強く受けた空間分布を持つ可能性がある。

ただし、解析に使用している貝形虫分析結果は10試料に留まり、調査海域全体を網羅した結果ではない。また、トカラ列島北部と南部における貝形虫相の比較は属に留まり、種による分析では別の貝形虫相に区分された地点が、属による分析では同じ貝形虫相に含まれるなど、分析の解像度によって異なる結果が認められた。そのため、今後検討試料を追加して多様な空間条件における貝形虫分析及び分類学的検討を進め、環境要素と貝形虫相の関係性を明らかにする必要がある。また、口永良部島北方沖で採取された試料 (g343) は、生息環境が異なる種が混在し、浅海種や葉上種のほぼすべてが幼体殻であったことから、貝形虫群集が浅海域起源の細粒堆積物の濃集を記録している可能性が示された。このように、本研究海域の貝形虫群集の組成を解明することは、生物相の形成機構に留まらず、表層堆積物の堆積過程の解明に繋がる重要な手掛かりをもたらす可能性がある。

## 5. 結論

本研究により、主に以下の結論が得られた。

- (1) GB21-3航海によってトカラ列島口之島周辺海域で採取された、表層堆積物5試料から、54属150種以上の貝形虫が認められた。
- (2) 産出した貝形虫の多くが、東シナ海で一般的に報告される、熱帯-亜熱帯域に生息する分類群であった。
- (3) R-modeクラスター分析において、口之島周辺海域の貝形虫群集は4つの貝形虫種群に区分された。また、産出割合などから貝形虫種群が底質の影響を大きく受けていることが示唆された。
- (4) Q-modeクラスター分析によって、トカラ列島宝島周辺海域の貝形虫群集と口之島周辺海域の貝形虫群集を比較した結果、渡瀬線による貝形虫相の変化は確認されなかった。しかし、貝形虫が黒潮の流軸と調和的な分布を示したことから、黒潮が貝形虫相に影響を与えていることが推測された。

謝辞：産業技術総合研究所の井上卓彦氏、および片山肇氏には、本研究の機会を頂いた。また試料採取にあたり、望星丸乗組員の皆様、並びに乗船研究者の皆様には、多大なるご尽力を頂いた。山口大学大学院創成科学研究科の久保 観氏には、本研究を進めるにあたり、多くのご助言を頂いた。本稿は、匿名の査読者からの有益なご指摘により、大幅に改善された。本研究は、山口大学理学部ステップアップ研究および山口大学理学部ハイライト研究による支援を受けた。以上の皆様、および関係機関に心よりお礼申し上げる。

## 文献

- Cronin, T. M. (1983) Bathyal ostracodes from the Florida-Hatteras slope, the Straits of Florida, and the Blake Plateau. *Marine Micropaleontology*, **8**, 89–119.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T. and Ryan, P. D. (2001) PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, **4**, 9 pp (入手日付：2022年6月6日)。
- Hanai, T., Ikeya, N., Ishizaki, K., Sekiguchi, Y. and Yajima, M. (1977) Checklist of Ostracoda from Japan and Its Adjacent Seas. *The University Museum, The University of Tokyo, Bulletin*, **20**, 1–119.
- 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
- Horn, H. S. (1966) Measurement of “overlap” in comparative ecological studies. *The American Naturalist*, **100**, 419–424.
- Hou, Y. and Gou, Y. (2007) *Fossil Ostracoda of China (Vol. 2) Cytheracea and Cytherellidae*. 798pp, Science Pub, Beijing. (in Chinese with English abst.)
- 池谷仙之・塩崎正道 (1993) 日本沿岸内湾性介形虫類の特性—古環境解析の指標として—。地質学論集, **39**, 15–32.
- Irizuki, T., Taru, H., Taguchi, K. and Matsushima, Y. (2009) Paleobiogeographical implications of inner bay Ostracoda during the Late Pleistocene Shimosueyoshi transgression, central Japan, with significance of its migration and disappearance in eastern Asia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **271**, 316–328.
- Iwatani, H., Irizuki, T. and Goto, T. (2011) Temporal changes of Plio–Pleistocene Ostracoda from the Takanahe Formation, Miyazaki Group, Southwest Japan. *Paleontological Research*, **15** (4), 267–289.
- Iwatani, H., Irizuki, T. and Yasuhara, M. (2013) Occurrence of a rare puncooid ostracod, *Promanawa konishii* (Nohara, 1976), in Recent sediments of the East China Sea. *Journal of Micropaleontology*, **32**, 221–223.
- Iwatani, H., Kondo, Y., Irizuki, T., Iwai, M. and Ikehara, M. (2016) Orbital obliquity cycles recorded in Kuroshio Current region, eastern Asia, around the Plio–Pleistocene boundary. *Quaternary Science Reviews*, **140**, 67–74.
- Kamiya, T. (1988) Morphological and Ethological Adaptations of Ostracoda to Microhabitats in *Zostera* Beds. *Developments in Palaeontology and Stratigraphy*, **11**,

- 303–318.
- 神谷隆宏 (1989) 藻場の介形虫類の機能形態—特に生殖行動との関連について—. 日本ベントス研究会誌, **35–36**, 75–78.
- 兼子尚知 (2007) 沖縄島および琉球弧の新生界層序. 地質ニュース, no. 633, 22–30.
- 木村政昭 (1996) 琉球弧の第四紀古地理. 地学雑誌, **105**, 259–285.
- 木崎甲子郎 (1985) 琉球弧の地質誌. 沖縄タイムス社, 沖縄, 278p.
- 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.
- 黒田長禮 (1931) 脊椎動物の分布上より見たる渡瀬線. 動物学雑誌, **43**, 172–175.
- Maddocks, R. F. (1969) Revision of Recent Bairdiidae (Ostracoda). *Bulletin of the United States National Museum*, **295**, 1–126.
- 森下知晃・山口龍彦・眞柴久和・神谷隆宏 (2010) 貝形虫の殻のMg/Ca比, Sr/Ca比による古環境推定の現状と問題点. 地質学雑誌, **116**, 523–543.
- 中野太賀・岩谷北斗・鈴木克明・板木拓也・久保 観・佐々木聡史 (2022) トカラギャップ周辺海域における現生貝形虫群集 (予報). 地質調査研究報告, **73**, 329–335.
- Ruan, P. and Hao, Y. (1988) II. Descriptions of ostracode genera and species. In Research Party of Marine Geology, Ministry of Geology and Mineral Resources and Chinese University of Geosciences eds., *Quaternary Microbiotas in the Okinawa Trough and Their Geological Significance*. Geological Publishing House, Beijing. 227–395, 33–74. (in Chinese)
- 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, 広島大学, **44**, 1–14.
- Sato, T. and Kamiya, T. (2006) Taxonomy and geographical distribution of recent *Xestoleberis* species (Cytheroidea, Ostracoda, Crustacea) from Japan. *Paleontological Research*, **11**, 183–227.
- Schlitzer, R. (2021) Ocean Data View. <https://odv.awi.de/> (閲覧日: 2021年9月1日)
- 関口英夫 (2009) 沿岸域で生まれた海洋生物の分散とその生態学的意義. 沿岸海洋研究, **46**, 85–100.
- 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・有本 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.
- Tabuki, R. and Nohara, T. (1988) Preliminary study on the ecology of ostracods from the moat of a coral reef off Sesoko Island, Okinawa, Japan. In Hanai, T., Ikeya, N. and Ishizaki, K. eds., *Evolutionary Biology of Ostracoda, its Fundamentals and Applications*. Kodansha & Elsevier, Tokyo, Amsterdam, 429–437.
- Tanaka, G. and Ikeya, N. (2002) Migration and speciation of the *Loxococoncha japonica* species group (Ostracoda) in East Asia. *Paleontological Research*, **6**, 3, 265–284.
- 田中隼人 (2016) 貝形虫 (甲殻類) からみた分類学と古生物学の繋がり. タクサ, 日本動物分類学会誌, **40**, 9–16.
- 塚越 哲 (2017) 現生生物を対象とした古生物学的研究 その2—貝形虫類の進化と多様性の研究例—. 化石, **102**, 15–30.
- 鶴見厚支・神谷隆宏 (2007) 日本・東南アジア産 *Neonesidea* 属 (甲殻亜門, 貝形虫綱, ポドコピーダ目) 8種の系統関係と生物地理. タクサ, 日本動物分類学会誌, **23**, 19–31.
- 安原盛明 (2007) 完新世の内湾貝形虫と環境変動—特に広義の人為汚染の影響—. 人類紀自然科学編集委員会, 共立出版, 161–172.
- 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.
- Zhao, Q. and Whatley, R. (1997) Distribution of the Ostracod genera *Krithe* and *Parakrithe* in bottom sediments of the East China and Yellow seas. *Marine Micropaleontology*, **32**, 195–207.
- Zhao, Q., Whatley, R. and Zhou, B. (2000) The taxonomy and distribution of recent species of the ostracod genus *Cytheropteron* in the South China Sea. *Revista Española de Micropaleontología*, **32**, 259–281.

( 受付: 2022年10月31日; 受理: 2023年10月10日 )