日本海の後期第四紀珪藻と古海況¹⁾

谷 村 好 洋²⁾

Late Quaternary Diatoms and Paleoceanography of the Sea of Japan¹⁾

Yoshihiro TANIMURA²⁾

To delineate the paleoceanography of the Sea of Japan since the last glacial maximum, I first tried to formulate the relationship between the present-day distribution and physico-chemical properties of surface water masses and the diatom flora in the modern sediments collected at 78 stations which are widely distributed in the sea. Then the results from this examination were applied for the upper portion of eight piston cores with the assistance of key tephra and its ¹⁴C age for a time scale.

The floral analysis of the diatoms in modern sediments is performed by principal components analysis employing the Q-mode variance-covariance matrix. On floral analysis, two species associations are defined by the second principal component; species association in the warm-current region (*Pseudoeunotia doliolus*, *Melosira sulcata* and *Thalassiosira oestrupii*) and one in the cold-current region (*Denticulopsis seminae*, *Thalassiosira* sp. 1 and *Thalassiosira nordenskiöldii*). From relative frequency of these species at a random count of about 200 diatom specimens for each sample, *R* value was obtained to facilitate the application of the results from the diatoms in modern sediment samples to core samples. The value is defined as:

$$R = (P. doliolus + M. sulcata + T. oestrupii) / (P. doliolus + M. sulcata + T. oestrupii + D. seminae + T. sp. 1 + T. nordenskiöldii)$$

The value are generally constant below a certain surface water masses classified by their physico-chemical properties. From interpretation of the third principal component, the relative frequencies of *Pseudoeunotia doliolus* and *Melosira sulcata* provide a useful clue to estimate the degree of the influence of low saline water of the upper surface water in the southern part of the sea; *Pseudoeunotia doliolus* is dominant in samples from the high saline area, and *Melosira sulcata* in those from the low saline area.

The paleoceanography of the Sea of Japan since the last glacial maximum are deduced on the basis of these criteria as follows: 1) The supply of the warm water which have a similar oceanographic structure to the present-day Tsushima Warm Current, began about 7,000—8,000 y.B.P. 2) The frontal zone in the eastern half of the Sea of Japan was to the south of its present position, and its southern boundary reached at least as far as the eastern offing of the Oki Islands during a period, from about 15,000 to 9,000 y.B.P. in conservative estimation, following decrease of the sea water supply through the Tsushima Straits. 3) The zone at that time was probably formed between the low saline water brought from the East China Sea and the cold water which occupied the northern part of the sea. 4) The low saline water probably occupied the surface layer of the southern part of the sea at the last glacial maximum.

1) 1981年2月26日受付。日本第四紀学会シンポジウム(1980年8月22日, 福島市)で資料提供

2) 国立科学博物館古生物学研究室。Department of Paleontology, National Science Museum.

図1 日本海における夏・冬季の海流の流動模式図 (長沼, 1977)

I. はじめに

日本列島をとりまく海域での海況変化は、気候変化との相互作用のもとに、陸海両域の動植物相に著しい変化をもたらした。とりわけ後期第四紀の日本海では、海閘深度の浅い4海峡（対馬³⁾・津軽・宗谷・間宮）によって太平洋・東シナ海等の他の海域と通じるという地形的特徴に起因して、海水準変動に伴う自然環境の変化が、極立った海況変化として現われ、ここを生活の場とした海洋生物の遺骸の組成等に変動の記録として保存されている。堆積物中に化石として残された海洋生物の変遷史や、その変遷の重要な要因となった自然環境の変化史の解明にあたっては、海洋底から得られる柱状堆積物中の有孔虫・放散虫・円石藻・珪藻等の微化石をその研究材料とすることが、1つの有効な方法である。この種の研究は、日本海においても多く試みられ、すでに、いくつかの重要な事実の報告や見解の発表がなされている(BURCKLE and AKIBA, 1978; ICHIKURA and UJIIÉ, 1976; INGLE, 1975; 長谷川, 1970; KOIZUMI, 1975; 小泉, 1977, 1979; UJIIÉ and ICHIKURA, 1973; 氏家, 1975, 1977, 1979; 氏家・市倉, 1977)。

本論では、日本海における珪藻遺骸組成の時空分布を明らかにするとともに、これに基づいて過去約 20,000

年間の日本海の表層水塊の分布とその性質の変化を推定した。なお、詳細な基礎データは別に報告した (TANIMURA, 1981)。

II. 日本海の家況

日本海の水塊は、表層と深層の2つに大別される。深層は、日本海固有水とよばれる均質な水塊である(水温は $0.0\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ 、塩分は $34.0\sim 34.1\text{‰}$)。一方、表層の水は、暖流域・寒流域の性質の異なるものに2分される(森安, 1972)。暖流域水の上層は、東シナ海から対馬海峡を通じて供給される比較的低塩分の海水や、本州西岸の沿岸水の影響を強く受ける。特に、対馬海峡付近では、暖流輸送量の多い秋に、表面塩分はいちじるしく低下する(MORIYASU, 1972)。一方、暖流域水の下層(森安, 1972の中層水に相当)は、対馬海峡から流入する北西太平洋中央水の変質したもので、高温・高塩分・貧酸素量で特徴づけられる。寒流域水は、暖流域水と同じく、表面付近は沿岸水の影響を強く受けるが、水温・塩分において、暖流域水で見られるような、顕著な上・下層の分化は認められない。ただ、下層は富酸素で特徴づけられる(森安, 1972)。

日本海に流入する唯一の海流は対馬暖流である(森安, 1972)。これは、対馬海峡から日本海に供給され、日本列

3) 海上保安庁水路部発行「日本および近海(海図, 第1009)」の対馬海峡をさす。

島の西岸を北東に向かって流れ、その大部分 (75%) は津軽海峡から太平洋に流出する (MORIYASU, 1972). 一部は宗谷海峡からオホーツク海へ、そして残りは沿海州寄りに南下する (図 1), この時には、冷却・希釈を受け、暖流としての性格をすでに失っている。

III. 水塊の指標種と R 値

水塊の分布と、それを生活の場とする植物プランクトンの組成やその相対頻度に、密接な対応関係の存在することは、現在の海洋における調査を通じて指摘されている (MARUMO, 1957)。

海洋の有光帯で生産される珪藻組成と、海洋底堆積物中に固定された遺骸組成の対応は、ベーリング海の例 (Jousé, 1960) でも明らかなように、きわめて密接である。珪藻殻が沈降中に運搬・溶解等の作用を受けるにもかかわらず、生活群集と堆積物中の遺骸群集に密接な対応があることについては、その要因として、珪藻殻が珪藻を餌とする動物プランクトン等の糞粒の形で、急速に海洋底に輸送されることがあげられる (SMAYDA, 1971)。

このようなことから、古海況の復元に、海洋底の堆積物中に保存されている珪藻殻の情報を用いることは、きわめて有効な方法であると考えられる。

表層堆積物試料

日本海で生産され、死後、海洋底に堆積した珪藻植物群から、日本海の 2 つの表層水塊 (暖流域水と寒流域水) の指標種を抽出するため、日本海のはほぼ全域から採集された 78 試料中の珪藻を解析した。

試料採集位置を図 2 (1~78) に示した。これらの試料は、舞鶴海洋气象台 (鮎野・大村, 1969), 東京大学海洋研究所, コロンビア大学ラモント・ドハティ地質研究所 (ICHIKURA and Ujiié, 1976), 通産省工業技術院地質調査所 (有田ほか, 1979; INOUE and YUASA, 1981), 海上保安庁水路部により採集されたものである。その内, 58 地点はフレーガーコアラー, 6 地点はスミス・マツキンタイヤー採泥器, 14 地点はピストンコアラーにより採集されたもので、分析には試料の最上部を用いた。

すべての試料は、15% 過酸化水素水 (15%, H_2O_2) による有機物の溶解・試料の泥化の処理をへて、スライドを作成した。珪藻の同定は、18×18 mm カバークラス上で任意の測線を切り、この測線上に現れる全種を 1000 倍で観察して行った。極めて微細な殻構造を有し、これが重要な分類基準の一部となっている *Thalassiosira* 属や他のいくつかの属は、それが走査型電子顕微鏡による観察の過程で容易に発見できるほどに多産するものにつ

いてのみ同定し、それ以外のものは spp. として一括した。各試料について、約 200 個計数し、個々の種の相対頻度を求めた。検鏡の結果, 50 属, 145 種を識別した。殻の保存は、暖流域下のものが相対的に良好であった、また、寒流域下の一部の試料には再堆積が認められ、*Actinocyclus ingens* RATTRAY, *Denticulopsis hustedtii* (SIMONSEN and KANAYA) SIMONSEN, *D. Kamtschatica* (ZABELINA) SIMONSEN, *D. lauta* (BAILEY) SIMONSEN, *Stephanopyxis schenckii* KANAYA, *Thalassiosira antiqua* (GRUNOW) CLEVE 等の化石種が産出した。

主成分分析

表層堆積物 78 試料から、著しく溶解作用を受けた珪藻殻や、再堆積した珪藻を多く含む 16 試料を除いた 62 試料を選び、また個々の種については、産出量のきわめて少ない種を除いた 75 種を選んだ。これを未加工データ行列として、分散共分散行列に基づき、Q モード主成分分析 (川口, 1973; DAVIS, 1973) を行った。計算結果を 1 表に示した。なお、計算結果の解釈は第 3 主成分 (累積寄与率 88.1%) まで行った。

図 3 は、第 1 主成分・第 2 主成分をそれぞれ横軸・縦軸に、個々の種のスコアをプロットしたものである。第 1 主成分スコアは、多くの試料で多産する *Thalassionema nitzschioides* GRUNOW (sp. 56) や *Thalassiothrix longissima* CLEVE and GRUNOW (sp. 72) 等が大きく、ほとんどの解析例で見られるように、産出頻度と対応して変動している。一方、第 2 主成分について見ると、*Denticulopsis seminae* (SIMONSEN and KANAYA) SIMONSEN (sp. 28), *Thalassiosira* sp. 1 (sp. 68), *Thalassiosira nordenskiöldii* CLEVE (sp. 64) が正に高いスコアで得点され、*Pseudoecunotia doliolus* (WALL.) GRUNOW (sp. 46), *Melosira sulcata* (EHR.) KÜTZING (sp. 36), *Thalassiosira oestrupii* (OSTF.) PROŠKINA-LAVRENKO (sp. 65) が負に高いスコアで得点される。これらの内、前者は寒流域下の試料中で多産し、後者は暖流域下の試料中で多産する種である。

図 4 は、暖流・寒流両域で最も顕著な差を示す性質である表面水温を横軸に、第 2 主成分因子負荷量を縦軸にとったものである。この図で、前線帯に属する試料は (□) 印で区別した。ここで前線帯 (図 5) とは、暖流・寒流両域の間に形成される前線の平均的移動域を、海上保安庁水路部海洋資料センター発行の、約 70 年間の観測データに基づく、海洋環境図 (1978) の 0, 50, 100, 200 m 層水温・塩分・溶存酸素量から求めたものである。一般に前線の位置は、種々の海況の変化に起因し

図2 試料採集位置 (水深は、m) 1~78, 表層堆積物試料. A~H, 柱状試料 (ピストンコア).

て、短周期・長周期のオーダーで移動をくり返す。したがって上述の方法で求めた前線帯の地理的分布は、数年ないし数十年という長期間中に、前線が比較的頻繁に形成される帯状の海域を意味する。前線帯を代表する試料

を区別すると、試料は、明らかに分離された2つのグループに分かれる。1つは、図4で因子負荷量0.48~0.82に入るグループで、例外なく寒流域下の試料である(図中の▲印)。他の1つは、因子負荷量-0.09~-0.28に

表 1 主成分分析の計算結果

Component	Eigenvalue	Percentage of Variance	Cumulative Percentage
1	2170.6313	72.9290	72.9290
2	361.7041	12.1526	85.0816
3	90.0256	3.0247	88.1062
4	62.2197	2.0905	90.1967
.	.	.	.
.	.	.	.
62	0.0046	0.0002	100.0000

入るグループで(図中の●印), 1つの例外を除いて暖流域に分布する。また, 個々の試料群内では, 因子負荷量と表面水温の間に, 直線的な相関は認めがたい。このことは, 因子負荷量の地理的分布(図6)でも認められる。つまり, 因子負荷量が暖流の供給源に近い本州南岸や朝鮮半島東岸でわずかに負に高いことや, 日本海最北部でわずかに正に高いことを除けば, 暖流・寒流両水域内の表面水温には, かなりの変動幅があるにもかかわらず, 各水域内での因子負荷量の変動幅は, 暖流・寒流両域の試料群を代表する因子負荷量の差と比較して, きわ

めて僅かである。

7図は, 第1主成分を横軸に, 第3主成分を縦軸にとり, 個々の種のスコアをプロットしたものである。第1主成分は, 先に述べたように個々の種の頻度を表わしている。一方, 第3主成分では, 第2主成分と同様に, 正・負に高く得点される種がある。*Melosira sulcata* (sp. 36) や *Thalassionema nitzschioides* (sp. 56) は正に高く, *Pseudoeunotia doliolus* (sp. 46) や *Thalassiothrix longissima* (sp. 72) は負に高くそれぞれ得点される。前者は, 沿岸域や対馬海峡付近の試料中で相対的に多産する。一方, 後者は, 日本海の中心部(外洋域)の試料中に多産する。さて, この沿岸域や対馬海峡付近と外洋域との間にみられる最も顕著な差異は, 一般に河川水による変質が沿岸域で大きいこと, 暖流域で, 比較的低塩分の東シナ海水による変質が, 日本海南部や対馬海峡付近で大きいこと等に起因する塩分濃度の差である。図8は因子負荷量の地理的分布を示したもので, この図から, 相対的に海水の塩分濃度の低い沿岸域や対馬海峡付近の日本海最南部で因子負荷量が高く, 高塩分の外洋域に向か

図 3 第1主成分・第2主成分スコア図

1, *Actinocyclus curvatulus*. 28, *Denticulopsis seminae*. 36, *Melosira sulcata*. 46, *Pseudoeunotia doliolus*. 56, *Thalassionema nitzschioides*. 64, *Thalassiosira norden-skioeldii*. 65, *Thalassiosira oestrupii*. 68, *Thalassiosira* sp. 1. 71, *Thalassiothrix frauenfeldii*. 72, *Thalassiothrix longissima*.

図 4 表面水温 (海上保安庁水路部海洋資料センター, 1978) と第 2 主成分因子負荷量との関係

図 5 暖流域・寒流域・前線帯の平均的分布

って低くなる傾向が読みとれる。

以上の主成分分析の結果を要約すると、1) 表層堆積物中の珪藻群では、明らかに異なる 2 つの種の組合せが識別される。1 つは、*Pseudocunotia doliolus*, *Melosira sulcata*, *Thalassiosira oestrupii* の 3 種で、これらの種の多産は暖流域水の特徴づける。他の 1 つは、*Denticulopsis seminae*, *Thalassiosira* sp. 1, *Thalassiosira nordens-*

図 6 第 2 主成分因子負荷量の地理的分布

図7 第1主成分・第3主成分スコア図

28, *Denticulopsis seminae*. 36, *Melosira sulcata*. 46, *Pseudoeunotia doliolus*. 56, *Thalassionema nitzschioides*. 65, *Thalassiosira oestrupii*. 72, *Thalassiothrix longissima*.

図8 第3主成分因子負荷量の地理的分布

kioeldii の3種で、寒流域水はこれらの種の多産で特徴づけられる。2) 上記2つの種の組合せの分布と、2つの表層水塊や前線帯の平均的な分布との間には、明瞭な対応関係が認められる。3) *Pseudoeunotia doliolus*, *Melosira sulcata* 等の相対頻度は、塩分濃度の比較の目安となりうる。

R 値

現世堆積物中の珪藻組成と、水塊の非生物的性質やその分布との対応関係から得られた結果を柱状試料(コア)に適用するために、指標Rを作った。これは、暖流域水・寒流域水をそれぞれ特徴づける上記6種の相対頻度から次のように定義される。

$$R = (P. doliolus + M. sulcata + T. oestrupii) / (P. doliolus + M. sulcata + T. oestrupii + D. seminae + T. sp. 1 + T. nordenskiöldii)$$

定義から明らかなように、R値は、個々の表層水塊を特徴づける2つの種の組合せの混合の程度を知るための指標である。暖流域下の試料は大きい値をとり、寒流域下の試料は小さい値をとる。そして、先の2つの種の組合せの大幅な混合で特徴づけられる前線帯の試料群は、中間の値をとることになる。図9は、表層堆積物試料について、縦軸にR値、横軸に表面水温をとったものであ

図 9 表面水温（海上保安庁水路部海洋資料センター，1978）と R 値との関係

図 10 R 値の地理的分布

る。この図から、先に述べたことが明瞭に読みとれる。つまり、R 値がほぼ 0.8 より大きいところに暖流域の試料群が、ほぼ 0.15 より小さいところに寒流域の試料群が、そしてこれらの間に前線帯の試料群がそれぞれプロットされる。なお、図 10 は、R 値の地理的分布を示したものである。この図で、0.8 と 0.15 の等値線が、図 5 の前線帯の南限・北限とよく似た地理的分布をする。R 値は、日本海の堆積物中に過去の記録として保存され

た珪藻の内、多量に産し、しかも暖流・寒流両域水に特徴的な種（指標種）の産出が、個々の堆積物中で、いずれかに片寄っているか、あるいは大幅に混合しているかを示すものである。したがって、2つの表層水塊を特徴づける 6 種 (*P. doliolus*, *M. sulcata*, *T. oestrupii*, *D. seminae*, *T. sp. 1*, *T. nordenskiöldii*) や、R 値が約 0.15, 0.8 であるという規準は、日本海という限られた海域内で有効である。ただここで注目すべきことは、同一水塊下の表層堆積物間での珪藻組成（多産する種に注目した場合）の変動幅は、異なる水塊下の表層堆積物間での珪藻組成の差異と比較して、きわめて僅かなことである。これは、R 値が過去の水塊の性質やその分布の変遷史を編む上で重要な目安となることを示唆している。

IV. コア中の珪藻

コロンビア大学ラモント・ドハティ地質研究所 (V28-265, V28-267, V28-268, V28-271, V28-274, RC12-377, RC12-378), 東京大学海洋研究所 (KH77-3, M-2) により採集された 8 本のコアの上部を用いた。採集位置を図 2・表 2 (A~H) に示した。個々のコアから、10~50 cm 間隔で、厚さ 1~3 cm の試料を取り出し、表層堆積物と全く同様に処理をして、試料中の珪藻

表 2 コア採集位置・深度とコアの長さ

Core	Latitude	Longitude	Depth(m)	Length(cm)
A V28-271	40°45.0'N	138°27.0'E	3382	791
B V28-274	39°38.0'N	137°28.0'E	2677	520
C V28-268	38°37.0'N	136°20.0'E	2692	1524
D V28-265	36°17.0'N	134°34.0'E	1218	920
E KH77-3(M-2)	36°25.6'N	134°10.0'E	1115	950
F RC12-378	36°57.0'N	134°32.5'E	1401	1110
G RC12-377	37°35.0'N	132°15.0'E	2226	1486
H V28-267	37°37.5'N	132°24.0'E	2831	1403

を解析をした。

時間尺度

珪藻種組成・R値等の垂直分布に基づいて、過去における日本海の表層水塊の分布やその性質の変遷を推定するためには、まず、各コアを時間尺度上に並べる必要が

図 11 火山灰層の産出層準とその¹⁴C年代との関係に基づいた、コア各層準の年代の推定
Ah, アカホヤ火山灰. Oki ash, 隠岐火山灰. AT, 始良 Tn 火山灰. Yamato ash, 大和火山灰. (各火山灰層の¹⁴C年代は、宇井・福山, 1972; 町田・新井, 1976, 1978; 町田ほか, 1980 による)

1), 苫小牧火山灰 (年代と火山灰層名は、町田・新井の私信による)。

2), この火山灰層の年代は、日本海から得られたコア KH 77-3, M-5 (採集位置は、町田ほか, 1980 参照) で、始良 Tn 火山灰 (AT) の直上 (-445 cm) に、この火山灰と類似した火山灰が産する (町田・新井, 私信) という対比に基づいて推定した。P, *Pseudoeunotia doliolus* の日本海への最近の進出時期。CR, 寒流域。FZ, 前線帯。

ある。本研究では、3本のコア (KH77-3 (M-2), V28-268, V28-271) から産出した6種類の火山灰層とそれらの¹⁴C年代を主な時間尺度とした。

図 11 は、縦軸にコアの長さ、横軸に時間をとり、コアの中間に堆積の休止期がないと仮定して、3本のコアから産する6種類の火山灰層の産出層準とその¹⁴C年代との関係に基づいて、コア各層準の年代を推定したものである。図中の、文字 (P) を付した矢印 (<P) は、「*Pseudoeunotia doliolus* の日本海への最近の進出時期」を示している。北西太平洋域における本種の生存期間は、最初期更新世から現世に至るとされており (Koizumi, 1977), 日本海での DSDP 第31節, 229地点においても、同様の結果が得られている (Koizumi, 1975)。一方、検鏡したコア内での本種の分布に注目すると、全てのコアでその上部から最上部に限って産する。これは、本種の生存期間の最上部を代表することは明らかである。このようなことから、本種がコア内で急増する最下位の層準が代表する年代を「*P. doliolus* の日本海への最近の進出時期」と名付けた。図 11 で明らかなように、時間尺度を入れることのできる3本のコア内での本種の最近の進出時期は、試料を検討した層準の密度の粗さにもよるのか少々時間幅があるが、約 6×10^3 y.B.P. ~ 約 8×10^3 y.B.P. の間にある。これを副次的な時間面とした。これに基づいて、各コアを地理的におおむね南西から北東に配したのが図 12 である。

R値の垂直分布

図 12 において、R値を (○) 印, *Pseudoeunotia doliolus*, *Melosira sulcata* の相対頻度をそれぞれ (●) と (▲) 印で示した。

現在の暖流域の東部から得られたコア (KH77-3 (M-2), V28-265, RC12-378, V28-268) において、R値の垂直分布に一定の傾向が読みとれる。KH77-3 (M-2), V28-265, RC12-378 では、コアの中部から上部にかけて、R値が、ほぼ0.8を境してそれより小さい値から大きい値へと変化する。同様の傾向は、V28-268 の下部から上部についても認められる。この変化は、現在の暖流域の北西部から前線帯南西部に分布する2本のコア (RC12-377, V28-267) の内、V28-267 の中部から上部にかけても認められる。一方、現在の前線帯の南東部に位置するコア V28-271 では、コアの下位から上位に向かってR値が大きくなるという前述の変化が、ほぼ0.15を境してそれより小さい値からより大きい値への変化として識別できる。検鏡した8本のコアの内、最西部から得られた RC12-377 では、R値はコアの全長を通じて、

図 12 R 値・*Pseudoeunotia doliolus* と *Melosira sulcata* の相対頻度の垂直分布

ほぼ 0.8 より大きい値をとる。そして現在の暖流域と前線帯の境界付近から得られた V28-274 では、R 値は、複雑な変化を示す。

KH77-3 (M-2) では、R 値は約 105 cm～約 75 cm の間でほぼ 0.8 から 0.8 以上に変化している。これを、火山灰層の産出層準とその ^{14}C 年代に基づいて時間幅に換算すると、約 7×10^3 y.B.P.～約 1×10^4 y.B.P.となる。この関係を示したのが図 11 の斜線を入れた長方形である。同様に、V28-271 では、R 値が 0.15 以下から 0.15 以上に約 43 cm～約 21 cm の間で変化し、その時間幅は約 3×10^3 y.B.P.～約 6×10^3 y.B.P.である。そして V28-268 では、R 値が、約 163 cm～約 141 cm の間で 0.8 以下から 0.8 以上に変化し、その時間幅は約 7×10^3 y.B.P.～約 8×10^3 y.B.P.である。

上述以外の、「*Pseudoeunotia doliolus* の日本海への最近の進入時期」という副次的な時間尺度しか入れることのできないコアの内、V28-274、RC12-377 を除いたコアにおいて、「*P. doliolus* の最近の進入時期」の誤差を考慮に入れても、ほぼ同じような変化が起こっていることは図 12 から明らかである。

前線帯の移動

さらに、これらの変化が、コアの中・下部から上部に向かって、寒流域水（北方冷水）を特徴づける種の相対的減少により起こっている事実にも注目される。現世堆積物中の珪藻の組成、ならびに R 値と表層水塊分布との関係に照らして、これらを統一的に解釈するための日本海の高海況として、次の 3 点が考えられよう。1) 過去の日本海では、前線帯が現在より南に位置していた時期があった。2) 前線帯の後退は、津軽半島沖 (V28-271 の採取位置付近) では、少なくとも約 6×10^3 y.B.P. に始った。3) 短く見積っても、約 9×10^3 y.B.P.～約 1.5×10^4 y.B.P. (KH77-3 (M-2) の約 200 cm) の間は、日本海の南東部において、少なくともその南限が隠岐諸島東方海域 (KH77-3, M-2 の採取位置) まで達していた。

この解釈に基づけば、V28-274 における R 値の複雑な変化は、現在の暖流域と前線帯の境界付近に位置するという地理的位置を反映して、前線帯の小移動を示すと解釈できる。

Melosira sulcata

現在の暖流域から得られたコアでは、*Melosira sulcata*

のコア下部における相対的多産という共通した傾向が認められる。一方、表層堆積物中では、本種は、日本海的最南部から本州南西部沖の、東シナ海から供給される低塩分水の影響を強く受ける海域下で多産し、また比較的低塩分の海水を特徴づける種として識別された。これは、朝岡 (1972) の東シナ海における現生珪藻等の分布に関する調査結果とも調和的である。コアの下部での本種の相対的多産、ならびに本種と水塊の性質との対応関係から、過去の日本海において前線帯が現在より南に位置していた時期、当時の前線は、北方の冷水と、現在よりは低塩分の海水との間に形成されたものであることは容易に想像される。またここで、日本海の南西部から得られた RC 12-377 や V 28-267 において、コアのほとんど全層準にわたって本種の多産することは、上記2本のコアの得られた海域周辺が、コア長で代表される時間を通じて比較的低塩分の海水の影響下にあったことを示すものであろう。

Pseudoeunotia doliolus

Pseudoeunotia doliolus が検鏡した8本のコアの上部に限って産することはすでに述べた。本種は、熱帯～温帯海域で、プランクトンとして、あるいは堆積物中に多量に確認される (KOLBE, 1954; Jousé *et al.*, 1971; HASLE, 1976)、一方、日本海の表層堆積物中での本種の分布は、対馬暖流の影響を受け、かつ、東シナ海から水平混合により日本海に供給される低塩分水の影響をあまり受けない比較的高塩分の海域下にはほぼ限って産する。したがって、先述したように本種は、低塩分水の影響を強く受けない暖流水を特徴づけると考えられる。これらのことから、個々のコアにおいて本種が急増する層準が代表する時期に、対馬暖流が本格的に日本海に供給されたと考えられる。つまり、低塩分水の影響を強く受けた上層と、北西太平洋中央水が変質を受けた高温・高塩分で特徴づけられる下層からなる水塊構造をもつ暖水の供給が最終氷期極相以後、対馬海峡を通じて本格的に日本海の南東部 (KH 77-3 (M-2), V 28-265, RC 12-378, V 28-268 の採取位置周辺) に供給されるのは、本種が急増する層準が代表する時期 (やや幅があるが、約 7×10^3 y.B.P. ~ 8×10^3 y.B.P.) 以後といえる。

V. 最終氷期極相前後の日本海

検鏡した8本のコアの層準の内、最終氷期極相前後を代表する珪藻組成の明らかなのは、先の火山灰層とその¹⁴C年代に基づく内挿と、副次的な時間面である「*Pseudoeunotia doliolus* の日本海への最近の進入時期」の層準

により判断して、KH 77-3 (M-2) の下部、V 28-265 の最下部 (?), RC 12-378 の下部等であると考えられる。しかし、性質の異なる2つの表層水塊が存在する現在の日本海の場合に基づいて作ったR値は、当時の海況を推定する手段としては不適當である。また、暖流域・寒流域という呼称も当時の海況にはあてはまらないであろう。ただ前記3本のコアの下部や最下部での *Melosira sulcata* の30~40%にも達する多産は注目に値する。これは、当時、これらのコアが得られた日本海南部の表層が、比較的低塩分の海水で占められていたことを示唆するものである。なお、珪藻のデータからは、この低塩分水の供給源を、対馬海峡からの海水の供給がほとんど停止された日本海への陸域からの淡水の供給に求めるか、あるいは、対馬海峡からの、比較的低塩分の東シナ海水による変質を強く受けた海水の供給に求めるかは、結論を下しえない。いずれにしても、最終氷期極相前後から現在に至る日本海の場合の変化の最大の要因は、海水準変動に伴う、対馬海峡からの暖水の供給量の変化と東シナ海における黒潮表層水と東シナ海水との間の前線の南西進にあると考えられる。

謝辞 本研究を進めるにあたり、御指導いただいた東北大学理学部高柳洋吉教授・石崎国照助教授、大阪大学小泉 格博士、火山灰の同定をしていただいた群馬大学教育学部新井房夫教授、東京都立大学理学部町田 洋助教授、貴重なご助言をいただいた東北大学農学部谷口 旭助教授、宇都宮大学教養部酒井豊三郎助教授、金沢大学教養部 大場忠道 助教授、東北大学 理学部 尾田太良博士・長谷川四郎博士、草稿を読んでいただき有益な御助言をいただいた国立科学博物館桑野幸夫博士、小島郁生博士の各氏に厚く御礼を申し上げる。なお、主成分分析は、東北大学大型計算センター NEAC-ACOS 77/700 型計算機を使用した。

引用文献

- 有田正史・野原昌人・木下泰正・小野寺公兒 (1979) 富山湾の海底堆積物。昭和53年度国立機関公害防止等試験研究成果報告書, p. 53-85.
朝岡 治 (1972) 東シナ海の植物プランクトン分布と海況。海洋科学, **7**, no. 1, p. 38-45.
BURCKLE, L. H. and AKIBA, F. (1978) Implications of late Neogene fresh-water sediment in the Sea of Japan. *Geology*, **6**, p. 123-127.
DAVIS, J. C. (1973) *Statistics and data analysis in geology*. 550p., John Wiley and Sons, Inc., New York.
長谷川康雄 (1970) 日本海大和海嶺からえられたコア試料中の化石珪藻群。地質学雑誌, **76**, p. 347-354.
HASLE, G. R. (1976) The biogeography of some marine

- plankton diatoms. *Deep Sea Research*, **23**, p. 319—338.
- ICHIKURA, M. and UJINÉ, H. (1976) Lithology and planktonic foraminifera of the Sea of Japan piston cores. *Bull. Natn. Sci. Mus., Ser. C. (Geol.)*, **2**, p. 151—178.
- INGLE, J. C., Jr. (1975) Pleistocene and Pliocene foraminifera from the Sea of Japan, Leg 31, Deep Sea Drilling Project. KARIG, D. E., INGLE, J. C., Jr., et al. (eds.): *Initial Reports of Deep Sea Drilling Project*, **31**, p. 693—701.
- INOUE, E. and YUASA, M. (1981) Description of cored material. *Geol. Surv. Japan, Cruise Rep.*, in press.
- JOUSÉ, A. P. (1960) Diatoms in the surface layer of the sediments in the Bering Sea. *Tr. Inst. Okeanol., Akad. Nauk S. S. S. R.*, **32**, p. 171—205. (in Russian).
- JOUSÉ, A. P., KOZLOVA, O. G. and MUKHINA, V. V. (1971) Distribution of diatoms in the surface layer of sediment from the Pacific Ocean. FUNNEL, B. M. and RIEDEL W. R. (eds.): *Microfaleontology of Oceans*, p. 263—269.
- 海上保安庁水路部海洋資料センター (1978) 海洋環境図, 外洋編, 北西太平洋Ⅱ (季節別, 月別). 157 p., 日本水路協会.
- 鮑野義夫・大村明雄 (1969) 清風丸によって採取された日本海の底質柱状試料について (概報). 日本海域研究所報告, **1**, p. 35—38.
- 河口至商 (1973) 多変量解析入門Ⅰ. 161p., 森北出版.
- KOIZUMI, I. (1975) Neogene diatoms from the western margin of the Pacific Ocean, Leg 31, Deep Sea Drilling Project. KARIG, D. E., INGLE, J. C., Jr., et al. (eds.): *Initial Reports of Deep Sea Drilling Project*, **31**, p. 779—819.
- 小泉 格 (1977) 深海堆積物と日本海の歴史. 科学, **47**, p. 45—51.
- KOIZUMI, I. (1977) Diatom biostratigraphy in the North Pacific region. SAITO, T. and UJINÉ, H. (eds.): *Proceedings of the First International Congress on Pacific Neogene Stratigraphy*, Tokyo, 1976, p. 235—253, Kaiyo Shuppan, Tokyo.
- 小泉 格 (1979) 日本海の地史 (堆積物と微化石から). 研究連絡紙「日本海」, **10**, p. 69—90.
- KOLBE, R. W. (1954) Diatoms from Equatorial Pacific cores. *Rep. Swedish Deep-Sea Exped.*, **6**, p. 1—49.
- 町田 洋・新井房夫 (1976) 広域に分布する火山灰—始良 Tn 火山灰の発見とその意義—科学, **46**, p. 339—347.
- 町田 洋・新井房夫 (1978) 南九州鬼界カルデラから噴出した広域テフラ—アカホヤ火山灰. 第四紀研究, **17**, p. 143—161.
- 町田 洋・新井房夫・堀部 純夫・大場 忠道・北里 洋 (1980) 日本海海底コアの解析からみた最近 5 万年の火山活動と古環境. 第四紀学会講演要旨集, **10**, p. 38—39.
- MARUMO, R. (1957) Plankton as the indicator of water masses and ocean currents. *Oceanogr. Mag.*, **9**, p. 55—63.
- 森安茂雄 (1972) 日本海の海洋物理. 海洋科学, **4**, no. 3, p. 27—33.
- MORIYASU, S. (1972) The Tsushima Current. STOMMEL, H. and YOSHIDA, K. (eds.): *Kuroshio, its physical aspects*, p. 353—369, Univ. of Tokyo Press, Tokyo.
- 長沼光亮 (1977) 日本海の家況変動. 海洋科学, **9**, no. 2 p. 65—69.
- SMAYDA, T. J. (1971) Nomal and accelerated sinking of phytoplankton in the sea. UDA, M. (ed.): *Proceedings of Joint Oceanographic Assembly*, p. 248, Japan Soc. for Promotion of Sci., Tokyo.
- TANIMURA, Y. (1981) Late Quaternary diatoms of the Sea of Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, 2nd ser. (Geol.), **51**, nos. 1—2, p. 1—36.
- 宇井忠英・福山博之 (1972) 幸屋火砕流堆積物の ^{14}C 年代と南九州諸火山の活動期間. 地質学雑誌, **78**, p. 631—632.
- 氏家 宏 (1975) 日本海の地史的変遷. 自然科学と博物館, **42**, p. 55—66.
- 氏家 宏 (1977) 日本近海海底の第四紀堆積物. 科学, **47**, p. 615—620.
- 氏家 宏 (1979) 日本海の地質に関する 2, 3 のデータと仮説. 研究連絡紙「日本海」, **10**, p. 56—68.
- UJINÉ, H. and ICHIKURA, M. (1973) Holocene-uppermost Pleistocene planktonic foraminifera of a piston core from off San' in district, Sea of Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N. S.*, **91**, p. 137—150.
- 氏家 宏・市倉賢樹 (1977) 第四紀における日本海の変遷. 海洋科学, **9**, no. 5, p. 316—321.