

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

大串 健一*¹・根本 直樹*²・村山 雅史*³・中村 俊夫*⁴・塚脇 真二*⁵



2本の海底コア中の底生有孔虫群集に基づいて、過去約2万年間の親潮域における海洋環境を推定した。襟裳岬沖のST-5コア(水深2,098m)および釧路沖のST-21コア(水深1,083m)の底生有孔虫群集は、いずれも最終氷期から完新世への過渡期に著しい変化を示す。ST-5コアの最終氷期の群集が、現在の黒潮-親潮混合水域における水深2,000m付近のそれと類似することから、襟裳岬沖の深層水は最終氷期から現在まで変化しなかったと考えられる。しかし、完新世には海洋表層の生物生産が高くなったため、海底で有孔虫殻の選択的溶解が起こり、完新世の群集組成は大きく変化すると判断される。一方、ST-21コアの最終氷期の群集で *Epistominella pacifica* が優勢であることから、釧路沖の水深1,000m付近では北方起源の中層水の影響が最終氷期に強かったと示唆される。しかし、完新世前期には現在に近い低酸素で栄養塩に富んだ親潮中層水が成立し、中期に溶存酸素量は一時的に上昇するものの、後期になると再び低酸素で栄養塩に富んだ中層環境が存在したと推定される。

キーワード：最終氷期、親潮、古海洋環境、底生有孔虫

I. はじめに

現在の北部北太平洋では深層水は形成されていない。しかし、Keigwin(1998)は、オホーツク海ならびに天皇海山列から採取された海底コアの底生有孔虫の炭素同位体比測定結果をまとめて、最終氷期の北部北太平洋では水深2,000m付近に水塊の境界が存在し、それ以深では現在と同じく栄養塩に富む環境であったが、それ以浅では現在よりも栄養塩に乏しく、低塩分の水が循環していたと推定した。彼の推定が正しい場合、最終氷期に北太平洋の水深2,000m以浅に存在した栄養塩に乏しい水塊は、現在の北太平洋で水深1,000m以浅を循環する北太平洋中層水(North Pacific Intermediate Water: NPIW)が強化されたものと考えられる。

底生有孔虫は、浅海から深海域まで広く分布し、その

群集は堆積物-底層水の境界層の環境指標となる。1970年代には、水塊が深海性底生有孔虫の分布を規制するもっとも重要な因子の一つとみなされ、炭酸塩補償深度(Carbonate Compensation Depth: CCD)の深い大西洋を中心に、底生有孔虫群集が最終氷期の深層循環の復元に用いられた(Schnitker, 1974; Streeter and Shackleton, 1979)。さらに近年では、深海性底生有孔虫群集の変化が氷期間氷期の生物生産量の変化に関連することが報告され、群集変化の解釈についての再検討が進みつつある(Thomas *et al.*, 1995)。一方、北太平洋の深海性底生有孔虫研究は、CCDが大西洋に比べて浅いことから研究地域が限られ、十分に進んでいなかった。しかし、1990年代になると、まず黒潮域において第四紀後期の深海性底生有孔虫群集に関する研究がなされるようになった(例えば、Ujiie, 1990; 大場・安田, 1992; Xu

1999年9月11日受付。2000年5月13日受理。

*1 筑波大学地球科学系 〒305-8571 つくば市天王台1-1-1. E-mail: ohkushi@arsia.geo.tsukuba.ac.jp

*2 弘前大学理工学部地球環境学科 〒036-8561 弘前市文京町3.

*3 北海道大学大学院地球環境科学研究科 〒060-0810 札幌市北区北10条西5丁目(現住所: 高知大学海洋コア研究センター 〒780-8520 高知市曙町2-5-1)。

*4 名古屋大学年代測定総合研究センター 〒464-8602 名古屋市中千種区不老町。

*5 金沢大学工学部土木建設工学科 〒920-1192 金沢市角間町, 金沢大学総合教育棟。

and Ujiie, 1994). 一方、親潮域は最終氷期における深層水形成の有力な候補海域であるオホーツク海に近いことから、深層水の形成やNPIWの変遷に関する研究への貢献が期待される海域であるが、これまで有孔虫研究および古海洋学的研究はその数が限られていた(Kallel *et al.*, 1988; Duplessy *et al.*, 1989).

今回、著者らは親潮域から得られた2本のピストンコア(KT90-9 ST-5ならびにST-21)の底生有孔虫群集を検討した。分析の結果、いずれのコアでも最終氷期から完新世にかけての著しい群集変化が観察された。古環境推定のために、本コアの化石群集を現生群集の地理的分布データと比較した。現生群集の分布データとして、親潮域はIshiwada(1964), Ikeya(1971), Thompson(1980)を、日本以北の北部北太平洋はSaidova(1961)を、親潮-黒潮混合水域はMatoba(1976)を使用した。加えて、堆積年代を確実なものとするため、加速器質量分析計(AMS)による ^{14}C 年代測定をST-5コアの2層準およびST-21コアの3層準で行った。その結果、親潮域の過去約2万年間の底生有孔虫群集および古海洋変遷に関する新しい知見が得られたので、ここに報告する。

II. 試料および方法

本研究で使用した2本のピストンコアは、東京大学海洋研究所海洋研究船「淡青丸」のKT90-9次航海(Tsukawaki and Nemoto, 1991)で採取された。ST-5コアは、襟裳岬南方の大陸斜面(北緯 $41^{\circ}06.9'$ 、東経 $143^{\circ}30.6'$ 、水深2,098 m)より、一方、ST-21コアは釧路市南方の大陸斜面(北緯 $42^{\circ}27.1'$ 、東経 $144^{\circ}19.4'$ 、水深1,083 m)よりそれぞれ得られた(図1)。

全長約480 cmのST-5コアは、上半部約240 cmの暗緑色珪藻質半遠洋性泥および下半部の暗緑色珪藻質砂質泥から構成され、粗粒シルト～細粒砂からなる層厚1 cm以下のタービダイト砂層が挟在する(図2, 左)。これらのタービダイト砂層は、一部生物擾乱を受けているが13枚識別され、その一部には軽微な浸食基底面をとまなう。また、海底面下約300 cmには、白色軽石よりなる火山灰層が挟在する。上半部の珪藻質半遠洋性泥は、最上部約10 cmを除いて、全体を通して均質かつ緻密であり、中程度の生物擾乱が全層準にわたって認められるほか、全体に細粒砂大の白色軽石が散在する。一方、下半部の砂質泥は全体を通して緻密であり、白色軽石や中～極粗粒砂がとくに下位層準に散在する。おもに砂岩からなる細～中礫大の角礫が産出し、これらはその産状からアイスラフトと判断される。生物擾乱は、最下部を除い

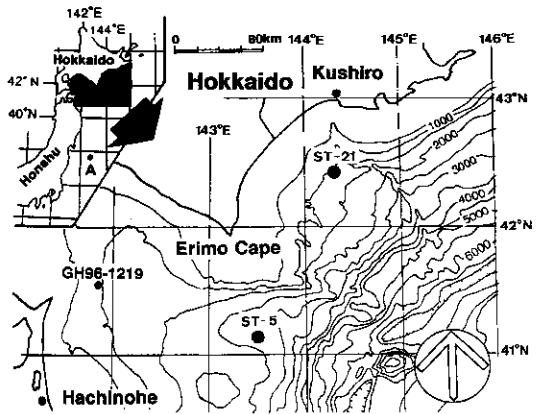


図1 釧路沖(KT90-9 ST-21)ならびに襟裳岬沖(KT90-9 ST-5)のそれぞれ大陸斜面から得られた2本のピストンコアの位置。「A」および「GH-96 1219」は、Matoba(1976)による底生有孔虫群集の表層試料、西村ほか(1997)で分析されたコアのそれぞれ採取位置を示す。

Tsukawaki and Nemoto (1991)を一部改変。

Fig. 1 Location map of two piston core samples collected from the continental slope off Kushiro (core KT90-9 ST-5) and off Erimo Cape (core KT90-9 ST-21). "A" and "GH96-1219" indicate the position of the benthic foraminiferal assemblage occurring around a depth of 2,000 m under the Kuroshio-Oyashio confluence zone reported by Matoba (1976) and the position of core GH96-1219 analyzed by Nishimura *et al.* (1997), respectively.

ては比較的軽微である。

全長約450 cmのST-21コアは、上半部約250 cmの暗緑色珪藻質半遠洋性泥および下半部の暗緑色珪藻質砂質泥から構成され、粗粒シルト～細粒砂からなる層厚1 cm以下のタービダイト砂層が10枚挟在するほか、海底下約20 cmには、白色軽石よりなる火山灰層が挟在する(図2, 右)。上半部の珪藻質半遠洋性泥は、最上部約10 cmを除いては全体を通して均質かつ緻密であり、中程度の生物擾乱が全層準にわたって認められる。一方、下半部の砂質泥は全体をとおして緻密であり、白色軽石や中粒砂～細礫がその下位層準に散在する。生物擾乱の発達は比較的軽微である。

有孔虫分析用試料は、表層から20 cm間隔に2 cmの厚さで、ST-5コアでは24試料、ならびにST-21コアで23試料の合計47試料を採取した。それぞれの試料は

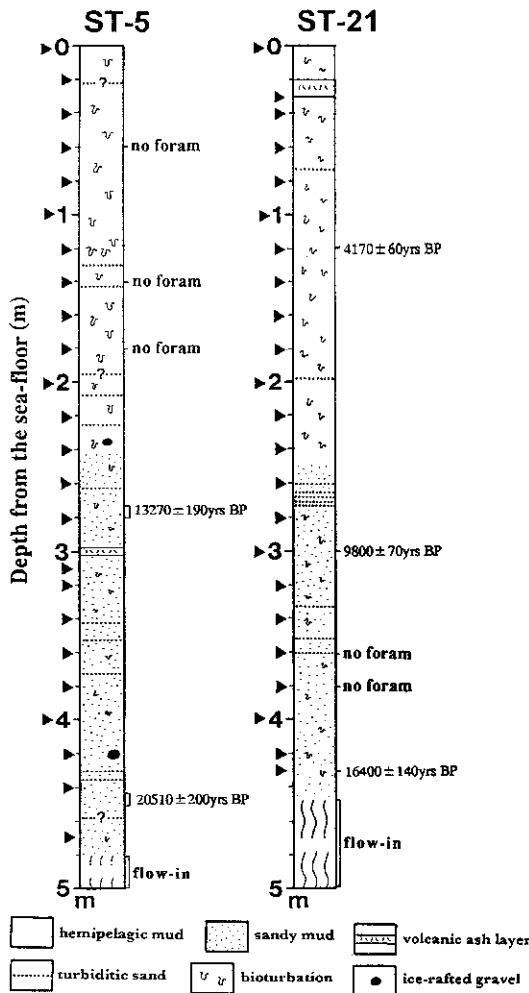


図2 ST-5コアおよびST-21コアの柱状図
柱状図左側脇の三角形は群集解析用試料採取層準、また柱状図右側脇の「no foram」は有孔虫が産出しなかった層準をそれぞれ示す。

Fig. 2 Column of cores ST-5 コア and ST-21
Triangle aside the column shows the sample horizon analyzed in this study. "No foram" shows that there is no occurrence of foraminiferal specimens.

50°C で乾燥した後、乾燥重量を測定し、その後開口径 75 μm の篩で水洗した。有孔虫の拾い出しは、底生有孔虫が 300 個体以上、浮遊性有孔虫が 100 個体程度になるような分割試料で可能なかぎり行った。拾い出した有孔虫が規定数に達しない場合には、すべての個体を拾い出した。

AMS¹⁴C 年代測定は、有孔虫を多く含む層準を選定し、ST-5 コアの 444~450 cm および 274~280 cm の 2 層準、そして ST-21 コアの 431~433 cm, 301~303 cm, 121~123 cm の 3 層準について行った。測定用試料として、ST-21 コアの 121~123 cm の 1 層準は底生有孔虫を用い、それ以外の層準は浮遊性有孔虫を用いた。浮遊性有孔虫および底生有孔虫の年代分析は、ともに種にかかわらず約 10 mg を用いた。測定用試料の有孔虫個体の拾い出しにあたっては、群集解析用試料と同様に処理した。ST-5 コアの 2 試料については、試料処理法は村山ほか(1993)に、測定法は Nakamura *et al.* (1985) にそれぞれ従い、名古屋大学年代測定資料研究センターのタンデロン加速器質量分析計を用いて測定した。ST-21 コアの 3 試料の測定は、地球科学研究所を通して Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory に依頼して行った。なお、¹⁴C 年代値は ¹³C による同位体分別効果を補正し、海水のレザバー効果の影響を除くため 400 年の補正を行った(Bard, 1988)。また、¹⁴C の半減期は 5,568 年として計算した。

III. 結 果

1. 堆 積 年 代

ST-5 コアの AMS¹⁴C 年代値は、444~450 cm 層準で 20,510 ± 200 ¹⁴C yrs BP、274~280 cm 層準で 13,270 ± 190 ¹⁴C yrs BP である。ST-21 コアの AMS¹⁴C 年代値は、431~433 cm 層準で 16,400 ± 140 ¹⁴C yrs BP、301~303 cm 層準で 9,800 ± 70 ¹⁴C yrs BP、121~123 cm 層準で 4,170 ± 60 ¹⁴C yrs BP である(表1)。なお、ST-21 コアの 121~123 cm 層準の AMS¹⁴C 測定は底生有孔虫を用いているため、400 年よりも大きいレザバー効果が予想される。したがって、この層準の堆積年代は 4,170 ± 60 ¹⁴C yrs BP よりも新しいと考えられる。本研究で用いた両コアの有孔虫殻の酸素同位体比が Oba (1991) によって報告されている。得られた AMS¹⁴C 年代を Stuiver *et al.* (1998) に基づいて暦年代に変換すると、ST-5 コアの 274~280 cm 層準は 15,412 yr cal BP、そして ST-21 コアの 301~303 cm 層準はおよそ 10,400 yr cal BP の暦年代値を示す。これらの年代は、酸素同位体比曲線に基づいて、ST-5 コアについては最終氷期最寒期以降の急激に温暖化する時期、そして ST-21 コアについては完新世の開始期に対応している。本研究では AMS¹⁴C 年代値ならびに酸素同位体比曲線に基づき、ST-5 コアではコア基部から 250 cm 層準付近までが最終氷期に、それより上位が完新世にそれぞれ相当する

表 1 有孔虫の AMS¹⁴C 年代

Table 1 Radiocarbon ages of foraminifera

Core	Depth in core (cm)	Sample code	Sample	¹⁴ C age (yrs BP)	δ ¹³ C	Method
ST-5	274-280	NUTA-4630	planktic foraminiferal tests	13,270±190	0.3	AMS
ST-5	444-450	NUTA-4910	planktic foraminiferal tests	20,510±200	0.3	AMS
ST-21	121-123	Beta-137686	benthic foraminiferal tests	4,170±60	-2.1	AMS
ST-21	301-303	Beta-137687	planktic foraminiferal tests	9,800±70	-0.1	AMS
ST-21	431-433	Beta-137688	planktic foraminiferal tests	16,400±140	-6.9	AMS

AMS: accelerator mass spectrometry, NUTA: Dating and Materials Research Center, Nagoya University

Beta: Beta Analytic Inc., Radiocarbon ages are deducted by reservoir age (400 years).

と判断される(図3)。同様に、ST-21 コアではコア基部から300 cm 層準付近までが最終氷期に、それより上位が完新世に相当すると考えられる(図4)。

2. 底生有孔虫群集の分析結果

襟裳岬沖 ST-5

図3に、ST-5 コアの浮遊性有孔虫数、底生有孔虫数および底生有孔虫の群集組成を酸素同位体比曲線(Oba, 1991)とあわせ示す。底生有孔虫数は、最終氷期の441 cm 層準で1,951 個体/g と最大となる。その後、361 cm 層準でかなり減少し179 個体/g となるものの、341 cm 層準でまた1,279 個体/g と高くなる。これに対して、完新世の底生有孔虫数は、241 cm 層準の331 個体/g とやや高い値を示す層準以外は、0~159 個体/g の範囲内にあり、最終氷期のそれと比較して明らかに低い値を示す。なお、完新世の底生有孔虫数の平均値は69 個体/g である。また、浮遊性有孔虫数も最終氷期に高い傾向にある。

底生有孔虫群集組成をみると、最終氷期から完新世への過渡期での大きな変化が認められる。ここではコアトップから261 cm 層準までの層準の群集を完新世の群集、281~471 cm 層準の群集を最終氷期の群集として扱う。最終氷期の群集は、*Buliminella tenuata*, *Bulimina aculeata*, *Cassidulina reniforme*, *Elphidium batiale*, *Nonionellina labradorica* が優勢で、*Stainforthia complanata*, *Chilostomellina fimbriata*, *Globobulimina* spp. が付随する。これに対して、完新世の群集は、おもに *E. batiale*, *Planocassidulina norcrossi*, *N. labradorica*, *Uvigerina akitaensis* から構成され、*S. complanata* ならびに *Globobulimina* spp. を随伴し、最終氷期の優勢種である *B. tenuata* と *B. aculeata* とが産出しなくなることの特徴とする。121 cm 層準は、底生有孔虫数が著しく低く、*U. akitaensis* および *E. batiale* を数個体のみ産したにすぎない。また、それ以外の3層準(61, 141, 181 cm)は有孔虫をまったく産しなかった。

釧路沖 ST-21 コア

図4に、ST-21 コアの浮遊性有孔虫数、底生有孔虫数および底生有孔虫の群集組成を酸素同位体比曲線(Oba, 1991)とともに示す。底生有孔虫数は、コア最下部および最終氷期から完新世への過渡期にあたる301 cm 層準で多く、とくに後者では3,000 個体/g 以上ときわめて高い値を示す。しかし、それ以外の層準では0~355 個体/g と低い値である。なお、361 cm 層準ならびに381 cm 層準では有孔虫が産出しなかった。完新世の底生有孔虫数の平均値は107 個体/g である。浮遊性有孔虫数は、完新世の80~120 cm 層準でやや高い値がみられるものの底生有孔虫数と同じ傾向を示す。

一方、底生有孔虫群集組成は、卓越種に基づき最終氷期、完新世前期、完新世中期および完新世後期にそれぞれ対応する4群集に分けられる。最終氷期の群集(301~431 cm 層準)には、*Epistominella pacifica*, *Uvigerina akitaensis*, *Cassidulina reniforme* の3種が優勢で、*Elphidium batiale*, *Nonionellina labradorica*, *Globobulimina* spp. が付随する。なお、361 cm および381 cm の2層準では底生有孔虫がまったく認められない。完新世前期の群集(221~281 cm 層準)は、おもに *E. batiale*, *Bolivina spissa*, *U. akitaensis*, *N. labradorica*, *Takayanagia delicata*, *Globobulimina* spp. により構成され、*Brizalina pseudobeyrichi*, *Chilostomellina fimbriata*, *Bulimina striata* を随伴する。完新世中期の群集(81~201 cm 層準)には、*E. batiale* が31~87% と卓越し、*C. fimbriata*, *T. delicata*, *N. labradorica*, *B. spissa* をわずかにともなう。完新世後期の群集(1~61 cm 層準)は完新世前期の群集と同様な種構成であり、*E. batiale*, *B. spissa*, *Brizalina pacifica*, *T. delicata* を主体とし、*N. labradorica*, *C. fimbriata*, *B. striata*, *P. norcrossi* を随伴する。

IV. 考 察

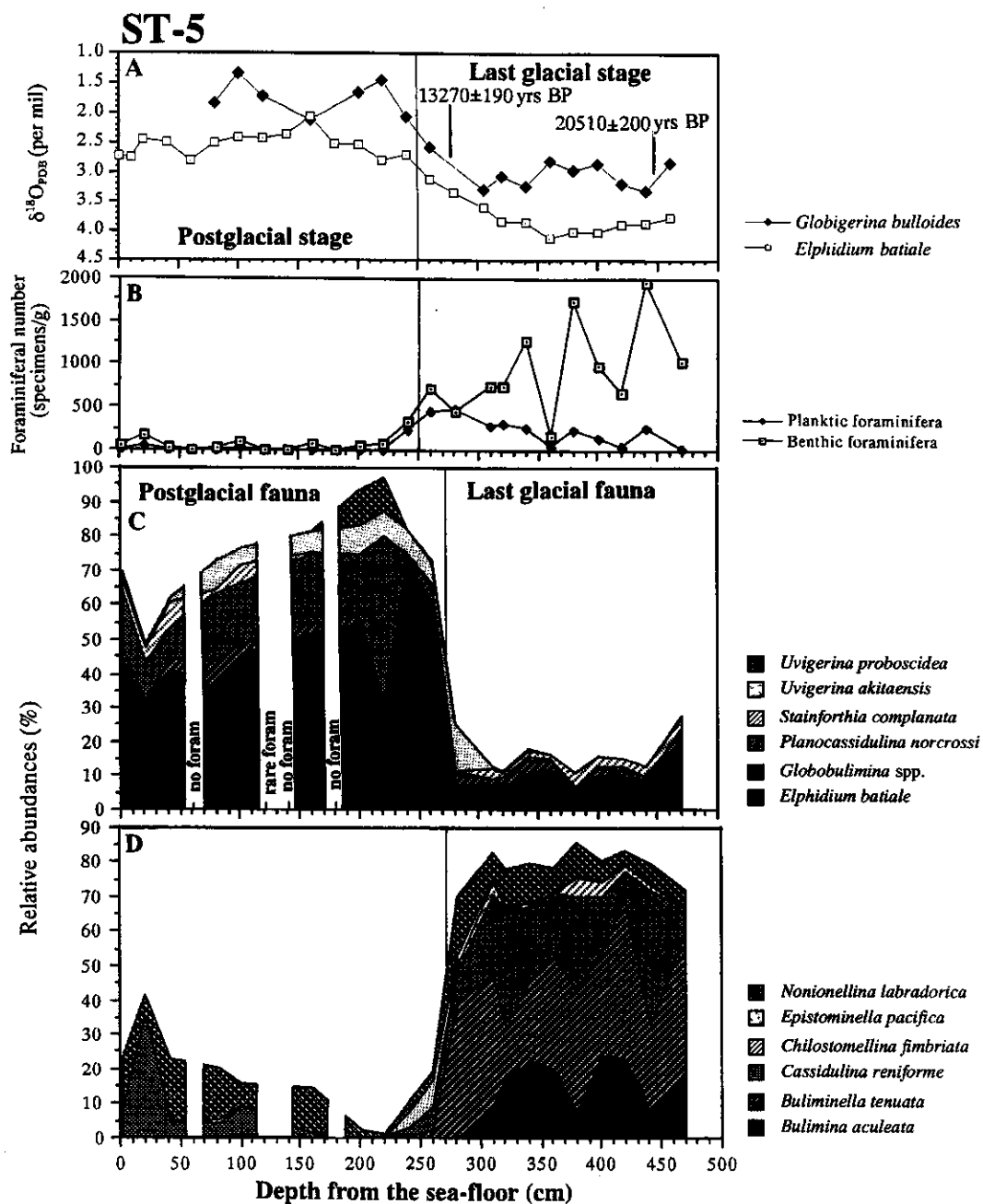
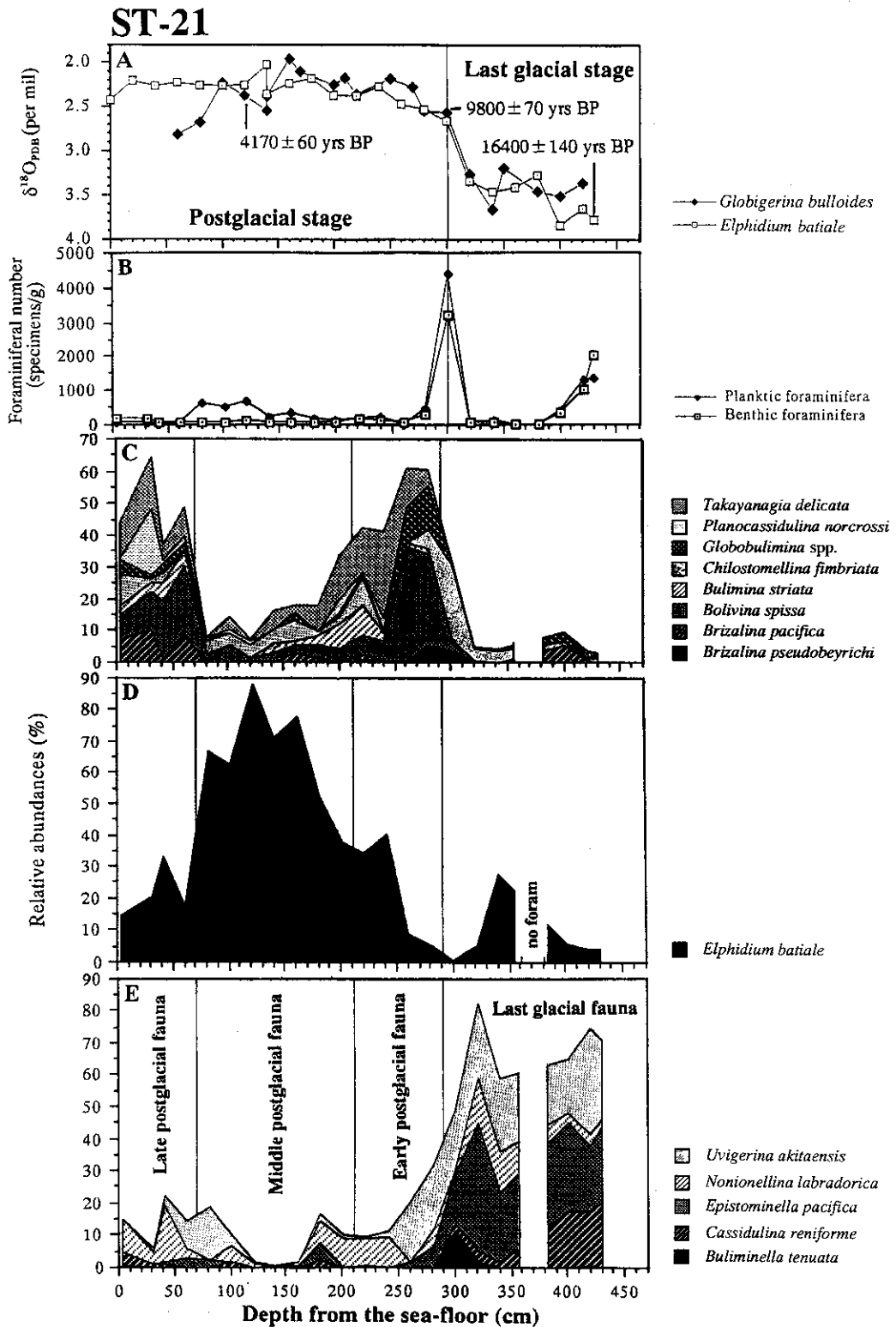


図3 ST-5 コアの酸素同位体比(A: Oba, 1991), 浮遊性有孔虫数と底生有孔虫数(B)および主要な底生有孔虫種の頻度分布

3段目には完新世に多い種群(C), 4段目には最終氷期に多い種群(D)の産出頻度をそれぞれ表す。

Fig. 3 Vertical profiles of foraminiferal $\delta^{18}O$ (A: Oba, 1991), planktic foraminiferal number and benthic foraminiferal number (B), and the relative abundance of benthic foraminifera (C and D) in core ST-5. The third and lowest panels show abundant species in the Holocene (C) and the last glacial (D), respectively.



1. 襟裳岬沖 ST-5 コア

最終氷期の群集は、*Bulimina aculeata*, *Buliminella tenuata*, *Cassidulina reniforme* の多産で特徴づけられ、*Nonionellina labradorica* および *Elphidium batiale* を随伴する。この種構成に基づき、この群集は仙台沖の混合水域下(水深2,000 m 付近)の *Elphidium batiale*-*Bulimina aculeata* 群集(Matoba, 1976)に対比される。したがって、最終氷期の襟裳岬沖水深2,000 m 付近では、現在の親潮と黒潮とが会合する混合水域の群集に類似する群集が卓越していたと考えられる。またこの群集は、北太平洋深層水に対応するものと考えられる(的場, 1983; Inoue, 1989)。しかし、融氷期(deglaciation)になると、有孔虫群集が大きく変化し、大局的にみるとその後は *E. batiale* の優越が現在まで継続している。両群集の環境要因の違いを理解するため、現在の親潮域の群集と混合水域の群集の関係を検討する必要がある。親潮域となる襟裳岬沖で完新世前期から現在にかけて観察される群集は、*E. batiale* の卓越により特徴づけられ、*U. akitaensis* および *N. labradorica* を随伴する。これらの種が多産することで、完新世の群集は混合水域の同じ水深に分布する現生群集(Matoba, 1976)と共通する。しかし、この群集は混合水域で多産する *Bulimina aculeata* および *Buliminella tenuata* を欠くことで、混合水域の群集とは明らかに異なる。親潮域ならびに混合水域のそれぞれ水深2,000 m の深層水がほとんど同じ性質をもつこと(Moriyasu, 1972)を考慮すると、このような群集の違いはそれ以外に原因を求める必要がある。

その原因として考えられるのは、炭酸カルシウムの溶解の影響である。Herguera(1992)は、底生有孔虫の生産量が海洋表層の生物生産と正の相関を示すことを明らかにした。生物生産が高い親潮域(Glover *et al.*, 1994)では、底生有孔虫についても高い生産量が期待される。しかし、ST-5 コアの浮遊性・底生有孔虫数はともに完新世に著しく減少している。生物生産が親潮域よりも低い黒潮域の水深2,000 m 付近では、100 個体/g 程度の底生有孔虫数が報告されている(Akimoto, 1990)。それに対して、ST-5 コアの完新世の底生有孔虫数は平均69 個

体/g であり、黒潮域の値よりも明らかに低い。さらに、完新世の浮遊性有孔虫には脆い殻をもつ個体が多い。ST-5 コアで観察される完新世の有孔虫数の低下は、溶解の影響によると考えられる。完新世の卓越種である *E. batiale*, *U. akitaensis*, *N. labradorica* は、混合水域では *Bulimina aculeata* ならびに *Buliminella tenuata* より深い水深にまで分布し、漸深海帯からリソクラインに深まで典型的に産出することが知られる(Thompson, 1980)。また、Mackensen *et al.*(1990)は、ウェッデル海の表層堆積物には *B. aculeata* が生体群集で多産するにもかかわらず、遺骸群集で産出しないことから、死後に殻がすみやかに溶解することを報告している。したがって、襟裳岬沖大陸斜面の完新世の底生有孔虫群集は、溶解に耐性のある殻を有する種群からのみ構成されたと考えられる。

完新世の炭酸カルシウム溶解の主因として、親潮域表層の高い生物生産性があげられる。北太平洋の亜寒帯水域では深層水の上端が浅いため、表層水に栄養塩を供給しやすい(Tsunogai, 1987)。また、襟裳岬沖南方は津軽暖流や黒潮暖水塊の存在によって形成される水塊フロントの影響を受けやすい(Conlon, 1982)。Shiomoto *et al.*(1994)は、この水塊フロント付近では生物生産がとくに高いことを報告している。したがって、襟裳岬沖では、生物生産が黒潮域や混合水域に比べてより高いと考えられる。そして、生物生産が高いために、海底に大量の有機物が供給されることとなり、これらは底生生物により活発に分解される。その結果、放出された二酸化炭素が間隙水の pH の低下を導き、最終的に炭酸カルシウムの溶解が促進される(Archer and Maier-Reimer, 1994)。実際、生物生産の高い現在の親潮域は、低い黒潮域に比べてより浅いところでも炭酸カルシウムの溶解が起こっている。すなわち、東北日本沖太平洋のリソクラインが水深2,000 m 付近に位置する(Thompson, 1980)のに対して、黒潮域のリソクラインは水深3,200 m 付近に位置する(Akimoto, 1990)。西村ほか(1997)は、ST-5 コアよりも西側の津軽暖流影響下の水深1,000 m 付近から採取された GH96-1219 コア(図1)の有孔虫数および含泥

図4 ST-21 コアの酸素同位体比(A: Oba, 1991)、浮遊性有孔虫数と底生有孔虫数(B)、主要な底生有孔虫種の頻度分布3段目には完新世前期および後期に多い種群(C)、4段目には *Elphidium batiale*(D)、5段目には最終氷期に多い種群(E)の産出頻度をそれぞれ表す。

Fig. 4 Vertical profiles of foraminiferal $\delta^{18}\text{O}$ (A: Oba, 1991), planktic foraminiferal number and benthic foraminiferal number (B), and the relative abundance of benthic foraminifera (C-E) in core ST-21. The third, fourth, and lowest panels show abundant species in the early and late Holocene (C), *Elphidium batiale* (D), abundant species in the last glacial (E), respectively.

率を分析し、下北半島沖では3,000~3,800年前頃から炭酸カルシウムの保存性が悪化することを報告している。彼らは、海洋表層の生物生産の変化をその第1の理由としてあげたうえで、津軽海峡を通しての太平洋と日本海との海水交換に関連する重要な問題として指摘している。

ST-5 コアの完新世における有孔虫殻の溶解は、完新世の生物生産が最終氷期よりも高かった可能性を示している。これは、堆積物に認められる生物擾乱が最終氷期よりも完新世に卓越し、完新世に底生物の活動がより活発であったことから支持される。また、南川・養島(1998)は、ST-5 コアとほぼ同じ地点から採取されたコアの有機物含有量が最終氷期の標準で最も低下することを報告している。よって、最終氷期の襟裳岬沖では、生物生産性が低下していたために、海底で炭酸カルシウムがよく保存され、その結果として現在の混合水域の群集と同様な組成の群集が保存されたと推測される。最終氷期から完新世にかけての群集変化は、酸素同位体比曲線の急激な変化が始まる時期に起こっており、その群集変化の理由として汎世界的な温暖化の影響が考えられる。

以上の考察をとりまとめると、最終氷期の襟裳岬沖における底生有孔虫群集は、北太平洋深層水に対応する混合水域の水深2,000 m付近に分布する現生群集に対比され、親潮域の水深2,000 m付近では最終氷期から現在まで深層水の大きな変化がなかったと推定される。これは、最終氷期の水深2,000 m以深は現在と同様に、栄養塩に富む環境であったとする Keigwin(1998)の解釈に整合的である。また、最終氷期に多産する *Bulimina aculeata* および *Buliminella tenuata* は、有機物生産量が高い海域の漸深海帯の卓越種である(Jannink *et al.*, 1998)ことから、最終氷期の襟裳岬沖親潮域の生物生産は完新世よりは低いものの、現在の混合水域と同程度であったと推定される。

2. 釧路沖 ST-21 コア

まず有孔虫殻の溶解について考える。釧路沖で採取された ST-21 コアの完新世中期の群集は、ST-5 コアの完新世の群集と同じく *E. batiale* の卓越を特徴とすることから、これもやはり溶解の影響が考えられる。浮遊性有孔虫は底生有孔虫に比べて溶解の影響を一般に受けやすい(Berger, 1973)。ST-21 コアでも ST-5 コアと同様に完新世に有孔虫殻の溶解があったとするならば、ST-21 コアからは浮遊性有孔虫はほとんど産出しないはずである。しかしながら、浮遊性有孔虫は完新世中期に多産するのみならず、底生有孔虫数と種組成の変化との間に明

確な対応関係はみられない。したがって、ST-5 コアのように、ST-21 コアで完新世に炭酸カルシウムの顕著な溶解があったとは解釈できない。このおもな理由として、ST-21 コアがリソクラインよりも約1,000 m 浅い水深から採取されていることがあげられる。

ST-21 コアの有孔虫群集は、最終氷期における *N. labradorica* ならびに *C. reniforme* の多産および完新世における *E. batiale* の多産で、ST-5 コアの群集と共通する。しかし、これら以外に ST-5 コアと ST-21 コアとで共通した産出傾向をもつ種は少なく、このことは生息水深の違いと炭酸カルシウム溶解の影響をおもに反映していると考えられる。

最終氷期(16,400~9,800 yrs BP)の底生有孔虫群集は、*Epistominella pacifica*, *Uvigerina akitaensis*, *Cassidulina reniforme* の産出により特徴づけられ、*E. batiale*, *N. labradorica*, *Globobulimina* spp. が付随する。*E. pacifica* は、北部北太平洋やベーリング海の水深100~1,700 m に産出し、溶存酸素極小層の位置する水深200~500 m で多産する(Saidova, 1961; Lipps, 1965)が、現在の日本近海やそれ以南の海域ではほとんど産出しない。したがって、*E. pacifica* は日本より北方の寒流系中層水域の特徴種といえる。一方、*C. reniforme*, *E. batiale*, *N. labradorica* は、親潮域から混合水域つまり亜寒帯水域の漸深海帯から深海帯にかけて多産する。したがって、釧路沖における最終氷期の底生有孔虫群集は寒流系中層水群集といえ、現在の1,000 m 以浅を南下する北方起源の中層水が最終氷期に強化されたことを反映していると推定される。

親潮は、東カムチャツカ海流の表層水がオホーツク海表層水との混合により変質を受けた結果として形成される。その影響は水深500~1,000 m の中層にも及んでおり、親潮中層水(水温2.5~3.0°C, 塩分33.7~34.3%, 溶存酸素量約1.0 ml/l)は東カムチャツカ海流の中層水(水温3.0~3.5°C, 塩分34.2~34.4%, 溶存酸素量1.0 ml/l 以下)よりもわずかながら低温、低塩分、高酸素である(永田ほか, 1992)。*E. pacifica* の多産がどちらの中層水の寄与の増加に対応しているかは、この種の時空分布や生態がまだ十分に明らかではないので判断できない。したがって、最終氷期の北部北太平洋の水深2,000 m 以浅の中層域では、完新世に比べて相対的に栄養塩に乏しく、塩分の低い水が循環していたとする Keigwin(1998)の解釈を検証するため、今後のさらなる研究が必要である。

最終氷期から完新世前期にかけての群集変化は、酸素

同位体比曲線の変化がもっとも急な時期の初期から始まっており、汎世界的な温暖化に対応するものと考えられる。完新世前期の群集は、*Bolivina spissa*, *Takayanagia delicata*, *E. batiale*, *N. labradorica*, *Globobulimina* spp. で特徴づけられ、これらは *B. spissa* の卓越を特徴とする現在の親潮中層水域の群集 (Ishiwada, 1964) と類似する。また、この層準の試料には北方起源の中層水の特徴種である *E. pacifica* がわずかに含まれているが、この頻度は徐々に低くなる。したがって、この時期に現在のような中層環境の成立が始まったものと推定される。しかし、完新世前期の群集は、*B. spissa*, *Globobulimina* spp., *Bolivina pseudobeyrichi* などの貧酸素指標種 (Quinterno and Gardner, 1987) を多く含んでおり、この時期は過去 16,400 年間で溶存酸素量がもっとも低かったと推定される。

完新世中期になると、*E. batiale* のみが 80% 近くを占める単純な群集へと変化している。この種が溶存酸素極小層に深に広く分布すること、そして完新世中期の群集で貧酸素指標種が前期に比べ減少していることから、中期になると中層水の溶存酸素量が若干上昇したと考えられる。しかし、水深 1,000 m 付近でこの種の多産する環境状態は明らかではないので、今後のさらなる検討が必要である。

完新世後期の群集は、*B. spissa*, *T. delicata*, *E. batiale*, *N. labradorica* で構成され、完新世前期の群集にかなり近くなる。そしてこの群集は、釧路沖の中層水域の現生群集 (Ishiwada, 1964) と類似する。現在の親潮域では、溶存酸素極小層 (約 1.0 ml/l) が水深 500~1,800 m 付近に位置している (永田ほか, 1992)。したがって、完新世後期には再び低酸素で高栄養塩を特徴とする親潮中層水環境が形成されたと推定される。

V. まとめと今後の課題

最終水期の親潮域襟裳岬沖の水深 2,000 m 付近では、現在と同様に栄養塩に富んだ深層水が分布していた可能性が示唆される。この地点の生物生産は、最終水期よりも完新世で増加し、その結果として海底で有孔虫殻の選択的溶解が起こった。このため、最終水期から完新世にかけての群集組成は、見かけ上大きく変化したと判断される。一方、釧路沖水深 1,000 m 付近では、最終水期には北方起源の中層水の影響が強かったと推定される。しかし、完新世前期には北方起源中層水の影響がやや弱まり、現在に近い低酸素で栄養塩に富んだ親潮中層水が成立した。その後、完新世中期に溶存酸素量が一時的に上

昇するものの、完新世後期には再び低酸素で栄養塩に富んだ中層環境が存在したと推定される。

現在の親潮域では、溶存酸素極小層 (約 1.0 ml/l) が水深 500~1,800 m にかけて位置している。ST-21 コアの完新世における群集変化は、溶存酸素極小層の分布水深などの変化を反映したものと考えられる。親潮の性質を決める、2つの親潮の起源水であるオホーツク海水および東カムチャツカ海流水のそれぞれの寄与の量的変化が、完新世の群集変化そして溶存酸素極小層の変化に影響を与えている可能性もある。吉田 (1988) は、現在の道東沿岸の水深 300 m 以浅が季節的にオホーツク海水の影響を受けていることを報告している。オホーツク海水の中層水は酸素に富んでおり、その状況が強まった場合には、親潮域の中層水にも影響するだろう。

本研究では水深 1,000 m 付近の環境復元において、NPIW の影響を特定することができなかった。今後、最終水期以降の親潮ならびにそれに深く関係する NPIW のそれぞれの変遷を明らかにするために、親潮域において浮遊性・底生微化石の群集解析、堆積相解析、地球化学的解析を組み合わせた総合的な古海洋研究が必要となる。

謝辞 本研究を進めるにあたり、堆積物試料を提供していただいた東京大学海洋研究所の平 朝彦教授、議論していただいた地質調査所海洋地質部の西村 昭博士、田中裕一郎博士、元地質調査所燃料資源部の名取博夫博士および筑波大学地球科学系の小笠原憲二郎教授、サンプリングに協力していただいた JAMSTEC の阿波根直一博士、東京大学海洋研究所の江口暢久博士、北海道大学大学院地球環境科学研究科の板木拓也氏、原稿の修正のために有益なご助言をいただいた編集委員および査読者の方々に厚くお礼申し上げます。本研究は、筑波大学から学内プロジェクト研究の奨励研究「親潮流域における過去2万年間の古海洋環境変動に関する研究」として助成を受けた。

引用文献

- 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. (Geology), 60, 139-223.
- Archer, D. and Maier-Reimer, E. (1994) Effect of deep-sea sedimentary calcite preservation on atmospheric CO₂ concentration. *Nature*, 367, 260-263.

- Bard, E. (1988) Correction of accelerator mass spectrometry ^{14}C ages measured in planktonic foraminifera: paleoceanographic implications. *Paleoceanography*, 3, 635-645.
- Berger, W.H. (1973) Deep-sea carbonates: Pleistocene dissolution cycles. *Jour. Foram. Res.*, 3, 187-195.
- Conlon, D.M. (1982) On the outflow modes of the Tsugaru warm current. *La mer*, 20, 60-64.
- Duplessy, J.-C., Arnold, M., Bard, E., Juillet-Leclerc, A., Kallel, N. and Labeyrie, L. (1989) AMS ^{14}C study of transient events and of the ventilation rate of the Pacific intermediate water during the last deglaciation. *Radiocarbon*, 31, 493-502.
- Glover, D.M., Wroblewski, J.S. and McClain, C.R. (1994) Dynamics of the transition zone in coastal zone color scanner-sensed ocean color in the North Pacific during oceanographic spring. *Jour. Geophys. Res.*, 99, 7501-7511.
- Herguera, J.C. (1992) Deep-sea benthic foraminifera and biogenic opal: glacial to postglacial productivity changes in the western equatorial Pacific. *Mar. Micropaleontol.*, 19, 79-98.
- Ikeya, N. (1971) Species diversity of recent benthonic foraminifera off the Pacific coast of north Japan. *Rep. Fac. Sci., Shizuoka Univ.*, 6, 179-201.
- Inoue, Y. (1989) Northwest Pacific foraminifera as paleoenvironmental indicators. *Sci. Rep., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba, Sec. B*, 10, 57-162.
- Ishiwada, Y. (1964) Benthic foraminifera off the Pacific coast of Japan referred to biostratigraphy of the Kazusa Group. *Rep., Geol. Surv. Japan*, 205, 1-45.
- Jannink, N.T., Zachariasse, W.J. and van der Zwaan, G.J. (1998) Living (Rose Bengal stained) benthic foraminifera from the Pakistan continental margin (northern Arabian Sea). *Deep-Sea Res.*, 45, 1483-1513.
- 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. *Oceanol. Acta*, 11, 369-375.
- Keigwin, L.D. (1998) Glacial-age hydrography of the far northwest Pacific Ocean. *Paleoceanography*, 13, 323-339.
- Lipps, J.H. (1965) Revision of the foraminiferal family Pseudoparrellidae Voloshinova. *Tulane Studies in Geology*, 3, 117-147.
- Mackensen, A., Grobe, H., Kuhn, G. and Futerer, D.K. (1990) Benthic foraminiferal assemblages from the eastern Weddell Sea between 68 and 73°S: Distribution, ecology and fossilization potential. *Mar. Micropaleontol.*, 16, 241-283.
- Matoba, Y. (1976) Recent foraminiferal assemblages off Sendai, northeast Japan. *Maritime Sediments, Spec. Publ.*, 1, 205-220.
- 的場保望 (1983) 北西太平洋底生有孔虫の分布パターンとくに第四紀初頭にみられるひとつの変化。月刊海洋科学, 15, 145-153.
- 南川雅男・蓑島佳代 (1998) リグニフェノール類を指標とした日高沖における陸起源有機物の研究。1998年度日本海洋学会春季大会講演要旨集, 143.
- Moriyasu, S. (1972) Deep waters in the western North Pacific. Stommel, H. and Yoshida, K. (eds.) *Kuroshio*: 387-408, Univ. Washington, Seattle.
- 村山雅史・松本英二・中村俊夫・岡村 真・安田尚登・平 朝彦 (1993) 四国沖ピストンコア試料を用いたAT火山灰噴出年代の再検討—タンデトロン加速器質量分析計による浮遊性有孔虫の ^{14}C 年代—。地質学雑誌, 99, 787-798.
- 永田 豊・大谷清隆・柏井 誠 (1992) 北太平洋亜寒帯循環。海の研究, 1, 75-104.
- Nakamura, T., Nakai, N., Sakase, T., Kimura, M., Ohishi, S., Taniguchi, M. and Yoshioka, S. (1985) Direct detection of radiocarbon using accelerator techniques and its application to age measurements. *Jpn. Jour. Appl. Phys.*, 24, 1716-1723.
- 西村 昭・池原 研・大串健一 (1997) 下北沖柱状試料の放射性炭素年代と有孔虫産出状況。岡村行信・井内美郎編「北海道西方海域の環境変動に関する総合的研究 平成8年度研究概要報告書—北海道南西沖海域—」: 242-246, 工業技術院地質調査所。
- Oba, T. (1991) Oxygen isotope results from three piston cores: KT90-9 ST-1, 5 and 21. *Sci. Repts. Hirosaki Univ.*, 38, 65-71.
- 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, 329-339.
- Quinterno, P.J. and Gardner, J.V. (1987) Benthic foraminifera on the continental shelf and upper slope,

- Russian River area, northern California. *Jour. Foram. Res.*, 17, 132-152.
- Saidova, K.M. (1961) Foraminiferal ecology and paleoecology, Far Eastern seas of the USSR and the northwest part of the Pacific Ocean. *Instit. Okeanol., Akad. Nauk SSSR, Trudy*, 1-232. (in Russian)
- Schnitker, D. (1974) West Atlantic abyssal circulation during the past 120,000 years. *Nature*, 248, 385-387.
- Shiomoto, A., Sasaki, K., Shimoda, T. and Matsumura, S. (1994) Primary productivity in the offshore Oyashio in the spring and summer 1990. *Jour. Oceanogr.*, 50, 209-222.
- Streeter, S.S. and Shackleton, N.J. (1979) Paleocirculation of the deep North Atlantic: 150,000-year record of benthic foraminifera and oxygen-18. *Science*, 203, 168-171.
- Stuiver, M., Reimer, P.J., Bard, E., Beck, J.W., Burr, G. S., Hughen, K.A., Kromer, B., McCormac, F.G., van der Plicht, J. and Spurk, M. (1998) INTCAL98 radiocarbon age calibration 24,000-0 cal BP. *Radiocarbon*, 40, 1041-1083.
- Thomas, E., Booth, L., Maslin, M. and Shackleton, N.J. (1995) Northeastern Atlantic benthic foraminifera during the last 45,000 years: changes in productivity seen from the bottom up. *Paleoceanography*, 10, 545-562.
- Thompson, P.R. (1980) Foraminifera from deep sea drilling project Sites 434, 435, and 436, Japan Trench. *Init. Rep. DSDP*, 56/57, Pt. 2, 775-807.
- Tsukawaki, S. and Nemoto, N. (1991) Introduction and outline of cruise. *Sci. Repts. Hirosaki Univ.*, 38, 47-49.
- Tsunogai, S. (1987) Deep-water circulation in the North Pacific deduced from Si-O diagrams. *Jour. Oceanogr. Japan*, 43, 77-87.
- Ujiié, H. (1990) Bathyal benthic foraminifera in a piston core from east off the Miyako Islands, Ryukyu Island Arc. *Bull. Coll. Sci., Univ. Ryukyus*, 49, 1-60.
- Xu, X. and Ujiié, H. (1994) Bathyal benthic foraminiferal changes during the past 210,000 years: evidence from piston cores taken from seas south of Ishigaki Island, southern Ryukyu Island Arc. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N.S.*, 175, 497-520.
- 吉田 隆 (1988) 二つの親潮起源水と、親潮水域内でのそれらの分布. *海と空*, 64, 1-8.

Paleoceanography of the Oyashio Area during the Last 20,000 Years Based on Benthic Foraminifera

Ken'ichi Ohkushi*¹, Naoki Nemoto*², Masafumi Murayama*³,
Toshio Nakamura*⁴ and Shinji Tsukawaki*⁵

Benthic foraminifera in two cores, ST-5 and ST-21, collected from the Oyashio area show paleoenvironmental changes during the last 20,000 years. Benthic foraminiferal fauna from both cores exhibit large changes during the last glacial-Holocene transition. Glacial fauna of core ST-5 closely resemble modern fauna living around a depth of 2,000 m under the confluence zone between the Kuroshio and Oyashio currents. This indicates that glacial paleoenvironments off Erimo Cape were similar to recent deep-water conditions under the

confluence zone. However, Holocene fauna of core ST-5 show that carbonate dissolution has intensified in depths near 2,000 m. Glacial fauna of core ST-21 demonstrate that intermediate waters that originated from the northern North Pacific had intensified around a depth of 1,000 m. Middle and late Holocene fauna of core ST-21 reflect a low-oxygen condition similar to intermediate waters in the recent Oyashio area, although the area's oxygen level temporarily increased during the middle Holocene.



*1 Institute of Geoscience, University of Tsukuba. Tennodai 1-1-1, Tsukuba, 305-8571, Japan. E-mail : ohkushi@arsia.geo.tsukuba.ac.jp

*2 Faculty of Science and Technology, Hirosaki University. Bunkyo-cho 3, Hirosaki, 036-8560, Japan.

*3 Graduate School of Environmental Earth Science, Hokkaido University. Kita 10, Nishi 5, Kita-ku, Sapporo, 060-0810. Present address : Marine Core Research Center, Kochi University. 2-5-1 Akebono-cho, Kochi, 780-8520, Japan.

*4 Nagoya University Center for Chronological Research. Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8602, Japan.

*5 Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kanazawa University. Kakuma-machi, Kanazawa, 920-1192, Japan.