

論 説

浮遊性有孔虫群集から見た鹿島沖の過去14.4万年間の環境変動

新村 靖*・入野智久*・大場忠道**

*北海道大学大学院地球環境科学研究科・**北海道大学大学院地球環境科学研究科(北海道大学名誉教授)

Paleoenvironmental change off Kashima of central Japan during the last 144,000 years based on planktonic foraminiferal assemblage

Yasushi Niimura*, Tomohisa Irino* and Tadamichi Oba**

*Graduate School of Environmental Earth Science, Hokkaido University, Sapporo, Japan (irino@ees.hokudai.ac.jp);

**Graduate School of Environmental Earth Science, Hokkaido University, Sapporo, Japan (Emeritus Professor, Hokkaido University), To whom correspondence should be addressed: 2-2-3, Sendagaya, Shibuya-ku, Tokyo, 151-0051; Tel/Fax: 03-3475-5575 (oba-tad@ees.hokudai.ac.jp)

Abstract. We reconstructed the oceanographic changes during the last 144 kyr off Kashima, central Japan, utilizing several planktonic foraminiferal species extracted from an IMAGES sediment core of 45.82 m long (MD01-2421; 36°02'N latitude and 141°47'E longitude; water depth = 2,224 m). We proposed the results based on the temporal variation in Tf values, (ratio of warm water species)/(warm + cold water species), relative abundance of *Neogloboquadrina pachyderma* (Ehrenberg) (sinistral coiling), sea surface temperatures (SST) and the faunal similarity between the present core and the surface sediments along the Pacific side off the Japanese Islands together. These results suggest that the core site has experienced under the water mass condition similar to the present Oyashio Current off southeast Hokkaido (42-43°N) during the glacial maxima and the water mass similar to the present Kuroshio Current off south Kyushu to south coast of the Japanese Islands (31-33°N) during the interglacial maxima. The SST estimates at the core site using regional and global transfer functions indicate that the SSTs were lower by ~10°C around the Last Glacial Maximum (LGM, in particular 19-18 ka) and Marine Isotope Stage (MIS) 6 maximum (135-129 ka) compared to the modern temperature, while the SSTs were higher by ~1°C during mid-Holocene (8-7 ka) and at MIS 5a (77-76 ka), MIS 5c (~94 ka), MIS 5d (112-107 ka) and MIS 5e (122-119 ka). Most prominent changes off Kashima have occurred during the cold to warm transitions of MIS 6/5 and MIS 2/1, when the Oyashio Current occupied over the core site as well as during the LGM. However, the influence of the Kuroshio Current was more distinct during most of the last interglacial period (MIS-5) than today except short periods of MIS 5b (~86 ka) and MIS 5d (~115 ka).

Key words: paleoenvironmental change, off Kashima, Kuroshio and Oyashio Currents, planktonic foraminifera, glacial and interglacial periods

はじめに

西岸強流である黒潮は、西赤道太平洋から北上して東シナ海と日本列島南岸を通り、北太平洋の亜熱帯循環を駆動している。そして、メキシコ湾流と同じく低緯度の熱を中・高緯度に運ぶ役目を担っており、全球的な気候システムに大きな影響力をもっている。また、東アジアの沿岸地域の陸上気候にも多大な影響を及ぼしている。本研究で用いる海底コアが採取された鹿島沖は、黒潮とその北に分布する黒潮と親潮の混合水塊がぶつかり合い、北太平洋の中でも表面水温の変化が最も急な海域で、過

去の気候変動に伴う黒潮-親潮の南北移動を復元するには最も有効な海域である。

これまで、日本列島に近い太平洋側では図1に示すような海底コアを用いた古環境の研究が行なわれて来た (Chinzei *et al.*, 1987 など)。しかし、その多くのコアの地質年代は最終氷期までしか達していなかった。そうした状況の中で、2001年のInternational Marine Global Change Study (IMAGES) の第7次航海において、鹿島沖から長さ45 mを超えるピストンコア (MD01-2421) が採取された。本コアの最下部の年代は、測定して得られた底生有孔虫殻の酸素同位体比カーブを Martinson *et al.* (1987) の

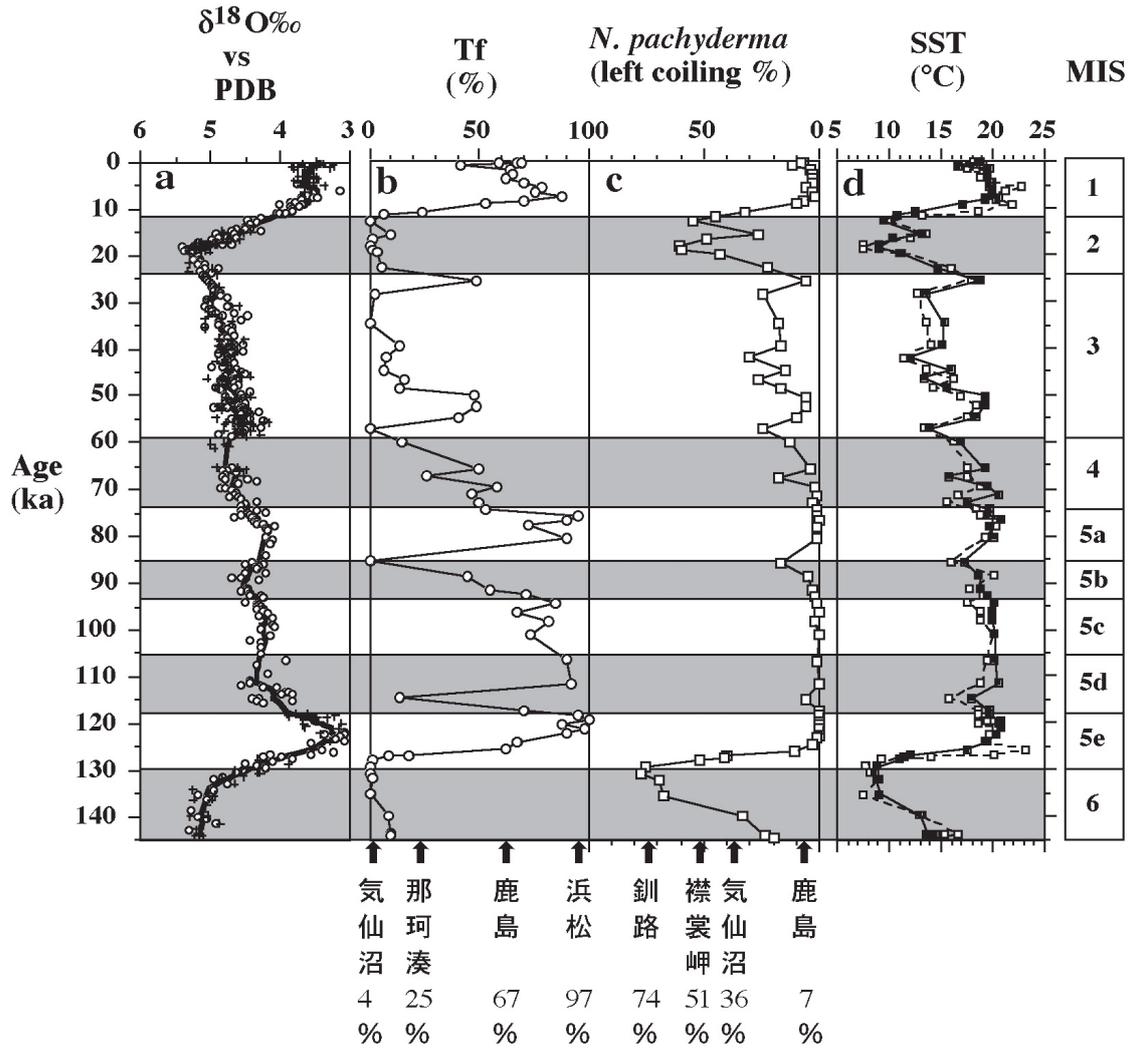


図2. 鹿島沖コア (MD01-2421) の解析結果. a, 底生有孔虫 [Bulimina aculeate d'Orbigny (+) と Uvigerina spp.(○)] の殻の $\delta^{18}O$ カーブ. 実線は3点加重平均カーブ. b, Tf%, c, *Neogloboquadrina pachyderma* (左巻き個体) の頻度 (%), d, 地域的変換関数 (■) および全球的変換関数 (□) によって見積もられた年平均の海洋表面水温 (SST). MIS は海洋同位体ステージで, 網掛け部分は氷期または亜氷期に相当する. Tf値と *N. pachyderma* (左巻き個体) については, 現在の黒潮-親潮域の表層堆積物中の頻度も示されている. ただし, 那珂湊沖の Tf値はコア (C-1) の完新世の平均値であるため参考値として扱う.

浮遊性有孔虫群集用の試料

試料は, コア最上部から75 cm間隔 (融氷期は15 cm間隔) に計75層準で採取された. 各試料 (一辺2.2 cmのキューブ) は63 μm のふるいで水洗され, その残渣を60°Cで乾燥後, 150 μm 以上の浮遊性有孔虫が200個体前後になるまで分割を繰り返し, その分割試料中の浮遊性有孔虫 (>150 μm) を全て拾い出して同定した. その75層準のうち, 11層準についてはTakemoto and Oda (1997) と同じく125 μm 以上の個体を, その分割試料中から加えて同定した. さらに, 125 μm 以上の海底表層堆積物中の浮遊性有孔虫群集を調べるために, 釧路沖PFb159 (北緯42°25', 東経144°10', 水深950 m), 下北半島沖ST-5 (北緯41°06.9', 東経143°30.6', 2098 m), 気仙沼沖LM-8 (北緯38°53.52', 東経143°22.11', 2353 m) の試料も用いた (表1および図1). 銚子沖ST-3 (北緯35°59.3', 東経141°47.9', 2308 m) の試料は,

N. pachyderma の左巻きの個体数の頻度のみを調べた.

分析項目

本研究では, 過去の気候変化に伴う黒潮-親潮の南北移動を推定するために, 以下の5つの解析方法を採用した. 1) Chinzei *et al.* (1987) による黒潮の水塊指標とされる Tf値 (本研究では, 同じコアの花粉分析で使われる Tpとの混同を避けるために Tfと表現する), 2) 高柳・尾田 (1983) が報告した親潮の水塊指標となる *N. pachyderma* (左巻き個体) の全群集に対する頻度, 3) Takemoto and Oda (1997) の日本列島太平洋側81地点の表層堆積物の浮遊性有孔虫群集組成との類似度の半定量的比較, 4) Takemoto and Oda (1997) が上述の表層堆積物の浮遊性有孔虫群集からQモード因子分析で5つの群集を区別しているが, 本コアについてそれらの群集の寄与率 (因子負荷

表1. 本研究に用いた海底コアと海底表層堆積物. その海域の現在のTf値, *N. pachyderma*左巻き個体の頻度および年平均表面水温.

Site	Latitude (N)	Longitude (E)	water depth (m)	Tf (%)	<i>N. pachyderma</i> (left coiling %)	Annual Mean SST (°C)
PFb159	42°25'	144°10'	950	0	74	8.0
KT90-9, St. 5	41°07'	143°31'	2,098	0	51	10.2
KH94-3, LM-8	38°53'	143°22'	2,353	4	36	14.5
KH79-3, C-1	36°16'	141°32'	1,545	25*	—	17.8
MD01-2421	36°01'	141°47'	2,224	67	7	19.5
ST-3	35°59.3'	141°47.9'	2,308	—	5	19.7
KH79-3, C-6	34°43'	140°33'	2,020	95*	0	20.8
KH79-3, C-4	33°09'	137°42'	3,343	97	0	21.7

*完新世の平均値

量)を求め, それらの値を年平均SSTを復元する地域的な変換関数 (Regional Transfer Function: RTF) に当てはめて求めた過去のSST, 5) 同じく Ortiz and Mix (1997) が全海洋の1,121地点の表層堆積物中の浮遊性有孔虫群集から, 年平均SSTを復元する全球的な変換関数 (Global Transfer Function: GTF) を提案しているが, その式を本コアに当てはめて復元したSST, の5つである.

結果と考察

表層堆積物およびコアMD01-2421の75層準から10属32種の浮遊性有孔虫が同定された. そのコア中で産出頻度の高い種は, *Neogloboquadrina dutertrei* (d'Orbigny) (コア全体の平均的な産出頻度は24%), *N. pachyderma*の左巻き個体 (同じく17%), *Globorotalia inflata* (d'Orbigny) (16%), *Globigerina bulloides* d'Orbigny (13%) および *Neogloboquadrina incompta* (Cifelli) の右巻き個体 (9%) で, これらの5種で全体の79%を占める. それらに加え, 次に多い *Globigerinita glutinata* (Egger) (4%), *Globigerinoides ruber* (d'Orbigny) (4%), *Globigerina falconensis* Blow (4%), *Pulleniatina obliquiloculata* (Parker and Jones) (2%) および *Globigerina quinqueloba* Natland (2%) の5種を合わせると全体の95%に達する.

Tf値

Chinzei *et al.* (1987) は, 日本近海の浮遊性有孔虫のうち黒潮域の指標種として, *G. ruber*, *Globigerinoides sacculifer* (Brady), *Globigerinoides conglobatus* (Brady), *P. obliquiloculata*, *Sphaeroidinella dehiscens* (Parker and Jones), *Globigerinella aequilateralis* (Brady), *Globigerinella calida* Parker, *Globorotalia menardii* (d'Orbigny), *Globorotalia hirsuta* (d'Orbigny), *Globigerina digitata* Bradyの10種を挙げている. また, 親潮域の指標種として *N. pachyderma*左巻き個体と *G. quinqueloba*の2種を挙げ, 黒潮の影響の強さを表す値として, T_p (Tf) = (黒潮指標種の頻度合計) × 100 / (黒潮および親潮指標種の頻度

合計)を定義した. 現在の日本近海のTf値の分布は, 釧路沖のPFb159と下北半島沖のST-5では黒潮の指標種が全く産出せず0%である (表1および図1). 気仙沼沖のLM-8では僅かに黒潮系の種が産出して4%を示す (図2b). また, Chinzei *et al.* (1987) が用いた那珂湊沖のC-1と房総半島沖のC-6コアでは, 最上部付近で浮遊性有孔虫の産出が少ないためか結果が点線で示されている. そこで, 完新世における平均的なTf値を彼らの結果 (Fig. 2~Fig. 7) から読み取ると, C-1で約25%, C-6で約95%である. これらのTf値は表層堆積物から得られたものではないので参考に留めるが, 浜松沖のC-4コア最上部のTf値は約97%である. なお, 鹿島沖のTf値は, 本コア最上部で67%である (表2および図2b). このように, 現在の日本列島太平洋側の表層堆積物中のTf値を使って, 本コアの各時代の黒潮の影響の強さを理解することができる.

1. Tf値の考察

本コア中のTf値の時代的な変動 (表2) を, 現在の表層堆積物のTf値の地理分布 (表1) と比較すると (図2b), MIS 6のTf値は0~10%でおよそ常磐以北とほぼ同様で, 特に135~128 kaでは1%以下となり下北半島以北と同様な海況であった. MIS 6はMIS 6/5境界であり, その年代は129.84 ka (約130 ka) である (Martinson *et al.*, 1987) が, Tf値が50%を越える年代は約126 kaで約4000年遅れている (図2b). そのTf値は, MIS 5e初期の128 kaの1%から急増して122 kaには房総半島沖の値に近い90%に達している. このことは, この6000年間に鹿島沖では, 現在の下北半島以北の親潮域と同様な水塊が現在の房総半島沖の黒潮域と同様な水塊に取って替わられたことを示している. MIS 5e後半の122~118 kaはTf値が87%以上で黒潮の勢力が強かった. 特に, Tf値が98%以上になる121 kaと119 kaは, 現在の浜松沖以南の黒潮と同様な水塊が鹿島沖まで北上していたと考えられる. MIS 5d前半の115 kaには13%になり, 現在の常磐付近と同様な水塊の南下が見られる. その後, MIS 5d後半の112 kaからMIS 5cに相当する105~94 kaの間は93~68%で, 現在の鹿島~房総半島沖のような水塊で占められた. しかし, 94~85 kaの

MIS 5bに相当する期間は黒潮前線が南下しており、86 kaには0%になって、現在の下北半島沖以北の親潮と同様な水塊が鹿島沖まで南下していた。MIS 5a後半の81~76 kaの間は73~94%で、再び鹿島~房総半島沖と同様な黒潮の影響下に入った。MIS 4からMIS 3の初期にかけての74~57 kaの間は、約50から0%まで次第に減少し、現在の鹿島~気仙沼間と同様な混合水塊が南下して来た。57 kaには0%になり、現在の下北半島以北の水塊が鹿島沖に達していた。MIS 3の前期の55~50 kaには40~50%に回復し、那珂湊~鹿島間の水塊で覆われていた。MIS 3の中期~後期の48~28 kaは、15%から0%へ減少して、更に北の水塊が南下していた。MIS 3末期の25 kaには一時的に50%まで回復したが、その後すぐに減少してMIS 2の23~12 kaの間は10~0%である。このMIS 2の時代はMIS 6と同様に現在の気仙沼~下北半島以北と同様な海況で占められていた。MIS 1に入って、Tf値は11.5 kaの6%から7.5 kaの88%まで次第に増加しているが、その中間値(47%)を通過した時代は約9.5 kaで、それはMIS 2.0であるMIS 2/1境界の12.05 ka (Martinson *et al.*, 1987) より約2500年遅れている。MIS 1の中頃の8.2~4.5 kaにおいてTf値は70~88%で、鹿島沖は現在より黒潮の影響が強かった。その後、黒潮前線はやや南下して現在の鹿島沖まで退いた。

N. pachyderma (左巻き個体) の頻度

高柳・尾田 (1983) は、日本近海での親潮水塊を最も特徴づける種として*N. pachyderma*を挙げている。*N. pachyderma*は寒冷域に生息する代表的な浮遊性有孔虫で、その左巻きの個体は南極海と北極海に生息する唯一の種である (Bé, 1977)。現在の日本近海の表層堆積物での*N. pachyderma* (左巻き個体) の頻度は、釧路沖のPFb159で74%、下北半島沖のST-5で51%、三陸沖のLM-8で36%、銚子沖のST-3で5%である (表1および図2c)。また、現在この種の南限は銚子沖と房総半島沖の間にあるとされている (尾田・嶽本, 1992)。このように、現在の日本列島太平洋側の表層堆積物中の*N. pachyderma* (左巻き個体) の頻度を使って、次に本コアの各時代の親潮の影響の強さを検討した。

1. *N. pachyderma* (左巻き個体) 頻度の考察

本コアにおける*N. pachyderma* (左巻き個体) の頻度 (表2) を、現在の地理的分布 (表1) と比較すると以下のようなになる (図2c)。MIS 6では131 kaに最高の77%に達し、現在の釧路沖を上回る割合を占める。131 kaから126 kaにかけては、77%から11%まで次第に減少しており、その中間値 (43%) を通過した時代は約127.5 kaに当たる。ここでも MIS 6/5境界より約2300年遅れている。*N. pachyderma* (左巻き個体) の頻度は、122 kaから117 kaまで0%の時代が続いており、これは現在の房総半島沖以南と同様である。その後、寒冷期であるMIS 5dの115 kaに6%、MIS 5bの86 kaに16%となるが、それ以外の

MIS 5の期間は0~3%で、現在の銚子沖以南と同じ割合になる。寒冷期のMIS 4の後半の67 kaで17%、MIS 3初期の57 kaで24%まで増加しているが、MIS 3前半の55~50 kaで10~5%と比較的少ない。しかし、その頻度は48 ka以降で再び増加して15~30%になる。この間は現在の鹿島沖~気仙沼沖までの水塊と同様な割合で変動している。MIS 3末期 (25 ka) の5%からMIS 2に入ると急増し、18 kaに61%にまで達している。それは現在の下北半島~釧路沖と同様な海況である。その後、16 kaで26%まで減少し、12.8 kaにまた54%へと増加している。このMIS 2における*N. pachyderma* (左巻き個体) の減少と増加は、全球的な温暖期のBölling-Allerödと寒冷期のYounger Dryasにそれぞれ相当する可能性がある。12.8 kaの54%から9.1 kaの10%まで徐々に減少しており、その中間値 (32%) を通過した時代は10.8 kaで、MIS 2/1境界の12.05 kaより約1,300年遅れている。MIS 1の7.5 ka~1.8 kaまでは5%以下となり、現在の銚子以南の水塊で占められるようになる。コア最上部では7%を示し、再び鹿島沖の水塊に覆われる。

このように、*N. pachyderma* (左巻き個体) の頻度から推定された水塊移動は、Tf値から推定された水塊移動とも矛盾することなく、それぞれの変動の振幅は異なるが同調して変化している。但し、Tf値は黒潮の影響の強弱によって著しく変化することから、気仙沼付近から浜松沖までの間で黒潮やその暖水塊の影響が及ぶ海域内で有効な水塊指標となるのに対して、*N. pachyderma* (左巻き個体) の頻度は、根室沖の親潮域から混合水塊の影響が及ぶ房総半島沖の間で有効な水塊指標となる。そして、Tf値と*N. pachyderma* (左巻き個体) の両方の水塊指標が同時に使える気仙沼~房総半島沖の間では、南の混合水域ほど前者が、北の混合水域ほど後者が有効である。しかし、さらに広い海洋変動が見られる海域で水塊移動を考察する場合には次に述べるような、本コアの浮遊性有孔虫群集組成と、日本近海の表層堆積物中の浮遊性有孔虫群集組成の類似度を比較する方法を併用することがより効果的である。

浮遊性有孔虫群集の類似度の比較

上述の2つの水塊指標は、日本近海の表層堆積物中の値と比較でき、極めて分かり易いという利点がある。しかし、それぞれの分布の地理的な偏りによる限界と、群集全体の一部分しか見ていないという欠点もある。そこで、群集全体から判断する方法として、Takemoto and Oda (1997) が用いた日本列島太平洋側の81表層堆積物 (図3) 中に含まれる浮遊性有孔虫の群集組成と、本コアに含まれる浮遊性有孔虫の群集組成の類似度を比較するという方法を次に試みる。

あるサンプル*x*に含まれる*n*種からなる浮遊性有孔虫の群集を、種*i*の寄与率(x_i %) を成分とするベクトル $\vec{x} = (x_1,$

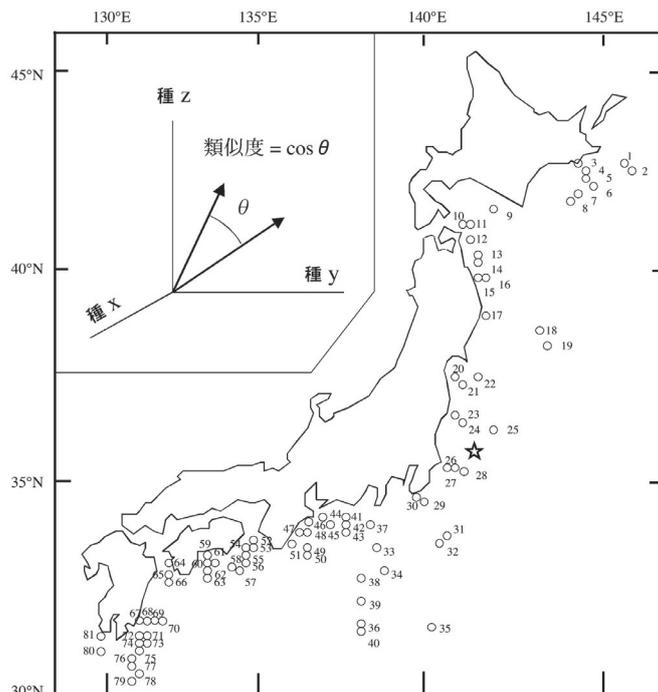


図3. Takemoto and Oda (1997)の81表層堆積物の位置および類似度の概念図。

x_2, \dots, x_n) とみなしたとき、他のサンプル x' の群集ベクトル $\vec{x}' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_n)$ との類似度は、

$$\cos \theta = \frac{\sum_{i=1}^n x_i x'_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n x'^2_i}}$$

と定義できる。これは、2つのベクトル x と x' のなす角 θ の余弦であるから、2つの群集が完全に一致するときは1、共通点が全くない(2つのベクトルのなす角が90度の)時は0となる(図3)。Takemoto and Oda (1997)では浮遊性有孔虫群集として125 μm 以上の個体を用いているのに対して、本研究では150 μm 以上を用いた。そこで、両方の群集を正確に比較するために、本コアでも11の層準については125 μm 以上の個体を加えて計算した(表3)。以下に、本コアにおける代表的な時代の試料と、表層堆積物中の浮遊性有孔虫群集組成の類似度を比較する。

1. MIS 6

MIS 6の中でも最寒冷期の131 ka頃の鹿島沖は、Tf値では現在の下北半島沖以北の海況に、*N. pachyderma* (左巻き個体)の頻度では現在の釧路沖以北に相当する。この131 kaにおける浮遊性有孔虫群集の類似度は現在の親潮域で高くなっている(図4)。特に類似度の高い5地点は、5(北緯42°37.7', 東経144°54.8')の0.996, 2(北緯42°37.9', 東経146°33.8')の0.996, 7(北緯42°06', 東経144°46.2')の0.994, 4(北緯42°45', 東経144°48.3')の0.995, 6(北緯

42°32.1', 東経144°59.4')の0.994である。その他の地点における浮遊性有孔虫群集は、大部分が0.6未満の類似度を示し、特に北緯35度(房総半島南端)より南の群集はすべて0.1未満となっている(図4)。

2. MIS 5e

MIS 5eにおけるTf値から、当時の海況は現在の浜松沖以南に相当すると考えられる。MIS 5eの中でも最温暖期だったと考えられる121 kaにおける浮遊性有孔虫群集と類似度の高い5地点は、74(北緯30°42.61', 東経131°19.12')の0.762, 75(北緯30°37.95', 東経131°17.71')の0.723, 26(北緯35°34.8', 東経141°02.9')の0.687, 41(北緯34°26.7', 東経138°00.1')の0.686, 25(北緯36°40.07', 東経141°59.94')の0.666である(図5)。中でも類似度の高い2地点は種子島付近に位置している。

3. MIS 2

MIS 2の最寒冷期である18 kaにおけるTf値および *N. pachyderma* (左巻き個体)の頻度は、その頃鹿島沖が現在の下北半島～釧路沖にかけての海況と類似していたことを示した。この18 kaの浮遊性有孔虫群集と表層堆積物中の群集との類似度で、特に高い5地点を選ぶと、19(北緯38°53.52', 東経143°22.11')の0.987, 2(北緯42°37.9', 東経146°33.8')の0.971, 4(北緯42°45', 東経144°48.3')の0.969, 5(北緯42°37.7', 東経144°54.8')の0.968, 3(北緯42°53.6', 東経144°41.5')の0.968となる(図4)。すなわち、18 kaにおける類似度は根室沖～十勝沖にかけての地点1～8(図3)と三陸沖の地点18と19で高く、0.9を超える(図4)。また、その類似度は北緯37°以南で0.35以下である。

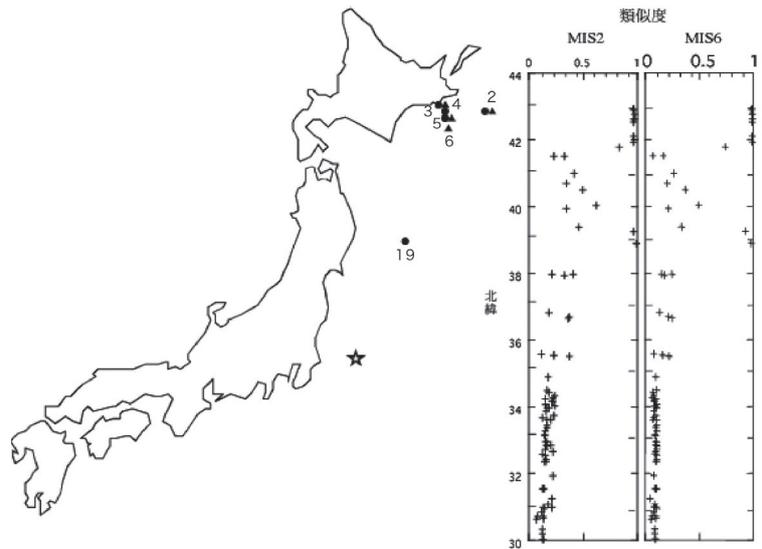


図4. 鹿島沖コアのMIS 2 (18 ka)の浮遊性有孔虫群集と高い類似度を示す5点の分布(●)とMIS 6 (131 ka)における群集と高い類似度を示す5点(▲)の分布. 右側のコラムは, 図3に示す表層堆積物81地点(縦軸は各地点の緯度)における類似度を表わす.

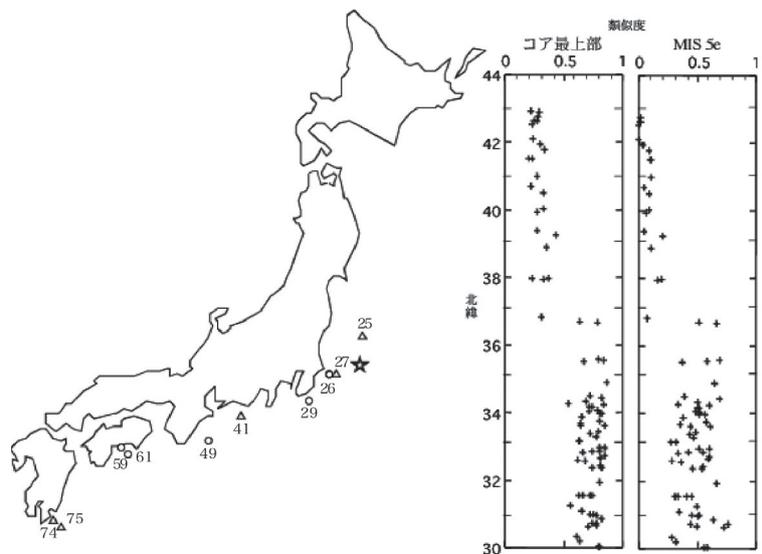


図5. 鹿島沖コアの最上部の浮遊性有孔虫群集と高い類似度を示す5点の分布(○)とMIS 5e (121 ka)における群集と高い類似度を示す5点(△)の分布. 右側のコラムは図4と同様.

4. コア最上部

本コアの最上部に含まれる浮遊性有孔虫の群集組成は、大局的に見て北緯37°以北の表層堆積物中の群集組成とは類似度が低く (<0.42)、北緯37°以南の表層とは類似度が高い (>0.53, 図5)。特に高い類似度を示す5点の表層堆積物は、29 (北緯34°54', 東経140°01') の0.870, 59 (北緯32°57.5', 東経133°21.4') の0.852, 61 (北緯32°43.8', 東経133°30.4') の0.848, 49 (北緯33°36.5', 東経136°44.5') の0.848, 27 (北緯35°31.8', 東経141°13.6') の0.839であり、これらの地点はいずれも本コア (北緯36°) に近い房総半島沖から土佐沖の黒潮域に位置している (図5)。

5. 類似度から推定される海域

上述の結果が示すように、MIS 6の中でも最寒冷期の131 kaにおける鹿島沖は、現在の根室～釧路沖と同様な親潮の水塊が南下していた。また、MIS 2で最も寒冷な18 kaの鹿島沖も現在の混合水塊の北に位置する親潮の南下する勢いが強かった。一方、MIS 5の中でも最温暖期の121 ka頃は、現在の種子島付近と同様な水塊が鹿島沖まで北上していた。そして、コア最上部の時代は、房総半島沖から土佐沖の黒潮の影響を受けていたことが分かる。このように、MD01-2421コアと表層堆積物の浮遊性有孔虫群集の類似度からは、日本付近の北西太平洋では氷期と間氷期の最盛期の間で、黒潮と親潮の南北移動が緯度にして11～12°もあったことを示唆している。

古水温の復元

変換関数の当てはめとその問題点

西・尾田(2000)は、限られた地域での古環境復元に変換関数(Transfer Function; TF)を用いる場合、それぞれの海域に適したTFを作成する必要があることを指摘している。Takemoto and Oda(1997)は、日本列島沿岸の太平洋側の81箇所の表層堆積物(図3)の浮遊性有孔虫群集組成と、それぞれの場所の現在の夏と冬の平均的なSSTとの関係から、PFJ-125という地域的な変換関数(RTF)を作成し、那珂湊沖(C-1)の過去1.2万年間のSSTを復元した。本研究では、Ortiz and Mix(1997)が作成した全球的SSTの年平均値と比較するため、Takemoto and Oda(1997)のデータから年平均のSSTを復元するRTFを新たに作成した。そして、これによって過去14.4万年間のSSTの復元を行った。データベースとなった上述の81箇所の表層堆積物は、日本近海の年平均水温が7~24°C程度の範囲内に分布している(海洋資料センター, 1975)。このことは、このRTFはその範囲を逸脱する水温に関しては復元できないことを意味している。すなわち、鹿島沖でかつてこの範囲を超えるような水温になった時代があったとしても、このRTFでは検出できない。そこで、Ortiz and Mix(1997)の全球的な変換関数(GTF)を用いて、氷期の最寒冷期や間氷期の最温暖期にそのような極端な水温になった時代がなかったかも検討することとした。このGTFは、世界中の海洋表層堆積物中の浮遊性有孔虫群集組成をデータベースとして用いているため、0~30°Cに近い範囲の年平均水温を復元することが可能である。そこで、鹿島沖でも過去14.4万年間のすべての時代においてSSTの復元が可能であると考えられる。

RTFおよびGTFを我々が鹿島沖試料から求めた群集組成データに当てはめるには、Takemoto and Oda(1997)およびOrtiz and Mix(1997)が公表している因子得点を利用して、各因子の因子負荷量 X_k (k は k 番目の因子を表す)を計算する必要がある。鹿島沖の各サンプル j ($j=1, 2, \dots, m$)の n 種からなる群集ベクトル \bar{x}_j ついて、群集組成の表をあらわす行列とする。Sの各行ベクトルを長さ1に規格化した行列を S' 、

$$S = \begin{pmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \vdots \\ \bar{x}_m \end{pmatrix}$$

公表されている因子得点行列を F 、求めようとしている因子負荷量 X_k からなる行列を A としたとき、 $S'=FA$ である。ここで F は直交行列であるから、 F の転置行列を F' とすると、 $A=F'S'$ として計算することができる。

地域的な変換関数(RTF)

本研究では年平均SSTに注目しているため、Takemoto and Oda(1997)のデータ(彼らの表5)について重回帰分析を行って、年平均SSTを求める新たなRTFを計算した。その際、各地点の年平均SSTデータは海洋資料センター(1975)が編集した「海洋環境図外洋編—北西太平洋—」を用いた。その結果、年平均SSTを表す次式が得られた。

$$SST(\text{計算値}) = 4.34X_1 - 3.42X_2 - 9.07X_3 + 1.66X_4 - 4.43X_5 + 18.66$$

$$R^2 = 0.92, \text{ 標準誤差} = 1.35^\circ\text{C}.$$

ここで、 X_1 から X_5 は第1因子から第5因子までの各因子の因子負荷量の値である(表4)。この式を使って算出したSSTと実測SSTの一致する程度は、以下に述べる補正を加えて示すと、図6aのようになる。

前述したように、本研究とTakemoto and Oda(1997)では使用した個体のサイズが異なる。そこで、大きさの違いに起因する誤差を評価するために、本コアの11層準について、150 μm 以上の浮遊性有孔虫群集から復元されたSSTと、125 μm 以上の浮遊性有孔虫群集から復元されたSSTを比較した。その結果、150 μm 以上の浮遊性有孔虫群集から復元されたSSTは、下の式で表わされるように、125 μm 以上の浮遊性有孔虫群集から復元されたSSTと勾配はほぼ同じで、絶対値が約1°C高くなった(図6b)。

$$SST(150) = 1.018 \times SST(125) + 0.98$$

そこで、鹿島沖コアの浮遊性有孔虫群集から正しいSSTを復元するため、この誤差を補正した。鹿島沖コアの各時代における補正後のSSTの変動を表2および図2dに示す。コアの最上部では18.5°Cで、鹿島沖の実際の年平均水温である19.5°Cに近い。復元されたSSTの値は8.7~20.7°Cの範囲で変動している。この変動範囲は、RTFの検出限界と考えられる7~24°Cの範囲内に収まっている。

全球的な変換関数(GTF)

Ortiz and Mix(1997)は、全世界の1,121箇所の表層堆積物中の浮遊性有孔虫群集にQモード因子分析を行い、7つの因子を抽出した。Factor 1(X_1)は*G. ruber*および*G. sacculifer*に代表される因子である。これ以外の因子では、Factor 2(X_2)が*G. menardii*、Factor 3(X_3)が*N. pachyderma*(左巻き個体)、Factor 4(X_4)が*G. inflata*、Factor 5(X_5)が*N. dutertrei*、Factor 6(X_6)が*G. bulloides*および*G. glutinata*、Factor 7(X_7)が*P. obliquiloculata*に代表される群集に対応する。これらの因子を水温に変換する式は次式で表される。

$$SST = -46.2X_3 - 26.2X_4 + 21.2X_5^2 + 18.6X_4^2 - 1.1X_5^2 - 3.3X_6^2 + 3.0X_7^2 + 72.8X_1X_3 + 4.5X_1X_4 + 5.4X_1X_6 + 55.9X_2X_3 + 13.4X_2X_4 + 9.3X_2X_6 - 3.8X_2X_7 + 21.4X_3X_4 + 21.4X_3X_4 + 20.0X_3X_5 + 10.6X_3X_6 - 3.1X_4X_6 + 19.7X_4X_7 - 6.0X_5X_6$$

しかし、この1121地点には北太平洋の群集データがあま

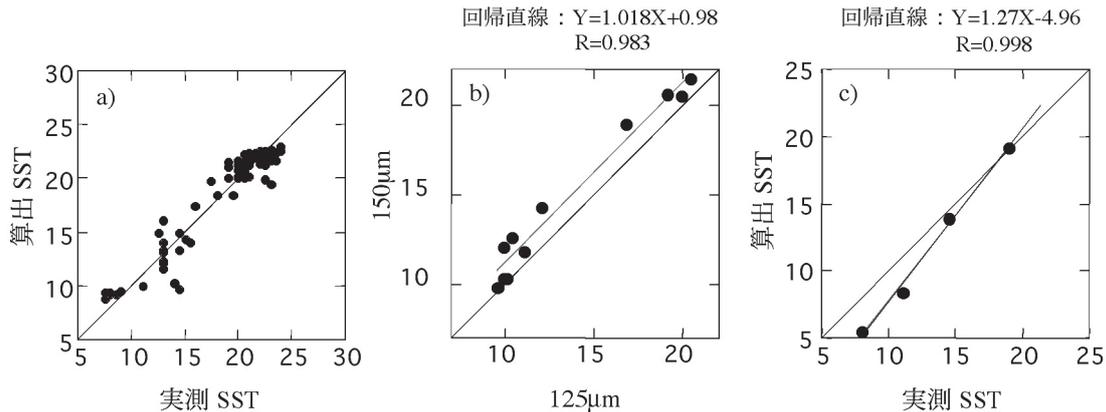


図 6. a) Takemoto and Oda (1997) の日本列島太平洋岸で表層堆積物が採取された 81 地点における海洋表面の実測水温とそれらの地点で地域的変換関数 (RTF) から算出された海洋表面水温 (SST) との比較. b) 浮遊性有孔虫の大きさの相違で生じる誤差. c) 釧路沖, 下北半島沖, 気仙沼沖, 鹿島沖の表層堆積物について全球的変換関数 (GTF) から求められた SST. 親潮域ほど実測 SST より低く算出される.

り多く含まれていない. 特に, 日本近海では親潮域の試料が全く含まれていない. そのため, この水温換算式を日本近海の海底コアに当てはめて SST を計算した場合 (表 5), 実際の表層水温との間に隔たりが出る. たとえば, 釧路沖の PFb159 では実際の年平均水温が約 8°C であるのに対して計算値は 5.5°C , 襟裳岬沖の ST-5 ではそれぞれ 11°C と 8°C , 気仙沼沖の LM-8 で 15°C と 13.8°C となる (図 6 c). また, 本コア最上部では実際の年平均水温が 19.5°C に対し, 計算結果は 18.9°C となった. このように, 親潮域の浮遊性有孔虫群集から算出される SST は実際より約 3°C 低く見積もられている. これらの結果を式で表すと,

$$\text{SST} = 1.271 \times \text{SST}' - 4.964$$

となる (図 6 c). ここで SST' は実測表層水温である.

地域的/全球的変換関数による古水温復元と考察

Ortiz and Mix (1997) の GTF の基礎となった表層堆積物のうち, 親潮域のような寒冷な海域に相当するのは, 北大西洋および南半球高緯度海域の表層堆積物である. これらの海域と比較して親潮域は夏に SST が高く, 表層と水深 50 m での温度差が 10°C 以上で, 水温の鉛直勾配が非常に大きいのが特徴である. Sikes and Keigwin (1994) は, 温度躍層の浅化によって, 浮遊性有孔虫群集から見積もられる SST は実際より低くなることを指摘した. 親潮域でも, 北大西洋や南半球の高緯度海域と比べて温度躍層が浅いために, 実測値との間にこのような相違を生じたと考えられる. 鹿島沖でもかつて親潮水に覆われていた時代では, 同じような相違が現れることは十分に考えられる. そこで, この GTF を鹿島沖コアの浮遊性有孔虫群集に用いる場合, 見積もられる SST に対し上記の SST と SST' の関係を用いて補正を行った.

GTF から復元されたコア最上部の SST は 18.9°C で, 鹿島沖の実際の年平均水温である 19.5°C に近い. また, GTF で復元された過去 14.4 万年間の SST は, $7.6 \sim 23.2^{\circ}\text{C}$ の範囲で変動している. この変動は, MIS 6 から MIS 5e と,

MIS 2 から MIS 1 の前半にかけての融氷期を除くと RTF の結果とよく一致している (図 2 d). 2 回の融氷期においてはいずれも, GTF の SST が RTF の結果より高い水温を示す. この差は GTF に起因すると考えられる. 融氷期における浮遊性有孔虫群集は, *N. pachyderma* (左巻き個体) および *G. ruber* がいずれも比較的高い頻度で共存している. Bé (1977) によると, *N. pachyderma* (左巻き個体) は主として寒帯～亜寒帯などの寒冷な海域に, *G. ruber* は温帯～熱帯に生息するとされ, 世界的に見てもこれらの種が共存する海域は極めて稀である. このことは, そもそも GTF はそのような群集を想定して作られたものではないことを意味している. このため, SST 変換式に含まれるこれらの種を含む因子によって鹿島沖の融氷期は, RTF よりも $5 \sim 8^{\circ}\text{C}$ も高い SST を算出することになったと考えられる. GTF の SST は, 2 つの融氷期を除くと, RTF から得られた SST と良く一致している (図 2 d). このことから, 過去 14.4 万年間にわたって鹿島沖では懸念されたような RTF では復元できない SST の範囲に達することはなく, この RTF で鹿島沖の SST 変動を全て表すことができていると判断される.

RTF で復元された過去 14.4 万年間の鹿島沖の SST は, MIS 6 では 131 ka に 8.7°C と最低を記録し, 現在よりも 10.8°C 低い (図 2 d). また, 135 ka から 129 ka の間は $8.7 \sim 9.1^{\circ}\text{C}$ で, この 6000 年間の SST が現在より $10.4 \sim 10.8^{\circ}\text{C}$ 低下していたことを示している. SST が 129 ka の 8.9°C から 124 ka の 19.4°C まで上昇する間で, 中間値 (12.2°C) を通過する時代は 126.3 ka で, MIS 6/5 境界より約 3500 年遅れている. このような遅れは, Tf や *N. pachyderma* (左巻き個体) の頻度にも見られる. MIS 5e では $18.0 \sim 20.7^{\circ}\text{C}$ で, 特に 122 ~ 119 ka では $20.4 \sim 20.7^{\circ}\text{C}$ で, 現在より $0.9 \sim 1.2^{\circ}\text{C}$ 高かった. この期間を含めて 124 ~ 69 ka までの MIS 5 の時代は, 115 ka, 86 ka, 73 ka の時代を除くとほとんどの時代で $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ の範囲で SST が高く, 黒潮の勢力が現在より強かったと考えられる. MIS 4 後半から

MIS 3では、SSTが12.0~19.2°Cの範囲で変動しながら MIS 3の末期(28 ka)の13.5°Cに向かって低下している。MIS 3の最末期(25 ka)でSSTは一旦18.7°Cまで上昇し、その後MIS 2の最寒期(18 ka)に向かって再び低下する。SSTは19 kaと18 kaで9.1°Cの最低値となり、現在より10.4°C低い。この寒冷な期間は1000年程度で、MIS 6末期の6000年間と比べて短い。その後、16~14 kaにかけてSSTは一旦13.1°Cまで上昇し、13.5~11.5 kaの間で再びSSTは9.4°Cまで低下している。この変化はTf値と*N. pachyderma*(左巻き個体)の頻度にも現れている(図2b, 2c)。特に、13.5~11.5 kaの寒冷期は、北西太平洋でChinzei *et al.* (1987), Kalell *et al.* (1988), 尾田・嶽本(1992)によってYounger Dryas期に相当する寒冷期が指摘されているが、それにほぼ対応する。今回の鹿島沖コアで見られたこの寒冷期は、北大西洋の海底堆積物中でのYounger Dryasの寒冷期(13~11 ka: Labeyrie *et al.*, 2002; 13.5~11.4 ka, Skinner *et al.*, 2003)とも時代的に近い。本コアの¹⁴C年代測定間隔がこの間で不十分なため(12.9~21.1 kaの間で欠如, Oba *et al.*, in press), これらの温暖期と寒冷期がそれぞれBölling-Alleröd期とYounger Dryas期に相当するかは、さらに詳しい年代測定が必要である。しかし、それらに対応する可能性は高い。SSTは12.8 kaで9.4°Cを示した後上昇し、7.5 kaで20.6°Cに達したが、その中間値(15.0°C)を示す時代は10 kaで、MIS 2/1境界より約2,000年遅れている。SSTもTf値や*N. pachyderma*(左巻き個体)の頻度と同様に、MIS 2/1境界において約2000年遅れている。MIS 1におけるSSTは、7.5 kaで最大に達した後、徐々に低下している(図2d)。

以上のように、RTFとGTFから算出されたSSTの変化は、Tf値と*N. pachyderma*(左巻き個体)の頻度から推定された水塊移動の結果とも非常に良く同調して変化しており(図2)、過去2回の氷期と間氷期の気候変化に伴って、黒潮と親潮が南北に大きく移動したため、鹿島沖の表面水温が10°C以上も変化したと考えられる。このような水塊移動は、過去14.4万年間の最寒冷期(131 kaと18 ka)と最暖期(121 kaとコア最上部)の浮遊性有孔虫群集を日本列島東岸沖の表層堆積物の群集と比較した類似度の結果とも一致する。さらに、本研究の浮遊性有孔虫群集による鹿島沖の過去14.4万年間の水塊移動は、これまでに同じMD01-2421コアで行なわれた他の研究結果、石灰質ナノプランクトン(Aizawa *et al.*, 2004)、珪藻(Koizumi *et al.*, 2004)、アルケノン古水温(Yamamoto *et al.*, 2004)、有孔虫殻の酸素同位体比(Oba and Murayama, 2004)および酸素・炭素同位体比(Oba *et al.*, in press)ともおおむね調和的である。なお、Tf値、*N. pachyderma*(左巻き個体)の頻度、SSTばかりでなく、これまでの研究結果でも、氷期から間氷期の過渡期(130 kaと12 ka頃)に鹿島沖は寒冷であったことを示している。その原因は、当時オホーツク海高気圧が発達しており、親潮の南下する勢いが強かったためであると考えられる(Oba *et al.*, in press)。

まとめ

鹿島沖で得られた45mに達するIMAGESコア(MD01-2421)について行った浮遊性有孔虫の各種の解析、すなわち黒潮の水塊指標となるTf値、親潮の水塊指標となる*N. pachyderma*(左巻き個体)の頻度、Takemoto and Oda (1997)の日本列島沿岸の太平洋側の81地点の表層堆積物の浮遊性有孔虫群集組成との類似度比較、地域の変換関数(RTF)および全球の変換関数(GTF)による海洋表面水温の復元の結果から、次の結論が得られた。

- 1) Tf値、*N. pachyderma*(左巻き個体)の頻度、RTFとGTFから算出された年平均SSTの4つの曲線は、過去2回の氷期と間氷期の気候変化を表わす標準的な酸素同位体比曲線と類似している。しかも、それらは相互に非常に良く同調して変化していることから、氷期の最寒冷期には現在の根室~釧路沖と同様な水塊が、間氷期の最温暖期には現在の浜松沖以南と同様な水塊が鹿島沖まで到達していたと考えられる。
- 2) 但し、鹿島沖では世界的な気候変化と比べて、氷期から間氷期の過渡期(MIS 6/5eとMIS 2/1)が2~3千年遅れており、かつMIS 5の期間に黒潮の勢力が現在より強い時代が多かったという特徴がある。
- 3) 上述の水塊指標のうち、Tf値は現在の気仙沼沖の混合水塊から浜松沖付近の黒潮域内で、*N. pachyderma*(左巻き個体)は根室沖の親潮域から房総半島沖の混合水塊の影響が及ぶ範囲内で有効である。しかし、それより広い海域については、コアと海洋表層堆積物の浮遊性有孔虫群集組成の類似度を比較する方法を併用することで、さらに詳しい海洋古環境の情報が入手できる。
- 4) 上述の1)で述べたような水塊移動は、コアと海洋表層堆積物の浮遊性有孔虫群集との類似度を比較することによっても確認できる。すなわち、MIS 6と2の最寒冷期における浮遊性有孔虫群集は、現在の根室~釧路沖(北緯42~43度)の海洋表層堆積物の群集に、MIS 5eの最温暖期(121 ka)では現在の種子島付近(北緯31度)の群集に最も類似している。このことから、これらの海域と同様な水塊が、それぞれの時代に鹿島沖(北緯36度)に到達していたと考えることができ、日本付近の北西太平洋では氷期と間氷期の最盛期の間で、黒潮と親潮の南北移動が緯度にして11~12°もあったことが明らかになった。
- 5) GTFで親潮域の年平均SSTを算出すると、実測値より約3°C低い値が得られる。これに補正を加えたSSTは、氷期から間氷期の融氷期を除くと、RTFで算出した年平均SSTとほぼ一致する。これに上述の結論を加味すると、RTFで算出した過去14.4万年間の鹿島沖の年平均SSTの妥当性は高いと判断される。
- 6) MIS 6の最寒冷期(135~129 ka)において、親潮は過去14.4万年間で最も南下が著しく、この6000年間の鹿島沖の年平均SSTは8.7~9.1°Cで、現在より約10.6°C

低かった。

- 7) MIS 5eの最温暖期(121 ka)の鹿島沖は、過去14.4万年間で最も黒潮の影響を強く受けており、この時代のSSTは20.7°Cで、現在より約1°C高かった。
- 8) MIS 2の最寒冷期(19~18 ka)に鹿島沖は、現在の下北半島沖~釧路沖のような親潮の南下を受けており、この約1000年間のSSTは9.1°Cで、現在より10.4°C低かった。
- 9) 浮遊性有孔虫群集から考察した鹿島沖の過去14.4万年間の水塊移動は、同じコアで行なわれた他の研究結果、石灰質ナノプランクトン(Aizawa *et al.*, 2004)、珪藻(Koizumi *et al.*, 2004)、アルケノン古水温(Yamamoto *et al.*, 2004)、有孔虫殻の酸素同位体比(Oba and Murayama, 2004)および酸素・炭素同位体比(Oba *et al.*, in press)ともおおむね調和的である。
- 10) MIS 2の16~14 kaの頃にBölling-Allerödに相当する温暖期と13.5~11.5 kaの頃にYounger Dryasに相当する寒冷期が鹿島沖においても認められた。これらの気候変化が全球的な気候変化と同期しているかどうかはさらに詳しい年代測定が必要である。

謝辞

本研究に用いた海底コア(MD01-2421)は、International Marine Global Change Study (IMAGES) VIIの2001年の研究航海時に、フランスの研究船マリオン・デフレンヌ号(*R/V Marion Dufresne*)の乗船研究者および乗船員の方々のご協力によって採取された。また、その時の備船費は、科学技術振興調整費「炭素循環に関するグローバルマッピングとその高度化に関する国際共同研究」(研究代表者:産業技術総合研究所および東京大学の川幡徳高教授)から出資されたものである。産業技術総合研究所の池原 研博士には釧路沖の表層堆積物を提供して頂いた。匿名の二人の査読者からは有益なご指摘を頂いた。以上の方々から厚く御礼を申し上げる。

文献

Aizawa, C., Oba, T. and Okada, H., 2004. Late Quaternary paleoceanography deduced from coccolith assemblages in a piston core recovered off the central Japan coast. *Marine Micropaleontology*, **52**, 277-297.

Bé, A. W. H., 1977. An ecological, zoogeographic and taxonomic review of recent planktonic foraminifera. *Oceanic Micropaleontology*, **1**, 1-100.

Chinzei, K., Fujioka, K., Kitamoto, 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 Micropaleontology*, **11**, 273-291.

海洋資料センター, 1975. 海洋環境図外洋編—北西太平洋—. 165p., 日本水路協会.

Kallel, N., Labeyrie, L. D., Arnold, M., Okada, H., Dudley, W. C. and Duplessy, J. C., 1988. Evidence of cooling during the Younger Dryas in the western North Pacific. *Oceanologica Acta*, **11**(4), 369-375.

Koizumi, I., Irino, T. and Oba, T., 2004. Paleoceanography off central Japan based on diatom flora during the latest Quaternary. *Marine Micropaleontology*, **53**, 293-365.

Labeyrie, L. D., Cole, J., Alverson, K. and Stocker, T., 2002. The history of climate dynamics in the Late Quaternary. In Alverson, K., Bradley, R. and Pedersen, T., eds., *Paleoclimates, Global Change and the Future*, IGBP Series, 33-62. Springer, Berlin.

Labeyrie, L. D., Kallel, N., Arnold, M., Juillet Leclerc, A., Maitre, F. and Duplessy, J. C., 1990. Variability of the intermediate and deep waters in the north west Pacific ocean during the last deglaciation (Estase cruise). *Oceanologica Acta*, special volume **10**, 329-339 (in French with English abstract).

Martinson, D. G., Pisias, N. G., Hays, J. D., Imbrie, J., Moore, T. C. Jr., and Shackleton, N. J., 1987. Age dating and the orbital theory of the ice ages: Development of high-resolution 0 to 300,000-years chronostratigraphy. *Quaternary Research*, **27**, 1-29.

Matsumoto, K. and Oba, T., Lynch-Stieglitz, J. and Yamamoto, H., 2002. Interior hydrography and circulation of the glacial Pacific Ocean. *Quaternary Science Reviews*, **21**, 1693-1704.

西 弘嗣・尾田太良, 2000. 浮遊性有孔虫を用いた海洋表層環境の解析法. 月刊地球, **22**(9), 601-608.

Oba, T. and Murayama, M., 2004. Sea surface temperature and salinity changes in the northwest Pacific since the last glacial maximum. *Journal Quaternary Science*, **19**(4), 335-346.

Oba, T., Irino, T., Yamamoto, M., Murayama, M., Takamura, A. and Aoki, K., (in press). Paleoceanographic change off central Japan since the last 144,000 years based on high-resolution oxygen and carbon isotope records. *Global and Planetary Change*.

大場忠道・安田尚登, 1992. 黒潮域における最終氷期以降の環境変動. 第四紀研究, **31**(5), 329-339.

大串健一・根本直樹・村山雅史・中村俊夫・塚脇真二, 2000. 底生有孔虫から推定される過去2万年間の親潮域における海洋環境. 第四紀研究, **39**(5), 427-438.

尾田太良・嶽本あゆみ, 1992. 浮遊性有孔虫からみた過去2万年間の海洋変動. 第四紀研究, **31**(5), 341-357.

Ortiz, J. D. and Mix, A. C., 1997. Comparison of Imbrie-Kipp Transfer function and modern analog temperature estimates using sediment trap and core top foraminiferal faunas. *Paleoceanography*, **12**(2), 175-190.

Sawada, K. and Handa, N., 1998. Variability of the path of the Kuroshio ocean current over the past 25,000 years. *Nature*, **392**, 592-595.

嶋田智恵子・長谷川四郎, 1999. 三陸沖海底コアを用いた第四紀後期の北西太平洋縁辺海における古海況—珪藻化石群集からのアプローチ—. 第四紀研究, **38**(2), 125-144.

Sikes, E. L. and Keigwin, L. D., 1994. Equatorial Atlantic sea surface temperature for the last 30 kyr: A comparison of Uk'37, $\delta^{18}\text{O}$, and foraminiferal assemblage temperature estimate. *Paleoceanography*, **9**(1), 31-46.

Skinner, L. C., Shackleton, N. J. and Elderfield, H., 2003. Millennial-scale variability of deep-water temperature and $\delta^{18}\text{O}_{\text{dw}}$ indicating deep-water source variations in the Northeast Atlantic, 0-34 ka BP. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, **4**(12), 1098, doi:10.2929/2003GC000585.

高柳洋吉・尾田太良, 1983. 本州東海域表層堆積物中の浮遊性有孔虫の分布. 月刊海洋, **15**(3), 138-144.

Takemoto, A. and Oda, M., 1997. New planktic foraminiferal transfer function for the Kuroshio-Oyashio current region off Japan. *Paleontological Research*, **1**(4), 291-310.

Yamamoto, M., Oba, T., Shimamune, J. and Ueshima, T., 2004. Orbital-scale anti-phase variation of sea surface temperature in mid-latitude North Pacific margins during the last 145,000 years. *Geophysical Research Letters*, **31**, L16311, doi:10.1029/2004GL020138.

山根雅之・大場忠道, 1999. 三陸沖海底コア(KH94-3, LM-8)の解析に基づく過去9万年間の海洋環境変遷. 第四紀研究, **38**(1), 1-16.

表2. 鹿島沖コア (MD01-2421)中のTf値, *N. pachyderma* 左巻き個体の頻度, 地域的および全球的変換関数から見積もられた水温.

Depth	Age	Tf	N.	RTF	GTF	Depth	Age	Tf	N.	RTF	GTF
cm	ka	%	left %	° C	° C	cm	ka	%	left %	° C	° C
1.2	0.24	66.7	7.2	18.5	18.9	2319.4	71.17	46.2	0.6	20.5	16.7
5.9	0.29	58.5	6.8	18.5	18.2	2384.2	72.82	50.0	2.7	17.4	15.6
15.6	0.38	68.6	8.0	19.1	18.9	2453.7	74.32	52.6	1.2	19.6	18.3
74.6	0.96	41.7	11.4	16.6	17.8	2535.0	75.57	94.4	0.6	19.6	18.7
155.6	1.77	64.4	3.5	19.7	17.4	2604.2	76.63	90.0	0.0	20.7	20.3
225.5	2.61	65.4	2.6	19.5	19.1	2684.6	77.86	72.6	0.5	19.7	20.4
305.5	3.59	61.5	3.1	19.4	18.9	2784.7	80.35	89.5	1.4	20.0	19.2
375.7	4.51	70.6	3.1	19.6	19.8	2834.8	85.54	0.0	16.3	17.2	15.9
453.3	5.53	78.6	5.4	19.7	22.6	2904.9	88.57	44.4	5.3	18.6	20.0
523.9	6.48	75.0	3.3	19.9	21.1	2984.6	91.44	54.5	3.3	18.9	17.8
603.2	7.53	87.7	2.0	20.6	19.3	3050.3	92.74	71.4	1.8	19.4	19.1
633.9	8.19	70.5	7.3	19.3	20.4	3130.8	94.41	84.2	0.6	20.2	17.6
674.5	9.09	52.9	9.8	17.0	21.8	3200.9	96.18	66.7	0.0	19.8	18.7
753.0	10.83	23.5	32.1	12.6	18.6	3280.6	98.2	81.3	1.6	19.9	18.9
783.5	11.51	6.3	44.7	10.7	13.1	3350.2	101	73.2	0.3	20.2	20.0
823.6	12.78	0.0	54.4	9.4	9.9	3424.3	106.6	90.0	1.2	20.2	19.4
863.6	15.63	9.8	26.2	13.1	13.7	3493.8	111.6	91.5	0.3	20.5	18.9
902.1	16.42	1.1	49.1	10.4	12.0	3573.8	114.6	13.3	5.9	18.0	15.8
934.4	17.92	0.0	60.8	9.1	7.6	3644.0	117.2	70.4	0.0	19.6	18.6
951.4	18.71	1.2	59.6	9.1	7.6	3724.0	118.4	95.2	0.0	19.7	18.6
971.0	19.62	2.9	43.1	11.0	11.3	3794.6	119.3	100.0	0.0	20.7	19.5
1052.9	22.91	5.6	22.0	14.6	16.0	3852.1	120.1	87.3	0.0	20.5	18.6
1123.2	25.45	48.5	5.4	18.7	17.9	3922.9	121.1	97.7	0.0	20.7	20.4
1203.3	28.35	2.7	24.7	13.5	12.8	4001.9	122.2	89.5	0.0	20.4	19.7
1273.3	34.53	0.0	17.5	15.3	13.5	4032.0	124.1		1.4		
1353.2	39.35	13.2	16.9	15.2	14.0	4071.9	125.5	66.7	3.2	19.4	19.2
1421.9	41.95	7.8	30.1	12.0	11.5	4114.6	126.8	61.4	11.2	17.6	23.2
1508.4	44.64	6.9	14.4	15.9	13.6	4151.6	127.1	17.4	40.0	12.0	20.2
1578.4	46.45	15.4	26.7	13.3	16.2	4161.7	127.8	8.3	41.2	11.4	14.0
1654.2	48.41	14.0	16.5	15.6	14.3	4181.8	129.2	0.9	51.6	10.9	9.3
1724.2	50.23	47.4	5.9	19.2	16.9	4221.8	130.5	0.0	75.0	8.9	7.8
1802.6	52.43	48.4	6.3	19.2	18.4	4261.6	131.9	0.4	77.4	8.7	8.2
1871.8	54.66	40.6	10.0	18.4	17.5	4301.7	135.2	0.9	69.5	8.8	9.1
1950.4	57.2	0.0	24.3	13.9	13.3	4371.3	139.8	0.0	67.6	9.1	7.6
2019.3	60.06	14.3	12.9	16.8	16.1	4451.5	143.8	8.1	33.3	13.0	13.1
2100.2	65.61	50.0	3.7	19.2	17.5	4522.2	144.2	9.4	23.9	13.6	16.6
2169.7	67.37	26.0	17.2	15.7	17.6	4528.8	147.27	9.9	19.9	14.5	15.4
2250.1	69.41	58.3	2.2	19.5	18.9						

表3. 鹿島沖コア (MD01-2421)の11試料中と Takemoto and Oda (1997)の表層堆積物 (1~81番)中の浮遊性有孔虫群集との類似度比較.

Depth, cm	15.6	633.9	783.5	863.6	934.4	951.4	4032.0	4114.6	4161.7	4181.8	4261.6
Age (ka)	0.38	8.19	11.51	15.63	17.92	18.71	122.73	125.54	127.14	127.83	130.54
1	0.225	0.326	0.886	0.709	0.947	0.961	0.072	0.445	0.947	0.978	0.992
2	0.271	0.369	0.909	0.747	0.961	0.971	0.125	0.486	0.961	0.984	0.996
3	0.288	0.381	0.918	0.791	0.965	0.968	0.168	0.502	0.961	0.972	0.981
4	0.281	0.379	0.912	0.753	0.962	0.969	0.139	0.494	0.964	0.983	0.994
5	0.250	0.350	0.899	0.729	0.957	0.968	0.098	0.466	0.957	0.983	0.996
6	0.233	0.333	0.889	0.713	0.950	0.962	0.079	0.451	0.951	0.980	0.994
7	0.235	0.335	0.891	0.716	0.951	0.963	0.083	0.454	0.952	0.980	0.994
8	0.302	0.400	0.913	0.748	0.960	0.967	0.151	0.506	0.966	0.982	0.993
9	0.334	0.391	0.815	0.883	0.826	0.829	0.318	0.512	0.754	0.755	0.740
10	0.206	0.193	0.264	0.531	0.237	0.234	0.317	0.240	0.120	0.105	0.068
11	0.228	0.224	0.353	0.603	0.331	0.328	0.328	0.285	0.217	0.203	0.167
12	0.277	0.282	0.446	0.680	0.424	0.418	0.366	0.350	0.317	0.298	0.264
13	0.225	0.218	0.384	0.624	0.353	0.342	0.351	0.306	0.261	0.233	0.206
14	0.329	0.338	0.543	0.746	0.510	0.496	0.420	0.427	0.430	0.396	0.369
15	0.270	0.262	0.401	0.640	0.362	0.346	0.395	0.342	0.279	0.241	0.212
16	0.323	0.349	0.636	0.807	0.623	0.616	0.379	0.449	0.535	0.517	0.491
17	0.276	0.283	0.501	0.707	0.475	0.462	0.376	0.377	0.395	0.363	0.338
18	0.434	0.517	0.944	0.878	0.951	0.960	0.326	0.620	0.921	0.930	0.925
19	0.358	0.452	0.944	0.822	0.977	0.987	0.222	0.559	0.964	0.980	0.983
20	0.234	0.216	0.295	0.467	0.241	0.212	0.366	0.290	0.220	0.161	0.147
21	0.326	0.319	0.388	0.642	0.341	0.329	0.436	0.370	0.244	0.210	0.174
22	0.375	0.374	0.466	0.708	0.414	0.404	0.474	0.432	0.320	0.286	0.250
23	0.310	0.292	0.293	0.445	0.219	0.185	0.433	0.343	0.219	0.147	0.133
24	0.637	0.633	0.495	0.714	0.377	0.367	0.700	0.629	0.308	0.256	0.211
25	0.788	0.787	0.534	0.676	0.378	0.363	0.812	0.752	0.361	0.291	0.251
26	0.793	0.768	0.348	0.435	0.147	0.118	0.842	0.712	0.201	0.101	0.075
27	0.839	0.830	0.434	0.553	0.273	0.229	0.860	0.732	0.309	0.194	0.156
28	0.670	0.675	0.491	0.700	0.405	0.371	0.703	0.609	0.360	0.275	0.225
29	0.870	0.857	0.392	0.522	0.222	0.181	0.885	0.736	0.254	0.138	0.096
30	0.823	0.811	0.372	0.490	0.215	0.169	0.840	0.693	0.256	0.137	0.098
31	0.657	0.661	0.283	0.383	0.199	0.155	0.623	0.505	0.218	0.119	0.078
32	0.649	0.653	0.261	0.315	0.174	0.124	0.606	0.494	0.223	0.116	0.083
33	0.646	0.641	0.326	0.512	0.232	0.203	0.658	0.532	0.195	0.117	0.067
34	0.638	0.646	0.271	0.341	0.198	0.148	0.590	0.480	0.235	0.130	0.092
35	0.722	0.715	0.360	0.546	0.244	0.213	0.737	0.603	0.218	0.130	0.079
36	0.560	0.543	0.333	0.578	0.222	0.216	0.631	0.514	0.141	0.096	0.047
37	0.693	0.680	0.388	0.624	0.267	0.241	0.749	0.607	0.215	0.135	0.082
38	0.812	0.804	0.399	0.582	0.259	0.224	0.828	0.683	0.245	0.146	0.093
39	0.808	0.795	0.397	0.594	0.243	0.218	0.839	0.697	0.216	0.129	0.077
40	0.657	0.662	0.299	0.419	0.223	0.176	0.629	0.505	0.233	0.131	0.087
41	0.822	0.808	0.378	0.533	0.212	0.185	0.843	0.706	0.212	0.120	0.075
42	0.739	0.729	0.381	0.579	0.255	0.220	0.774	0.629	0.232	0.137	0.087
43	0.721	0.708	0.392	0.617	0.265	0.236	0.772	0.627	0.224	0.138	0.086
44	0.537	0.530	0.318	0.560	0.247	0.222	0.586	0.457	0.175	0.110	0.058
45	0.717	0.709	0.362	0.560	0.247	0.216	0.739	0.600	0.216	0.128	0.076
46	0.838	0.820	0.377	0.483	0.197	0.151	0.873	0.724	0.253	0.131	0.097
47	0.791	0.787	0.342	0.420	0.207	0.154	0.777	0.642	0.267	0.143	0.107
48	0.809	0.807	0.360	0.472	0.231	0.182	0.792	0.652	0.265	0.146	0.102
49	0.848	0.843	0.367	0.455	0.213	0.170	0.829	0.698	0.258	0.144	0.104
50	0.724	0.727	0.318	0.411	0.216	0.169	0.690	0.568	0.247	0.139	0.097
51	0.803	0.794	0.404	0.602	0.266	0.230	0.830	0.681	0.246	0.147	0.094
52	0.729	0.724	0.339	0.449	0.224	0.168	0.735	0.593	0.268	0.144	0.107
53	0.795	0.788	0.358	0.462	0.222	0.169	0.795	0.651	0.270	0.146	0.107
54	0.780	0.774	0.339	0.416	0.202	0.148	0.776	0.638	0.266	0.140	0.106
55	0.632	0.634	0.280	0.354	0.198	0.141	0.612	0.489	0.249	0.132	0.099
56	0.804	0.804	0.346	0.430	0.217	0.168	0.774	0.644	0.265	0.146	0.106
57	0.803	0.799	0.373	0.509	0.242	0.199	0.796	0.659	0.256	0.148	0.101
58	0.667	0.672	0.301	0.389	0.218	0.166	0.635	0.515	0.252	0.142	0.103
59	0.852	0.841	0.368	0.457	0.202	0.155	0.855	0.712	0.261	0.137	0.101
60	0.742	0.739	0.328	0.419	0.211	0.158	0.730	0.595	0.259	0.138	0.101
61	0.848	0.843	0.352	0.408	0.194	0.148	0.822	0.694	0.262	0.141	0.106
62	0.620	0.625	0.257	0.313	0.182	0.128	0.579	0.466	0.234	0.123	0.090
63	0.819	0.817	0.343	0.428	0.209	0.160	0.790	0.655	0.256	0.138	0.097
64	0.682	0.686	0.294	0.356	0.200	0.147	0.647	0.530	0.252	0.138	0.103
65	0.816	0.816	0.346	0.420	0.211	0.163	0.784	0.656	0.263	0.145	0.106
66	0.746	0.749	0.311	0.362	0.195	0.145	0.706	0.590	0.255	0.140	0.106
67	0.722	0.711	0.324	0.406	0.188	0.132	0.745	0.604	0.256	0.129	0.101
68	0.745	0.741	0.322	0.389	0.193	0.141	0.735	0.606	0.256	0.136	0.104
69	0.664	0.670	0.272	0.320	0.187	0.133	0.616	0.503	0.244	0.130	0.097
70	0.632	0.639	0.255	0.298	0.177	0.125	0.581	0.473	0.232	0.123	0.091
71	0.783	0.785	0.317	0.362	0.191	0.140	0.739	0.619	0.257	0.138	0.103
72	0.820	0.815	0.316	0.352	0.155	0.117	0.785	0.670	0.223	0.115	0.083
73	0.745	0.747	0.302	0.351	0.186	0.134	0.706	0.584	0.251	0.132	0.098
74	0.780	0.767	0.292	0.311	0.101	0.084	0.765	0.673	0.163	0.083	0.059
75	0.706	0.692	0.260	0.271	0.080	0.069	0.692	0.614	0.136	0.069	0.049
76	0.608	0.616	0.247	0.290	0.177	0.125	0.556	0.452	0.229	0.123	0.091
77	0.635	0.642	0.254	0.296	0.176	0.124	0.583	0.476	0.232	0.123	0.090
78	0.805	0.804	0.312	0.347	0.167	0.124	0.761	0.646	0.234	0.123	0.089
79	0.797	0.797	0.312	0.354	0.178	0.133	0.748	0.632	0.241	0.128	0.093
80	0.755	0.751	0.316	0.378	0.188	0.134	0.738	0.607	0.255	0.132	0.099
81	0.778	0.778	0.314	0.364	0.186	0.135	0.740	0.616	0.252	0.132	0.098

表4. 鹿島沖コア(MD01-2421)中の浮遊性有孔虫群集にTakemoto and Oda (1997)による地域的変換関数(RTF)のための群集(因子得点)を当てはめて計算された各因子負荷.

Depth (cm)	Age (ka)	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	共通性
1.2	0.24	0.824	0.348	0.159	0.294	0.244	0.970
5.9	0.29	0.812	0.354	0.188	0.346	0.215	0.986
15.6	0.38	0.868	0.310	0.131	0.327	0.121	0.989
74.6	0.96	0.657	0.480	0.274	0.310	0.375	0.975
155.6	1.77	0.660	0.314	0.226	0.607	0.065	0.957
225.5	2.61	0.852	0.171	0.229	0.338	0.174	0.952
305.5	3.59	0.801	0.233	0.251	0.455	0.042	0.968
375.7	4.51	0.641	0.227	0.405	0.568	0.078	0.955
453.3	5.53	0.507	0.323	0.269	0.691	0.113	0.925
523.9	6.48	0.775	0.221	0.194	0.512	-0.013	0.950
603.2	7.53	0.625	0.226	0.272	0.669	0.125	0.980
633.9	8.19	0.824	0.317	0.276	0.357	0.043	0.984
674.5	9.09	0.462	0.474	0.227	0.621	0.254	0.940
753.0	10.83	0.535	0.487	0.122	0.085	0.126	0.992
783.5	11.51	0.270	0.946	0.023	0.122	0.124	0.998
823.6	12.78	0.098	0.977	0.101	0.002	0.144	0.994
863.6	15.63	0.486	0.708	0.199	0.101	0.452	0.991
902.1	16.42	0.160	0.968	-0.044	0.169	0.044	0.996
934.4	17.92	0.001	0.985	0.060	0.027	0.140	0.995
951.4	18.71	-0.007	0.986	0.068	0.034	0.128	0.995
971.0	19.62	0.156	0.944	0.211	0.179	0.069	0.996
1052.9	22.91	0.735	0.611	0.110	0.063	0.243	0.989
1123.2	25.45	0.948	0.212	0.082	0.108	0.177	0.993
1203.3	28.35	0.531	0.614	0.386	-0.052	0.427	0.994
1273.3	34.53	0.422	0.390	0.614	-0.039	0.529	0.989
1353.2	39.35	0.581	0.548	0.350	0.148	0.458	0.991
1421.9	41.95	0.315	0.793	0.230	0.123	0.448	0.996
1508.4	44.64	0.591	0.533	0.319	0.257	0.419	0.977
1578.4	46.45	0.473	0.742	0.395	0.118	0.225	0.995
1654.2	48.41	0.481	0.609	0.412	0.346	0.269	0.968
1724.2	50.23	0.938	0.205	0.160	0.130	0.148	0.986
1802.6	52.43	0.654	0.232	0.683	0.210	0.042	0.993
1871.8	54.66	0.814	0.318	0.455	0.140	0.028	0.991
1950.4	57.2	0.451	0.695	0.434	0.140	0.313	0.993
2019.3	60.06	0.452	0.417	0.723	0.194	0.233	0.994
2100.2	65.61	0.736	0.204	0.461	0.330	0.236	0.960
2169.7	67.37	0.512	0.623	0.362	0.051	0.623	0.973
2250.1	69.41	0.479	0.135	0.772	0.251	0.270	0.979
2319.4	71.17	0.769	0.144	0.492	0.336	-0.001	0.967
2384.2	72.82	0.517	0.225	0.197	0.251	0.759	0.996
2453.7	74.32	0.796	0.124	0.525	0.134	0.190	0.978
2535.0	75.57	0.706	0.103	0.502	0.199	0.420	0.977
2604.2	76.63	0.877	0.044	0.383	0.192	0.017	0.955
2684.6	77.86	0.768	0.136	0.194	0.518	0.087	0.921
2784.7	80.35	0.809	0.105	0.510	0.148	0.179	0.980
2834.8	85.54	0.415	0.380	0.806	0.093	0.380	0.976
2904.9	88.57	0.735	0.191	0.617	0.077	0.077	0.969
2984.6	91.44	0.946	0.163	0.103	0.035	0.250	0.997
3050.3	92.74	0.975	0.097	0.144	-0.044	0.114	0.996
3130.8	94.41	0.901	0.188	0.030	0.320	0.038	0.952
3200.9	96.18	0.979	0.083	0.132	0.022	0.094	0.992
3280.6	98.2	0.971	0.090	0.203	0.047	0.008	0.994
3350.2	101.02	0.528	0.055	0.826	0.179	-0.043	0.997
3424.3	106.58	0.904	0.095	0.368	0.100	0.116	0.986
3493.8	111.63	0.952	0.093	0.244	0.145	-0.012	0.996
3573.8	114.58	0.863	0.246	0.260	0.074	0.333	0.989
3644.0	117.17	0.965	0.091	0.131	0.106	0.166	0.996
3724.0	118.36	0.886	0.076	0.376	0.046	0.248	0.996
3794.6	119.34	0.852	0.056	0.511	0.075	-0.026	0.996
3852.1	120.14	0.902	0.109	0.324	0.241	0.060	0.992
3922.9	121.12	0.878	0.051	0.444	0.089	-0.042	0.981
4001.9	122.21	0.766	0.090	0.511	0.217	0.253	0.968
4071.9	124.09	0.981	0.125	0.080	0.041	0.088	0.994
4114.6	125.54	0.901	0.340	0.015	0.163	0.090	0.962
4151.6	126.8	0.097	0.896	0.029	0.393	-0.037	0.970
4161.7	127.14	0.162	0.930	-0.031	0.312	0.034	0.990
4181.8	127.83	0.014	0.955	0.049	0.259	0.021	0.983
4221.8	129.19	-0.032	0.990	0.055	-0.031	-0.076	0.991
4261.6	130.54	-0.008	0.981	0.046	-0.085	-0.075	0.978
4301.7	131.89	0.060	0.970	0.106	-0.124	-0.028	0.972
4371.3	135.21	0.041	0.959	0.205	-0.117	-0.041	0.978
4451.5	139.77	0.214	0.833	0.380	0.304	-0.046	0.978
4522.2	143.78	0.509	0.756	0.047	0.360	0.135	0.981
4528.8	144.16	0.497	0.680	0.219	0.430	0.117	0.956

表5. 鹿島沖コア(MD01-2421)中の浮遊性有孔虫群集にOrtiz and Mix (1997)による全球的変換関数(GTF)のための群集(因子得点)を当てはめて計算された各因子負荷量.

Depth (cm)	Age (ka)	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4	Factor5	Factor6	Factor7	共通性
1.2	0.24	0.150	0.037	0.265	0.465	0.702	0.338	0.167	0.945
5.9	0.29	0.155	0.062	0.258	0.480	0.688	0.413	0.043	0.971
15.6	0.38	0.201	0.038	0.222	0.436	0.735	0.360	0.078	0.957
74.6	0.96	0.166	-0.011	0.393	0.527	0.560	0.357	0.074	0.906
155.6	1.77	0.210	0.031	0.200	0.486	0.478	0.620	0.033	0.935
225.5	2.61	0.281	0.037	0.110	0.490	0.712	0.274	0.447	0.917
305.5	3.59	0.351	0.010	0.160	0.505	0.624	0.387	-0.034	0.945
375.7	4.51	0.427	-0.007	0.151	0.607	0.427	0.419	0.023	0.931
453.3	5.53	0.496	-0.014	0.216	0.467	0.301	0.573	0.165	0.957
523.9	6.48	0.482	0.000	0.149	0.431	0.588	0.391	0.044	0.941
603.2	7.53	0.403	0.004	0.123	0.541	0.411	0.521	0.039	0.912
633.9	8.19	0.263	0.033	0.248	0.518	0.646	0.350	0.139	0.960
674.5	9.09	0.302	0.029	0.396	0.472	0.303	0.511	0.138	0.844
753.0	10.83	0.076	0.046	0.764	0.317	0.484	0.221	0.095	0.985
783.5	11.51	0.028	0.014	0.893	0.181	0.263	0.777	0.013	0.978
823.6	12.78	0.008	0.019	0.938	0.180	0.112	0.164	0.015	0.952
863.6	15.63	0.046	-0.029	0.619	0.414	0.458	0.265	0.072	0.842
902.1	16.42	0.017	0.020	0.921	0.079	0.161	0.332	-0.031	0.992
934.4	17.92	0.008	-0.008	0.949	0.122	0.028	0.186	0.013	0.952
951.4	18.71	0.007	-0.002	0.956	0.124	0.012	0.186	0.013	0.965
971.0	19.62	0.029	0.014	0.883	0.316	0.099	0.315	-0.014	0.990
1052.9	22.91	0.055	-0.004	0.540	0.340	0.705	0.250	0.035	0.972
1123.2	25.45	0.098	0.018	0.152	0.368	0.879	0.186	0.032	0.976
1203.3	28.35	-0.012	-0.007	0.564	0.584	0.477	0.070	0.047	0.894
1273.3	34.53	-0.019	-0.028	0.339	0.761	0.320	0.021	0.055	0.801
1353.2	39.35	0.025	-0.005	0.465	0.604	0.499	0.257	0.023	0.898
1421.9	41.95	0.015	-0.018	0.719	0.419	0.288	0.272	0.061	0.854
1508.4	44.64	0.021	-0.003	0.430	0.580	0.499	0.395	0.017	0.927
1578.4	46.45	0.006	0.006	0.685	0.553	0.373	0.214	0.018	0.967
1654.2	48.41	0.032	0.028	0.507	0.636	0.339	0.441	0.005	0.973
1724.2	50.23	0.059	0.025	0.142	0.450	0.838	0.224	0.018	0.979
1802.6	52.43	0.146	0.032	0.163	0.831	0.420	0.162	0.015	0.942
1871.8	54.66	0.093	0.040	0.251	0.660	0.638	0.180	0.041	0.950
1950.4	57.2	-0.003	0.026	0.616	0.620	0.349	0.257	0.006	0.953
2019.3	60.06	0.031	0.021	0.341	0.855	0.255	0.219	0.047	0.963
2100.2	65.61	0.182	-0.005	0.131	0.690	0.561	0.266	0.029	0.913
2169.7	67.37	0.118	0.023	0.554	0.595	0.341	0.397	0.058	0.952
2250.1	69.41	0.086	-0.016	0.052	0.882	0.265	0.225	0.099	0.920
2319.4	71.17	0.090	0.037	0.063	0.699	0.553	0.315	-0.008	0.907
2384.2	72.82	0.011	-0.035	0.138	0.508	0.485	0.314	0.084	0.619
2453.7	74.32	0.074	0.050	0.054	0.711	0.631	0.189	0.086	0.957
2535.0	75.57	0.189	0.018	0.031	0.733	0.555	0.142	0.054	0.905
2604.2	76.63	0.066	0.066	-0.002	0.567	0.694	0.115	0.176	0.913
2684.6	77.86	0.356	0.055	0.098	0.471	0.583	0.322	0.119	0.818
2784.7	80.35	0.186	0.032	0.052	0.733	0.621	0.069	0.065	0.970
2834.8	85.54	-0.004	0.053	0.314	0.873	0.191	0.121	0.021	0.914
2904.9	88.57	0.045	0.101	0.140	0.741	0.541	0.117	0.181	0.920
2984.6	91.44	0.049	0.014	0.100	0.390	0.889	0.147	0.043	0.979
3050.3	92.74	0.025	0.061	0.050	0.388	0.900	0.058	0.090	0.979
3130.8	94.41	0.140	0.041	0.099	0.338	0.790	0.385	-0.057	0.921
3200.9	96.18	0.063	0.063	0.027	0.384	0.898	0.114	0.005	0.976
3280.6	98.2	0.159	0.029	0.056	0.439	0.851	0.060	0.038	0.951