

ISSN 0022-9202

化石 55

平成 5 年 11 月

Palaeontological
Society of Japan



日本古生物学会

「化石」編集委員会(1993-1994 年度)

委員長：速水 格，副委員長：山口寿之，幹事：大路樹生

編集委員：石崎国熙，北里 洋，小澤智生，前田晴良，松岡數充

「化石」の編集方針

簡潔にまとめた次のような内容の原稿を歓迎します。投稿規定は従来のものを遵守しますので，奮ってご投稿下さい。

1. 論 説

広い意味での古生物学に関するオリジナルな論文（内容が同著者の既出版または投稿中の欧文論文と著しく重複するものや，通常欧文で書くことになっている分類学的記載などの内容の論文は除く）。刷り上がり 4 ページ以内のものは短報とする。

2. 総 説

- 1) 広い意味での古生物学に関連するテーマ（学史・テクニクを含む）について論評し，そのテーマについて広く知見と展望を提供するもの（編集部が研究者に執筆を依頼することもある）
- 2) 日本古生物学会が主催・共催したシンポジウムなどの要約（コンビーナーなどが全体をまとめたもの）

3. 討 論

古生物学上の問題について質疑・応答をまとめた記事（編集部がとりつぐことがある）

4. 書 評

広い意味での古生物学に関する重要な著書や論文の紹介・論評

5. ニュースなど

- 1) 古生物の研究者・同好者に広く知らせる意義がある情報
- 2) 世界の古生物学界の動向（国際会議を含む）に関する情報
- 3) 古生物学上の重要な新知見や有用なテクニクに関する情報
- 4) 内外の研究機関・学術団体・ワーキンググループの活動の紹介
- 5) 祝賀文・紀行文・追悼文
- 6) 各地の化石同好会などの活動に関する記事
- 7) 会員・友の会会員による連絡・案内・希望・意見（化石茶論）
- 8) その他，速報する意義のある記事

6. 学会記事

- 1) 日本古生物学会の年会・例会など運営・活動に関する記事
- 2) 同学会の規則など
- 3) 同学会からの会員への連絡・案内
- 4) 会員名簿

投稿・問い合わせは下記をお願いします。

〒113 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学理学系研究科地質学専攻内 化石編集部 大路樹生
(☎ 03-3812-2111 内線 4521), (FAX 03-3815-9490)

化石 55号

1993年11月

目次

論説

- 珪藻温度指数 Td 値の特性について……………柳沢幸夫 1
- 古琵琶湖層群から産出した鳥類足跡化石…………岡村喜明・高橋啓一・琵琶湖博物館資料調査協力員 9
- 底生有孔虫からみた日本の周辺海域の水溫分布—新生代海洋構造の解明に向けて…………長谷川四郎 17
- シンポジウム特集 新生代化石生物温度計の試み—その論理と適用 (その2)
- 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 34
- 軟体動物に基づく古水温推定に関するコメント……………鎮西清高 49
- 東北日本太平洋側における中新世中～後期の珪藻温度指数と海表水温……………丸山俊明 53
- 海洋微化石による生物温度計への試み—鮮新世石灰質ナンノ化石を例に……………田中裕一郎 65

総説

- 裸子植物の系統復元に関する最近の研究……………斎木健一 77

書評

- 池谷仙之・山口寿之著 進化古生物学入門 甲殻類の進化を追う……………間島隆一 16

化石茶論

- どこか、頭の隅にでも入れておいてください……………矢島道子 52

- ニュース……………85

- 学会記事……………90

日本古生物学会

小島郁生編／犬塚則久・山崎信寿・杉本剛・瀬戸口烈司・木村達明・平野弘道著

恐竜学

A5 判 360 頁 4635 円

7人の日本の研究者がそれぞれの独特の研究の視点からダイナミックに恐竜像を描く。

小島郁生著

白亜紀の自然史

A5 判 240 頁 2472 円

科学は1億年の眠りを破れるか。太古の自然はわれわれになにを伝えようとしているのか。

坂井建雄著

からだの自然誌

A5 判 220 頁 2266 円

みえている人体をなぜ考えるのか。科学的態度にせまる新しい自然学の提唱。

日本第四紀学会編

第四紀試料分析法

A5 判 88 頁+ 574 頁
9785 円

第四紀研究に用いられる分析法について、試料採取法からその原理・適用条件・問題点などをまとめる。

木村敏雄・速水 格・吉田鎮男著

日本の地質

B5 判 370 頁 8240 円

日本列島を形成している堆積層、火成岩、変成岩などの種類や分布、時代や形成の仕方を時代ごとに詳述。

糸魚川淳二著

日本の自然史博物館

A5 判 240 頁 4120 円

自然史博物館を中心にケーススタディーを行い、そこから特徴と問題点を抽出し、博物館の未来を探る。

池谷仙之・山口寿之著

進化古生物学入門

UP バイオロジー 93

四六判 160 頁 1648 円

甲殻類の進化を追う

化石種から現生種にいたる甲殻類を追うことにより、生物の進化について解説する。

東京大学出版会

〒113 東京都文京区本郷 7-3-1 東大構内 振替東京 6-59964
Tel (03) 3811-8814 Fax (03) 3812-5958

珪藻温度指数 Td 値の特性について

柳 沢 幸 夫*

Note on diatom temperature index (Td)

Yukio Yanagisawa*

Abstract Diatom temperature index (Td) which was introduced by Kanaya and Koizumi (1966) as a proxy of sea surface temperature is discussed on its sensitivity to temperature. The Td value is calculated as $Td = X_w / (X_w + X_c)$, where X_w and X_c are frequencies of warm and cold water species, respectively. The sensitivity of this index to temperature is not uniform, but greatly variable geographically; Within mixed water region, it is sensitive enough to be used as a reliable thermometer, but the Td value is much insensitive in warm or cold current region, not reflecting a temperature change. This variable sensitivity of the Td value inevitably deforms the signal of paleotemperature fluctuation when the signal is outputted as diatom temperature curves in analyses of piston cores. Td curves are contorted to a greater or less extent, producing characteristic patterns unique to the location of the cores. If the analyzed core is consistently located within the cold or warm water region, Td value records no paleotemperature signals and produces an almost flat Td curve. When the core is situated within the mixed water region throughout the time, the Td curve may well reflect a temperature oscillation. If the core is located near the northern front of the mixed water region, paleotemperature fluctuations may be slightly distorted and recorded as an alternation of pointed narrow peaks in warmer periods and truncated broad valleys in colder periods. On the contrary, if the core is near the southern limit of the mixed water region, Td curve may be a series of truncated broad hills in warmer periods and narrow troughs in colder periods. These characteristic patterns are clearly recognized in the Holocene Td curves of three piston cores obtained from Japan Sea. It should be remembered, when we interpret Td curves, that the signals of paleotemperature change are to a greater or less degree deformed in the Td curves.

1. はじめに

珪藻温度指数 (Td) は、珪藻を使って海洋表層の水温分布を復元するために、Kanaya and Koizumi (1966) によって導入された指数である。これとは別に、統計学的手法を用いて化石群集から古水温などの過去の海洋環境パラメータを推定する方法としては、Imbrie and Kipp (1971) によって開発された Transfer function による方法があり、浮遊性有孔虫化石により古環境復元に成功している。この方法は、珪藻化石についても幾つかの海域でその適用が試みられており、古海洋環境の推定に有効なことが実証されている (San-

cetta, 1979; Pichon *et al.*, 1987; Schrader and Karpuz, 1990; Karpuz and Schrader, 1990)。

珪藻温度指数 (Td) は、Transfer function とは異なり、正確に水温を復元することは難しく、むしろ寒暖の変化や暖流・寒流の消長などのおおまかな目安を与えるにすぎないが、簡単な式で表されるにもかかわらず、水温の変化をかなり鋭敏に反映している。このため、珪藻温度指数およびそれに類似した指数は、過去における海洋表層の海況を明らかにするための1つの有力な手法として広く適用されてきた。特に、石灰質微化石の産出に乏しい北太平洋中一高緯度域では、古海洋環境の復元に珪藻化石群集に基づく手法が最も有効な手段であることもあり、その有用性が多くの研究で実証されてきた (たとえば、Kanaya and

*地質調査所地質部

1993年4月19日受付, 1993年8月27日受理

Koizumi, 1966; Tanimura, 1981a; 谷村, 1981b; Koizumi, 1985, 1986, 1989; 小泉, 1987, ; Chinzei *et al.*, 1987; 丸山, 1992; Barron, 1992).

しかしながら、珪藻温度指数は一次式で定義されるにもかかわらず、水温との相関関係が直線的でなく、水域によって水温に対する感度が大きく異なっている。この特性のために、水温の変化が、場合によってはかなり歪められた形で Td 値に表れてくることが予想される。このような珪藻温度指数の特性と水温信号の歪みは、この指数の定義からほとんど自明のことも見える。しかし、こうした点に関しては、これまでほとんど表だって議論されたことはなかった。

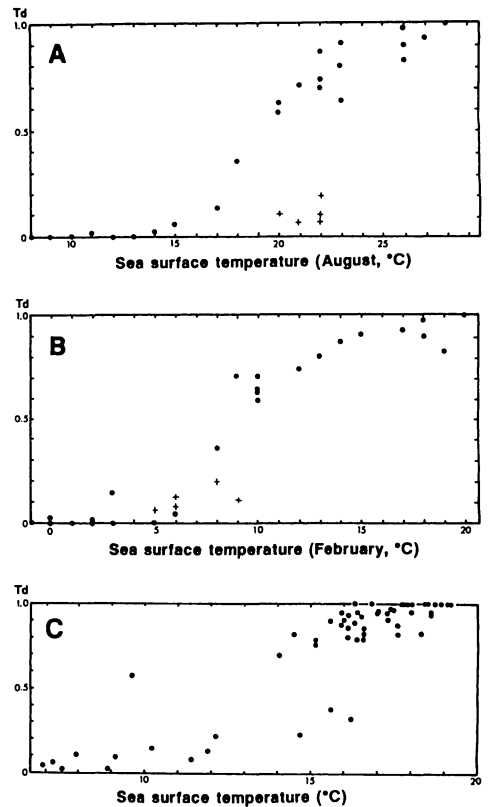
珪藻温度指数は、原始的な指数であり、現世に比較的近い年代範囲では、古環境復元の能力は Transfer function に遠く及ばない。しかし、この指数は、寒冷種または温暖種であることが地理的な分布などから確実に判定できれば、絶滅種であっても式の算定に組み入れることが原理的に可能であるため、より古い時代、たとえば現生種が少なくなり Transfer function の適用が難しくなってくる鮮新世や中新世、あるいはそれ以前の珪藻化石群集についても使用可能であり、適用範囲がより広いという利点がある。実際、Barron (1992) および丸山 (1992) はすでに、絶滅種を含んだ珪藻温度指数を用いて、それぞれ鮮新世および中新世の古環境を議論している。従って、この指数が、今後とも古環境復元の有力な武器の1つとして、引き続き広く使われて行くものと予想される。このため、珪藻温度指数の特性について詳しく検討しておくことは、この手法に基づいて古環境復元をするために是非とも必要であると考えられる。

小論では、珪藻温度指数の特性を調べ、それに基づいて環境変動の入力信号がこの特性のためにどのように変形されるかを検討する。そして、分析の行われた地点の地理的な位置によって特徴的な Td カーブが表れることを明らかにする。さらに具体的な例として、完新世における対馬暖流の脈動に伴う変動 (小泉, 1986 ; Koizumi, 1989) を取り上げ、特徴的な Td カーブが実際に見られることを示す。

2. 珪藻温度指数 (Td) の特性

珪藻温度指数は、次の式で表される (Kanaya and Koizumi, 1966).

$$Td = Xw / (Xc + Xw)$$

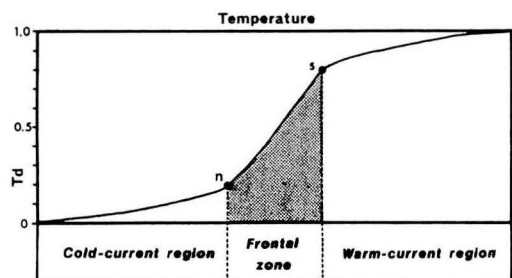


第1図 珪藻温度指数 (Td 値) と表層水温との関係。A, B: 北西太平洋のコアトップの Td 値と夏 (8 月) および冬 (2 月) の表層水温との関係。Kanaya and Koizumi (1966) の Fig. 6 による。C: 日本海の表層試料の Td 値 (R 値) と平均表層水温との関係。Tanimura (1981a) の Fig. 21 による。

Fig. 1. Graphs showing the relationship between the Td value and sea surface water temperature. A, B: Graphs showing the relationship between the Td value and the surface temperature in summer (August) and winter (February) in the northwest Pacific, respectively (after Kanaya and Koizumi, 1966, fig. 6). C: Graph showing the relationship between the Td value (R value) and the mean sea surface temperature in Japan Sea (after Tanimura, 1981a, fig. 21).

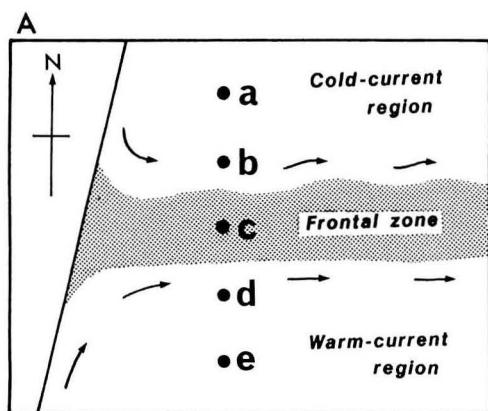
ここで、Td は珪藻温度指数、Xw および Xc は遺骸または化石群集中に占める暖流系および寒流系種の頻度を表す。Td 値は、その場所での表層水温とよく対応することがわかっている。第1図 A、B は、Kanaya and Koizumi (1966) が、北太平洋の底質試料から得られた Td 値をその場所での8月および2月の表層水温に対してプロットしたものである。また、第1図のCは、Tanimura (1981a) が、日本海の表層試料を使って、Td 値(ただし、この論文ではR 値としている)と平均表層水温との関係を図示したものである。

これらの図からわかるように、Td 値と表層水



第2図 珪藻温度指数 (Td 値) と表層水温との一般的な関係を示す図.

Fig. 2. Graph showing the general relationship between the Td value and sea surface temperature.

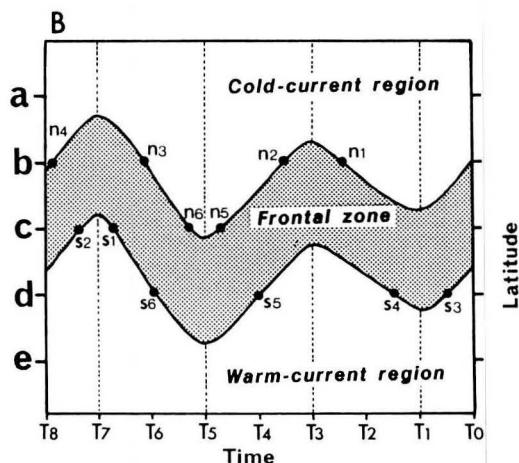


第3図 A 水域の分布とコアの位置.

Fig. 3 A. Distribution pattern of current regions and the location of cores.

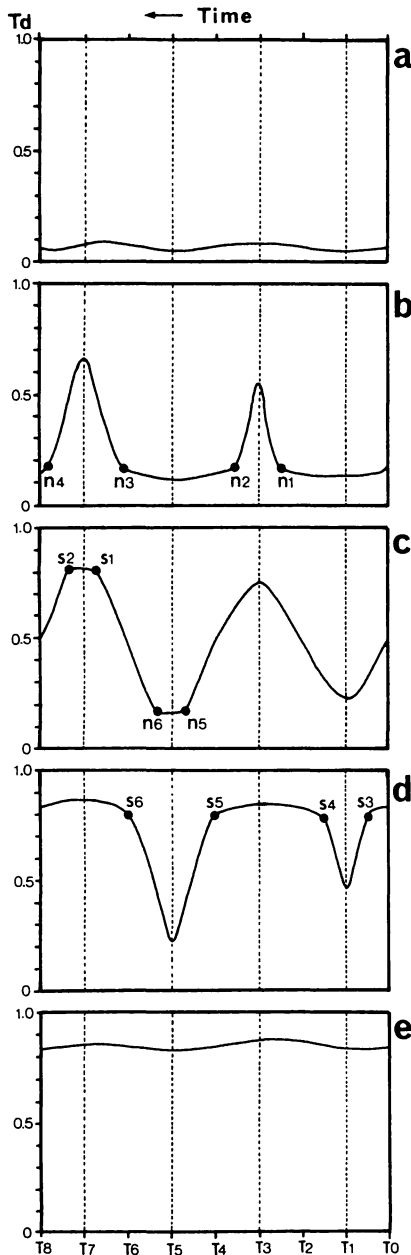
温との間には明瞭な相関関係があることがわかる。しかし、両者の関係は明らかに直線的な関係ではない。大きくみると両者の関係は、第2図に示すように、シグモイド様の曲線になっているとみなすことができる。すなわち、n 点および s 点の2つの変曲点があり、この2点を境界にして、Td 値の表層水温に対する感度が大きく異なっている。この2点によって区切られる水温領域は Tanimura (1981a) が詳しく述べているように、n 点より低温側が寒流域 (cold-current region), s 点より高温側が暖流域 (warm-current region), そして n 点と s 点の間の領域は前線帯 (frontal zone) または混合水域 (mixed water region) に相当する。また、n 点と s 点は前線帯の北と南の境界、すなわち北西太平洋では、それぞれ親潮前線および黒潮前線にあたる。なお、Tanimura (1981a) は、現在の日本海では、n 点および s 点の Td 値は、それぞれ 0.15 および 0.8 程度になるとしているが、この値は、海域および時代により変化するようである。

Td 値が n 点より低い寒流域では、珪藻群集のうち Td 値の算定に使用される珪藻種群は、ほとんど寒流系種のみからなるので Td は低く、しかも水温が変化しても Td 値はほとんど変化せず、温度計としての Td 値はこの領域では役に立たない。同様に Td 値が s 点以上の暖流域でも、水温



第3図 B 環境変動に伴う水域の移動.

Fig. 3B. Oscillation of current regions due to paleoclimatic changes.



第4図 各地点における表れるTd曲線のパターン。

Fig. 4. Pattern of Td curve in each core.

変化に対するTd値の変化は小さく、その感度はきわめて鈍い。これに対して前線帯では、Td値の変化は水温変化によく対応しており、温度計として十分な感度を持っている。

3. 気候変動に伴う珪藻温度指数の変動パターン

次に、前節で述べた珪藻温度指数の特性が、実際のコアの解析結果にどのような影響を与えるのかを考察してみる。

ここでは、第3図Aに示すように、ある海域である経度に沿って北からa-eの5点でコアを採取し、含まれる珪藻化石群集を調べてTd値を算定したとする。5点のうちa, bの2点は現在の寒流域に、c点は前線帯に、残りのe, d点は暖流域にあるものとする。

気候変動の影響は、一般に海域では水塊の境界が南北に水平移動するという形で表れてくる場合が多いことが明らかにされている（たとえば、Chinzei *et al.*, 1987）。すなわち、温暖期には、前線帯が全体として北に移動して暖流域が拡大し、逆に寒冷期には境界が南に移動して、寒流域が広がる。ここでは、第3図Bに示すような変化を仮定してみる。すなわち、時間 T_0 – T_8 の間にそれぞれ2回の寒冷期（ T_1 , T_5 ）と温暖期（ T_3 , T_7 ）があったものとする。このような変化を仮定したとき、各点における水温変化がTd値にどのように表れてくるのかを示したのが第4図である。

まず、最も北に位置するa地点は、最も温暖な時期でも前線帯の北縁がここまで達せず、終始寒流域に置かれている。寒流域では、たとえ気候変化に伴って水温が変化してもTd値は極めて鈍感なので、その値はほとんど変化しない。従って、a地点では水温変化があってもTd値はわずかの揺れを除いてほとんど一定になると予想される。

次に、これより南に位置するb地点は、現在は寒流域にあるものの、前線帯のすぐ北側にあるので温暖期には暖流の影響が及ぶことになる。時間の経過に沿ってTd値の変化をたどってみると、まず時間 T_0 – T_2 の寒冷期にはTd値に変化はみられないが、 T_2 を過ぎて温暖化が始まって前線帯が北上し、 n_1 で前線帯の北縁がb地点を通過すると、Tdは温度変化に敏感に反応して急速に値が増加する。そして、 T_3 でピークを迎えた後、 n_2 で再びb点が寒流域に戻るとTd値の変化は緩くなる。このように、Td曲線の変換点は前線の通過に対応している。 n_3 および n_4 でも前線の

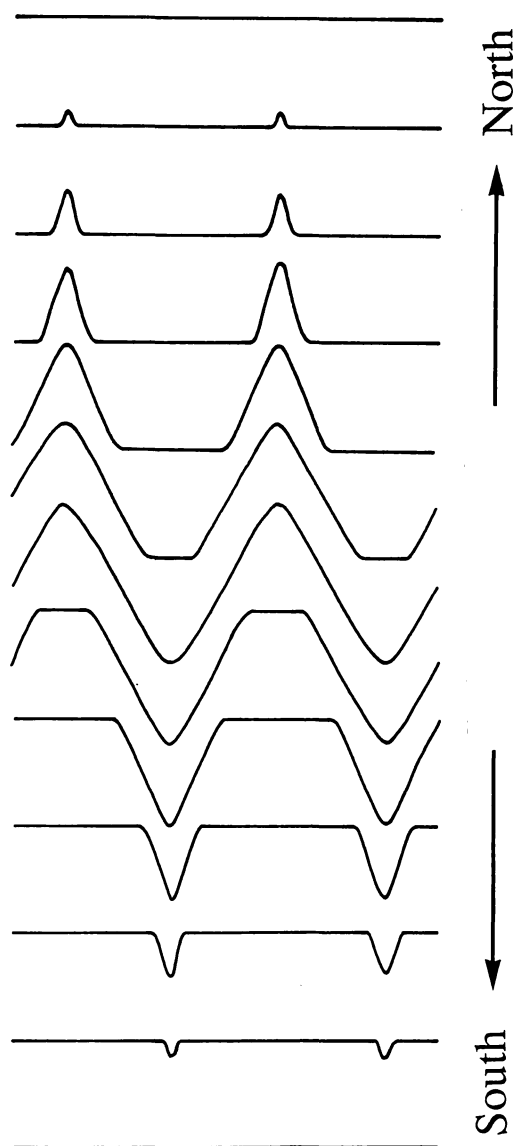
通過があって曲線が急に折れ曲がる。全体としてみると、b地点のTd曲線は、温暖期が鋭いピークに、寒冷期が平底の幅広い谷として現われることになる。

現在、前線帯に位置するc地点は、ほとんどの期間、前線帯内にあるためTd値は敏感に水温変化に反応して、 T_1 の寒冷期、 T_3 の温暖期のカーブも水温変化を直接反映している。しかし、 T_5 の寒冷期にはc地点は一時的に寒流域に入ったので、前線の通過した n_5 と n_6 に変曲点が現われ、 T_5 の寒冷期の谷は平底になる。同様に、 T_7 の温暖期の最盛期にはc地点は暖流域に入り、前線の通過を示す s_1 と s_2 の間は平頂のピークとなる。

d地点は、前線帯の南側の境界の少し南に位置し、Td値の変動はちょうどb地点と逆のパターンを示す。すなわち、d地点が暖流域にある間はTd値は高い値のままあまり変化しないが、寒冷期に前線帯の領域に入るとTd値は急速に低下し、図に見られるように、幅の狭い鋭い谷が記録されることになる。この曲線の変曲点 s_3-s_6 はそれぞれ黒潮前線の通過を示している。全体としてd地点のTd曲線では、水温変化を伴う環境変動は、寒冷期は幅の狭い鋭いトラフとして、温暖期は幅広く平坦な頂を持つ山として現われる。

最も南にあるe地点は、終始暖流域に置かれているので、Td値は高い値のままほとんど変化しない。

以上述べたように、気候変動に伴って引き起こされる珪藻温度指数Td値の時間的変化は、観測点の置かれた地理的な位置によって異なったパターンとして表われてくることがわかる。すなわち、a地点およびe地点のような寒流または暖流の中心域におかれた地点では、珪藻温度指数がこの領域では感度が悪いために水温変化はTd値に反映されず、平坦なTd曲線が現われる。これに対して、c地点のような前線帯の範囲の中に終始置かれていた地点では、気候変動に伴う水温変化がほぼ忠実にTd曲線に現れわたる。一方、b地点やd地点のように、前線に近い地点では、前線の移動と通過に伴って、珪藻温度指数の感度が変わり、結果としてb地点では幅広い平底の谷と鋭いピークの繰り返しからなるパターンが、逆にd地



第5図 一般化されたTd曲線のパターン

Fig. 5. General patterns of Td curves.

点では幅広い平頂の山と鋭いトラフの繰り返しというパターンが記録されることになる。これをさらに一般化して表すと、第5図のようなパターンになる。

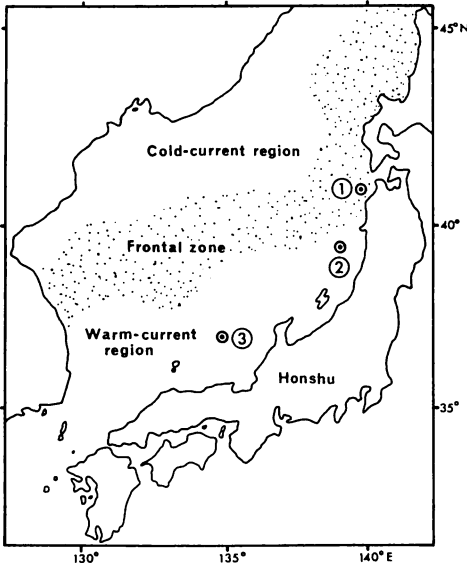
ところで、各地点のTd曲線にみられる変曲点は、それぞれ前線の通過を示している。前線帯の北側境界(親潮前線)の通過を示す点としては、 n_1-n_6 、前線帯の南側境界(黒潮前線)の通過に対応する点としては、 s_1-s_6 が認められる。これ

らの点の時間と地理的な位置は第4図の実際の解析データからわかるので、これから逆に第3図Bに示すような前線の位置の時間的変化を表す図を復元することができる。

4. 実例—完新世の日本海

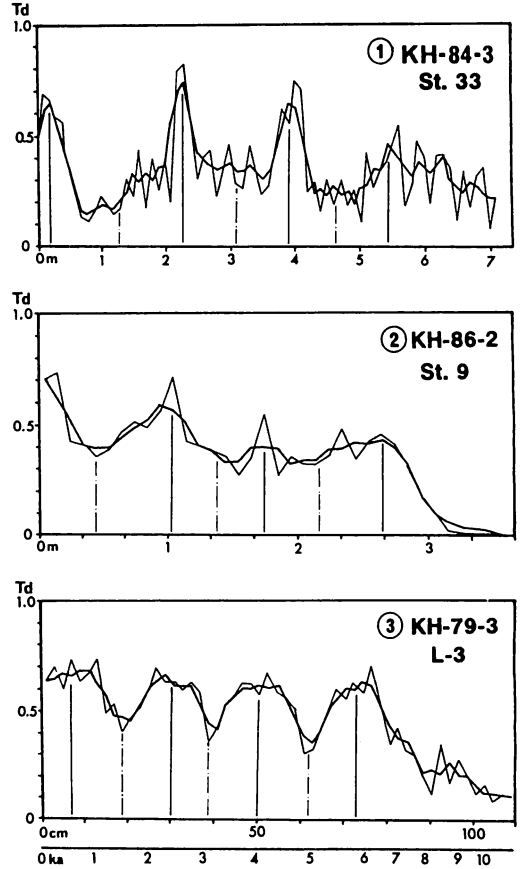
次に、以上述べてきた現象が実際に認められるかどうか、実例で検討してみる。筆者の手元には、残念ながらこれに適したオリジナルなデータはないので、ここでは、小泉 (1987) および Koizumi (1989) によって明らかにされた完新世における日本海の研究例で検討してみる。

小泉 (1987) および Koizumi (1989) は、北から津軽沖 (1. KH-84-3, St. 33), 秋田沖 (2. KH-86-2, St. 9), 及び福井沖 (3. KH-79-3, L-3) の3本のコア (第6図) について詳細な珪藻化石分析を行い、珪藻温度指数の変化から、完新世における対馬暖流の脈動を初めて明らかにした。これら3本のコアの Td 曲線を第7図に示す。ただ



第6図 日本海における水域分布と、小泉 (1987) および Koizumi (1989) で分析された3本のピストンコアの位置。1: KH-84-3, St. 33, 2: KH-86-2, St. 9, 3: KH-79-3, L-3.

Fig. 6. Distribution pattern of current regions in Japan Sea with location of the three piston cores analysed in Koizumi (1987, 1989).



第7図 日本海で採取された3本のピストンコアにおける完新世の Td 曲線。小泉 (1987) および Koizumi (1989) による。

Fig. 7. Holocene Td curves in the three piston cores in Japan Sea (after Koizumi, 1987, 1989).

し、この図の8000年以前は、日本海に対馬暖流が流れ込んでいないと判断されるので (小泉, 1987) ここでは考察の対象から除く。

この図をみると、最も北に位置するコア1の Td 曲線は、鋭い温暖期のピークと平底の幅広い寒冷期の谷を特徴としており、前節で検討した b 地点におけるパターンとよく一致する。一方、最も南にあるコア3では、これとは全く逆に、平坦で幅の広い温暖期の山と、鋭い寒冷期のトラフを特徴とする Td 曲線が得られている。これは、前節の d 地点における Td 曲線と非常によく似ている。コア2は、サンプル間隔が時間に対して相対的に粗くなっているため、Td 曲線のパターンが

あまり明瞭でないが、全体としては、鋭いピークやトラフはなく、前節のc地点のパターンに対比することが可能である。

このように、完新世の日本海のデータは、全体として前節で述べたTd曲線のパターンに非常によく一致しており、そのパターンは、前節で詳しく検討した要因で説明できるようにみえる。ただし、細部に若干問題が残る。たとえば、コア1の寒冷期の平坦な谷の深さが必ずしもそれぞれの谷で同じではないこと、また、それが必ずしも平らではなく、たとえば深度1-2m付近の谷のように斜めになっていることなどがある。こうした標準的なパターンからのずれは、おそらく日本海では第6図に示すように寒流域、前線帯および暖流域の分布がかなり複雑で、第3図に示すような比較的単純な分布形態になっていないことが原因かもしれない。また、特にコア1の異常は、このコアが対馬暖流の出口である津軽海峡に近接していることが影響しているかもしれない。

日本海側における完新世の対馬暖流の脈動については、その後珪藻化石以外の方法では確認されてはいない。しかし、上述のように、その脈動のパターンは珪藻温度指標の特性から予想されるパターンに非常によく一致することから、その存在はほぼ確実と思われる。

なお、第7図のデータから、第3図Bに示すような前線位置の時間的変化を復元した図を完新世の日本海について作成することが可能ではあるが、データの数がわずか3点であること、さらに時間のコントロールが十分でないことから、ここではそれは行わないことにする。今後、データ数が増し、火山灰などによる対比が正確に行えるようになれば、この方法により日本海における水域分布の時間的変化が詳細に復元可能になると思われる。

5. おわりに

以上述べてきたように、珪藻温度指数(Td)の特性について簡単な定性的考察を行ってきた。その結果は次のようにまとめられる。

(1) 珪藻温度指数(Td)は、海域によって感度が一様でないという特性を持つ。すなわち、この指

数は、前線帯(混合水域)では、水温に対して十分な感度を持つが、寒流域および暖流域では、感度が極めて悪く温度指数としてはほとんど役に立たない。

(2) この特性のため、環境変動の信号は、観測点の置かれた地理的な位置によって多かれ少なかれ歪められた形でTd曲線に現われる。

(3) 寒流または暖流の中心域におかれた地点では、珪藻温度指数がこの領域では感度が悪いために水温変化はTd値に反映されず、平坦なTd曲線が現われる。これに対して、終始前線帯の中に置かれていた地点では、気候変動に伴う水温変化がほぼ忠実にTd曲線に現われる。一方、前線に近い位置にある地点では、前線の移動と通過に伴って、珪藻温度指数の感度が変わり、結果として、前線帯の北縁に近い地点では幅広の平底の谷と鋭いピークの繰り返しからなるパターンが、逆に前線帯の南縁の近傍では幅広の平頂の山と鋭いトラフの繰り返しというパターンが記録される。

(4) Td曲線に表れる変曲点は、水域の境界すなわち前線の通過に対応する。この変曲点の位置と時間を複数の観測点で明らかにすることにより、前線の位置の時間的変化を復元することが可能である。

(5) 完新世の日本海の研究例で検討したところ、予想されるような特徴的なパターンが、実際にTd曲線に明瞭に表れていることが確認された。

今回の考察で明らかになったことの要点は、古環境変動の信号が珪藻温度指数の特性によって歪められて表れているということである。これは、ちょうど性能の悪いアンプでは、音声信号が高音や低音がうまく再生されず、ひずんだ音になってしまうのと似ている。珪藻温度指数またはそれに類似した指数を用いて古環境の変遷を明らかにしようとする場合には、こうした点に十分注意して解釈を行う必要がある。

謝辞：北海道大学の小泉 格教授、石油資源開発株式会社技術研究所の秋葉文雄主任研究員ならびに地質調査所海洋地質部の西村 昭課長には、粗稿を読んでいただき、貴重な御教示をいただきました。深く御礼申し上げます。

文 献

- Barron, J. A., 1992: Pliocene paleoclimatic interpretation of DSDP Site 580 (NW Pacific) using diatoms. *Marine Micropaleont.*, **20**, 23-44.
- Chinzei, K., Fujioka, K., Kitazato, H., Koizumi, I., Oba, T., Oda, M., Okada, H., Sakai, T. and Tanimura, Y., 1987: Postglacial environmental change of the Pacific Ocean off the coast of central Japan. *Marine Micropaleont.*, **11**, 273-291.
- Imbrie, J. and Kipp, N. G., 1971: A new micropaleontological method for quantitative paleoclimatology: application to a Late Pleistocene Caribbean core. In Turekian, K. K. ed., *The Late Cenozoic Glacial Ages*, 71-181. Yale Univ. Press, New Haven.
- Karpuz, N. K. and Schrader, H., 1990: Surface sediment diatom distribution and Holocene paleotemperature variations in the Greenland, Iceland and Norwegian Sea. *Paleoceanography*, **5**, 557-580.
- Kanaya, T. and Koizumi, I., 1966: Interpretation of diatom thanatocoenoses from the North Pacific applied to a study of core V20-130 (Studies of a deep sea core V20-130. Part IV). *Sci. Rep. Tohoku Univ. Second Ser. (Geol.)*, **37**, 89-130.
- Koizumi, I., 1985: Late Neogene paleoceanography in the western North Pacific. In Heath, G. R., Burckle, L. H. et al., *Init. Rep. DSDP*, **86**, 429-438.
- , 1986: Late Neogene diatom temperature record in the northwest Pacific. *Sci. Rep. Coll. General Educ. Osaka Univ.*, **34**, 145-153.
- 小泉 格, 198: 完新世における対馬暖流の脈動. 第四紀研究, **26**, 13-25.
- Koizumi, I., 1989: Holocene pulses of diatom growths in the warm Tsushima Current in the Japan Sea. *Diatom Research*, **4**, 55-68.
- 丸山俊明, 1992: 東北日本の太平洋側に沿った中新世珪藻の時空分布と海表温度. 日本古生物学会 1992 年年会予稿集, 30-31.
- Pichon, J. J., Labracherie, M., Labeyrie, L. D. and Duprat, J., 1987: Transfer functions between diatom assemblages and surface hydrology in the Southern Ocean. *Palaeogeograph. Palaeoclimat. Palaeoecol.*, **61**, 79-95.
- Sancetta, C., 1979: Oceanography of the North Pacific during the last 18,000 years: Evidence from fossil diatoms. *Marine Micropaleont.*, **4**, 103-123.
- Schrader, H. and Karpuz, N. K., 1990: Norwegian-Iceland Seas: Transfer functions between marine planktic diatoms and surface water temperature. In Bleil, U. and Thiede, J. eds., *Geological History of the Polar Oceans: Arctic versus Antarctic*, 337-361. Kluwer Academic Pub. Netherlands.
- Tanimura, Y., 1981a: Late Quaternary diatoms from the Sea of Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ. Second Ser. (Geol.)*, **51**, 1-37.
- 谷村好洋, 1981b: 日本海の後期第四紀珪藻と古海況. 第四紀研究, **20**, 231-242.

古琵琶湖層群から産出した鳥類足跡化石

岡村喜明*・高橋啓一**・琵琶湖博物館資料調査協力員***

Fossil foot prints of a bird from the Kobiwako Group, Central Japan

Yoshiaki Okamura*, Keiichi Takahashi** and Lake Biwa Museum Research Associates***

Abstract Fossil footprints of a bird referable to the suborder Gruidea were found from the Pliocene Kobiwako formation of Mie Prefecture, central Japan. The footprints are relatively large and show four toes. Toes II to IV direct forwards with a wide splay angles, while toe I points backwards at a low position. Each toe is wide and with a claw impression at the tip. Metatarsal impression is preserved on the sole. A small area of webbing is present between III and IV only. The stride is 320~500mm. This record provides additional information about the fauna of the Pliocene Kobiwako formation.

はじめに

三重県上野市を中心として存在する伊賀盆地とその周辺の丘陵は、主として古琵琶湖層群上野累層、伊賀累層、阿山累層 (Kawabe, 1989) からなっている。これらの地層からは、多くの植物化石、淡水性の貝類化石、魚類化石の咽頭歯や骨格をはじめ両生類、爬虫類、哺乳類などの骨格化石、ワニ類の糞化石などが報告されている (角田, 1958; 奥山, 1985, 1986, 1988; 岡崎・松岡, 1979; 川口, 1983; 川口・北田, 1982; Kamei, 1984; 松岡ほか, 1991)。

筆者らは、1998年開館予定の滋賀県立 (仮称) 琵琶湖博物館の資料調査として、古琵琶湖層群から相次いで発見されている足跡化石の調査をおこなってきた。このなかで、1991年8月25日、筆者の一人岡村は、伊賀盆地東部の三重県阿山郡大山田村服部川河床 (図1) において、長鼻類、偶蹄類の足跡化石とともに大型の鳥類足跡化石を発見した。鳥類の足跡化石は、古琵琶湖層群から初めての発見であるばかりでなく、全国的にみてもその

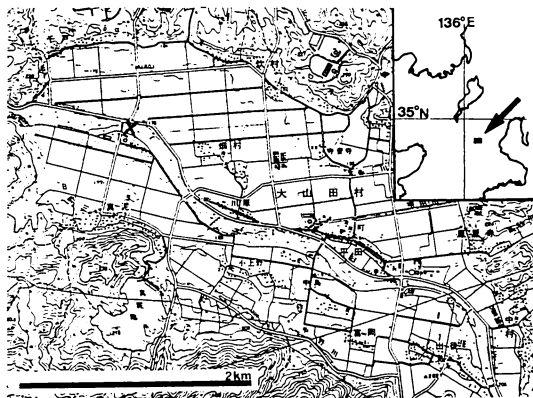


図1 鳥類足跡化石の産出地点 (×)
国土地理院発行の2万5千分の1の地形図「上野」を使用。

産出例が少なく、また、当時の古環境を復元するうえで重要な資料となりうると考えられることから、ここに報告する。

産出地点および産出層準

産出地は、図1に示したように三重県上野市の東北東約6kmの地点で、同県阿山郡大山田村平田地区をほぼ北西-南東方向に流れる服部川の真泥橋 (みどろばし) の上流約80mの河床である。印跡層準は、七本木I火山灰の85cm下位に位置する青灰色シルト層で、Kawabe (1989) の上野累層炊村部層にあたる。足跡化石産出地周辺の服

*滋賀県足跡化石研究会

** (仮称) 琵琶湖博物館開設準備室

*** 雨森清 (豊郷町立豊郷小学校), 小早川隆 (滋賀県立彦根東高校), 但馬達雄 (滋賀県立日野高校), 田村幹夫 (滋賀県立石山高校)

1993年6月18日受付, 1993年8月27日受理

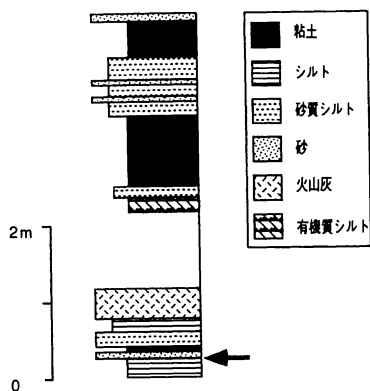


図2 鳥類足跡化石産出地付近の柱状図
(←): 足跡化石の産出層準.
火山灰は, 上野累層炊村部層中の七本木Ⅰ火山灰.

部川流域にみられる伊賀累層の模式柱状図は, 図2に示した.

足跡化石の産状

鳥類の足跡化石は, 図3に示したように真泥橋上流約80mの左岸から川の中央にかけての水面下の河床約19m²の範囲に密集し, この区域内に

足印化石の記載

25個の鳥類足印化石のうち主要部分がよく保存されている3標本(標本番号No.2, No.3, No.7)について, その形態的特徴を記載する. 記載に

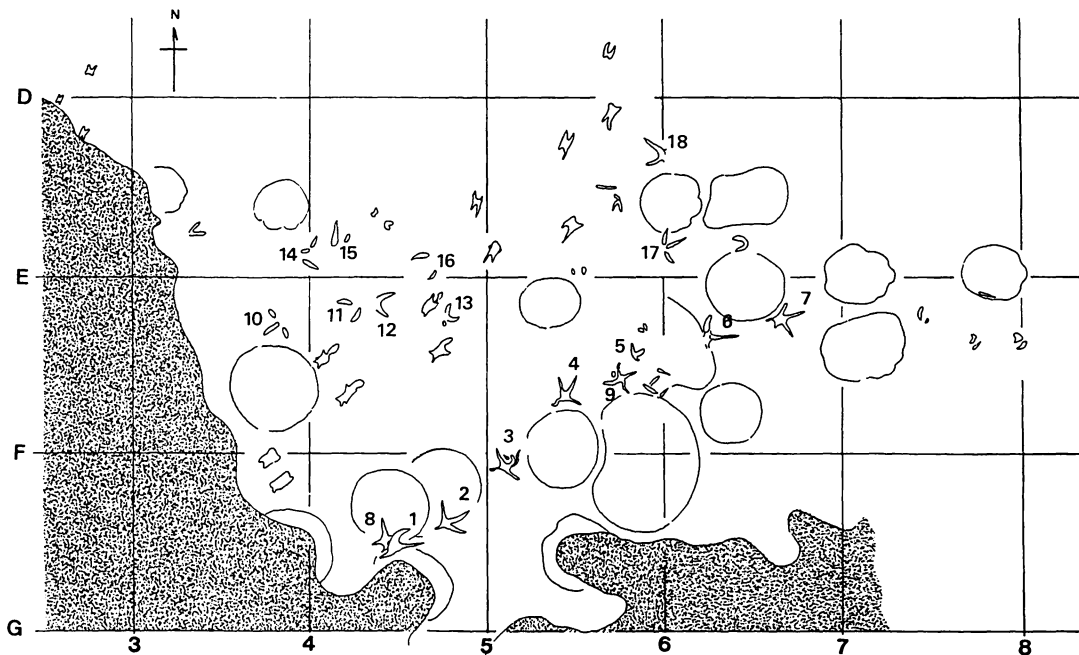


図3 鳥類足跡化石の産状
足印化石の近くの数字は, おもな鳥類足印の標本番号.
辺縁の記号は, グリッドの番号. グリッドの1辺は, 1m.

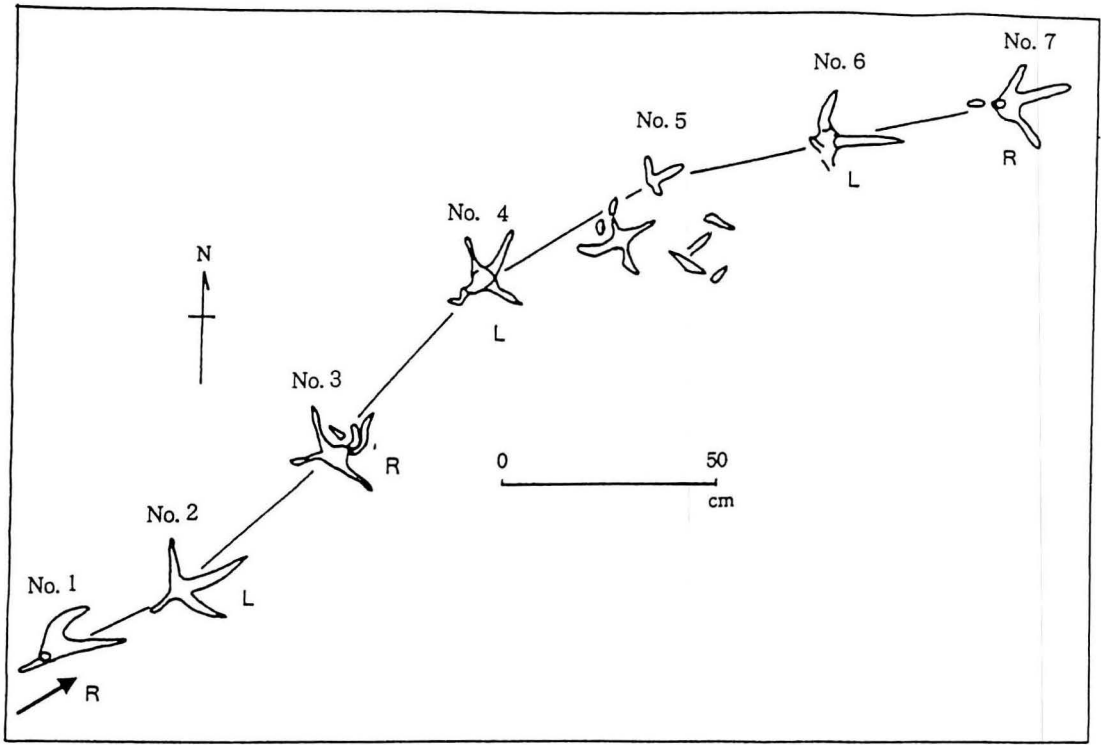


図4 連続した鳥類足印の産状

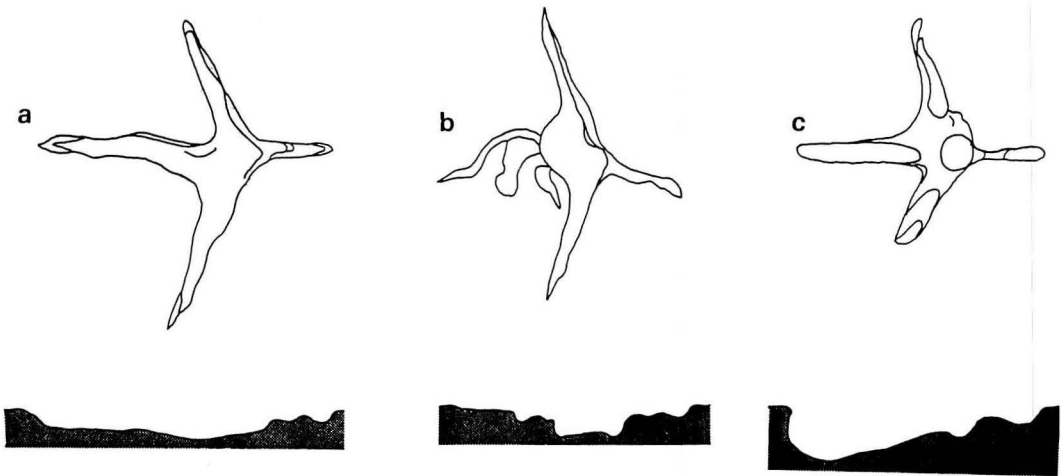


図5 おもな鳥類化石足印の形態（上）と正中断面（下）

あたっては、足印化石が水面下の河床に産出したため、市販の水中ボンンドで型どりし、その型と型から製作した複製模型をもとに観察および計測をおこなった。なお、これらの足印は、おおむね第1指は後方に、第2指は内前方に、第3指は前方

に、第4指は外前方に放射状に開いている点で共通なので、各標本の記載においてはこのことを省略する。
足印の計測部位は図6に、計測値は表1に示した。

表 1 おもな鳥類化石の計測値

計測番号	計測部位	標 本		
		標本No.2 (左)	標本No.3 (右)	標本No.7 (右)
1	足 印 長	200mm	170mm?	167mm
2	足 印 幅	204mm	196mm	154mm
3	第 1 指 印 長	46mm	48mm	41mm?
4	第 2 指 印 長	85mm	88mm	52mm+
5	第 3 指 印 長	120mm	95mm?	83mm+
6	第 4 指 印 長	99mm	84mm+	72mm
7	第 1 指 印 幅	12mm	10mm	10mm
8	第 2 指 印 幅	13mm	15mm	15mm
9	第 3 指 印 幅	17mm	-	18mm
10	第 4 指 印 幅	18mm	10mm	13mm
11	第 1 ~ 2 指 間 角	110°	92°	127°
12	第 2 ~ 3 指 間 角	63°	-	55°
13	第 3 ~ 4 指 間 角	78°	-	80°
14	第 2 ~ 4 指 間 角	141°	140°	135°
15	中足骨印前後径	-	-	23mm
16	中足骨印左右径	-	-	27mm
17	第 1 指 印 分 岐 高	11.3mm	14mm	14mm

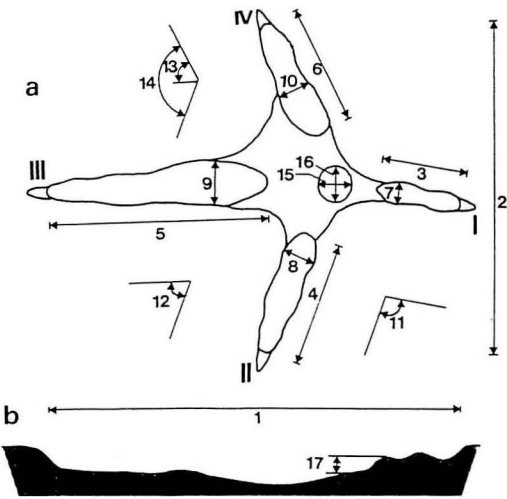


図 6 鳥類化石足印の計測部位
a：平面 b：正中断面
番号は表 1 の計測番号と同じ。

標本番号 No. 2 (図 5-a, 図版 I-2)

第 1 から第 4 指まで鮮明に印跡されている左足印である。第 1 指印は直線的で細く短く、末節部はやや細く先端は尖る。第 1 指の指軸は第 3 指の指軸より約 11mm 内方にあり、また第 1 指印は足印底部から約 11.3mm の高さにある。第 2 指印はやや太く、深く、基底部でやや湾曲する。最先端には尖った鉤爪印が見られ、その長さは 17 mm である。第 4 指印は、基節部でやや太いが末節部は細く浅い。最先端に 15mm の尖った鉤爪印が見られる。また、第 3 指と第 4 指の指間基部は、第 2 指と第 3 指の指間基部に比べ印縁が前方に位置する。中足骨印は見られない。

標本番号 No. 3 (図 5-b, 図版 I-3)

第 3 指印が変形しているが、第 1, 第 2, 第 4 指は鮮明に印跡されている右足印である。第 1 指は細く短く、足印底から 14mm の高さで印跡されており、浅い。先端はやや丸く、内側へわずかに湾曲する。第 2 指印は細く深く直線的で、最先端にやや尖った鉤爪印がみられる。鉤爪印の長さは、15mm である。第 4 指は印はわずかに湾曲し、細く深い。最先端にはやや尖った鉤爪印がみられ、その長さは 13mm である。第 3 指印は前方に細く強く湾曲し、浅い。この第 3 指印の内側に 2 個の印が見られるが、この個体による足印か不詳である。中足骨印は見られない。

標本番号 No. 7 (図 5-c, 図版 I-4)

第 1 から第 4 指までの 4 指が印跡されている右足印である。第 1 指印は、末節部のみが鮮明で短く浅い。先端は尖らない。足印底部には中足骨印

標 本	指 印 長 (mm)				指 間 角 (°)			
	第1指	第2指	第3指	第4指	第1~2指間	第2~3指間	第3~4指間	第2~4指間
服部川標本No.2	46	85	120	99	110	63	78	141
服部川標本No.3	48	88	95?	84+	92	—	—	140
最上炭田大型標本	55	100	130	100	118	61	77	138
最上炭田小型標本	40	70	60	70	110~117	55~58	63~66	120

表 2 古琵琶湖層産鳥類足印と最上炭田産との計測値の比較

が丸く鮮明で、第1指印はここから14mmの高さにある。第2指印はやや太く深く、指先が支持基体に深く入っているために先端部は観察できない。第3指印はやや太く深く直線的で、第2指印同様指先が支持基体に深く入っているため先端部は観察できない。第4指印はやや太くわずかに湾曲してしている。最先端に尖りわずかに湾曲した鉤爪印がみられ、その長さは12mmである。第3指と第4指間は、No. 2の標本と同様に、第2指と第3指の指間よりも前方に位置する。

考 察

記載で述べた保存のよい標本の形態および計測値から、印跡した鳥の足指の特徴は以下のような形態と考えられる。

1) 第2から4指が前方を向き、これら3指よりわずかに高い位置で第1指が後方にやや長く伸びる大型の三前趾足型である。2) 各指は幅広く、先端部には鉤爪が存在する。3) 第2指-第3指の指間と第3指-第4指の指間の形態の違いから、第3指と第4指の指間には近位指間膜 (Proximal web) が存在する。4) 中足骨の膨らみが足底部に存在する。5) 各指の開く角度は広い。

また、連続する足印の歩幅が320~500mmであることも本印跡鳥類が、大型の鳥類であったことを推定させる。

以上の形態的特徴のうち、第3指と第4指間のみ近位指間膜がみられ、半蹼足の形態を有する種を含む現生鳥類は、ツル目、コウノトリ目、キジ目、チドリ目の4目のみである。このうち、チドリ目、キジ目は大型の種を含まず、第1指の位置も高く、長さも短いのが特徴である。また、コウノトリ目のうち第3指と第4指の間に近位指間膜をもつサギ科は、指が一般に細く、特に第1指が長いことから、今回発見された足印の印跡鳥類は、ツル目の可能性が最も高いと考えられる。

現生ツル目は、Wetmore (1960) によれば、8亜目12科が分類されている。このうち、大型であること、指間膜があること、第1指が長く比較的低い位置にあることなどの特徴は、本標本がツル目のなかでもツル亜目に属する可能性が高いことを示している。

国内のツル目の化石標本としては、山形県新庄市最上炭田産 (鮮新世、本合海累層) のツル科の足印化石が報告されている (吉田, 1965; Yoshida, 1967; Ono, 1984; Rich *et al.*, 1986)。本標本を最上炭田産の標本と比較すると、指印長および指間角ともに最上炭田産の大型標本と小型標本の中間に位置する。また、歩幅は、最上炭田産大型標本の450~850mmに比較的近い。全体の形態は、両者の間でよく類似している。

以上のことから、本標本はツル亜目に属する大型の鳥類足印化石であると考えられる。

謝 辞

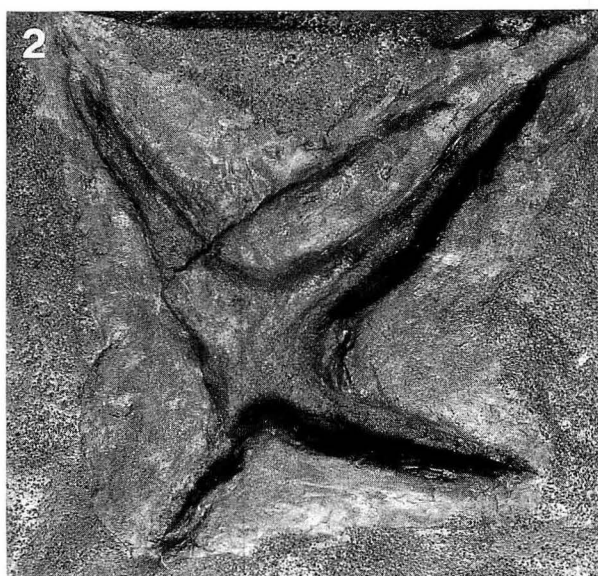
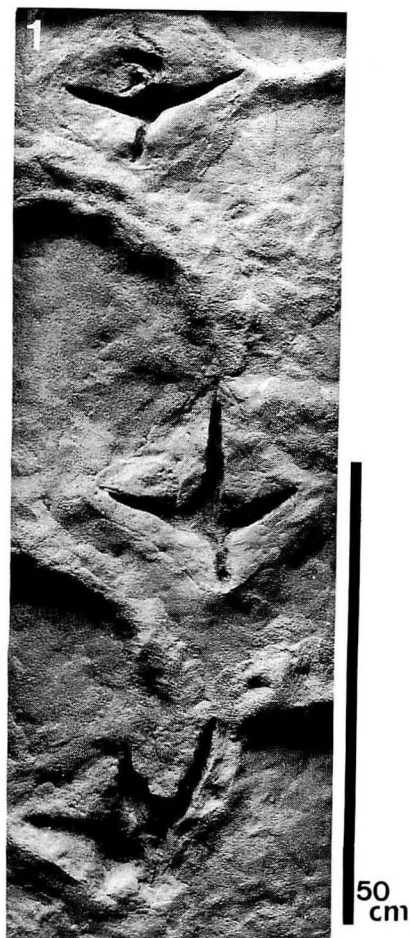
本報告をまとめるにあたり、現生鳥類の比較の際には我孫子市鳥の博物館の水村哲也副館長、河辺好美係長、時田賢一学芸員、斉藤安行学芸員、大山紀子学芸員らに、最上炭田産の鳥類足跡化石との比較の際には、山形大学教育学部の川辺孝幸氏、山形県立博物館の長澤一雄学芸員および発見場所の元中山炭礦株式会社社長の中山啓氏にお世話いただいた。また、滋賀県足跡化石研究会の諸氏には、現地調査の際に多くのご尽力をいただいた。滋賀県教育委員会事務局 (仮称) 琵琶湖博物館開設準備室の木田千代美氏および室員の方々に、この調査および研究にあたってさまざまな援助をいただいた。以上の方々に深謝いたします。

文 献

- Kamei, T., 1984: Fossil mammals, Lake Biwa and fossil mammals: Faunal changes since the Pliocene time. Horie, ed. Lake Biwa. 475-495.
- Kawabe, T., 1989: Stratigraphy of the lower part of the Kobiwako Group around the Ueno basin, Kinki district, Japan. *Jour. Geosci. Osaka City Univ.*, **32**, 39-90.
- 川口貢, 1983: 古琵琶湖層群, 伊賀累層より得られたゾウの牙化石. 関西自然科学研究会報, **34**, 9-12.
- ・北田稔 1982: 伊賀累層から得られたワニ類及びコイ科魚類化石. 関西自然科学研究会報, **33**, 16-18.
- 松岡長一郎・岡村喜明・田村幹夫, 1991: 滋賀県産の脊椎動物化石. 滋賀県自然誌, 543-625.
- 岡崎美彦・松岡長一郎, 1979: 滋賀県産の哺乳動物化石.

- 石. 滋賀県の自然, 391-467.
- 奥山茂美, 1985: 伊賀盆地化石集 No. 5.
- , 1986: 伊賀盆地化石集 No. 6.
- , 1988: 伊賀盆地化石集 No. 8.
- , 1990: 伊賀盆地化石集 No. 10.
- Ono, K., 1984: Fossil wading birds from Northeast Honshu, Japan. *Mem. Nat. Sci. Mus. Tokyo*, **17**, 39-46.
- Rich V. P., Hou, H. L., Ono, K. and Baird, F. R., 1986: A review of the fossil birds of China and Southeast Asia. *Geobios*, **19**, 755-772.
- 角田保 1958: 伊勢湾周辺における旧象化石の分布. 三重短大政研究, **30**, 105-143.
- 吉田三郎, 1965: 山形県最上炭田より鳥類の足跡化石発見す. 地質雑, **71**, 469-470.
- Wetmore, A., 1960: A classification for the birds of the world. *Smiths. Misc. Coll.* **139**, 11, 1-37.
- Yoshida, S., 1967: Fossil footprints of birds from Pliocene formation in the Mogami coal field, Yamagata Prefecture. *Bull. Yamagata Univ., Nat. Sci.*, **6**, 495-500.

図版 I 1 連続する足印化石 (下方から標本番号 No. 1, No. 2, No. 3),
 2 左足印 (標本番号 No. 2), 3 右足印 (標本番号 No. 3)
 4 右足印 (標本番号 No. 7), 5 右足印 (標本番号 No. 17)
 右下のスケールは 2-4 共通



書 評

池谷仙之・山口寿之著 進化古生物学入門
甲殻類の進化を追う

(B6 判 148 ページ, 1993 年 8 月 24 日, UP BIOLOGY 93, 東京大学出版会, 1648 円)

池谷さんと山口さんが本を書いた。「進化古生物学入門」という本である。お二人とも古生物学は生物学的手法で研究すべきであると常々発言してこられた方たちで、本書の内容もお二人の研究姿勢を色濃く反映したものとなっている。一般的な序論(1 化石の研究, 2 甲殻類の化石)の後, 進化古生物学を研究する上での甲殻類の優位性がまず強調される(3 進化の研究に適した甲殻類)。次いで, 殻構造や殻の装飾(4 硬組織(殻構造と殻形態)), 殻の機能形態(5 生活様式の分化), 種の認定と種間関係(6 種分化), 種の海洋間の移動(7 生物地理), 原始的形態を保持した現生種(8 生きた化石), 分類群に特有な生態を応用した古環境解析(9 古環境の推定)が, 生物学的手法を駆使した研究成果に基づき, 概説されている。化石を理解するということは, その生物の「生きざま」(本書 1 ページ)を正に理解することなのである。今いる生物の「生きざま」を理解せずに, どうしてそれに関連した化石生物の「生きざま」を理解できようか。これが本書を貫く筆者等の一貫した主張である。

本書は入門書とはなっているものの, その内容は, 筆者らのこれまでの介形虫類と蔓脚類の研究成果の概説が主体となっている。従って, 一般的な入門書を期待した読者は肩透かしをされたように思うかもしれない。しかし, 著者等がこの本に込めた最大のメッセージは, ありきたりな概念を並べるよりは, 具体的な研究成果を示すことに

よって, 古生物学の研究者が今何を目指しているのかを読者に感じ取って貰う事だと私は理解した。自然史科学の最良の教育は自然に直に触れ, その不思議を感じ, そしてそれを理解出来る人間の素晴らしさを実感することにある。筆者等が目論んだのは, この点にあるのだろう。ただ, もしそうであるなら, 研究上の喜怒哀楽や裏話などの人間味がもっとあっても良かったのではないか。本書の構成が余りにも教科書的なのが残念である。また, 本書で示された研究成果の内の幾つかは, 未だ化石と結び付いた研究に至っていないようである。これは研究途上にあるということで仕方がないことではあるが, こういった現生生物だけを扱った研究例では, 化石を解釈する上での重要性を簡単に強調するだけでなく, その将来の可能性を雄大に語って欲しかった気がする。

広く生物学研究者に読まれている UP BIOLOGY シリーズの一冊として古生物関連の本が出版された事は, 現在の日本の古生物学の水準を示すものとして画期的なことだと思う。世の中恐竜ブームだそうで, 恐竜関連の書籍が数多く出版されている。一般に思われている古生物学のイメージが恐竜では, 日本の研究現場の現実とはあまりにもかけ離れている。今古生物学者は何を問題にし, 何を解こうとしているのかを多くの人に知って頂くために, 本書を広く薦めたい。

間嶋隆一(横浜国立大学教育学部)

底生有孔虫からみた日本の周辺海域の水温分布 —新生代海洋構造の解明に向けて—

長谷川 四郎*

Distribution of recent benthic foraminifers as an
indicator of thermal conditions of the seas around the
Japanese Islands

—An approach to reconstruction of Cenozoic oceanic condition—

Shiro Hasegawa*

Abstract The distribution of benthic foraminifers is controlled by such a parameter as salinity and more strikingly by temperature, both of which define water masses. By compiling the distribution of Recent foraminifers reported by previous workers, I have distinguished five species-groups among the modern foraminifers inhabiting shelf seas around the Japanese Islands.

The Species-group I consists of tropical species. Its northern limit is located off the Boso Peninsula (35°N) in the Pacific and off the Tsugaru Peninsula (41.5°N) in the Japan Sea. These locations coincide with the position of 17°C isotherm of the annual maximum temperature at 100 m water depth on both sides of the Honshu Island, reflecting the distribution of two warm water bodies, the Kuroshio and Tsushima Currents, on two sides of the Japanese Islands.

The distributional limit of the Species-group II (subtropical species) extends much further northwards, coinciding with 10°C isotherm of maximum temperature. The distributional pattern of this group results from a remarkable invasion of warm waters into cooler seas in the form of Tsugaru and Soya Warm Currents, both of which are in reality northward extensional currents of the Tsushima Warm Current. The Species-group III (temperate-water species) also characterizes most the shallow seas around the Japanese Islands, except for those waters warmer than 20°C isotherm of maximum temperature.

The species-groups IV (subarctic species) and V (arctic ones) occur in region dominated by the Oyashio Current, including the Pacific, northern part of the Japan Sea, and the Okhotsk Sea. The southern distributional limits of IV and V groups coincide with 9°C and 5°C isotherms of maximum temperature, respectively. Around the Honshu Island, constituent species of both groups are found only in the bathyal zone.

These relationships between the foraminiferal species and water masses are considered to provide a database with which Cenozoic oceanographic conditions, particularly relative thermal structures of surface waters around Japan can be reconstructed.

はじめに

底生有孔虫は汽水域から深海底まで広範囲に分布しており、その遺骸は堆積物中に保存されやすいことから、古環境解析の手段として活用されてきた。その方法は、原子レベル（同位体元素）から結晶（殻構造）・個体（機能形態）・個体群

（種）・群集（種群）のレベルまで多岐にわたっている。先の古生物学会 1992 年々会では、種や種群のレベルで、その分布から古水温を推定することを主題としたシンポジウムが開催された。このレベルで化石の産出をもとに古環境を復元するには、対象とする種の（古）生態や生息環境が既知であることが必要である。しかし、絶滅種などではそれらを直接的に認知することは困難で、かわりに現生類似種の生態を参照し、それをもとに推

*北海道大学大学院地球環境科学研究科

1993 年 4 月 3 日受付, 1993 年 8 月 27 日受理

定することになる。このような手法では、まず、現生種（群）とそれを取り巻く環境との相互関係を認定し、その中から過去においても適用できる関係を導くこと、また、そのための条件や適用の限界を認識しておく必要がある。

本論では、シンポジウムで行なったコメントをもとに、日本の周辺海域における底生有孔虫群と海洋環境の対応関係、およびそれを基礎とした古環境（とくに水温）の推定について考察する。なお、水温の地理的変異はとくに浅海域で著しいことから、ここではおもに浅海環境について述べる。

底生有孔虫からわかる古水温

現生底生有孔虫にはそれぞれの種に固有の生息深度範囲があり、同一の組成からなる群集がある程度の広がりの中で一定の深度範囲に帯状に分布することが知られている。これは有孔虫（群集）の分布が水深と密接な関係にあることを示している。そのため、底生有孔虫は古水深指標として注目されてきた。しかし、その種（群）の分布をさらに広域に追跡すると、深度範囲は徐々に変化している（秋元・長谷川, 1989）。このことは有孔虫の深度分布が、水深それ自体ではなく、水深に関連する環境要素によって規制されていることを示唆する。

有孔虫の分布に関連する種々の環境要素のうち、静水圧はもっとも直接的に水深と対応するものである。Bradshaw (1961) は沿岸性の *Streblus beccarii tepida* (= *Ammonia beccarii tepida*) を飼育し、水圧に対する耐性を実験的に調べた。そして、400 気圧下（水深 4000m に相当）で、8 日間飼育した後にも、成長速度は下がったものの、この種の約 2/3 の個体が生き残ったことを報告した。これは有孔虫の水圧に対する耐性がかなり広いことを示唆している。

光も有孔虫にとって重要な環境要素である。一定以上の光量や特定の波長スペクトルは体内に共生藻類を有する種や葉上生活を営む種群にとってとくに重要であり、その生息深度を制限する環境要因である（Reiss and Hottinger, 1984）。しかし、それらが大きく変化するのはおもに海洋の表

層部であり、その影響は浅海域の種にとってのみ大きいと考えられる。

水深と関連するもう一つの環境要素は海水の密度である。海水の密度は水温と塩分の関数であるが、一定の海域で形成された海水は一定範囲の密度特性（すなわち水温と塩分の特性）を有し、水塊（あるいは水団；川合, 1972）と呼ばれる。底生有孔虫と塩分・水温の関係については、いくつかの種について飼育実験がなされている。それによると、塩分に対してはかなりの耐性があり、汽水から高塩分水程度の範囲では十分に耐えられることが知られている（Boltovskoy and Wright, 1976）。しかし、日本周辺では極端に塩分の低い沿岸表層などを除くと、塩分は 33~35‰ の範囲内であって、有孔虫種の生息深度範囲を規制するほどの大きな鉛直変化は認められない。これに対し、水温の鉛直変化は実験から求められた有孔虫種の適応範囲（10 数℃；Boltovskoy and Wright, 1976）に比べるとかなり大きく、日本海では表層と底層の差が 25℃ 以上に達する季節もある。したがって、群集の深度分布は水温に非常に強く規制されていると考えられる。

有孔虫化石種（群）の産出をもとに地質時代の水温あるいは気候を推定する方法として、これまでに以下のような 3 つの方法が用いられてきた。

- ① 重回帰分析によって、群集組成と環境要素（ここでは水温）の地理的変異の回帰関係を分析し、回帰式（温度変換関数）を求める（Imbrie and Kipp, 1971；尾田ほか, 1983；高柳ほか, 1985）,
- ② 化石群集に含まれる指標種を暖流系・寒流系の端成分に分け、その比率を算出する（Ericson *et al.*, 1964；Rögl and Bolli, 1973；Hasegawa, 1979）,
- ③ あらかじめ（現生種の）地理的分布をもとに気候帯の指標種群を設定し、各種群の群集における頻度組成から古気候帯を求める（Phleger *et al.*, 1953）.

これらのうち、③の方法は、様々な化石について定性的に用いられるが、そのほかのものはおもに浮遊性種群について用いられた方法である。①の温度変換関数は、通常、多元（多変数）の一次

表 1. 日本周辺の海域で求められた温度変換関数の例。 $F_1 \sim F_4$: 主成分因子分析によって得られた第 1~第 4 バリマックス群集 (高柳・尾田, 1983) の代表種の産出頻度 (F_1 : 津軽暖流, F_2 : 親潮および, F_3 : 黒潮, F_4 : 沿岸流域の群集, $0 \leq F_1 \sim F_4 \leq 1$), $P_{species}$: 種の産出頻度 (%)。

東北日本沖 (浮遊性有孔虫)

夏季 100m 層水温 (高柳ほか, 1985)

$$Ts(100) = 13.103 + 53.634F_1 - 129.873F_1^2 + 84.696F_1^3 - 30.528F_2 + 45.5999F_2^2 - 25.456F_2^3 - 10.218F_3 + 7.747F_3^3 - 27.870F_4 + 382.230F_4^2 - 719.611F_4^3$$

冬季表層水温 (尾田ほか, 1983)

$$Tw(0) = 17.908 - 15.553F_1^2 - 28.327F_1F_4 - 14.874F_2^2 - 61.467F_2F_3 - 63.651F_2F_4$$

東北一沖縄 (石灰質ナンノプランクトン)

年平均表層水温 (Tanaka, 1991)

$$Ta(0) = -0.1610p_{C. leptoporus} - 0.7178p_{C. pelagicus} - 0.094p_{G. oceanica} + 0.7033p_{R. clavigera} + 0.2877p_{U. sibogae} + 24.6$$

関数として表される (Imbrie and Kipp, 1973; Tanaka, 1991, など) が, 2 次または 3 次式で表されることもある (表 1)。また, その説明変数の選び方には任意性があり, 群集の主成分因子分析により得たバリマックス群集 (尾田ほか, 1983) やクラスター分析から求めた群集 (Tanaka, 1991) の代表種の産出頻度が用いられる。さらに, 変数の数を③のように多数にしたり, ②の端成分に相当するような 2 個とすることもできる。すなわち, ①の温度変換関数では同一の手法でもって②・③に類似の結果を得ることも可能である。したがって, これは②・③の方法を包含する, いわば一般解的な手法と見なすことができる。

しかし, この手法を底生有孔虫に適用するには, 浮遊性種との生態上の違いが問題となる。有孔虫の分析は様々な環境要素によって規制されているが, 浮遊性種ではとくに表層水の特性が大きな支配要素と考えられる。底生種の場合でも, その分布は底層水の特性と密接な関係にあるが, それに加えて海底地形とそれに伴う底質や水流などの影響を強く受ける。そのため, 個々の種は微地形に応じて断続的に分布し, 水温などの環境条件が一定の範囲にあっても, 組成の異なる群集が存在し得る。

また, 浮遊性と底生では, 水温とのかかわり方でも差異があると考えられる。高柳・尾田 (1983) は東北日本沖の太平洋において表層堆積物中の浮遊性遺骸群集を解析し, 主要な 4 群集がその海域のおもな水塊に対応していることを示した (表

1)。これは, 堆積物中の群集組成の地理的変異が表層水塊およびそこに生息する群集の分布をかなり忠実に反映することを意味するものである。この海域は黒潮・親潮の混合域であり, 両水塊の分布は複雑かつ変化に富むが, 平均的には 1 年周期で南北の押し引きを繰り返している。一般に, 堆積物の 1 試料が表わす時間は少なくとも数年以上 (遠洋性堆積物では厚さ 1cm で数百年以上) におよぶ。したがって, そこに含まれる群集にはその期間の季節変化や経年変化に応じて表層付近に出現・繁殖した種群が含まれると見なされる。そこで, 群集変化と比較する水温としては, 年平均・夏季平均・冬季平均など様々な値を用いることが可能である。

これに対し, 底生種は水温の季節変化や数年程度の変化に対応できるほどの速さで移住することは考えにくい。そのため, 底生種の生存を規制する水温としては平均値ではなく, たとえば年最高や年最低, あるいは繁殖期の水温といった, 特定の時期の水温が重要な意味を持つと考えられる。有孔虫の繁殖周期や繁殖・成長の季節は種によって異なるので, 底生種の分布を規制する水温として, どの時期のものが適当かを一義的に定めるのは困難である。このため, 浮遊性種と同様の温度変換関数を底生種により作成することには問題がある。

そこで, つぎに上記の②および③の方法について考えることにする。②の方法は, 化石種の中から端成分となる種群 (暖流系種と寒流系種) を選

び、両種群の比率を求めるものである。これは珪藻の Td 値 (Kanaya and Koizumi, 1966) と同様の手法である。また、③は(層準ごとの)個々の種の分布範囲を広域的に調べてそれぞれの種の分布限界と水温を対応づけ、あるいは分布範囲の差異により種群を区分し、気候帯を決定する方法である。

これらの方法により古水温を推定するためには、その基準値として、②の場合は一方の成分が 100% の水温、③では種ごとの分布限界の水温を求める必要がある。しかし、化石種について直接その値を得る方法はないので、それらは現生種の生態から推定することになる。しかし、浅海性の貝化石では、暖流系のいくつかのグループが中期中新世以降、北方に分布を広げたことが示されている (小高・小笠原編, 1983)。それは世界的な寒冷化の中で低温環境に適応進化した結果と考えられている。このことは、生物が温度耐性を変える可能性を示唆するものであり、同時に、現生種をもとに化石種の生態を推定することの困難さを示している。

一方、底生有孔虫の分布が水塊の分布とよい対応関係にあることが明らかにされ、それをもとにした古環境変遷が論じられている。たとえば、大西洋の深海域では、北大西洋深層水や南極底層水に対応する底生有孔虫群集が認識され、それらの分布の変化から更新世を通じての両水塊の消長が明らかにされている (Streeter, 1973; Schnitker, 1974; Lohmann, 1978)。これらの研究は、水期に海流の速さや流量、水塊の分布範囲が明らかに変化したことを示唆している。しかし、水塊と底生有孔虫の対応関係は少なくとも最終氷期以前まで遡って認められており、最終氷期の顕著な気候変化を経ても、その関係が変わらなかったことを示している。

以上のことから、水塊はかなり安定的に形成されること、また、起源となる海域の気候が急変したり、地殻変動に伴う海陸分布の変化によって海流の流路が大きく変わることがなければ、水塊の分布パターンは持続することなどが期待できる。そこで、これらの前提を適用することによって、地質時代 (少なくとも新第三紀以降) の群集の分

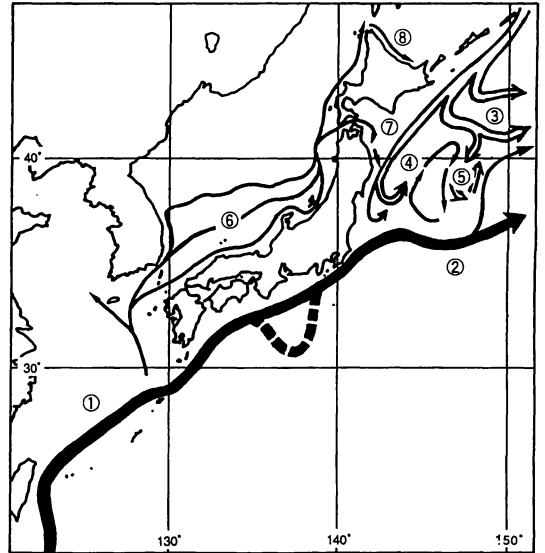


図 1. 日本周辺の模式的な海流分布。①黒潮、②黒潮続流、③親潮、④親潮第一分枝、⑤親潮第二分枝、⑥対馬暖流、⑦津軽暖流、⑧宗谷暖流。

布から、過去の水塊の分布を鮮明にすること、さらに、水温が水塊を決定する重要な要素であることから、水塊との対応関係を介して生物の分布から定性的な古水温分布を求めることが可能である。ただし、貝類化石の例 (小高・小笠原編, 前述) にもあるように、水塊の特性が徐々に変化する場合には、新たな環境に適応して形態や耐性の変化する種が出現する可能性もある。

日本周辺の底生有孔虫と水温分布

1. 表層水塊と水温分布

底生有孔虫と水温の関係を考えるに先立ち、現在の日本列島周辺における水温分布を、海況とくに表層水塊の分布との関連性から整理しておきたい。現在の日本周辺海域の表層部には、よく知られているように、太平洋の黒潮・親潮・津軽暖流、日本海の対馬暖流、およびオホーツク海の宗谷海流などに関連する水塊が分布する (図 1)。これらを海域ごとに見ることにする。

A. 太平洋

黒潮はフィリピン付近で北赤道海流から派生した海流で、台湾付近より日本付近まで北上し、西

南日本の南岸を大勢として東北東に向って流れる。紀伊半島沖から伊豆半島沖付近では、黒潮流路に二様性があり、直進と大蛇行を数年おきに繰り返す。黒潮大蛇行の時には、遠州灘沖に冷水塊が形成される。黒潮の流れは房総半島付近で北東に向きを変えて次第に日本から離れ、その後は北緯 40 度付近を東方に向うが、これは黒潮統流と呼ばれる。

親潮はカムチャッカ半島沖から南西に向う水と南千島のウルップ水道より流出するオホーツク海の水が合わさった海流である(奥田, 1991)。主要な流れは北海道の沖で東方に向い、黒潮統流と平行に流れる。一部は南方に舌状に延びた冷水域の縁に沿って流れるが、それらのうち岸側のものは親潮第一分枝(または親潮第一貫入)、沖側のは親潮第 2 分枝と呼ばれる。

東北地方の東方海域は混合水域と呼ばれる黒

潮・親潮両水塊の会合部にあたる。その南限(黒潮前線)は黒潮が離岸する犬吠埼付近(北緯 36 度付近)より北東方向に延びる。また、北限は親潮の 2 分枝が分れる北緯 42~44 度付近にあたる。親潮の両分枝の間には黒潮の分枝(暖水舌)が入り込む。時には、その一部がちぎれて暖水塊となる。また、親潮第一分枝の先端は夏季には金華山沖であるが、冬季には常磐沖まで南下する。その周辺にはコールドコアも形成される。さらに、数年ごとにかかる親潮異常南下の時には茨城沖まで達し、接岸することもある(Sekine, 1988; 奥田, 1991)。このため、混合水域は暖水・冷水が複雑に入り組んで分布する水域であり、混乱水域とも呼ばれる(川合, 1972)。また、三陸沖では、もっとも陸寄りを後述の津軽暖流が南下しており、この海域の海況をさらに複雑にしている。

図 2 に日本周辺海域における最高および最低水

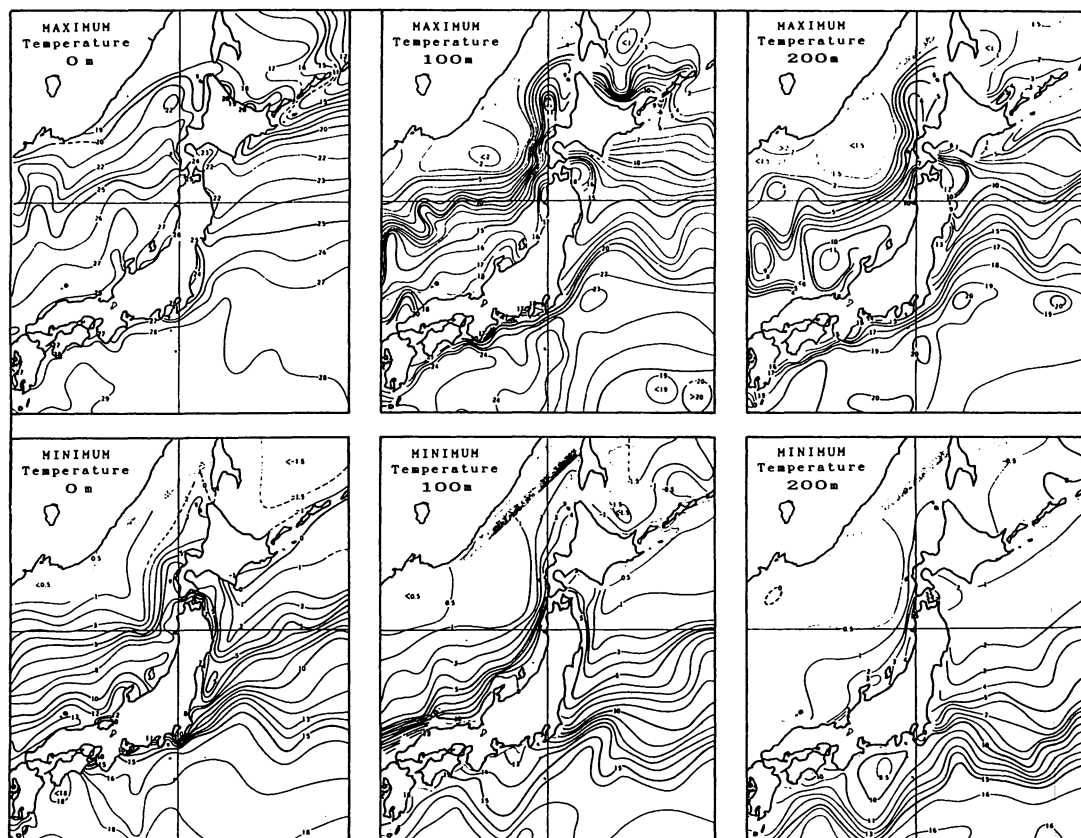


図 2. 日本周辺海域における最高および最低水温の分布。上段：最高水温，下段：最低水温，左列：表面 (0m)，中列：100m 層，右列：200m 層。(海洋資料センター (1975) を改編)。

温の分布を示す。海面上の風・大気との温度差・降雨・沿岸水などの影響が少ない 100m 層について見ると、黒潮・親潮両水域にあたる領域では等温線の間隔が粗く、混合水域付近では密になっており、水塊内とのその境界付近では水温勾配に差異のあることが読み取れる。とくに、混合水域南部の房総半島沖から常磐沖では等温線が著しく密である。また、親潮水域に相当する等温線が疎の領域は、最高水温では北海道南東沖にあるが、最低水温では常磐沖まで南下する。さらに、北部三陸沖では、夏の 100m 層水温が尻屋崎付近で 18℃、宮古付近で 15℃であり、通常とは逆の緯度変化が認められる。これは津軽暖流水の南下による特異な現象である。一方、黒潮流域では、遠州灘付近において最低水温が低くなっており、黒潮大蛇行の影響が読み取れる。また、このために、黒潮流軸方向の水温勾配が九州から四国沖でやや大きくなっている。

B. 日本海

対馬暖流は日本海に流入する唯一の海流で、黒潮から派生し、東シナ海で沿岸水の影響を受けて変質した水塊よりなる。これは対馬海峡より流入して、一部は朝鮮半島に沿って北上するが、他は本州寄りを東方に向う。北上した流れ（東鮮暖流）は北緯 38 度付近で向きを変え、その後は東方に直進するか（三分岐説）、あるいは南方に転じて、以後は蛇行する（蛇行説）。これらの流路は季節的・経年的に複雑に変動する（長沼, 1977; 周東, 1982）が、平均的には日本海南半部に広がって北東方向に流れる。対馬暖流水の大半は津軽海峡より太平洋に流出し津軽暖流となる。これは海峡の東方海域に広がり、一部は三陸沿岸を南下する。一方、暖流水の残りはさらに北海道西岸を北上するが、その一部は宗谷海峡よりオホーツク海に入って宗谷暖流となる。

水温の緯度変化について太平洋沿岸海域と比較すると、等温線の位置には明瞭な差がある。これを 100m 層で見ると、最高水温の 17℃等温線は日本海沿岸では津軽海峡（北緯 41.5 度）に達するが、太平洋沿岸では、三陸北部の津軽暖流の影響を受ける部分を除くと、茨城県沖（北緯 37 度）に

位置する。また、最低水温の 8℃線も日本海で津軽海峡に達するのに対し、太平洋では銚子付近（北緯 36 度）にある。このような水温分布は、黒潮が房総付近で沿岸から離れるのに対して、日本海では対馬暖流の勢力が津軽海峡まで保持されている結果である。

日本海の南部が表層を対馬暖流によって覆われた暖流域であるのに対し、北部は著しく冷たい水より成る寒流域である。100m 層の水温は夏季（最高）は約 3℃であるが、冬季（最低）は約 1℃となりピョートル大帝湾や間宮海峡など沿海州の近海では海水が形成される（赤川, 1990）。日本海の深層水（日本海固有水）はこの北部海域の表層水が冬季に著しく冷却されることによって形成されると考えられている。

C. オホーツク海

青田（1985）によると、オホーツク海には宗谷暖流水・オホーツク海表層低塩分水・中冷水の 3 水塊が分布する。宗谷暖流は対馬暖流の続流で、北海道の沿岸（紋別沖で最大 20 マイル）に沿って流れる。その厚さは約 150m であるが、その表層約 50m は冬季に低塩分水に覆われる。この低塩分水はオホーツク海西部海域の表層数 10m を広く覆うもので、アムール川などシベリアから流入する淡水と海水の溶解によるものである。また、それが低塩であるため、冬季には結氷しやすい。中冷水は低温高塩分の中層水で、表層水の冷却・海水生成に伴う塩分の増加によって形成される。これらの水塊は常に顕著な躍層を形成するが、その位置は季節により規則的に変動する。

2. 現在の海況を指標する底生有孔虫の分布

前節で述べたような群集やその構成種と水塊の対応関係は日本周辺海域でも次第に明らかになってきている。秋元・長谷川（1989）は先に現生群集の深度分布をもとに深度帯を設定したが、それは水塊との対応関係にもとづくものである。日本海南部（暖流域）を例にとると、ここでは浅海帯（内部・中部・外部）・上部漸深海帯・中部漸深海帯が区分されたが、それらは成層構造をなす 3 水塊、表層水（対馬暖流）・中層水（暖流水の下

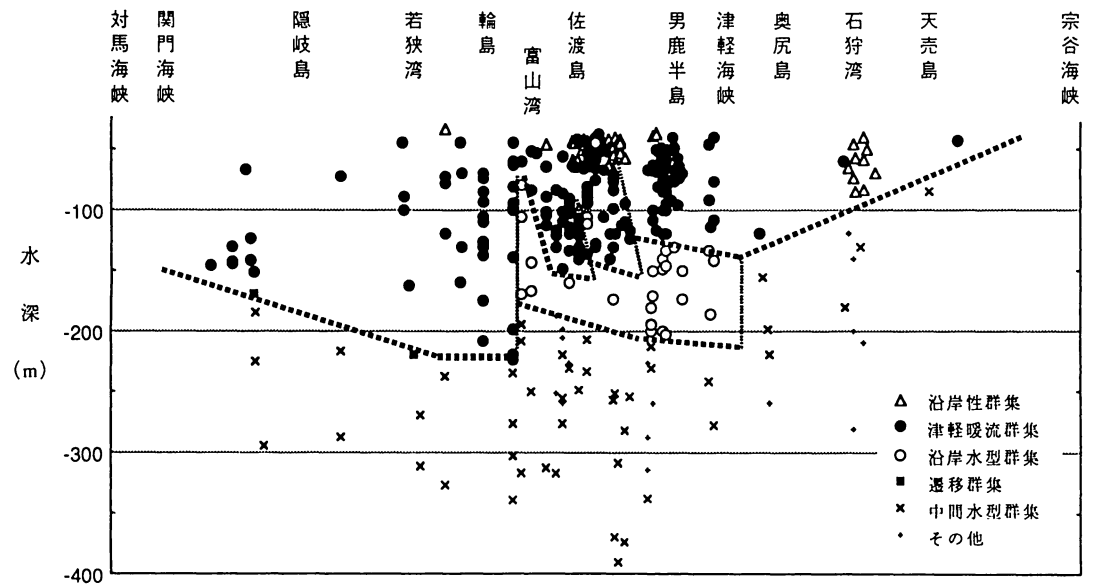
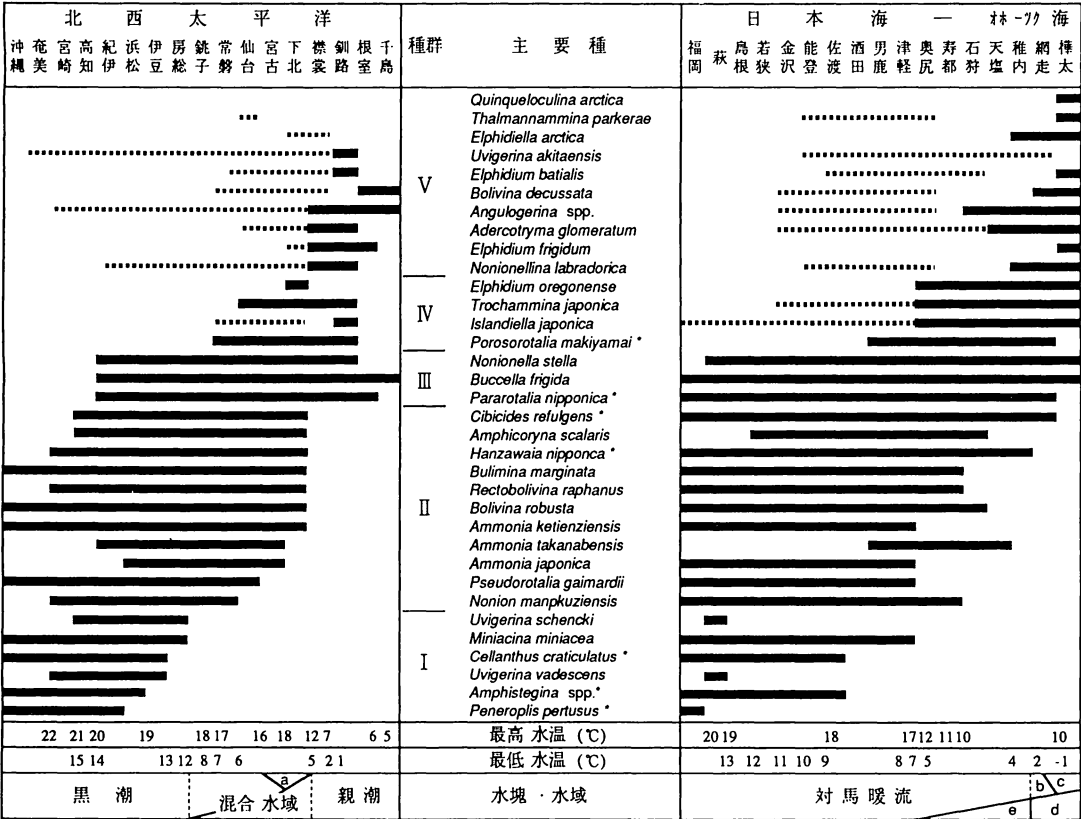


図3. 日本海南部（暖流域）における底生有孔虫群集の深度分布.（未公表資料を加え，長谷川（1988）を改編）.



a:津軽暖流, b:宗谷暖流, c:オホーツク海表層低塩分水, d:オホーツク海中冷水, e:日本海中間水

図4. 日本周辺の浅海域における底生有孔虫種群の地理的分布. 下段に 100m 層における最低・最高水温（海洋資料センター，1975）と，おもな水塊・海流の分布を示す. アステリスク（*）を付したものは内部浅海帯の種.

に押込まれた寒流域の表層水)・深層水(日本海固有水),にそれぞれ対応する。このため,筆者は各深度帯の群集を,浅海側より,対馬暖流群集,中間水型群集,日本海固有水群集と呼んだ(長谷川, 1989)。

対馬暖流群集は山陰沖より津軽海峡付近まで分布する。その分布範囲の下限の水深は南西側から北西に向って段階的に浅くなる(図3)。また,津軽海峡より北方では,表層の暖流水に対応する群集の組成が著しく変化する。一方,中間水型群集は南部海域では山陰沖より津軽沖にわたって分布する。さらに,この群集の指標種である *Angulogerina japonica* の近縁種は,北部北海道沖では陸棚中部以深より報告されている(桑野, 1953)。

対馬暖流群集に認められる深度分布の変化のうち,能登付近から津軽付近までの変化は富山以北で急激に増加する沿岸水の影響と考えられる(長谷川, 1989)。一方,津軽海峡での変化は暖流水の大半が津軽海峡より太平洋に流出し,それ以北で水塊の特性が変化することに対応していると理解できる。また,中間水型群集の分布に見られるように,水塊の深度分布が変化するのに対応して,群集の分布範囲も移り変わる。

このような水塊との関係を手がかりにして,日本周辺における浅海性底生有孔虫群の分布を整理し,それと水温分布との対応関係を検討した。なお,ここでは表層水塊の水温・塩分の特性からその存在が容易に認定できる,水深100m付近を中心とする範囲(およそ50m~150m)の群集について扱った。資料としては,井上(1980)によってまとめられた日本周辺における地理的分布を土台にして,その後に公表された資料(的場・本間, 1986; 海保・長谷川, 1986; Inoue, 1989; Akimoto, 1990)と筆者の未公表資料を加えたものを用いた。

おもな種群の分布と100m層における最低水温および最高水温を,太平洋と日本海(およびオホーツク海)に分けて図4に示す。日本付近の有孔虫はその地理的分布から以下の5種群に区分できる。

種群Ⅰ. *Miniacina miniacea*, *Uvigerina schencki*

[分布] 太平洋—房総半島沖以南の黒潮水域, 日本海—津軽半島沖以南の対馬暖流域

[水温] 最高水温 17℃以上

種群Ⅱ. *Ammonia japonica*, *A. ketienziensis*, *A. takanabensis*, *Amphicoryna scalaris*, *Bolivina robusta*, *Bulimina marginata*, *Nonion manpukuzensis*, *Pseudorotalia gaimardii*, *Rectobolivina raphanus*

[分布] 太平洋—北海道襟裳岬以南の混合水域と黒潮水域, 日本海—稚内付近以南

[水温] 最高水温 10℃以上

種群Ⅲ. *Buccella frigida*, *Nonionella stella*, *Pararotalia nipponica*

[分布] 四国沖以南の太平洋沿岸域を除く日本列島周辺海域

[水温] 最高水温 20℃以下

種群Ⅳ. *Elphidium oregonense*, *Islandiella japonica*, *Trochammina japonica*

[分布] 太平洋—常磐沖以北, 日本海—奥尻島周辺以北～オホーツク海

[水温] 最高水温 18℃以下, 最低水温 9℃以下

種群Ⅴ. *Adercotryma glomeratum*, *Angulogerina* spp. (*A. japonica*, *A. kokozuraensis*, *A. angulata* など), *Bolivina decussata*, *Elphidiella arctica*, *Elphidium batialis*, *E. frigidum*, *Nonionellina labradorica*, *Quinqueloculina arctica*, *Thalmanammina parkerae*, *Uvigerina akitaensis*

[分布] 太平洋—襟裳岬沖以北(東)の純親潮水域, 日本海—石狩湾以北～オホーツク海

[水温] 最高水温 12℃以下, 最低水温 5℃以下

熱帯域の内部浅海帯に多い *Amphistegina* spp., *Cellanthus craticulatus*, *Peneroplis pertusus* など種群Ⅰと同様の分布をとる。これらも含めて, 種群Ⅰの多くが熱帯域より報告されている。また, これらの中には最低水温が13℃より高い, 房総以南や萩沖以西の海域にのみ分布するものもあり, 熱帯性の種群と見なすことができる。

種群Ⅰは東北日本周辺まで分布するが, この種群のなかでも *Miniacina miniacea* はもっとも広い分布をとる(図5)。この種は樹枝状で淡紅色の

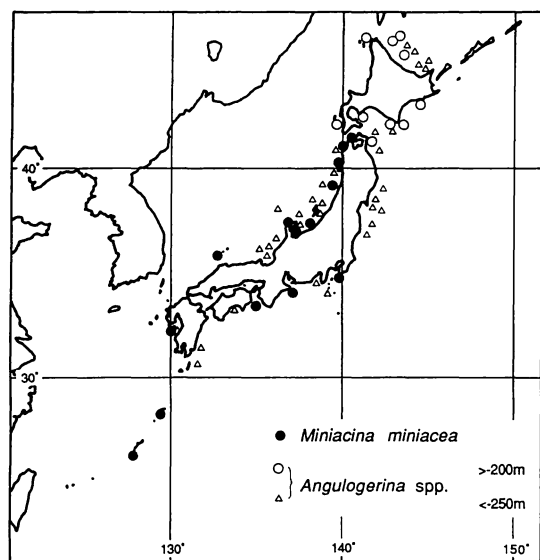


図5. 日本周辺における底生有孔虫2種群の分布。*Miniacina miniacea*は種群Ⅰに属し、その分布は黒潮と津軽暖流の分布範囲に対応する。*Angulogerina* spp. (種群Ⅴ)については200m以浅と250m以深に分けて産出を示す。これは北海道周辺海域では中部浅海帯より深海帯にかけて分布するが、太平洋の襟裳岬および日本海の津軽沖より南方では、上部漸深海帯以深に限られる。

殻を有し、内部構造にも顕著な特徴をもつ。熱帯域ではサンゴ骨格などに付着して生息するが、日本付近では貝類の死殻・ウニの棘・岩石片などに付着する (Hasegawa and Takayanagi, 1981)。有孔虫の分布は様々な環境要素にも支配されるが、底生種ではとくに微地形とそれに伴う底質や水流などの影響を強く受ける。このため、多くの種にとって、表層堆積物中に確認される分布は、水温に関して適応可能な範囲よりは狭くなると考えられる。しかしながら、*M. miniacea*は、その殻の特異な形状によって、死後の移動で殻が破片になっても存在を確認することができる。このため、地形的制約による分布範囲の縮小が多少は解消されるので、ほかの種よりも分布が広がったものと考えられる。

*Miniacina miniacea*も含めた種群Ⅰは太平洋沿岸では房総半島南部 (北緯35度) より南方に分布するが、日本海側では津軽海峡付近 (北緯41.5度) まで確認できる。これは、暖流の影響を受け

る沿岸の北限が日本海側と太平洋側で大きく異なる事実と一致しており、有孔虫の分布が水温分布をかなり忠実に反映することを実証している。

種群Ⅱの分布は日本列島周辺を流れる黒潮、対馬暖流、津軽暖流の分布と一致する。また、内部浅海域を分布の中心とする種はオホーツク海にも産出しており、宗谷暖流の分布を反映している。一方、これらの種は親潮前線より北の純親潮水域には分布しない。この種群の北限付近における最低水温は太平洋側では約5℃であるのに対し、オホーツク海では約2℃であって一致しない。一方、最高水温は両海域とも約10℃であることから、この種群にとって、夏季の水温が分布を制限する要因である可能性が高い。

種群Ⅲの分布は南限が最高水温約20℃であり、分布範囲が種群Ⅱと種群Ⅳの範囲に跨がることから、温帯域の種群と考えられる。

種群Ⅳの分布は最高水温18℃未満で極端に暖かくなならない海域、すなわち、太平洋では親潮の影響を受ける混合域以北、日本海でも対馬暖流の勢力が弱まる津軽海峡以北に限られる。また、種群Ⅴは南限が最高水温12℃以下の海域、日本海北部の間宮海峡付近やピョートル大帝湾付近、オホーツク海各地の沿岸やベーリング海、アラスカ湾、北極海から報告されている (Troitskaya, 1972; Saidova, 1961; Fursenko *et al.*, 1979; Loeblich and Tappan, 1953; Bergen and O'Neil, 1979)。これら両種群の南限は、最低水温が前者は9℃以下、後者は5℃以下で、太平洋と日本海で一致していることから、冬季の低温が分布を規制している可能性もある。このような分布から、種群Ⅳは亜寒帯、種群Ⅴは寒帯の種群と考えられる。

種群Ⅳ・Ⅴの種は上記の表層水域における南限より南の海域では中層以深に生息する。たとえば、種群Ⅴの*Angulogerina* spp. と*Bolivina decussata*は上述のように中間水型群集を代表する種であり (長谷川, 1989)、日本海の奥尻島以南では水深約200m以深に分布する (図5)。また、*Elphidium batialis*と*Nonionellina labradorica*は下北半島付近から南の海域では水深約800m～1800mの深度に多産する (Matoba, 1976; 海保・長谷川, 1986)。これらの水深はそれぞれの海域に

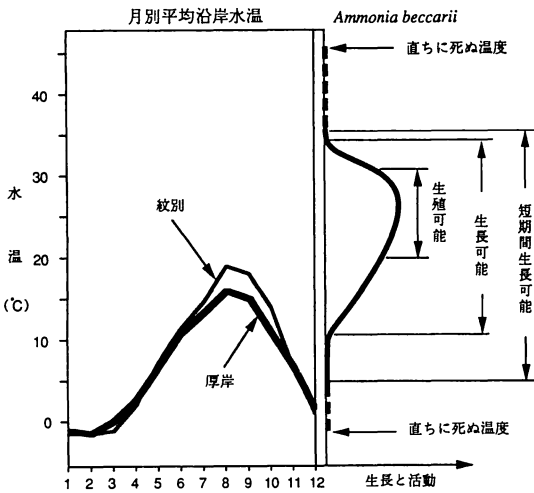


図6. 浅海性底生有孔虫 *Ammonia beccarii* の温度に対する耐性(右)と北海道東部沿岸域の月別平均水温(左). Bradshaw (1961) および小笠原 (1990) を改編.

において最高水温が10℃未満の深度である。

以上の資料より、種群の分布限界はおもに最高水温によって表わすことができるように見える。同様のことは代表的な沿岸性種 *Ammonia beccarii* の分布からも考えられる。この種は種群Ⅱに近い分布をするが、それよりもやや広く、北海道東部の厚岸湾 (Morishima and Chiji, 1953) やサロマ湖 (吉田, 1954) から報告されている。一方, Bradshaw (1961) の飼育実験によると、その亜種 *A. beccarii tepida* は水温6℃以上で生存が可能であり、20℃以上で繁殖可能となる。しかし、-2℃以下では即死するとされている (図6)。

ところが、厚岸沿岸やサロマ湖に近い紋別沿岸の月別平均沿岸水温は、最低が-2℃ (2月)、最高は厚岸が16℃、紋別が20℃ (ともに8月) である (小笠原, 1990)。すなわち、実験にもとづけば、北海道東部では真冬には生存可能な温度を下回る日が多いにもかかわらず生存していることになり、自然状態では実験室内よりも強い耐久力が発揮される可能性を示唆している。また、とくに厚岸では真夏にも平均水温が20℃を下回っており、繁殖に必要な水温に達しない日が多いことになる。しかし、ここでも実際に20℃を越す日が記録されている (Yamaji, 1950)。また、サロマ湖付近

では夏季に宗谷暖流の影響を強く受けると考えられる。つまり、これらの水域では、平均では適性温度を下回っても、短期間ながら繁殖に必要な水温が確保されていることになる。

このように、水温は有孔虫の生息を規制する重要な要素であるが、その条件はその生活史の中のある段階で、たとえば繁殖期に、短期間でも満たされれば十分である可能性がある。こうしたことから、水温については最高温度が共存を規制する重要な要素である可能性が高い。

一方、上記のように、種群Ⅳ・Ⅴのような寒冷域の種群では、冬季の最低水温が意味を持つ可能性もある。有孔虫には同一種の中に初室の大きさが異なる2型のあることが知られており、一般的には初室の大きい大球形 (megalospheric) の個体が卓越する。しかし、不都合な環境や厳しい冬季には小球形 (microspheric) の個体が卓越、または、それのみになるといわれている (Hofker, 1930; Boltovskoy and Wright, 1976)。もしも、有孔虫にとってある一定の間隔で小球形世代を経る必要があるとしたら、そこに至るために、ある程度の低温な (あるいは不都合な環境の) 期間を必要としていることが考えられる。今後、このような可能性を含めて、有孔虫の生態と生息条件に関するさらに多くの調査が必要である。

有孔虫化石にもとづく中新世以降の水温分布

前節までに、有孔虫の分布が水塊および水温の分布をよく表現していることを述べた。この関係を化石群集の分布に応用することによって、地質時代の相対的な古水温分布を推定できる可能性がある。しかし、現状では化石群集の地理的分布に関する詳細な資料が十分に得られてはいない。ここでは、浮遊性種を含めた有孔虫化石の日本付近における分布から推定される新生代後期の海況変化を、既存資料をもとに概観する。

水塊との対応関係をもとに、有孔虫の分布から古水温の分布を求めるためには、対象となる過去の水塊分布が現在のパターンに類似するか、あるいは現在のものから推定可能でなければならない。現在の黒潮と親潮は、それぞれ北太平洋における亜熱帯循環および亜寒帯循環の西岸境界流で

ある。太平洋西縁における大洋とアジア大陸の位置関係や偏西風の大まかな経路は新第三紀を通じてあまり変化してないと考えられるので、この循環系の存在や暖流（黒潮）・寒流（親潮）両水塊の分布パターンは現在に至るまで大きく異なることはなかったと思われる。

日本周辺における古水温の分布の変化は、第一次近似として、暖流系・寒流系両水塊の分布範囲が南北方向に変化したことによると考えられる。両水塊の指標となる有孔虫種群は、日本を含む北西太平洋域における個々の種の分布を調査し、南方あるいは北方への偏りを確認することによって判定することができる。さらに、分布の北限・南限の種による差異をより詳細に認識できれば、前節の種群 I-V のような 5 段階程度の区分は可能であろう。また、これらの方法によれば、絶滅種についても水温指標の種として扱うことが可能になる。

一方、対馬暖流やその続流である津軽暖流や宗谷暖流については、同様の暖流が新第三紀を通じて常に存在したわけではない。現在の日本列島と対馬暖流は黒潮水系という暖い流れの中に浮いけば“中の島”とその北西側を流れる側流である。前述のように、本流である黒潮が房総付近まで北上した後、銚子付近（およそ北緯 36 度）で本州沿岸から離れるのに対し、側流の対馬暖流は津軽海峡（およそ北緯 41.5 度）まで北上し、さらにその一部は宗谷海峡（北緯 45.5 度）まで達する。これらは北東方に流れる暖流が東側に位置する中ノ島によって遮られた結果であると解釈できる。さらに、津軽海峡東方海域において、水温が南方に向かって低下する現象もまた、黒潮よりも北上した対馬暖流が親潮域に流入した結果であり、“中の島”の存在によるものと考えられる。

これに対し、たとえば中期中新世には、日本海南西部と太平洋（または東シナ海）との連絡が断たれ、日本海々域は北方に開いた湾になったと考えられる。かつて、浅野はこの海を古日本湾と呼んだ（浅野・高柳, 1966）。このような時期には、太平洋沿岸を流れる暖流（古黒潮）が古日本湾の湾口まで北上しない限りは日本海側地域に暖流が侵入しなかったと推定される。その結果、古日本

湾の南限が現在と同様に古黒潮の離岸する緯度よりも南方にあったとしても、そこは寒流の支配する海域であった可能性が高い。また、宗谷暖流のような暖水を北方までもたらず経路も存在しなかったと考えられる。

したがって、日本列島が“中の島”となり、対馬暖流に相当する暖流が存在したか否かは、単に日本海側地域のみならず、太平洋も含めた北日本周辺海域の水温分布に大きな影響を及ぼしたと考えられる。今日の日本海側地域に暖流が入ったことが有孔虫化石の証拠から推定できるのは、以下の A~C の時期である。

A. 中期更新世, 下末吉期 (約 0.12Ma)

平床貝層（能登半島北部）：熱帯性の浮遊性種（北陸第四紀研究グループ, 1963）、種群 I の底生種を含む（Asano, 1937）。

朝日山貝層（能登半島南部）：漸移帯から亜寒帯の浮遊性種（北陸第四紀研究グループ, 1963）、種群 III の底生種よりなる（Chiji, 1961）。平床貝層と朝日山貝層の組成の相違は地理的位置を反映した海況条件の差と考えられている（北陸第四紀研究グループ, 1963）。

太平洋側の茨城県鹿島沖では、約 0.3Ma 以降に黒潮と津軽暖流が交互に強い影響が及ぼしていたことが、抗井試料の浮遊性有孔虫群集の解析により明らかにされている（高柳ほか, 1985）。この“津軽暖流”を示す有孔虫化石群集は現在の津軽海峡出口付近を中心とする津軽暖流分布域の表層堆積物中に認められるものと同じ組成である（高柳・尾田, 1983）。この化石群集が真に“暖流”系の群集であるとすれば、それに対応する古海流は日本海に流入した古対馬暖流の続流である可能性が高い。しかし、日本海沿岸や北日本のほかの地域において、この層準から有孔虫群集は報告されていない。このため、その暖流の流路や、それがどのあたりまで北上したかなど、水塊の分布は明らかではない。

B. 前期更新世の後期

大桑層（金沢）・灰爪層（新潟）：熱帯性・亜熱

帯性の浮遊性種, 種群Ⅱの底生種を含む(米谷, 1978; Hasegawa, 1979; 高山ほか, 1988, など).

頭川層(小矢部): 亜熱帯性の浮遊性種, 種群Ⅰ・Ⅱの底生種を含む(Hasegawa, 1979; Hasegawa and Takayanagi, 1981)

笹岡層(秋田): 亜熱帯性の浮遊性種, 種群Ⅱの底生種を含む(藤岡ほか, 1977; 福田, 1973; 佐藤ほか, 1988a).

北浦層~安田層(男鹿半島)・大釈迦層(津軽)・瀬棚層(渡島半島北部): 亜熱帯性の浮遊性種, 種群Ⅱ~Ⅴの底生種を含む.(白井, 1959; 米谷, 1978; Matoba, 1990; 亀丸・根本, 1991, ほか)

日本海沿岸地域において, 鮮新統に含まれる底生群集はおもに漸深海帯の種で構成される. このため, 底生種群から表層水塊の状態を知ることができるのは, 鮮新世末期以降に限られる. 種群Ⅱの分布は渡島半島地域にまでおよぶが, 種群Ⅰは北陸地域でわずかに認められるに過ぎない. 一方, 秋田付近より北方では群集中に種群Ⅴの要素が含まれる.

鮮新統上部-更新統に見られる浮遊性群集の主体は *Neogloboquadrina pachyderma*, *N. incompta*, *Globigerina quinqueloba* などであり, *Globorotalia inflata* や *Orbulina universa*などを伴う. これらのうち *N. pachyderma* の殻の巻方向は下部更新統の下部以下では右巻が, その上位では左巻がそれぞれ優勢である. 下部更新統の群集を, Bradshaw (1959) の北太平洋~赤道太平洋における分布にもとづく現生群集の区分と比較すると, 下半部の群集は遷移帯(Transition)群集に, 上半部のそれは亜北極帯群集に対応する.

一方, 上述の亜熱帯性種(*Globigerinoides ruber* ほか)が産出するのはおもに鮮新統最上部より上位であるが, 実際には産出頻度はあまり高くない. また, 熱帯性種(*Pulleniatina obliquiloculata*, *Globorotalia cultrata*)は下部更新統の上部にのみ含まれる. その層準は大桑層では *N. pachyderma* の殻の巻方向が右優勢から左優勢に変化する層準の直下, 大型 *Gephyrocapsa* (石灰質ナノ化石) の消滅層準(1.10Ma)より

下位に位置している(高山ほか, 1988).

なお, 山口県沖の海底からは熱帯性種を多く含む浮遊性群集が報告されており, その年代は石灰質ナノ化石により約1.5Maとされている(Okamoto and Ibaraki, 1988). これについて, 年代見積りの根拠となったOkamoto and Huang (1981)の表によると, 該当する石灰質ナノ化石群集には大型の *Gephyrocapsa* が含まれるが, *Helicosphaera sellii* の産出は報告されていない. これに着目すると, 佐藤ほか(1988b)の微化石層序からそれらの年代は1.19-1.10Ma (*H. sellii* の消滅から大型 *Gephyrocapsa* の消滅まで)に位置づけられ, 大桑層で熱帯性種が産出し始める年代にはば一致する.

日本海側地域に広く分布する軟体動物化石の大桑・万願寺動物群は鮮新世-更新世の寒流系群集と見なされてきた. しかし, 近年になって, 同動物群には暖流系貝類が様々な層準に含まれることが明らかにされている. とくに, 金沢付近の大桑層上部からは暖流系種を主体とする新期大桑動物群が報告されている(Ogasawara, 1977, 1981; 増田・小笠原, 1981; 小笠原, 1983).

有孔虫群集の分布から見ると, 前期更新世の前半の日本海に対馬暖流に匹敵するよう顕著な暖流は流入せず, 秋田以北には寒流系水が分布したと考えられる. これは現在の津軽海峡より北の海況にやや類似する. しかし, *N. pachyderma* は右巻個体が優勢であり, 左巻が優勢な現在の日本海北部ほど寒冷ではなかったことが推定される.

これに対し, 前期更新世の後半には海況が一変したと考えられる. 下部更新統の上部で *N. pachyderma* の左巻個体が優勢になることは親潮のような寒流系水の支配する亜寒帯水域を示唆する. 一方, 北陸南部の氷見層群上部からは浮遊性・底生ともに熱帯性種が産出し, 黒潮や対馬暖流のような暖流の流入を示す. したがって, 前期更新世の中期に, それまでの比較的安定した温帯性の海況から, 親潮のような亜寒帯水が支配的であり, なおかつ間欠的に暖流が流れ込むといった変化の著しい海況に移ったことになる.

ところで, 瀬棚層の群集からみて, この暖流が渡島半島まで達したことは確実である. これは,

そこより南には暖流を太平洋に導く海峡はなかったこと、すなわち、現在の津軽海峡は存在していなかったことを示唆する。一方、渡島半島より北方については、この時期の群集は明確にされていない。もしも暖流が北海道中部以北には達しないとすると、その太平洋への出口として候補にのぼるのは渡島半島北部の黒松内低地帯と石狩低地帯である。これらの地域について、古水温分布の観点からの検討が必要である。

C. 前期中新世末～中期中新世初頭

大安在川層（渡島半島南部）ほか：*Operculina complanata japonica*, *Miogypsina kotoi*, *Amphistegina spp.* など種群 I に相当する熱帯性底生種（長尾・佐々, 1933, ほか）。

奔須部都層（石狩地域）：暖流系浮遊性種 *Globorotalia peripheroronda* を含む群集（米谷ほか, 1977; Tai and Kato, 1981）。

この時代は熱帯海中気候事件（土, 1985）と呼ばれる新第三紀でもっとも温暖な時期であり、台島型植物群、八尾・門の沢動物群などの暖流系生物群が広範囲に分布することで特徴づけられる。

有孔虫群についても、日本の各地から熱帯性種の産出が報告されており、その分布は北海道まで及んでいる。これまでに報告されている限り、熱帯性有孔虫の分布は渡島半島南部の大安在川層が北限である。それより北方では、北海道中軸帯西縁の日高から稚内に至る地域から *Ammonia yubariensis* や *A. tochigiensis* を含む群集が報告されている（Asano, 1953; 米谷ほか, 1977; Tai and Kato, 1981）。また、サハリンやカムチャッカからも、Tai (1979) により *A. tochigiensis* と判断された *Ammonia* が報告されている（Voloshinova *et al.*, 1970; Serova, 1978）。一方、浮遊性種では暖流系種と見なされる *Globorotalia peripheroronda* が石狩地域の奔須部都層から *A. yubariensis* とともに産出する（米谷ほか, 1977; Tai and Kato, 1981）。

これらの有孔虫化石資料から、渡島半島地域の南部以南は亜熱帯海域、同地域北部より北海道中部までは、暖流が入り込む温帯（あるいは遷移帯）海域であり、また、それより北方は暖流要素の見

られない亜寒帯海域であったと考えられる。この結果は鎮西（1983）の海生貝類の分布による海中気候帯区分とほぼ一致する。

先に述べたように、現在の対馬暖流は日本列島が障壁となって黒潮よりも北方に達している。これと同様に、当時の北上・阿武隈両地塊や飛驒山地より南西に続く中・古生界の分布地域は陸域であったと考えられるので、その北西側に回った暖流がその地形的制約によって北上を強いられ、北海道まで達した可能性がある。なお、鎮西（1981）はこの暖流が対馬暖流のような枝流ではなく、九州西方から流入した古黒潮の主軸であったと考えている。これに対し、氏家（1982）は暖流が“もっと東方”（フォッサマグナや関東付近）より日本海側へ流入したと考えている。

一方、この当時、北海道中軸帯（日高帯）は陸域であり、堆積物の供給源となっていたといわれている（たとえば保柳ほか, 1986）。しかし、浮遊性種の分布から、暖流はこれに沿って北上してはいないと見られる。したがって、中軸帯は“中の島”としての機能を果たしておらず、鎮西（1983）が示しているように、暖流は中軸帯の南側から太平洋に抜けていたと推定される。

D. 日本海に暖流が入らない期間

前期中新世末以来の熱帯海中気候事件が 15Ma 頃に終了するに先立って、日本付近は広範囲にわたって急速に沈降した（山路・佐藤, 1988）。事件後の寒冷化とともに北上から西南日本に連なる陸地はさらに大陸とつながり、日本海沿岸地域は北方で外洋に連なる湾（古日本湾）となった（浅野・高柳, 1966）。深海化したそれまでの堆積盆には膠着質殻種を主体とする有孔虫群集が広範囲に生息するようになった。

一方、表層水の状況を示す浮遊性生物や浅海性底生種群は、古日本湾の東縁部にあたる東北日本の脊梁山脈周辺地域に断片的に見られる。高崎から一関にかけての中部中新統の下部に含まれる底生群集はおもに種群 II～IV の種（またはその近縁種）で構成されており（Takayanagi *et al.*, 1984）、この時期には著しい寒冷化は起きていなかったと考えられる。

これ以降の底生有孔虫群集の種構成について、仙台周辺を例に見ると、

青麻層（後期中新世）：種群Ⅱ～Ⅳに *Elphidiella hannai* が加わる（北村ほか, 1986）.

竜の口層（前期鮮新世；年代は柳沢（1990）による）：種群Ⅲ～Ⅳに *Elphidium frigidum* が加わるが、種群Ⅱは含まれない（Ogasawara *et al.*, 1990）.

大年寺層（後期鮮新世；年代は同上）：種群Ⅲ～Ⅳよりなる（Aoki, 1961）.

Elphidiella 属は寒帯から亜寒帯に多い属であり、また *Elphidium frigidum* は種群Ⅴに属す種である。ここで見られる底生有孔虫群集組成の変化からは、中期中新世以後に亜寒帯水域が次第に南下し、前期鮮新世に極大に達したこと、また、それが鮮新世後期にはやや後退したことなどが推定される。

しかし、これは仙台周辺というごく限られた範囲の変化を述べたものであり、それぞれの時代の太平洋沿岸海域、ひいては東北日本周辺海域における変化を捉ええたものではない。とくに、中新世後期以降は、脊梁地域の隆起を始めとする地形的高まりが次第に大きくなったと考えられる。これは水塊の分布（海流の流路）を強く規制し、水温分布を複雑なものにした可能性がある。これを理解するためには、これまで以上に詳細な地域間の対比と、古環境の地理的変異を把握するための十分な化石資料が必要となる。

また、中新世中期初頭以来の寒冷化傾向の中で、大桑層や平床貝層の堆積期（それぞれ、更新世の初期と中期の晩期）における日本海側地域への暖流の流入はいずれもかなり短期間に起きた事件であったと考えられる。これらの形跡を捉えるためには、これまで以上にきめの細かい調査が要求される。一方、このエピソード的な事件や、これと関連するであろう海水準変動の証拠などは、今後、より詳細な層位学的検討の際の有力な対比の手段となることが期待できる。

おわりに

本論では、中新世以降の日本周辺における古水温分布を有孔虫群集に対応する水塊の分布という

視点から概観した。群集組成や特定の種（群）の産出の有無から環境を推定するためには、古生物の生態やその生息環境を知る必要がある。そして、そのためには、化石種と比較し得る現生種の生態や生息条件を明らかにし、それらが化石種でも同様であったと見なすなんらかの根拠を明示する必要がある。しかし、現状ではそのような資料は十分に準備されてはいない。

一方、大気の大循環やそれに支配される海流は、循環速度に変化はあったものの、少なくとも新第三紀以降、基本的な流路に大きな変化はなかったと推定される。このことは海洋の表層水温の絶対値や温度勾配は変化したとしても、水塊の地理的分布のパターンは基本的には変わっていないことを意味する。こうした点は、水塊との対応関係をもとにして、種（群）の存否から気候帯や水温の地理的変異を推定することに、十分な根拠を与えていると考えられる。しかも、この方法によって得られるものが相対的な水温分布であるにもかかわらず、推定に必要な資料は今後も増加・充実が可能であり、その精度は詳細な古海洋環境研究に十分貢献できるものになると期待される。

最後に、新第三紀の古環境についてご討論いただいた東北大学理学部斎藤常正教授に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 赤川正臣, 1990: IV 海水. 日本海洋学会沿岸海洋研究部会（編）, 続・日本全国沿岸海洋誌, 第3章日本周辺海域の海上気象について, 69-76.
- Akimoto, K., 1990: Distribution of Recent benthic foraminiferal faunas in the Pacific off southwest Japan and around Hachijojima Island. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser. (Geol.)*, **60**, 139-223.
- 秋元和寛・長谷川四郎, 1989: 日本近海における現生底生有孔虫の深度分布—古水深尺度の確立に向けて—, 地質学論集, (32), 229-240.
- Aoki, N., 1961: Foraminifera from the Imozawagawa Formation in Sendai, Japan. *Trans. Proc. Soc. Japan, N. S.*, (41), 15-20.
- 青田昌秋, 1985: II-3 海況変動. 日本海洋学会沿岸海洋研究部会（編）, 日本全国沿岸海洋誌, 第1章オホーック海沿岸海域, 物理, 13-19.

- Asano, K., 1937: Pleistocene foraminifera from the Hiradoko Shell Beds, Noto Peninsula, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **44**, 1231-1238.
- , 1953: Miocene foraminifera from the Shintotsugawa area, Kabatogun, Hokkaido. *Trans. Proc. Soc. Japan, N. S.*, (10), 45-54.
- 浅野 清: 高柳洋吉, 1966: 化石有孔虫からみた日本海域の古地理. 総合討論会「日本海地域の地学的諸問題」討論資料, 29-35.
- Bergen, F. W. and O'Neil, P., 1979: Distribution of Holocene foraminifera in the Gulf of Alaska. *Jour. Paleontology*, **53**, 1267-1292.
- Boltovskoy, E. and Wright, R., 1976: Recent foraminifera. Dr. W. Junk b. v., The Hague, 515p.
- Bradshaw, J. S., 1959: Ecology of living planktonic foraminifera in the North and equatorial Pacific Ocean. *Cushman Found. Foram. Res., Contr.*, **10**, 25-64.
- , 1961: Laboratory experiments on the ecology of foraminifera. *Cushman Found. Foraminiferal Res., Contr.*, **12**, 87-106.
- Chiji, M., 1961: Foraminifera from the Asahiyama shell bed, Himi City, Toyama Prefecture. (Studies on Japanese Pleistocene Foraminifera, 1). Professor Jiro Makiyama Memorial Volume, 229-238.
- 鎮西清高, 1981: 東北日本における門ノ沢動物群(中新世)の分布と海洋古生物地理. 小高民夫・小笠原憲四郎(編), 日本産新生代貝類の起源と移動, 69-76.
- , 1983: 底生貝化石群からみた中新世における日本列島の海洋生物地理. 化石, (30), 7-15.
- Ericson, D. B., Ewing, M. and Wollin, G., 1964: The Pleistocene Epoch in deep-sea sediments. *Science*, **146**, 723-732.
- 藤岡一男・大沢 穠・高安泰助・池辺 穠, 1977: 秋田地域の地質. 地域地質研究報告 5 万分の 1 図幅, 地質調査所, 75p.
- 福田 理, 1973: 2, 2, 3 能代 GS-1. 日本の石油鉱業と技術, 石油技術協会, 118-121.
- Fursenko, A. V., Troitskaya, T. S., Lebchuk, L. K., Nesmeroba, O. N., Poloboba, T. P. and Fursenko, K. B., 1979, Foraminifery Dar'nevostochnykh Morey SSSR [Foraminifera of the far eastern seas of the USSR]. *Akad. Nauk. SSSR, Sibirskoe Otdelenie, Trudy Inst. Geol. Geophys.*, (387), 397p. (in Russian).
- Hasegawa, S., 1979: Foraminifera of the Himi Group, Hokuriku Province, central Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser. (Geol.)*, **49**, 89-169.
- 長谷川四郎, 1989: 日本海の沿岸性底生有孔虫群集. 高柳洋吉・石崎国熙(編), 論集「日本列島の有孔虫」, 東光印刷出版部, 131-142.
- Hasegawa, S. and Takayanagi, Y.: 1981: Notes on homotrematid foraminifera from Toyama Bay, central Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd ser. (Geol.)*, **51**, 67-86.
- Hofker, J., 1930: Der Generationswechsel von *Rotalia beccarii* var. *flevensis*, nov. var. *Z. f. Zellforschung u. mikr. anatomie*, **10**, 756-768.
- 北陸第四紀研究グループ, 1963: 富山県氷見周辺の第四系. 地球科学, (69), 1-15.
- 保柳康一・宮坂省吾・渡辺 寧・木村 学・松井 愈, 1986, “衝突帯”のタービダイト相形成とテクトニクス — 中新世・中央北海道の例 —. 地団研専報, (31), 265-284.
- Imbrie, J. and Kipp, N. G., 1971: A new micro-paleontological methods for quantitative paleoclimatology: Application to a Late Pleistocene Caribbean core. In Turekian, K. K. ed., The late Cenozoic Glacial Ages. Yale Univ. Press, 71-181.
- 井上洋子, 1980: 日本周辺海域の有孔虫の生態学的研究. その 1 日本周辺海域における現生底生有孔虫の分布, その 2 日本近海における有孔虫種の深度ならびに地理的分布. 石油資源開発(株)技研特報, (41-1), 1-114, (41-2), 1-307.
- Inoue, Y., 1989: Northwest Pacific foraminifera as paleoenvironmental indicators. *Sci. Rep. Inst. Geosci., Univ. Tsukuba, [B, Geol. Sci.]*, **10**, 57-162.
- 海保邦夫・長谷川四郎, 1986: 福島県小名浜沖底質堆積物中の底生有孔虫の深度分布. 的場保望・加藤道雄(編), 新生代底生有孔虫の研究, 秋田大学鉱山学部, 43-52.
- 海洋資料センター(編), 1975: 海洋環境図, 外洋編—北西太平洋. 日本水路協会, 164p.
- 亀丸文秀・根本直樹, 1991: 青森県浪岡町に分布する大釈迦層の有孔虫群集. *Sci. Rep. Hirosaki Univ.*, **38**, 147-161.
- Kanaya, T. and Koizumi, I., 1966: Interpretation of diatom thanatocoenoses from the North Pacific applied to a study of core V20-130 (Studies of a deep-sea core V20-130, part IV). *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser. (Geol.)*, **37**, 89-130.

- 川合英夫, 1972: 黒潮と親潮の海況学. 海洋科学基礎講座 2, 海洋物理Ⅱ, 第Ⅱ編, 東海大学出版会, 129-320.
- 北村 信・石井武政・寒川 旭・中川久夫, 1986: 仙台地域の地質. 地域地質研究報告 5 万分の 1 図幅, 地質調査所, 134p.
- 小高民夫・小笠原憲四郎 (編), 1983: 日本産新生代貝類の起源と移動, 125p.
- 桑野幸夫, 1953: 日本近海の現世有孔虫類の研究 I. オホーツク海南部の有孔虫遺骸群集 (1). 資源科学研究所彙報, (32), 71-83.
- Loeblich, A. R., Jr. and Tappan, H., 1953: Studies of Arctic foraminifera. *Smithsonian Misc. coll.*, 121(7), 1-150.
- Lohmann, G. P., 1978: Abyssal benthonic foraminifera as hydrographic indicators in the western South Atlantic Ocean. *Jour. Foraminiferal Res.*, 8, 6-34.
- 米谷盛壽郎, 1978: 東北日本油田地域における上部新生界の浮遊性有孔虫層序. 「日本の新生代地質」(池辺展生教授記念論文集), 35-60.
- ・一ノ関鉄郎・新保久弥・古田土俊夫・村田勇治郎・大倉 保・佐藤富人, 1977: 北海道中央部および西南部における白亜系, 第三系の有孔虫化石層序. 石油資源開発(株)技術特報, (39), 1-36.
- 増田孝一郎・小笠原憲四郎, 1981: 大桑・万願寺動物群と竜の口動物群. 軟体動物の研究, 大森昌衛教授還暦記念論文集刊行会, 223-249.
- Matoba, Y., 1976: Recent foraminiferal assemblages off Sendai, Northeast Japan. First. Int. Symp. Benthonic Foraminifera of Continental Margins, Part A. Ecology and Biology, 205-220.
- , 1990: Neogene and Quaternary sedimentary sequences in the Oga Peninsula. Guidebook for Field Trips, Benthos '90. Benthos '90 Organizing Committee, Sendai, B1-B62.
- 的場保望・本間 登, 1986: 西津軽沖日本海の現世底生有孔虫の深度分布. 的場保望・加藤道雄(編), 新生代底生有孔虫の研究, 秋田大学鉱山学部, 53-77.
- Morishima, M. and Chiji, M., 1953: Foraminiferal thanatocoenoses of Akkeshi Bay and its vicinity. *Mem. Coll. Sci., Univ. Kyoto, [B]*, 20, 113-117.
- 長沼光亮, 1977: 日本海の海況変動. 月刊海洋科学, 9, 65-69.
- 長尾 巧・佐々保雄, 1933: 北海道におけるミオグプシナの発見. 地質雑, 40, 278-279.
- 尾田太良・石崎国熙・高柳洋吉, 1983: 本州東北海域表層堆積物中の浮遊性有孔虫群集解析. 海洋の動的構造ニュースレター, (11), 3-9.
- 小笠原惇六, 1990: 東部沿岸海域, 日本海洋学会沿岸海洋研究部会(編), 続・日本全国沿岸海洋誌, 第 29 章, II, A. 474-483.
- Ogasawara, K., 1977: Paleontological analysis of Omma fauna from Toyama-Ishikawa area, Hokuriku Province, Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser. (geol.)*, 47, 43-156.
- , 1981: Paleogeographic significance of the Omma-Manganian fauna of the Japan Sea Borderland. *Saito Ho-on Kai Mus. Res. Bull.*, 49, 1-17.
- 小笠原憲四郎, 1983: 大桑満願寺動物群の起源と移動に関する考察. 小高民夫・小笠原憲四郎(編), 日本産新生代貝類の起源と移動, 89-100.
- Ogasawara, K., Hasegawa, S. and Maruyama, T., 1990: Neogene marine sequence and benthic foraminifers in Sendai district. Guidebook for Field Trips, Benthos '90. Benthos '90 Organizing Committee, Sendai, C1-C17.
- Okamoto, K. and Huang, T. C., 1981: Early Pleistocene mollusca and nannofossils from the acoustic C formation in the southwestern Japan sea. *Proc. IGCP-114 Internatl. Workshop on Pacific Neogene Biostrat.*, 1981 Osaka, 134.
- and Ibaraki, M., 1988: Early Pleistocene fossil mollusca from the Sea of Japan off Yamaguchi Prefecture, Southwest Japan. *In* Grant-Mackie, J. A., Masuda, K., Mori, K. and Ogasawara, K. eds., Professor Tamio Kotaka Commemorative Volume on Molluscan Paleontology, Saito Ho-on Kai, 523-532.
- 奥田邦明, 1991: 親潮と漁場. 日本海洋学会(編), 海と地球環境, 海洋学の最前線, 第 2 章 (2-3), 87-96.
- Phleger, F. B., Parker, F. L. and Peirson, J. F., 1953: North Atlantic Foraminifera. *Rep. Swedish Deep-Sea Exped.*, 7, 1-122.
- Reiss, Z. and Hottinger, L., 1984: The Gulf of Aqaba. Ecological Micropaleontology. Springer-Verlag, 354p.
- Rögl, F. and Bolli, H. M., 1973: Holocene to Pleistocene planktonic foraminifera of Leg 15, Site 147 (Cariaco Basin (Trench), Caribbean Sea) and their climatic interpretation. *In* Edgar, N. T., Init. Rep. DSDP, U. S. Govern. Printing Office, 15, 553-616.

- Saidova, K. M., 1961: Foraminiferal ecology and paleogeography, Far Eastern Seas of the USSR and northwest part of the Pacific Ocean. *Akad. Nauk SSSR, Inst. Okeanol.*, 1-232. (in Russian).
- 佐藤時幸・高山俊昭・加藤道雄・工藤哲朗, 1988a: 日本海側に発達する最上部新生界の石灰質微化石層序. その3: 秋田地域および男鹿半島. 石油技協誌, 53, 199-212.
- ・———・———・———・亀屋浩司, 1988b: 日本海側に発達する最上部新生界の石灰質微化石層序. その4: 総括—太平洋側および鮮新統/更新統協会の模式地との対比, 石油技協誌, 53, 475-491.
- Schnitker, D., 1974: Western Atlantic abyssal Circulation during the past 120, 000 years. *Nature*, 248, 385-387.
- Sekine, Y., 1988: Anomalous southward intrusion of the Oyashio east of Japan I. Influence of the seasonal and interannual variations in the wind stress over the North Pacific. *Jour. Geophys. Res.*, 93, 2247-2255.
- Serova, M. Ya., 1978, Stratigraphy and foraminifers of the Neogene of Kamchatka. *Asc. USSR, Trans.*, 323, 1-174. (in Russian).
- 白井健裕, 1959: 瀬棚層産化石有孔虫群集を中心とする黒松内地域の地質について —北日本新第三紀化石有孔虫群集の研究(1)—. 北海道地質要報, (38), 1-12.
- 周東健三, 1982: 日本海の海況 (I・II). 海と空, 57, 157-169, 171-186.
- Streeter, S. S., 1973: Bottom Water and Benthonic foraminifera in the North Atlantic. —Glacial-interglacial contrast—. *Quaternary Res.*, 3, 131-141.
- Tai, Y., 1979: Benthonic foraminiferal indicators for the Miocene correlation of Japan and the USSR (abstract). XIV Pacific Sci. Congress, Khabarovsk, USSR, Vol. 2, Sec. B III, 133-134.
- and Kato, M., 1981: Miocene foraminifera from the Wakkauenbetsu Formation in central Hokkaido, north Japan. *Mem. Fac. Integ. Arts and Sci., Hiroshima Univ.*, [IV], 6, 45-59.
- 高山俊昭・加藤道雄・工藤哲朗・佐藤時幸・亀尾浩司, 1988: 日本海側に発達する最上部新生界の石灰質微化石層序. その2: 北陸堆積盆地, 石油技協誌, 53, 9-27.
- 高柳洋吉・尾田太良, 1983: 本州東方海域表層堆積物中の浮遊性有孔虫の分布. 月刊海洋科学, 15, 138-144.
- Takayanagi, Y., Oda, M., Hasegawa, S., Honda, N., Maruyama, T., Funayama, M., 1984: Some middle Miocene planktonic microfossil datum planes in northern Honshu, Japan: Their paleoceanographic implications. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 46, 71-84.
- 高柳洋吉・斎藤常正・岡田博有・石崎国熙・尾田太良・長谷川四郎・岡田尚武・Manickam, S.・太田秀・花井哲郎・阿部勝巳・神谷隆宏・田吹亮一・小西謙二・二口克人・小原英樹・井口真人・佐藤野広, 1985: 海洋底の古環境. 梶浦欣二郎 (編), 海洋の動物, 恒星社厚生閣, 第5章 (5・1), 357-448.
- Tanaka, Y., 1991: Calcareous nannoplankton thanatocoenoses in surface sediments from seas around Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd Ser. (Geol.)*, 61, 127-198.
- Troitskaya, T. S. (桑野幸夫, 訳), 1972 (1975): 日本海の現堆積盆地における有孔虫の分布. 研究連絡誌「日本海」, (9), 26-29.
- 土 隆一, 1985: 新第三紀の地史的イベントとその時間空間的分布. コロキウム: 新第三紀の地史的イベント, 1-6.
- 氏家 宏, 1982: 堆積物と古生物 (特に微化石) より見た日本海の地史. 星野通平・柴崎達雄 (編), 日本海の地質, 東海大学出版会, 337-408.
- Voloshinova, N. A., Kuznetsova, V. N. and Leonenko, L. S., 1970: Foraminifery Neogenovykh otlozheniy Sakhalina [Foraminifera of Neogene deposits of Sakhalin], *Trudy VNIGRI*, 284, 1-304. (in Russian).
- 山路 敦・佐藤比呂志, 1988: 中新世における東北本州孤の沈降運動とそのメカニズム. 地質学論集, (32), 339-349.
- Yamaji, I., 1950: Plankton investigation in inlet water along the coast of Japan, I. -Introductory notes and the plankton of Akkeshi Bay, Hanasaki Inlet and Nemuro Harbour. *Publ. Seto Marine Lab.*, 1, 93-113.
- 柳沢幸夫, 1990: 仙台層群の地質時代. —珪藻化石層序による再検討—. 地質調査所月報, 41, 1-25.
- 吉田三郎, 1954: 汽水産有孔虫類の研究. サロマ湖の有孔虫類 (III). 東京教育大学理学部地質学鉱物学教室研報, (3): 149-157.

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

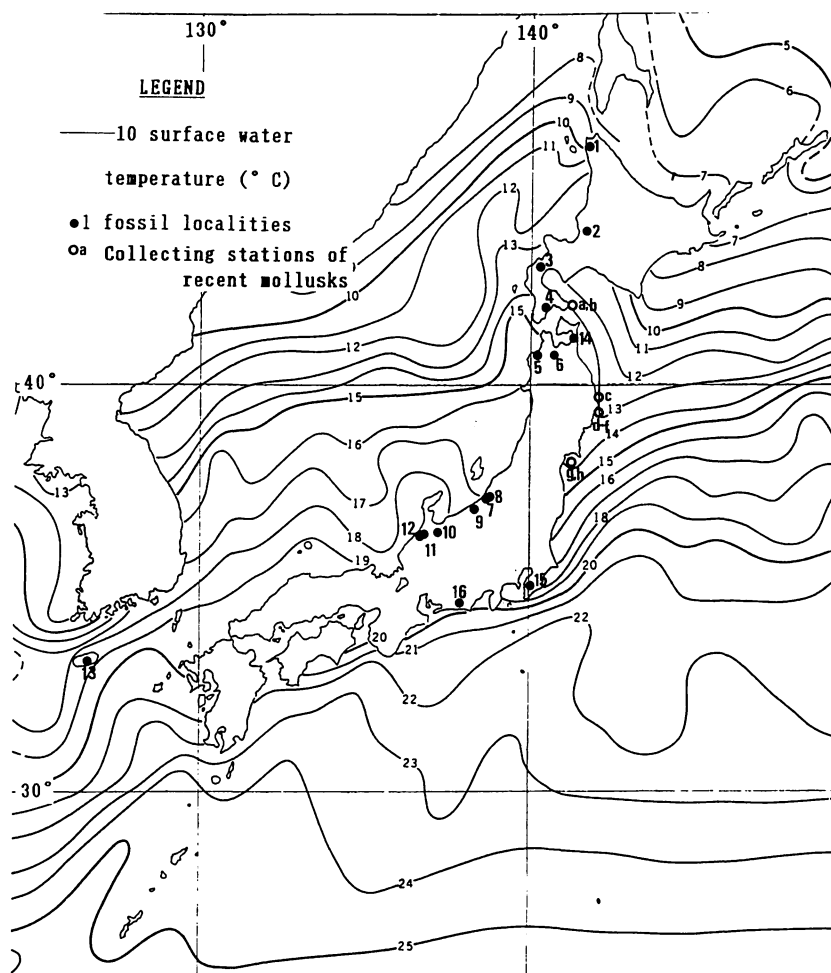


図1. 化石および現生の *Mizuhopecten-Glycymeris* 集団の産地 (日本水路協会発行『海洋環境図I 外洋・北西太平洋』を使用)。

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. Seoguiipo	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	Japan Sea side													P.s.*		Depth(m)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
<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 amsittatum</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> Jousseume	<i>Clinocardium californiense</i> (Deshayes)
<i>Glycymeris yessoensis</i> (Sowerby)	<i>Profuvia 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 semiclatratula</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. sp.</i>
<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. sp.</i>
<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>Ophiodermella miyatensis</i> (Yokoyama)
<i>Clinocardium</i> sp.	<i>O. sp.</i>
<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

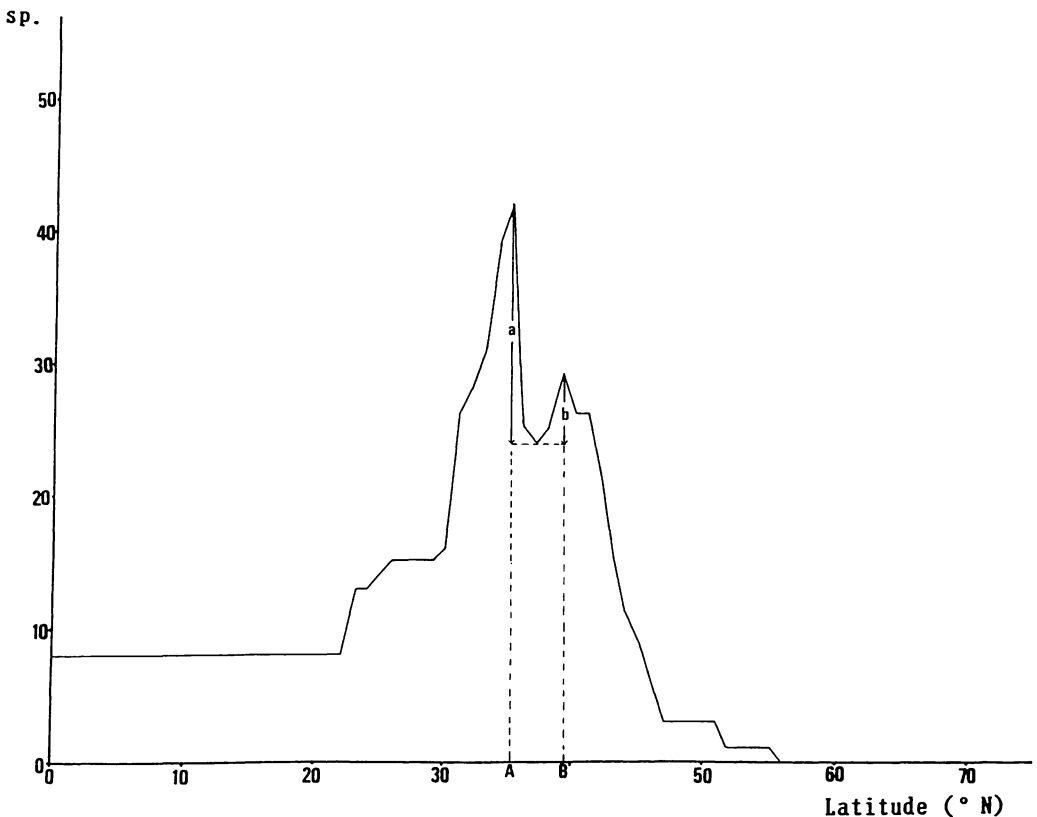


図 2. HDM 特性曲線からの古緯度の求め方.

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

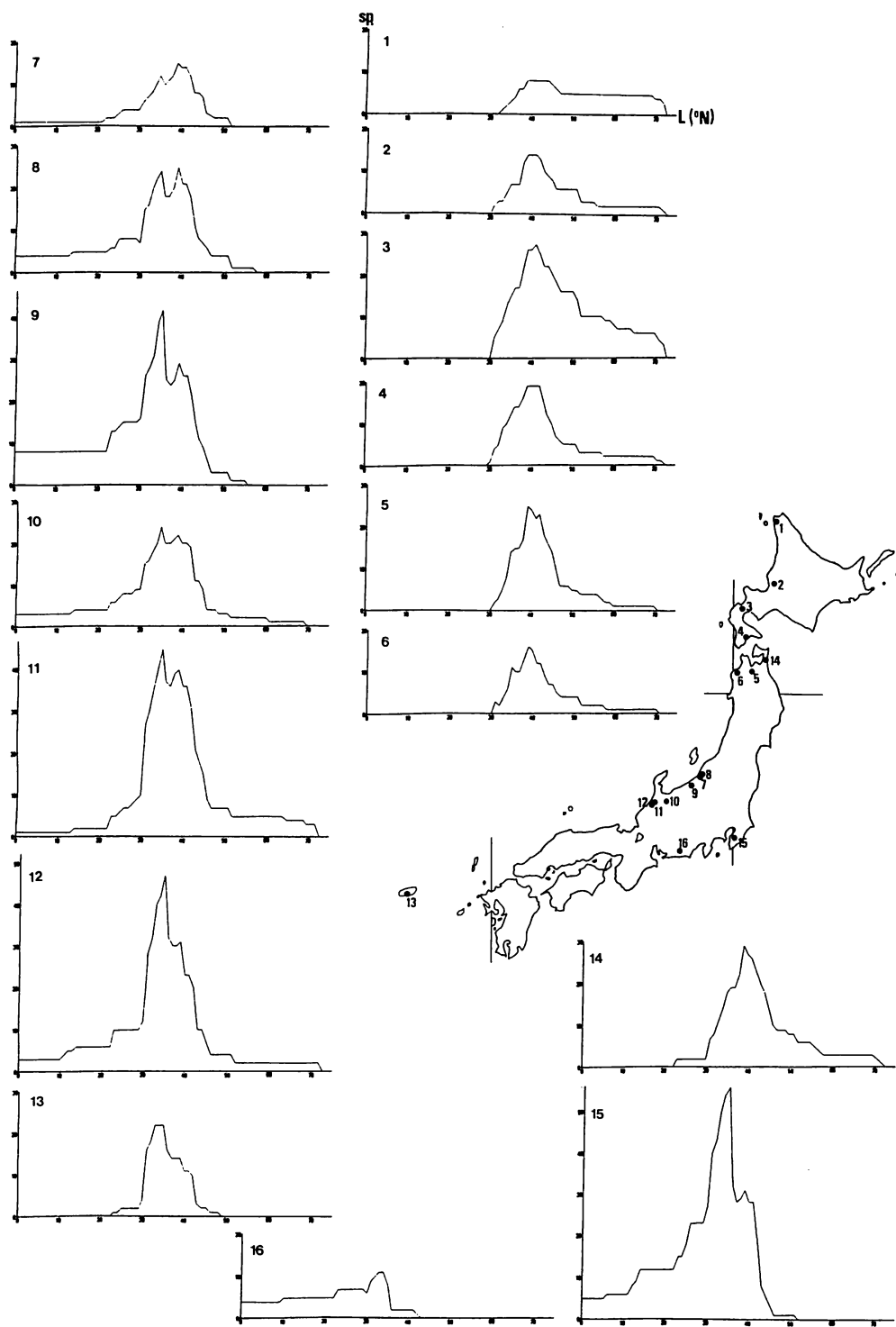


図 3. *Mizuhopecten-Glycymeris* 化石集団, 各産地の HDM 特性曲線.

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. Narusawa	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

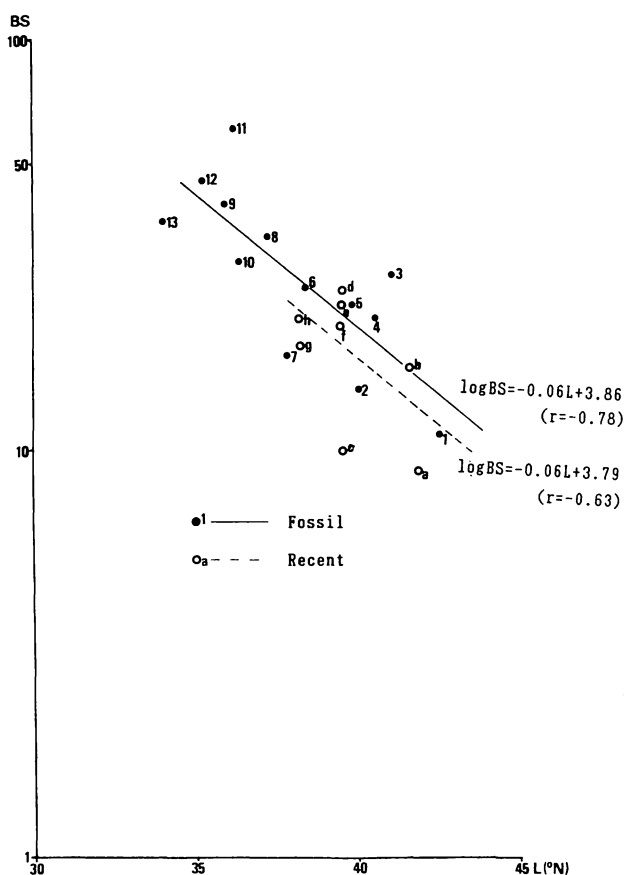


図 4. *Mizuhopecten-Glycymeris* 集団にみられる緯度および古緯度 (L) と二枚貝種数 (BS) の関係。

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に関連させて述べている。

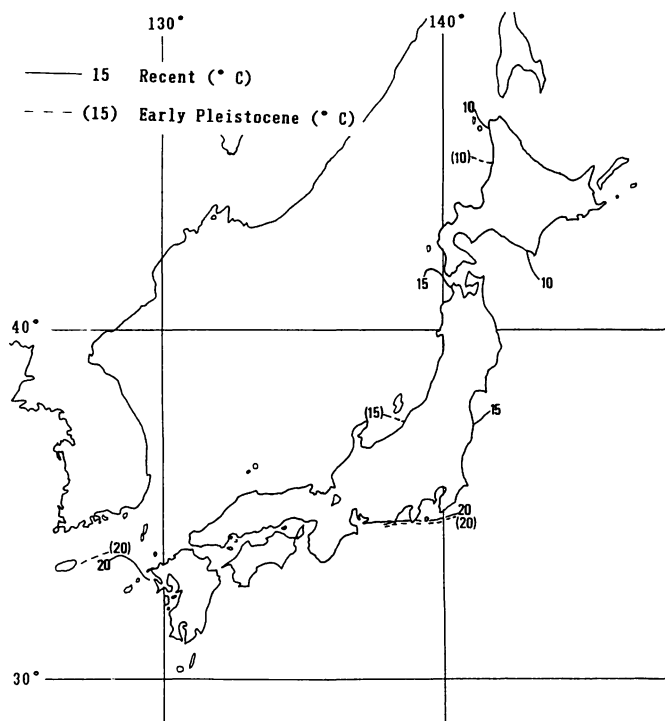


図 5. HDM 特性曲線法による更新世前期の平均表面海水温。

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。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る。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。

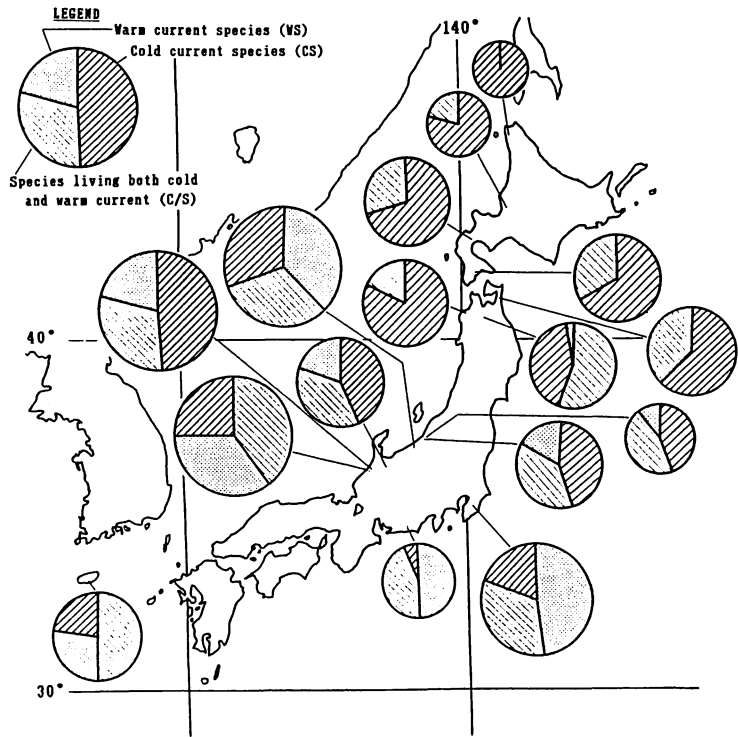


図 6. *Mizuhopecten-Glycymeris* 化石集団中において寒流系種，暖流系種のしめる割合.

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

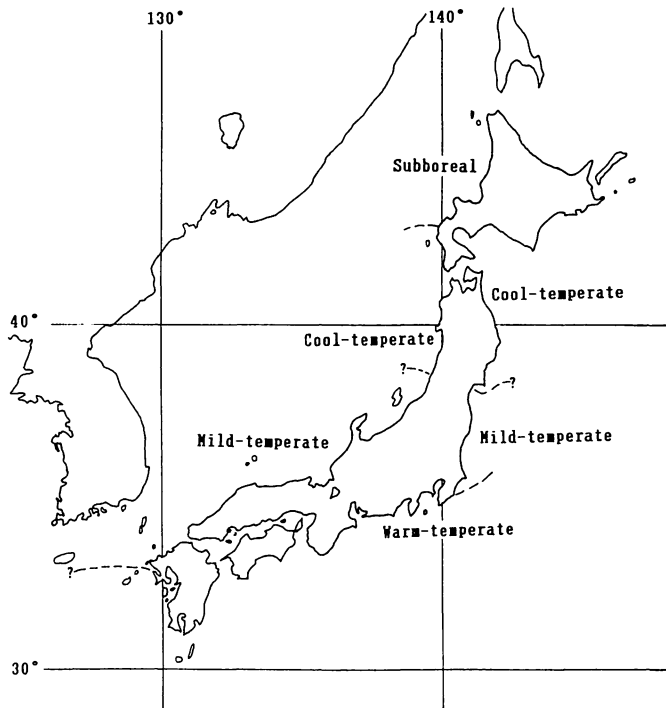


図 7. 更新世前期の古生物気候帯区分.

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.
- 糸川川淳二, 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 *Patiniopecten* 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—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の古環境の変遷. 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: 掛川層群我累層の軟体動物化石群集の水平分布 - 我累層を鍵層として -. 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-Manganian 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藏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.
- , 1962a: 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.
- , 1939b: 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 Seoguipo molluscan fauna of Jeju Island, Korea. *Spec. Pub., Saito Ho-on Kai Mus.*, (2), 539-545.

軟体動物に基づく古水温推定に関するコメント

鎮 西 清 高*

Comments on paleotemperature analysis based on the molluscan species

Kiyotaka Chinzei*

Abstract Paleotemperature analysis based on the existence of the extant molluscan taxa or associations implies large uncertainty, because organisms react to the overall environmental conditions not to a single factor such as water temperature. The analysis applied to the postglacial Hypsithermal molluscan fauna in the Japanese waters shows great variabilities of temperature rise in places. Also, different taxa give different values for a same place. The example suggests intricate reactions of organisms to their environments.

はじめに

化石動物を用いる古環境復元のうち、化石群集中の現生種、属、など特定の分類群を用い、現在のその分類群が生息している水温をもって古水温を数値で表現する方法は、最もポピュラーでよく利用されている。しかしこの方法には、その確からしさを損なういくつかの基本的な問題点がある。ここではそれらの問題点について紹介し、この方法を最も近い過去である完新世縄文海進の堆積物に適用した結果を例にして、実際上の問題を論じたい。なお動物の適応形態を利用したり、元素組成・同位体組成を用いる方法などについては、この小論では言及しない。

底生動物を古水温値推定に用いる際の問題点

生物分布の制限要因として温度が最も基本的であるとはいえ、生物はさまざまな環境要因と妥協しながら生きている。たとえば温度が最適でなくとも、食物があればそこで生息しようとする。あるいは、生息深度を変えて温度に対する限界を守ろうとする。すなわち、“ある種が存在するから水温は〇〇度”という議論には、このような生物自身の妥協能力（すなわち耐性限界の許容の幅）に起因する不確実性がつきまとう。そうなると、こ

の許容の幅が議論の確度をきめる鍵となるが、個々の生物の耐性（この場合には温度に対する耐性）がよくわかっている例は少ない。

ある種・属、あるいは特定の組成の群集の地理的分布は、温度というような特定の環境要素でなく、環境全体の特徴の地理的分布を反映していると考えられる。また移動・拡散の機構も分布を支配する要因の一つである。底生動物ではその第一は海流である。また、分布を制限する要因として、温度だけでなく、他のさまざまな性質が複合された水塊の特質や、水塊の空間的広がりが必要になる。地理的に接続が断たれていれば、個々の環境要因がその種の生息に適していても、当然、実際には生息していないことがある。

もうひとつ、化石群中の現生種から単純に類推する環境復元法は、現生種の割合の多い新しい化石群にしか使えないという限界がある。また、現生種でも時と共に耐性を変えているものがある可能性を考えると、得られた過去の温度値の信頼性はそう高いものではない、といわざるを得ない。

他の生物で求めた水温値と比較する際の問題

多様な分類群を用いて、それぞれに温度を推定し、これを総合してより確度の高い温度値を求める。という考えがある。しかし、これにはさまざまな問題点がある。

化石貝類のように、ほとんど底生の場合には、

*京都大学理学部地質学鉱物学教室

1993年5月14日受付、1993年8月27日受理

その分布は表面水温と間接的にしか関与していない。この点で底生の軟体動物による古水温や古環境は、浮遊性微化石を用いる表面水温などとは別の環境を指示しており、両者は合致しない方がむしろ自然で、両者を直接比較することはできない。

陸上の植生に基づく気温推定や植生を基準とする陸上気候帯区分との比較には、また別の問題点がある。海中では熱が比熱の大きい水で運ばれるので変動が少なく、ある海流の勢力圏内は広域にわたって比較的变化の少ない海中気候となり、潮目の所で環境勾配が非常に大きくなる。陸上では大気の影響が比較的小さく、環境勾配が海中と異なるので、両者が一致しないのはむしろ当然である。

完新世の貝化石群と古水温

縄文海進時(約6,000年前)の貝化石を用いて、当時の古水温を推定することを試みた。この化石群はすべて日本近海に現在生息する種類からなり、時代も現在に最も近いので、最も信頼のおける結果が得られるはずである。また、関東地方南部で酸素同位体比法による古水温測定が行われていて、比較しやすい。そこで、これを用いて完新世縄文海進時の浅海の水温を推定することを試み、その結果を検討したい。

この時期の浅海性貝化石群の中で、現在では化石が発見された場所より南にしか生息していないタイワンシラトリ、コゲツノブエ、ハイガイ、ウネナシトマヤガイ、ハマグリその他の、いわゆる温暖種(松島, 1984)について、これらの種が現在生息している北限付近の夏および冬の表面水温を日本近海水温図から読みとり、これをその種の温度に対する耐性の下限とした。そして、その値を縄文海進時の分布北限付近の現在の表面水温と比べた。両者の差が縄文海進時の水温と現在の水温との差になるはずである(図1)。

たとえばハマグリは、太平洋側では現在岩手県南部を分布の北限とし、化石の分布は釧路地方に達しているので、釧路付近では縄文海進時と現在との水温差が夏7度、冬8度C程度になる。日本海側ではハマグリは現在は陸奥湾まで、化石では

網走まで分布し、水温の差は夏8度、冬9度に達する。また、コゲツノブエは紀伊半島南部と天草付近に現在の北限があり、水温上昇は化石の分布北限の南関東で夏3度、冬3度、能登半島で夏3度、冬10度となる。南関東には現在台湾中部を分布北限とするタイワンシラトリが各地で発見されるが、これを用いると、関東南部の温度上昇は夏6度、冬8度となる。

いっぽう、南関東の浅海群集について酸素同位体比測定から推定した温度上昇は3~4度Cであった(Chinzei, *et al.*, 1987)。

このように、貝化石によって北日本における縄文海進時の水温を推定すると、現在より7~8度

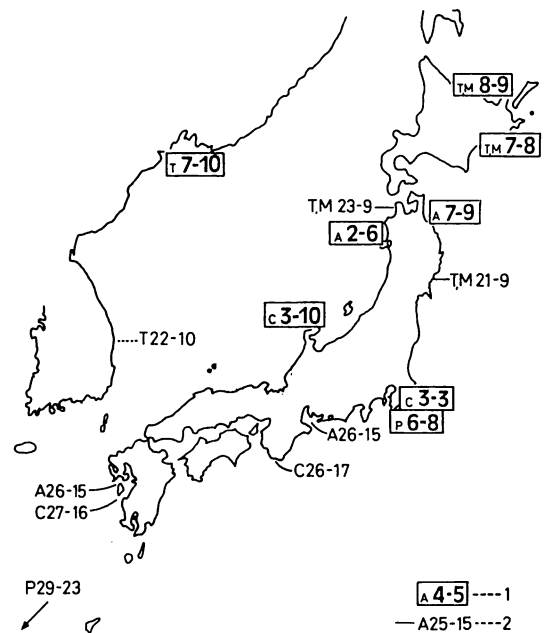


図1 貝化石の地理的分布から求めた日本近海における後氷期最温暖期の水温“上昇値”。

1: 縄文海進最高期の水温と現在の水温との差(度C, 左が夏の温度差, 右が冬の温度差, 求め方は本文を参照)。

2: 現在の各種の分布北限と、そこにおける夏(左)と冬(右)の表面水温(度C),

A, T, M, などは用いた種。A: *Anadara granosa* ハイガイ, C: *Clypeomorus coralium* コゲツノブエ, M: *Meretrix lusoria* ハマグリ, P: *Psammotreta edentula* タイワンシラトリ, T: *Trapezium liratum* ウネナシトマヤガイ。

C, 場所により 10 度近くも高温だったことになり, また用いた種類により水温値が異なるという結果となった。なお, この温度上昇値は松島・大嶋 (1974) が示した上昇値より 2~3 度高い。

縄文海進時における水温上昇が 10 度 C 近いというのは, 常識的にみて考え難い。10 度 C の規模の変動は, 最終氷期最寒冷期と現在との差に匹敵する (CLIMAP Project Members, 1978)。比較に用いた温度値が貝が生息していた内湾の底層水温でなく外洋の表層水温で, ほかにも仮定が多いとは言うものの, どうしてこんな大きな温度差の数値が得られたのであろうか。また, 種類によって温度に違いがあるのはなぜか。理由はわからないが, 思いつく可能性をあげてみる。

①海流の強度や流れ方が現在と違い, 生息限界温度を越えて, ずっと北まで幼生が運ばれた。幼生が届いてしまえば, 生き延びる個体もでてくる, ということであろうか。日本海を流れる対馬海流は現在より流れが強く, 日本海沿岸や北海道北部・東部に特に大きな影響を及ぼした可能性がある。

②縄文海進最高期には湾奥に干潟が広がった。干潟では日照により局所的に水温が非常に上がることがあるので, 通常の限界よりずっと北まで分布を広げることができた。

③ここにあげたグループの貝は, どれも温度が上昇するときには分布を著しく広げられるが, 温度の低下に弱く, 縄文海進後に分布が著しく南下してしまった, など, 環境の変化に対する生理的反応の問題。

④縄文海進時には特に内湾の海底地形が現在と異なっていた。従って海水の垂直的温度構造が異なり, 表層水温と底層水温との関係が現在と違っていた可能性がある。そのためこのような結果になった。

また, ここで用いた現生の分布や温度のデータ

が誤っているためという可能性もある。また, 時代的なばらつきのある資料と一緒に論じているためかも知れない。

上に挙げたような可能性は, 縄文海進時に限らずどの時代にもどの分類群にも等しく存在すると考えなくてはなるまい。

結 論

このように, ある属・種の現在の分布をもとに, 古水温の値を求める方法にはさまざまな問題点がある, といわなければならない。生物の環境の変化に対する反応はきわめて複雑で, 温度だけによって分布が決まっているのではないことが改めて認識される。

ここで例として示したような縄文海進といえども, 環境変遷に対する生物たちの数百年・数千年規模の反応の結果をみていることになる。このような長い時間の反応の平均的結果として, 種によってさまざまな温度上昇値が得られたり, 種によって分布の様子が異なることになったのではなかろうか。

これらの問題こそ, 古生態研究者にとって追及すべき興味深い課題だ, と思われる。

引用文献

- Chinzei, K., Koike, H., Oda, T., Matsushima, Y., Kitazato, H. 1987: Secular changes in the oxygen isotope ratios of mollusc shells during the Holocene of central Japan. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol.*, 61, 155-166.
- CLIMAP Project Members, 1976: The surface of the ice-age Earth. *Science*, 191, 1131-1137.
- 松島義章, 1984: 日本列島における後氷期の浅海性貝類群集—特に環境変遷にともなうその時間・空間的変遷—. 神奈川県博研究報告 (自然), No. 15, 37-109.
- 松島義章・大嶋和雄, 1974: 縄文海進期における内湾の軟体動物群集. 第四紀研究, 13, 135-159.

化石茶論

どこか、頭の隅にでも入れておいてください

矢島道子（東京成徳学園）

グレン・ゲールドならぬスティーン・ゲールドが、小さい頃恐竜標本を見て、古生物学者になろうと決意した「ませた」子供であったことが伝わっているが、ひとはどういうきっかけで古生物学を志すようになるのだろうか。誰しも、人生のかなり早い時期に化石という物に触れたことがあるはずである。それだけでは十分なきっかけにはなるまい。進化という魅力的な事象を知ること、これはぜひとも必要だ。また、よき師、よき友に恵まれることが必要であろう。もちろん、そういう師が、友が、よいのかは、人によってそれぞれ異なっているであろうが。

古生物学者への道はいろいろ考えられるが、化石のおもしろさ、地球の歴史のおもしろさをまだ若い頃に、たたいて鍛えられるほど頭がやわらかい頃に、一番広く知らせるのは、博物館の存在も大きい。高校の地学の授業であることは誰もが認めうると思う。いま、高校で地学がどれくらい教えられているかご存知であろうか。どんな内容の授業が行われているかではなく、どれくらい教えられているかである。これは、地学の教科書

がどれくら売れているかに端的に表れている。

昭和 44-48 年 約 84 万冊（生物は 115 万冊）

49-54 年 約 60 万冊（生物は 130 万冊）

58-平 4 年 約 20 万冊（生物は 100 万冊、
理科 I は 260 万冊）

である（文部省、1992、教科書制度の概要より）。子供の数が減っていることも事実であるが、これはカリキュラムの変更とよく対応していると考えられる。

昭和 44-48 年 物理、化学、生物、地学 4 科目必修

49-57 年 4 科目中 2 科目必修

58-平 4 年 理科 I のみ必修

そして、平成 6 年度からはまたカリキュラムが変わる。総合理科と、4 科目がそれぞれ、I A、I B、II の 3 つに分かれ、2 種類履修すればいいのだから、生物や化学だけでもよくなるのである。もうどこの高校でもどの科目を履修させるべきか確定しているであろうが、地学の履修の現状を古生物学者もどこかで知っておいてほしいと思う。

東北日本太平洋側における中新世中～後期の珪藻温度指数と海表水温

丸 山 俊 明*

Diatom temperature index and surface water temperature during
the middle and late Miocene along the Pacific side of northeast Japan

Maruyama, Toshiaki

Abstract Several planktonic taxa indicating paleotemperature can be selected from diatom assemblages based on the distributional pattern drawn characteristically by fossil frequencies in time and space, and then a diatom temperature index (Td index) reflecting the extent of paleo-isotherm is defined as $Td = W + T - C$, where W, T and C are frequencies in percentage of warm, temperate and cold water species respectively. The *Denticulopsis praedimorpha* Zone time of 12.8–10.6 Ma showing the maximum phase of thermal gradient along the north-to-south direction is particularly conspicuous in a contour map of the Td index. If the Td index at 11.5 Ma when the highest value of temperature difference was documented in a paleoceanographic history is biogeographically in proportion to the recent temperature off the coast of northeast Japan, the whole indices during the middle and late Miocene are transformed by linear equations into seawater paleotemperature in February, August and of an annual average, respectively. Both in summer and in winter, an estimated applicable range of Td index extends from 34°N through 44°N along near the shore of northeast Japan, and corresponds to the current sea area from the offing of Habomai Islands on the north to that of Enshunada on the south. The mean range of the annual temperature estimated during the middle-to-late Miocene is similar to that of the present sea area between the offing of Joban-oki as a northern limit and of Boso-oki as a southern front. It is very difficult that large values characterizing the present middle latitudes, however, are given to the thermal gradient except for the late middle Miocene. Accordingly, sea areas both off the Philippine Islands and of the equatorial Pacific are nominated for the corresponding province with lower values of temperature gradient than those off the shores of northeast Japan.

はじめに

生物の個体数や現存量が生息している環境の性質をきわめてよく反映しているとすれば、ある時点における生物体量の地理的分布を調べることによって、生息の適地や環境の善し悪しを判断することができる。また、ある地点や空間内における生物体量の経時的変遷を追うことにより、環境の移り変わりや環境に変容をもたらした事件を知ることができる。海洋の浮遊性微生物の群集にこの理屈が当てはまるとすれば、プランクトンの個体数と海洋の環境要因との対応関係について、そのつながりの強弱や地理的経時変化を調べるこ

ができる。しかも、現世の生物群集ばかりでなく、化石群集にもこの理屈が応用できるとすれば、任意の時間・空間内における環境変動のようすを化石の産出頻度を使って分析することが可能になる。

小論では、珪藻化石の頻度分布パターンが、生息している水塊の温度と強い相関関係にあると仮定し、東北日本の太平洋沿岸における海表水温の変化を中新世中期から後期にわたって調査した。珪藻は淡水、汽水、海水のいずれの場でも浮遊性または底生生物として透光帯に生息している。そのため環境評価に際しては、海洋や湖沼の表層水塊を調べる代表的な指標生物のひとつにもなっており、水塊の表層水温や塩分濃度などとの対応関係が盛んに議論されている。沿岸から遠洋にいた

*山形大学教養部地学教室

1993年4月3日受付, 1993年8月27日受理

る海域では浮遊性種が中心になって群集を形成し、海洋生態系における重要な生産者としての地位を担っている。そこで、浮遊性化石の種組成や頻度を基礎データとして、まず海表水温を示唆するであろう珪藻温度指数を試作し、つぎに指数から海表水温を推定するための変換式を設定して、水温変化のようすを経時的・地理的に論じる。

海表水温の経時的变化を論じるためには、珪藻化石帯を基準に使うて最初に層位学的な時間尺度を設定しなければならない。微化石層位学の分野では、微化石の異なるグループ間で化石帯の並列関係や基準面の順序関係を究明することが第一の課題であり、第二にはそれらの古生物事件を古地磁気層序や放射年代値と正確かつ精密に対比統合して、一貫した複合年代尺度を完成させることが求められている。近年、古地磁気層序と帯区分との対比、および基準面の絶対年代値の推定に関してそれぞれの古生物地理区ごとに成果が発表されている（たとえば、Berggren *et al.*, 1985; Barron *et al.*, 1985）。わが国においても、Anomaly 5-Chron 11 対比案と Anomaly 5-Chron 9 対比案の是非について新たな見解が示されはじめた（Kasuya, 1987; 高橋ほか, 1992）。対比案や年代値が日進月歩の現状であることは承知しているが、本論ではここ数年にわたってわが国の微化石年代尺度の規範になってきた尾田(1986)の結果に準拠して議論をすすめる。その際、基準面の年代値が明記されていない場合には、著者の責任において尾田(1986)の図表から読みとった。

いっぽう、古生物分類に関しては、典型的な種と種の間中間的な形質をもつタクサに対して新名が与えられ、種や変種の数が増加してきている（Tanimura, 1989; Yanagisawa and Akiba, 1990）。また、珪藻綱全般にわたる分類の見直しがおこなわれ、属の再編について新提案も発表されている（Round *et al.*, 1990）。本論であつかった産出頻度や帯区分のデータは1980年代前半から蓄積したものが多いため（Maruyama, 1984a, b）、すべてを最新の成果に整合させるべく読み代えることができない。そこで、珪藻の分類や生層序については1980年代後半の諸研究（たとえば、Barron, 1985; Koizumi, 1985; Akiba, 1986; Akiba

and Yanagisawa, 1986）にしたがうことにする。

珪藻温度指数

調査地域としては、日立（北緯 36.5 度）から仙台・一関・二戸を経て八戸沖の DSDP Site 438A（北緯 40.5 度）を結ぶ南北 650km の測線を考える（図 1）。あつかう時代は帯区分の分解能が高い中新世中～後期（約 15.5～7.0Ma）とする。この時間・空間の範囲に生息していた珪藻群集の頻度分布パターンにもとづいて珪藻温度指数を試作した（丸山, 1988）。

まず、珪藻群集を特徴づけているいくつかの種について産出頻度の時空分布パターンを調査し、古水温を示唆する浮遊性種および古環境や古生態を反映するタクサを選びだした（表 1）。なお、特徴種の具体的な分布パターンについては本論では割愛する。つぎに、暖水種（W）、汎存種（T）、冷水種（C）の産出頻度（%）から、次式によって珪藻温度指数（Td 指数：Diatom temperature index）を求めた。Td 指数の数値は無単位とする。

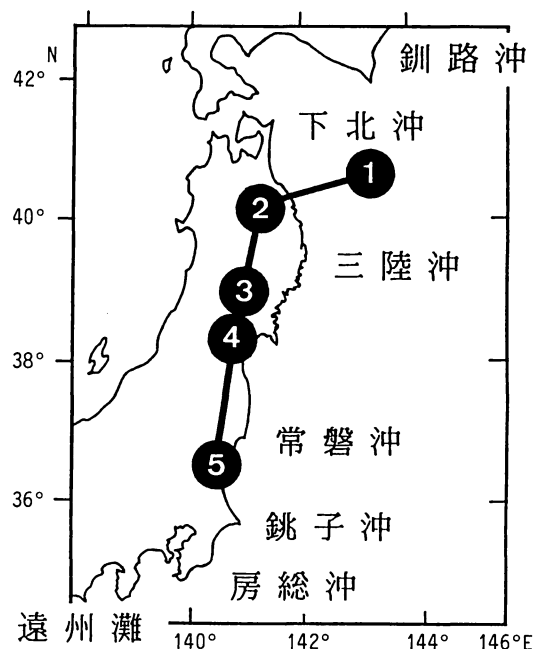


図 1 調査測線および海域の名称。1. DSDP Site 438A 2. 二戸地域 3. 一関地域 4. 仙台地域 5. 日立地域

表1 中新世の北西太平洋中緯度域における珪藻の特徴種とその生態

暖水種 (W: Warm-water Species) <i>Crucidenticula</i> 属	冷水種 (C: Cold-water Species) <i>Denticulopsis dimorpha</i> <i>Denticulopsis praedimorpha</i> <i>Thalassionema schraderi</i>
汎存種 (広布種, T: Temperate-water Species, Cosmopolitan) <i>Actinocyclus ingens</i> s. ampl. <i>Denticulopsis hyalina</i> <i>Denticulopsis lauta</i>	<i>Denticulopsis hustedtii</i> s. ampl. <i>Denticulopsis katayamae</i> <i>Thalassionema nitzschioides</i>
沿岸水成分 (Coastal Water Component) <i>Actinoptychus senarius</i> <i>Coscinodiscus marginatus</i> <i>Cocconeis</i> 属, <i>Grammatophora</i> 属 <i>Melosira</i> 属, <i>Paralia</i> 属, <i>Plagiogramma</i> 属	湧昇流成分 (Upwelling Component) <i>Thalassionema</i> 属 <i>Thalassiothrix</i> 属

$Td = W + T - C \dots\dots\dots(1)$

このとき、厳密には沿岸水成分とみなした種群など、(1)式にふくまれない種の寄与率も考慮しなければならない。しかし、今回はその頻度の総和が20%以下と低いので補正はおこなわなかった。このように定義したTd指数が温度を直接に示唆する、あるいは温度と強い相関があると解釈して議論を進める。

すでに珪藻群集の解析から海表水温との相関を論じた研究には Kanaya and Koizumi (1966) や Tanimura (1981) がある。彼らは現世の北太平洋や日本海の海底表層堆積物にふくまれる暖水種と冷水種の2成分の頻度にもとづいて次式を考案し、それぞれTd value, R value と名づけた。

$Td = 100W / (W + C) \dots\dots\dots(2)$

$R = W / (W + C) \dots\dots\dots(3)$

彼らによれば、それぞれの海底の調査地点ごとに求めたTd値およびR値とも、調査地点直上の海表水温と非常に強い正の相関を示すことが報告されている。定義上、これらの変数の値が $0 \leq Td \leq 100$ あるいは $0 \leq R \leq 1$ であるのに対し、今回提唱した(1)式のTd値は $-100 \leq Td \leq 100$ の範囲におさまる。また、グラフに表した場合には、(2)や(3)式が直角二等辺三角形として図化されるのに対し、(1)式は正三角形で表現することができる。なお、数式を表わす際、Kanaya and Koizumi (1966)の説明では $Td = (W / C + W) \times 100$ となっているために誤解を招きやすく、ここでは(2)

式のように表記した。

さらに、現世で得られた珪藻温度指数を過去の地質時代にさかのぼって適用した例もある。Koizumi and Yanagisawa (1990)はOlduvai事件までさかのぼって、Kanaya and Koizumi (1966)のTd指数の経時的变化を計算し、その変動の様子と羽状型珪藻*Pseudoeunotia doliolus*の進化傾向との関連を論じた。しかしながら、鮮新世や中新世については珪藻温度指数や古水温の推定に関する研究が遅れていた。

日本近海の時況と海表水温の推定

珪藻温度指数Tdにもとづいて中新世の海表水温を推定する際、比較検討の根拠となるのはやはり日本近海における現在の水温分布である。過去30年間(1956~1985年)の2月と8月の海表水温データ(国立天文台編, 1990)をつかって、日本近海の特徴をまとめると次の点が指摘できる。まず、世界的にみた場合、夏と冬の温度差(年較差)が10℃以上に達する海域は2ヶ所だけ、すなわち日本近海と北米東岸のノバスコシアからニューファンドランドの沖合だけである。それぞれの海域とも北半球の中緯度にあつて、大きな大陸の東側に位置し、大陸東岸を北上してきた暖流が北から南下してきた寒流とぶつかり、時計廻りにその進路をおおきく東に変えて陸から遠ざかっていくという点で共通している。

次に、ある地点をはさんでその北と南で海表水

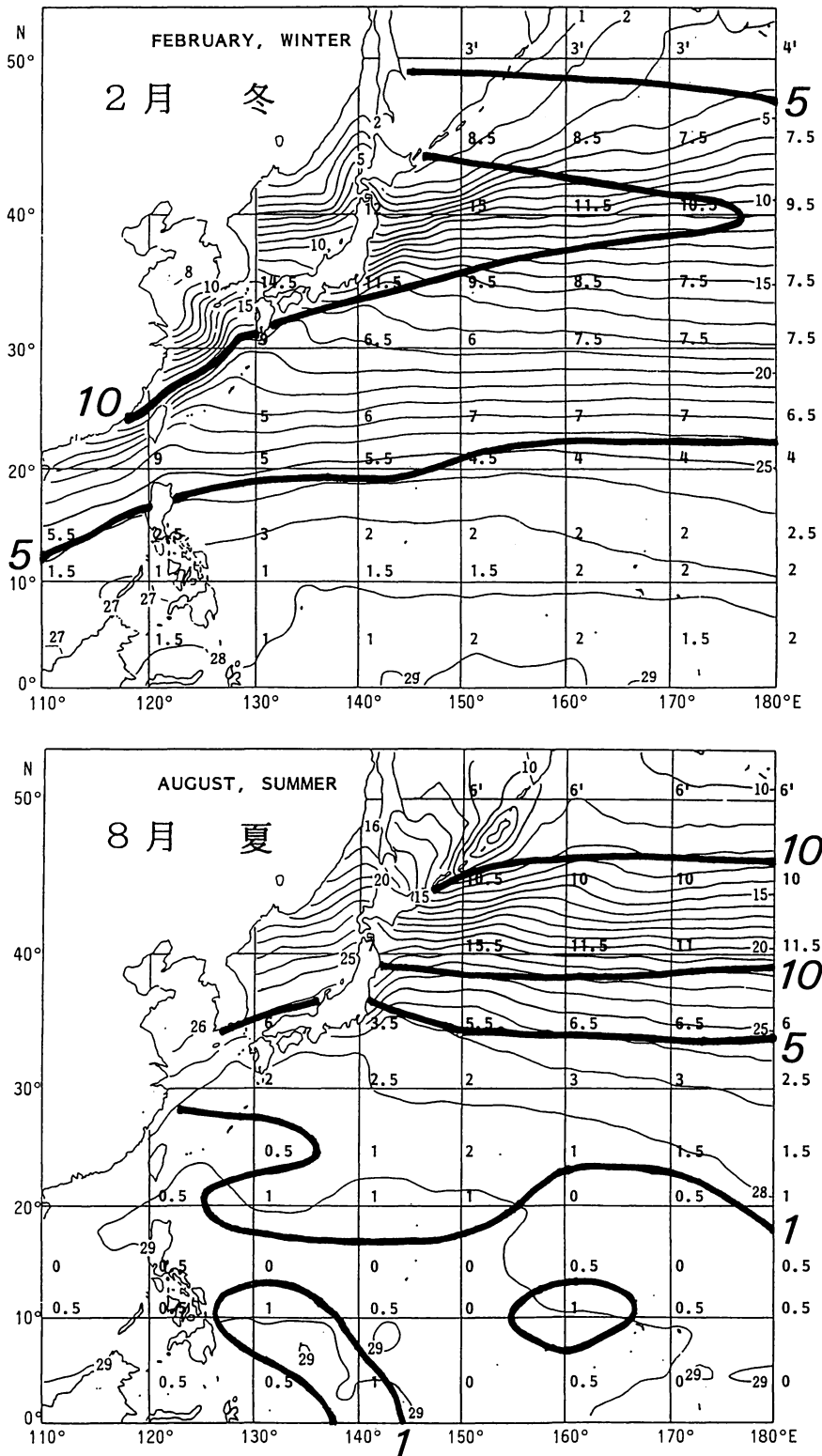


図2 日本近海の2月と8月の海表水温(℃)と温度勾配. 温度勾配の数値は緯度10°あたりの温度差(℃)を表す.

温がどれほど異なるかを知るために緯度 10 度ごとの温度差を求めた。この温度差を南北方向の温度勾配とよんで日本近海の結果を整理した (図 2)。その結果、夏でも冬でも温度勾配は低緯度から中緯度にむかって北上するにつれて増加する傾向が著しい。また、赤道海域では一年を通じて温度勾配は低く、冬でも 1~2°C、夏ではまったく勾配が検出できない平坦な海域が広がる。いっぽう、東北の沖合では夏でも冬でも 5~10°C 以上のおおきな温度勾配が描きだされている。

温度勾配について世界的にみた場合、10°C 以上の大きな落差を示す地域は、北半球においては 2 月でも 8 月でも年較差の結果とまったく同じ海域、すなわち日本近海と北米東岸沖の 2 海域である。いっぽう、南半球で温度勾配がおおきい地点は、大西洋の南部からインド洋南部にかけて顕著にあらわれ、南極大陸を取り巻くように分布して

いる。この温度勾配が大きな一帯は南極収斂線 (Antarctic Convergence) とよばれている海域で、南極環流の北端部で南極固有の冷たい海表水が中緯度の暖かい海表水とぶつかる海域である。南極収斂線をはさんだ温度勾配は 8 月よりも 2 月、すなわち南半球の夏の方が冬よりもきつくなる。

さて、このような現在の海表水温の分布を把握したうえで、調査断面に沿って Td 指数をプロットし、等値線を滑らかに結んで作成したのが図 3 である。この Td 指数の時間的・空間的な分布パターンのうち、もっとも顕著な形状が読み取れるは *D. praedimorpha* 帯時 (12.8~10.6Ma) である。すなわち、15.5~7.0Ma のうち Td 指数の南北方向の勾配がもっとも大きくなった時期である。そこで、このときの北冷南温型の海況が現在の東北沖の温度分布とまったく等しかったと仮定

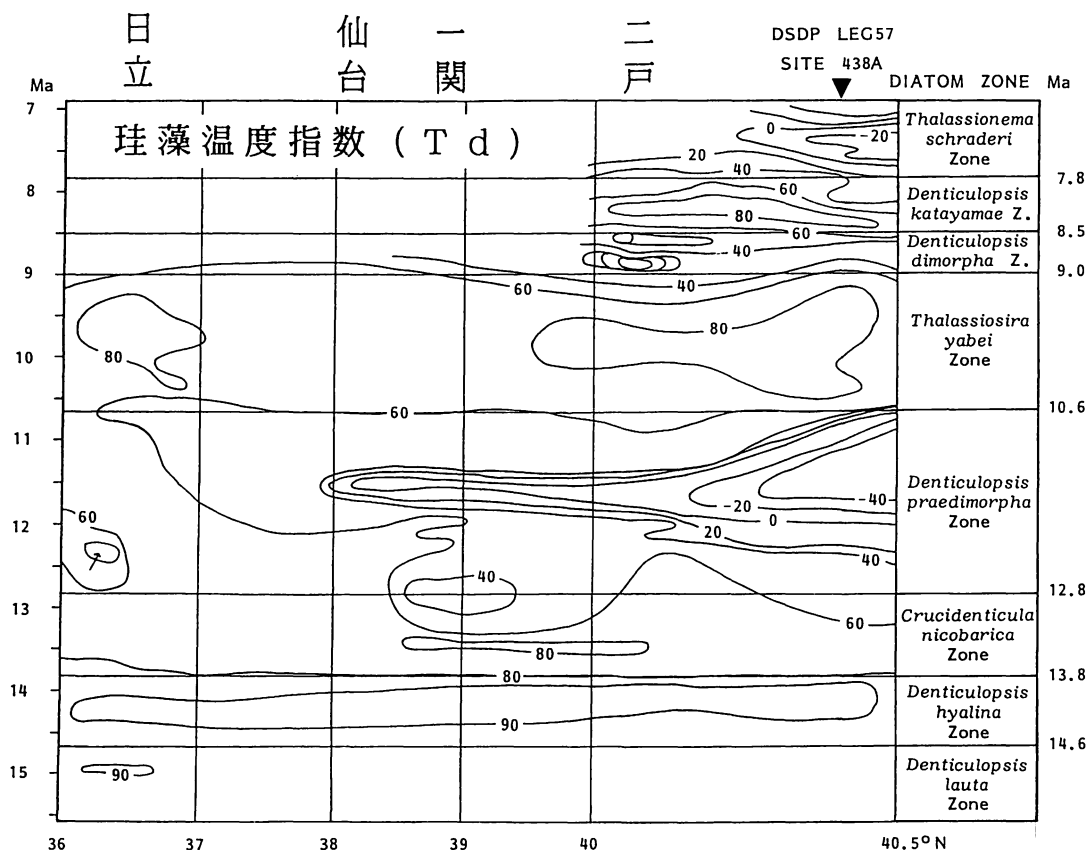


図 3 東北日本太平洋岸に沿った珧藻温度指数の層位的地理的分布パターン。

表 2 日本近海の現在の海表水温と中新世 11.5Ma の珪藻温度指数との対応

日本近海の海表水温			珪藻温度指数	
	2月	8月	1:1	11.5Ma
下北沖 (41°N)	6℃	20℃	対応	-40Td
鹿島灘 (36°N)	14℃	25℃	→	+60Td
温度勾配	1.6℃/°N	1.0℃/°N	←	20Td/°N

表 3 珪藻温度指数と海表水温との関係

時 期	換 算 式	最小値と相当海域	最大値と相当海域
2 月	$Y = 0.08Td + 9.2$	1.2℃, 千島沖	17.2℃, 遠州灘
8 月	$Y = 0.05Td + 22.0$	17.0℃, 釧路沖	27.0℃, 遠州灘
年平均	$Y = 0.065Td + 15.6$	9.1℃	22.1℃

して、Td 指数から海表水温を推定する温度変換式を求めることにする。つまり、指数勾配の極大期に現在の水温分布を投影することにする (表 2)。

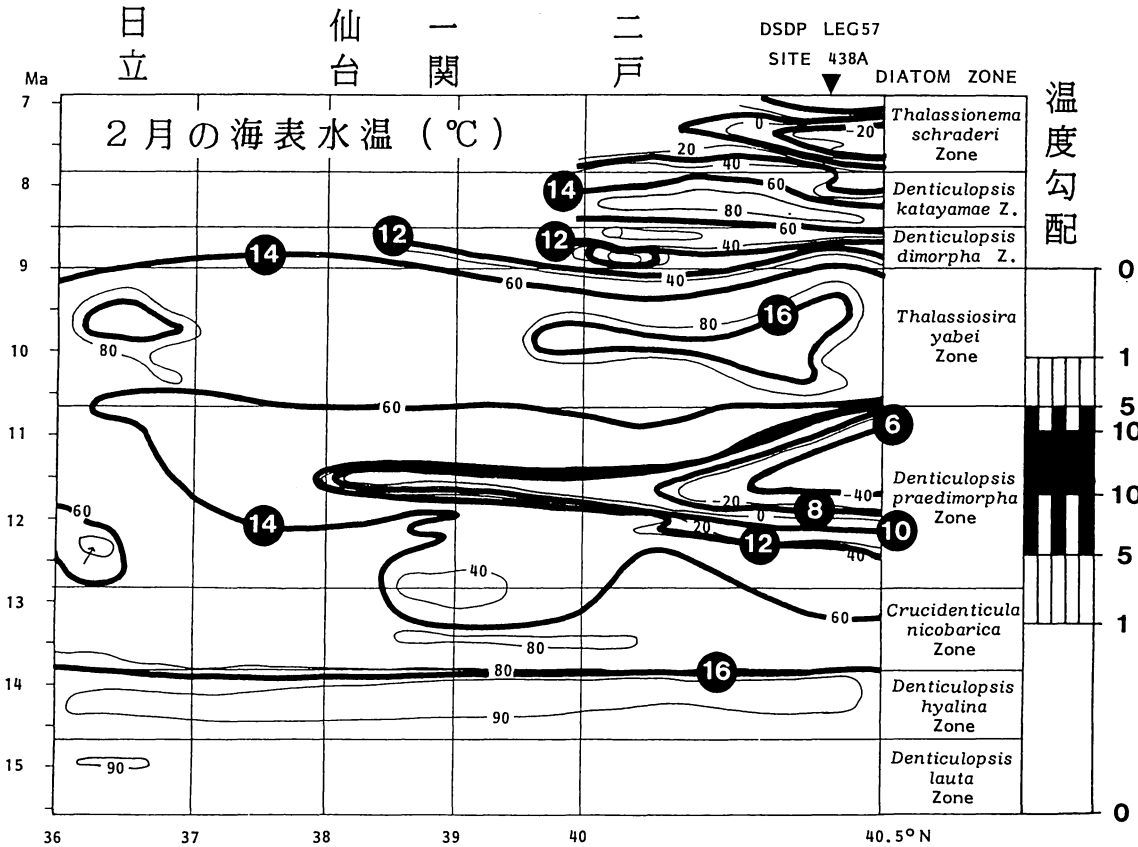


図 4 中新世における 2 月の海表水温と温度勾配。黒丸白字が海表水温(℃)を、図右端の数値が緯度 10°あたりの温度差(℃)を表わす。

現在の海表水温と 11.5Ma の Td 指数が直線の関係 (相関係数が 1 の場合) にあるとすれば珪藻温度指数 (Td) から海表水温 Y (°C) を求める換算式は表 3 のようになる。定義上, Td の範囲は $-100 \leq Td \leq 100$ だから, 従属変数 Y の範囲も有限でおさまることになる。結果として 2 月でも 8 月でも, 北は北方 4 島周辺から南は遠州灘までに相当する海域が Td 指数をもちいた推定可能範囲ということになる。すなわち, この珪藻温度計は北緯 36.5~40.5 度を作成基盤にもち, その有効射程は東北日本弧近海 (34~44°N) に限られるという宿命にある。あくまで, 東北日本弧沖の近海用ということは, 黒潮流域 (熱帯~亜熱帯) やアリューシャン海域の珪藻温度指数が考案されたとしても, まったく別の変換式を見つけねばならないということである。いみじくも, 珪藻の種構成が地理的に著しく多様であるという現世の生物地

理的な特質 (たとえば, Kanaya and Koizumi, 1966) が, 中新世にもそのままあてはまるという見解が示唆される。

考察: 珪藻温度指数からみた古海洋変動史

換算式によって求めた古水温と温度勾配のデータをつかって, 珪藻群集の層位的地理的变化を帯区分ごとに整理すると, 次のような古海洋の変遷史を編むことができる (図 4, 5, 6)。

(1) 15.5Ma 頃, 日本近海では門ノ沢動物群の消滅に呼応するかのように *Denticulopsis* 属が分化・分散を開始した。15.5~13.8Ma は温度勾配のほとんどない温暖な水塊 (Td=80's~90's, 年平均 20~22°C) が東北日本を一様におおっていた。この間 *Denticulopsis* 属は *D. praelauta*→*D. lauta*→*D. praehyalina*→*D. hyalina* へと進化し, 14Ma には厚殻な *D. hyalina* のアクメが広域に認めら

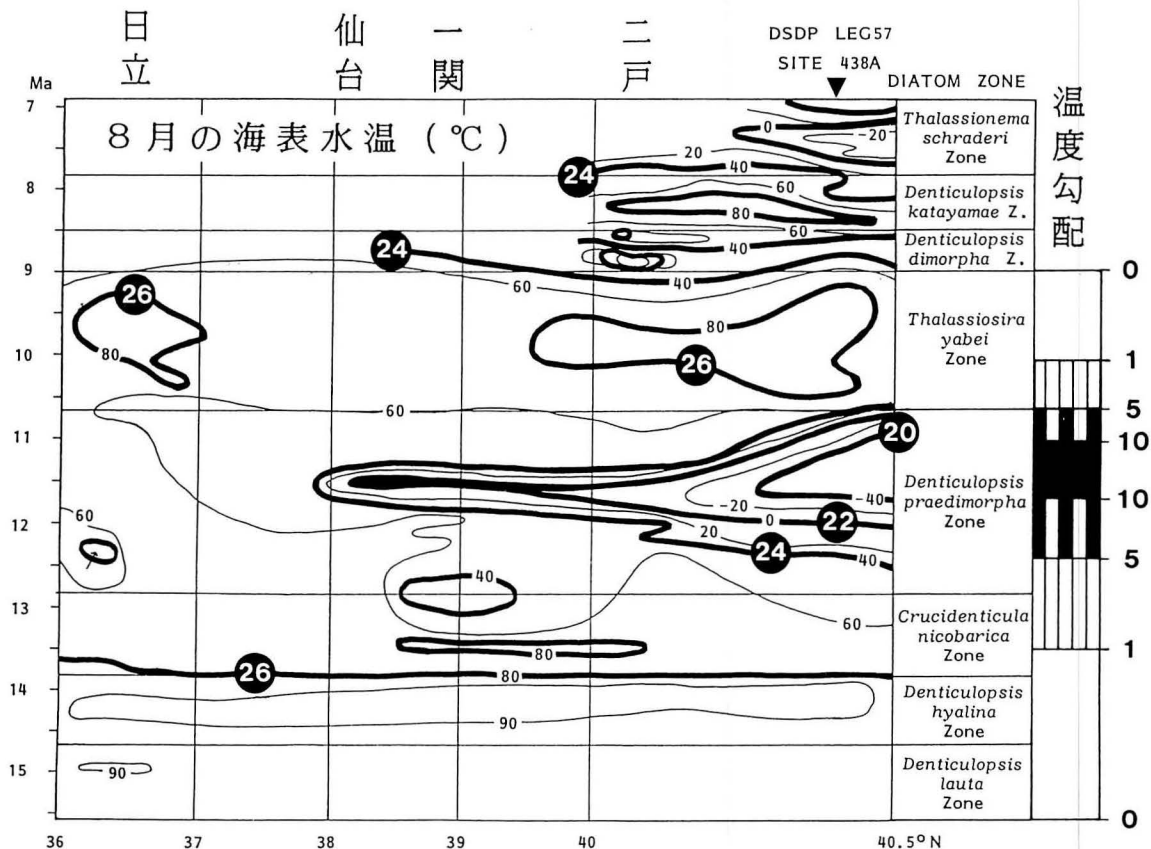


図 5 中新世における 8 月の海表水温と温度勾配。黒丸白字が海表水温 (°C) を, 図右端の数値が緯度 10° あたりの温度差 (°C) を表す。

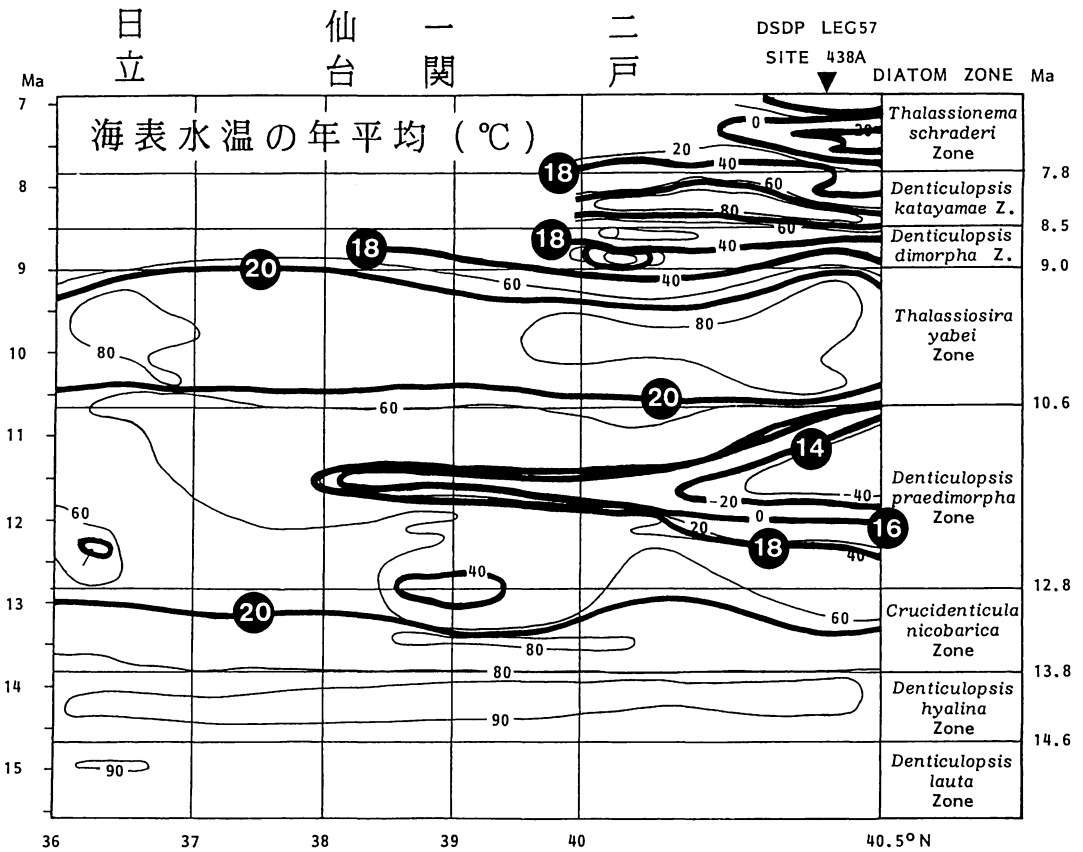


図6 東北日本近海における中新世の海表水温の年平均. 黒丸白字が海表水温(°C)を表す.

れるようになった.

(2) 13.8Maには顕著な寒冷化によって海況が急変し、優占種の劇的な交代が起こった. すなわち、*D. hyalina*のアクメが突然に消滅し、代わって*D. hustedtii*がその頻度を増加させはじめた. しかし、温度勾配は依然として緩やかなままで、冷涼な水塊 ($Td=60's$, 年平均 $19\sim 20^{\circ}C$) が *Crucidenticula nicobarica* 帯時を通じて東北日本をおおっていた. このときの堆積相や化石群集からは、陸源物質の供給量が多く、見かけ上生物源シリカや栄養塩類にとぼしい海況が想像できる.

(3) 12.8Maには北太平洋全域で知られているはげしい寒冷化が起こり、日本周辺ではこれ以後 *C. nicobarica* s.l. など熱帯系のタクサがまったく検出されなくなった. 同時に *D. praedimorpha* が北から侵入してきて、北冷南温型の温度勾配の強い海況が出現した. 下北沖では $Td=-40's$ (年平

均で $13^{\circ}C$)、鹿島灘では $60's$ (年平均で $19.5^{\circ}C$) となり、その南北差は $Td=100$ (温度差の年平均で $6.5^{\circ}C$) となった. 直前の *C. nicobarica* 帯時とくらべると生物源シリカの生産量は急激に増加した.

(4) 10.6Maになると再び温暖で、温度勾配の緩やかな状態に戻った ($Td=60's\sim 80's$, 年平均 $19\sim 21^{\circ}C$). *D. praedimorpha* が消滅した後、陸源物質の供給量が低下し、いっぽう珪藻の生産量が増加して9.0Maまで珪藻土や珪藻質泥岩(あるいは続成作用によって後に siliceous shale となった原岩)がもっとも堆積しやすい海況 (*Thalassiosira yabei* 帯時) になった. 珪藻温度指数 Td の時空分布パターンは *C. nicobarica* 帯時のそれとよく似ているが、珪藻質岩が多量に堆積した点が特徴的である.

(5) 東北日本では *T. yabei* 帯時 (10.6~9.0

Ma) の珪藻温度が、それ以前の *D. praedimorpha* 帯時 (12.8~10.6Ma) より高くなったわけだが、そのときの古海況について北太平洋の東西で対照的な現象が報告されている。すなわち、カムチャッカでは貝類群集の変化から、約 10Ma にそれ以前よりも暖かい海水が流入してきた (Gladenkov and Shantser, 1990) と解釈されているのに対し、カリフォルニアや東赤道太平洋では 10 Ma の珪藻群集を水温低下の反映だと考えている (たとえば, Barron and Baldauf, 1990)。日本やカムチャッカなど北太平洋の北西縁が暖くなり、反対に東岸側が冷たくなったという変化は、時計回りの海水循環パターンが確立したか、あるいはその勢力が強くなったことに起因するのではないか。すなわち、赤道からカムチャッカに向かって水塊が順に押し上げられたために、逃げ場をなくした亜極域の水塊が北アメリカ西岸沿いに南下したのではあるまいか。

(6) 確かに中／後期中新世境界付近から高緯度域の寒冷化が一段と進み、地方間較差 (provincialism) が緯度に沿って増大したといわれている (Barron, 1992)。このような世界的傾向のなかで、日本近海の *T. yabei* 帯時はその中休みを代表しているように思える。なぜならば、*T. yabei* 帯の上下限を定義している *D. praedimorpha* の消滅と *D. dimorpha* の出現という古生物事件は、実は生息環境の古生物地理的なシフトによって、予測された化石記録の連続性が断ち切られた好例だと判断できるからである。つまり、祖先型の *D. praedimorpha* から子孫型の *D. dimorpha* が分岐したと考えられており (Maruyama, 1984 a; Akiba and Yanagisawa, 1986; Yanagisawa and Akiba, 1990)、もしも原産地において進化の様子が連続的に層序に記録されたとすれば、分帯に際しては両者の層位的産状を反映した理想的な lineage 帯や concurrent-range 帯が設定できるはずである。ところが日本近海では両者は共産せず、結果として *T. yabei* 帯という区間帯 (interval-zone) が設けられ、つながるべき進化系統と層位的産状が断絶している。すなわち、*T. yabei* 帯時には東北日本とは別の地方 (province)、おそらく高緯度域で *D. praedimorpha* から *D. dimorpha*

への分化が進行していたと考えられる。北半球では高緯度域の中新統に関して生層序の研究が遅れており、今後の深海掘削などによって新知見が得られることが期待される。これに対し、南半球のインド洋では典型的な *D. praedimorpha* や *D. dimorpha* が共産する層位区間がすでに発見されており (Harwood and Maruyama, 1992)、さらに両者の中間型とみなされる個体も数多く共産している。南北太平洋からインド洋にかけて珪藻の帯区分を通覧すると、南半球の高緯度域 (南極周辺海域) が *Denticulopsis* 属にとって分化・分散の有力な根拠地のひとつであったといえる (丸山・岩井, 1990)。

(7) その後、9~7Ma ではおもに $T_d = 40's \sim 20's$ となり段階的に寒冷化が進行したと思われる。寒冷化にともなって厚殻種の分化・分散が活発になり、中新世末期に *Thalassionema schraederi* のアクメを迎える。しかし、東北沿岸の後期中新世の群集では沿岸水成分の増加が著しいために、珪藻温度指数の解釈が難しくなっている。なお、9~7Ma のうち *D. katayamae* 帯時に $T_d = 60's \sim 80's$ という高温域が記録されている。その理由は *D. katayamae* s. s. を *D. hustedtii* s. l. にふくめて一括して計数したためである。この種を冷水種と判断して T_d 指数を求めれば、より低い海表水温を推定することができる。時間的地理的な生息範囲にもとづいて、あるタクサを暖水種、冷水種および汎存種と判定する際には、どうしても人為的な選択がはたらくために、 T_d 指数の結果も当然変わってくる。たとえば、今回の計算で汎存種としたタクサをあらたに冷水種と判定しなせば、 T_d 指数は全般に小さくなり、低い海表水温が推定できる。その有力候補としては、*D. lauta* と *D. hyalina* が挙げられ、この2種を冷水種とみなせば中期中新世前期の古水温をもっと低く見積もることができる。

結論：中新世の海況に相当する現在の海域

推定された中新世の古水温と温度勾配が、現在のどこの海域の状況に相当するか、15.5~9.0Ma の期間について調べて、その結果を図7にまとめた。

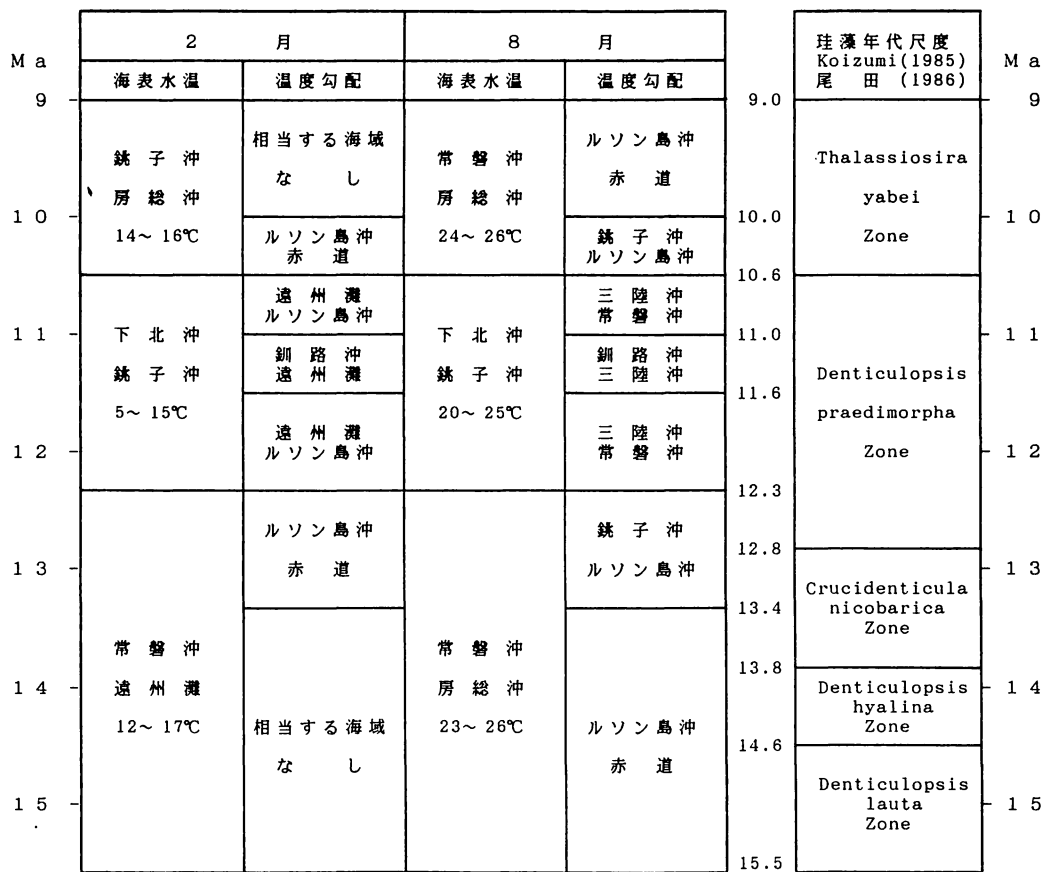


図7 中新世中～後期の海況に相当する現在の海域。それぞれの海域は推定された範囲の北限と南限を表わす。

中期中新世の初期から中期にかけて（15.5～12.3Ma）は、冬では現在の常磐沖から遠州灘に相当する海表水温が推定され、夏では常磐沖から房総沖の水温が得られた。このとき、温度勾配については夏でも冬でも、海表水温が想定された海域よりもはるかに南の海域（銚子沖～ルソン島沖～赤道）が想定された。ただし、15.5～13.4Maの冬では温度勾配がまったく検出できないために、現世では相当する海域が見つからないという結果になった。

おもに中期中新世の後期（12.3～10.6Ma）では、海表水温は夏でも、冬でも、おおよそ現在の下北沖から銚子沖に相当する。この時期の冬の温度勾配は、比較的暖かい時期には遠州灘からルソン島沖に相当し、また本研究の換算式の基準とした最も寒冷な時期（11.6～11.0Ma）には釧路沖から遠州灘にいたる海域を示した。いっぽう、夏の

温度勾配は三陸沖を中心にして釧路沖から常磐沖にいたる海域が描き出された。中期中新世末期から後期中新世初期（10.6～9.0Ma）にかけては海表水温および温度勾配ともに、夏でも冬でも中期中新世の初期から中期（15.5～12.3Ma）の状況とよく似た結果になった。

東北日本沖の海表水温に関しては、中新世の中～後期を通じてどんなに暖かく見積もっても、2月では遠州灘、8月では房総沖が南限であり、これより南の海域を想定することはできない。また、2月といえども下北沖より北の海域は考えられない。いずれにせよ、全体的には現在よりもやや暖かい水温が推定されたが、これも珪藻温度指数Tdから導いた換算式の最大値と最小値の範囲で描き出された海域である。いっぽう、温度勾配については、海表水温から推定される海域よりもひと区画南の海域が、12.3～10.6Maの夏を除いて

ていずれの時期の夏でも冬でも想定されるという結果になった。また、15.5~11.0Maにかけては夏でも冬でも、寒冷化にともなって相当する海域が順次、北に移動していくようすがはっきりと描き出された。11.0~9.0Maにかけては再び温暖な海域にもどる傾向がつかまえられた。海表水温と温度勾配のそれぞれについて、想定された海域の継続時間をくらべると、温度勾配の方が海表水温よりも短く、したがって海況の変化を敏感にとらえているように思える。

結局のところ、海表水温の経時的变化に関しては、中新世中~後期を通じて東北日本の沖合に現在よりもやや暖かい海域を作り出すことができた。現在の海域に当てはめると、銚子沖を中心として年平均でおよそ常磐沖から房総沖に相当する海表水温だといえる。しかし、温度勾配に関しては、前提条件とした中期中新世後期をのぞいては、現在の中緯度域に特有な大きな値を推定することは無理であり、現在よりも温度勾配の小さな海域、すなわちフィリピン沖や赤道海域が想定された。この推論の発端は化石タクサの頻度分布を一義的に海表水温と結びつけたことにあり、いみじくも古生態と古環境要因との関係をいかに評価すべきかという問題に帰結する。

謝 辞

筑波大学小笠原憲四郎教授ならびに国立科学博物館植村和彦博士には、古生物学会のシンポジウムを契機として、研究発表の機会を与えていただいた。本研究をまとめる過程では東北大学高柳洋吉名誉教授、石油資源開発(株)技術研究所秋葉文雄氏および地質調査所柳沢幸夫氏から懇切なる御教示をいただいた。以上の方々に厚く御礼申し上げる。研究資料の解析にあたっては、文部省科学研究費補助金(01302017, 03740406)および文部省特定研究経費「東北日本における環境変化に関する研究」の一部を使用した。

文 献

Akiba, F., 1986: Middle Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy in the Nankai Trough and Japan Trench, and modified Lower Miocene

through Quaternary diatom zones for middle-to-high latitudes of the North Pacific. *In* Kagami, H., Karig, D. E., Coulbourn, W. T., et al., eds., *Init. Repts. DSDP*, **87**, 393-481.

———, and Yanagisawa, Y., 1986: Taxonomy, morphology and phylogeny of the Neogene diatom zonal marker species in the middle-to-high latitudes of the North Pacific. *ibid.*, **87**, 483-554.

Barron, J. A., 1985: Miocene to Holocene planktic diatoms. *In* Bolli, H. M., Saunders, J. B. and Perch-Nielsen, K., eds., *Plankton Stratigraphy*, 763-809. Cambridge University Press.

———, 1992: Neogene diatom datum levels in the equatorial and North Pacific. *In* Ishizaki, K. and Saito, T., eds., *Centenary of Japanese Micropaleontology*, 413-425. TERRAPUB.

———, and Baldauf, J. G., 1990: Development of biosiliceous sedimentation in the North Pacific during the Miocene and Early Pliocene. *In* Tsuchi, R., ed., *Pacific Neogene Events*, 43-63. University of Tokyo Press.

———, Nigrini, C. A., Pujos, A., Saito, T., Theyer, F., Thomas, E., and Weinreich, N., 1985: Synthesis of biostratigraphy, central equatorial Pacific DSDP Leg 85 biostratigraphy: Refinement of Oligocene to Quaternary biochronology. *In* Mayer, L., Theyer, F., et al., eds., *Init. Repts. DSDP*, **85**, 905-934.

Berggren, W. A., Kent, D. V., Flynn, J. J., and van Couvering, J. A., 1985: Cenozoic geochronology. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **96**, 1407-1418.

Gladkov, Y. B., and Shantser, A. Y., 1990: Neogene of Kamchatka: Stratigraphy and correlation of geological events. *In* Tsuchi, R. ed., *Pacific Neogene Events*, 173-181. University of Tokyo Press.

Harwood, D. M., and Maruyama, T., 1992: Middle Eocene to Pleistocene diatom biostratigraphy of Southern Ocean sediments from the Kerguelen Plateau, ODP Leg 120. *In* Wise, S. W., Jr., Schlich, R., et al., eds. *Proc. ODP, Sci. Results*, **120**, 683-733, Kanaya, T., and Koizumi, I., 1966: Interpretation of diatom thanatocoenoses from the North Pacific applied to a study of core V20-130 (Studies of a deep-sea core V20-130, part IV). *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd ser. (Geol.)*, **37**, 89-130.

- Kasuya, M., 1987: Comparative study of Miocene fissiontrack chronology and magneto-biochronology. *ibid.*, 58, 93-106.
- Koizumi, I., 1985: Diatom biochronology for late Cenozoic northwest Pacific. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 91, 195-211.
- , and Yanagisawa, Y., 1990: Evolutionary change in diatom morphology — An example from *Nitzschia fossilis* to *Pseudoeunotia doliolus* —. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S.*, (157), 347-359.
- 国立天文台編, 1990: 理科年表, 平成3年版. 丸善.
- Maruyama, T., 1984a: Miocene diatom biostratigraphy of onshore sequences on the Pacific side of northeast Japan, with reference to DSDP Hole 438A (Part 1). *Tohoku Univ., Sci. Rep., 2nd ser. (Geol.)*, 54, 141-164.
- , 1984b: *ditto* (Part 2). *ibid.*, 55, 77-140.
- 丸山俊明, 1988. 中新世珪藻の時空分布と珪藻温度計の試作 — 東北日本太平洋側南北断面に沿った古海洋変動史 —. 日本地質学会東北支部会報, (18), 25-27.
- ・岩井雅夫, 1990: ケルゲレン海台と三陸沖の珪藻化石の大きさをくらべ. 月刊海洋, 22, 277-282.
- 尾田太良, 1986: 新第三紀の微化石年代尺度の現状と問題点 — 中部および東北日本を中心として —. 北村記念地質論文集, 297-312.
- Round, F. E., Crawford R. M. and Mann, D. G., 1990: *The Diatoms*: 747p. Cambridge University Press.
- 高橋雅紀・斎藤和男・梅津浩之・市川なつみ, 1992: 群馬県富岡地域, 中新世北村・馬場凝灰岩の K-Ar および ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代 — とくに浮遊性有孔虫化石帯の N. 13/N. 14 境界に関連して —. 地質学雑誌, 98, 323-335.
- Tanimura, Y., 1981: Late Quaternary diatoms of the Sea of Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd ser. (Geol.)*, 51, 1-37.
- , 1989: *Denticulopsis praehyalina*, sp. nov. : An early Middle Miocene pennate diatom from Dogo, Oki Islands, southwest Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S.*, (155), 169-177.
- Yanagisawa, Y., and Akiba, F., 1990: Taxonomy and phylogeny of the three marine diatom genera *Crucidentacula*, *Denticulopsis* and *Neodenticula*. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 41, 197-301.

海洋微化石による生物温度計への試み—鮮新世石灰質ナノ化石を例に

田中裕一郎*

Application of the biotic thermometer by using the marine microfossils-
Pliocene calcareous nannofossil as an example

Yuichiro Tanaka*

Abstract A coccolith transfer function formulated through multiple regression analysis relates coccolith floras in the surface sediments from seas on the Pacific side of Japan to mean annual sea surface temperatures. Coccolith transfer function has been applied to coccolith floral data from a piston core in the Oki-Daito Ridge and the Shimajiri Group in southern Okinawa-jima. These samples provide material for a high-resolution stratigraphic and paleoceanographic study during the Pliocene period. Estimates show several climatic events between 2.0 and 5.0 Ma. Sea surface temperature (SST) was relatively low from 5.0 to 3.7 Ma. Between 3.6 Ma and 3.2 Ma SST was generally as warm as modern conditions. SST was approximately 3.5°C lower at 3.0 Ma than at 3.2 Ma in the Oki-Daito Ridge region. At 2.5 Ma a cool event was also recognized in the Okinawa-jima region. These warm and cool events recognized by using the coccolith transfer function correspond with the well-known episodes in the Atlantic and Pacific Ocean.

はじめに

微化石を用いる古水温の推定について、Imbrie and Kipp (1971) は新たな方法を確立した。それは、化石群集あるいは単一種・タクサの特性に基づいて古気候を推定するというそれまでの定性的な手法とは異なり、主因子分析により水温に相関の高い種・タクサを抽出し、それを基に重回帰分析による変換関数 (transfer function) を用いることにより、表面水温や塩分濃度などの古環境因子を数量的に求める方法である。彼らは変換関数を作成するに先立ち大洋に生息している浮遊性有孔虫についてコア最上部の構成種を基に Q-モード因子分析を行い、浮遊性有孔虫の地理的分布を明かにし、それらに關与した構成種と海洋学的パラメータから変換関数を作り上げた。そして、18,000 年前の最終氷期最盛期を、さらには 45 万年前以降の海洋表面水温変化を復元し、酸素同位体変化ともよく調和する結果を得た。同様に更新世後期の石灰質ナノプランクトンや、放散虫、

珪藻についても適用され成果を上げた (例えば、Geitzenauer *et al.*, 1976; Roche *et al.*, 1975; San-cetta, 1979)。

さて、石灰質ナノ化石が層序学の分野で貢献をした背景には、種の出現・消滅といった生物事変が数多く生じた事実がある (Martini, 1971; Okada and Bukry, 1980)。そのために、これまでの石灰質ナノ化石による古気候変化の研究は、比較的生存期間の長い種・タクサ間の産出頻度の変化に基づくものであった。そしてこれらの研究は温暖期と寒冷期のサイクルを見つけるには十分であった (例えば、Haq, 1980)。また、これらの研究と平行して CLIMAP 計画 (1976, 1984) や Roche *et al.* (1975), Geitzenauer *et al.* (1976) により、変換関数法が導入され後期更新世の古水温の数量化がなされたが、この変換関数には、更新世以降に出現した種が使用されておりそれ以前への応用はできない。すなわち古水温の推定について CLIMAP 計画 (1976, 1984) の行った過去数十万年については、進化に起因する形態や群集変化をあまり考慮することもなかったが、それより古い時代については進化による影響を識別する必要

*地質調査所 海洋地質部 茨城県つくば市東 1-1-3
1993 年 4 月 3 日受付, 1993 年 8 月 27 日受理

がある。この点が、変換関数を用いた前期更新世以前の古水温推定の大きな問題のひとつである。したがって、鮮新世の古水温を推定するためには改めて変換関数を構成する種の選定をやり直す必要がある。最近になり、この変換関数を用いた研究が新たに行われている。例えば、Dowsett and Poore (1990) は浮遊性有孔虫を用いて鮮新世—更新世の北大西洋の古海洋学の研究を、Hays *et al.* (1989) は東部赤道太平洋における放散虫による鮮新世の古水温変遷を、Cronin and Dowsett (1990) は北アメリカ東沿岸域の貝形虫を用いて鮮新世と現世との相違を研究している。特に、石灰質ナノ化石と同様に出現・消滅種が多く生層序に有効である浮遊性有孔虫を用いた Dowsett and Poore (1990) の研究では、種の選定について、類縁関係にある種、また水温に対する挙動の相関が強い種は1つのタクソンに含められている。Tanaka (1991) は日本近海域の表層堆積物中の石灰質ナノプランクトン遺骸の群集解析を行ない、遺骸群集が表層水塊の特徴を反映していることを明かにした。そこで、表層堆積物中に認められた34種の石灰質ナノプランクトン遺骸を基に重回帰分析を行い変換関数を作成し、本邦黒潮域における最終氷期以降の水温および塩分濃度の変遷の解明を行った。作成した変換関数によって推定された古水温の変化は、北西大西洋で認められた Termination I_B (Duplessy *et al.* 1981)、縄文海進ならびに弥生海退時の表層水温変化あるいは15,000年前から11,000年前の温暖化を的確に示している。したがって、Tanaka (1991) の変換関数に用いられた種・タクサは、日本近海域の最終氷期以降の水温変化を推定するのに適していることが証明された。

そこで、本研究では、まず初めに石灰質ナノ化石について現世ならびに鮮新世に生存した種・タクサの選定を行い、本邦太平洋側近海域の遺骸の地理的分布と年平均表層水温との間の変換関数を作成し鮮新世の古水温の推定を行う。そして、鮮新世の本邦太平洋側の環境変遷の解明について作成した変換関数の有効性に関して議論する。

本邦近海太平洋の遺骸群集

1. 変換関数に用いる種の選定

鮮新世の水温変遷の推定のためには、鮮新世に多産し更新世中期以前に消滅した種の取り扱いが問題となる。鮮新世に多産し、消滅するタクサとしては、*Discoaster* 属、*Sphenolithus* 属、*Reticulofenestra pseudoumbilica* が挙げられる。*Discoaster* 属は新第三紀の石灰質ナノ化石群集のうち特に外洋の低緯度域、すなわち亜熱帯、熱帯海域の温暖水塊に多産し、沿岸域あるいは高緯度域ではその他の種が多産する傾向が認められる (Haq *et al.*, 1976, Haq and Lohmann, 1976)。Backman and Pestiaux (1986) や Chepstow-Lusty *et al.* (1991) は、この鮮新世の外洋において多産する *Discoaster* 属の各種の絶対頻度変化から環境変遷を解析を行っている。また、*Sphenolithus* 属も温暖水塊を特徴づける種であるが (Haq, 1980)、今回の島尻層群や沖大東海嶺で採取された柱状コアには、顕著な変動は認められなかった。鮮新世の表層水温変化を解明するにあたり本研究の対象海域のように陸に近い海域では、*Discoaster* 属あるいは *Sphenolithus* 属の産出頻度変化による解析よりも沿岸域に多産する種の頻度変化に着目した解析が適していると考えられる。さらに、中新世における *C. pelagicus* と *Reticulofenestra pseudoumbilica* との産出頻度比の変化がミランコヴィチサイクルに対応しているとする研究もあるが (Beaufort and Aubry, 1990)、日本近海域のような中・低緯度域では *C. pelagicus* の産出頻度が低いあるいは産出しないことから、今回の研究目的である表層水温を定量的に示す点から考えるとこの方法は利用できない。

そこで、鮮新世の変換関数を作成するために Tanaka (1991) により本邦太平洋側海域の最終氷期以降の表層水温を復元した際に変換関数に使用した遺骸種・タクサを基に有効な種・タクサの選定を行った。その際、鮮新世における産出状況と環境に依存する性質が類似すると判断できる同属別種については1つのグループにまとめた。たとえば *Calcidiscus* 属のうち、*C. leptoporus* と *C. macintyre* は、サイズは後者が大きいものの出現が同時期であり、また、新第三紀における北西太平洋の両者の頻度変化がほぼ同調していることよ

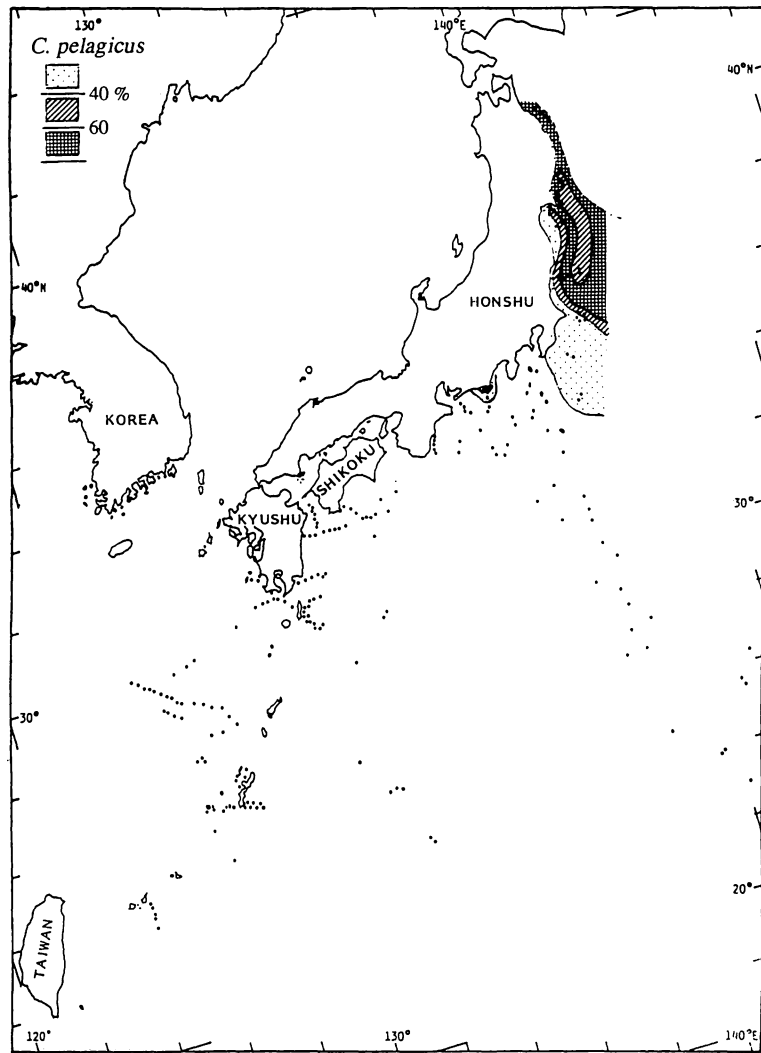


図2. 表層堆積物中の *Coccolithus pelagicus* の分布.

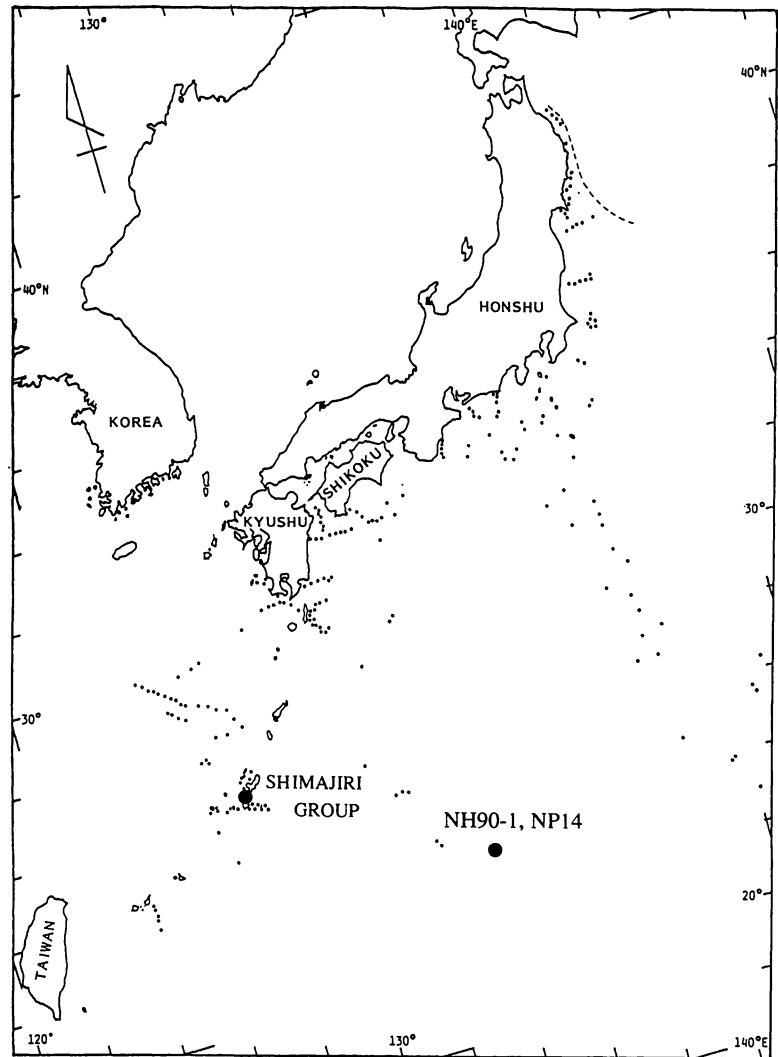


図1. 表層堆積物ならびにコア NH90-1 NP14, 島尻層群試料位置図.

り (例えば, Ellis (1975), Okada (1980) など), 両者の環境への適応能力は類似していると考えられ *C. leptoporus* として一括した。また, *Ceratolithus* 属については, 鮮新世から現世にかけて *C. acutus*, *C. rugosus*, *C. cristatus*, *C. telesumus* の4つの種の出現が認められる。フィリピン海の DSDP Site 445 (Okada, 1980) と三陸沖 DSDP Site 438A (Shaffer, 1980) の鮮新世から現世にかけてのこれらの種の化石層序を比較すると, 亜熱帯域の Site 445 には連続した産出がみられるが, 亜寒帯域の Site 438A では産出頻度も低く連続した産出が認められない。したがって, 現世の *Ceratolithus* の地理的分布 (Tanaka, 1991) を考慮すると, これらの4種は, 環境変化に対して同調した変化を取ると判断されることより, *Ceratolithus* グループとして1つにまとめた。 *Helicosphaera* 属は, 現世においては *H. carteri*, *H. hyalina*, *H. wallichii*, *H. pavementum* の4種が生息しているが, 日本近海域においては Tanaka (1991) によるとこれら4種はいずれも温暖な沿岸域にピークが認められることより, 一つのグループにまとめた。

また, 第三紀における *Coccolithus pelagicus* が, 現世と同じように寒冷種であったかどうか問題提起している研究もある。例えば西田 (1982) は, 形態的差異により *C. pelagicus* を化石型と現世型に区別し, 現世の *C. pelagicus* は寒冷種であるが鮮新世の赤道太平洋海域には化石型の *C. pelagicus* が生息していたのであって, 生物種の急激な適応の転換あるいは極端な表層水温の低下を考える必要はないとしている。現世の *C. pelagicus* は McIntyre and Bé (1967) によると栄養塩に富む水温 7–14°C の寒冷域に生息していると報告されている。また, 本邦太平洋側にみられる現世の *C. pelagicus* が年平均表層水温 21°C より低温域に限られて分布している (図 2)。西田 (1982) の指摘する鮮新世から第四紀にかけて *C. pelagicus* の形態変化が起こった可能性は今のところ完全に否定できないが, 大西洋において中新世のナンノ化石群集変遷を研究した Haq (1980) の結果によるとこの時代も *C. pelagicus* の産出頻度のピークは高緯度域にあり現世の地理的分布と類似

していることが明らかになっている。また, Bukry (1980) は赤道東太平洋の DSDP Leg 54 について鮮新世後期の *C. pelagicus* の産出は北ペルー海流による寒冷表層水の流入のためであると結論づけている。さらに, ニューカレドニアの DSDP Leg 90 Site 590 (南緯 31°10.02', 東経 163°21.51', 水深 1,299m) の鮮新世の石灰質ナンノ化石層序を調査した結果では, 約 4.0Ma 以前と約 3.0–2.0Ma に *C. pelagicus* が多産している (Lohmann, 1986)。これらの事象より, 今回 *C. pelagicus* は寒冷種であると判断し変換関数に採用する。

ところで, Tanaka (1991) によると *Umbilicosphaera sibogae* の分布は黒潮本流域にピークを持ち温暖域に多産する種である。また, McIntyre and Bé (1967) も *U. sibogae* の生息水温が 18°C から 29°C で温暖水の影響を反映していると指摘している。しかしながら, 鮮新世の産出を見るかぎり本種の産出頻度は全群集の 1% 以下と低く, 当時の *U. sibogae* は現在のように繁栄していなかったと考えられる。したがって, *U. sibogae* は現世ならびに鮮新世に生息していた種ではあるが, 両時代での地理的分布にかなりの変化があると考えられ今回の変換関数には採用しないこととした。

その結果, 鮮新世への変換関数作成に有効である種・タクサとしては表 1 に示す 8 つが選定された。

2. 種の地理的分布について

表 1. 重回帰分析に使用した石灰質ナンノ化石種・タクサ。

Taxon	Maximum occurrence (%)
<i>Calcidiscus leptoporus</i>	91.3
<i>Calciosolenia</i> spp.	48.2
<i>Ceratolithus</i> spp.	2
<i>Coccolithus pelagicus</i>	100
<i>Helicosphaera</i> spp.	74.9
<i>Oolithotus fragilis</i>	8
<i>Rhabdosphaera clavigera</i>	42.6
<i>Syracosphaera</i> spp.	42.1

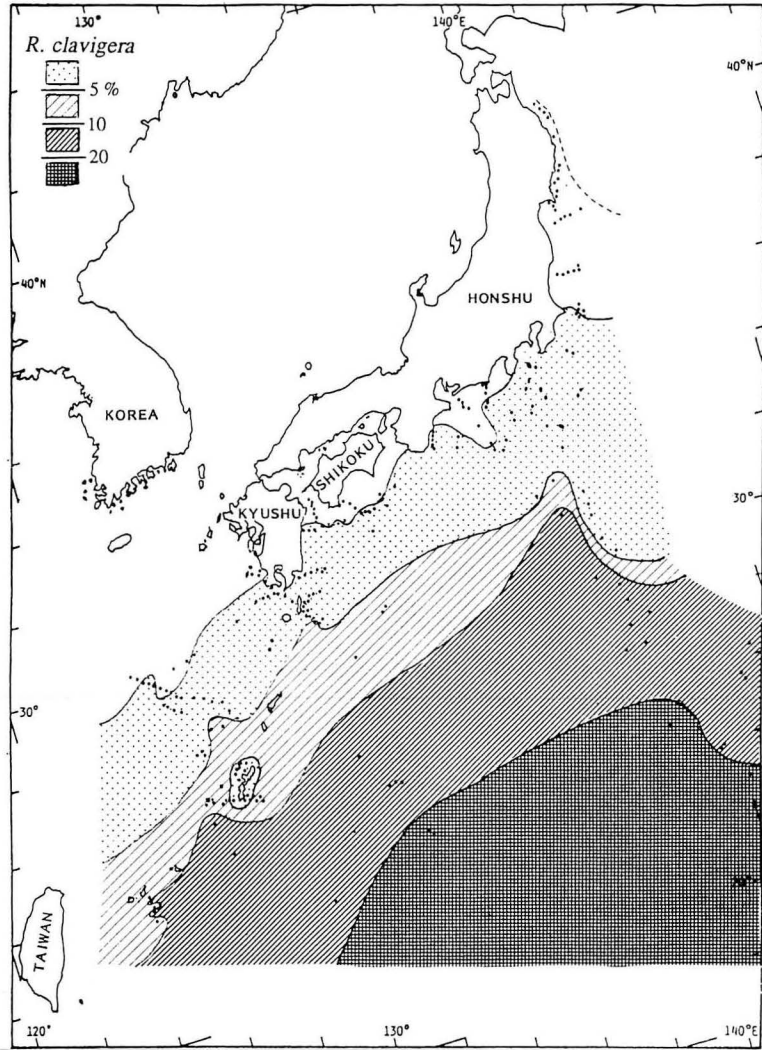


図 4. 表層堆積物中の *Rhabdosphaera clavigera* 分布.

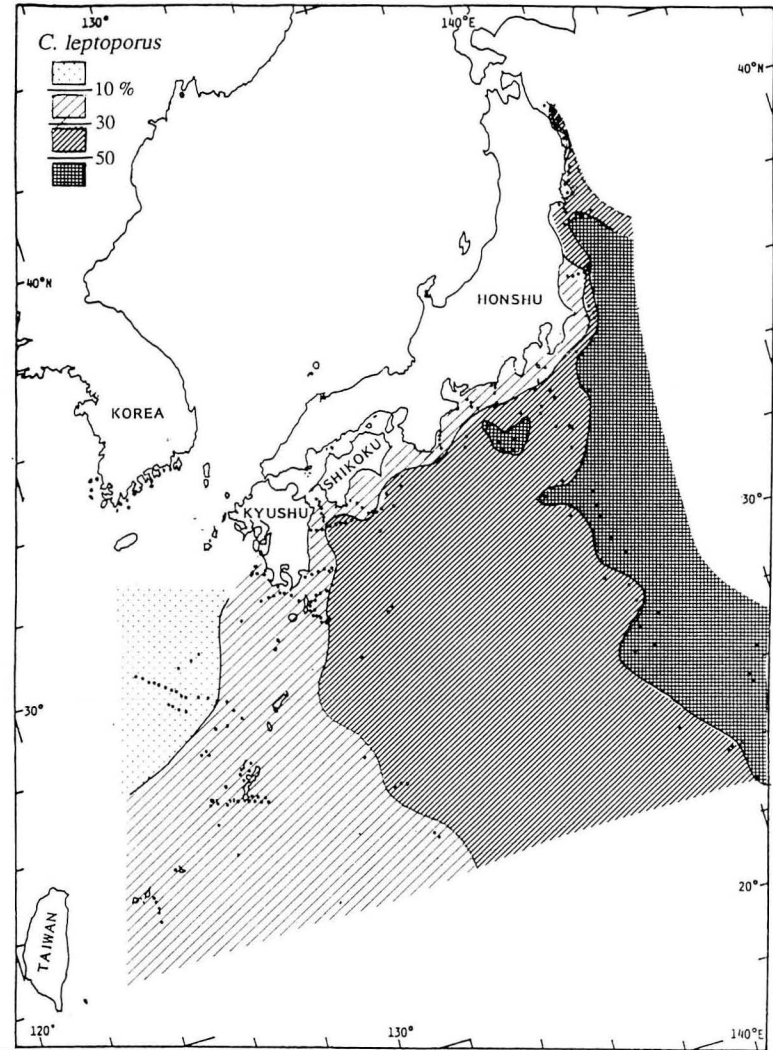


図 3. 表層堆積物中の *Calcidiscus leptoporus* の分布.

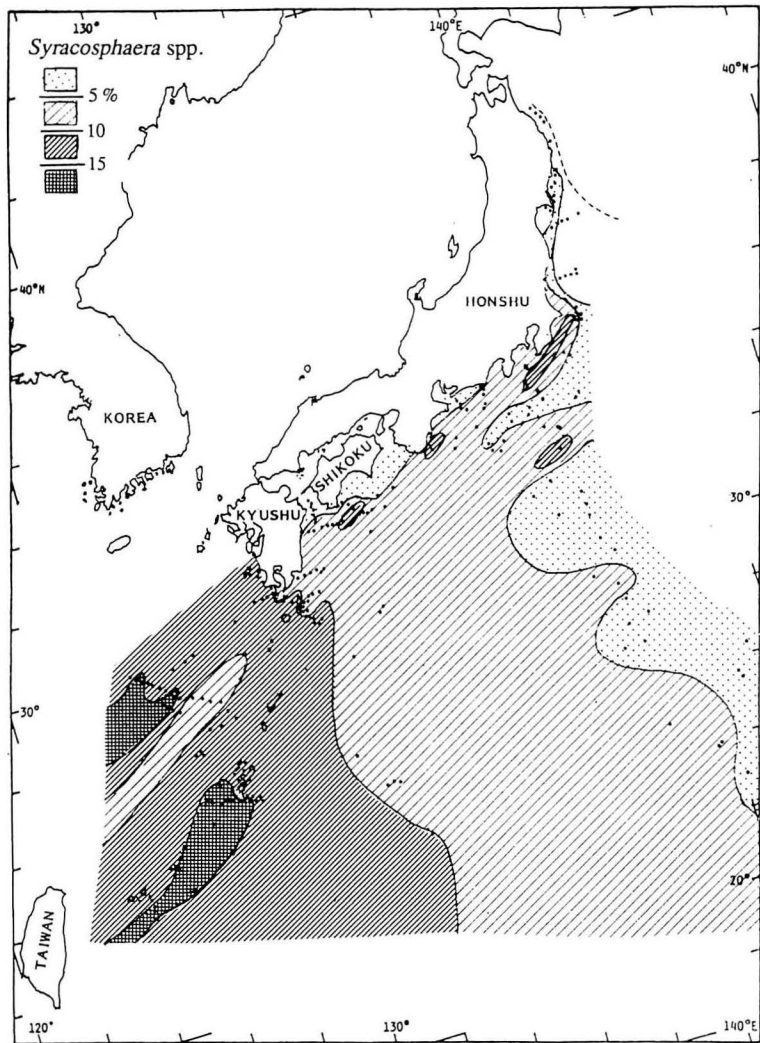


図 6. 表層堆積物中の *Syracosphaera* spp. の分布.

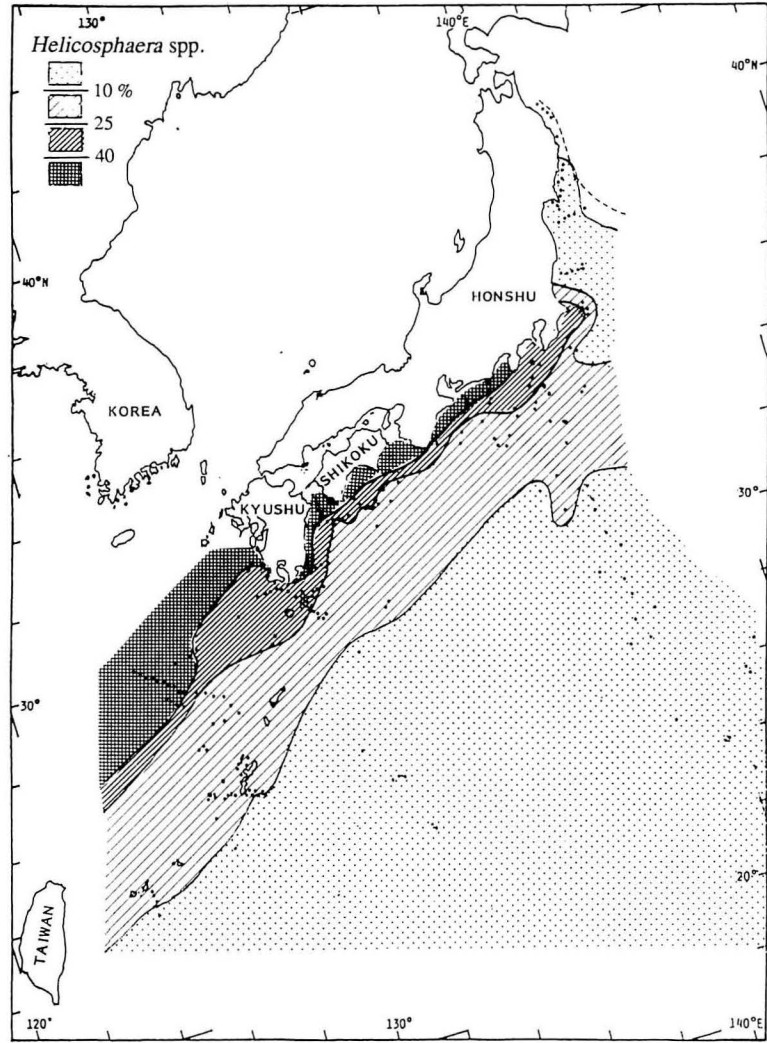


図 5. 表層堆積物中の *Helicosphaera* spp. の分布.

本邦近海の太平洋海域北緯 22 度から 41 度の水深 3,500m 以浅の表層堆積物 182 試料について (図 1), 選定した石灰質ナノ化石 8 タクサを対象として各試料 200 個の相対頻度を調べ, その地理的分布を明らかにした. 選定した 8 タクサのうち, 特に産出頻度が高く, 水塊の影響を強く受けていると考えられる 5 タクサについてその地理的分布を図 2-6 に示す.

1) *Coccolithus pelagicus* (図 2)

本種の南限は房総半島沖に位置し, 最も頻度が高い海域は親潮海流の影響を強く受ける三陸沖に認められる.

2) *Calcidiscus leptoporus* (図 3)

本グループは, 太平洋, 東シナ海に広く分布している. 黒潮の影響のある沿岸域は, 産出頻度は低く外洋に向かって頻度が高くなる傾向がある. また, それと共に伊豆小笠原海嶺の東方海域にピークが認められる.

4) *Rhabdosphaera clavigera* (図 4)

本種は, 北緯 36 度以南に分布し, 南部伊豆一小笠原海嶺海域に多産することより典型的な温暖種である.

5) *Helicosphaera* spp. (図 5)

このタクサは北緯 40 度以南に分布し, 特に, 沿岸域に多産する傾向が認められる.

6) *Syracosphaera* spp. (図 6)

C. leptoporus の分布と対照的に温暖域の湧昇流海域にピークがある. 特に, 沖縄舟状海盆, 東シナ海大陸棚斜面に多産する.

これらの種は, 明かに現在の表層水塊の分布の特徴を反映しており, Tanaka (1991) による群集解析結果と調和的である.

3. 重回帰分析について

鮮新世の古水温を推定する変換関数作成のために, 太平洋側海域の 8 タクサの構成比, それらの 2 乗値, 掛け合わせを説明変数群として, 逐次選択法により年平均表層水温 (海洋資料センター編, 1975) との間の重回帰分析を行った. 重回帰分析結果は表 2 に示す. 年平均水温の重相関係数は 0.93 と高く, また, 推定値の標準誤差は, 0.74°C である. これは, 年平均表層水温の約

6.0%の誤差にあたり, したがって, この重回帰式は, 観測データの約 94%を表現していることになる. 図 7 は観測値と推定値をプロットしたものである. 高温域は, 分散が小さいのに対して低温域は大きくなる傾向がある. これは, 年平均表層水温分布から判断すると温度勾配が低温域ほど急であること, また, 低温域は沿岸に近く, 水塊の変動が著しく, 温度変化以上に栄養塩, 塩分濃度の影響を強く受けていることによると判断される.

鮮新世古水温分析

1. 鮮新世の水温変化に使用した試料

重回帰分析によって導いた鮮新世の古水温変換関数の有効性を検討するために, 沖大東海嶺の水深 1,999m で採取されたコア NH90-1 NP14 (東経 134°23.06' 北緯 23°01.78') と沖縄本島南部に広く分布する島尻層群与那原層, 新里層の試料を用いて古水温変化の推定を行った. コア NH90-1 NP14 は, 長さ 724cm で遠洋性の石灰質軟泥である. また, 島尻層群与那原層, 新里層の陸上試料は, Tanaka and Ujiié (1984) により島尻層群の石灰質ナノ化石ならびに浮遊性有孔虫生層序を確立した際に使用した試料を用いた. 双方の試料とも, 石灰質ナノ化石を豊富に含み, その保存状態も良好である.

2. 年代

表 3 に古地磁気層序, 石灰質ナノ化石層序による NH90-1 NP14 の年代を示す. 本コアには 6 つの石灰質ナノ化石基準面が認定された. さらに, 山崎・井岡 (1992) によると, コア層準 304 cm にガウス正磁極期の基底が認められ 3.40Ma に, また, 2.48Ma のガウス期から松山期への逆転境界が 119cm 層準に認定されている. これらのデータによりコア層準 80cm より最下位までの堆積速度は 0.25cm/1000 年とほぼ一定である. しかしながら, 60cm 層準に *Gephyrocapsa caribbeanica* が, 50cm 層準に *G. oceanica* が出現していること, また, 80cm 以深の堆積速度がほぼ一定であることから 1.85-1.63Ma のオールドバイ・イベントが欠如していることは明らかでコア層準 70cm と 60cm の間にはハイエイタスが存在して

表2. 年平均表層水温に対する変換関数の重相関係数と標準誤差ならびに変換関数の係数と定数.

Multiple correlation coefficient	0.93
Standard error of estimate (°C)	0.74
<i>C. pelagicus</i>	-0.19
<i>Helicosphaera</i> spp.	-0.05
<i>R. clavigera</i>	0.09
<i>C. pelagicus</i> × <i>O. fragilis</i>	-0.1
<i>Helicosphaera</i> spp. × <i>Syracosphaera</i> spp.	0.002
<i>Syracosphaera</i> spp. × <i>Calciosolenia</i> spp.	0.002
<i>C. pelagicus</i> squared	0.001
Intercept	23.32

いると考えられる。したがって、本コアは、5.0 Ma より 2.49Ma について時間スケールの信頼性は高いが、2.49Ma 以降は信頼性は低くなる。

また、島尻層群与那原層、新里層の連続セクションにおいては、Tanaka and Ujiie (1984) に

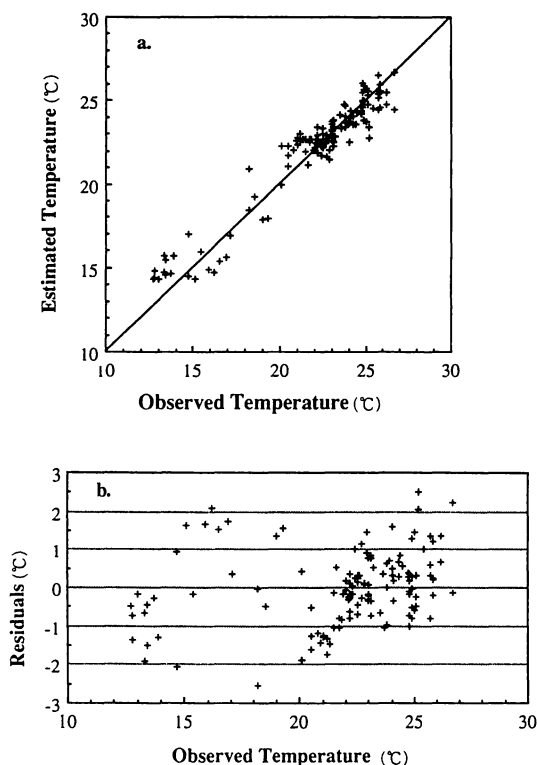


図7. 本邦太平洋側における(a)観測値と変換関数による推定値, (b)観測値と変換関数による推定値誤差との分散図.

より8つのナンノ化石基準面が認定されている。

3. 推定表層水温変化

3. 1. 変換関数の有効性

本邦近海太平洋域の表層堆積物中のナンノプランクトン遺骸の産出と年平均表層水温による重回帰式を用いて鮮新世の表層水温の推定を行った(図8)。CLIMAP 計画(1976, 1984)において最終氷期の表層水温分布図を作成する際に留意したことのひとつとして、当時の水温分布が現在と同じように低緯度域で高く高緯度域にいくにしたがって低くなる傾向が示されなくてはならないことがある。今回の変換関数に関して現在の沖縄近

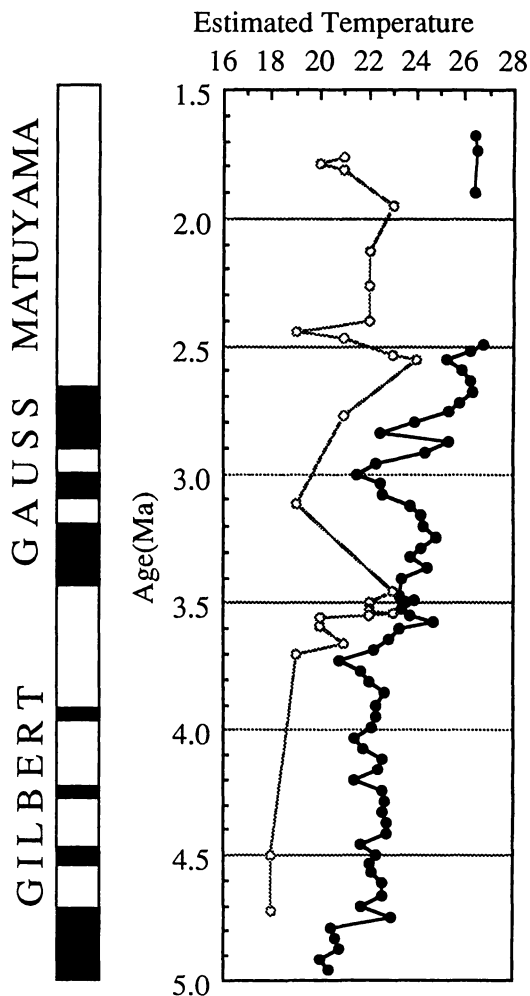


図8. コア NH90-1 NP14 と島尻層群の年平均表層水温推定値。鉛直線は平均値を示す。また、砂目バンドは、ハイエイタスを示す。

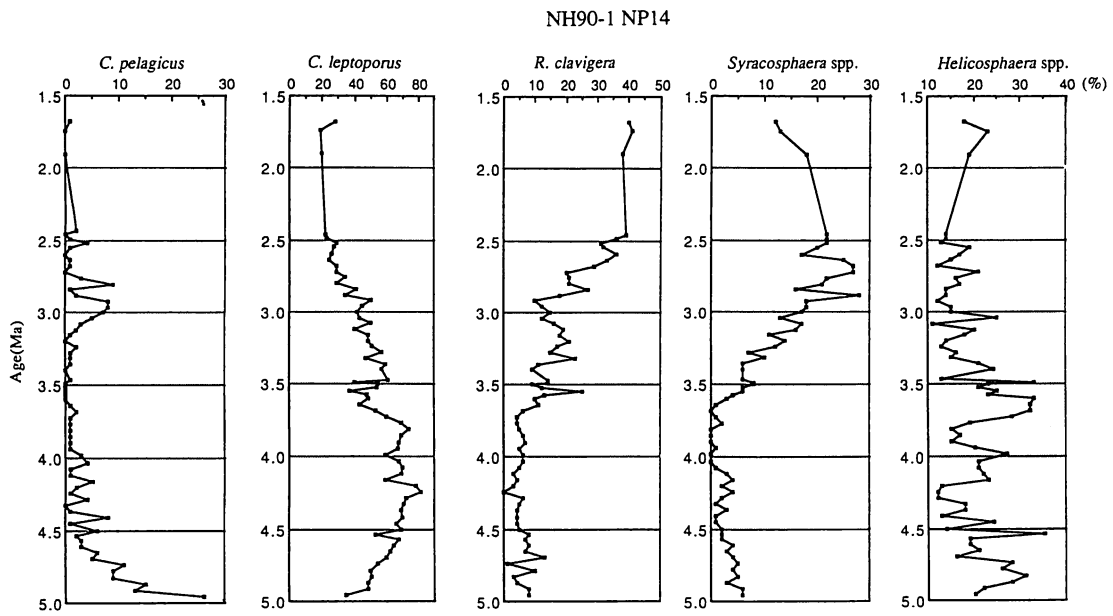


図 9. コア NH90-1 NP14 の主な石灰質ナンノ化石の層位分布.

表 3. NH90-1 NP14 の石灰質ナンノ化石基準面ならびに古地磁気層序の深度と年代.

Datum	Depth (cm)	Age (Ma)
<i>Gephyrocapsa oceaica</i> (FAD)		1.68a
<i>G. caribbeanica</i> (FAD)	60	1.74a
<i>Discoaster brouweri</i> (LAD)	70	1.9a
<i>D. pentaradiatus</i> ((LAD)	75	2.4a
<i>D. tamalis</i> (LAD)	105	2.6a
Top Gauss chron	119 ?	2.47b
Base Gauss chron	304	3.4b
<i>Sphenolithus abies</i> (LAD)	310	3.47a
<i>Reticulofenestra pseudumbilica</i> (LAD)	330	3.5a
<i>Ceratolithus rugosus</i> (FAD)	580	4.5a
<i>C. acutus</i> (LAD)	600	4.57a

a: Berggren et al. (1986)

b: Harland et al. (1990)

海域と沖大東島沖 NG90-1 NP14 海域との年平均表層水温差は約 2℃であるのに対して鮮新世の平均の温度差は約 3℃であり、現在と同じような海流系が存在していたとすれば、整合性はある。また、NH90-1 NP14 海域の方が沖縄本島近海域よりも表層水温が高い現在の傾向は鮮新世を通して認められる。したがって、現在の表層水温分布パターンとの整合性もあり、さらに石灰質ナンノ

プランクトンの地理的分布が水塊の特性に大きく影響されていることにより、今回作成した変換関数の有効性は立証される。

3. 2. 鮮新世の表層水温変化
推定表層水温 (図 8) とコア NH90-1 NP14 の主な石灰質ナンノ化石層位分布 (図 9) とを対比すると、*Coccolithus pelagicus* と *Rhabdosphaera cla-*

vigera が推定表層水温に強く影響している。Dowsett and Poore (1990) によると 3.1Ma の北大西洋で推定した冬の表層水温が現在より 3.5°C も高い値を示している。しかし、本研究の結果では鮮新世の推定水温平均値は現在の年平均表層水温よりも約 2°C 低く、暖かいとみられる 3.5Ma や 2.6Ma で現在と同じ値を示している。この推定水温平均値の低さは、現世において寒冷域に多産する *C. pelagicus* の南方への張り出しと温暖種とされる *R. clavigera* の産出頻度の低さが強く影響している可能性がある。

C. pelagicus は、約 5.0Ma にピークがあり、徐々に減少し約 4.0Ma から 3.2Ma にかけてほとんど産出しなくなるが、約 3.2Ma から 2.8Ma に増加する傾向が認められる。温暖域優勢である *R. clavigera*, *Syracosphaera* spp. は *C. pelagicus* の産出と対照的に約 3.5Ma から 2.5Ma にかけて多産する傾向がみられる。

5.0Ma から 3.7Ma にかけては、沖大東海嶺海域では 22°C から 23°C の間での低温状態が続く。同様の結果は、北西大西洋でも認められており (Dowsett and Poore, 1990), この期間は寒冷期であったことを示している。そして、3.7Ma から 3.6Ma にかけては約 4°C の上昇が認められる急激な温暖化が起き 3.2Ma までこの温暖期が続く。特に、両地点での 3.5Ma の表層水温を比べると沖縄本島域から沖大東海嶺海域にかけて温度勾配がほとんどなく広い範囲で温暖であったことを示唆している。

その後、約 3.2Ma から 3.0Ma にかけて表層水温の約 3.5°C の低下が認められる。Shackleton and Opdyke (1977) は、北半球の氷床が約 3.2Ma から 3.0Ma に広範囲に広がったと指摘している。また、Ehrmann and Keigwin (1985) も北大西洋において浮遊性有孔虫頻度変化からマンモス古地磁気逆転イベント時にあたる 3.1Ma に急速に寒冷期になったことを指摘しており、今回調査した北西太平洋海域においてもこの寒冷化が追認された。

さらに、島尻層群の約 2.5Ma には約 5°C の表層水温の低下が認められておりこの時期に寒冷化が起きたことを示唆している (図 8)。Stipp *et al.*

(1967) はニュージーランドにおいて約 2.4Ma から 2.6Ma にかけて海水準が低下したことを、Shackleton *et al.* (1984) は、北西大西洋において約 2.55Ma と 2.4Ma の間に大陸氷床の拡大が起きたことを指摘しており、約 2.5Ma は地球的規模での寒冷期であったことを示している。

結 び

本邦太平洋側表層堆積物中の石灰質ナンノプランクトン遺骸の分布をもとに年平均表層古水温を推定する変換関数を作成し、鮮新世の表層水温変化を復元することを試みた。その結果、5.0Ma - 3.7Ma, 3.2Ma - 3.0Ma さらに 2.5Ma に寒冷化が起きたことが明かとなった。これらの変動は、太平洋、大西洋海域で認められている現象と調和的である。従って、本研究で作成した変換関数は温暖化、寒冷化の変動を確実に捕らえていると判断される。今後、より詳細な鮮新世の表層水温変化の解析を行うためには、低高緯度域の石灰質ナンノプランクトン遺骸群集の解析をすることにより変換関数の質を高める必要がある。また、高緯度域での鮮新世の石灰質ナンノ化石分析を行うことから、より正確な日本の古気候変動を把握できると考えられる。

謝 辞

本研究を行うに際し、筑波大学理学部地球科学系の小笠原憲四郎教授には有益なご助言を頂いた。東北大学理学部地圏環境科学科の長谷川四郎博士には、草稿を読んでいただくとともに、討論していただいた。以上の方々に、深く感謝する。また、本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構の事業で、(株)関西総合環境センターに委託している「海洋中の炭素循環メカニズムの調査研究」において採取された試料を使用させていただいた。関係各位に深く感謝する。

文 献

- Backman, J. and Pestiaux, P., 1986: Pliocene *Discoaster* abundance variations, Deep Sea Drilling Project site 606: Biochronology and paleoenvironmental implications. In: Ruddiman,

- W. F., Kidd, R. B., Thomas, E., et al. (eds.), *Init. Repts. DSDP Leg 94*, 903-910.
- Beaufort, L. and Aubry, M. P., 1990: Fluctuations in the composition of Late Miocene calcareous nannofossil assemblages as a response to orbital forcing. *Paleoceanogr.*, 5 (6), 845-865.
- Bukry, D., 1980: Coccolith stratigraphy, tropical eastern Pacific Ocean, Deep Sea Drilling Project Leg 54. In, Rosendahl, B. R., Hekinian, R., (eds.), *Init. Rep. DSDP Leg 54*, 535-544.
- Chepstow-Lusty, A., Backman, J. and Shackleton, N. J., 1991: Palaeoclimatic control of Upper Pliocene Discoaster assemblages in the North Atlantic. *J. Micropal.*, 9 (2), 133-143.
- CLIMAP Project Members, 1976: The surface of the ice-age Earth. *Science*, 191, 1131-1137.
- CLIMAP Project Members, 1984: The last interglacial ocean. *Quat. Res.*, 212, 123-224.
- Cronin, T. M. and Dowsett, H. J., 1990: Quantitative micropaleontological method for shallow marine paleoclimatology: Application to Pliocene deposits of the Western North Atlantic Ocean. *Mar. Micropaleontol.*, 16, 117-148.
- Dowsett, H. J. and Poore, R. Z., 1990: A new planktic foraminifer transfer function for estimating Pliocene-Holocene paleoceanographic condition in the North Atlantic. *Mar. Micropal.*, 16, 1-23.
- Duplessy, J. C., Delibrias, G., Turon, J. L., Pujol, C. and Duprat, J., 1981: Deglacial warming of the north-eastern Atlantic Ocean: Correlation with the paleoclimatic evolution of the European continent., *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 35, 121-144.
- Ehrmann, L. M. and Keigwin, L. D., 1985: Middle Pliocene change in planktonic foraminiferal fauna at Site 606. In, Ruddiman, W. F., Kidd, R. B., Thomas, E., et al. (eds.), *Init. Repts. DSDP, Leg 94*, 921-924.
- Ellis, C. H., 1975: Calcareous nannofossil biostratigraphy-Leg 31, DSDP. In, White, S. M., ed., *Init. Rep. DSDP Leg 31*, 655-676.
- Geitzenauer, K. R., Roche, M. B. and McIntyre, A., 1976: Modern Pacific coccolith assemblages: Derivation and application to Late Pleistocene paleotemperature analysis. In, Cline, R. M. and Hays, J. D. eds., Investigation of Late Quaternary paleoceanography and paleoclimatology. *Geol. Soc. Amer., Mem.*, 145, 423-448.
- Haq, B. U., 1980: Biogeographic history of Miocene calcareous nannoplankton and paleoceanography of the Atlantic Ocean. *Micropal.*, 26, 414-443.
- Haq, B. U. and Lohmann, G. P., 1976: Early Cenozoic calcareous nannoplankton biogeography of the Atlantic Ocean. *Mar. Micropal.*, 1, 119-194.
- Haq, B. U. and Lohmann, G. P., and Wise, Jr., W. W., 1976: Calcareous nannoplankton biogeography and its paleoclimatic implications: Cenozoic of the Falkland Plateau (DSDP Leg 36) and Miocene of the Atlantic Ocean. In, *Init. Repts. DSDP Leg 36*, 745-759.
- Harland, W. B., Armstrong, R. L., Cox, A. V., Smith, A. G. and Smith, D. G., 1990: A Geologic Time Scale 1989. *Cambridge Univ. Press.*, 263p.
- Hays, P. H., Pisias, N. G. and Roelofs, A. K., 1989: Paleoceanography of the Eastern Equatorial Pacific during the Pliocene: a high resolution radiolarian study. *Paleoceanogr.*, 4, 57-73.
- Imbrie, J. and Kipp, N. G., 1971: A new micropaleontological method for quantitative paleoclimatology: Application to a late Pleistocene Caribbean core. In Turekian, K. K., The Late Cenozoic Glacial Ages, 71-131, *Yale Univ. Press*, New Haven, Conn.
- 海洋資料センター編集, 1975: 海洋環境図, 北西太平洋. 164p. 日本水路協会, 東京
- Lohman, W. H., 1986: Calcareous nannoplankton biostratigraphy of the southern Coral Sea, Tasman Sea and southwestern Pacific Ocean, Deep Sea Drilling Project Leg 90: Neogene and Quaternary. In Kennett, J. P., von der Borch, C. C., et al. (eds.), *Init. Repts DSDP Leg 90*, 763-793.
- Martini, E., 1971: Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation. In Farinacci, A., ed., Proceedings of the II Planktonic Conference, Roma 1970, *Ed. Tecnoscienza, Rome*, 2, 739-785.
- McIntyre, A. and Bé, A. W. H., 1967: Modern coccolithophoridae of the Atlantic Ocean, I, Placoliths and cyrtoliths, *Deep Sea-Res.*, 14, 561-597.
- 西田 史朗, 1982: Coccolithus pelagicus (Wallich) Schiller (coccolithophoridae) は寒冷種か. 奈良教

- 大紀要, (自然), 26(2), 19-38.
- Okada, H., 1980: Calcareous nannofossils from Deep Sea Drilling Project Sites 442 through 446, Philippine Sea. *In* Stout, L. N., *Init. Rept. D. S. D. P. Leg 58*, 549-565.
- Okada, H. and Burkry, D., 1980: Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973; 1975). *Mar. Micropal.*, 5(3), 321-325.
- Roche, M. B. and McIntyre, A. and Imbrie, J., 1975: Quantitative paleo-oceanography of the Late Pleistocene-Holocene North Atlantic: coccolith evidence. *Late Neogene Epoch Boundaries*, 195-225.
- Sancetta, C., 1979: Oceanography of the North Pacific during the last 18000 years, evidence from fossil diatoms. *Mar. Micropal.*, 4, 103-123.
- Shackleton, N. and Opdyke, N. D., 1977: Oxygen isotope and palaeomagnetic evidence for early Northern Hemisphere glaciation. *Nature*, 270, 620-623.
- Shackleton, N. J., Backman, J., Zimmerman, H., Kent, D. V., Hall, M. A., Roberts, D. G., Schnitker, D., Baldauf, J. G., Desprairies, A., Homrighausen, R., Huddleston, P., Keene, J. B., Kaltenback, A. J., Krumsiek, K. A., Morton, A. C., Murray, J. W. and Westberg-Smith, J., 1984: Oxygen isotope calibration of the onset of ice-rafting and history of glaciation in the North Atlantic region. *Nature*, 307, 620-623.
- Shaffer, B. L., 1980: Calcareous-nannofossil biostratigraphy of Japan Trench, Deep Sea Drilling Project Leg 57. *In* Lee, M. and Stout, L. N. eds, *Init. Rept. DSDP Leg 57*, 875-886.
- Stipp, J. J., Chappell, J. M. A. and McDougall, 1967: K/Ar age estimate of the Pliocene-Pleistocene boundary in New Zealand. *Am. J. Sci.*, 265, 462-474.
- Tanaka, Y., 1991: Calcareous nannoplankton thanatocoenoses in surface sediments from seas around Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ., 2nd ser. (Geol.)*, 61(2), 127-198.
- Tanaka, Y. and Ujiie, H. 1984: A standard Late Cenozoic microbiostratigraphy in southern Okinawajima, Japan. Part 1. Calcareous nannoplankton zones and their correlation to the planktonic foraminiferal zones. *Bull. Natn. Sci. Mus., Tokyo, Ser. C*, 10(4), 141-168.
- 山崎俊嗣・井岡昇, 1992: フィリピン海及び西カロリン海盆から採取された堆積物コアの残留磁気. 工業技術院地質調査所編, 物質循環に関わる海洋地質学的研究. 平成3年度研究概要報告書, 178-188.

総 説

裸子植物の系統復元に関する最近の研究

斎 木 健 一*

Current studies of gymnosperm phylogeny

Ken'ichi Saiki*

はじめに

裸子植物は長い歴史をもっており、その化石記録はデボン紀にまで溯ることができる。しかし、この仲間はマツ科などの一部を除きすでに最盛期を過ぎていると考えられ、数多くの絶滅した分類群を含んでいる。したがって、裸子植物の系統を考察する上で化石記録は常に重要視されてきた。近年、分岐分類学の広まりと分子系統学の進歩により、裸子植物の系統に関する研究にも急激な変化が現われてきた。そこで、裸子植物の系統に関する最近の成果についての review を行うこととする。

なお本論では、便宜的に裸子植物類を球果類、イチョウ類、ソテツ類、グネツム類の4つにまとめた。

研究史

1980年代初頭まで種子植物の大分類は、表1で示されているように、今世紀前半の区分をおおよそ踏襲したものであった (Crane: 1985a)。もちろんこの間に進歩がなかったわけではない。Beck (1960a, b, 1962) により原裸子植物類 *Archaeopteris* が発見され、Arnold (1947) により裸子植物多系統説の提唱もなされた。ただ、従来とは異なった視点から全体を総合する試みは無かった。

Parenti (1980) により分岐分類法が緑色植物全体に対して適用されて以来、種子植物の系統に関する研究は、飛躍的に増加した。さらに近年、分

子系統学的方法による系統推定が種子植物についても行われるようになり、活発な議論が展開されるようになった。

近年なされた系統推定の方法は、形態学的なデータをもとに1)分岐分類法を用いて検討を加えたもの、2)同じく形態学的なデータをもとに congregational systematics 法により検討したもの、そして3)分子系統学的方法によるもの、の3つに大別される。以下に各方法の方法論、問題点、議論などをまとめた。

1. 形態学的なデータによる分岐分類法

分岐分類法とは、扱う形質の状態について、もともとの形質状態 (原始形質) と新たにできた形質状態 (派生形質) の推定を行ったのち、派生形質を共有する分類群をまとめ、入れ籠状に配置するものである。分岐分類法についてはさまざまな議論がなされているが詳細は Eldredge and Craft (1980), Wiley (1981) のテキストおよび Wiley *et al.* (1991) のワークブックが翻訳されているのでそれらを参照されたい (エルドリッジとクレイクラフト 1989; ワイリー 1991; ワイリー他 1992)。なお、見出しで「形態学的な」と断ったのは、分岐分類法は分子系統学的なデータに対しても用いられているからである (例えば図 2b)。

分岐分類法による緑色植物全体を扱った初めての試みは Parenti (1980) によるものであった (図 1a)。彼女は Cronquist (1971) に代表される従来の evolutionary systematics による分類を批判し、分岐分類法による陸上植物の分類を試みた。Parenti は従来の分類体系と違い、側系統群であ

*三笠市立博物館 〒068-21 三笠市幾春別錦町 1-212
1993年6月24日受付, 1993年8月27日受理

表 1 種子植物分類の変遷 Crane (1985a) より. この半世紀間, 大きな変化の無かったことがわかる.

Table 1. Static concepts in seed plant classificated with an asterisk.

Engler, 1936	Arnold, 1947	Knoll and Rothwell, 1981
GYMNOSPERMA	GYMNOSPERMAE	GYMNOSPERMOPSIDA
*Cycadofilicales	*Pteridospermae	*Pteridospermales
Cycadales	Cycadales	Cycadales
*Bennettitales	*Cycadeoidales	*Cycadeoidales
Ginkgoales	Ginkgoales	Ginkgoales
*Cordaitales	*Cordaitales	*Cordaitales
Coniferae	Coniferales	Coniferales
Gnetales	Gnetales	Gnetales
ANGIOSPERMAE	ANGIOSPERMAE	ANGIOSPERMOPSIDA

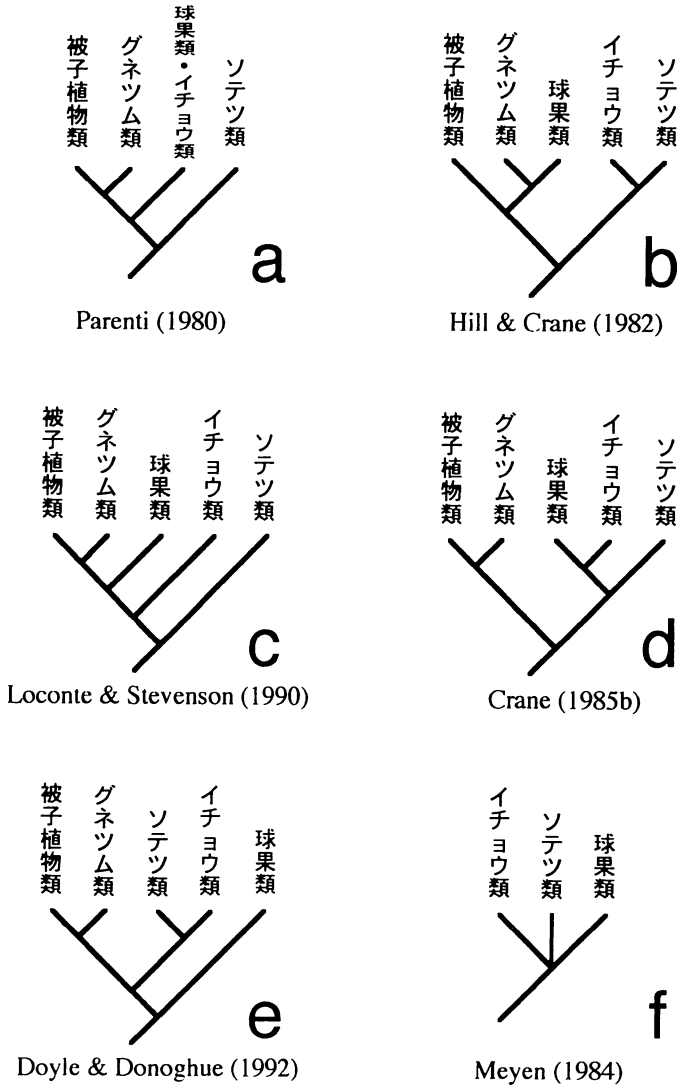


図 1 形態学的データに基づいた, 分岐分類法および congregation analysis 法による種子植物の樹状図.

ることから裸子植物を自然分類群と認めなかった。Parenti は魚類学者であったため、論文での形質の極性決定や形質状態の認定は Cronquist (1971) や Foster and Gifford (1974) などの植物学者による記述の孫引きであった。そのため、相同性の認定や用いられた形質の有効性に関して多くの批判がなされた (Smoot *et al.*, 1981; Bremer and Wanntorp, 1981; Young and Richardson, 1982; Mishler and Churchill, 1984; 反論としては Parenti, 1982)。しかし、いずれにせよ彼女の試みが刺激となり、植物・古植物学者からも多くの提案や活発な議論が行われるようになった。

分岐分類法による研究の最も大きな争点の一つとして化石記録の取り扱いがある。

化石記録をどう扱うかは、A)無視する、B)検証にのみ用いる、C)現生の資料とほぼ同等に取り扱う、の3つに分けられる。

化石記録を無視すべきだという A)の考えは、Patterson (1981) によるもので、彼女は「化石記録が大分類に対して新たな仮説を提出したことはなく、またその能力もない。」と主張した。しかし化石を全く参考とせず形態学的な形質をもとに分岐分析を行った研究は、今回扱った分類群については見あたらない。これは、裸子植物のように

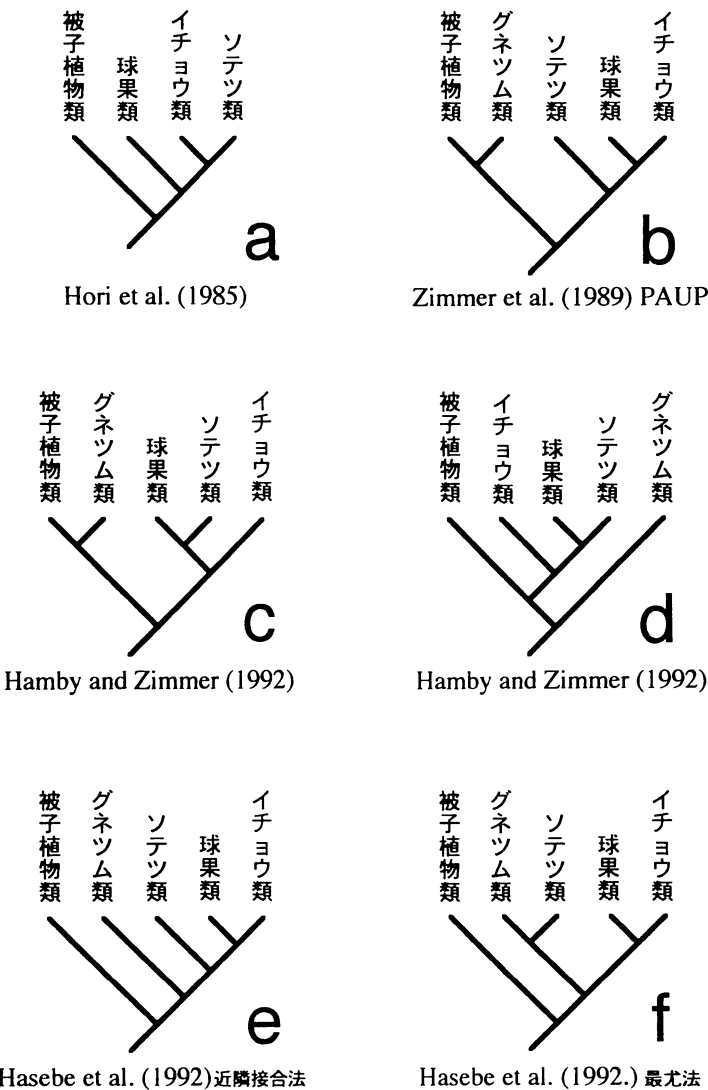


図2 分子系統学的方法による種子植物の樹状図。

遺存的な分類群で、化石記録を無視することの難しさを示しているものとも考えられる。したがって高等植物の大分類を巡る分岐分類研究者間の論争は、もっぱら B) 検証にのみ用いる、という考え方と、C) 現生の資料とほぼ同等に取り扱う、という考え方の間で行われてきた。

Hennig (1966) や Ax (1985, 1987) は、B) の考え方に立っている。彼らは化石記録の不完全性を認めながらも、傍証として利用することはできると考え、Ax は現生の分類群による分岐分析の結果を基に化石記録の考察を加える方法を提唱した。この方法では基本となる分岐分析自体には化石データが用いられない。Loconte and Stewenson (1990) はこの方法論を種子植物に応用したものであり (図 1d)、また Hill and Crane (1982) の方法も基本的には同じである (図 1b)。

一方 Crane (1985b)、Doyle and Donoghue (1987, 1992) は、「化石記録は現生生物に比べ不完全だが、得られた形質の組み合わせは分岐図構築の上で意味のあるデータを提供できる (Doyle and Donoghue, 1992)」と考え、化石記録を現生植物のデータと同等に扱い、シダ種子類などの絶滅した分類群を含む種子植物の分岐図を作成した (図 1c, e)。

これに対して Loconte and Stewenson (1990) は、化石記録は不完全であり現生植物により分析結果を検証するための参考資料としてのみ用いるべきであるとしている。Doyle and Donoghue (1992) はこの見解に対し、ごく最近に分化した分類群や、化石の乏しい分類群では化石記録に頼る必要はないとしながらも、維管束植物のように豊富な化石記録が残っている分類群では、化石なしでは不十分であると主張している。

現時点では、化石を無視すべきであるという Patterson の主張は、化石記録を取り入れた分岐分析が次々に行われて根拠を失っている (Donoghue *et al.* 1989) が、化石を傍証として扱うか、現生植物と同等に扱うかについては、未だ決着がついていない。

2. Congregational Systematics

congregational systematics とは、上位ランク

の分類群に向けて生物を階層的に配列する方法である。分類群は個々の持つ形質に基づき、集団にまとめられていく。この際、各形質は他の分類群の形質状態との比較により重み付けされていき、最終的にはその分類群内で分類群を規定するいくつかの安定した形質の集合 “syndrome” が残される。Meyen (1984) は分析の結果として裸子植物をイチョウ類、ソテツ類、球果類の 3 つに大別しており、彼の図は Crane (1988) により、樹状図に書き直されている (図 1f)。この図でみる限り、Meyen (1984) は分類群間の系統関係についてわずかな仮説しか示していない。

Meyen の主張する方法論 (congregational analysis) については活発な議論が展開された (Beck, 1985; Miller, 1985; Rothwell, 1985; Meyen 1986)。しかし congregational systematics の方法論に関する著述が、少なくとも英語では刊行されていないため、議論の土台となる共通の知識が無く、議論の内容に多くの食い違いが生じて発展的なものとはならなかった。

残念ながら Meyen はすでに亡くなっており、この分野における後継者もいないようなので今後の発展は望み薄である。

3. 分子系統学的方法

分子系統学とは生物のもつ酵素などのアミノ酸配列や DNA の塩基配列を分析し、その変異を比較することによって系統の復元を目指す方法であり、形態学的な研究とは比較にならないほど大きなデータを扱うことが可能なため、系統推定の有力な手段といえる。しかしまた、塩基配列などのデータの解釈、および解釈されたデータをもとに系統図を組み上げるアルゴリズムのそれぞれに未解決の問題点を残している。

塩基配列を解釈する際の問題点は、対象部分の位置と量にある。塩基の置換速度はその位置により異なっているため、塩基の置換が少なすぎれば、僅かな手がかりを基にした分析を強いられることになる。逆に置換が多すぎれば同一部位で、二回以上の置換が繰り返される可能性が高くなってしまい、実際の置換数より少なく見積もられてしまうことになる。このような理論上の問題以外

に、コンピュータの能力不足が、大きな問題となっている。長谷部光泰（私信）によると、現在のコンピュータでは決定された塩基配列から系統推定のための配列解析に膨大な時間が必要であるため、統計的な検討が十分できないのが実状である。

系統図を描く際に問題となるのは、用いるアルゴリズムの選択である。現在までにはさまざまなアルゴリズムが提唱されているが、注意すべきことは、おなじ塩基配列からでも、用いるアルゴリズムにより、異なる系統樹を描くことができるということである（例えば図 2c, d; 2e, f）。

以上のことから分子系統学的方法による研究結果を見る際には、扱った塩基配列（制限酵素断片・酵素多形を含む）の保守性と対象となった分類群の階層との妥当性、扱われた塩基数、アルゴリズムの選択などを考慮する必要がある。Hori, Lim and Osawa (1985) を例として見てみよう。彼らは 5S rRNA の sequence を UPGMA, WPGMA で解析し、裸子植物を単系統と考えた（図 2a）。しかし、小藤と長谷部（1992）によれば、この結果は統計的に有意とはいえ、裸子植物の単系統は示されていない。また Bremer, *et al.* (1987) は Hori, Lim and Osawa (1985) のデータを使って分岐分類法で処理を行い、57 個の同様に最節約や分岐図を見つけ出したが、その中にはクラミドモナスが被子植物類の中に入り、アオウキクサと姉妹群を形成する、というような明かにおかしな結果も含まれていた。

分子系統学的方法での分類の精度を上げるためには、分類対象の系統的広がり合った保守性をもつ遺伝子の部分を選ぶことと、できるだけ塩基数の大きな遺伝子を分析することとが必要である。例えば上述したように Hori, Lim and Osawa (1985) が扱った 5S rRNA に対しては種子植物の系統を調べるには系統に関する情報を持っている部分が小さすぎ、また不安定すぎる、という批判がなされた（Bremer, *et al.* 1987; Steele, *et al.* 1991）。このような批判は 5S rRNA に限らず、リブローズ 2 リン酸脱炭酸酵素の小サブユニット (*rbcS*) のアミノ酸 40 個について調べた Martin and Dowd (1989) に対してもなされている

（Donoghue and Doyle, 1989）。Zimmer *et al.* (1989) はシダ類・裸子植物・被子植物類、計 39 種の植物について 18S rRNA, 26S rRNA の塩基配列約 1,700 を調べ、コンピュータプログラム (PAUP) による最大節約法 (standard maximum parsimony analyses) などにより系統復元を試みた（図 2b）。その後、彼女らのグループはさらに対象を広げ、60 種の植物について同様の塩基配列を調べ、別のプログラム (Hennig 86) を用いた分析を行った（Hamby and Zimmer, 1992）。いずれの場合も結果は被子植物類の単系統性と、それに対する裸子植物の側系統性を示している。

Hasebe *et al.* (1992) は、chloroplast DNA の一部で、約 1400 の塩基のペアをもつ *rbcL* 遺伝子の一部（1333 の塩基ペア）を解読した。この結果得られた 444 個のアミノ酸配列をもとに、近隣接合法 (neighbor-joining method) および最尤法 (maximum likelihood method) により系統樹が組み立てられた（図 2e, f）。彼らの推定によれば、裸子植物は単系統であり、被子植物類と姉妹群を形成する。

なお、最大節約法、近隣接合法および最尤法については、根井（1990）に詳述されている。

系統分析の結果

以上、系統復元のための方法論について簡単に述べてきたが、実際の系統復元については、多様な説の乱立する姿が現状であり、定説と呼べるようなものは今のところ存在しない。裸子植物の系統を考える上での 2 つの大きな問題点、裸子植物の単系統性と、グネツム類と被子植物の関連について、ここで改めて検討してみる。

グネツム類を除く裸子植物（イチョウ類、ソテツ類、球果類）については自然分類群とするのが古典的な考え方であった。しかしここで用いられている「自然分類群」という単語は必ずしも分岐分類学で用いられる単系統を意味していない。しばしば側系統も自然分類群として用いられてきており、必ずしも意見が一致していた訳ではない。

近年の研究結果を検討してみると、形態学的なデータを基にした分岐分類の結果には、裸子植物を側系統と見るむきが多く（図 1a, b, d, e）、他方

分子系統学的方法による結果の多くでは単系統性
が示されている (2a, b, c, e, f). しかし, 例外もある
(図 1c, 2d).

次にグネツム類と被子植物の関係であるが, 従
来グネツム類は被子植物にもっとも近縁な裸子植
物と考えられていた. Hill and Crane (1982) の分
岐図では球果類とグネツム類は姉妹群を形成して
いる. その後の形態学的研究においては, この考
えはほぼ支持されている. しかし分子系統学的研
究においてはかなり微妙である. Hamby and
Zimmer (1992) では用いるアルゴリズムの違い
によって支持される場合 (図 2c) と支持されない
場合 (図 2d) に割れてしまい, また Hasebe *et al.*
(1992) では全く支持されていない (図 2e, f).

ま と め

系統復元に関する論争は, 形態進化の解釈だけ
ですんだ時代から, 方法論の検討を抜きにはでき
ない時代に移りつつある. このような背景を考
え, 本論では方法論についても, かなりの分量を
割いたつもりである. 他方, 実際の系統に関する
説は, 図 1, 2 で明らかなように, 多様な説の乱立
する姿が現状であり, 特定の説をもって定説とす
ることは諦めざるを得なかった.

矢原と任 (1988) は, DNA による系統樹をもと
に形態形質の進化を検討する, という手順が今後
の主流になると主張している. つまり, 分子系統
学的方法は形態学的なデータによる方法を遙かに
凌いでいるため, まず分子系統学的方法により真
実により近い系統樹を作成し, その系統樹上に形
質を当てはめて形態の進化を知る, というのが最
もよい手段ということである. しかしシダ種子類
など絶滅分類群の系統を分子系統学的方法で復元
することは, おそらくできない. 私自身は Doyle
and Donoghue (1992) の「ごく最近に分化した
分類群や, 化石の乏しい分類群では化石記録に頼
る必要はないが, 維管束植物のように豊富な化石
記録の残っている分類群では, 化石なしでは不十分
である」という主張に賛成である.

いずれにせよ, しばらくはさまざまな方法による
系統解析が, その方法論と分析結果を主張する,
という状態がづくものと思われる. 裸子植

物という豊富な化石記録をもつ分類群の研究は,
このような, さまざまな方法が互いに検証を重ね
るのに格好の群であり, 分析結果, 方法論の双方
から注目していくべきである.

謝 辞

(財)自然史科学研究所の木村達明所長, 東京大
学理学部植物学教室の長谷部光泰助手には多くの
示唆をいただいた. また三笠市立博物館の重田康
成博士には, 貴重な意見を頂いた. 記して深謝
する.

文 献

- Arnold, C. A., 1947. An Introduction to Paleobotany.
McGraw Hill, New York.
- Ax, P., 1985. Stem species and the stem lineage
concept. *Cladistics*, 1, 279-287.
- Ax, P., 1987. The Phylogenetic System. John Wiley
& Sons, New York.
- Beck, C. B., 1960a. Connection between *Archaeopteris*
and *Callixylon*. *Science*, 131, 1524-1525.
- Beck, C. B., 1960b. The identity of *Archaeopteris* and
Callixylon. *Brittonia*, 12, 351-368.
- Beck, C. B., 1962. Reconstructions of *Archaeopteris*
and further consideration of its phylogenetic posi-
tion. *Amer. Jour. Bot.*, 49, 373-382.
- Beck, C. B., 1985. Gymnosperm phylogeny - A com-
mentary on the views of S. V. Meyen. *Bot. Rev.*, 51,
273-294.
- Bremer, K., Humphries, C. J., Mishler, B. D. and
Churchill, S. P., 1987. On cladistic relationships in
green plants. *Taxon*, 36, 339-349.
- Bremer, K. and Wanntorp, H. -E., 1981. The cladistic
approach to plant classification. In V. A. Funk and
D. R. Brooks, eds., *Advances in Cladistics*, vol. 1:
Proceedings of the first meeting of the Willi Henn-
ing Society (pp. 87 - 94). New York Botanical
Garden, Bronx.
- Crane, P. R., 1985a. Phylogenetic relationships in seed
plants. *Cladistics*, 1, 329-348.
- Crane, P. R., 1985b. Phylogenetic analysis of seed
plants and the origin of angiosperms. *Ann. Missou-
ri Bot. Gard.*, 72, 716-793.
- Crane, P. R., 1988. Major clades and relationships in
the "Higher" gymnosperms. In C. B. Beck, ed.,

- Origin and Evolution of Gymnosperms (pp. 218-272). Columbia University Press, New York.
- Cronquist, A., 1971. Introductory Botany. 2nd ed. Harper and Row, New York.
- Donoghue, M. J. and Doyle, J. A., 1989. Phylogenetic studies of seed plants and angiosperms based on morphological characters. *In* B. Fernholm, K. Bremer and H. Jörnvall, eds., *The Hierarchy of Life* (pp. 181-193). Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Donoghue, M. J., Doyle, J. A., Gauthier, J., Kluge, A. G. and Rowe, T., 1989. The importance of fossils in phylogeny reconstruction. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, **20**, 431-460.
- Doyle, J. A. and Donoghue, M. J., 1987. The importance of fossils in elucidating seed plant phylogeny and macroevolution. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, **50**, 63-95.
- Doyle, J. A. and Donoghue, M. J., 1992. Fossils and seed plant phylogeny reanalyzed. *Brittonia*, **44**, 89-106.
- Eldredge, N. and Cracraft, J., 1980. *Phylogenetic Patterns and the Evolutionary Process: Method and Theory in Comparative Biology*. Columbia University Press, New York.
- エルドリッジ, N., クレイクラフト, J., 1989. 系統発生パターンと進化プロセス (比較生物学の方法と理論). 篠原明彦他訳. 蒼樹書房.
- Foster, A. S. and Gifford, E. M., 1974. *Comparative Morphology of Vascular Plants*. 2nd ed. W. H. Freeman, San Francisco.
- Hamby, R. K. and Zimmer, E. A., 1992. Ribosomal RNA as a phylogenetic tool in plant systematics. *In* P. S. Soltis, E. E. Solits and J. J. Doyle, eds., *Molecular Systematics of Plants* (pp. 50-91). Chapman and Hall, New York.
- Hasebe, M., Kofuji, R., Ito, M., Kato, M., Iwatsuki, K. and Ueda, K., 1992. Phylogeny of gymnosperms inferred from *rbcL* gene sequences. *Bot. Mag. Tokyo*, **105**, 673-679.
- Hennig, W., 1966. *Phylogenetic Systematics*. University of Illinois Press, Urbana.
- Hill, C. R. and Crane, P. R., 1982. Evolutionary cladistics and the origin of angiosperms. *In* K. A. Joysey and Friday, A. E. eds., *Problems of phylogenetic Reconstruction* (pp. 269-361). Academic Press, New York.
- Hori, H., Lim, B. -L. and Osawa, S., 1985. Evolution of green plants as deduced from 5S rRNA sequences. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, **82**, 820-823.
- 小藤累美子 長谷部光泰 1992. *rbcL* の塩基配列と裸子植物の系統. *遺伝* **46**, 24-29.
- Loconte, H. and Stevenson, D. W., 1990. Cladistics of the Spermatophyta. *Brittonia*, **42**, 197-211.
- Martin, P. G. and Dowd, J. M., 1989. Phylogeny among the flowering plants as derived from amino acid sequence data. *In* B. Fernholm, K. Bremer and H. Jörnvall, eds., *The Hierarchy of Life* (pp. 195-204). Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Meyen, S. V., 1984. Basic features of gymnosperm systematics and phylogeny as evidenced by the fossil record. *Bot. Rev.*, **50**, 1-111.
- Meyen, S. V., 1986. Gymnosperm systematics and phylogeny: A reply to commentaries by C. B. Beck, C. N. Miller, and G. W. Rothwell. *Bot. Rev.*, **52**, 300-320.
- Miller, C. N., Jr., 1985. A critical review of S. V. Meyen's "Basic Features of Gymnosperm Systematics and Phylogeny as Evidenced by the Fossil Record". *Bot. Rev.*, **51**, 295-318.
- Mishler, B. D. and Churchill, S. P., 1984. A cladistic approach to the phylogeny of the "bryophytes". *Brittonia*, **36**, 406-424.
- 根井正利 1990. 分子進化遺伝学. 五條堀孝, 斎藤成也 訳. 培風館.
- Parenti, L. R., 1980. A phylogenetic analysis of the land plants. *Biol. J. Linn. Soc.*, **13**, 225-242.
- Parenti, L. R., 1982. Cladistics and coventions. *Taxon*, **32**, 96-101.
- Patterson, C., 1981. Significance of fossils in determining evolutionary relationships. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, **12**, 195-223.
- Rothwell, G. W., 1985. The role of comparative morphology and anatomy in interpreting the systematics of fossil gymnosperms. *Bot. Rev.*, **51**, 319-327.
- Smoot, E. L., Jansen, R. K. and Taylor, T. N., 1981. A phylogenetic analysis of the land plants: A botanical commentary. *Taxon*, **30**, 65-67.
- Steele, K. P., Holsinger, K. E., Jansen, R. K. and Taylor, D. W., 1991. Assessing the reliability of 5S rRNA sequence data for phylogenetic analysis in green plants. *Mol. Biol. Evol.*, **8**, 240-248.

- Wiley, E. O., 1981. *Phylogenetics*. John Wiley & Sons, New York.
- ワイリー, E. O., 1991. 系統分類学—分岐分類の理論と実際. 宮正樹他訳. 文一総合出版.
- Wiley, E. O., Siegel-Causey, D., Brooks, D. R. and Funk, V. A. 1992. *The Compleat Cladist: A Primer of Phylogenetic Procedures*. Museum of Natural History, Univ. of Kansas, Lawrence
- ワイリー, E. O., シーゲル - カウジー D., ブルックス, D. R., ファンク, V. A. 1992. 系統分類学入門 - 分岐分類学の基礎と応用 -. 宮正樹訳. 文一総合出版.
- 矢原徹一 任炯卓 1990. 高等植物の分子分類学. 科学, 58, 509-516.
- Young, D. A. and Richardson, P. M., 1982. A phylogenetic analysis of extant seed plants: The need to utilize homologous characters. *Taxon*, 31, 250-254.
- Zimmer, E. A., Hamby, R. K., Arnold, M. L., LeBlanc, D. A. and Theriot, E. C., 1989. Ribosomal RNA phylogenies and flowering plant evolution. *In* B. Fernholm, K. Bremer and H. Jöernvall, eds., *The Hierarchy of Life* (pp. 205-214). Elsevier Science Publishers, Amsterdam.

ニュース

IGBP 関連ニュース

最近、日本の IGBP に関してその組織や研究内容・活動等についてまとめたものが発表された (IGBP NEWS No. 4, 1993 年 5 月発行) ので、その一部を抜粋して紹介する (【】内は各機関の紹介者を示す)。

I. プロジェクトの紹介

A. 文部省関係【大場忠道】

大学等における地球圏－生物圏国際共同研究計画

半田 暢彦 (名古屋大学・水圏科学研究所)

大学等においては、従来より地球規模の環境動態に関する調査、観測、研究に深い関心をもち、広範にわたりそれらを実施してきた。地球圏－生物圏国際共同研究計画の実施に当たっても、これまでの成果に立脚し、大学等における学術研究の特徴も生かしながら積極的に参加し、地球システムに関する科学的知見の充実を図ることが重要である。以上のことから、平成 2 年 4 月、日本学術会議から勧告された「地球圏－生物圏国際共同研究計画 (IGBP) の実施について」を参考にしながら、広義のモンスーンアジア地域、西太平洋域、極域を重要な研究地域とし、次の 7 つの研究領域について研究を推進することとした。また、本研究計画は、前期 5 年、後期 5 年計画とし、研究成果および国際的な研究の進捗状況に対応して、研究内容の見直しを行うものである。

研究領域 1 大気微量成分と陸域生態系

研究領域 2 物質循環と海洋生態系

研究領域 3 陸域生態系と水循環

研究領域 4 地球環境に関するモデリング

研究領域 5 環境変化のモニタリング

研究領域 6 古環境の変遷

研究領域 7 地球環境に関わる人間活動の影響
評価

平成 4 年度から発足した大学等における地球圏

－生物圏国際共同研究計画においては、上記のうち、研究領域 2, 3, 6 および 7 を選定し、次の 8 研究課題、12 研究代表者で研究計画の実施を計ることとした。

本国際共同研究の実行に当たっては、幹事 8 名を置き、研究計画の実行に当たるとともに、5 名の学識経験者を加えて総括班とし、研究組織全般の運営に当たっている。なお、幹事は半田暢彦 (名古屋大学水圏科学研究所、主査)、樋口敬二 (中部大学国際関係学部)、川那部浩哉 (京都大学理学部)、小川利紘 (東京大学理学部)、樫根 勇 (筑波大学地球科学系)、上田 豊 (名古屋大学水圏科学研究所)、松本英二 (名古屋大学水圏科学研究所)、中野政詩 (東京大学農学部) である。また、学識経験者としての総括班委員は、田中正之 (東北大学理学部)、大島康行 (早稲田大学人間科学部)、奥田節夫 (岡山理科大学理学部)、吉野正敏 (愛知大学文学部)、志村博康 (日本大学農獣医学部) である。また、研究経費は、年間約 1 億円である。

現在実施中の研究領域と研究課題

研究領域 2 物質循環と海洋生態系

研究課題 1 大気－海洋間の物質交換

(1) 大気微量成分の生物圏からの発生量

(2) 大気微粒子の長距離輸送

研究課題 3 浅海水域における生物生産と物質循環

(1) 沿岸域における生物生産と物質輸送

研究領域 3 陸域生態系と水循環

研究課題 1 生物群集・土壌系と気候変動

(1) 生物機能と気候変動

(2) 環境と生物群集、土壌系の相互作用

研究課題 2 陸域生態系と水循環

(1) 寒冷高山生態系における水循環

(2) 湿潤温帯・熱帯生態系における水循環

(3) 水体における物質循環と気候

研究領域 6 古環境の変遷

研究課題 2 海洋堆積物の分析

研究課題 3 モンスーンアジア地域および日本の古環境

研究課題 4 歴史天候データベースの作成分析

研究領域 7 地球環境に関わる人間活動の影響評価

研究課題 1 農林水産活動・都市活動の地球環境への影響の評価

この内、日本古生物学会と関連の深い研究領域 6「古環境の変遷」は、PAGES(Past Global Changes)という名称の下に 3 つの研究課題があり、それぞれ下記のような研究分担の世話人がいる。研究領域 6 への平成 4 年度の配分額は約 2,000 万円である。

研究領域 6 古環境の変遷(代表者:松本英二)

研究課題 2 海洋堆積物の分析

a. 沿岸堆積物(世話人:松本英二)

b. 深海堆積物(世話人:大場忠道, 北海道大学地球環境科学研究科)

研究課題 3 モンスーンアジア地域および日本の古環境(世話人:小野有五, 北海道大学地球環境科学研究科)

研究課題 4 歴史天候データベースの作成分析(世話人:吉村 稔, 山梨大学教育部)

以上、PAGES に関連深いものを紹介したが、詳細については各世話人ないし紹介者に問い合わせ頂きたい。

大場忠道 記

報告「日本の PAGES-IGBP, 古環境の変遷」研究者集会

主催:IGBP 専門委員会, 第四紀研究連絡委員会, 地質学研究連絡委員会

共催:地質科学総合研究連絡委員会, 地質学研究連絡委員会, 古生物学研究連絡委員会, 気象学研究連絡委員会

標記研究者集会が 1993 年 6 月 21 日に日本学術会議において開催され、約 45 名の参加者により、IGBP の中で古環境の変遷を扱う PAGES(ページズ)について、日本における研究を如何に進

めるべきかをめぐって活発な議論が行われた。

吉野正敏 IGBP 専門委員会委員長による開会の辞の後、午前中には「日本における PAGES 関連研究」から 4 つの研究発表が藤原健蔵座長の下で行われ、それぞれの研究の現状とこれからの課題や計画が述べられた。

1. 遠藤邦彦(日大):タクラマカン沙漠の古環境
2. 漆原和子(駒大):インドネシア, ジャワ島の古環境
3. 吉村 稔(山梨大):歴史天候データベースを利用した江戸期後半の乾湿の復元
4. 小野有五(北大):最終氷期の東アジアの古環境復元

午後には PAGES 関係研究グループの経過報告や主な研究の紹介が遠藤邦彦及び松本英二座長の下で行われた。

1. 文部省関係

松本英二(名大):IGBP-MESC の進捗状況

大場忠道(北大):深海堆積物の分析

2. 文部省国際学術研究関係:

牧田 肇(弘前大):雲南省の古環境復元調査(代理:藤原健蔵)

3. 地質調査所関係

井内美郎(地質調査所):地質調査所関係の PAGES 研究

4. 砂漠・砂漠化関係

遠藤邦彦(日大):科学技術庁「砂漠化機構の解明に関する研究」

5. 熱帯地域

門村 浩(都立大):熱帯地域の古環境に関する研究の現状と課題

6. 環境庁関係

小池裕子(埼玉大):環境庁の IGBP 関連研究から、「熱帯林の減少」、「野生生物種の減少」等の紹介

7. LOICZ 計画

米倉伸之(東大):LOICZ(Land Ocean Interactions in the Coastal Zone)計画について

討論は小野有五座長の下で、日本の PAGES 研究を如何に進めるかをめぐって活発な議論が展開さ

れた。広い関心に対して情報のパイプを太くするようにとの多くの意見が出された。文部省のIGBP 予算だけでは限界があり、文部省の国際学術研究や他省庁予算の関連研究と連携してPAGES 研究を推進し、また情報のパイプを太くするため、PAGES 小委員会を作ることが決まり、とりあえず連絡会として下記のメンバーで発足させ、それぞれ担当学会を通じて情報を流していくことになった。また1994年2月8、9日のIGBP 国内研究集会において9日には分科会が行われることになっているため、PAGES としての計画を小委員会（連絡会）で検討していくことになった。

PAGES 小委員会（連絡会）メンバー

文部省関係（PAGES-MESC）から

小野有五（地形学連合）・大場忠道（古生物学会）・松本栄二（地球化学会）・吉村稔

国際学術研究から

藤原健蔵（地理学会）

各省庁関連研究等から

井内美郎・遠藤邦彦（第四紀学会）・徳岡隆夫（地質学会）

*（ ）は担当学会

最後に太田陽子第四紀研究連絡委員会委員長による閉会の辞でこの集会はしめくくられた。

PAGES 研究に関するご意見やご質問を是非上記メンバーにお寄せ頂きたい。

（遠藤邦彦・大場忠道）

夜間小集会報告 IGCP 350: 東・南アジアの白亜紀環境変化

（世話人：岡田 博有）

大阪教育大学柏原キャンパスで開催された日本古生物学会第142回例会期間中の1993年6月26日16:40~17:30に標記夜間小集会を開いた。出席者は22名であった。

本小集会の目的は、本年度から発足した“IGCP 350: Cretaceous Environmental Change in E & S Asia” (1993~1997; Leader H. Okada)の趣旨説

明を行い、活動方針を提案して白亜紀の地質・古生物研究者の協力をいただくためであった。

研究代表者はIGCP 350の研究目標と活動方針として次の提案を行い、出席者のご理解をいただいた。

1. 研究目標

- (1)標準層序の確立と広域対比。とくに各種生層序、岩相層序、地磁気層序、化学層序などの基礎資料の整備
- (2)生物相と生息環境、および古生物地理の復元—地球規模の地質学的・生物学的事変との関連（とくに、K-T境界、J-K境界、テチス—古太平洋—ボレアル地域の相互関係）
- (3)堆積学的特性と堆積環境：束層層序と海水準変動、堆積環境と古地理、古海洋の復元、海洋無酸素事変
- (4)火成活動の時空的変遷とテクトニクスとの関係
- (5)エネルギー資源の分布とテクトニクスとの関係
- (6)テクトニクス：大陸—海洋相互関係の変化、堆積盆地の進化

2. 活動方針

- (1)シンポジウムの開催。次のテーマを提案した。
 - 1) 白亜紀環境変化と広域対比—日本列島と周辺地域との関係
 - 2) 白亜紀の東アジア大陸—海洋境界における堆積盆地の構造的発達
 - 3) テチス海—古太平洋—ボレアル地域の地質学的相互関係
 - 4) 東・南アジアにおける白亜紀の環境と生物相変化
- (2)ワークショップの開催。科研費「総合研究A」で計画する。
- (3)国際集会の計画

1994年 韓国大邱市（コンビーナ Chang Ki-Hong）	Prof.
1995年 日本	
1996年 中国北京市（コンビーナ Chen Pei-ji）	Prof.
1997年 インド、デリー（コンビーナ	Prof.

S. K. Tandon)

その他、適宜、野外討論会を企画する。

(4)事業

- 1) ニュースレターの発行. 年2回, 既に1号は1993年5月に発行済み.
- 2) 文献集の発行. 1960年以降の関係論文の収集, 各年次の業績集の作成.
- 3) 成果報告書の出版, 各研究集会のプロシーディング, 論文集など.

上記研究計画に関心のある方, ニュースレターが必要な方は下記へご連絡ください.

812 福岡市東区箱崎6-10-1 九州大学理学部地球惑星科学科 IGCP 350 事務局 岡田博有
(IGCP 350 代表者 岡田博有)

IGCP 350 (Cretaceous Environmental Change in E & S Asia) 国際集会について

次の要領で IGCP 350 関係のシンポジウムを開催することになりましたのでお知らせします。なお、このシンポジウムでは、「東・南アジアの古環境変遷史」(白亜紀に限定しない) の大テーマに IGCP 350 が合同する形式をとります。

.....

The Title of the meeting: "Paleoenvironmental History of East and South Asia and Cretaceous Correlation(IGCP 350)"

Date: August 21 (Sunday) to 27 (Saturday), 1994

Place: Kyungpook National University, Taegu, Korea

Organizers: Ki-Hong Chang and Hakuyu Okada

Contact: Prof. Ki-Hong Chang, Department of Geology, Kyungpook National University Taegu 702-701, Korea

FAX 82-53-957-0431; Tel. 82-53-950-5355

(IGCP 350 代表 岡田博有)

InterRad VII, Osaka (第7回国際放散虫研究集会)のお知らせ

1994年10月20~24日に大阪近辺で、InterRad VIIが開催されます。InterRadは世界中の放散虫研究者からなる組織 (President: Prof. Yao, Akira, Secretary: Baumgartner, Peter) で、3年に一度、国際研究集会を開くことになっています。1978年から開催されてきた EuroRad Meetingを引き継ぎ、InterRadとしては、1988年の Marburg (Germany), 1991年の Firenze (Italy)に次いで3回目となります。今回の日本開催にあたっては、日本古生物学会等より後援を頂いております。

現在までに既に First Circular は発送・返信を終え、1993年中に Second Circular を発送する予定ですが、ご関心をお持ちの方は下記の組織委員、もしくは Secretary までお問い合わせください。

組織委員: 中世古幸次郎 (Honorary Chairperson)・八尾 昭 (Chairperson)・竹村厚司 (Secretary)・菅野耕三 (Treasurer)・石賀裕明 (Paleozoic Radiolaria)・松岡 篤 (Mesozoic Radiolaria)・相田吉昭 (Cenozoic Radiolaria)・高橋孝三 (Recent/Living Radiolaria)・紀藤典夫・西村明子・酒井豊三郎・指田勝男

Secretary: 〒673-14 兵庫県加東郡社町下久米 942-1

兵庫教育大学自然系地学教室 竹村厚司

電話: 0795-44-1101 ext. 431 Fax: 0795-44-1061

第4回「テチス浅海域に関する国際研究集会」の開催について

日本地質学会および日本古生物学会の後援によって、「Shallow Tethys 3」(第三回テチス浅海域に関する国際研究集会)が1990年仙台において開催され、盛況であったが、第4回は Seuss の「Tethys」提唱百周年を記念して、本年(1993年)

オーストリアのウィーンにおいて、開催の予定であったが、開催地のたつての都合（教室の改修など）によって、一年延期が提案決定され、下記のように変更されることになったので、お知らせします。

記

会期：1994 年 9 月 8－11 日（会議の内容、巡検

旅行などは First Circular 従来どおり）

巡検旅行：会期前；9 月 4－7 日

会期後；9 月 12-15 日，共にオースト
リア国内

なお，“Shallow Tethys 4”は IGC の “Subcommission on Triassic Stratigraphy” および “IGCP Project 359” との共催も予定され，そのスペインおよびフランス国内の地質巡検が，8 月 28 日－9 月 3 日に計画されており，それへの参加も考慮される．詳細は近く希望者に配布される予定である．

興味をお持ちの方は，筑波大学・小笠原憲四郎，東北大学・森 啓，または東北学院大学・小高民夫に連絡されたい．

学 会 記 事

日本古生物学会定例評議員会（93-94 年度，第 2 回）議事要録

平成 5 年 6 月 26 日（土）9：05～12：30

於 大阪教育大学柏原キャンパス，教養学科 B3 棟第一会議室

出席者：猪郷会長，池谷，糸魚川，小笠原，小澤，木村，高柳，棚部，鎮西，野田，速水，平野，森，八尾 各評議員

委任状：小畠→木村，加瀬→速水，加藤→八尾，小泉→小笠原，斎藤→森，長谷川→野田，濱田→平野

書記：安達，上野 両庶務幹事

<報告事項>

1. 常務委員会報告（小笠原）

庶務：①2 月 27 日（於（財）自然史科学研究所）と 5 月 15 日（於東京大学）に常務委員会を開催し，通常業務を処理した。②2 月 17 日に科研費配分委員選出に関する懇談会が開催され，平野・小笠原両常務委員が出席した。また，第 2 回の同懇談会が 4 月 27 日に開催され，棚部・平野両常務委員が出席した。③3 月 3 日に日本学術会議に会長変更届を提出した。④3 月 8 日に新旧役員（常務委員・幹事等）に委嘱状，感謝状を発送した。3 月 23 日に天文教育普及研究会から「理科離れ」に関するアンケートがあり，森常務委員が回答を行った。⑤5 月 15 日に学会事務センターとの契約更新を行った。業務の単価に変更があり，これまでより年間に概算で 6～7 万円の経費上昇がある見込み。⑥5 月 18 日に第 29 回 IGC（京都）での日本学術会議共催組織委員会の解散書に同意した。⑦5 月 27 日に日本学術会議第 16 期会員選出のための学術団体の登録を行った。⑧「報告・紀事」に対し文部省から出版助成金 126 万円の内定があり，6 月 8 日に申請書類の発送を行った。⑨6 月 2

日，東大から（財）自然史科学研究所への古生物学会図書に移管が行われた。⑩6 月 17 日に ESR 計測研究会から第 1 回の研究集会の協賛開催の依頼があり，会長と相談の結果協賛することの回答を行った。

会計：①筑波大学で行われた 1993 年々会。総会是一般 163 名，学生 85 名の参加があり，予稿集，絵はがき，バックナンバー等，57 万 5900 円の売上があった。②日本貝類学会（2 月 21 日，千葉県博），日本地質学会第 100 年学術大会（4 月 4・5 日，東京大学）で古生物学会関係出版物の販売を行い，約 35 万円の売上があった。③学会事務センター・東大に保管してある「報告・紀事」のバックナンバーの販売を主に博物館に対して積極的に進め，これまでのところ約 120 万円の売上が見込める状況である。

報告・紀事：①170 号は掲載論文数 3 編で今月末に発行する。②171 号は掲載論文数 2 編の予定。③査読中の原稿は 6 編で，手持ち原稿数は少ない状態。

化石：①54 号は現在再校中で，7 月 10 日頃発送できる見込み。②55 号の原稿も確保している。

2. 学術会議・古生物研連報告（速水）

6 月 11 日に古生物学研究連絡委員会の学術会議が開催された。その際，自然史科学の振興に関する提言がまとめられ，生物関係の自然史関連学会に対して「提言」と「趣意書」を同封した上で自然史科学振興に関するアンケートを行うことが話し合われた（文書配布）。

3. 報告・紀事の体裁の変更に関する件（森）

「報告・紀事」の体裁変更に関して，タイトルについては学会員から広く公募し，その募集要領を「化石」6 月号に掲載する（締切は 11 月 30 日）。具体的な選択方法，学会誌のサイズについては未定だが，次回の評議員会までには決定したい。体裁の変更は 1995 年 4 月の発行分から行う予定。

4. 第二次長期計画委員会 (平野)

常務委員会でも新メンバー (会長+11 名) の選定を行った。

5. シンポジウムが複数申し込まれた場合の扱い (棚部)

先に申し込まれたものが優先権を持つわけではなく、あくまでも内容の完成度、会場の条件を考慮にいたした上で議論するという点が常務委員会でも了解された。

6. その他

①特別号の Bibliography 編集の進捗状況 (野田)

1986-1990 の bibliography は原稿がほぼ完成した。あと一ヶ月以内に脱稿したい。今回は単なる bibliography でなく色々なデータが検索できるように工夫した。希望すればフロッピーディスク (使用ソフトは dBase III) も使える。編集費は予算を超過しており (40~50 万円)、必要経費を算出後、予算の追加を常務委員会でも審議する。

②日本地質学会創立 100 周年記念式典における祝辞の内容に関する件 (猪郷)

日本地質学会創立 100 周年記念式典において地学関連学会代表として行った日本鉱物学会会長の祝辞の内容に関して、一部誤解を招くような発言があったと同学会会長より鎮西前会長宛に謝罪・釈明文が送付された。

<審議事項>

1. 会員の入退会 (野田)

普通会員 20 名 (土屋康文、堀常東、柏木健司、北尾馨、惣路紀通、山崎良洋、南寿宏、石田吉昭、辛永虎、此松昌彦、矢部淳、脇田俊幸、三次徳二、HOLLIS Christopher John、DAVYDOV Vladimir I.、坂本拓也、高田雅彦、小松俊文、浅野裕一、野中孝彦) の入会申込があり、氏名、所属、推薦者等の紹介がされた後投票が行われ、全員の入会が承認された。賛助会員 1 件 (兵庫県立人と自然の博物館) の申込があり、承認された。普通会員 1 名 (佐藤美香)、特別会員 4 名 (尾上亨、佐藤誠司、山崎達雄、吉田三郎)、賛助会員 1 件 (糸魚川市教育委員会) の退会が承認された。1993 年 6 月 26 日現在の会員数は、普通会員 581 名、特別

会員 282 名、名誉会員 14 名、賛助会員 10 団体、在外会員 26 名で、総会員数は 913 名。

2. 科学研究費配分委員候補者の推薦

①層位古生物一段委員：平成 5 年度からの留任として山口寿之君を承認した後、新規候補者として 5 名が推薦された。まず 2 名連記で投票が行われ、1 位平野弘道君を選出した。その後、同得票数の 2 位候補者 2 名の間で単記の決選投票が行われ、2 位小笠原憲四郎君を選出した。②地球科学 (旧地質学) 二段委員：候補者として 2 名が推薦され、協議の結果、1 位沖村雄二君、2 位池谷仙之君を選出した。

3. 各種委員会委員委嘱の承認

すでに配布された役員一覧にある各種委員会委員の委嘱の承認がなされた。

4. 1994 年々会総会、および 143 回例会 (1994 年) について

①1994 年々会総会は 1 月 27~29 日に国立科学博物館に於いて同博物館との共催で開催される。27 日は上野本館で年会総会、シンポジウム「生きている化石」、懇親会が、28・29 日は新宿分館で個人講演が行われる。また、29 日午後には富田幸光氏による普及講演「恐竜時代のは乳類」が催される。シンポジウムの中で関口晃一筑波大学名誉教授 (非会員) に講演を依頼するが、学会から謝礼 (交通費) として 3 万円の支出を了承した。②143 回例会は熊本大・理と金沢大・理が開催を希望していたが、調整の結果、6 月の第 3 週頃に熊本大学で行われることとなった。③例会においても会場の条件が許せばシンポジウムを開催するよう働きかけてはどうかとの提案がされた。

5. 第二次長期計画委員会の委員の構成について 常務委員会案として平野君 (世話人) より以下の委員が挙げられた。

猪郷久義 (会長)、鎮西清高、野田浩司、大野照文、棚部一成、森啓 (以上継続委員)、平野弘道、加瀬友喜、千葉聡、中森亨、山口寿之、岡崎美彦 (以上新規委員)

常務委員会による上記メンバー選定に対して、第二次長期計画委員会の目的、目的達成のための方法とそのためにあるべき委員会の構成等に関する活発な議論がなされ、1) 上記メンバーで委員会を

発足するが、活動メンバーについては必要に応じてメンバーを加減する等弾力的に対応する、2) 速水格古生物研連委員長をメンバーに加える、3) 常務委員会ですらに議論する、ということを条件に承認された。

6. 日本学術会議第16期会員の候補者について
鎮西清高京都大学教授を候補者に推薦することが承認された。

7. 編集・出版規定の変更(報告・紀事のページ超過の変更)について

これまで「報告・紀事」のページ制限は24ページまでとなっており、24ページ以上の論文にはページ超過料(24ページを越える1ページ毎に1万円)がかけられていた。現在、学会の会計状況も比較的好転しているので、ページ制限をゆるめ30ページまでとした。文部省の出版助成金申請は総320ページで行っている。議論の後、ボリュームの多い論文が他の論文を圧迫しないことを条件に承認された。なお、ページの上限に関しては編集委員会が個々の論文に関してその都度常識的に対応する(超過料を払えばどんな長い論文でも掲載するわけではない)。

8. 1995年の日本古生物学会創立60周年記念事業

に関する件(報告・記事の体裁の改訂、功労賞の選定など)

「報告・紀事」の体裁の変更に関して、「化石」54号にタイトルの募集(11月30日締切)を載せることとなった。応募されたタイトルの具体的な選抜方法、雑誌のサイズ(A4かB5か)、雑誌のserial numberの付け方(vol. か no. か)等については次回評議員会までに編集委員長が原案を作成する。功労賞に関しては今後検討する。

9. 改善された学会会計収支の取扱い

出版物の充実のために充てられることとなり、具体的に、1)「報告・紀事」のページ制限をゆるめる(審議事項の7を参照)、2)「報告・紀事」の年間のページを増やす、3)従来よりもボリュームの少ないものでも特別号として受付け、特別号の出版を増やすなど、という方向が示された。

10. その他

① INTERRAD VII, Osaka (第7回国際放散虫研究集会)の後援について(八尾)

日本古生物学会に対して1994年10月20~24日に大阪で開催されるINTERRAD VII, Osaka (第7回国際放散虫研究集会)の後援の依頼があり、承認された。

別冊についてのお知らせ

化石編集部では、著者が投稿のさいに投稿原稿整理カードに記入された別刷希望部数を印刷会社へ申し送り、印刷会社から直接著者へ別刷が送られるような仕組みにしております。したがって、別刷の仕上がりや別刷代金の請求に関しては、編集部としては関与しておりません。これらの点でご不審の点が生じた場合には下記に直接ご連絡ください。

○別刷代金は次の式で算定されます(表紙を含む)：

$$(P \times 9 + 50) \times \sqrt{N} \times 10$$

P ：本文の頁数

N ：別刷の部数

○表紙付を希望される場合には、このほかに表紙印刷費と不要部分の削除の手数料を申受けますので、あらかじめ御了承下さい。

〒176 東京都練馬区豊玉北 2-13-1

学術図書印刷株式会社 TEL 03-3991-3754

FAX 03-3948-3762

日本古生物学会特別号の原稿募集

PALAEONTOLOGICAL SOCIETY OF JAPAN, SPECIAL PAPERS, NUMBER 35 を 1995 年度に刊行したく、その原稿を公募します。本会会員で適当な原稿をお持ちの方は、日本古生物学会特別号投稿規定(1988 年 1 月 27 日選定, 化石 44 号 69 頁参照)を熟読の上原稿及び同コピーその他必要書類をそえて、下記宛に申し込んでください。

申し込み先：〒812 福岡市東区箱崎 6-10-1
九州大学理学部地球惑星科学教室気付
日本古生物学会特別号編集委員会
(代表者 柳田 壽一)

申し込み及び原稿提出締切：1994 年 5 月 31 日(必着)

賛否は編集委員会が必要に応じレフェリーと相談の上内定し、1995 年 1 月の評議員会で審議決定の上、申込者に回答の予定です。ただしその前または後に申込者との細部の交渉を、編集委員から求めることがあるかもしれません。

なお他から印刷経費支出の申込みがない場合は、1995 年度の文部省科学研究費補助金「研究成果公開促進費」を申請します。文部省への補助金申請は、著者に代わって編集委員が行い(例年は 12 月上旬に申請締切)、その採否・金額など決定後印刷にとりかかります。ただし、文部省の補助金が得られなかった場合には、出版を繰延べることがあるかもしれません。

特別号 34 号出版のお知らせ

No. 34(issued Oct. 30, 1993) : Bibliography of Palaeontology in Japan, 1986-1990. Edited by H. Igo, H. Noda & H. Nishimura [¥3,000+〒¥310]

特別号をお求めの際は下記の要領でご注文ください。

注文先：〒812 福岡市東区箱崎 6-10-1
九州大学理学部地球惑星科学教室内
日本古生物学会特別号編集委員会
代表者 柳田 壽一
Tel. (092)641-1101, 内 4316, 4317
Fax. (092)632-2736

注文者：(住所氏名)

送金方法：(該当方法に○をつけてください)

1. 銀行送金(送金先：三和銀行福岡支店 普通預金口座 112172)
2. 振替(送金先：振替口座 福岡 5-19014)
3. 現金書留(同封)
4. 機関購入(代金後納, 見積書 通, 納品書 通, 請求書 通)

購入希望バックナンバー：No. (), 冊数 () 冊数により送料は変わります。

The Island Arc への投稿と購読のお願い

The Island Arc 編集委員会

●The Island Arc Volume 2/Issue 2 が発行されました。内容は以下の通りです。

Review Article

Phase transformation in the earth's mantle and subducting slabs: Implications for their compositions, seismic velocity and density structures and dynamics.....*T. Irifune*

Research Articles

Ash layers in deep-sea sediments as tracers of arc volcanic activity: Japan and Central America as case studies.....*H. Cambray, J-P. Cadet and A. Pouclet*

Shifting of the volcanic fronts during Early to Late Miocene in the Northeast Japan arc.....

.....*J. Ohki, N. Watanabe, K. Shuto and T. Itaya*

Strain segmentation and lateral membrane deformation rate of the subducted Ryukyu slab.....

.....*L-Y. Chiao*

The chemical Th-U-total Pb isochron ages of Jiaodong and Jiaonan metamorphic rocks in the Shandong Peninsula, eastern China.....

.....*M. Enami, K. Suzuki, M. Zhai and X. Zheng*

●The Island Arc への投稿のお願い

本誌は年間4号の割合で刊行いたします。国際的に評価を定着させるために、独創的な優れた論文の投稿を歓迎します。内外の2名のRefereesによる迅速な査読で、投稿から3~4ヶ月以内の掲載を目指しておりますので奮ってご投稿下さるようお願い申し上げます。現在Volume3(1994)を編集中です。詳しい投稿方法については本誌巻末のNotice to Contributorsをご覧ください。

●The Island Arc 購読のお願い

本誌の購読は下記の「オーダーフォーム」を使って、国際郵便振替、銀行小切手、またはクレジットカードで、Blackwell Scientific Publications社へ直接お申し込み下さい。学会会員は特別価格¥6,000(1993,1994年度)で販売しています。

●The Island Arc への投稿、質問、意見は下記の事務局へご連絡ください。

〒305 つくば市東1-1-3 工業技術院地質調査所内

The Island Arc 編集委員会事務局 小玉喜三郎

Tel: 0298-54-3612, Fax: 0298-54-3533

The Island Arc オーダーフォーム

◆ I am a Society Member of _____ (学会名)

◆購読費¥6000を以下の方法で支払います(ご希望の□印を選んでV印でご指定下さい)

☐Mastercard ☐Visa

カード番号 Card No. _____

署名 Signature _____ 有効期限 Expiry date _____ / _____

☐ブラックウェル社宛の円立て銀行小切手 (Bank Draft)を同封します

☐ブラックウェル社宛の国際郵便為替(International Postal Order)を同封します

☐請求書を郵送してください

◆氏名 Name (名 given) _____ / (姓 family) _____

送付先 Address _____

〒 _____ JAP AN

Tel. _____ Fax. _____

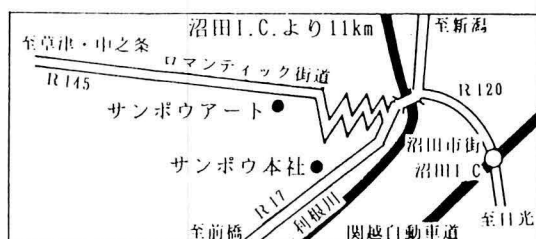
.....航空便封筒に上票を同封し100円切手と下記の住所を貼って投函して下さい.....

Blackwell Scientific Publications Pty Ltd,

PO Box 378, Carlton South,

Victoria 3053, AUSTRALIA (Air Mail)

大理石村へのお誘い



新しいアート・ビリジ「大理石村」が平成元年6月群馬県吾妻郡高山村のロマンティック街道沿い（中山峠）に開館しました。サンポウアートは、イタリアンモダンアートを中心に世界の石のアートおよび鉱物や化石を集めた、新しいアート・ビリジです。楽しさあふれるアート・ビリジへお気軽にご来館下さいませ。なお、レストラン（イタリア料理）も併設しております。

「展示石材の一部・直角貝（軟体動物）の化石」



10cm

〔営業内容〕

各種石材の輸入・石材を用いた建築や造営物の設計・加工・施工、墓石・霊園諸設備の施工・販売、石材加工品・仏壇・仏具・神具・鉱物・化石標本などの販売

SANPO ART

株式会社 サンポウアート

本社 ■群馬県沼田市屋形原町1407 TEL 0278-24-4114(代)
大理石村 ■群馬県吾妻郡高山村中山5583 TEL 0279-63-3515(代)

社 長 平 井 良 明

展 示 指 導 (財) 自然史科学研究所

A Practical Specimens for Study of Earth Science

一億年を刻む!

■ *Dactyloceras commune* ジュラ紀, Les Holzmaden, Germany

地学標本(化石・鉱物・岩石)

古生物関係模型(レプリカ)

岩石薄片製作(材料提供による薄片製作も受け賜ります。)

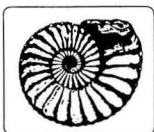
大英博物館/恐竜復元模型

縮尺：実物の40分の1 精密教育用モデル、大英博物館製作による刻印入

TEL 03-3350-6725

上京時にはお気軽にお立寄り下さい。

[特に化石関係は諸外国より良質標本を多数直輸入し、力を入れておりますので教材に博物館展示等にぜひご利用くださいませ。]



Fossils, Minerals & Rocks

株式
会社 **東京サイエンス**

本社 〒150 渋谷区千駄ヶ谷5-8-2 イワオ・アネックスビル
ショールーム 紀伊國屋書店新宿本店1F

TOKYO SCIENCE CO., LTD.

IMC

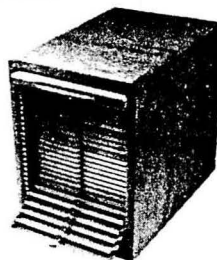
調査機器から研究機材まで



ピック型
ハンマー
(ナイロン柄)
600 g, 850 g

チゼル型
ハンマー
(ナイロン柄)
600 g, 800 g, 850 g

マイクロスライドキャビネット
〔有孔虫スライド500枚用〕



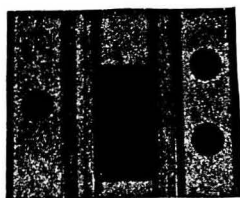
標準フルイ



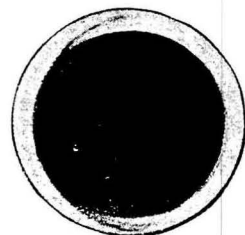
〔各種サイズ〕
#メッシュ



エアー
スクライブ
キット



有孔虫スライド各種



方眼シャーレー
(有孔虫分離用)

岩本鉱産物商会

〒151 東京都渋谷区代々木1-26-1
☎03(3379)3466~8 FAX03(3379)9205

古環境・地質時代の解明に

花粉・微化石分析調査

- 岩石・土壌・泥炭・石炭等の花粉分析
野外採取・坑内採取・海外採取試料の花粉分析による地質時代・層序の判定
- 試錐コアの花粉分析
油田・ガス田・炭田など鉱床地域・土木建設の試錐コアを花粉層序より解析
- 珪藻・有孔虫分析 材・種実化石同定
- 鉱物分析・岩石同定・土壌化学分析
- 研究調査用簡易試錐・岩石薄片作製
- ケロジェン分析
- 野外地質・植生調査
- その他学術研究協力
遺跡調査・空中花粉分布調査その他

パリノ・サーヴェイ株式会社

本社 〒103 東京都中央区日本橋室町2-1(三井ビル内) ☎(03)3241-4566 FAX03-3241-4597
研究所 〒375 群馬県藤岡市岡之郷戸崎559-3 ☎(0274)42-8129 FAX0274-42-7950

古生物学事典

日本古生物学会 編集/A5判 496頁・定価9888円

古生物学に関連する重要な用語約500語を、地質、脊椎動物化石、無脊椎動物化石、植物化石、人名などにわたって選び五十音順に配列。本事典にとりあげられた項目は、現在扱われている古生物のほぼ全部の分類群を網羅するとともに、古生物に関連のある関連諸科学の分野についてもとりあげた。最近の知見を充分盛込んで解説し、巻頭に標準化石を中心とした写真図版を収録し、巻末には生物分類表、地質年代表、海陸分布変遷図などの付録を掲載。

化石の科学

日本古生物学会 編集/B5判 136頁(カラー69頁)・定価7725円

本書は、日本古生物学会が古生物の一般的な普及を目的として編集したもので、数多くの興味ある化石のカラー写真を中心に、わかりやすい解説をつけた。内容は三部に分かれ、第1部では化石とはどのようなものか、第2部では古生物の営んできた生命現象、第3部では化石を通して多くの隣接する基礎科学や現実の経済活動に与えた影響などが解説されている。その大半がわが国のオリジナルな研究の紹介であり、最新の動向へのよき入門書ともなっている。

図説古生態学

森下 晶・糸魚川淳二 著/B5判 180頁・定価5768円

古生態学は、古生物の生態すなわち古生物と生活環境の相互関係を研究する古生物学の一分野で、過去の自然環境と生物群集の生活様式をダイナミックに科学する学問である。本書は、写真と図表を多数用いながら、第I部で古生態学の基礎知識を簡潔・平易に解説し、第II部で群集古生態学や個体古生態学の例、フィールド観察などの古生態学の実際の内容について、初心者でも容易に理解できるように配慮し、図説的に興味深く解説した古生態学の入門書である。

古生物百科事典

スチール・ハーベイ 編/小島郁生 監訳/B5判 256頁・定価18540円

英国の古生物学者 R. スチール博士と A. P. ハーベイ博士の編集のもとに第一線の研究者23名が共同執筆した“The Encyclopaedia of Prehistoric Life”の日本語版。内容は古生物学全般にわたり、専門研究者が利用できる高いレベルを保ちながらも、化石などに関心をもつ多くの人びとが楽しみながら興味深く読めるように配慮された百科事典。この事典によって、過去の生物へのつきぬ魅力に惹かれ、地球と生物の現在および未来について多くの示唆が得られよう。

日本化石図譜 植物化石図譜

鹿間時夫 著/B5判 296頁・定価17510円

日本における化石をほとんど網羅し、多数の図版をもって構成した名著。初版刊行後の新知見を加えた増訂版。〔内容〕化石／東亜における化石の時代分布／化石の時代分布表／東亜の地質系統表／化石図版とその説明／化石の形態に関する術語。

遠藤隆次 著/B5判 328頁・定価18540円

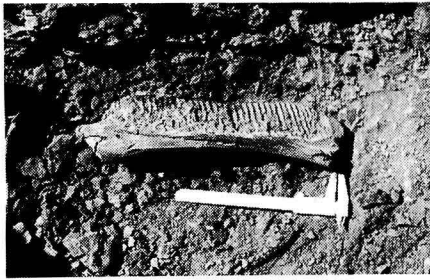
先カンブリア紀から洪積世までの各地質時代に生育した陸上および海生の両植物化石について、その種属・分布・古地理・古気候・進化の動向などを、多数の図版を用いて詳述した、わが国ではじめての植物化石図譜。好評の『日本化石図譜』の姉妹書。

定価は消費税込みです。

 朝倉書店

〒162 東京都新宿区新小川町6-29/振替東京6-8673
電話 (03)3260-0141(代)・営業部 (03)3260-7631(代)
〔本誌名ご記入の上お申込次第総合図書目録進呈〕

外国産実物化石標本販売

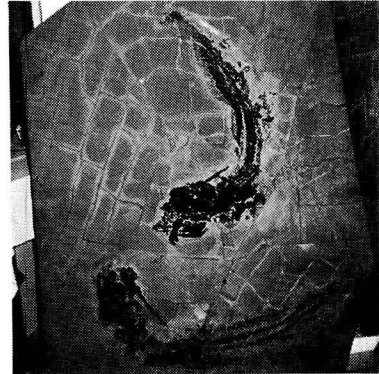


当社の恐竜クォーリー モンタナ アメリカ

シーラカンス	石炭紀	モンタナ
〃	三疊紀	カナダ
〃	ジュラ紀	ドイツ
〃	白亜紀	レバノン

その他、各種一級品の化石を各種とり揃えて、来社をお待ちしています。

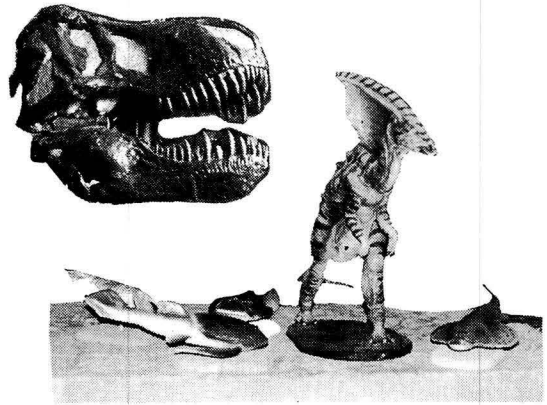
アンモナイト	¥ 300～
三葉虫	¥ 300～
鯨の歯	¥ 250～
魚化石	¥ 500～



軟骨魚類 クセナカントス ペルム紀

古生物の生体復元模型と化石の複製

三葉虫から恐竜、人類まで各種



好評発売中！ 図説 哺乳類の進化

定価 13,000 円 (税込)

2億年前、恐竜とはほぼ同じ時期に、この地球に姿を現わした哺乳類の歴史を、300点を超える復元図と、豊富な図版で書き表わした動物世界への最良入門図書。

※ 注文制につき最寄の書店にご注文下さい。
又は弊社まで直接ご注文お願いします。

所在地：〒143 東京都大田区東海 4-2-8

(株)コイケ新館 3F (大井埠頭、大井税関並び)

電話番号：03-3799-5145

FAX： 03-3799-5177

株式会社 テラハウス

(会社の所在地が上記のように変わりました)

知っているようで知らない地球の話

[シリーズ]

地球を丸ごと考える

全9巻

地球は誕生から現在まで何をしてきたのか、生物はどう生きてきたのか、そして、地球環境の未来はどうなるのか？ 第一線の科学者が地球規模の疑問に答え、これからの地球観・環境観・生物観を語る地球科学読み物です。

●好評既刊5冊 B6判・並製カバー・平均150頁 定価各1300円

- ① **地球の真ん中で考える** 地球というシステムはどのように活動し、何がそれをコントロールしているのでしょうか？ 地球全体をトータルに新しい視点から見直します。
浜野洋三 (東京大学・地球惑星物理学)
- ② **46億年 地球は何をしてきたか？** 地球の運命を決定づけた六大事件とは何か、がらっと書き換えられた地球史の最新シナリオを紹介します。
丸山茂徳 (東京工業大学・地球惑星科学)
- ④ **地球の気候はどう決まるか？** なぜ気候は年々変わっていくのか？ 気候を決めその変化を司る法則性をさぐり、地球環境の行方を考える。
住 明 正 (東京大学・大気科学)
- ⑤ **水は地球の命づな** もしも水を汚しその循環を乱したなら、地球生態系は崩壊するかもしれません。地球に命を吹き込む水のふるまいを紹介し、これからの水とのつきあい方を考えます。
大森博雄 (東京大学・地理学)
- ⑦ **繰り返す大量絶滅** 恐竜を滅ぼしたのはなにか？ 生物の歴史を通して何度も繰り返されてきた大量絶滅。その原因をめぐる最新の研究を紹介しながら、生物進化の真の姿をさぐります。
平野弘道 (早稲田大学・古生物学)

●続刊の予定 第5回・第3巻は11月10日発売

- ③ **リズムカルな地球の変動** ……増田富士雄
- ⑥ **土のある惑星** ……………都留信也
- ⑧ **なぜたくさんの生物がいるのか？** ……橘川次郎
- ⑨ **地球はだれのもの？** ……………丸山直樹



(シリーズ) 自然景観の読み方 全12冊

第8回
第7冊

自然災害を読む

小島圭二 B6判・160頁 定価1300円

地震に火山に豪雨に崖崩れ……。日本の風景に残された猛威のつめあとから、過去に自然災害を復元し、将来の危険性を知る方法を伝える。

好評
既刊

- | | | |
|---------------------|----------------------|--------------------------|
| 1 火山を読む ……定価1200円 | 4 森を読む ……定価1200円 | 8 日本列島の生い立ちを読む ……定価1200円 |
| 2 動く大地を読む ……定価1200円 | 5 平野と海岸を読む ……定価1200円 | 9 地図を読む ……定価1500円 |
| 3 山を読む ……定価1200円 | 6 雲と風を読む ……定価1200円 | |

岩波書店



〒101-02 東京都千代田区一ツ橋2-5-5
電話03(5210)4000(案内) (定価は税込)

新訂 地球の科学

関 利一郎・稲森 潤・木村達明 編著
四六判 216頁 定価1,648円(消費税込) 送料260円

歴史的生成物としての固体地球の解明という立場で編集された大学の教養課程のテキスト。精密な図版と写真を多用し、自然科学を専攻しない学生にも平易に学べるよう配慮した。とくに「4章 生物の変遷」では、古生物学の知識に基づいて、地質時代の生物の変遷を解説した。

主な内容

- | | |
|------------|------------|
| 序章 地球の概観 | 4章 生物の変遷 |
| 1章 固体地球の解剖 | 5章 年代決定と編年 |
| 2章 漂う大陸 | 6章 日本の地史 |
| 3章 造山運動 | |

三訂 新しい地球像

D. ヨーク著／日本地学教育学会 訳編
四六判 248頁 定価1,545円(消費税込) 送料260円

地球の誕生、大陸移動説からプレートテクトニクスまで、固体地球物理学のパラダイム転換に自ら参画した著者による克明な解説。日本の著者による「第6章 補遺・プレートテクトニクスの最近の話題」では、日本におけるプレートテクトニクスの検証例や最新の話題を詳しく述べた。

主な内容

- | | |
|-------------|-------------------------|
| 第1章 地球の創生 | 第5章 大陸移動とプレートテクトニクス |
| 第2章 固体地球の構成 | |
| 第3章 地球の年齢 | 第6章 補遺・プレートテクトニクスの最近の話題 |
| 第4章 磁気と地球 | |



秀潤社

〒108 東京都港区白金台3-19-1 第31興和ビル6階 振替 東京3-7875
TEL.(03)3440-6371(代表) (03)3441-9781(営業部直通) FAX.(03)3444-4092

お知らせ

編集長の所属先変更にともない、「化石」編集部宛の投稿及び連絡は下記に願います。

〒113 東京都文京区本郷 7-3-1
東京大学理学系研究科地質学専攻内「化石」編集部
大路樹生

“化石”バックナンバーの在庫

(価格は送料込み)

(増刊号) コロキアム：化石硬組織内の同位体	(1000 円)
(13 号) マラヤ・タイ国産古植物化石，古生物分類の理論と方法，その他	(500 円)
(16 号) ダニアン問題，鮮新統・漸新統論考，その他	(500 円)
(17 号) シンポジウム “日本新生代貝類化石群の時空分布(その一)”，その他	(600 円)
(18 号) シンポジウム “日本新生代貝類化石群の時空分布(その二)”，その他	(600 円)
(21 号) シンポジウム “化石硬組織内の同位体”，その他	(800 円)
(22 号) 特集 “中国地方新生界と古生物”	(800 円)
(23・24 号) 特集 “化石硬組織内の同位体 (第 3 回シンポジウム)”，その他	(1600 円)
(25・26 号) シンポジウム “古植物の分布とその問題点”，その他	(1600 円)
(27 号) 深海底堆積物中の炭酸塩溶解量の測定，その他	(1700 円)
(28 号) 太平洋側と日本海側の新第三系の対比と編年に関する諸問題，その他	(1900 円)
(31 号) 本邦白亜系における海成・非海成層の対比，カキの古生態学(1)	(1500 円)
(32 号) 四万十帯のイノセラムスとアンモナイト，カキの古生態学(2)	(1500 円)
(33 号) ジャワの貝化石，三畳紀 <i>Monotis</i> ，その他	(1500 円)
(34 号) 進化古生物学の諸問題，その他	(1500 円)
(35 号) 後期三畳紀二枚貝 <i>Monotis</i> の古生物学的意義，その他	(1500 円)
(36 号) 中山層貝化石，放散虫チャートの起源，異常巻アンモナイト，その他	(1500 円)
(37 号) 創立 50 周年記念号，付：会員名簿	(2000 円)
(38 号) 北海道小平地域北東部上部白亜系の化石層序学的研究，その他	(1500 円)
(40 号) ジュラ紀・白亜紀境界付近における放散虫化石群の変化，その他	(1500 円)
(41 号) 西南日本白亜系の古地理と古環境，その他	(1500 円)
(42 号) 青森県尻屋層群の放散虫年代，その他	(1500 円)
(43 号) <i>Cyrtocapsella terapera</i> Haeckel (<i>Radiolaria</i>) の頭部殻室の微細構造，その他	(1500 円)
(44 号) 日本産のフジツボ類の時空分布，その他	(1500 円)
(45 号) 日本産 <i>Glossaulax</i> (<i>Gastropoda</i> : <i>Naticidae</i>) の進化，その他	(1500 円)
(46 号) 石灰質ナンノ化石からみた秩父盆地新第三系最下部の地質年代，その他	(1500 円)
(47 号) 新生代における深海底生有孔虫の殻形態の変遷と古環境的意義，その他，付：会員名簿	(2000 円)
(48 号) 化石密集層形成における堆積学的制約と古環境について，その他	(1500 円)
(49 号) 姫浦層群上部亜層群の化石カキ礁，その他	(1500 円)
(50 号) シンポジウム “古生物学の課題と展望”，その他	(1500 円)
(51 号) 鮮新世貝化石群集，分子古生物学，その他	(1500 円)
(52 号) <i>Sphenoceramus</i> の産状と古生態，日本海溝域の浮遊性有孔虫群集，その他	(1500 円)
(53 号) シンポジウム “白亜紀—古第三紀のバイオイベント” その他	(1500 円)
(54 号) 現生放散虫，シンポジウム “新生代化石生物温度計の試み”，その他	(1500 円)

29, 30, 39 号の残部はありません。

バックナンバーを御希望の方は，代金を払い込みの上，お申込み下さい。

大学研究機関等で購入の際は，見積請求書等必要書類をお送りしますので御請求下さい。

申込みと送金先：

日本学会事務センター内日本古生物学会

1993 年 11 月 25 日印刷

1993 年 11 月 30 日発行

発行者 日本古生物学会

113 東京都文京区本駒込 5-16-9

日本学会事務センター内

化石第 55 号

編集者 化石編集委員会

印刷者 学術図書印刷株式会社

TEL (03) 3991-3754

Fossils

Number 55

November 30, 1993

Contents

Note on diatom temperature index (Td)	Yukio Yanagisawa	1
Fossil foot prints of a bird from the Kobiwako group, Central Japan	Yoshiaki Okamura, Keiichi Takahashi and Lake Biwa Museum Research Associates	9
Distribution of recent benthic foraminifers as an indicator of thermal conditions of the seas around the Japanese Islands — An approach to reconstruction of Cenozoic oceanic condition	Shiro Hasegawa	17
An attempt to estimate the paleotemperature based on the analysis of boreal fossil molluscan assemblages — On the Early Pleistocene Omma-Manganji fauna	Kazutaka Amano	34
Comments on paleotemperature analysis based on the molluscan species	Kiyotaka Chinzei	49
Diatom temperature index and surface water temperature during the middle and late Mio- cene along the Pacific side of northeast Japan	Toshiaki Maruyama	53
Application of the biotic-thermometer by using the marine microfossils — Pliocene calcare- ous nannofossil as an example	Yuichiro Tanaka	65
Current studies of gymnosperm phylogeny	Kenichi Saiki	77
Noriyuki Ikeya and Toshiyuki Yamaguchi: "An introduction to Crustacea Paleobiology"	Ryuichi Majima	16
A word in edgeway, 'Geology: the neglected discipline'	Michiko Yajima	52
News		85
Proceedings of the Society		90