

介形虫化石群の変遷に基づく大桑層中部堆積時の水塊構造

神谷隆宏* 小沢広和* 北村晃寿**

Paleo - water mass structure during the deposition of middle part
of the Omma Formation based on the change of ostracode assemblage

Takahiro Kamiya*, Hirokazu Ozawa* and Akihisa Kitamura**

(1996年6月4日受理)

(Received 4, June, 1996)

Abstract

Paleo - water mass structure is usually difficult to reconstruct in the geologic record unless key beds such as tephras are widely distributed and cover extensive paleogeographic environments. In some special occasions, however, even a single columnar section would provide enough information to estimate the paleo - water mass structure. An outcrop at Yuhidera area as well as Okuwa area in Kanazawa, central Japan presents the lower Pleistocene marine sediments which were formed by a couple of glacio - eustatic sea level changes with 40,000 years interval. Successive analyses of lithofacies along with molluscan and ostracode assemblage changes within a correlated cyclic sediments between the two areas illustrate that the paleo - water depth increases from the base of the cycle to the upper horizon, then decreases to the uppermost. The vertical change of ostracode assemblages found in the Yuhidera area, most notably the drastic change from the deep part of Tsushima Warm Current assemblage to the Japan Sea Proper Water assemblage at the upper horizon, was in accordance with water depth increase up to the maximum. Therefore, based on the analogy of the present water mass structure, the thickness of the Paleo - Tsushima Warm Current around the maximum transgression time was estimated to be about 150 m off the Japan Sea coast near Kanazawa around 1.3 Ma.

Key words: paleo - water mass structure, Ostracoda, Omma Formation, Japan Sea Proper Water, Tsushima Warm Current, early Pleistocene

* 金沢大学理学部地球学教室 〒920 - 11 金沢市角間町
Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Kanazawa University. Kakuma, Kanazawa 920 - 11, Japan

** 静岡大学理学部地球科学教室 〒422 静岡市大谷836
Institute of Geosciences, Faculty of Science, Shizuoka University. 836 Oya, Shizuoka 422, Japan

はじめに

地質時代の海洋の水塊構造を推定した研究は少ないが、例えば日本においては、掛川層群中の凝灰岩鍵層に沿って貝化石群を認定し、底生・浮遊性有孔虫化石の酸素同位体比の測定を行い、鮮新-更新世の太平洋岸黒潮系水の水温水深勾配を推定したもの (Chinzei and Aoshima, 1976)、房総・三浦半島周辺の中部更新統中の凝灰岩鍵層を基準に、底生・浮遊性有孔虫化石群の垂直・水平方向への変化を比較し、黒潮-親潮の分布と変遷に言及したもの (Kitazato, 1977) などを先駆的研究として挙げる事ができる。これらの研究は基本的には、対比された凝灰岩層を同時期面として用い、地質学的にその直前あるいは直後の古堆積盆内にどのような海洋環境が広がっていたかを古生物学的あるいは地球化学的手法から復元している。すなわち、ある一時間面で見たときの水平的復元を主体としている。

ところが、調査域内に都合よく凝灰岩層が分布し、それを追跡・対比することで十分な古地理学的復元がなされることは一般的にはまれである。このような場合、それにかわる手法として、ある地点の海洋環境の「時系列変化」から過去の水塊構造の推定が上手くなされる場合がある。詳しくは後述するが、露頭にみられる岩相の垂直方向への変化などから水深の変化に一定の傾向 (深海化または浅海化) があり、化石群もそれに付随して垂直的方向に劇的な交替が認められ、かつそれらの化石群が現在の水塊構造に依存して分布する生物群集に類似している場合、交替層準においてみられる垂直方向の変化をある時間面における水塊構造によみかえる事ができる。地層内の海洋環境は刻一刻変化していたのであるから、この復元は厳密な意味での同一時間面での水塊の復元とはいかないが、それでも地域内の水平的な対比が十分にできない場合には有効なアプローチである。このような方法を用い、房総半島に分布する上部更新統地蔵堂層、藪層堆積時の古水塊構造の特徴と、両者の相違点が、介形虫化石群の比較を通して明らかにされた (Ozawa *et al.*, 1995)。

北陸地域に分布する鮮新-更新統大桑層には、短周期の氷河性海水準変動が記録されており (例えば、北村・近藤, 1990)、また現在の日本海の水深150m付近に「温暖な対馬暖流と寒冷な日本海固有水」という明瞭な海洋水塊構造の境界が存在することを合わせて考えると、大桑層はここでいう「露頭にみられる古海洋環境の時系列変化」から水塊構造を復元するにあたり理想的な材料を提供すると思われる。実際、Ozawa (1996MS) は金沢から富山にかけて分布する模式地下部および下部相当層準の介形虫化石群の垂直的变化を、特に岩相と貝化石群の変化層準に注目して詳しく検討し、間氷期に日本海に流入する対馬暖流の厚さが時代とともに次第に増大していく様子を明らかにした。北村 (1996および本論文集) は、金沢市夕日寺地域と大桑地域の大桑層中部層準を対比し、貝化石群の垂直的变化を2地域間で比較し、約4万年周期の氷河性気候変化時に古日本海に生じた海洋水塊構造の時間的变化を復元した。

本小論では、水平距離で約4km離れた大桑地域と夕日寺地域で対比された大桑層中部にみられる堆積サイクルのひとつ (北村・近藤, 1990のサイクル2) に注目し、この2地域間で介形虫化石群の垂直变化を比較した。この2地域間での貝化石群、岩相の比較は既になされつつあったが (北村, 1996および本論文集)、介形虫は大桑層下部・中部産の化石群の情報豊富で、現生群集との比較が容易であり、かつ数量的取り扱いにすぐれる点で貝化石群とは独立した解析が可能であり、新たな結果が加わることが期待された。目的のひとつは、約4万年周期といわれる一回の氷期・間氷期の気候変動の間氷期最盛期に、北陸地域の日本海沿岸部にあらわれた水塊構造を、介形虫化石群に基づき復元することである。また、最盛期以外の時期の海洋環境、海中気候変動にともなう介形虫化石群の変遷パターンについても考察を試みた。

試料と方法

本研究の調査地を図1に示す。図1の地点1は大桑町犀川河床の大桑層模式地で、この中部層準(約130万年前から90万年前の年代値を示す)には約4万年周期の卓越する氷河性海水準変動にともなう堆積サイクルが10回みられる(例えば, Kitamura *et al.*, 1994)。地点2は夕日寺地域で、ここにも大桑層中部層準と考えられる堆積サイクルが露出する。両地域の対比(図2)は、含まれる凝灰岩層(図2; 04)のガラスの屈折率の類似性、軟体動物化石の生層序学的情報および岩相変化のパターンから結論された(北村, 1995, 1996および本論文集)。

大桑地域の堆積サイクル2(生層序年代値約1.3Ma)は層厚約8.8mで、下位より貝化石の密集する砂礫層(約20cm)、淘汰のよい細粒砂層(約80cm)、泥質細粒~極細粒砂層(約7.8m、下部は上部に比べやや泥がち)と岩相が変化する(図2、左側の柱状図)。夕日寺地域の堆積サイクル2は層厚約5.4mで、下位より貝化石密集層(約15cm)、淘汰の良い細粒砂層(約30cm)、泥質細粒~極細粒砂層(約3m)、生痕化石の密集する極細粒砂層(約75cm)をはさんで再び泥質細粒~極細粒砂層(約1.2m)があらわれる(図2、右側の柱状図)。

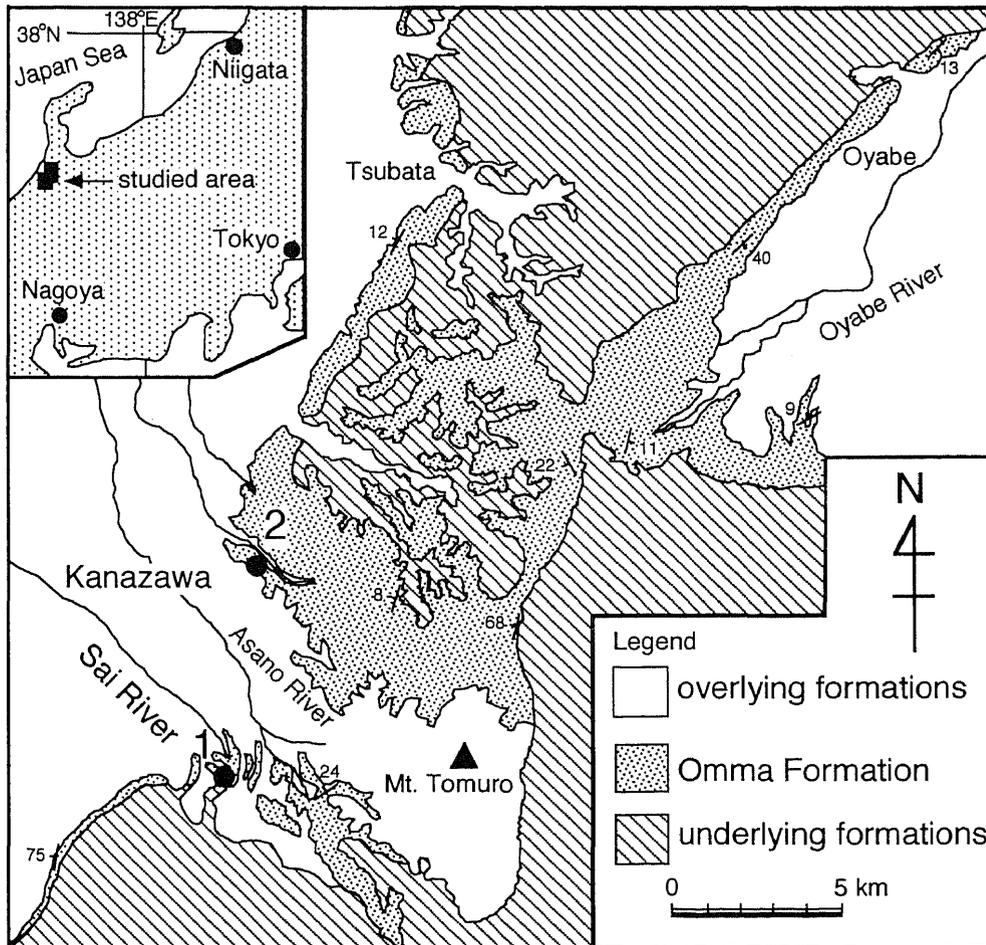
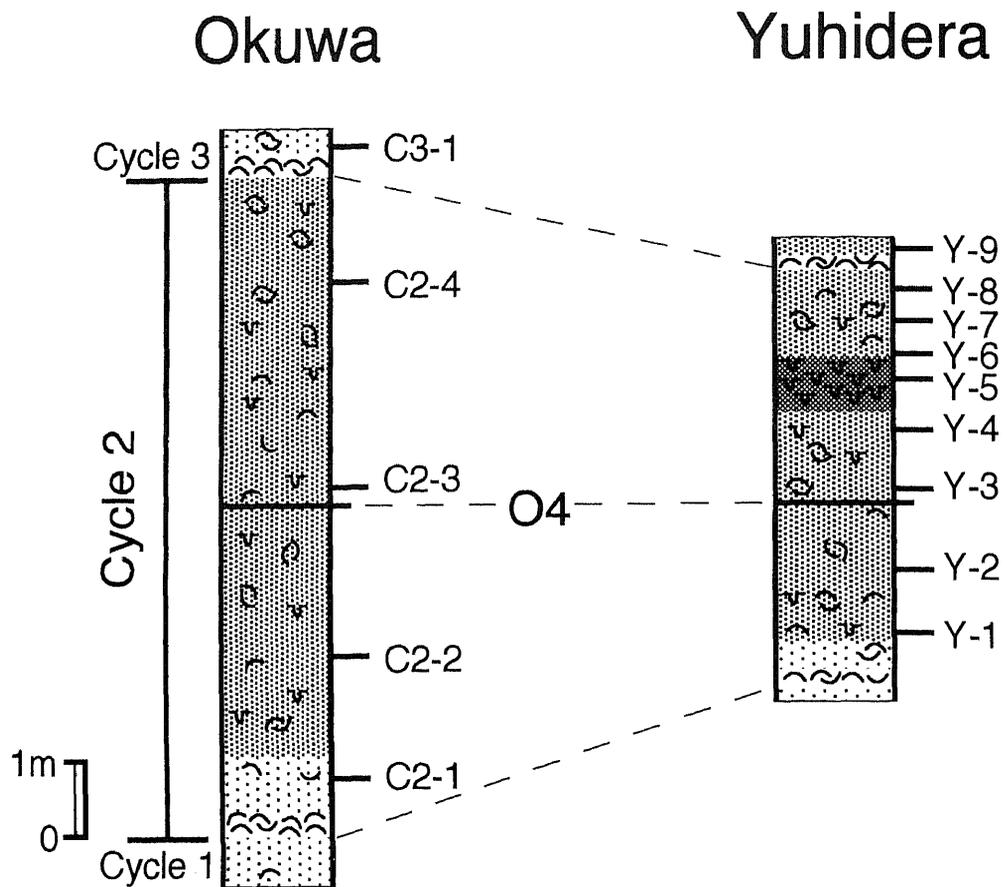


図1：大桑層の分布図と本研究の試料採取地点〔Hasegawa (1979) を簡略化〕。地点1：大桑，地点2：夕日寺。

Fig. 1. Simplified geological map of the Omma Formation around Kanazawa City, showing studied localities, modified from Hasegawa (1979). Loc. 1; Okuwa, Loc. 2; Yuhidera.



Legend

- | | |
|--|--|
|  basal shell bed |  tuff |
|  well-sorted fine grained sandstone |  shell fossils |
|  muddy fine to very fine-grained sandstone |  trace fossils |
|  very fine-grained sandstone with overprinted burrows |  sampling horizons |

図2：大桑（地点1）と夕日寺（地点2）でみられる大桑層の堆積サイクル2付近の柱状図・試料採取層準および2地点間の対比。破線は対比される層準を示す。

Fig. 2. Columnar sections which cover the Cycle 2 of the Omma Formation at Okuwa (Loc. 1) and Yuhidera (Loc. 2), showing the correlation and sampling levels of two localities. Dotted lines represent the inferred correlation levels.

介形虫化石用の試料は、岩相と貝化石群の変化を考慮しながら、大桑地域のサイクル2より4点(C2-1~C2-4)、サイクル3最下部より1点(C3-1)の計5層準から、乾重量320gの堆積物を採取した。同様に夕日寺地域のサイクル2より8点(Y-1~Y-8)、サイクル3最下部より1点(Y-9)の計9層準から乾重量80gの堆積物試料を採取した(図2)。これらの試料から、通常の試料処理法に基づき、1試料につき約200個体をめどに介形虫化石を拾い出し、同定を行った。

結果および考察

夕日寺地域の最下部の試料(Y-1)を除いた残りの13試料から介形虫化石が得られた。同定の結果、それらは36属61種にのぼった(表1)。介形虫化石を産した13試料のうち、産出個体数の極端に少なかった2試料(C2-2; 個体数10, Y-3; 個体数2)は分析から除外した。保存状況が悪かったり産出頻度が低いために十分な個体数の得られなかった試料が他にもあるが、便宜上解析対象に加え、計11試料の介形虫化石群を検討した。

まず、11試料の類似性、すなわち種構成と産出頻度に基づく類似性を客観的にみるためにQモードクラスター分析を行い、相関係数を用いて完全連結法で樹状図をえがいた(図3)。非類似度1で便宜的に区分すると11試料は大きく3つのグループに分けられる。それらは大桑、夕日寺両地域のサイクル最下部または最上部を特徴づけるグループ1(C2-1, C3-1, Y-9, Y-8)、夕日

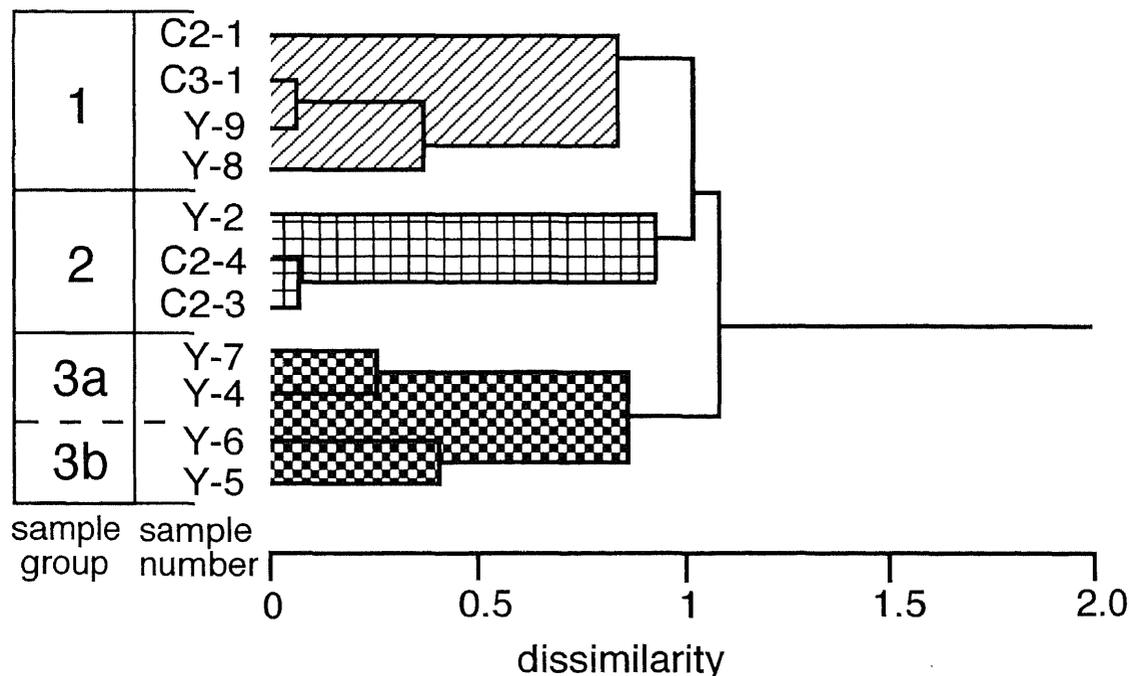


図3：本研究で用いた11試料の類似性を示すQモードクラスター分析による樹状図。3種の模様は非類似度1で区分した場合の3つのグループを示す。

Fig. 3. Dendrogram from Q-mode cluster analysis of similarity of 11 samples in this study. Three patterns show three sample groups which are defined by the dissimilarity value of one.

表 1 : 大桑層から産出した介形虫種の個体数.

Table 1. Individual number of the ostracode species from the Omma Formation.

species name/ sample number	C2-1	C2-2	C2-3	C2-4	C3-1	Y-2	Y-3	Y-4	Y-5	Y-6	Y-7	Y-8	Y-9
1 <i>Acanthocythereis dunelmensis</i> (Norman)									14	2			1
2 <i>A. cf. dunelmensis</i> (Norman)									23	2	2	4	
3 <i>A. mutsuensis</i> Ishizaki				1									2
4 <i>Acuticythereis?</i> cf. <i>sendaiensis</i> Ishizaki	14			8	19	1					4	43	27
5 <i>Ambtonia obai</i> (Ishizaki)		2	2	1			1	11	8	11	6		
6 <i>Amphileberis nipponica</i> (Yajima)	1		6	13		1		7		2	9	1	
7 <i>Aurila cymba</i> (Brady)				1		1							1
8 <i>A. sp.</i>	1												
9 <i>Bicornucythere bisanensis</i> (Okubo)	4	4	5	3				2	2		6	26	3
10 <i>Bradleya cf. nuda</i> Benson				14		1	1	2			4		
11 <i>Callistocythere alata</i> Hanai	1												
12 <i>C. undulatifacialis</i> Hanai	1												1
13 <i>Cornucoquimba tosaensis</i> (Ishizaki)			1	2		1					2	2	
14 <i>C. sp.</i>													2
15 <i>Cythere</i> spp.	6							1				1	1
16 <i>Cythereis asamushiensis</i> Ishizaki													1
17 <i>Cytheropteron alatum</i> Sars			1								1		
18 <i>C. miurense</i> Hanai				2				1					1
19 <i>C. sawanense</i> Hanai				1				1	1				4
20 <i>C. subuchioi</i> Zhao				1		1							4
21 <i>C. uchioi</i> Hanai													1
22 <i>C. aff. arcuatum</i> Brady, Crosskey & Robinson													1
23 <i>C. aff. nodosolatum</i> Neale and Howe													1
24 <i>Falsobuntonia taiwanica</i> Malz.			12	12		4		4	2				
25 <i>Finnmarchinella uranipponica</i> Ishizaki	7					1							
26 <i>Hemicythere</i> sp.									2				
27 <i>Hirstocythere hanaii</i> Ishizaki				4		1		2			7	1	
28 <i>Howeina higashimeyaensis</i> Ishizaki													1
29 <i>Johnnealella nopporensis</i> Hanai & Ikeya	43			1	4								
30 <i>Kotoracythere</i> sp.				1	1								9
31 <i>Loxococoncha "lacta"</i> Ishizaki												1	
32 <i>L. optima</i> Ishizaki	5												1
33 <i>L. ozawai</i> Tabuki				1	1								
34 <i>L. subkotoriforma</i> Ishizaki													3
35 <i>L. viva</i> Ishizaki			85	46	1			3	4	2	5	2	
36 <i>L. aff. ozawai</i> Tabuki							1						1
37 <i>L. aff. tamakazura</i> Yajima				2		2							
38 <i>Metacytheropteron</i> sp.													2
39 <i>Munseyella hatatensis</i> (Ishizaki)													1
40 <i>M. hokkaidoana</i> (Hanai)													8
41 <i>Neocytherideis</i> sp.	1												
42 <i>Neonesidea oligodentata</i> (Kajiyama)				1									
43 <i>Normanicocythere?</i> sp.				1									7
44 <i>Pacambocythere ucarinata</i> (Ishizaki)								26	5	2	13	1	
45 <i>Paijenborchella hanaii</i> Tabuki				1					2	3			
46 <i>P. incosa</i> Kingma				1								1	
47 <i>P. tsurugasakensis</i> Tabuki									16	4			2
48 <i>Palmenella limicola</i> (Norman)				1					2		2	5	
49 <i>Pistocythereis bradyformis</i> (Ishizaki)	2												1
50 <i>Pontocythere miurense</i> (Hanai)	2												1
51 <i>P. subjaponica</i> (Hanai)	2												
52 <i>Robertsonites reticuliforma</i> (Ishizaki)		2							2	2	1	16	2
53 <i>R. tsugaruana</i> Tabuki									9	5			2
54 <i>Schizocythere kishinouyei</i> (Kajiyama)						2							1
55 <i>Sinocythereida cf. impressa</i> (Brady)	1												
56 <i>Spinileberis rhomboidaris</i> Chen	1	2							2				6
57 <i>Trachyleberis niitsumai</i> (Ishizaki)				3					1		3		
58 <i>T. scabrocuneata</i> (Brady)										1	9		1
59 <i>T. sp.</i>	1		1					9	1		11	3	
60 <i>Xestoleberis</i> spp.				2		1			2			1	
61 <i>Yezocythere hayashii</i> Hanai & Ikeya				1	1				2		2	45	8
indetermined				1		1							
total number	93	10	113	126	27	19	2	69	100	36	90	213	51

寺地域の下部と大桑地域の中～上部を含むグループ2 (Y-2, C2-4, C2-3), および夕日寺地域の中～上部を代表するグループ3である。グループ3の中を便宜的に非類似度0.5で区分すると, 3b (生痕化石密集層Y-5, またはその直上のY-6) と3a (生痕化石密集層の上・下層準のY-7, Y-4) に細分できる。

これらの結果は同定の過程で標本を観察していれば自然と推察されたことだが, 単純に言えば, 大桑地域ではサイクルの始まりから次のサイクルの始まりにかけて, グループ1→2→1という化石群の変遷があり, 夕日寺地域ではグループ1→2→3→(2)→1となり, 真ん中の層準にひとつ余分なグループが顔を出す。このグループ3 (正確には3b) になると *Acanthocythereis dunelmensis* に代表される現在の日本海固有水に特有な介形虫種が突然多産しはじめることから, グループ2から3への変化がちょうど暖流から日本海固有水への移行を示している可能性がある。しかもそれがやや内陸側の大桑地域ではみられないとしたら, そこには当時の海洋水塊構造の時系列変化が立体的に示されていることになる。

そこで海洋の変化をより明瞭に把握するため, 以下に述べる現在の4つの海流系・水塊構造環境に特徴的な介形虫が大桑層試料に占める割合を調べた。4つの海流系・水塊構造環境とは, 上部浅海帯・寒冷水系 (本論では北海道周辺の潮下帯～水深約20mに多く分布する4種で示される), 上部浅海帯・温暖水系 (対馬暖流上部水深10～50mに多く分布する3種で示される), 下部浅海帯・温暖水系

Characteristic species

shallow-cold species
<i>Acuticythereis?</i> cf. <i>sendaiensis</i> Ishizaki
<i>Johnnealella nopporoensis</i> Hanai and Ikeya
<i>Loxoconcha optima</i> Ishizaki
<i>Yezocythere hayashii</i> Hanai and Ikeya
shallow-warm species
<i>Ambtonia obai</i> (Ishizaki)
<i>Loxoconcha viva</i> Ishizaki
<i>Sinocytheridea</i> cf. <i>impressa</i> (Brady)
deep-warm species
<i>Amphileberis nipponica</i> (Yajima)
<i>Bradleya</i> cf. <i>nuda</i> Benson
<i>Cytheropteron uchioi</i> Hanai
<i>Cytheropteron subuchioi</i> Zhao
<i>Hirstocythere hanaii</i> Ishizaki
<i>Pacambocythere ucarinata</i> (Ishizaki)
Japan Sea Proper Water species
<i>Acanthocythereis dunelmensis</i> (Norman)
<i>Acanthocythereis</i> cf. <i>dunelmensis</i> (Norman)
<i>Palmenella limicola</i> (Norman)
<i>Robertsonites reticuliforma</i> (Ishizaki)
<i>Robertsonites tsugaruana</i> Tabuki

図4：本研究で用いた介形虫の環境特徴種。

Fig. 4. List of the environmentally characteristic species of ostracodes from the Omma Formation.

(対馬暖流下部水深約80~150mに多く分布する6種で示される), 下部浅海带~漸深海帯に位置する日本海固有水系(日本海の水深150m以深に分布する5種で示される)である(図4)。これらの現生種の分布のデータは以下の既存の報告と, 北海道および日本海中部で最近我々が入手した試料に基づいている(Bodergat and Ikeya, 1988; Frydl, 1982; Ikeya and Suzuki, 1991; Ishizaki, 1969; 1971; 1981; Ishizaki and Irizuki, 1990)。

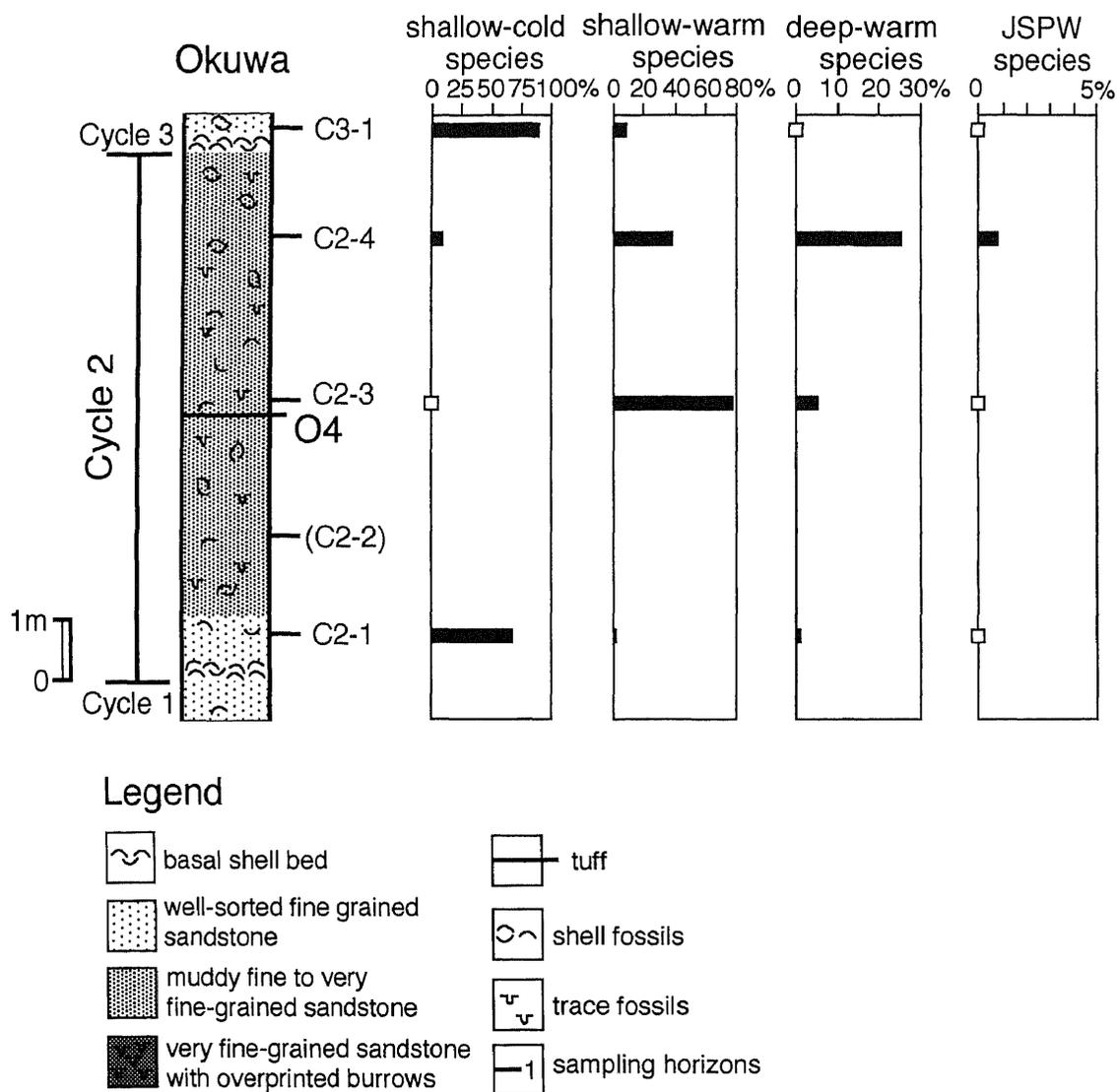


図5：大桑(地点1)のサイクル2付近の柱状図と特徴種の割合の垂直変化。カッコは介形虫をほとんど産出しなかった試料を示し、グラフ中の白い四角は0%を示す。

Fig. 5. Stratigraphic changes of the ratio of ostracode characteristic species at Okuwa (Loc. 1). The sample number in a parenthesis shows the sample which is barren in ostracode specimens. White squares in graphs indicate 0%.

大桑地域の化石群は、サイクル2および3の最下部（C2 - 1, C3 - 1）ではいずれも北方系極浅海種（水深20m以浅）の種が60%以上を占め、対馬暖流種は10%にも満たない（図5）。凝灰岩層O4直上のサイクル2中部層準（C2 - 3）になると北方系極浅海種は全く産しなくなり、かわりに対馬暖流上部種が優勢となり80%近くを占めるようになる。さらに2m半ほど上位の上部（C2 - 4）になると、対馬暖流上部種の割合が40%弱に減り、対馬暖流下部種が25%強を占めるようになる。日本海固有水種もあらわれるが1個体（1%未満）だけである。これらのデータは、サイクル2の最下部から上部にかけて次第に水深が増加するとともに、暖流系水の影響が強まっていったという従来の報告と一致する。現在の島根半島沖において水塊構造と介形虫群集の対応を調べた報告（Ikeya and Suzuki, 1991）によれば、水深80~150mの対馬暖流下部域の介形虫群集は、*Bradleya* spp., *Hirstocythere hanaii*, *Cytheropteron* sp. 2, *Xestoleberis sagamiensis* など、この水深範囲に限って多産する種をそれぞれ平均10%前後含み、合計すれば少なくとも30%を占めるようである。この群集とサイクル2上部の化石群とを比較すると、類似点は多いものの、化石群において対馬暖流下部種の占める割合が25%と低く、なかでも *Hirstocythere hanaii* の産出頻度（3%）が低い一方、対馬暖流上部種の占有率が下部種を超えるという点で異なる。これらのデータから、サイクル2上部のサンプル採取層準（C2 - 4）が最大水深時の層準付近であったと仮定するなら、大桑地域の最大水深時の海洋環境

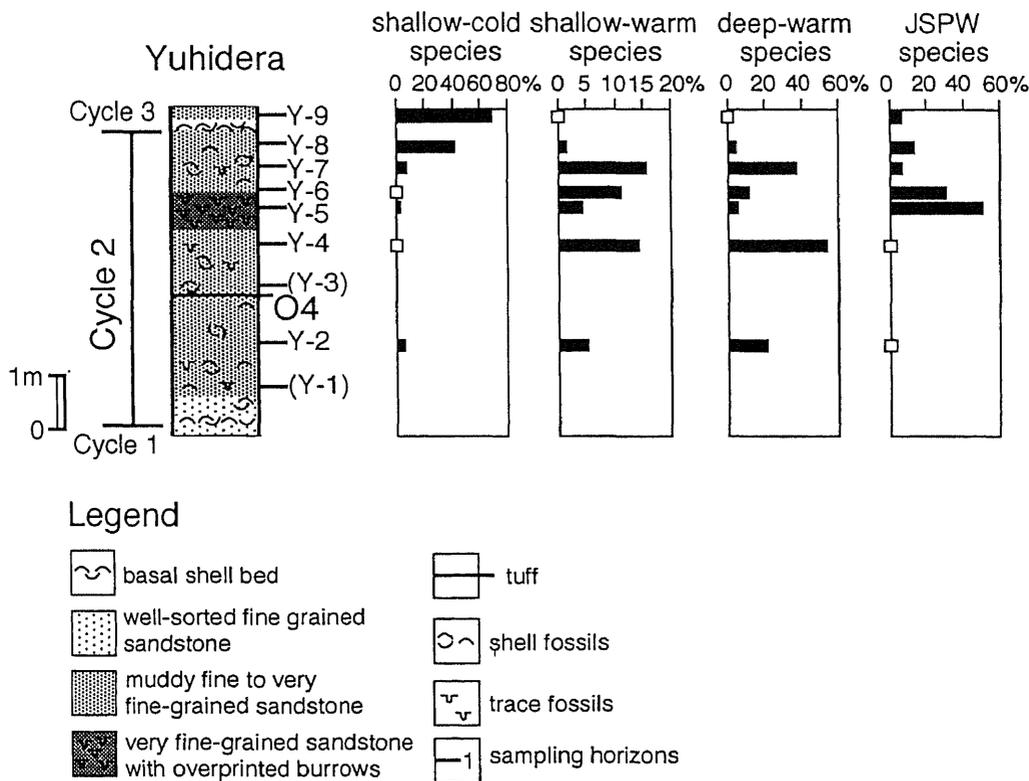


図6：夕日寺（地点2）のサイクル2付近の柱状図と特徴種の割合の垂直変化。カッコは介形虫をほとんど産出しなかった試料を示し、グラフ中の白い四角は0%を示す。

Fig. 6. Stratigraphic changes of the ratio of ostracode characteristic species at Yuhidera (Loc. 2). The sample number in a parenthesis shows the sample which is barren in ostracode specimens. White squares in graphs indicate 0%.

は現在の対馬暖流下部相当水深よりやや浅い、おそらく水深 80 m 前後であったろうと推定できる。

対比が正確であれば、夕日寺地域も大桑地域同様、サイクル最下部から上部層準へ向かい次第に水深の増加していく環境下で堆積したはずである。夕日寺地域の化石群は、サンプル Y-1 から介形虫化石が産しなかったため、サイクル 2 最下部のデータを欠く。しかし、サイクル 3 の最下部 (Y-9) からは 70% を超える北方系極浅海種が産出する (図 6)。大桑地域ではサイクル 2 と 3 の最下部の化石群が類似していることを考慮すると、夕日寺地域サイクル 2 最下部にも Y-9 に類似した化石群の存在したことが予想される。夕日寺地域のサイクル最下部化石群が、大桑地域のそれと異なる点は、夕日寺地域には数% であるが日本海固有水種が産する点である。サイクル下部層準 (Y-2) になると対馬暖流下部種が約 20% をしめる化石群がはやくもあらわれる。この化石群には暖流上部種、北方系極浅海種が数% の割合で付随する。上部層準に夾在する生痕化石密集層の上下層準 (Y-4, Y-7) になると対馬暖流下部種が圧倒的に多くなり (約 40~55%)、これに暖流上部種が随伴する (約 15%)。これらの結果は、Y-4, Y-7 層準の化石群が島根半島沖の対馬暖流下部の現生介形虫群集と きわめて類似性の高いことを示している。一方、Y-4 と Y-7 層準に挟まれる生痕化石密集層 (Y-5) およびその直上層準 (Y-6) には、それまでの中部層準に全く産しなかった日本海固有水種が化石群の 30~50% も産出し、この点で他の化石群とは明瞭に区別される。また Y-5, Y-6 では対馬暖流下部種、上部種は数%~10% に減少する。以上の結果からみると、夕日寺地域は、最大水深時の前後 (Y-4, Y-7) に対馬暖流下部に相当する環境があらわれ、最大水深時 (Y-5, Y-6) には暖流下部をつきぬけ、その下位に位置する日本海固有水種に移行したと判断される。

議 論

サイクル 2 における最大水深時の水塊構造は、夕日寺地域の結果から、ほぼ現在の水塊構造 (水深 150m を境に、それ以浅に対馬暖流が、それ以深に日本海固有水が存在する) に類似していたと思われる。ただし、現在水深約 150m に位置する境界は、介形虫に関しては水深 80~150m に分布する暖流下部群集と、水深 170m 以深に分布する固有水群集の移り変わりで認識されているので、同様な移り変わりが化石群に認められた場合、暖流・固有水境界が極端な場合水深 80m まで浅くなる可能性のあることは否定できない。大桑地域は夕日寺地域に比べると水深が浅く、最大水深時でも暖流系水下部まで十分達しなかったようであり、この地域のデータだけでは水塊構造の復元は出来なかった。しかし、夕日寺地域において固有水種の多産する上部層準が、本当に水深の増加にともない暖流下部をつきぬけ日本海固有水中に入ったものかどうかを判断する有力な証拠として、必要不可欠な情報を提供したといえる。

ところで、生物の分布に基づいて水深を復元する際問題となるのは、水深と現生種の分布の間に現在も過去も変わらぬ一対一の関係があること、いいかえれば現在までの間に生態学的進化が生じておらず、過去の水塊構造が現在の水塊構造に則して判断できるほど類似していることを前提とする点である。単に少数の化石種と現生種の比較にとどまらず、化石群と現生群集全体の種構成・構成率に高い相同性がみられたことから、本研究においては生態データの導入に基づく解釈は妥当であったと考えるが、この問題は、全く別の物理・化学的アプローチ (北村, 1996 および本論文集) から以下のように検証される。北村は夕日寺の堆積サイクル 2 の基底の貝化石密集層を氷期の海水準最低位期に、生痕化石の密集層 (Y-5) を間氷期の海水準最高位期に対応すると仮定した。一方、底生有孔虫の酸素同位体比変動曲線から、堆積サイクル形成時代の酸素同位体ステージ 46 と 47 の酸素同位体比の差を求め、その差を海水準の上昇量に変換させた。この時、氷期・間氷期における深海の水温変化も

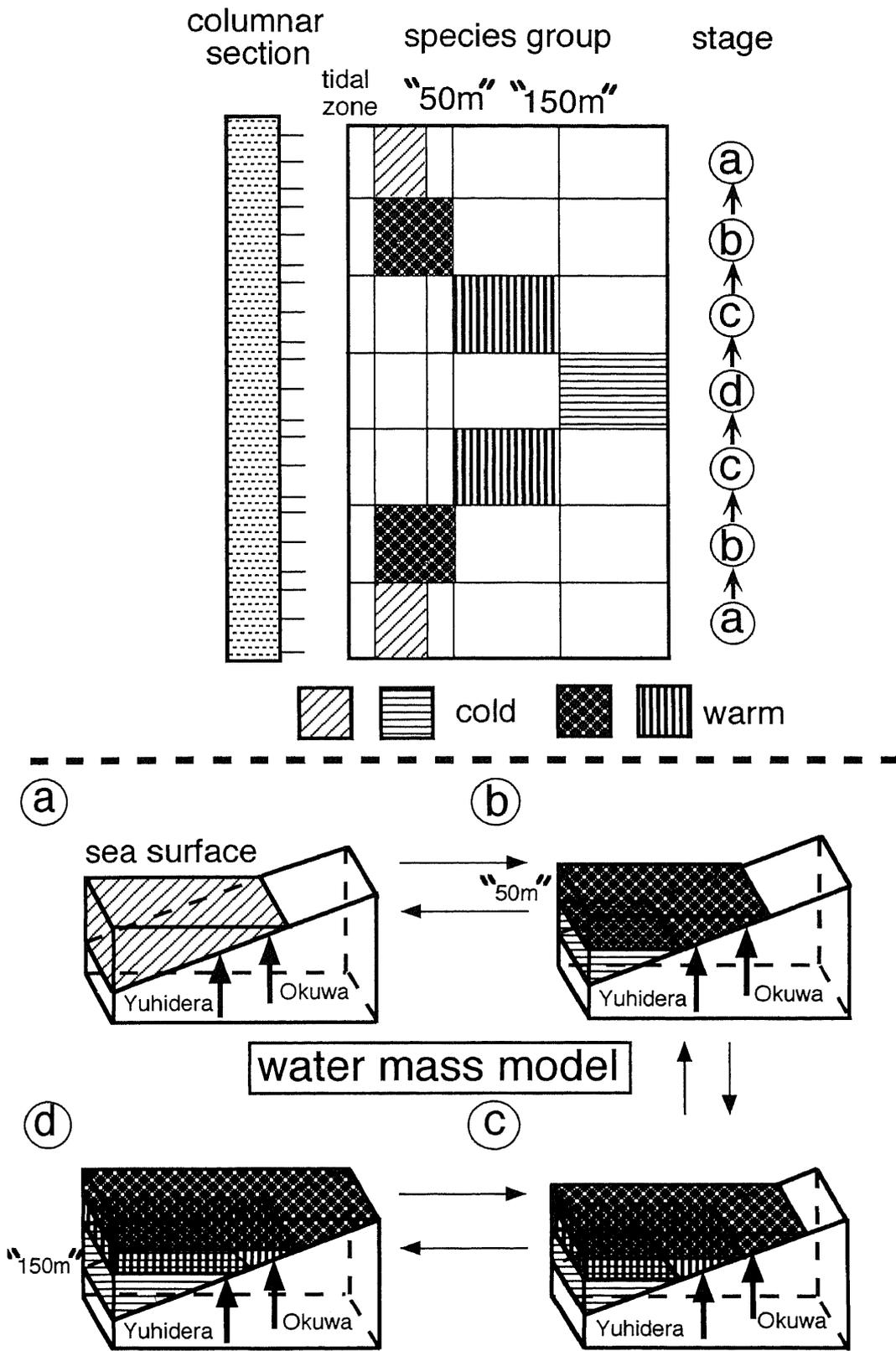


図7：2つの地点から産出した介形虫化石の特徴種から推定されるサイクル2の中の水塊構造の時間的変化のモデル。

Fig. 7. A model of the water mass structure and its change during the Cycle 2 inferred from the ostracode characteristic species from the two localities.

考慮し、海水準の上昇量を計算すると約60mとなる。堆積サイクル基底の貝化石密集層は海進時の外浜浸食により海底に洗い出された海進ラグ堆積物であると考えられ、外浜浸食の最大深度が40mであることから (Saito, 1991), 貝化石密集層の堆積深度は約40mであると推定される。以上のことから、水塊境界深度は $60+40=100\text{m}$ と算出され、堆積学的・同位体化学的観点からは暖流の厚さは現在のほぼ $2/3$ と復元される (詳しくは北村, 本論文集参照)。介形虫化石群をすなおに解釈した際に得られる150mという値は、この100mという値より大きいが、現生群集の分布範囲から推定される変異幅 (150m~80m) を考えると矛盾はしない。

現在の海洋水塊構造のアナロジーを用いることができない場合は水塊構造の復元は難しくなる。氷期 (例えばサイクル最下部周辺) においては水塊構造はいうにおよばず、海洋環境の解釈さえ困難をきわめる。実際、夕日寺地域のサイクル最下部堆積時の水深を浅く見積もる (例えば水深30m) と、一回のサイクルで100mを超える海水準変動が生じたことになり、従来いわれているこの時代の変動幅 (一般に数十m) と大きく異なることになる。日本周辺に類似した環境が存在せず、比較可能な高緯度地域の現生介形虫群集のデータが不十分なので、現在のところサイクル最下部の古環境・古水深について十分精度の高い議論をすることは出来ない。これらの点は今後の課題であろう。最後に、大桑・夕日寺地域のセクションにみられた海洋環境・水塊構造の時系列変化を模式的に表したモデルを図7に示した。

おわりに、環境変化に対し介形虫化石群がしめす反応にあるパターンがみられ、これが貝化石群の反応とも一部共通するという、古生態学的に興味をひく現象についてひとことふれる。夕日寺地域において最大水深時になると日本海固有水種があらわれ、その後上位層準では水深の減退にともない、暖流下部種、北方極浅海種を主体とした化石群に移り変わっていく。しかし、このとき他の類似した環境下 (例えば、大桑地域、夕日寺地域のY-5より下位層準) ではみられない特徴として、日本海固有水種が10%前後引き続き産出し続ける (図6, 右端のグラフ)。あたかも一旦あらわれた固有水種は生息環境が暖流下に変化しようがその場に居座り続けているようにみうけられる。筆者らは別のプロジェクトでここ数年、生息環境の水温の劇的変化と介形虫の種分化の関連性を調査しているが、本地域にみられる介形虫化石群の環境変化への反応は、下部浅海帯から漸深海帯域に生息する介形虫に認められる異時性や多様な進化を説明する手がかりを将来与えるかもしれない。

謝辞 東京大学総合研究資料館塚越哲博士には北方系をはじめとする介形虫群集の地理的分布、生息深度に関して有益な議論をしていただいた。静岡大学池谷仙之教授、David Dresser氏には大桑地域の介形虫化石群の試料の一部を提供していただいた。以上の方々に感謝の意を表します。

文 献

- Bodergat, A. - M. and Ikeya, N., 1988, Distribution of Recent Ostracoda in the Ise and Mikawa Bays, Pacific coast of central Japan. In Hanai, T., Ikeya, N. and Ishizaki, K., eds., *Evolutionary Biology of Ostracoda, its Fundamentals and Applications; Developments in Paleontology and Stratigraphy*, Kodan-sha & Elsevier, Tokyo, Amsterdam, 413-428.
- Chinzei, K. and Aoshima, M., 1976, Marine thermal structure of the Plio-Pleistocene warm water in central Japan. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sec. 2*, **19**, no. 3, 179-203.
- Frydl, P. M., 1982, Holocene ostracod in the southern Boso Peninsula. *Univ. Mus., Univ. Tokyo, Bull.*, no. 20, 61-140, 257-272.

- Hasegawa, S., 1979, Foraminifera of the Himi Group, Hokuriku Province, central Japan. *Sci. Rep., Tohoku Univ.*, 2nd Ser. (Geol.), **49**, 89–163.
- Ikeya, N., and Suzuki, C., 1992, Distributional pattern of modern ostracode off Shimane Peninsula, southwestern Japan Sea. *Rep. Fac. Sci. Shizuoka Univ.*, no. 26, 91–137.
- Ishizaki, K., 1968, Ostracodes from Uranouchi Bay, Kochi Prefecture, Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, 2nd Ser., **40**, no. 1, 1–45.
- Ishizaki, K., 1971, Ostracodes from Aomori Bay, Aomori Prefecture, northeast Honshu, Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, 2nd Ser., **43**, no. 1, 59–97.
- Ishizaki, K., 1981, Ostracodes from the East China Sea. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, 2nd Ser., **43**, no. 1, 59–97.
- Ishizaki, K. and Irizuki, T., 1990, Distribution of bathyal ostracodes in sediments of Toyama Bay, Central Japan. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, **123**, 53–67.
- 北村晃寿, 1995, 下部更新統大桑層における二枚貝 *Dosinia* 属と *Anadara* 属の層序的産出範囲. 化石, **59**, 14–22.
- 北村晃寿, 1996, 対馬暖流の流入量の時代変遷. 日本古生物学会1996年年会予稿集, 103.
- 北村晃寿・近藤康生, 1990, 前期更新世の氷河性海水準変動による堆積サイクルと貝化石群集の周期的変化—模式地の大桑層中部の例—. 地質学雑誌, **96**, 19–36.
- Kitamura, A., Kondo, Y., Sakai, H. and Horii, M., 1994, 41,000-year orbital obliquity expressed as cyclic changes in lithofacies and molluscan content, early Pleistocene Omma Formation, Central Japan. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **112**, 345–361.
- Kitazato, H., 1977, Vertical and lateral distributions of benthic foraminiferal fauna and the fluctuation of warm and cold waters in the middle Pleistocene of the Boso Peninsula, central Japan. *Tohoku Univ., Sci. Rep.*, 2nd Ser. (Geol.), **47**, no. 1, 7–41.
- Ozawa, H., 1996 MS, Late Pliocene to early Pleistocene paleoceanographic changes of the Sea of Japan based on the fossil ostracodes from the Omma Formation in the Hokuriku district, central Japan. Master Thesis of Kanazawa Univ., 103p.
- 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. *Sci. Rep. Kanazawa Univ.*, **40**, no. 1, 2, 9–37.
- Saito, Y., 1991, Sequence stratigraphy on the shelf and upper slope in response to the latest Pleistocene-Holocene sea-level changes off Sendai, northeast Japan. *Spec. Publs. Int. Ass. Sediment.*, **12**, 133–150.

Plate 1.

Figs. 1 ~ 7. *Yezocythere hayashii* Hanai and Ikeya

1. Lateral view of right female valve, x72. 2. Lateral view of right immature valve at A - 1 stage, x72. 3. Lateral view of right immature valve at A - 2 stage, x72. 4. Reticulation and simple type normal pore openings on posteromedian surface of right valve, x155. 5. Inner view of right female valve, x76. 6. Anterior hinge area of right female valve, x223. 7. Muscle scars on the inner surface of right female valve, x304.

Figs. 8 ~10. *Normanicythere?* sp.

8. Lateral view of right male valve, x80. 9. Lateral view of right female valve, x80. 10. Reticulation and simple type normal pore openings on posteroventral surface of right female valve, x206.

Specimens of Figs. 1, 3, 4 and 8 ~10 are from the lower part of the Omma Formation at Okuwa (Loc. 1 of this study), and Figs. 2 and 5 ~ 7 are from the Omma Formation at Sakuramachi in Oyabe City, Toyama Prefecture.

図版 1

図 1 ~ 7. *Yezocythere hayashii* Hanai and Ikeya

1. 成体 (雌) 右殻の外面, 72倍 2. 幼体 (A - 1) 右殻の外面, 72倍
3. 幼体 (A - 2) 右殻の外面, 72倍 4. 成体 (雌) 右殻後部の網目模様と単純型垂直感覚子孔, 155倍
5. 成体 (雌) 右殻の内面, 76倍 6. 成体 (雌) 右殻の蝶番前部, 223倍 7. 成体 (雌) 右殻の筋痕, 304倍

図 8 ~10 *Normanicythere?* sp.

8. 成体 (雄) 右殻の外面, 80倍 9. 成体 (雌) 右殻の外面, 80倍 10. 成体 (雌) 右殻後部の網目模様と単純型垂直感覚子孔, 206倍

図 1, 3, 4, 8 ~10の標本は大桑 (本研究の地点 1) の大桑層下部, 図 2, 5 ~ 7の標本は富山県小矢部市桜町の大桑層から産出.

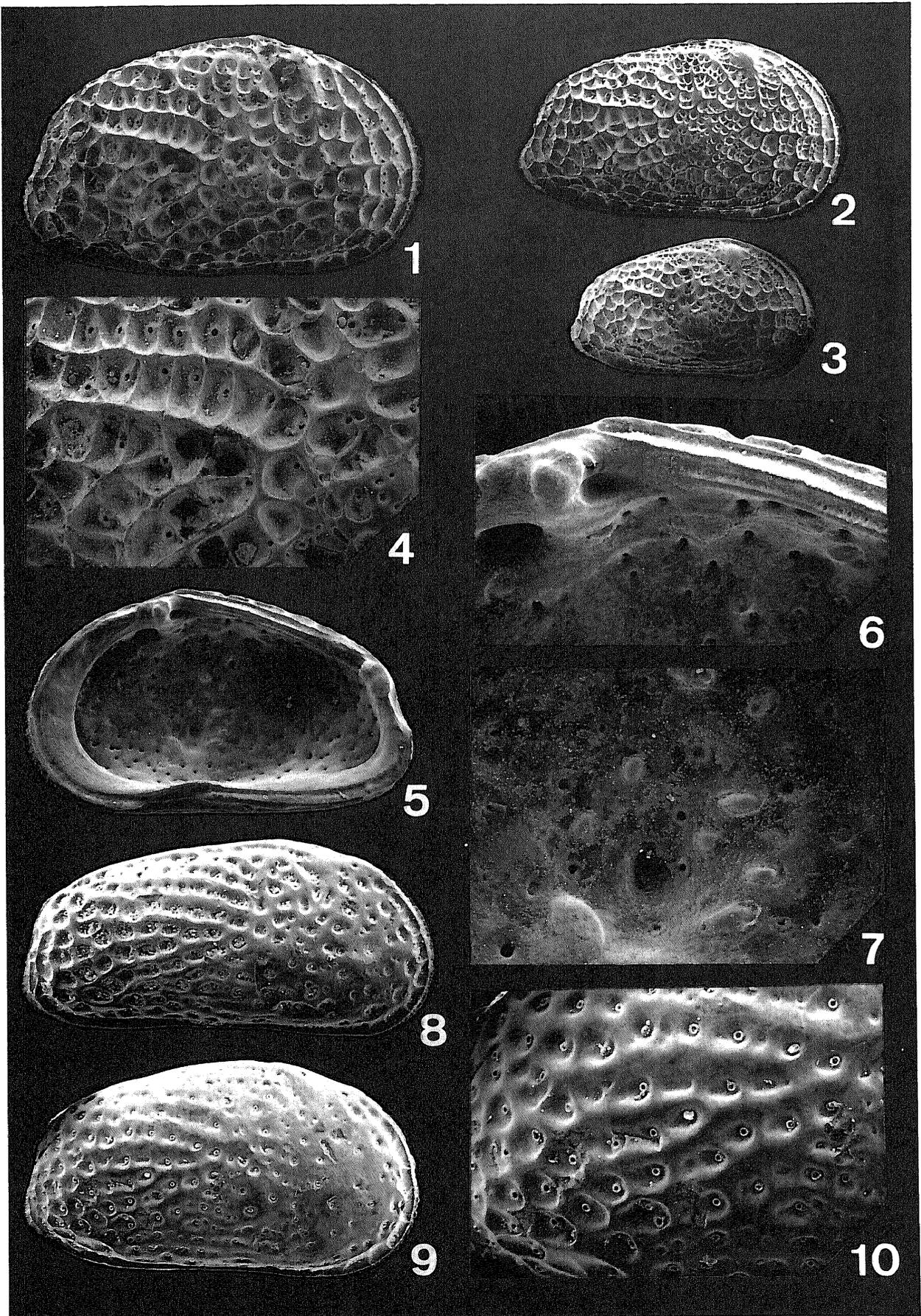


Plate 2.

- Fig. 1. *Palmenella limicola* (Norman) Lateral view of left valve, x117.
Fig. 2. *Munseyella hokkaidoana* (Hanai) Lateral view of left valve, x108.
Fig. 3. *Munseyella hatatensis* (Ishizaki) Lateral view of right valve, x126.
Fig. 4. *Cytheropteron* aff. *nodosolatum* Neale and Howe Lateral view of left valve, x108.
Fig. 5. *Acuticythereis* ? cf. *sendaiensis* Ishizaki Lateral view of left valve, x66.
Fig. 6. *Johnnealella nopporensis* Hanai and Ikeya Lateral view of right immature valve, x80.
Fig. 7. *Howeina higashimeyaensis* Ishizaki Lateral view of left valve, x133.
Figs. 8 ~10. *Acanthocythereis dunelmensis* (Norman)
8. Lateral view of right valve, x59.
9. Eye node on anterodorsal surface of right valve, x211.
10. Ventral spines on anteroventral surface of right valve, x205.

Specimens of Figs. 1, 4 and 8 ~10 are from the Omma Formation at Sakuramachi in Oyabe City, Toyama Prefecture, Figs. 2 and 5 are from the Omma Formation at Yuhidera (Loc. 2 of this study), Figs. 3 and 7 are from the lower part of the Omma Formation at Okuwa (Loc. 1 of this study), and Fig. 6 is from the middle part of the Omma Formation at Okuwa (Loc. 1 of this study).

図版 2

- 図 1 *Palmenella limicola* (Norman) 成体左殻の外側面, 117倍
図 2 *Munseyella hokkaidoana* (Hanai) 成体左殻の外側面, 108倍
図 3 *Munseyella hatatensis* (Ishizaki) 成体右殻の外側面, 126倍
図 4 *Cytheropteron* aff. *nodosolatum* Neale and Howe 成体左殻の外側面, 108倍
図 5 *Acuticythereis* ? cf. *sendaiensis* Ishizaki 成体左殻の外側面, 66倍
図 6 *Johnnealella nopporensis* Hanai and Ikeya 幼体右殻の外側面, 80倍
図 7 *Howeina higashimeyaensis* Ishizaki 成体右殻の外側面, 133倍
図 8 ~10 *Acanthocythereis dunelmensis* (Norman)
8. 成体右殻の外側面, 59倍 9. 成体右殻の眼瘤付近, 211倍 10. 成体右殻腹部前縁の棘, 205倍

図 1, 4, 8 ~10の標本は富山県小矢部市桜町の大桑層, 図 2 と 5 の標本は夕日寺(本研究の地点 2)の大桑層, 図 3 と 7 の標本は大桑(本研究の地点 1)の大桑層下部, 図 6 の標本は大桑(本研究の地点 1)の大桑層中部から産出。

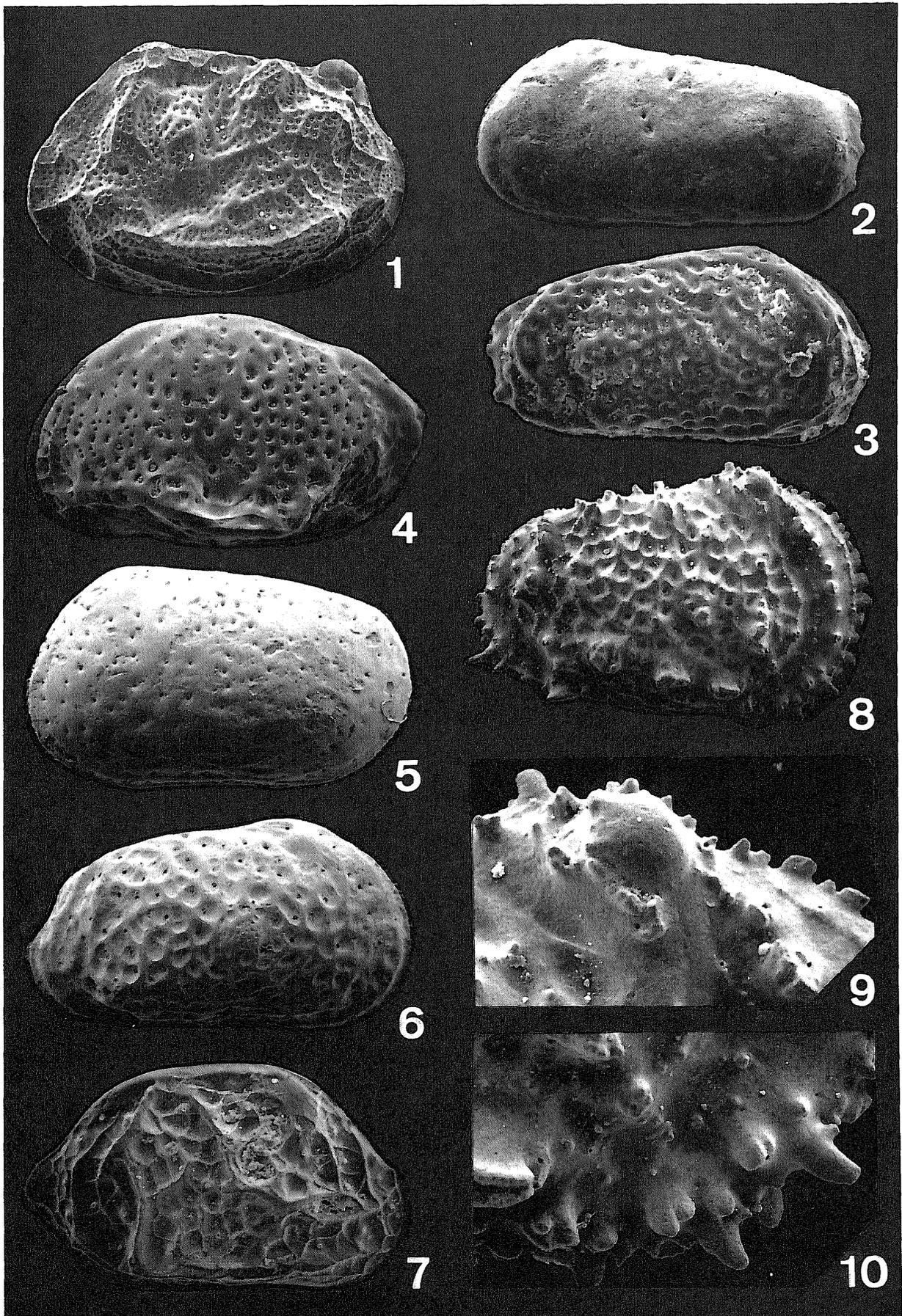


Plate 3.

- Fig. 1. *Falsobuntonia taiwanica* Malz Lateral view of left valve, x110.
Fig. 2. *Trachyleberis* sp. Lateral view of left immature valve, x80.
Fig. 3. *Paijenborchella tsurugasakensis* Tabuki Lateral view of right valve, x123.
Fig. 4. *Cytheropteron subuchioi* Zhao Lateral view of left valve, x103.
Fig. 5. *Pacambocythere ucarinata* (Ishizaki) Lateral view of left valve, x119.
Fig. 6. *Robertsonites reticuliforma* (Ishizaki) Lateral view of right valve, x85.
Figs. 7, 8. *Robertsonites tsugaruana* Tabuki
7. Lateral view of left valve, x85.
8. Reticulation and simple type normal pore openings on posteromedian surface of left valve, x230.
Figs. 9, 10. *Paijenborchella hanaii* Tabuki
9. Lateral view of right valve, x86.
10. Reticulation on posterodorsal surface of right valve, x238.

Specimens of Fig.1 are from the middle part of the Omma Formation at Okuwa (Loc. 1 of this study), Figs. 2 ~ 6 are from the Omma Formation at Yuhidera (Loc. 2 of this study), and Figs. 7 ~10 are from the Omma Formation at Sakuramachi in Oyabe City, Toyama Prefecture.

図版 3

- 図 1 *Falsobuntonia taiwanica* Malz 成体左殻の外面, 110倍
図 2 *Trachyleberis* sp. 幼体左殻の外面, 80倍
図 3 *Paijenborchella tsurugasakensis* Tabuki 成体右殻の外面, 123倍
図 4 *Cytheropteron subuchioi* Zhao 成体左殻の外面, 103倍
図 5 *Pacambocythere ucarinata* (Ishizaki) 成体左殻の外面, 119倍
図 6 *Robertsonites reticuliforma* (Ishizaki) 成体右殻の外面, 85倍
図 7, 8 *Robertsonites tsugaruana* Tabuki 7. 成体左殻の外面, 85倍 8. 成体左殻後部の網目模様と単純型垂直感覚子孔, 230倍
図 9, 10 *Paijenborchella hanaii* Tabuki 9. 成体右殻の外面, 86倍 10. 成体右殻後部の網目模様, 238倍

図 1 の標本は大桑 (本研究の地点 1) の大桑層中部, 図 2 ~ 6 の標本は夕日寺 (本研究の地点 2) の大桑層, 図 7 ~10 の標本は富山県小矢部市桜町の大桑層から産出。

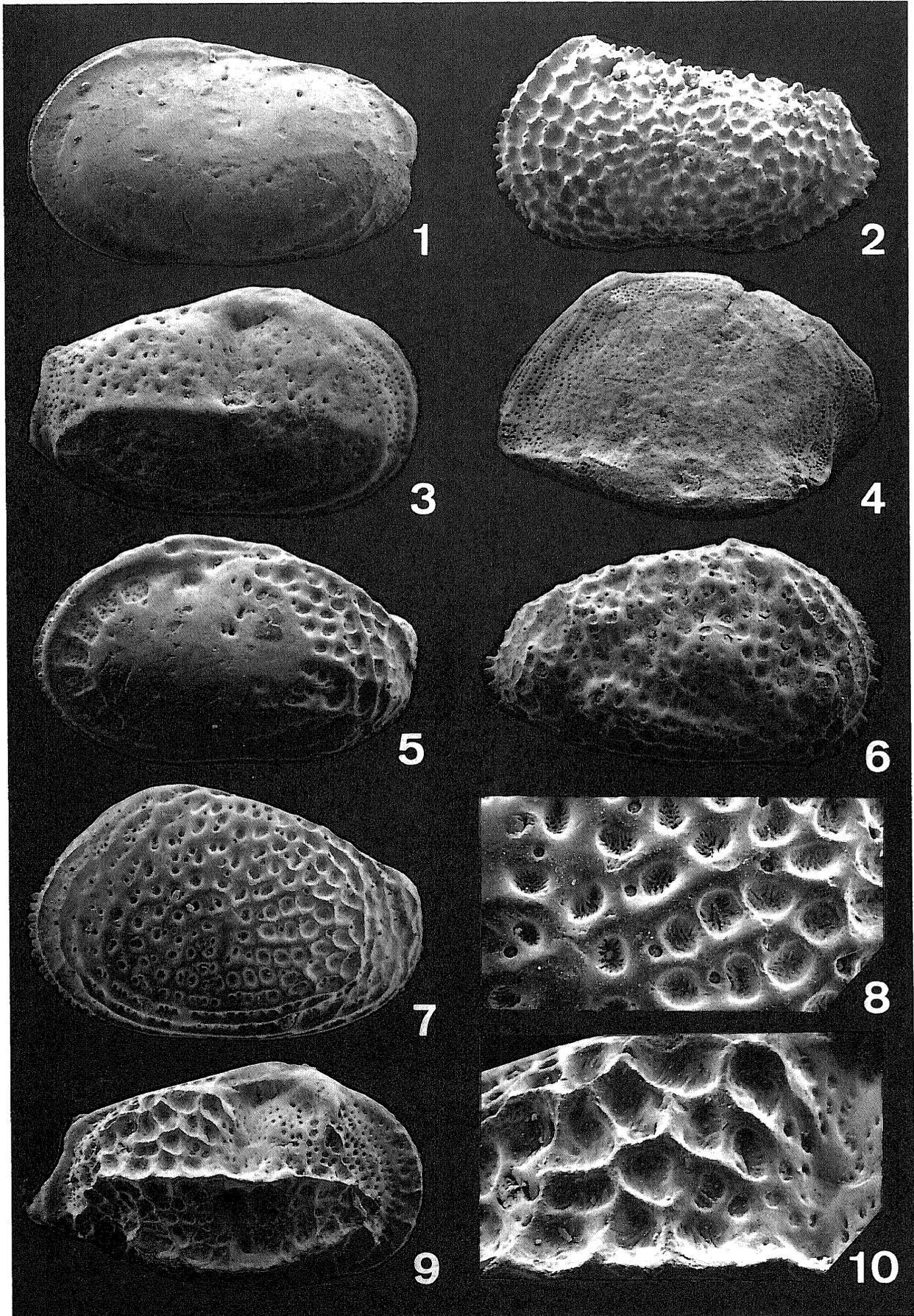


Plate 4.

- Fig. 1. *Bradleya cf. nuda* Benson Lateral view of left immature valve, x76.
Fig. 2. *Ambtonia obai* (Ishizaki) Lateral view of left valve, x112.
Fig. 3. *Aurila* sp. Lateral view of right valve, x76.
Fig. 4. *Amphileberis nipponica* (Yajima) Lateral view of right valve, x91.
Figs. 5, 6. *Bicornucythere bisanensis* (Okubo) 5. Lateral view of right valve, x80.
6. Reticulation and simple type normal pore openings on posteromedian surface of right valve, x230.
Figs. 7, 8. *Loxoconcha viva* Ishizaki 7. Lateral view of right valve, x108.
8. Reticulation and sieve type pore openings on posterodorsal surface of right valve, x362.
Figs. 9, 10. *Hirstocythere hanaii* Ishizaki
9. Lateral view of left immature valve, x80.
10. Dorsal spines and simple type normal pore openings on posteroventral surface of left valve, x563.

Specimens of Figs. 1, 9 and 10 are from the Omma Formation at Yuhidera (Loc. 2 of this study), Figs. 2 and 4 are from the Omma Formation at Hakkouden in Oyabe City, Toyama Prefecture, Figs. 3, 5 and 6 are from the Omma Formation at Sakuramachi in Oyabe City, Toyama Prefecture, and Figs 7 and 8 are from the lower part of the Omma Formation at Okuwa (Loc. 1 of this study).

図版 4

- 図1 *Bradleya cf. nuda* Benson 幼体左殻の外側面, 76倍
図2 *Ambtonia obai* (ishizaki) 成体左殻の外側面, 112倍
図3 *Aurila* sp. 成体右殻の外側面, 76倍
図4 *Amphileberis nipponica* (Yajima) 成体右殻の外側面, 91倍
図5, 6 *Bicornucythere bisanensis* (Okubo)
5. 成体右殻の外側面, 80倍 6. 成体右殻後部の網目模様と単純型垂直感覚子孔, 230倍
図7, 8 *Loxoconcha viva* Ishizaki
7. 成体右殻の外側面, 108倍 8. 成体右殻後部の網目模様と篩型垂直感覚子孔, 362倍
図9, 10 *Hirstocythere hanaii* Ishizaki
9. 幼体左殻の外側面, 80倍 10. 幼体左殻後部背縁の棘と単純型垂直感覚子孔, 563倍

図1, 9, 10の標本は夕日寺(本研究の地点2)の大桑層, 図2と4の標本は富山県小矢部市八講田の大桑層, 図3, 5, 6の標本は富山県小矢部市桜町の大桑層, 図7と8の標本は大桑(本研究の地点1)の大桑層下部から産出.

