

## 宮崎平野北部の鮮新統宮崎層群の地質と貝形虫化石群集

岩谷北斗\*・入月俊明\*\*

\* 島根大学大学院総合理工学研究科マテリアル創成工学専攻・\*\* 島根大学総合理工学部地球資源環境学科

## Geology and fossil ostracode assemblages from the Pliocene Miyazaki Group in the northern part of the Miyazaki Plain, Southwest Japan

Hokuto Iwatani\* and Toshiaki Irizuki\*\*

\*Department of Geoscience, Graduate School of Science and Engineering, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue 690-8504, Japan (s079701@matsu.shimane-u.ac.jp); \*\*Department of Geoscience, Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University, 1060 Nishikawatsu, Matsue 690-8504, Japan (irizuki@riko.shimane-u.ac.jp)

**Abstract.** A total of 103 ostracode taxa were obtained from the upper Pliocene Sadowara and Takanabe Formations, Miyazaki Group, in the northern part of the Miyazaki Plain, Southwest Japan. Many of them live in sublittoral areas under the influence of the Kuroshio warm current. They have been also reported from upper Pliocene to lower Pleistocene deposits yielding the Kakegawa molluscan fauna. Three biofacies (U, M and L) were discriminated on the basis mainly of Q-mode cluster analysis. Biofacies U is dominated by *Neonesidea* spp., *Loxoconcha ikeyai* and *Schizocythere kishinouyei*, which live in sandy bottoms in upper to middle sublittoral zone. Biofacies M is characterized by *Loxoconcha tamakazura*, *Loxoconcha tarda*, *Pontocythere* cf. *subjaponica* and *Cytheropteron uchioi* which live in middle to lower sublittoral zone. Biofacies L contains such mud dwellers in lower sublittoral zone as *Acanthocythereis munechikai*, *Bradleya albatrossia*, *Hirsutocythere? hanaii* and *Krithe* spp. Spatio-temporal distribution of the ostracode biofacies and sedimentary facies show that 1) the sedimentary basin was deeper southward; 2) shallowing of the sea occurred during the deposition of the Sadowara Formation to the upper part of the Takanabe Formation; and 3) a rapid transgression occurred during the deposition of the uppermost part of the Takanabe Formation.

**Key words:** Ostracoda, Pliocene, Sadowara Formation, Takanabe Formation, Miyazaki Group, Kakegawa Fauna

## はじめに

宮崎平野には、本邦新第三系における代表的な海成層のひとつである宮崎層群が広く分布する(図1)。本層群の地質は、首藤(1952)およびShuto(1961)の体系的な研究により、泥質岩の卓越する北部の妻相とフリッシュの発達する南部の青島相、そして妻相と青島相の中間的な岩相を示す宮崎相の三相に区分された。鈴木(1987)は宮崎層群分布域の全域に渡る層位学的研究を行い、宮崎相と青島相は不整合関係であるとし、青島相を内海川層群として独立させ、宮崎層群を再定義した。一方、中村ほか(1999)は、宮崎相と青島相の境界付近の地質調査と、浮遊性有孔虫化石による生層序学的検討により、両者は一連の堆積物であり、不整合は存在しないとした。

宮崎層群の年代に関しては、Natori(1976)が浮遊性有孔虫化石による生層序学的な研究を行い、宮崎層群はBlow(1969)の浮遊性有孔虫化石帯N.17~18境界付

近からN.22にかけて堆積したと推定した。西田(1980)も石灰質ナンノ化石による生層序学的な研究を行い、これとほぼ同様な年代を報告した。中村ほか(1999)は、浮遊性有孔虫化石生層序により、青島相下部相当層の堆積年代はN.16にあたるとした。また、鳥井ほか(2000)、鳥井・尾田(2001)は、宮崎層群上部に多数挟在する凝灰岩層のK-Ar年代を見積もり、本研究で対象とした宮崎層群上部は鮮新世中期から末期にかけて堆積したと推定した(図2)。

宮崎層群上部から多産する貝化石群集は、黒潮型暖流系のいわゆる掛川動物群の構成種を多く含み、太平洋側に分布する静岡県産の鮮新-更新統掛川層群や高知県の鮮新統唐ノ浜層群穴内層から産出する貝化石群集との類似性が指摘されてきた(首藤, 1952; Shuto, 1961)。また、浮遊性微化石について、西田(1980)や氏家・大木(1993)により沖縄本島鮮新統島尻層群との類似性が指摘されるなど、調査地域が堆積当時から暖流の影響を強く受ける堆積場であったことを示す多くの報告がある。

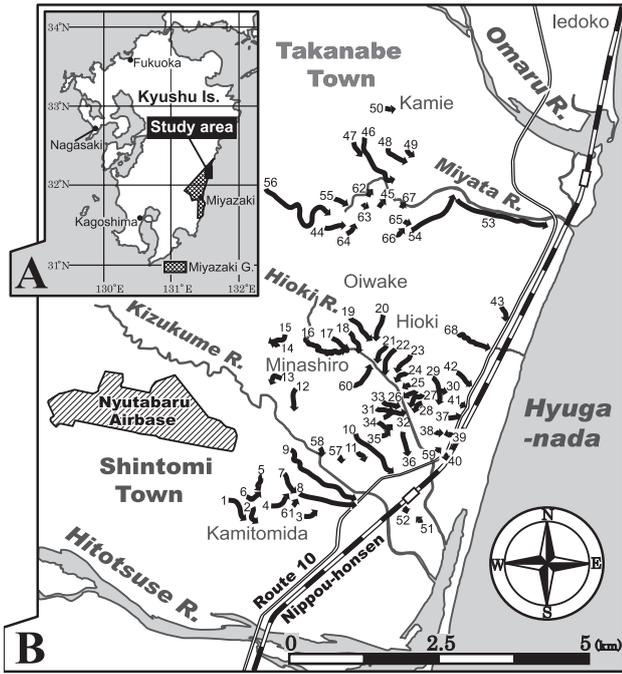


図 1. A. 調査地域位置図, B. 柱状図作成ルート (1-68).  
 Fig. 1. A. Map showing the study area (solid square), B. Routes for columnar sections (1-68).

本研究対象である貝形虫化石に関しては、Hanai (1957, 1970) により数種の記載報告がなされている。また、Ikeya and Cronin (1993) は、宮崎層群から得られた 9 試料に対して現生アナログ法を試み、宮崎層群上部の堆積当時は、現在の九州東部沖の底層水温よりも低温であったと推測した。しかしながら、これらの研究では、宮崎層群から産出する貝形虫化石の群集組成について詳細な検討は行われていない。また、西南日本太平洋側に分布する他の上部鮮新統から下部更新統についても同様で、貝形虫化石群集に関する研究報告は数例しかない (Ishizaki and Tanimura, 1985; 若松, 1992; 江頭・池谷, 1997)。そのため、いわゆる掛川動物群が繁栄した、鮮新世後期～更新世初期の古黒潮域を特徴づける貝形虫群集の実体については、明らかにされていない。

そこで、本研究では鮮新統宮崎層群上部を対象に地質調査を行い、産出する貝形虫化石群集の組成を明らかにすること、およびそれに基づき古環境を復元することを目的とした。その結果、従来報告のなかった宮崎層群上部の貝形虫化石群集について新たな知見を得ることができたため、ここに報告する。

**地質概説**

本調査地域は、宮崎平野の北部に位置し、南部を一つ瀬川に、北部を小丸川に境され、日向灘に面した児湯郡高鍋町・佐土原町周辺の南北約 8 km、東西約 4 km の地域である (図 1)。調査地域には首藤 (1952) の妻相にあたる宮

Age	Lithostratigraphy	K-Ar Age(Ma)
Pleistocene		
Late Pliocene	Hisamine Member	2.17 ± 0.10
	Takanabe F.	2.71 ± 0.16
Early Pliocene	Sadowara F.	2.79 ± 0.15
	Niinazume F.	4.09 ± 0.11
	Uryuno F.	
	Honjyo F.	
	Tsuma F.	
Miocene	Kawabaru F.	6.20 ± 0.32

図 2. 宮崎層群の層序図。遠藤・鈴木 (1986) を改編。放射年代値は鳥井ほか (2000) による。灰色の部分は調査層準を示す。  
 Fig. 2. Lithostratigraphy of the Miyazaki Group revised after Endo and Suzuki (1986). Radiometric ages are based on Torii et al. (2000). Shaded area shows the study interval.

崎層群が分布する。遠藤・鈴木 (1986) によると、宮崎層群妻相の最下部は川原層であり、川原層より上位の地層は一つ瀬川付近を境に南北で層相が異なる。北側は主として泥岩層からなる妻層が分布する。南側は主として砂岩泥岩互層が分布し、下位より本庄層、瓜生野層、新名爪層および佐土原層からなり、北側の妻層の泥岩と指交関係で接する。南側の砂岩泥岩互層は、上位ほど北側まで連続する傾向がある。最上部には高鍋層が佐土原層及び妻層を覆って一つ瀬川の南北両地域に連続して分布する。調査地域には、これらのうち佐土原層上部から高鍋層が分布する (図 2)。

調査地域に分布する佐土原層は、主に砂岩シルト岩互層及びシルト岩優勢互層からなり、それぞれが頻繁に指交関係で接する。また、しばしば厚く成層した砂岩層を挟在する。本研究では、最上位に挟在する厚い砂岩層までを佐土原層とした。高鍋層は主に淘汰不良な砂質シルト岩からなり、砂質シルト岩優勢な砂質シルト岩・砂岩互層をしばしば挟在する。北部ほど互層が多く挟在し、より砂岩優勢な岩相となる。また、高鍋層の上部層準には火山性の碎屑物に富む層や凝灰岩層が多数挟在する。とくに、高鍋町永谷地区を東流する永谷川の河岸に露出する泥岩層中には、級化構造のみられる軽石質凝灰岩層が挟在し、側方によく連続する。この凝灰岩層は、NGT-1 凝灰岩層と呼ばれ、鳥井ほか (2000) 及び鳥井・尾田 (2001) により、2.71 ± 0.16Ma という K-Ar 年代が報告されている。

調査地域最上部には、埋谷性堆積物である更新統通山浜層と段丘堆積物が、宮崎層群を不整合に覆い広く分布する (図 3, 4)。

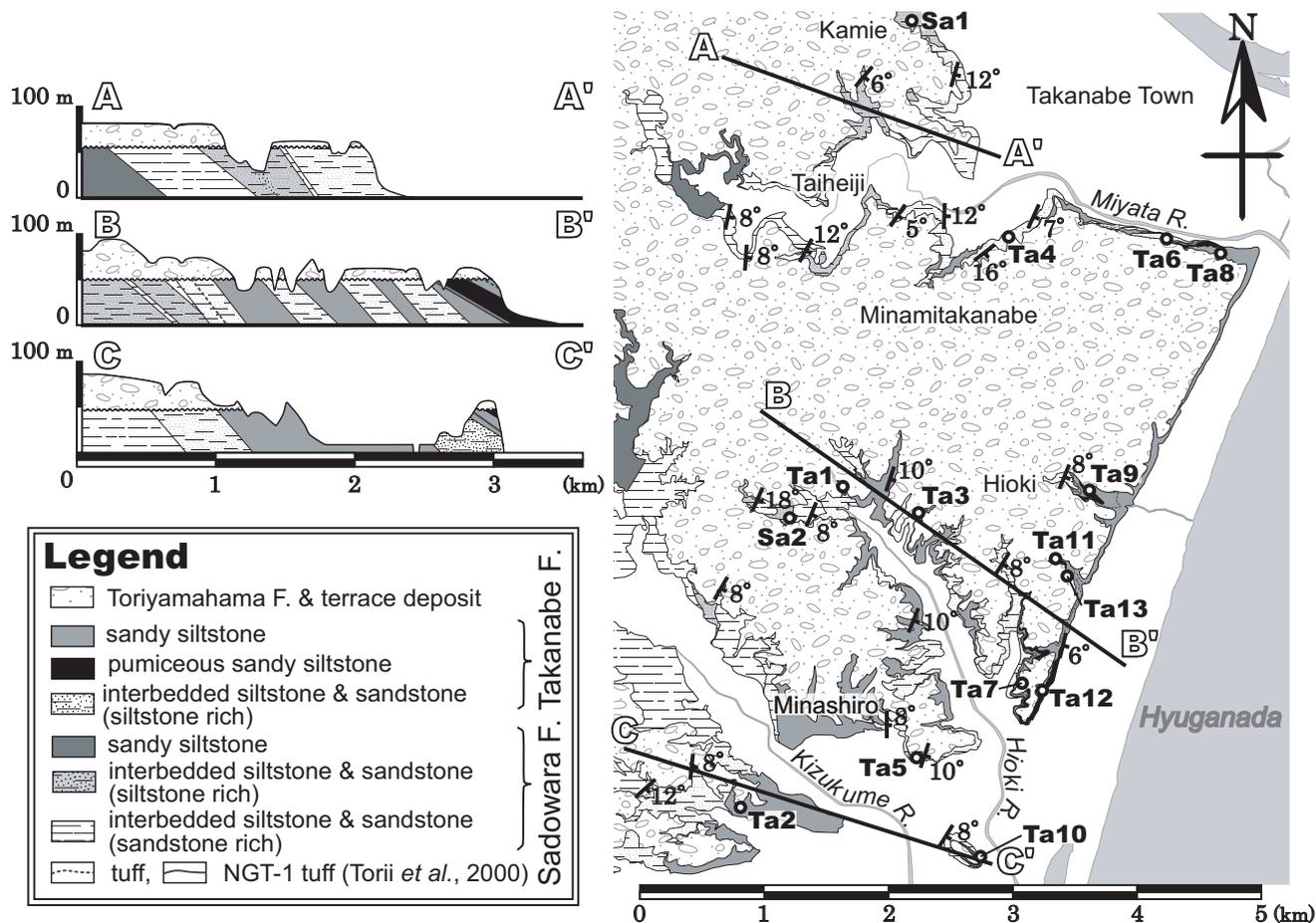


図3. 調査地域の地質図、地質断面図および試料採取地点 (Sa1, Sa2, Ta1-Ta13).  
 Fig. 3. Geological map with cross-sections of the study area and sample localities (Sa1, Sa2 and Ta1 to Ta13).

地質各説

佐土原層

1. 命名

首藤 (1952) の佐土原部層による。本研究の佐土原層は、遠藤・鈴木 (1986) の佐土原層と高鍋層下部に対比される。

2. 層厚

270 m 以上

3. 分布および構造

調査地域西部に分布する。走向は鬼付女川以南では、北東-南西方向、傾斜は12°東傾斜で、以北ではほぼ北北東-南南西方向で、傾斜は10°前後で東傾斜となる。

4. 層序関係

本調査地域では、佐土原層と下位の地層との境界を確認することはできないが、遠藤・鈴木 (1986) によると、一ツ瀬川以北では妻層を整合に覆うほか、妻層の一部と指交関係にあるとされる (図2)。本層は上位の高鍋層に整合に覆われる。

5. 岩相

本層は主に砂岩シルト岩互層及びシルト岩優勢互層か

らなる (図3, 4)。調査地域南西部にあたるルート1, 5 (鬼付女川の南側) では、塊状細~中粒砂岩と塊状の青灰色砂質シルト岩~極細粒砂岩との互層からなり、層厚約10 cmの中粒砂サイズの白色軽石質凝灰岩層を数層挟在する。調査地域中西部に位置するルート12から17 (日置川上流) では、主に細粒砂岩と極細粒砂岩~砂質シルト岩との互層からなり、しばしば砂質シルト岩層もしくは砂質シルト岩・細粒砂岩互層と指交関係で接する。砂岩層中には平行葉理が発達するが、潮汐流や一方向流の影響を示すような斜交葉理はみられない。砂質シルト岩層は、著しく生物攪乱を受けており、とくに *Phycosiphon* sp. (移動摂食痕) が豊富にみられる。調査地域北西部のルート44, 56 (高鍋町太平寺周辺) では、主に塊状細粒砂岩と青灰色砂質シルト岩との互層からなる。このルートでは調査地域南西部・中西部のルートと比較して互層を構成する砂岩層が厚く発達する。また、砂質シルト岩層は中西部同様、生物攪乱を受けており、*Phycosiphon* sp. が普通にみられる。

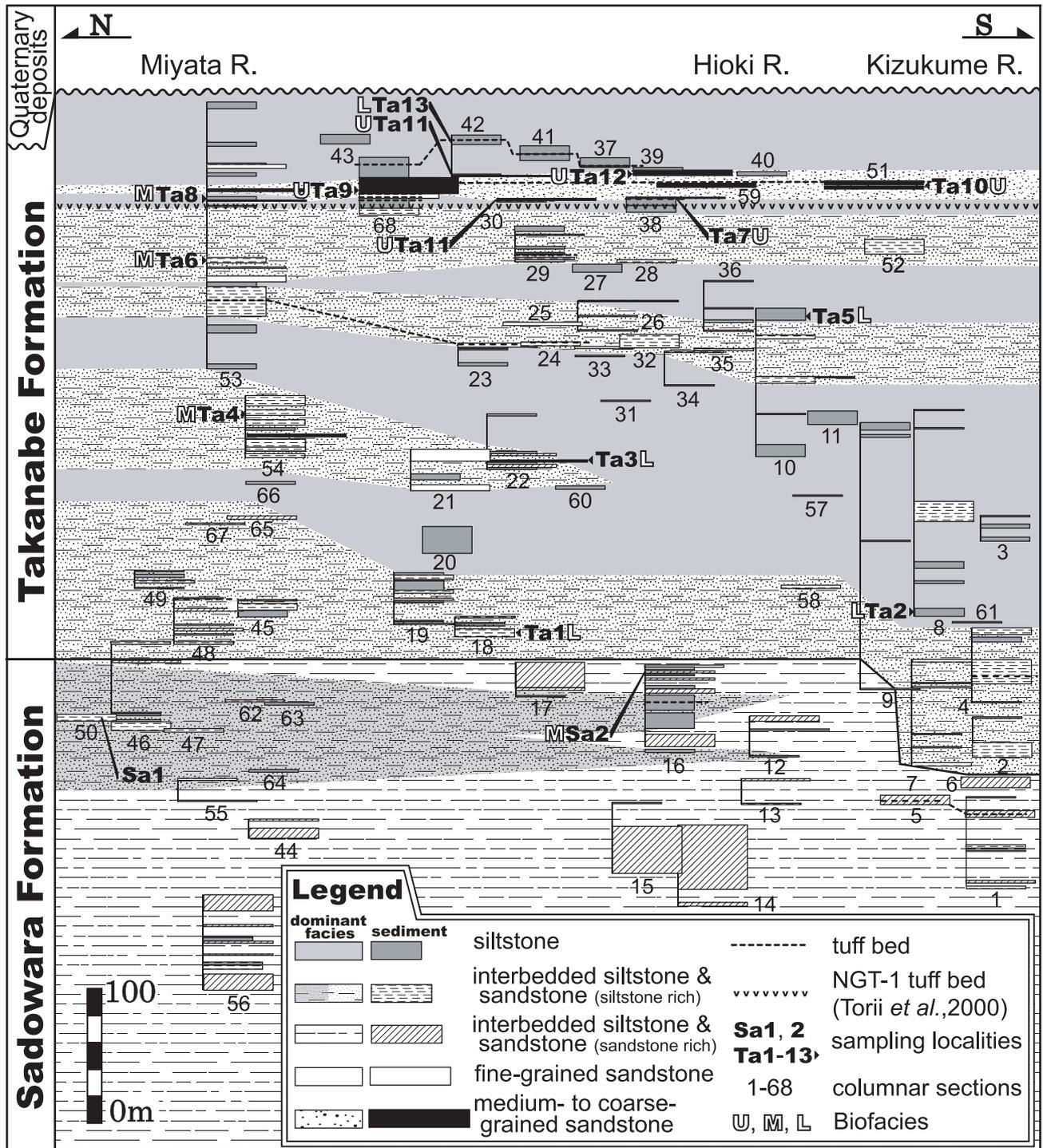


図4. ルート柱状図。柱状図番号については図1を参照。化石相U, M, Lの詳細については本文参照。  
 Fig. 4. Columnar sections of the Sadowara and Takanabe Formations in the study area. Route numbers of columnar sections (1-68) are referred to Fig. 1. See text for the detailed description of biofacies U, M and L.

高鍋層

1. 命名

首藤 (1952) の高鍋部層による。遠藤・鈴木 (1986) は、首藤 (1952) の高鍋部層のうち、佐土原町下那珂から下田島にかけて分布する地層が、模式地周辺の岩相と大きく異なるとして、久峰部層として分離し、その他の地域に分

布する地層を高鍋層の主部層として区分した。本研究の高鍋層は遠藤・鈴木 (1986) の高鍋層主部層と等しい。

2. 層厚

410 m 以上

3. 分布および構造

新富町上富田から三納代、日置を経て、高鍋町上江に至

る調査地域東部に分布する。調査地域の高鍋層の走向は、おおそ北北東-南南西方向で、傾斜は約8~16°東傾斜である。

#### 4. 層序関係

下位の佐土原層を整合に覆う。佐土原層との境界は、厚く成層した砂岩層の上限とした。本層は、第四系の埋谷性堆積物である通山浜層と段丘堆積物により不整合に覆われる。

#### 5. 岩相

本層は、主に淘汰不良な塊状砂質シルト岩層と、砂質シルト岩優勢な砂質シルト岩・細粒砂岩互層からなる(図3, 4)。

調査地域南部にあたるルート3, 8(鬼付女川の南側)付近では、軽石や貝化石を多く含む淘汰不良な青灰色砂質シルト岩層が分布する。

調査地域中部のルート18~39, 41, 42, 51(日置川周辺)は岩相上、下部、中下部、中上部、上部、最上部に区分できる。下部では、層理面が不明瞭で淘汰の悪い砂質シルト岩・細粒砂岩互層が認められる。また、砂質シルト岩層中にはノジュールや炭化木片をしばしば含み、軽石に富む。中下部では泥質部が卓越し、淘汰不良な塊状青灰色砂質シルト岩層となる。中上部では再び下部と類似した岩相となる。上部では、層厚10数cmの細~中粒砂サイズの軽石質凝灰岩層が、しばしば挟在するが、これらの凝灰岩層はレンズ状や薄いシート状で側方に追跡できない。さらに、上部(ルート30, 38, 39, 42, 51)では、層厚約40cmの中粒砂サイズの軽石質凝灰岩層と、その上位の保存良好な貝化石が密集する淘汰不良な軽石質のシルト質中粒砂岩層が特徴的に挟在する。この凝灰岩層は、鳥井ほか(2000)のNGT-1凝灰岩層にあたり、上位のシルト質中粒砂岩層とともに、本調査地域の重要な鍵層となる。最上部(ルート37, 41)は、貝化石片を含む塊状で淘汰不良な青灰色砂質シルト岩層である。

調査地域北部のルート(宮田川沿い)における本層の岩相は、南~中部のルートに比べてより砂質であり、主に層理面が不明瞭な砂質シルト岩優勢の砂質シルト岩・細粒砂岩互層からなる。上部層準が分布するルート53では、NGT-1凝灰岩層の上位に、南部及び中部のルートに分布する地層に対して層厚は薄くなるものの、貝化石が密集した軽石質の淘汰不良なシルト質中粒砂岩層が挟在し、最上部では貝化石片を含む塊状で淘汰不良な青灰色砂質シルト岩層となる。

本層最上部が露出する新富町岩脇の国道10号線沿いに立つ久家神社周辺(ルート40, 59)において、合弁の大型二枚貝化石を密集する炭酸塩コンクリーションが例外的に発達する。この貝化石密集層は、貝化石の産状・種構成、岩相ともに他地域・他層準ではみられない特異な岩相である。Majima *et al.* (2003, 2005)によると、この貝化石密集層はツキガイモドキ類(*Lucinoma* sp.)などの大型の化学合成二枚貝類により構成され、メタン湧水に伴う化学合成群集であるとされる。

## 貝形虫化石分析試料と方法

微化石分析用の岩石試料は、佐土原層の分布地域から2試料(Sa1, Sa2)、高鍋層の分布地域から13試料(Ta1~Ta13)の計15試料を採取した(図3, 4)。

貝形虫化石の処理は、採集した試料を乾燥重量80gを基準として量りとり、硫酸ナトリウム法とナフサ法(米谷・井上, 1973)を併用し、構成粒子に分解した。貝形虫化石は、処理を行った試料のうち115メッシュ(125 $\mu$ m)より粗粒な試料を、簡易分割器を用いて、適宜分割し、15~25倍の倍率に設定した双眼実体顕微鏡下で200個体を目安に抽出した。なお、ここでの個体数とは右殻・左殻を区分せず、それぞれ1個体とし、両殻は2個体とした。

## 群集解析結果

今回採取した全試料から比較的保存良好な貝形虫化石が産出し、少なくとも48属103種の貝形虫種が認められた(表1)。これらは、現在の西南日本周辺、南シナ海や東シナ海で一般的に見られる暖流影響下の群集を構成する種を多く含む(Ishizaki, 1981; Wang *et al.*, 1988; Zhao and Wang, 1988; Zhou, 1995; Zhao and Whatley, 1997; Tanaka, 2008)。また、同じく暖流影響下の浅海域で堆積したとされる高知県上部鮮新統穴内層や新第三系静岡県掛川層群から報告された群集と類似性が高い(Ishizaki and Tanimura, 1985; 江頭・池谷, 1997)。一方で、鮮新世から更新世の日本海に繁栄した大桑-万願寺動物群に伴って産出する環極域性種および好冷性種(Cronin and Ikeya, 1987)は全くみられなかった。主要種と調査地域の特徴種の走査型電子顕微鏡写真を図5, 6に示す。このうち*Argilloecia*属、*Krithe*属、*Macrocypris*属、*Neonesidea*属、*Trachyleberis*属は、保存不良な場合、種レベルでの同定が困難であったため、本研究ではまとめてspp.とした。

採取した試料を種構成及び貝形虫種の頻度に基づいた客観的なグループにまとめるため、貝形虫化石が30個体以上産出した14試料と、いずれかの試料のうち3個体以上産出する69の分類群に対し、Q-modeクラスター分析による群集解析を試みた。分析にはフリーソフトのPAST(Paleontological Statistics; Hammer *et al.*, 2001)を用いた。類似度は有孔虫や貝形虫群集のクラスター分析の際に一般的に用いられている情報関数に基づくHorn(1966)の重複度指数を使用し、単純算術平均による連結法(UPGMA)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。結果として、類似度約0.43を境に3つのクラスターが認められた(図7)。これらのクラスターは、それぞれ貝形虫化石相L, M, Uに相当する。以下に各化石相の構成種と示唆される環境を示す。

化石相Lは、調査地域南部のルートで採取された砂質シルト岩からなる試料(Ta1~3, 5, 13)より構成される。卓越する種は、*Acanthocythereis munekikai*, *Bradleya*

表 1. 産出貝形虫化石リスト。★は Q-mode クラスター分析に用いた試料および分類群を示す。

Table 1. List of fossil ostracodes from the Miyazaki Group. Solid stars show species and samples used for Q-mode cluster analysis.

Specific name	Locality	Number	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★	★
			Sa1	Sa2	Ta1	Ta2	Ta3	Ta4	Ta5	Ta6	Ta7	Ta8	Ta9	Ta10	Ta11	Ta12	Ta13	
<i>Abrocythereis guangdongensis</i> Gou, 1983									2									
★ <i>Acanthocythereis munekikai</i> Ishizaki, 1981			1	2	4		10	1	26		3	4	5				16	8
★ <i>Acanthocythereis</i> sp.								1		4	1		4	10				
★ <i>Actinocythereis kisarazuensis</i> Yajima, 1978																		
★ <i>Alocopocythere goujoni</i> (Brady, 1869)								1										
★ <i>Alocopocythere ishizakii</i> Nohara, 1987			1	1										1				
★ <i>Ambtonia glabra</i> Malz, 1982				1		5	1		4		1	4	1					
★ <i>Amphileberis nipponica</i> (Yajima, 1978)				1						1		7						
★ <i>Argilloecia</i> spp.			3	3	2		2		3			5	5	1	2	1	1	1
★ <i>Aurila uranouchiensis</i> Ishizaki, 1968										6	1		1	1	3			
<i>Aurila</i> sp. 1											1							
★ <i>Aurila</i> sp. 2				2			1	1										
★ <i>Aurila</i> sp. 3				1							9							
★ <i>Bicornucythere</i> cf. <i>bisanensis</i> (Okubo, 1975)				1				1										
★ <i>Bradleya albatrossia</i> Benson, 1972			1	1	7	10	3		6	4	3			1				13
★ <i>Bradleya japonica</i> Benson, 1972				1			4	2		1	1			3	6	8		
★ <i>Bythoceratina angulata</i> Yajima, 1988															1			
★ <i>Bythoceratina</i> sp.										1			6		1			
★ <i>Callistocythere alata</i> Hanai, 1957										2	2							
★ <i>Callistocythere kattoi</i> Ishizaki, 1983				1						3	1							
★ <i>Callistocythere undata</i> Hanai, 1957			2							2								
★ <i>Callistocythere</i> sp. 1								5				1						
★ <i>Callistocythere</i> sp. 2										7	1	1		1				
★ <i>Callistocythere</i> sp. 3			1															
★ <i>Coquimba ishizakii</i> Yajima, 1978										1	1							
★ <i>Cornucoimba</i> cf. <i>kagitoriensis</i> Ishizaki, Fujiwara & Irizuki, 1996														2				
★ <i>Cythere nishinipponica</i> Okubo, 1976										1								
★ <i>Cytherella japonica</i> Ishizaki, 1983			1	3		4			3	1								
★ <i>Cytherelloidea hanaii</i> Nohara, 1976									3	1	1							
★ <i>Cytherelloidea munekikai</i> Ishizaki, 1968										1								
★ <i>Cytherelloidea senkakiensis</i> Nohara, 1976			1				2		2					5	2	1		
★ <i>Cytherois</i> sp.			1															
★ <i>Cytheropteron abnormis</i> Guan, 1978											1		2	2	3	1		2
★ <i>Cytheropteron hanaii</i> Ishizaki, 1981							1											
★ <i>Cytheropteron higashikawai</i> Ishizaki, 1981							5											9
★ <i>Cytheropteron mediotimidum</i> Zhao, Whatley & Zhou, 2000								1										
★ <i>Cytheropteron miurense</i> Hanai, 1957										10	8		10	2	6	3		1
★ <i>Cytheropteron rhombea</i> Hu, 1976			1	5						2								
★ <i>Cytheropteron subuchioi</i> Zhao, 1988										4	7		7	5	6	4		
★ <i>Cytheropteron uchioi</i> Hanai, 1957			2	2			2			12	5	9	2	7	3			
<i>Cytheropteron</i> sp. 1			1		1													
<i>Cytheropteron</i> sp. 2														1				
<i>Cytheropteron</i> sp. 3								1										
★ <i>Cytheropteron</i> sp. 4										4	1	3	1			1		
<i>Darwimula</i> sp.										1								
★ <i>Eucytherura utsusemi</i> Yajima, 1982					2					2								
★ <i>Falsobuntonia</i> cf. <i>taiwanica</i> Malz, 1982					11		6		3				1					1
★ <i>Hanaiborchella miurense</i> (Hanai, 1970)										4								
★ <i>Hanaiborchella triangularis</i> (Hanai, 1970)			1						1	1					1			
★ <i>Hemicytherura cuneata</i> Hanai, 1957				3						7	8		7	1		3		
★ <i>Hirsutocythere? hanaii</i> Ishizaki, 1981				1	2	4	10		3	2						1	2	
★ <i>Krithe</i> spp.			1	1	5		7		2	3	1	4						5
★ <i>Loxocochna ikeyai</i> Zhou, 1995										6	14		26	14	11	12		
★ <i>Loxocochna kattoi</i> Ishizaki, 1968			1							6	2		3		2	6		
★ <i>Loxocochna propontica</i> Hu, 1983							3		1									
★ <i>Loxocochna tamakazura</i> Yajima, 1982				5						37	3	1	6	6	10	6		
★ <i>Loxocochna tarda</i> Guan, 1978				2					1	5		5						
★ <i>Loxocochnidea dolgoiensis</i> Brouwers, 1993			5		1	1			2		1							
★ <i>Loxocorniculum mutsuense</i> Ishizaki, 1971								1										
★ <i>Macrocypris</i> spp.													1		2			
★ <i>Munseyella chinzei</i> Zhou, 1995													1					1
★ <i>Munseyella japonica</i> (Hanai, 1957)										2	1							
★ <i>Munseyella oborozukiyo</i> Yajima, 1982				2						5								
★ <i>Neonesidea</i> spp.			1				1	2			27		87	50	70	22		
★ <i>Nipponocythere bicarinata</i> (Brady, 1880)			1	1						3								
★ <i>Nipponocythere? sp.</i>														1				
★ <i>Pacambocythere humilitorus</i> Malz, 1982				1														
★ <i>Pacambocythere mediopunctata</i> Malz, 1982												3		1		1		
★ <i>Pacambocythere reticulata</i> (Jiang & Wu, 1981)						1	2		2									4
★ <i>Pacambocythere scorta</i> (Ishizaki, 1983)																		
★ <i>Pacambocythere u-carinata</i> (Ishizaki, 1983)										8	1							
★ <i>Paijenborchella iocosa</i> Kingma, 1948				1	2	2	2				1	2						
★ <i>Paijenborchella spinosa</i> Hanai, 1970					2				2									
<i>Paijenborchella</i> sp. 1			1															
<i>Paijenborchella</i> sp. 2							1											
★ <i>Paracytheridea echinata</i> Hu, 1981										3								
<i>Parakrithe</i> sp. 1					1													
<i>Parakrithe</i> sp. 2						1												
<i>Parakrithe</i> spp.			1															
<i>Phlyctocythere</i> sp.				1											1			
★ <i>Pontocythere japonica</i> (Hanai, 1959)											2	4						
★ <i>Pontocythere</i> cf. <i>subjaponica</i> (Hanai, 1959)			1	2				4	1	20	1	10	1		3			
<i>Pontocythere</i> sp. 1													1					
★ <i>Pontocythere</i> sp. 2										3		2						
★ <i>Pseudoaurila japonica</i> (Ishizaki, 1968)										3								
★ <i>Pseudopsammocythere tokyoensis</i> Yajima, 1978										1								
★ <i>Robustaurila nodulosa</i> (Hu, 1977)										6								
<i>Robustaurila</i> sp. 1			1															
★ <i>Robustaurila</i> sp. 2										2		1	15	2	9	6		
★ <i>Schizocythere kishinouyei</i> (Kajiyama, 1913)								1		19	12		14	8	13	1		
★ <i>Schizocythere? sp.</i>										5								
★ <i>Semicytherura hanaii</i> Ishizaki, 1981				1														
★ <i>Semicytherura henryhowei</i> Hanai & Ikeya, 1977			1															
★ <i>Semicytherura minaminipponica</i> Ishizaki, 1981							2								1	1		
★ <i>Semicytherura yajimae</i> Ikeya & Zhou, 1992				1			1			1								
<i>Semicytherura</i> sp.										1								
★ <i>Sinoleberis tosaensis</i> (Ishizaki, 1968)				1						5			1					
★ <i>Trachyleberis</i> spp.			1						4	35	8	5	8	16	7	8		
★ <i>Typhlocythere</i> cf. <i>japonica</i> Ishizaki, 1981			1		1													
★ <i>Typhlocythere? tetranodosa</i> Zhao, 1988			1															
★ <i>Xestoleberis hanaii</i> Ishizaki, 1968				1														
★ <i>Xestoleberis</i> sp. 1							4			1			1					
★ <i>Xestoleberis</i> sp. 2										1	1					2		2
★ <i>Xestoleberis</i> sp. 3																		

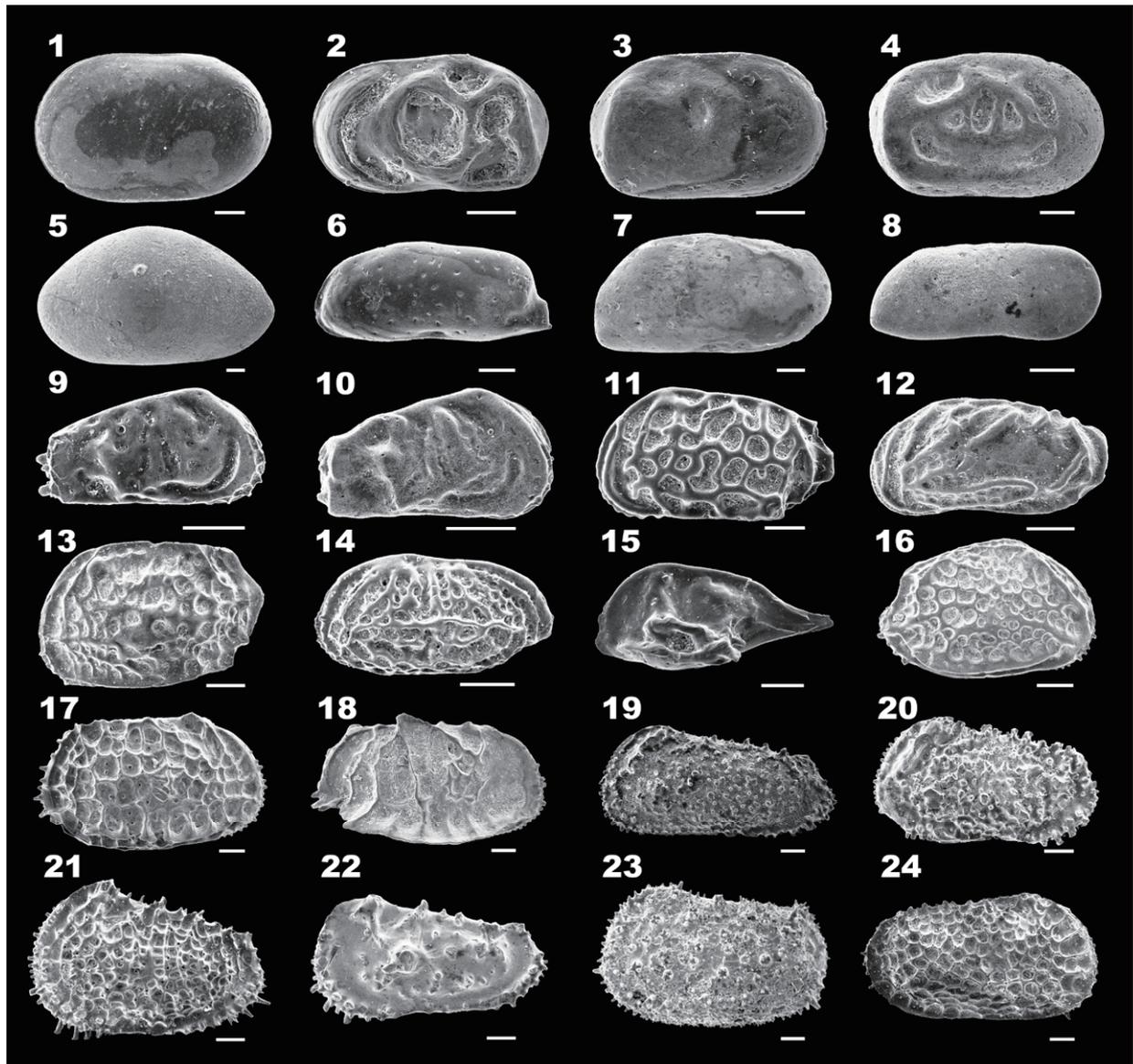


図5. 貝形虫化石の走査型電子顕微鏡写真（その1）。すべて成体殻。スケールはすべて0.1 mm.

Fig. 5. Scanning electron micrographs of the selected species. All are adult valves, LV: left valve, RV: right valve. All specimens are stored in the Department of Geoscience, Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University (DGSU). Scale bars are 0.1 mm. 1. *Cytherella japonica* Ishizaki, 1983, LV, sample Ta3, DGSU no. CO0194; 2-3. *Cytherelloidea hanaii* Nohara, 1976, 2. LV, sample Ta4, DGSU no. CO0195, 3. RV, sample Ta4, DGSU no. CO0196; 4. *Cytherelloidea senkakuensis* Nohara, 1976, RV, sample Ta10, DGSU no. CO0197; 5. *Neonesidea* sp., LV, sample Ta11, DGSU no. CO0198; 6. *Pontocythere* cf. *subjaponica* (Hanai, 1959), LV, sample Ta9, DGSU no. CO0199; 7. *Krithe* sp., RV, sample Sa2, DGSU no. CO0200; 8. *Parakrithe* sp. 1, RV, sample Ta1, DGSU no. CO0201; 9. *Munseyella japonica* (Hanai, 1957), RV, sample Ta6, DGSU no. CO0202; 10. *Munseyella oborozukiyo* Yajima, 1982, RV, sample Ta6, DGSU no. CO0203; 11. *Callistocythere alata* Hanai, 1957, LV, sample Ta6, DGSU no. CO0204; 12. *Callistocythere* sp. 1, LV, sample Ta7, DGSU no. CO0205; 13. *Schizocythere kishinouyei* (Kajiyama, 1913), LV, sample Ta9, DGSU no. CO0206; 14. *Hanaiborchella miurensis* (Hanai, 1970), LV, sample Ta6, DGSU no. CO0207; 15. *Paijenborchella iocosa* Kingma, 1948, LV, sample Sa2, DGSU no. CO0208; 16. *Robustaurila* sp. 2, RV, sample Ta9, DGSU no. CO0209; 17. *Bradleya albatrossia* Benson, 1972, RV, sample Ta13, DGSU no. CO0210; 18. *Bradleya japonica* Benson, 1972, RV, sample Ta10, DGSU no. CO0211; 19. *Trachyleberis* sp. 1, male LV, Ta7, DGSU no. CO0212; 20. *Trachyleberis verrucifera* Zhao, Wang & Zhang, 1985, female LV, sample Ta9, DGSU no. CO0213; 21. *Acanthocythereis munekikai* Ishizaki, 1981, female LV, sample Ta5, DGSU no. CO0214; 22. *Actinocythereis kisarazuensis* Yajima, 1978, LV, sample Ta6, DGSU no. CO0215; 23. *Hirsutocythere?* *hanaii* Ishizaki, 1980, LV, sample Ta2, DGSU no. CO0216; 24. *Alocopocythere goujoni* (Brady, 1869), RV, sample Ta6, DGSU no. CO0217.

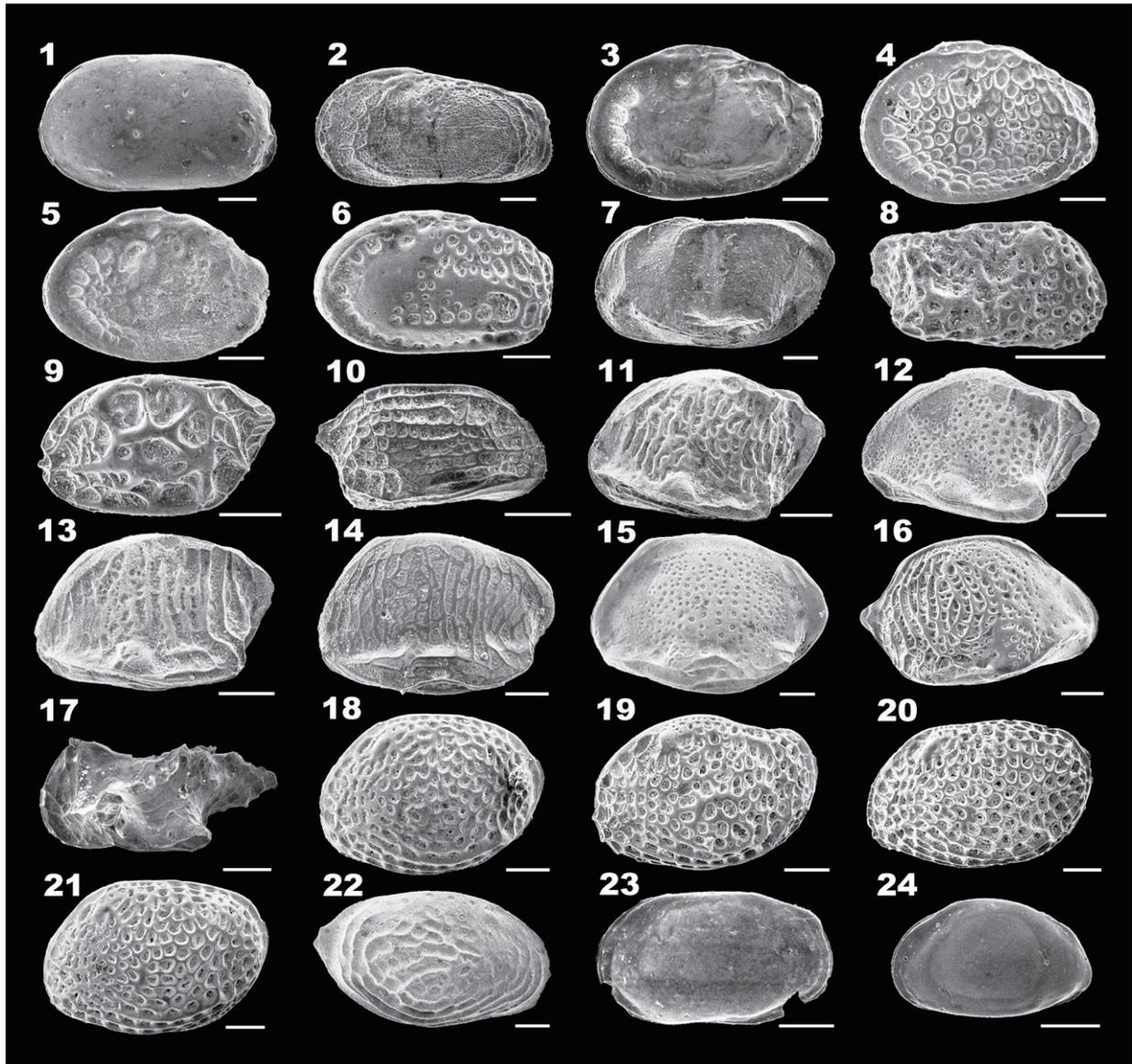


図 6. 貝形虫化石の走査型電子顕微鏡写真 (その 2)。すべて成体殻。スケールはすべて 0.1 mm。

Fig. 6. Scanning electron micrographs of the selected species. All are adult valves, LV: left valve, RV: right valve. All specimens are stored in the Department of Geoscience, Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University (DGSU). Scale bars are 0.1 mm. 1. *Ambtonia glabra* Malz, 1982, LV, sample Ta2, DGSU no. CO0218; 2. *Falsobuntonia* cf. *taiwanica* Malz, 1982, male LV, sample Ta5, DGSU no. CO0219; 3. *Pacambocythere humilitorus* Malz, 1982, female LV, sample Sa2, DGSU no. CO0220; 4. *Pacambocythere reticulata* (Jiang & Wu, 1981), female LV, sample Ta13, DGSU no. CO0221; 5. *Pacambocythere scorta* (Ishizaki, 1983), female LV, sample Ta12, DGSU no. CO0222; 6. *Pacambocythere u-carinata* (Ishizaki, 1983), LV, sample Ta6, DGSU no. CO0223; 7. *Bythoceratina* sp. LV, sample Ta9, DGSU no. CO0224; 8. *Eucytherura utsusemi* Yajima, 1982, RV, sample Ta6, DGSU no. CO0225; 9. *Hemicytherura cuneata* Hanai, 1959, LV, sample Ta9, DGSU no. CO0226; 10. *Semicytherura minaminipponica* Ishizaki, 1981, female RV, sample Ta11, DGSU no. CO0227; 11. *Cytheropteron abnormis* Guan, 1978, LV, sample Ta7, DGSU no. CO0228; 12. *Cytheropteron miurense* Hanai, 1957, LV, sample Ta7, DGSU no. CO0229; 13. *Cytheropteron rhombea* Hu, 1976, LV, sample Ta7, DGSU no. CO0230; 14. *Cytheropteron subuchioi* Zhao, 1988, LV, sample Ta9, DGSU no. CO0231; 15. *Cytheropteron uchioi* Hanai, 1957, LV, sample Ta7, DGSU no. CO0232; 16. *Cytheropteron mediotumidum* Zhao, Whatley & Zhou, 2000, RV, sample Ta13, DGSU no. CO0233; 17. *Paracytheridea echinata* Hu, 1981, LV, sample Ta6, DGSU no. CO0234; 18. *Loxoconcha ikeyai* Zhou, 1995, LV, sample Ta7, DGSU no. CO0235; 19. *Loxoconcha kattoi* Ishizaki, 1968, LV, sample Ta12, DGSU no. CO0236; 20-21. *Loxoconcha tamakazura* Yajima, 1982, 20. male LV, sample Sa2, DGSU no. CO0237, 21. female LV, sample Ta12, DGSU no. CO0238; 22. *Loxoconcha tarda* Guan, 1978, RV, sample Ta8, DGSU no. CO0239; 23. *Loxoconchidea dolgoiensis* Brouwers, 1993, LV, sample Sa1, DGSU no. CO0240; 24. *Nipponocythere bicarinata* (Brady, 1880), female LV, sample Ta2, DGSU no. CO0241.

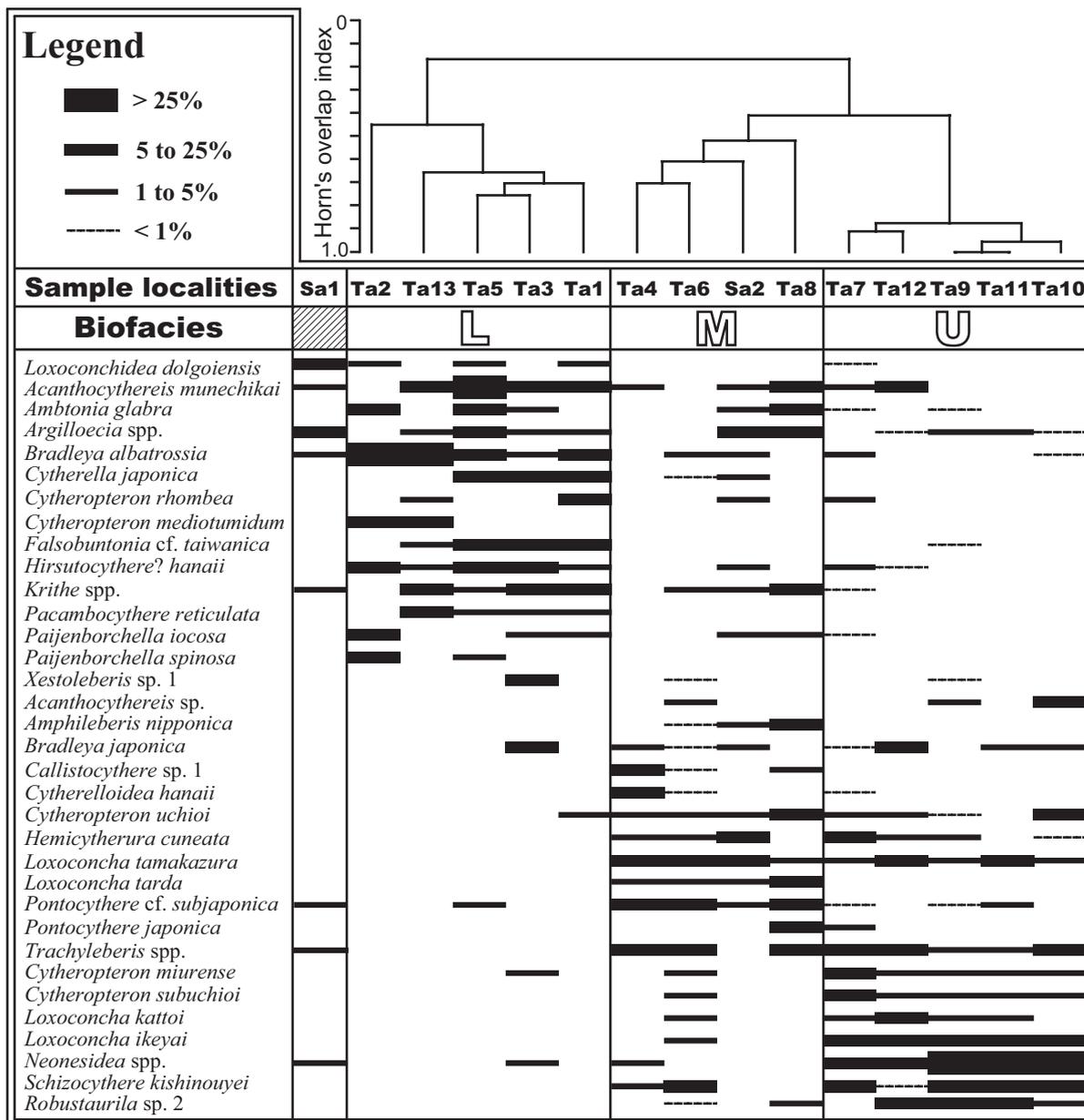


図7. 貝形虫化石群集の種構成および、それらの Q-mode クラスタ分析結果。  
 Fig. 7. Relative abundance of selected ostracode species (more than 5% of the total ostracodes) and dendrogram from Q-mode cluster analysis based on the index of overlap (Horn, 1966).

*albatrossia*, *Hirsutocythere?* *hanaii*, *Krithe* spp. などである (図7)。*A. munechikai* と *H. ? hanaii* は、現在の東シナ海で水深 100 m 付近からの産出が報告されており (Ishizaki, 1981), *B. albatrossia* は現在の日向灘では水深 100 m 以深に産出のピークを持つ (Zhou, 1995)。また Zhao and Wang (1988) によると, *B. albatrossia* は中国沖の黒潮影響下の陸棚域に特徴的な暖温帯性群集の構成種であり、特に南シナ海から頻出するとされる。さらに *Krithe* 属は主に陸棚下部以深の泥底に生息するため (例えば, Zhao and Whatley, 1997), 化石相 L の示す環境は、水深 100 m 以深の暖流に強く影響を受ける下部浅海帯以深であ

ると推測される。Zhou (1995) によると *A. munechikai* および *H. ? hanaii* は、現在の西南日本暖流域において種子島から駿河湾にかけて分布する。同じく化石相 L に卓越する *F. cf. taiwanica* と比較した *Falsobuntonia taiwanica* や *Paijenborchella iocosa* などは、沖縄周辺海域より駿河湾にかけて分布するとされる。

化石相 M は、佐土原層上部にあたる葉理の発達する細粒砂岩と砂質シルト岩との細互層中にレンズ状に挟在する貝化石密集層 (Sa2) と高鍋層のシルト岩優勢互層から採取された試料 (Ta4, 6, 8) からなる。*Loxoconcha tamakazura*, *Loxoconcha tarda*, *Pontocythere* cf.

*subjaponica*, *Cytheropteron uchioi*, *Cytherelloidea hanaii* などが多くみられ, 化石相 L の構成種である *A. munechikai*, *B. albatrossia* や *Krithe* spp. も普通にみられる (図 6). 最も多産する *L. tamakazura* は, Ozawa *et al.* (1995) によると黒潮と対馬暖流流軸部の水深 50~60 m から 100 m 付近に分布する. また九州近海では対馬海峡近傍の水深 43~135 m の表層堆積物中から報告されている (Tanaka, 2008). *P. cf. subjaponica* と比較した *P. subjaponica* は, 現在の日向灘において最も卓越する種であり, 水深 30 m 付近で最も多産する (Zhou, 1995). *C. uchioi* は現在の東シナ海では水深 50 m 以深から豊富に産出し (Wang *et al.*, 1988), *L. tarda* は南シナ海からの産出が報告されている (Hou and Gou, 2007). 従って, これらの種から構成される化石相 M は, 中~下部浅海帯付近の環境を示すと考えられる.

化石相 U は, 高鍋層上部の細礫と貝化石を多く含む淘汰の悪いシルト質中粒砂岩層から採取された試料 (Ta7, 9~12) よりなる. *Neonesidea* spp., *Loxoconcha ikeyai*, *Schizocythere kishinouyei*, *Trachyleberis* spp. が卓越する (図 7). 特に *Neonesidea* spp. が優占する. *Neonesidea* 属に含まれる種は, 主に外洋水の影響が強い潮間帯から陸棚にかけて広く分布し, 現在の日向灘では主に水深 100 m 以浅に認められる (Zhou, 1995). *L. ikeyai* は, 現在の日向灘では水深 36 m 以深より産出が認められる (Zhou, 1995). *S. kishinouyei* は, 沿岸砂底環境に普通にみられる種である (山田ほか, 2001; Irizuki, 2004 など). 化石相 U に多くみられる *Cytheropteron miurense*, *Loxoconcha kattoi*, *S. kishinouyei* などは, Zhou (1995) によると北海道または本州北部から沖縄島に至る広い分布範囲をもつ. このように, 化石相 U は上~中部浅海帯の砂底環境を示唆する.

佐土原層上部のシルト岩優勢な互層中の砂質シルト岩から採取された試料 Sa1 は, 化石相 L の構成種を含み, *Loxoconchidea dolgoiensis* が多いという特徴をもつ. 本種は冷温帯に属するアラスカ湾の第四系にて記載され (Brouwers, 1993), 日本では富山湾の水深 265~1080 m からの報告がある (Ishizaki and Irizuki, 1990). また, 化石相 U と M の構成種も僅かにみられるが, いずれも保存不良である. これらのことから本試料に含まれる群集は, 他のクラスターと比較して相対的に表層の暖流の影響が弱く, 最も深い環境を示す可能性がある.

## 考 察

### 堆積環境

今回の調査で明らかになった岩相と貝形虫化石相の時空分布に基づくと, 調査地域は, 佐土原層から高鍋層上部堆積期にかけて浅海化した後に, 高鍋層最上部堆積期に向かい深海化したと推測される. また, 高鍋層は調査地域北部に対し, 南部が相対的に深い環境であったことが示唆さ

れる. 以下にその詳細を示す.

佐土原層上部は, 主に砂岩シルト岩互層及びシルト岩優勢互層からなる. この互層を構成するシルト岩層は淘汰が比較的悪く, しばしば生物擾乱が発達することが特徴的であり, *Phycosiphon* sp. などの生痕化石が普通に見られる. 一方でシルト岩層中に挟まれる砂岩層は淘汰が比較的良く, 平行葉理が発達するものが多い. 砂岩層の下位は明瞭な境界でシルト岩層と接し, 上位ではしばしば数 mm の範囲でシルト粒子サイズにまで急激な細粒化を示す. 従って, 佐土原層上部の砂岩シルト岩互層は, 通常時には半遠洋性の細粒堆積物が堆積する場に乱泥流により粗粒堆積物が運搬され堆積したタービダイトであると考えられる. 佐土原層上部では, 貝形虫化石群集 (試料 Sa1) も調査地域において相対的に最も深い環境を示し, 深海種と浅海種が若干混在することもこれを支持する. 一方で, 日置川上流に分布する佐土原層上部にて採取した試料 Sa2 は, 貝形虫化石相 M からなり, 中~下部浅海帯付近の環境を示す. しかし, この試料 Sa2 はタービダイトに挟在する貝化石が密集するレンズ状の砂岩層から採取したため, 浅海から運搬された化石を多く含み, 実際の堆積環境はより深いものと推測される.

高鍋層下部から上部にかけては調査地域南部と北部で堆積環境が異なる. すなわち, 層相は日置川・鬼付女川近傍において泥質岩が卓越するのに対し, 宮田川近傍では互層を多く挟在し, より砂岩優勢な岩相となる (図 3, 4). さらに, 南部では貝形虫化石相 L が卓越し (Ta1~3, 5), 下部浅海帯以深を示すが, 北部では貝形虫化石相 M となり (Ta4, 6, 8), 中~下部浅海帯付近の環境と推測され, 調査地域北部がより浅い堆積場であったことを示している. 遠藤・鈴木 (1986) は, 妻・高鍋地域の重力異常図により見積られる基盤深度が北ほど浅くなり, 高鍋層が北部ほど砂質になることと一致すると指摘しており, これは本研究の示した結果と調和的である.

高鍋層上部では淘汰の悪いシルト質中粒砂岩層が挟在し, 調査層準において最も粗粒な岩相となる. この砂岩層はときに細礫混じりの極粗粒砂岩にまで粗粒化を示し, 全体として保存の良い貝化石を多産する. この層準では貝形虫化石群集も上~中部浅海帯の砂底環境を示す化石相 U (Ta7, 9~12) となるため, 調査層準において, 浅海化のピークにあると推測される. また本層準は地域に関係なく同一の化石相 U により占められ, これより下位の高鍋層でみられたような, 南部-北部の地域的な化石相の相違は確認されない. このことから浅海化の結果, 少なくとも調査地域においては南側地域と北側地域ともに堆積場が概ね同じような陸棚上~中部の古水深になったものと考えられる. 調査層準の最上部にあたる新富町下永谷付近の高鍋層 (Ta13) では, 化石相 L となり, 再び下部浅海帯以深にまで深海化したと推測される.

Majima *et al.* (2003) は, 本調査地域南東部にあたる日置地区付近で岩相層序と貝化石群集により高鍋層上部

の古水深変動を推測した。それによると、本研究による化石相Lが卓越する試料採取地点 Ta5 近傍の層準では、*Limopsis tokaiensis* などの産出により 160～200 m の古水深が見積もられ、化石相Uによって占められる Ta7, 10 地点付近では *Glycymeris rotunda* や *Modiolus metcalfei*, *Cryptopecten vesiculosus* などが多産するために水深 50～100 m であったとされる。さらに化石相Lによって特徴づけられる高鍋層最上部の層準では *L. tokaiensis* や *Portlandia japonica* などの産出により、水深 160～200 m であったとした。Majima *et al.* (2003) により推測された高鍋層上部での浅海化に続く深海化は、本研究の貝形虫化石群集により示される結果と概ね調和的である。

### 他地域との比較

鮮新-更新世の日本海沿岸地域では、寒流系の化石動物群である大桑-万願寺動物群が卓越し、それに伴い産出する貝形虫化石群集に関する報告が数多くある (Cronin and Ikeya, 1987; Irizuki, 1989; Cronin *et al.*, 1994; Ozawa, 1996; Yamada *et al.*, 2002, 2005; Irizuki *et al.*, 2007 など多数)。一方で、ほぼ同時代の掛川動物群が繁栄した西南日本太平洋側の暖流域における貝形虫化石群集についての報告は少なく、その基礎的な情報さえも十分でない。

そこで、ここでは本研究と同様に掛川動物群の分布域にあたる西南日本太平洋側の高知県鮮新統唐ノ浜層群穴内層 (Ishizaki, 1983; Ishizaki and Tanimura, 1985) と、静岡県鮮新-更新統掛川層群 (若松, 1992; 江頭・池谷, 1997) に加えて、宮崎層群と年代および堆積環境に関して高い類似性が指摘される (氏家・大木, 1993)、沖縄本島鮮新統島尻層群から報告された貝形虫化石群集 (Nohara, 1987) との比較を行い、本研究により認められた貝形虫化石群集の示す古海洋学的意義について検討する。

Nohara (1987) により沖縄本島島尻層群から報告された貝形虫化石群集には、本研究でも産出が認められた熱帯性貝形虫の *Cytherelloidea* 属に加えて、*Saida* 属、*Triebelina* 属なども含まれる。島尻層群産貝形虫化石群集は本研究の群集よりもさらに熱帯要素が強く、互いの群集の類似性は低いといえる。なお、Irizuki (2004) によると、本研究地域より南に位置する種子島の下部更新統増田層の浅海性貝形虫化石群集は、琉球列島の熱帯性の群集よりも本州や四国で認められる暖温帯性の群集に類似するとされる。

Ishizaki and Tanimura (1985) は鮮新統穴内層から産出した貝形虫化石群集について、Q-mode 因子分析を行い、4つのバリマックス群集 (公海陸棚群集、黒潮系群集、湾口群集、沿岸流群集) を識別した。構成種からおおよその対比を行うと Ishizaki and Tanimura (1985) のそれぞれのバリマックス群集を構成する種は、本研究の化石相U及びMの構成種や同属の近縁種との類似性が高い。しかしながら、穴内層では本研究で認められた陸棚下部で深の環境を示す化石相Lの構成種のバリマックス得点は低い値を示す。また、本研究ではほとんど産出が認められな

かった *Bicornucythere* 属貝形虫が、Ishizaki and Tanimura (1985) の湾口群集では高いバリマックス得点を持つため、本調査層準の堆積環境は、穴内層と比較してより開放的で古水深は深かったと考えられる。

掛川層群上部から報告された貝形虫化石群集は、本研究で認められた群集との類似性が高い (若松, 1992; 江頭・池谷, 1997)。江頭・池谷 (1997) は鮮新-更新統掛川層群から産出した貝形虫化石を3つの群集 (I: 内湾-上部浅海帯群集, II: 下部浅海帯群集, III: 上部漸深海帯群集) に区分した。江頭・池谷 (1997) の群集 I は、*Loxoconcha tarda*, *Callistocythere alata*, *Loxoconcha tamakazura*, *Trachyleberis scabrocuneata* などが優占種で、*Loxoconcha kattoi*, *Pontocythere subjaponica* もみられ、本研究の化石相U及びMを構成する群集と類似する。群集 II は *Pacambocythere scorta*, *Cytherelloidea senkakuensis*, *Loxoconcha ikeyai* のような本研究の化石相U及びMの構成種に加えて、化石相Lに多い *Bradleya japonica*, *Acanthocythereis munechikai*, *Cytherella japonica* が産出することも特徴的である。群集 III は、*Falsobuntonia taiwanica*, *Bradleya* sp., *Krithe sawaensis* によって主に構成され、本研究の化石相Lを構成する群集と類似する。また若松 (1992) は掛川層群の深海堆積物から本研究の化石相Lに優占する *A. munechikai*, *Bradleya albatrossia*, *Krithe* 属、*Pacambocythere reticulata* の産出を報告した。

宮崎地域と掛川地域とで共通性の高い貝形虫化石群集が認められたことは、両層群の貝形虫化石群集が、掛川動物群を特徴づける他の分類群と同様に、古黒潮の影響を強く受けていたためと推測される。また、それらの暖流系貝形虫化石群集の種構成は古水深ごとに明瞭に異なる。本研究の化石相U, Mや江頭・池谷 (1997) の群集 I, II の優占種である、*C. alata*, *C. senkakuensis*, *Loxoconcha ikeyai*, *L. kattoi*, *L. tamakazura*, *L. tarda*, *T. scabrocuneata*, *P. scorta*, *P. subjaponica* などは、西南日本の古黒潮域における上～下部浅海帯環境を特徴づけ、本研究の化石相Lや江頭・池谷 (1997) の群集 III の優占種及び、若松 (1992) により報告された *F. taiwanica*, *B. albatrossia*, *Hirsutocythere? hanaii*, *Krithe* 属、*P. reticulata* などは、より深い下部浅海帯以深の環境を特徴づけるものと考えられる。これは、現在の日本近海暖流域における貝形虫の深度分布と概ね調和的である (Zhao and Wang, 1988; Zhou, 1995; Tanaka, 2008)。

### 結 論

- (1) 調査地域は下位から佐土原層、高鍋層からなり、それぞれの岩相は砂岩優勢な砂岩泥岩互層、砂質シルト岩である。
- (2) 調査層準から 48 属 103 種の貝形虫化石が同定された。
- (3) Q-mode クラスタ分析の結果、貝形虫化石群集は

- 3つ (U, M, L) の化石相に識別され, それぞれの示す堆積環境は, U が上~中部浅海帯の砂底, M が中~下部浅海帯付近, L が下部浅海帯以深の泥底である。
- (4) 岩相変化と貝形虫化石群集から推測される調査層準の古水深は, 佐土原層から高鍋層上部にかけて下部浅海帯以深から上~中部浅海帯へと浅海化し, 高鍋層最上部に向かい再び下部浅海帯以深へと深海化を示す。また高鍋層は, 調査地域北部に対し南部が相対的に深い環境であることが示唆される。
- (5) 調査地域から産出した暖流系貝形虫化石群集は, 現在の黒潮流域に卓越する群集と種構成や深度分布に関して類似性が高い。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり, 宮崎県児湯郡高鍋町の千手荘の皆様には宿泊施設を御提供いただいた。また静岡大学の延原尊美博士および信州大学の石田 桂博士には丁寧な査読して頂き, 多くの有益なご助言を承った。なお, 本研究の一部には日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(c)(2), 課題番号 15540451, および 17540442 (研究代表者: 島根大学, 入月俊明) を使用した。以上の方々および関係機関に心から感謝いたします。

## 文 献

- Blow, W. H., 1969. Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. In Brönnimann, P. and Renz, H. H., eds., *Proceedings of the First International Conference on Planktonic Microfossils*, (Geneva, 1967), 1, 199-421. E. J. Brill, Leiden.
- Brouwers, E. M., 1993. Systematic paleontology of Quaternary ostracode assemblages from the Gulf of Alaska, Part 2: Families Trachyleberididae, Hemicytheridae, Loxoconchidae, Paracytherididae. *U. S. Geological Survey Professional Paper*, (1531), 1-47.
- Cronin, T. M. and Ikeya, N., 1987. The Omma-Manganji ostracod fauna (Plio-Pleistocene) of Japan and the zoogeography of circumpolar species. *Journal of Micropaleontology*, 6, 65-88.
- Cronin, T. M., Kitamura, A., Ikeya, N., Watanabe, M. and Kamiya, T., 1994. Late Pliocene climate change 3.4-2.3 Ma: Paleoclimatographic record from the Yabuta Formation, Sea of Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 108, 437-455.
- 江頭満希子・池谷仙之, 1997. 掛川層群の介形虫群集(演旨). 日本古生物学会 1997 年年会講演予稿集, 99.
- 遠藤秀典・鈴木祐一郎, 1986. 妻及び高鍋地域の地質, 地域地質研究報告. 5 万分の 1 地質図幅, 地質調査所, 1-46.
- Hammer, Ø., Happer, D. A. T. and Ryan, P. D., 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica*, 4, 9p.
- Hanai, T., 1957. Studies on the Ostracoda from Japan, III. Subfamilies Cytherurinae G. W. Müller (emend. G. O. Sars, 1925) and Cytherepterinae n. subfam. *Journal of the Faculty of Science, University of Tokyo*, 11, 11-36.
- Hanai, T., 1970. Studies on the ostracod subfamily Schizocytherinae Mandelstam. *Journal of Paleontology*, 44, 693-729.
- 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 from China* (vol. 2). 399p., Science Press, Beijing. (in Chinese with English abstract)
- Ikeya, N., Cronin, T. M., 1993. Quantitative analysis of Ostracoda and water masses around Japan: Application to Pliocene and Pleistocene paleoceanography. *Micropaleontology*, 39, 263-281.
- Irizuki, T., 1989. Fossil ostracode assemblages from the Pliocene Sasaoka Formation, Akita City. Japan -with reference to sedimentological aspects-. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series*, (156), 296-318.
- Irizuki, T., 2004. Fossil Ostracoda from the lower Pleistocene Masuda Formation, Tanega-shima Island, southern Japan. *Geoscience Reports of Shimane University*, (23), 65-77.
- Irizuki, T., Kusumoto, M., Ishida, K. and Tanaka, Y., 2007. Sea-level changes and water structures between 3.5 and 2.8 Ma in the central part of the Japan Sea Borderland: Analyses of fossil ostracoda from the Pliocene Kuwae Formation, central Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 245, 421-443.
- Ishizaki, K., 1981. Ostracoda from the East China Sea. *The Science Reports of the Tohoku University, second series (Geology)*, 51, 37-65.
- Ishizaki, K., 1983. Ostracoda from the Pliocene Ananai Formation, Shikoku, Japan -description. *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series*, (131), 135-158.
- Ishizaki, K. and Irizuki, T., 1990. Distribution of bathyal ostracodes in sediments of Toyama Bay, Central Japan. *Courier Forschungsinstitute Senckenberg*, 123, 53-67.
- Ishizaki, K. and Tanimura, Y., 1985. Ostracoda from the Pliocene Ananai Formation, Shikoku, Japan (faunal analysis). *Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, New Series*, (137), 50-63.
- 米谷盛壽郎・井上洋子, 1973. 微化石研究のための効果的岩石処理について. 化石, (25・26), 87-96.
- Majima, R., Ikeda, K., Wada, H. and Kato, K., 2003. An outer-shelf cold-seep assemblage in forearc basin fill, Pliocene Takanabe Formation, Kyushu Island, Japan. *Paleontological Research*, 7, 297-311.
- Majima, R., Nobuhara, T. and Kitazaki, T., 2005. Review of fossil chemosynthetic assemblages in Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 227, 86-123.
- 中村羊大・小澤智生・延原尊美, 1999. 宮崎県青島地域に分布する上部中新統一下部鮮新統宮崎層群の層序と軟体動物化石群. 地質学雑誌, 105, 45-60.
- Natori, H., 1976. Planktonic foraminiferal biostratigraphy and datum planes in the Late Cenozoic sedimentary sequence in Okinawa-jima, Japan. In Takayanagi, Y. and Saito, T. eds., *Progress in Micropaleontology*, 214-243, Micropaleontology Press, New York.
- 西田史朗, 1980. 宮崎層群の石灰質超微化石層序. 奈良教育大学紀要, 自然, 29, 65-79.
- Nohara, T., 1987. Cenozoic ostracodes of Okinawa-jima. *Bulletin of the College of Education, University of the Ryukyus*, (30), 1-105.
- Ozawa, H., 1996. Ostracode fossils from the late Pliocene to early Pleistocene Omma Formation in the Hokuriku district, central Japan. *The Science Reports of Kanazawa University*, 41, 77-115.
- Ozawa, H., Kamiya, T. and Tsukagoshi, A., 1995. Ostracode evidence for the paleoceanographic change of the Middle Pleistocene Jizodo and Yabu Formations in the Boso Peninsula, central Japan. *The Science Reports of Kanazawa University*, 40, 9-37.
- 首藤次男, 1952. 宮崎層群の地史学的研究. 九州大学理学部研究報告(地質学之部), 4, 1-40.
- Shuto, T., 1961. Palaeontological study of the Miyazaki Group. -A general account of the faunas. *Memoirs of the Faculty of Science, Kyushu University, Series. D, Geology*, 10, 73-206.
- 鈴木秀明, 1987. 宮崎層群の層位学的研究. 東北大学地質学古生物学研究邦文報告, (90), 1-24.
- Tanaka, G., 2008. Recent benthonic ostracod assemblages as indicators of the Tsushima warm current in the southwestern

- sea of Japan. *Hydrobiologia*, **598**, 271-284.
- 鳥井真之・尾田太良, 2001. 鹿児島県に分布する伊作火砕流堆積物と宮崎層群に挟在する凝灰岩層との対比 - 宮崎層群の複合層序にもとづく噴出年代とその意義. *地質学雑誌*, **107**, 379-391.
- 鳥井真之・尾田太良・板谷徹丸, 2000. 宮崎層群に挟在する凝灰岩層とその K-Ar 年代. *火山*, **45**, 131-148.
- 氏家恒太郎・大木公彦, 1993. 上部新第三系宮崎層群宮崎相と青島相の層位的・地質構造的関係. 鹿児島大学理学部紀要 (地学・生物学), **26**, 67-84.
- 若松尚則, 1992. 掛川層群の泥質岩より産する介形虫化石 (予報). 瑞浪市化石博物館研究報告・糸魚川淳二博士記念号, (19), 509-513.
- Wang, P., Zhang, J., Zhao, Q., Min, Q., Bian, Y., Zheng, L., Cheng, X. and Chen, R., 1988. *Foraminifera and Ostracoda in bottom sediments of the East China Sea*. 438p. China Ocean Press, Beijing. (in Chinese with English abstract)
- 山田 桂・入月俊明・中嶋祥江, 2001. 下部中新統富草層群新木田層 (長野県) の貝形虫化石群集と堆積相の時空分布. *地質学雑誌*, **107**, 1-14.
- Yamada, K., Irizuki, T. and Tanaka, Y., 2002. Cyclic sea-level changes based on fossil ostracode faunas from the Upper Pliocene Sasaoka Formation, Akita Prefecture, northeast Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **185**, 115-132.
- Yamada, K., Tanaka, Y., and Irizuki, T., 2005. Paleooceanographic shifts and global events recorded in late Pliocene shallow marine deposits (2.80-2.55 Ma) of the Sea of Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **220**, 255-271.
- Zhao, Q. and Wang, P., 1988. Distribution of modern Ostracoda in the shelf seas off China. In Hanai, T., Ikeya, N. and Ishizaki, K., eds., *Evolutionary Biology of Ostracoda, its fundamentals and applications*, 805-821. Kodansha, Tokyo and Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo.
- Zhao, Q. and Whatley, R., 1997. Distribution of the ostracod genera *Krithe* and *Parakrithe* in bottom sediments of the East China and Yellow sea. *Marine Micropaleontology*, **32**, 195-207.
- Zhou, B., 1995. Recent ostracode fauna in the Pacific off Southwest Japan. *Memoirs of the Faculty of Science, Kyoto University, Series of Geology and Mineralogy*, **57**, 21-98.

