

シンポジウム特集

北方系貝化石集団による古水温推定の試み
 —更新世前期の大桑・万願寺動物群を例として—

天野和孝*

An attempt to estimate the paleotemperature based on the analysis of
 boreal fossil molluscan assemblages
 —On the Early Pleistocene Omma-Manganji fauna—

Kazutaka Amano*

Abstract Various methods have been used for estimating sea surface temperature, based on the analysis of fossil molluscan fauna in Japan. By using the HDM characteristic curve and climato-geographic zoning methods, *Mizuhopecten-Glycymeris* assemblage which was widely distributed in the Early Pleistocene Omma-Manganji fauna was examined. It was proved that the sea surface temperatures of the Japan Sea coast areas in Early Pleistocene were 0.5 to 3 degrees lower than those of the recent Sea of Japan. In this age, an intermittent influx of warm current to the Japan Sea frequently took place in relation to the opening of Paleo-Tsushima Strait. The obtained data mentioned above show that the Early Pleistocene climate around Japan Sea was more weakly affected by the warm current than the Holocene one.

はじめに

貝類は食用としての需要から底生無脊椎動物の中では、その分布や生態がよく知られている分類群である。特に、我が国周辺の現生貝類の地理的分布については、Kuroda and Habe (1952) 以来、肥後 (1973)、波部 (1977) など多くの総括的資料がある。

現生貝類の分布が海水の温度をある程度反映していることは、すでに Yokoyama (1911) などによって気付かれていた。その後、後述する多くの研究者により日本の新生代後期の貝化石群にもとづいて、新生代後期における古水温の変化が検討されてきた。特に、松島・大嶋 (1974)、糸魚川 (1984) は暖流系種からなる貝化石群集の構成属、種を用いて、具体的な古水温を示している。しか

し、これまでのところ、貝化石群から古水温を求める方法を総括し、複数以上の方法を用いて、具体的な古水温を示した研究例はない。そこで、本論文ではこれまでの貝化石群による古水温推定方法について総括し、それらの方法を複数用い、更新世前期の北方系貝化石集団を例として、具体的な古水温を求める。また、貝化石群の構成種、属の分布から古水温を検討する方法についての限界と問題点について指摘することを目的とする。

従来の古水温推定方法

貝化石群の構成種や属の地理的分布を利用した古水温の推定はこれまでに次の5つの方法に基づいて行われてきた。すなわち、A) 暖流系種、寒流系種の存在またはその種数比による方法、B) Median of midpoints 法、C) HDM 特性曲線による方法、D) 南方系群集の分布と生息限界水温から具体的に古水温を求める方法、E) 種・属ある

*上越教育大学地学教室

1993年4月3日受付, 1993年8月27日受理

いは特定の群集の分布をもとに古気候帯を復元する方法である。

A) の暖流系種, 寒流系種の存在またはその種数比による方法を用いた解析例には Yokoyama (1911), Yokoyama (1920), Nomura (1932), 大山(1951), Matsuura (1977), 松浦 (1985) などがある。Matsuura (1977) は北陸地域の更新世後期の海成段丘堆積物中の貝化石群について検討した際に, 貝化石種の地理的分布から次の6タイプに区分した。W; 暖流系種, W_1 ; 中部日本以南に生息する種, W_2 ; 日本海側では北海道南西部以南, 太平洋側では中部日本以南に分布する種, C; 寒流系種, C_1 ; 東北日本以北に生息する種, C_2 ; 中部日本以北に生息する種, CW; 暖流および寒流中に生息する種, L; 分布の限定された種。このように分類した後, 彼はこれらのパターンに含まれる種数パーセントにより, 北陸地区の各堆積物中の貝化石群の相対的な寒暖を示した。しかしながら, この方法ではあくまでも相対的な寒暖しか示せない。

B) の Median of midpoints 法は Schenck and Keen (1937) により提唱され, Schenck (1945) によって地質学的に応用された方法である。これは貝化石群中の現生種各種の分布する緯度の中央値を求め, さらにこれらの値の中央値を求める方法である。Kanno (1955) はこの方法を用いて神奈川県鎌倉市周辺の沖積層から産出した貝類遺骸集団について検討した。この方法によれば, 貝化石群の生息していたと思われる古水温を具体的に緯度で表現できる。しかし, 現生種の含まれる割合の高い時代の貝化石群にしか適応できず, 生越 (1962a, b) が指摘しているように, 現生貝類群から求められる緯度と実際の緯度との差異が大きい点などから, その後ほとんど用いられていない。

C) の HDM 特性曲線による方法は伊田 (1956) により提唱された。この方法は貝化石群構成種中の現生種各種の緯度分布を求め, 各緯度毎に出現しうる種数を累積し, その極大値を貝化石群の生息緯度として推定するものである。この方法は, その後生越 (1959, 1961, 1962a, b, 1963a, b) により, 現生遺骸集団や更新統の貝化石群について詳細に検討された。また, 氏家 (1976) は中新統備

北層群の貝化石群について, 属の分布に基づき, 貝化石群の古水温を推定したが, 原理的には HDM 特性曲線による方法と同様である。HDM 特性曲線による方法は中緯度地域の現生遺骸集団について見た場合, Median of midpoints 法ほど現在の緯度との差異が認められない。

D) の南方系群集の分布と生息限界水温から具体的に古水温を求める方法は松島・大嶋 (1974) により, 初めて検討された。彼らは縄文海進時の暖流系内湾貝類群集について検討し, 群集の分布の北限と現在それらの群集の認められる北限の表面海水温から当時の月平均海水温を推定した。その後, 糸魚川 (1984) は中新世瑞浪層群の貝化石群構成種を属レベルのデータから奄美以南型, 房総以南型, 両側型, 房総以北型の4タイプに分類し, これらの種数比から冬季の海水温を推定した。また, 糸魚川・津田 (1986) は具体的な数字は示していないものの, 中期中新世初期の熱帯系の属の分布から当時の備北・八尾が現在の西表島以南に相当するとした。

E) の種・属あるいは特定の群集の地理的分布をもとに古気候帯を復元する方法は主として中新統～鮮新統産貝化石群について検討されている。我が国では Chinzei (1986) により中期中新世初期の軟体動物群の分布が検討され, 熱帯域, 亜熱帯域, 混合水域, 亜寒帯? 域が復元されている。その後, 小笠原 (1988) は西村 (1981) の現生生物群集による気候帯区分に基づき, 東北地域の中期中新世が暖温帯～中間温帯, 後期中新世が中間温帯～冷温帯であったと推定している。更に, 鮮新世～更新世初期には, 竜の口動物群が亜寒帯に, 大桑・万願寺動物群が暖温帯～冷温帯に, 掛川動物群が亜熱帯～暖温帯生物地理区に相当するものとした。このような方法はアラスカ, カムチャッカなどの中新統産貝化石群についても行われている (Marincovich, 1983; Gladenkov and Sinelnikova, 1990)。

以上の5つの方法により, これまで貝化石による古水温の推定がなされているが, D) の方法を除き, 具体的な値は求められていない。また, A) ~D) の方法は現生種の地理的分布に基づくため, 主として更新世以降の貝化石群, 貝類遺骸集団に

ついて用いられてきた。

更新世前期の古日本海の表面水温の推定

1. 研究対象および方法

北方系貝化石群から古日本海の表面水温を検討するため、ここでは更新世前期の大桑・万願寺動物群 (Otuka, 1939a) を対象として検討した。更新世前期の動物群を対象とした理由は化石群中に現生種の含まれる割合が高いことである。属レベルの推定では、例えば *Mizuhopecten* のようにもともと暖流系だったものが寒流域に適応し生き残った場合がある (Masuda, 1971) から具体的に

古水温を推定することが困難である。また、本論文中での時代論は土編 (1979), 日本第四紀学会編 (1987), 松居ほか (1990) などの資料に基づいている。

海水の表面温度を推定するために、潮間帯付近に生息している種の地理的分布を用いる必要がある。また、少数の種よりも多数の種のデータを用いたほうが地理的分布はより狭く限定できる。そこで、本論文では、潮間帯～上部浅海帯に生息する種からなる化石集団 (fossil assemblage) について検討した。このような基準で更新世前期の大桑・万願寺動物群を従来の研究者によるリストお

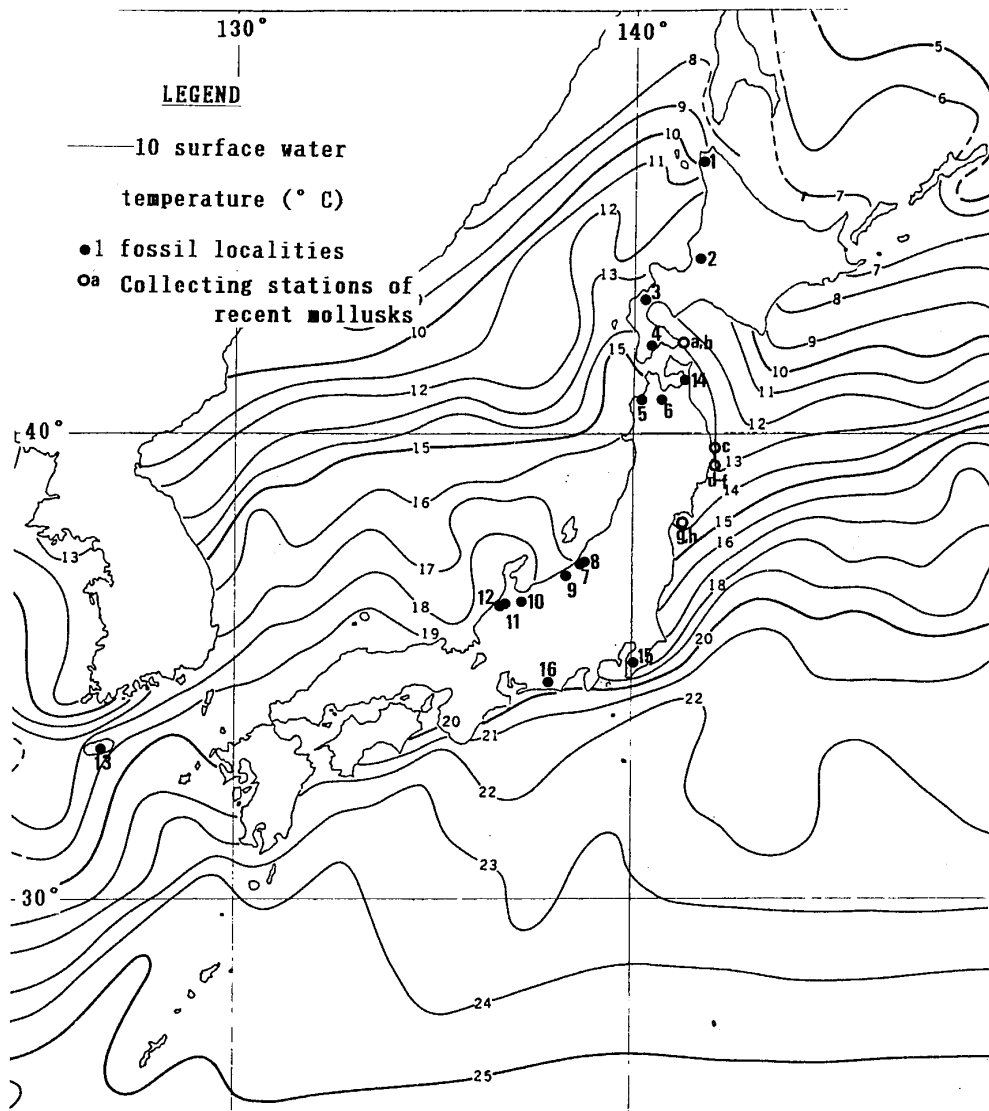


図1. 化石および現生の *Mizuhopecten-Glycymeris* 集団の産地 (日本水路協会発行『海洋環境 図I 外洋・北西太平洋』を使用)。

Fig. 1. Localities of fossil and recent *Mizuhopecten-Glycymeris* assemblage.

表 1. 更新世前期の *Mizuhopecten-Glycymeris* 化石集団の産地とデータ.Table 1. Localities and data sources of the Early Pleistocene *Mizuhopecten-Glycymeris* fossil assemblage.

Formation	Loc. or Hor.	Data source
1. Sarabetsu	Bakkai	Noda <i>et al.</i> (1982)
2. Zaimokuzawa	middle part	Akamatsu (1984)
3. Setana	Soibetsugawa	Present study
4. Tomikawa	Hosokomatazawa ①	Sakagami <i>et al.</i> (1966)
5. Narusawa	Loc. N-6	Iwai (1965)
6. Daishaka	Loc. D-B-6	Iwai (1965)
7. Haizume	Loc. 25 (HMB III)	Kobayashi <i>et al.</i> (1986)
8. Haizume	Oginojo	Present study
9. Kota	Lower horizon	Mizuno & Amano (1988)
10. Mita	Loc. 86	Matsuura (1985)
11. Omma	Loc. 16 (Kakuma)	Kaseno & Matsuura (1965)
12. Omma	Loc. 31 (Okuwa)	Kaseno & Matsuura (1965)
13. Seoguipo	Loc. 3 (Jeju Is.)	Yoon (1988)
14. Hamada	Loc. 6	Hatai <i>et al.</i> (1961)
15. Ichijiku	Ichijiku 1	Baba (1990)
16. Soga	Loc. 10	Nobuhara (1990)

表 2. *Mizuhopecten-Glycymeris* 化石集団の種構成. *太平洋側Table 2. Species composition of the *Mizuhopecten-Glycymeris* fossil assemblage. *Pacific Ocean side

Species	localities													P. s. *		Depth(m)	
	Japan Sea side													14	15		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13				
<i>Mizuhopecten yessoensis</i> gr.	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	10-50
<i>M. tokyoensis</i>								●	●		●	●	●	●	●		-
<i>Glycymeris yessoensis</i>	○	●	●		●	●	●		●	●	●	●	○	●	●		5-30
<i>Modiolus difficilis</i>	●		●	●		●			●		●	●					0-20
<i>Chlamys nipponensis</i>		●	●	●				●	●		●		●		●		0-20
<i>Swiftopecten swiftii</i>		●	●	●	●	●	●		●						●		0-20
<i>Monia macroschisma</i>			●	●	●	●		●						●			0-20
<i>M. umbonata</i>						●					●	●	●	●			0-300
<i>Lucinoma annulata</i>		●	●		○		●	●			●	●		●			20-150
<i>Cyclocardia crebricostata</i>	○		●		●												10-100
<i>C. ferruginea</i> gr.				●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		50-400
<i>Megacardita ferruginosa</i>							●	●	●		●	●	●	●	●		10-100
<i>Ezocallista brevisiphonata</i>		●	●	●	●	●		●	●					●			0-30
<i>Mercenaria stimpsoni</i>	●						●				●	●	●				0-20
<i>Acmaea pallida</i>		●			●		●	●		●					●		0-20
<i>Puncturella nobilis</i>			●	●	●	●	●	●									0-50
<i>Homalopoma amussitatum</i>		●	●				●	●		●					●		0-50

よび採集した標本群について検討した結果, 北海道北部から済州島にいたる日本海沿岸の 13 産地

(図 1, 表 1) で認められた *Mizuhopecten* と *Glycymeris* を主体とする化石集団 (以下 *Mizuhopec-*

表 3. 瀬棚層 (北海道添別川 2km 上流の河床) 産貝化石

Table 3. Molluscan fossils from the Setana Foramtion (river floor at 2km up-stream of Soibetsu River, southwestern Hokkaido).

<i>Yoldia (Cnesteirum) johanni</i> Dall	<i>Miodontiscus nakamurai</i> (Yokoyama)
<i>Arca boucardi</i> Jousseau	<i>Clinocardium californiense</i> (Deshayes)
<i>Glycymeris yessoensis</i> (Sowerby)	<i>Profulvia kurodai</i> (Sawada)
<i>Porterius dalli</i> (Smith)	<i>Ezocallista brevisiphonata</i> (Carpenter)
<i>Mytilus (Crenomytilus) grayanus</i> (Dunker)	<i>Saxidomus purpuratus</i> (Sowerby)
<i>Modiolus difficilis</i> Kuroda et Habe	<i>Spisula (Mactromeris) voyi</i> (Gabb)
<i>Chlamys (Chlamys) nipponensis</i> Kuroda	<i>Thracia kakumana</i> Yokoyama
<i>C. (C.) daishakaensis</i> Masuda et Sawada	<i>Mya (Mya) japonica</i> Jay
<i>Swiftopecten swiftii</i> (Bernardi)	<i>Anisocorbula venusta</i> (Gould)
<i>Mizuhopecten yessoensis</i> (Jay)	<i>Macoma nipponica</i> Tokunaga
<i>Yabepecten tokunagai</i> (Yokoyama)	<i>Lepeta alba</i> (Dall)
<i>Anomia chinensis</i> Philippi	<i>Puncturella nobilis</i> (A. Adams)
<i>Monia macroschisma</i> (Deshayes)	<i>Trichotropis nobilis</i> (A. Adams)
<i>Limatula vladivostokensis</i> Scarlato	<i>Homalopoma amussitatum</i> (Gould)
<i>Thyasira tokunagai</i> Kuroda et Habe	<i>Crepidula grandis</i> Middendorff
<i>Lucinoma annulata</i> (Reeve)	<i>Capuloacmaea commoda</i> (Middendorff)
<i>Cyclocardia crebricostata</i> (Krause)	<i>Boreotrophon candelabrum</i> (Reeve)
<i>C. paucicostata</i> (Krause)	<i>Admete lischkei</i> (Yokoyama)

ten-Glycymeris 化石集団と呼ぶ) (表 2, 3, 4) がこうした解析に適していることが判った。また、比較のため太平洋側で類似した化石集団の認められる 3 産地 (浜田層, 市宿層, 曾我層) についても検討した。

研究方法としては従来の研究方法のうち HDM 特性曲線による方法を一部改良した方法と古生物気候帯を復元する方法を併用した。HDM 特性曲線は温度勾配をより単純に反映していると考えられる太平洋側の分布資料 (Kuroda and Habe, 1952; 肥後, 1973) をもとに作成した。化石集団について HDM 特性曲線を描くと 2 ピークをもつ曲線や平坦なピークをもつ曲線が得られることが多い。従来の方法では、複数のピークをもつ場合、最も高いピークを、その貝化石群の古緯度としてきた。本論文での改良点は、2 ピークを持つ曲線の場合には、図 2 のようにピークの高さに応じてピークの見られる緯度を比例配分し、化石群集の古緯度とした。例えば、今、緯度 A, B ($B > A$) にピークが見られた場合、ピーク間の種数の最低値からピークの種数の差をそれぞれ a, b とした時、古緯度 (PL) を $PL = A + (B - A) \cdot b / (a + b)$ と

いった式から求めるのである。また、平坦なピークをもつ場合には緯度の中央値をもって古緯度とした。次に、こうして得られた古緯度の値が妥当かどうか検討すべく、集団中に含まれる二枚貝の種数について検討した。更に、類似した現生遺骸集団が函館付近 (石山, 1970 の川及, 中浜), 宮古湾 (石山, 1972 の Loc. 8), 山田湾 (石山, 1972 の Loc., 23, 26, 29), 仙台湾 (Masuda et al., 1983 の Loc. 47, 66) に知られており (それぞれ図 1 の Loc. a~h として示した), これらの集団の種数と緯度の関係についても検討し、化石集団と比較した。こうして得られた古緯度から、その緯度に相当する太平洋側の年平均表面水温を海洋環境図 I 外洋編・北西太平洋 (日本水路協会発行) から読み取り、その地点の古水温とした。

古生物気候帯を復元するに際しては、まず各化石集団中の構成種を暖流系種 (現在太平洋側で銚子以南に分布する種), 寒流系種 (現在太平洋側で銚子以北に分布する種), 暖流・寒流域にまたがって生息する種に分類した。その後、それらの種数比から西村 (1981) の生物気候帯区分の境界を推定し、現在の境界付近の表面水温と HDM 特

表 4. 灰爪層上部 (新潟県小木ノ城駅前の崖) 産貝化石

Table 4. Molluscan fossils from the upper part of Haizume Formation (cliff in front of Oginojo railway station, Niigata Pre.).

<i>Acila (Truncacila) insignis</i> (Gould)	<i>Puncturella nobilis</i> (A. Adams)
<i>Yoldia (Cnesterium) johanni</i> Dall	<i>Niveotectura pallida</i> (Gould)
<i>Acar plicata</i> (Dillwyn)	<i>Umbonium</i> sp.
<i>Striarca symmetrica</i> (Reeve)	<i>Liotina semiclathratula</i> (Schrenck)
<i>Glycymeris (Tucetilla) pilsbryi</i> (Yokoyama)	<i>Gareostnaea?</i> sp.
<i>Empleconia cumingii</i> (A. Adams)	<i>Homalopoma amussitatum</i> (Gould)
<i>Chlamys (Chlamys) nipponensis</i> Kuroda	<i>Littorina</i> sp.
<i>Mizuhopecten yokoyamae</i> (Masuda)	<i>Turritella (Neohaustator) saishuensis etigoensis</i> Ida
<i>M. tokyoensis</i> (Tokunaga)	<i>Tachyrhynchus asatoi</i> (Oinomikado et Ikebe)
<i>Lima zushiensis</i> Yokoyama	<i>T. cf. horinjiensis</i> (Oinomikado et Ikebe)
<i>Limaria basilanica</i> (Adams et Reeve)	<i>T.</i> sp.
<i>Monia macroschisma</i> (Deshayes)	<i>Cryptonatica andoi</i> (Nomura)
<i>Astarte hakodatensis</i> Yokoyama	<i>Glossaulax aff. vesicalis</i> (Philippi)
<i>Tridonta bennettii</i> (Dall)	<i>Euspira pila</i> (Pilsbry)
<i>Cyclocardia ferruginea</i> (Clessin)	<i>Mitrella burcardi anachisoides</i> Nomura
<i>C. myogadaniensis</i> (Itoigawa)	<i>M. yabei</i> (Nomura)
<i>Megacardita ferruginosa</i> (Adams et Reeve)	<i>Searlesia japonica</i> Yokoyama
<i>Miodontiscus nakamurai</i> (Yokoyama)	<i>S.</i> sp.
<i>Felaniella usta</i> (Gould)	<i>Siphonalia declivis</i> Yokoyama
<i>Axinopsida subquadrata</i> (A. Adams)	<i>Reticunassa japonica</i> (A. Adams)
<i>Lucinoma annulata</i> (Reeve)	<i>Olivella japonica</i> Pilsbry
<i>Pillucina pisidium</i> (Dunker)	<i>O. fulgurata</i> (Adams et Reeve)
<i>Chama</i> sp.	<i>Ophioidermella miyatensis</i> (Yokoyama)
<i>Clinocardium</i> sp.	<i>O.</i> sp.
<i>Pseudamiantis tauyensis</i> (Yokoyama)	<i>Rhodopetoma erosa</i> (Schrenck)
<i>Ezocallista brevisiphonata</i> (Carpenter)	<i>Propebela candida</i> (Yokoyama)
<i>Mactra</i> sp.	<i>Mangilia tabatensis</i> (Tokunaga)
<i>Fabulina nitidula</i> (Dunker)	<i>Epitonium</i> sp.
<i>Macoma nipponica</i> Tokunaga	<i>Chrysallida</i> sp.
<i>Panope japonica</i> A. Adams	<i>Odostomia</i> sp.
<i>Pandora (Pandorella) wardiana</i> A. Adams	<i>Odostomia?</i> sp.
<i>Entodesma</i> sp.	<i>Solidula</i> sp.
<i>Thracia kakumana</i> (Yokoyama)	<i>Chemitzia</i> sp.

性曲線による方法を改良して求められた古水温と比較検討した。

2. 結果および考察

上述した方法で更新世前期の大桑・万願寺動物群中の *Mizuhopecten-Glycymeris* 化石集団について検討した。まず、群集中の現生種の太平洋側での地理的分布について HDM 特性曲線を作成した (図 3)。その結果、最も高いピークの位置が図

1 の Loc. 3 では北緯 41° であるのに対し、より南方へ北緯 39° (Loc. 5~7), 北緯 39° と北緯 35° (Loc. 8) を経て北緯 35° (Loc. 9~12) へ移動していることが判る。また、Loc. 1~6 では高緯度広水域分布種が認められる反面、低緯度広水域種は認められない。

こうして得られた HDM 特性曲線から前述した方法に基づき、古緯度を算出した (表 5)。一部 (Loc. 2, 9) で古緯度の逆転現象が見られたもの

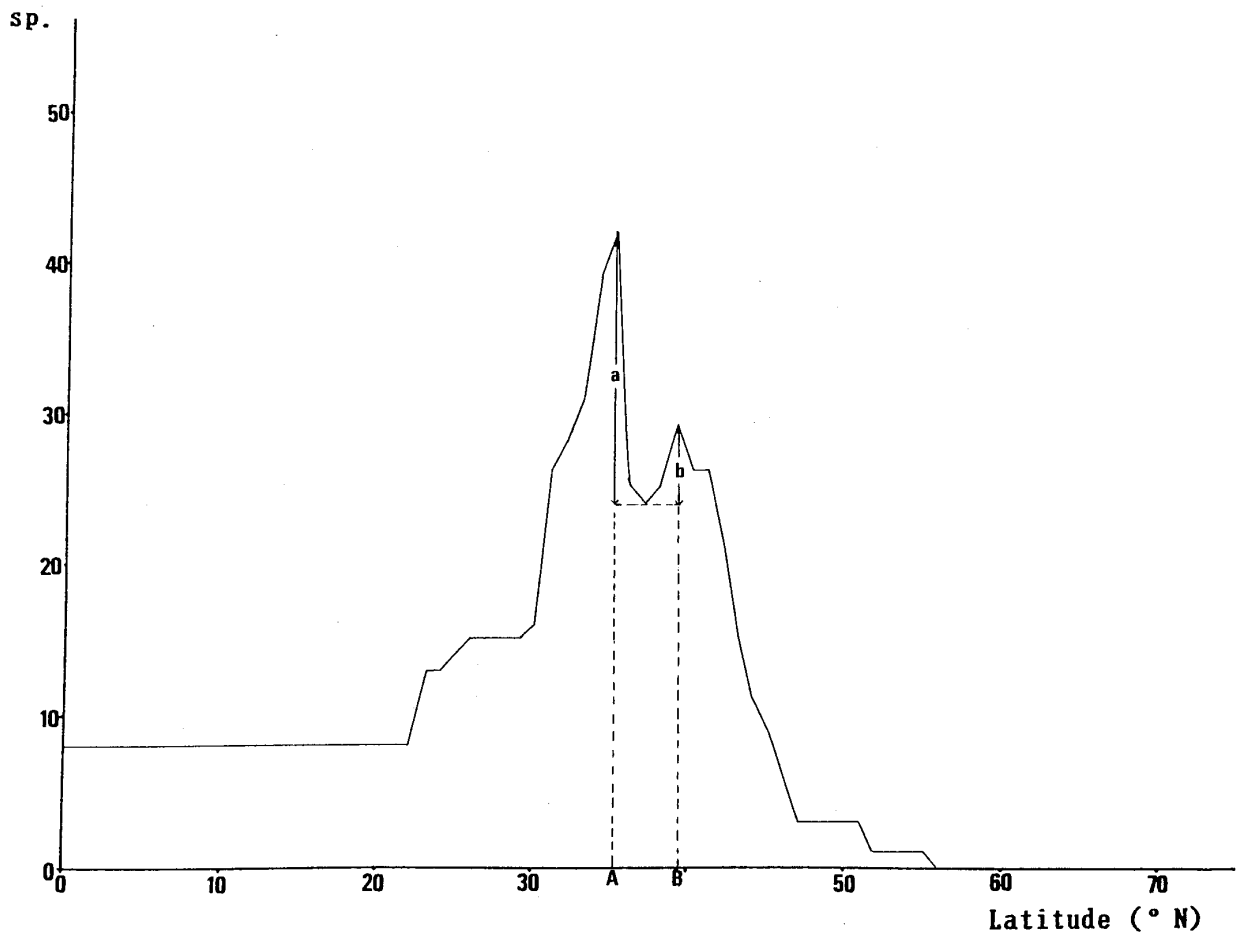


図2. HDM 特性曲線からの古緯度の求め方.

Fig. 2. Method for obtaining the paleolatitude from a HDM characteristic curve.

の、化石産地の緯度が低緯度になるほど、古緯度の値も低くなることが判った。また、現生の遺骸集団中の二枚貝種数と緯度、化石集団中に含まれる二枚貝の種数と古緯度の関係について、検討した結果、図4のように現生の場合にも化石の場合にも二枚貝の種数の対数と緯度、古緯度の間に比較的高い負の相関（相関係数はそれぞれ -0.63 、 -0.78 ）が認められた。理想的には、現生、化石の回帰直線が一致していれば求められた古緯度の値の妥当性を証明できるのだが、実際には回帰直線の傾きは一致しているものの化石集団の方がより種数が多いという結果が得られた。これは現生および化石集団の数が少ないことや、サンプリング方法の不一致、化石では数層準にわたる標本群を1化石集団としてまとめてしまっている可能性がある（例えば大桑層の Loc. 11, 12 など）ためと考えられる。しかし、こうした問題がありながらも回帰直線の傾きが一致している点で、ここで求

めた古緯度が全く妥当性のない値であるとは考えにくい。

化石集団について求められた緯度（太平洋側）に相当する表面水温を、海洋環境図 I から読み取り、各産地の古水温とし、各産地に最も近い日本海沿岸の水温と比較した。その結果、Loc. 2, 13 で現在の水温より若干高い古水温を得られた他は、いずれも現在より $0.5 \sim 3.0^{\circ}\text{C}$ も低い値が得られ、平均して 1.3°C 低いことが判った。特に、東北地方の日本海側から北陸地方まで低い値を示している。一方、太平洋側では $-0.5 \sim 1.0^{\circ}\text{C}$ と日本海側ほど低い値を示していない。また、これらの古水温値に基づき 5°C 毎の等温線を描いた（図5）。

次に、古生物気候帯を復元する方法により古水温を推定した。まず、*Mizuhopecten-Glycymeris* 化石集団の各産地毎に含まれる暖流系種、寒流系種、暖流および寒流域に生息している種の種数比を検討し、円グラフに示した（表6、図6）。西村

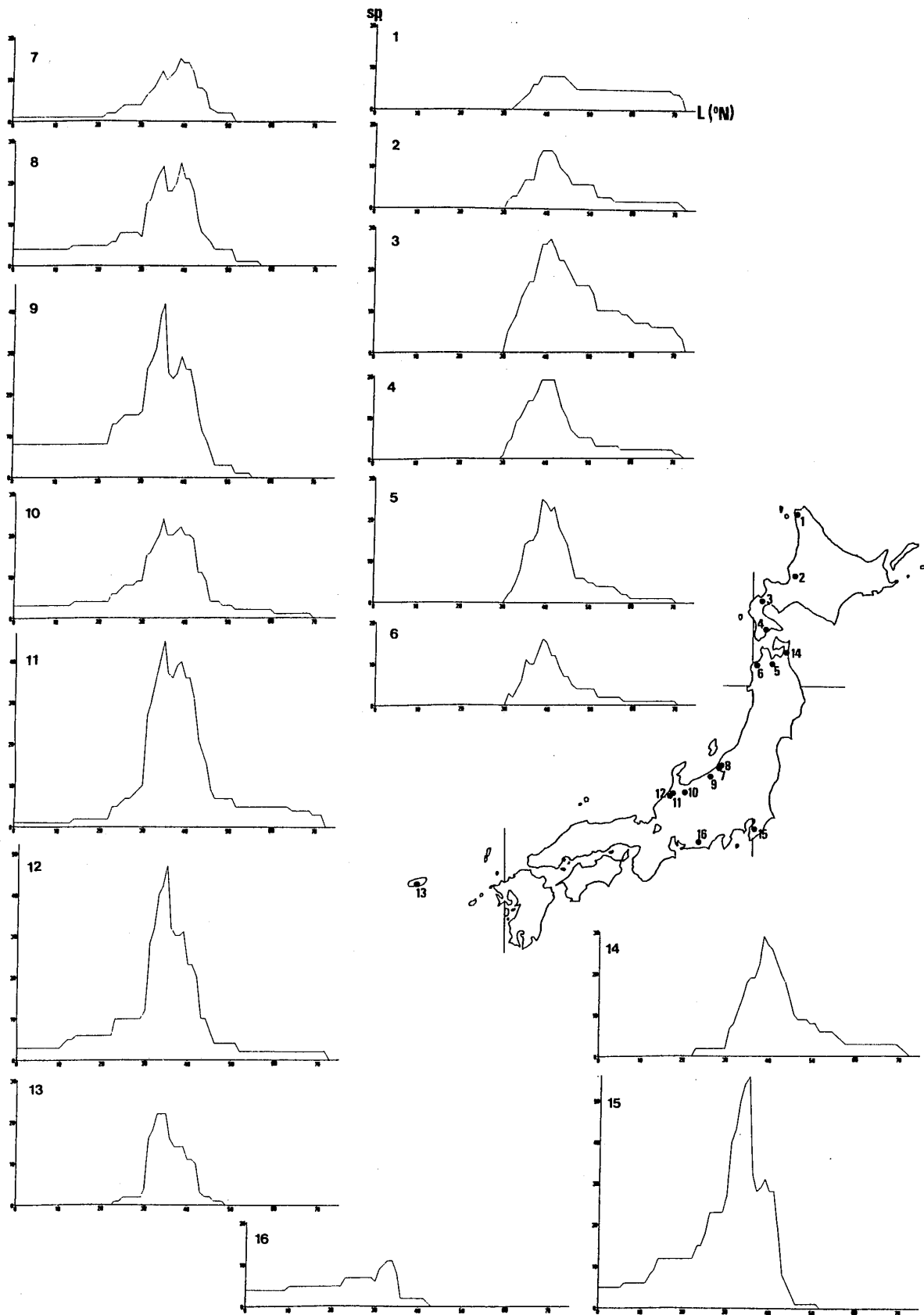


図 3. *Mizuhopecten-Glycymeris* 化石集団, 各産地の HDM 特性曲線.

Fig. 3. The HDM characteristic curves at each locality of *Mizuhopecten-Glycymeris* fossil assemblage.

表 5. *Mizuhopecten-Glycymeris* 化石集団各産地の緯度 (L), 水温 (T), 古緯度 (PL), 古水温 (PT)Table 5. Latitude (L), temperature (T), paleolatitude (PL) and paleotemperature (PT) at each locality of *Mizuhopecten-Glycymeris* fossil assemblage.

Formation	Recent		HDM		
	L(°N)	T(°C)	PL(°N)	PT(°C)	PT-T
1. Sarabetsu	45.2	10.0	42.5	8.0	-2.0
2. Zaimokuzawa	43.3	12.5	40.0	13.0	+0.5
3. Setana	42.7	13.5	41.0	13.0	-0.5
4. Tomikawa	41.8	14.5	40.5	13.5	-1.0
5. Nurusawa	40.8	15.5	39.8	13.0	-2.5
6. Daishaka	40.8	15.5	38.4	14.0	-1.5
7. Haizume (L)	37.5	17.0	37.9	14.0	-3.0
8. Haizume (U)	37.5	17.0	37.2	15.0	-2.0
9. Kota	37.2	17.5	35.9	16.5	-1.0
10. Mita	36.6	18.5	36.3	16.0	-2.5
11. Omma (Kakuma)	36.5	18.5	36.2	16.0	-2.5
12. Omma (Okuwa)	36.5	18.5	35.2	18.0	-0.5
13. Seoguipo	33.0	18.5	34.0	20.0	+1.5
14. Hamada	41.2	13.0	39.0	13.5	+0.5
15. Ichijiku	35.3	18.0	35.4	17.5	-0.5
16. Soga	34.8	20.0	33.5	21.0	+1.0

(1981)によれば, 日本近海は, 北から亜寒帯区, 冷温帯区, 中間温帯区, 暖温帯区, 亜熱帯区に区分されている. このうち, 日本海における冷温帯区と中間温帯区の境界は南方関連要素群(暖流系種)が急激に減衰する境界と一致し, 中間温帯区と暖温帯区の境界は北方関連要素群(寒流系種)が急激に減衰する境界と一致している. こうした観点から, 図6を検討すると, 青森県以北では寒流系種が卓越し, 新潟県以南では暖流系種, 寒流系種とも認められ, いずれの種も50%を越えることがない. また, 済州島でも暖流系種, 寒流系種とも認められている. 寒流系種の種数比等も参考にすると, 当時の冷温帯区と中間温帯区の境界は秋田県から新潟県北部付近にあったと考えられる(図7). 一方, 済州島では暖流系種, 寒流系種とも認められていることからすると, 当時の中間温帯区と暖温帯区の境界は済州島以南にあったことになる. 現在の冷温帯区と中間温帯区の境界は北海道南西部にあり, 中間温帯区と暖温帯区の境界は対馬海峡北方付近にある. したがって, 更新世前期には, 冷温帯区と中間温帯区の境界はかなり南方に, 中間温帯区と暖温帯区の境界はやや南に位

置していた. 現在の日本海での冷温帯区と中間温帯区の境界付近の年平均表面水温は約14°C, 中間温帯区と暖温帯区の境界の年平均表面水温は約17~19°Cである. これをHDM特性曲線法によって描かれた等水温線図(図5)と比較してみると, 新潟県中部に15°Cの等水温線が引かれ, 約14°Cの冷温帯区と中間温帯区の境界線が秋田県から新潟県北部付近にあったとする推定と矛盾していない. 一方, HDM特性曲線法によれば, 済州島付近は更新世前期に20°Cと推定され, 中間温帯であったと考えられるから, 約17~19°C以下であったことになり, 方法による若干の差異が認められる.

亜寒帯区と冷温帯区の境界は西村(1981)によれば, 寒流系種のうちオホーツク・ベーリング要素が卓越している水域の南限に引かれ, 日本海側では現在サハリン最南端に設定されている. ちなみにこの付近の年平均表面海水温は約8~10°Cである. 更新世前期の *Mizuhopecten-Glycymeris* 化石集団中でオホーツク・ベーリング要素と考えられる種 *Cyclocardia paucicostata* (Krause), *Caplacmaea commoda* (Middendorff)はいずれも北海道瀬棚層(図1のLoc.3)以北に分布が限られ

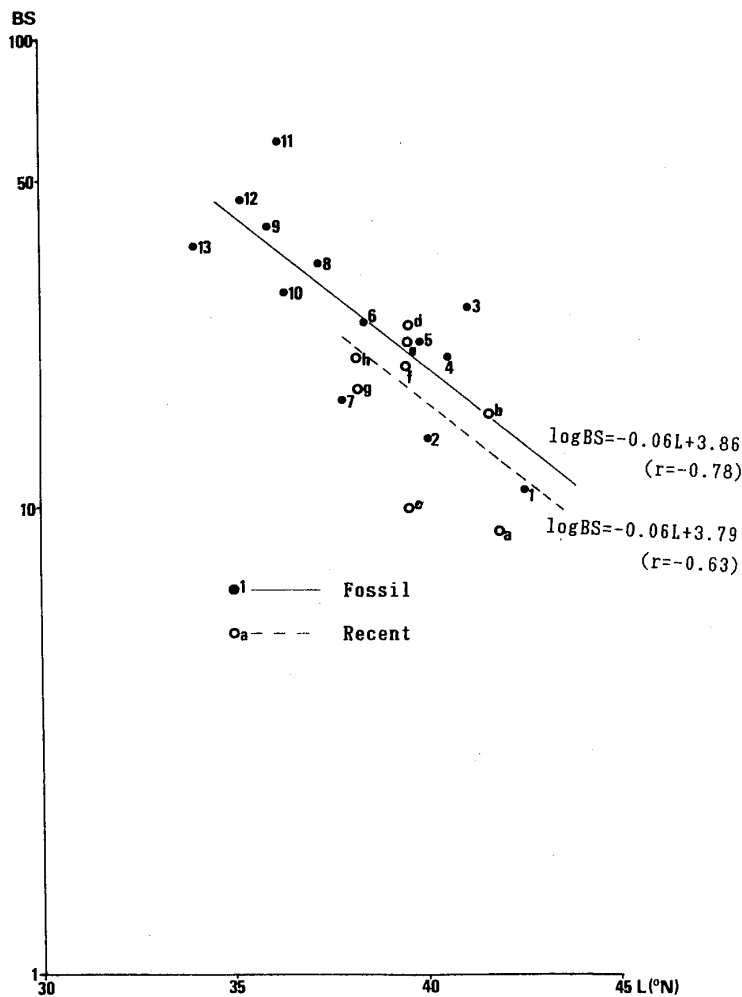


図4. *Mizuhopecten-Glycymeris* 集団にみられる緯度および古緯度 (L) と二枚貝種数 (BS) の関係。

Fig. 4. Bivariate relationship between latitude / paleolatitude and bivalve species diversity of *Mizuhopecten-Glycymeris* assemblage.

ている。また、*Mizuhopecten-Glycymeris* 化石集団に限定しなければ、瀬棚層からは *Chlamys islandica* Müller, *Cyclocardia crassidens* (Broderip et Sowerby), *Acirsa ochotensis* (Middendorff) など多くのオホーツク・ベーリング要素が報告されている (鈴木, 1989)。一方、北海道富川層 (図1の Loc. 4) からはこれらの種は報告されていない (坂上ほか, 1966)。したがって、更新世前期の亜寒帯区と冷温帯区の境界は瀬棚層と富川層の間に設定できそうである。HDM 特性曲線法によれば、10°Cの等温線が北海道北西部に想定されるので、約8~10°Cを示す亜寒帯区と冷温帯区の境界よりもやや北方になるが、現在よりも10°Cの等温線が南下していた点では一致している。

以上まとめると、HDM 特性曲線を用いた法で

も、古生物地理区を復元する方法でも更新世前期の日本海側では現在よりも表面水温が低く、特に新潟県中部から北陸地域にかけては年平均表面水温が約2°Cほど低かったと考えられる。

大桑・万願寺動物群が寒流系の動物群であるとの指摘はすでに Otuka (1939b) によってなされている。しかし、具体的な生息水温は述べられていない。また、的場 (1978), Ogasawara (1981) は暖流系有孔虫および貝化石の存在から、後期中新世後期より更新世前期にかけて、間欠的に古対馬海峡が開いて、暖流が古日本海に流入したことを指摘した。その後、Kitamura (1991) は大桑層の貝化石群集の解析により、1.2Ma以降の古対馬海峡の開閉を氷河性海水準変動と関連させて述べている。

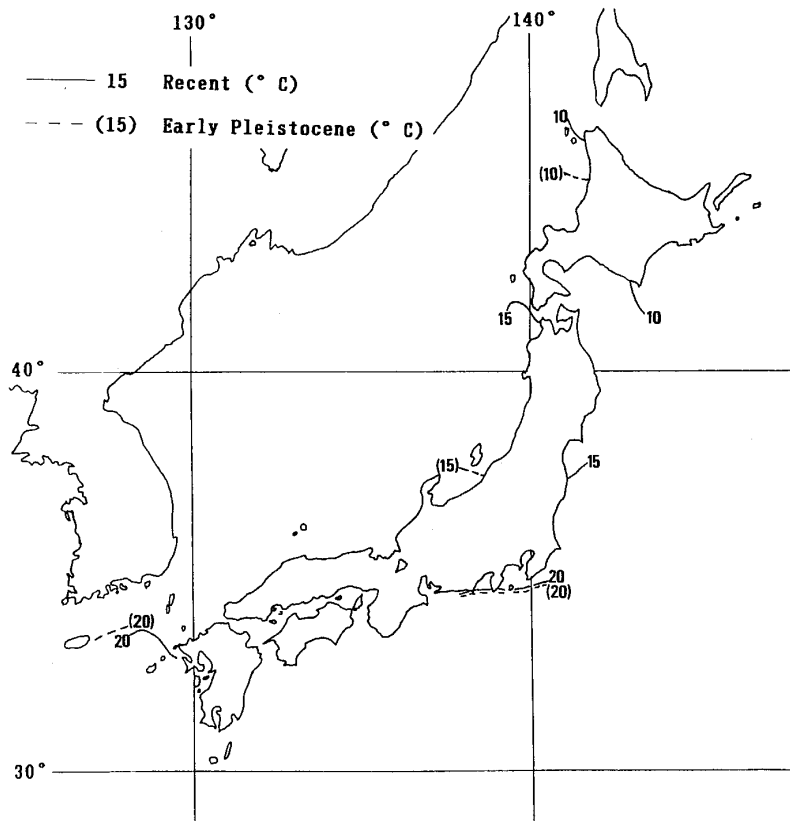


図5. HDM 特性曲線法による更新世前期の平均表面海水温。

Fig. 5. The average of sea surface temperature during Early Pleistocene, used by the HDM characteristic curve method.

今回の結果は、これまで具体的に指摘されていない更新世前期の大桑・万願寺動物群の生息水温を明らかにしたこと、日本海沿岸地域では現在よりも暖流の影響が小さかったことを具体的に示唆している点で意義がある。例えば、新潟県の灰爪層上部の Loc. 8 は大山・石山 (1974) が暖流系種を多くの認めた層準であるが、ここでも現在より 2°C 低い年平均表面水温値が得られている。こうした暖流の影響が小さかった理由は太平洋側では日本海側ほど低い古水温値が得られていないことなどから古対馬海峡の幅や水深に原因が求められる。

方法の問題点

今回、貝化石を用いて具体的に古水温を示したが、研究を進める過程でいくつかの問題点が明らかとなった。まず、ここでは HDM 特性曲線方法を用いたが、この方法は化石集団中に含まれる現生種の分布に基づいている。更新世前期でも化石集

団中にしめる現生種の割合は場所により異なる (表 6)。このため、ある産地では全化石集団中の 53.8% の種のデータしか使用できず、反対に別の産地では 94.4% も使用できた。ここで除外された種の地理的分布を無視してもよいかどうか疑問が残されている。

次に、HDM 特性曲線方法では、現生種の緯度分布をそのまま用いた。前述したように、現在亜寒帯以北に生息する種は更新世前期には北海道の南西部以北に認められている。しかし、この時代の浅海性種について検討したところ、北極-北大西洋要素である *Mya truncata* Linné が石川県大桑層角間から採集され、Kaseno and Matsuura (1965) によりオホーツク・ベーリング要素である *Macoma middendorffi* Dall がやはり大桑層から報告されていることが判った。これらの種は現在の地理的分布からみて共存できない多くの暖流系種を伴っており、当時はより南方にまで分布していたと考えざるをえない。また、この問題は現

表 6. *Mizuhopecten-Glycymeris* 化石集団, 各産地の種数および寒流・暖流系の種数.

S, 種数; ES, 現生種; BS, 二枚貝種数; WS, 暖流系種数; CS, 寒流系種数; CW, 暖流および寒流域に生息する種の数.

Table 6. Number of species and species ratio of cold current to warm current species at each locality of *Mizuhopecten-Glycymeris* fossil assemblage.

S, number of species; ES, number of extant species; BS, number of bivalve species; WS, number of warm current species; CS, number of cold current species; CW, number of species living both in cold and warm water current.

Formation	S	ES	ES/S%	BS	WS	CS	CW
1. Sarabetsu	14	9	64.3	11	0	9	0
2. Zaimokuzawa	17	14	82.4	14	0	11	3
3. Setana	36	34	94.4	27	0	24	10
4. Tomikawa	35	21	60.0	21	0	14	7
5. Narusawa	52	28	53.8	23	0	23	5
6. Daishaka	28	18	64.3	25	1	14	3
7. Haizume (L)	28	18	64.3	17	2	8	8
8. Haizume (U)	66	34	51.5	33	6	15	13
9. Kota	73	52	71.2	40	19	16	17
10. Mita	38	30	78.9	29	6	13	11
11. Omma (Kakuma)	105	57	54.3	61	12	28	17
12. Omma (Okuwa)	79	52	65.8	46	18	13	21
13. Seoguipo	44	30	68.1	36	8	7	15
14. Hamada	70	29	41.4	44	0	18	11
15. Ichijiku	88	63	71.6	46	30	12	21
16. Soga	23	18	78.3	14	9	1	8

生貝類の太平洋側での地理的分布が水温により大きく支配されているもののそれ以外の環境要素の影響も無視できないことと関連している可能性がある。ここで挙げたような明らかに違う分布を示す種は少ないが、更新世前期ですらこうした種があることを考えるとそれ以前の時代に HDM 特性曲線方法を適用するには十分な注意を必要とすることを示唆している。

第三の問題は時代論についてである。ここでは更新世前期として一括して扱ったが、増田 (1991) が総括しているように更新世中期以降ほどではないが、この時代にも酸素同位体の規則正しい変動がみられる。したがって、ここで推定した古水温はそれらの平均化したものを表すと考えられる。また、将来、各地の化石集団の時代の精度を上げていけばそうした変動もとらえられるかも知れない。しかし、より精度が上がった場合でも、ここで推定した各産地の現在との水温の差の値は有効であろうと考えられる。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、ご討論いただき、有益なご助言をいただいた筑波大学の小笠原憲四郎教授に厚く感謝の意を表す。また、大阪大学の増田富士雄助教授、京都大学の北村晃寿博士には有意義なご批判、ご助言をいただいた。記してお礼申し上げる。

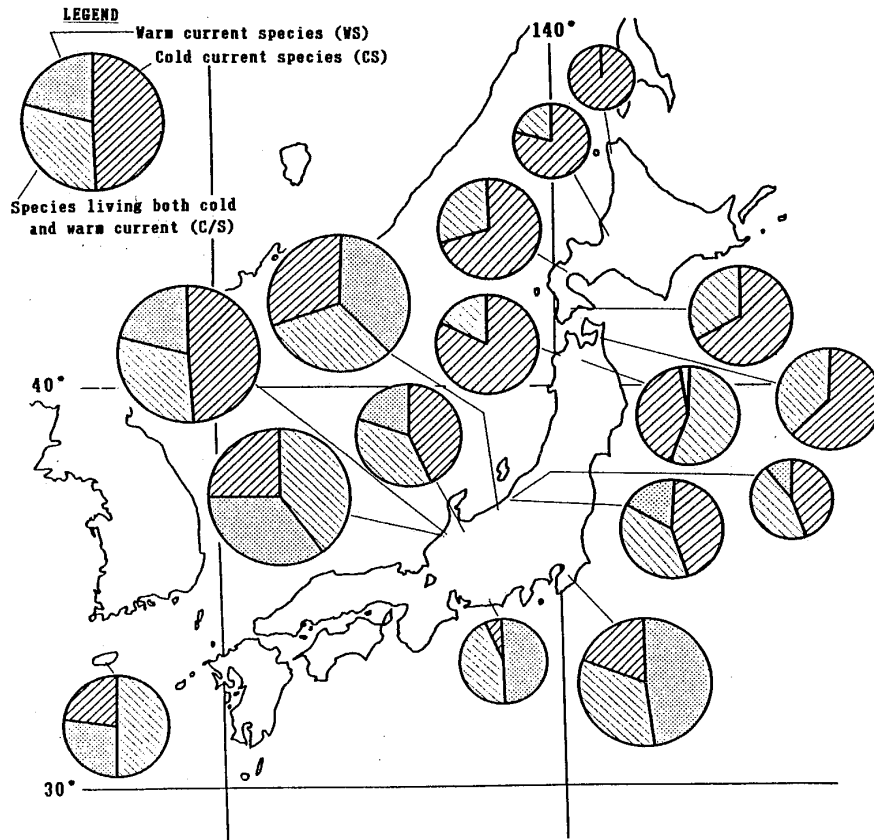


図 6. *Mizuhopecten-Glycymeris* 化石集団中において寒流系種, 暖流系種のしめる割合.

Fig. 6. The species ratio of warm current and cold current species in the *Mizuhopecten-Glycymeris* fossil assemblage.

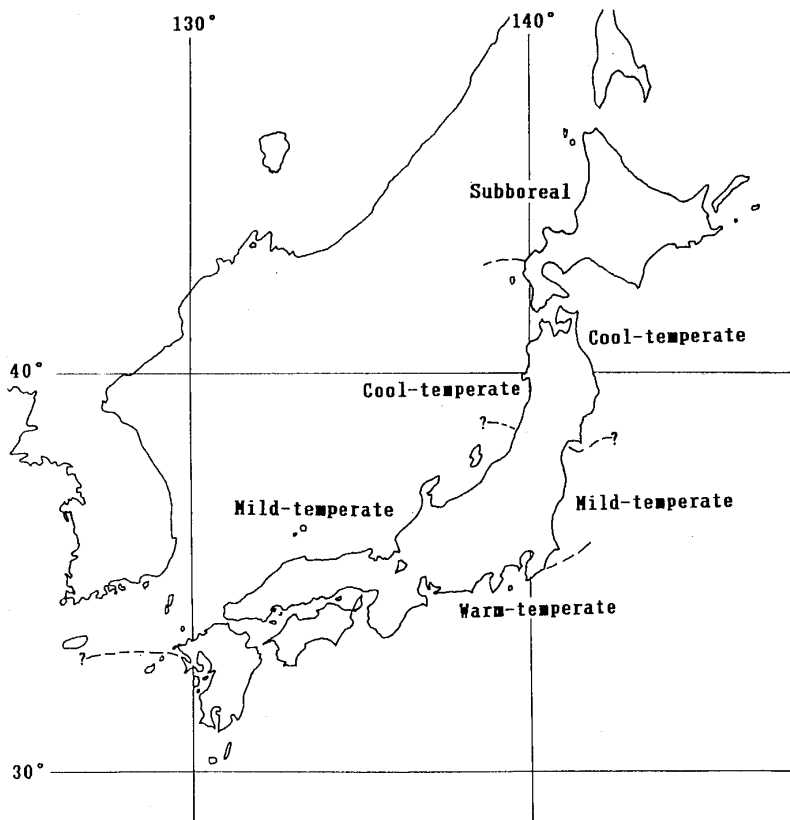


図 7. 更新世前期の古生物気候帯区分.

Fig. 7. The climato-geographical division during Early Pleistocene.

文 献

- 赤松守雄, 1984: 北海道石狩丘陵から産出する“いわゆる獅子内動物群”について. 北海道開拓記念館研究年報, (12), 1-33.
- 馬場勝良, 1990: 関東地方南部, 上総層群の貝化石群. 445pp. 慶應義塾幼稚舎, 東京.
- Chinzei, 1986: Marine biogeography in northern Japan during the early Middle Miocene as viewed from benthic molluscs. *Spec. Pap. Palaeont. Soc. Japan*, (29), 161-171.
- Gladenkov, Yu. V. and Sinelnikova, V. N., 1990: Miocene mollusks and climatic optimum in Kamchatka. *Trans. Geol. Inst.*, **453**, 1-174. (in Russian).
- 波部忠重, 1997: 日本産軟体動物分類学 二枚貝綱/掘足綱. 372pp. 北隆館, 東京.
- Hatai, K., Masuda, K. and Suzuki, Y., 1961: A note on the Pliocene megafossil fauna from the Shimokita Peninsula, Aomori Prefecture, Northeast Honshu, Japan. *Saito Ho-on Kai Mus., Res. Bull.*, (30), 18-38.
- 肥後俊一, 1973: 日本列島周辺海産貝類目録. 397pp. 長崎県生物学会, 長崎.
- 伊田一善, 1956: 貝化石群集の特性曲線について. 地調月報, **7**, 15-20.
- 石山尚珍, 1970: 浅虫・函館・恵山岬周辺における貝類の生息環境の比較についての研究. 地調月報, **21**, 1-22.
- , 1972: 宮古湾と山田湾における貝類の生息環境の比較について. 地調月報, **23**, 17-34.
- 糸魚川淳二, 1984: 軟体動物化石から見たデスモスチルス類の生息古環境. 地団研専報, (28), 35-43.
- ・津田禾粒, 1986: 中新世熱帯系貝類群集の古生態的特性 —特にマングローブ沼群集について—. 瑞浪市化石博物館専報, (6), 171-182.
- Iwai, T., 1965: The geological and paleontological studies in the marginal area of the Tsugaru basin, Aomori Prefecture, Japan. *Bull. Educ. Fac., Hirosaki Univ.*, (15), 1-68.
- Kanno, S., 1955: Faunal analysis of the molluscan fauna from the raised beach deposits of Kamakura, Kanagawa Prefecture. *Sci. Rep. Tokyo Kyoiku Daigaku, Sec. C*, (28), 23-47.
- Kaseno, Y. and Matsuura, N., 1965: Pliocene shells from the Omma Formation around Kanazawa City, Japan. *Sci. Rep. Kanazawa Univ.*, **10**, 27-62.
- Kitamura, A., 1991: Paleoenvironmental transition at 1.2Ma in the Omma Formation, Central Honshu, Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S.*, (162), 767-780.
- 小林巖雄・八幡とも子・杉本静子・伊豫田成子, 1986: 新潟県西山油帯における灰爪累層の軟体動物化石群. 瑞浪市化石博物館専報, (6), 105-118.
- Kuroda, T. and Habe, T., 1952: Check list and bibliography of the recent marine Mollusca of Japan. 210 pp. Hosokawa Print. Co., Tokyo.
- Marincovich, L., 1983: Molluscan paleontology, paleoecology, and North Pacific correlations of the Miocene Tachilni Formation, Alaska Peninsula, Alaska. *Bull., Amer. Paleont.*, **84**, 59-155.
- 増田富士雄, 1991: 古気候変動史から見た現在. 地学雑, **100**, 976-987.
- Masuda, K., 1971: On some *Patinopecten* from North America. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S.*, (83), 166-178.
- , Hayasaka, S. and Noda, H., 1983: Shell bearing molluscs in Sendai Bay, Northeast Honshu, Japan. *Saito Ho-on Kai Mus., Res. Bull.*, (51), 1-39.
- Matsui, S., 1990: Pliocene-Pleistocene molluscan associations in the North-Central Japan and their relationship to environments. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S.*, (160), 641-662.
- 松居誠一郎・高山俊昭・菅原晴美・山口寿之・田吹亮一, 1990: 大桑一万願寺動物群の時代の石灰質ナンノ化石による再評価とその意義. 日本古生物学会1990年年会講演予稿集, 82.
- 的場保望, 1978: 底棲および浮遊性有孔虫からみた日本海古環境の変遷. 海洋科学, **10**, 269-277.
- 松島義章・大嶋和雄, 1974: 縄文海進期における軟体動物群集. 第四紀研究, **13**, 135-159.
- Matsuura, N., 1977: Molluscan fossils from the Late Pleistocene marine terrace deposits of Hokuriku Region, Japan Sea side of Central Japan. *Sci. Rep. Kanazawa Univ.*, **22**, 117-162.
- 松浦信臣, 1985: 北陸地方の鮮新世から完新世に至る軟体動物群集の変遷. 瑞浪市化石博物館報, (12), 71-158.
- 水野敏明・天野和孝, 1988: 上越市の居多層産軟体動物群 —新潟県上越市西部の軟体動物化石の研究(その4)—. 瑞浪市化石博物館報, (14), 73-88.
- 日本第四紀学会編, 1987: 日本第四紀地図解説. 119pp. 東海大出版会, 東京.
- 西村三郎, 1981: 地球の海と生命. 284pp. 海鳴社, 東京.

- 野田浩司・天野和孝・間島隆一・伊藤 慎・菅野三郎, 1982: 北海道天塩町周辺の地質及び古生物概報. その3; 抜海南部から産出した鮮新世貝化石. 北方科学調査報告, **3**, 1-15.
- 延原尊美, 1990: 掛川層群曾我累層の軟体動物化石群集の水平分布 — 曾我凝灰岩層を鍵層として —. 瑞浪市化石博物館報, (17), 79-91.
- Nomura, S., 1932: Mollusca from the raised beach deposits of the Kwanto Region. *Sci. Rep., Tohoku Imp. Univ., 2nd Ser.*, **15**, 65-141.
- Ogasawara, K., 1981: Paleogeographic significance of the Omma-Manganzian fauna of the Japan Sea Borderland. *Saito Ho-on Kai Mus., Res. Bull.*, (49), 1-17.
- 小笠原憲四郎, 1988: 東北日本の暖・寒流系貝類の消長からみた新第三系の生物事件. 土隆一・千地万造・高柳洋吉編, 新第三紀における生物の進化・変遷とそれに関するイベント, 49-70. 大阪市立自然史博物館, 大阪.
- 生越 忠, 1959: 千葉県君津郡富来田町当日の地蔵堂砂層から産する軟体動物化石の混合の型について. 地質雑, **65**, 31-45.
- , 1961: 軟体動物化石群集の特性曲線の古生態学的意義について. その1. HDM 特性曲線の古生態学的意義について. 地質雑, **67**, 205-220.
- , 1962 a: HDM 特性曲線と Median of Midpoints. 地質雑, **68**, 649-661.
- , 1962b: Median of Midpoints による群集の性格指示法の有効性についての日本の諸学者の見解. その1. 従来の諸見解. 地質雑, **68**, 694-707.
- , 1963a: Median of Midpoints による群集の性格指示法の有効性についての日本の諸学者の見解. その2. 筆者の補足的見解. 地質雑, **69**, 99-115.
- , 1963b: 軟体動物化石群集の特性曲線の古生態学的意義について. その3. ふたたび, HDM 特性曲線の古生態学的意義について. 地質雑, **69**, 445-464.
- Otuka, 1939a: Mollusca from the Cainozoic System of eastern Aomori Prefecture, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **46**, 23-31.
- , 1939 b: Tertiary crustal deformation in Japan (with short remarks on Tertiary paleogeography). *Jubl. Publ. Comm. Prof. H. Yabe's 60th Birthday, vol. 2*, 481-519.
- 大山 桂, 1951: 小柴層の化石群集について (予報). 資源研彙報, **24**, 55-59.
- ・石山尚珍, 1974: 古生態学の立場からみた新潟油田の大型化石の概要. 地調報告, no. 250-1, 279-283.
- 坂上澄夫・高野 尚・佐々木昭雄・西陰敏夫・市戸靖二・小関俊介・篠原 弘・田仲隆一・下川部英明・高橋靖志・高下慶雄・林 俊彦, 1966: 北海道渡島半島上磯付近の富川層の化石について. I. 軟体動物その他. 北海道教育大紀要 (第二部 B), **17**, 78-93.
- Schenck, H. G., 1945: Geologic application of biometrical analysis of molluscan assemblages. *Jour. Paleont.*, **19**, 504-521.
- and Keen, A. M., 1937: An index method for comparing molluscan faunules. *Proc. Amer. Philos. Soc.*, **77**, 161-182.
- 鈴木明彦, 1989: 西南北海道黒松内地域の瀬棚層の貝類化石群. 地球科学, **43**, 277-289.
- 土隆一編, 1979: 日本の新第三系の生層序及び年代層序に関する基本資料. 156pp.
- 氏家良博, 1976: 広島・岡山両県の北部に分布する中新統備北層群の堆積環境について. 地質雑, **82**, 51-67.
- Yokoyama, M., 1911: Climatic changes in Japan since the Pliocene Epoch. *Jour. Geol. Soc. Tokyo*, **18**, 1-18.
- , 1920: Fossils from the Miura Peninsula and immediate north. *Jour. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo*, **39**, 1-198.
- Yoon, S., 1988: The Seoguiipo molluscan fauna of Jeju Island, Korea. *Spec. Pub., Saito Ho-on Kai Mus.*, (2), 539-545.