

「みらい」MR00-K05ピストンコア中の放散虫遺骸群集に基づく 過去2万年間の黒潮・親潮水塊の変遷

山内 守明^{*1} 山本 浩文^{*2}

最終氷期から現在までの環境変動をとらえることは、現在の風系などの環境変動が今後どのようなふるまいをするか予測するのに非常に重要である。この予測を行うためには、西部太平洋における亜熱帯循環と亜寒帯循環の数百～数万年スケールの大規模変動の変遷を推定する事が必要である。

北西太平洋の東経152度線を中心とした南北方向に黒潮流軸に直交する断面で海底堆積物の採取を行っている。海洋地球研究船「みらい」MR00-K05次航海で黒潮続流域の6000m海域の海底からピストンコアにより海底堆積物を採取した。これらの海底堆積物中に含まれる放散虫化石群集を黒潮系温暖種と親潮系寒冷種に分類し、最終氷期末期から現間氷期までの黒潮系暖水塊及び親潮系冷水塊の変遷を明らかにした。さらに、現代の観測値、採泥試料トップ(0ka)の変数関数より求めた水温および最終氷期のピークの月別水温変化を比較した。

キーワード：黒潮続流域, ピストンコアラー, 放散虫遺骸群集

A change in the warm water Kuroshio Current system from the final glacial age end to the interglacial period, it is based on radiolalia fossils in the western North Pacific on the R/V Mirai cruise [MR00-K05]

Moriyoshi YAMAUCHI^{*3} Hirofumi YAMAMOTO^{*4}

It is very important to catch an environment change from the final glacial age until now to predict a posterior change in an environment now. It is necessary to estimate a change in the large-scale change in from several hundred to several ten thousand scale of the subtropical circulation to do this prediction in the western Pacific Ocean. The piston cores were collected from the western North Pacific on the R/V Mirai cruise [MR00-K05].

The radiolalia fossils contained in this sediment was classified in the Kuroshio current system warm species and the Oyashio current system cool species. A change in the warm water of the Kurosio current system from the final glacial period end until the interglacial period was explained by this.

Furthermore, the water temperature found more than the variable function of the top (0ka) of the modern observation value and the core sample, and a change in water temperature by the moon of the peak of the final ice term were compared.

Keywords : Kuroshio Extension, Piston corer, Radiolalia

*1 平成12年度流動研究員(現: 甲南高等学校)

*2 海洋観測研究部

*3 Ocean Observation and Research Department Guest Researcher in 2000 (Konan boys' high school)

*4 Ocean observation and Research Department

1. 目的

2000年7月の「みらい」の5次航海(MR00-K05)で、最終氷期以降の黒潮・親潮水塊の挙動を調査するために2本のピストンコアを採取した。ピストンコアの採集海域は黒潮・親潮混合水塊の北限および黒潮統流域が選ばれ、1997年より実施されている海域の間を埋めるように調査海域を選定した。両コアとも炭酸塩補償深度(CCD)を越えているため石灰質の浮遊性有孔虫やナノ化石は産出せず、珪質の放散虫と珪藻しか産出しない。従って、浮遊性有孔虫殻を用いた酸素同位体分析は行えないので、船上で記録された γ 線量、帯磁率、分光測色計による色差の変化等と放散虫、珪藻といった珪質微化石を用い古環境解析を行うこととなった。

2. 調査地点の海洋環境

PC1は北緯34°30′東経147°30′水深5911m、PC2は北緯40°00′東経146°00′水深5177mで、1995年4月および9月のNOAAの画像データから判断すると、PC1は黒潮統流域ないし統流の南に位置し、PC2は黒潮・親潮混合水塊の北限ないし親潮南限に位置する(図1)。日本水路協会発行の海洋環境図(1978)¹⁾の深度別の等温線、塩分、溶存酸素および力学的深度偏差平均値からも、上述のような海況であることがわかる。海況を簡略化して見るために、海洋環境図の春季100mの等温線をもとに、採泥点の位置をプロットし、水深毎の月別データから2地点の水温、塩分、溶存酸素量を拾い出した(図2、表1)。この海洋環境図から各コアの水温の年間変化を読みとると、水深0mの最高水温と最低水温の年較差は、PC1で9.5℃、PC2では16.0℃に達する。水深50mの年較差では、PC1で8.5℃、PC3で8.0℃となる。水深100mの年較差は、PC1で5.0℃、PC2で

4.0℃となり、水深200mの年較差は、それぞれ2.0℃、1.5℃と、ほぼ一定の値となっていることが読みとれる。塩分と溶存酸素は両地点とも水深が浅いほど低塩分・高濃度となるが、水塊の特性からPC1の方が高塩分・貧酸素の状態になっている。

3. 試料および分析方法

群集解析に用いた試料は、船上で細分された Kabuse (L) 21×7×1000mmから切り出すが、コアの年代が不明であったため帯磁率を参考にしながらサンプリングを行った。PC1ではコアトップから40cmまでは2cm間隔で、以下の層準は10cm間隔でサンプリングを行った。またPC2では20cmまで2cm間隔で、20cmから100cmまでは5cm間隔で、以下の層準は10cm間隔でサンプリングを行った。

3.1. プレパラートの作成法

- ・ ケースに入ったコアから、層厚1cmの試料をビーカーに取り出し、5%程度の過酸化水素 水を注ぎ、一昼夜程度放置して試料を分散させる。
- ・ 反応終了後、超音波洗浄器で5～10秒程度振動を加え、250メッシュ(開口径63 μ m)の篩を用い、シャワーで水洗する。
- ・ 放散虫殻の泥抜けの悪い試料については、ヘキサメタリン酸ナトリウム水溶液(約10%)に数時間浸し、超音波洗浄器で5秒程度振動を加え再度水洗をする。
- ・ 水洗の完了した試料を耐熱シャーレにうつし、100℃以下の恒温で乾燥させる。
- ・ 残渣に砂やシルト、火山ガラスを多く含む場合は、ビーカーに再び戻して水をはり、攪拌し上澄みだけを篩にかけ、放散虫を濃縮させ、再び乾燥させる。

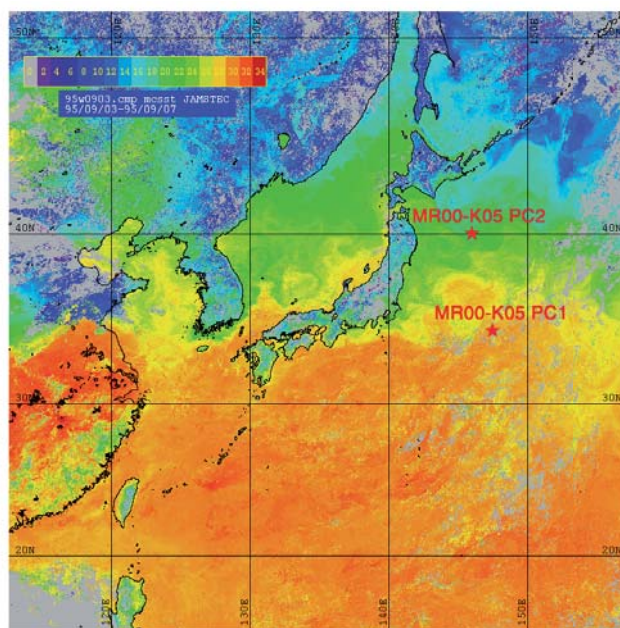
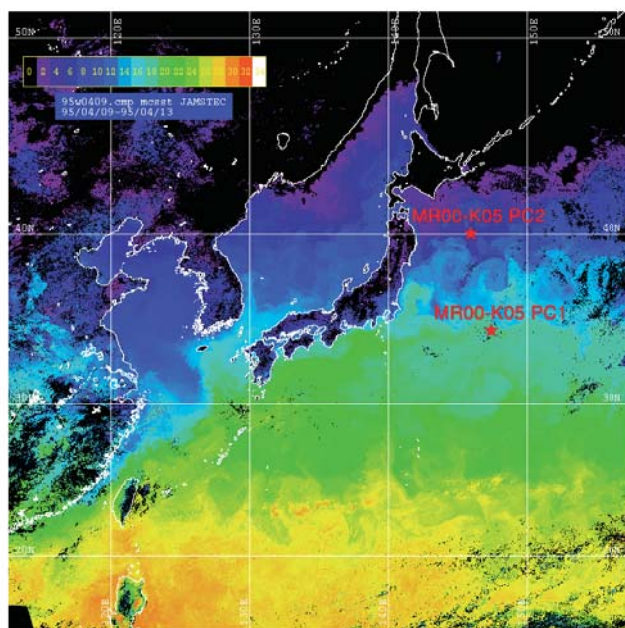


図1 衛星(TIROS/NOAA)による1995年4月、9月の海水温データ(MCSST)

Fig. 1 The seawater temperature data (MCSST) of April and September, 1995 by the satellite (TIROS/NOAA)

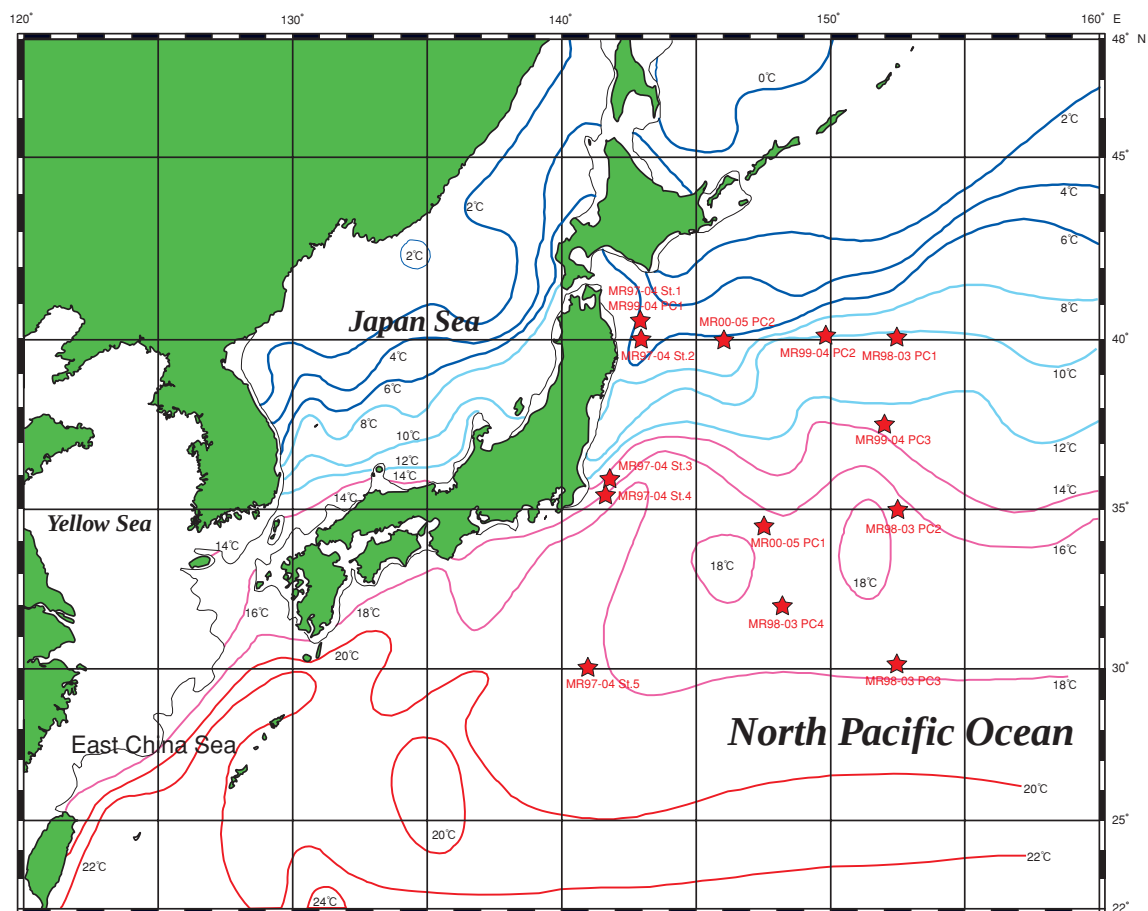


図2 みらいのピストンコア採泥点と春季100mの等温線(海洋環境図:1978改編)

Fig. 2 The location of piston corer by R/V "MIRAI" and the isotherm of spring 100m

表1 採泥点における海水温, 塩分, 溶存酸素の変化(海洋環境図:1978よりプロット)

Table 1 The change of seawater temperature, salinity, dissolved oxygen at the core sample point

		Depth	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Average	Max	Min	Remarks
		0m	18.0	17.0	17.0	17.0	20.0	21.5	25.0	26.5	26.0	24.5	22.0	20.0	21.2	26.5	17.0	0-200Av
MR00-K05	Temperature °C	50m	18.0	16.5	17.0	17.0	18.5	19.0	21.0	22.0	25.0	22.0	21.5	20.5	19.8	25.0	16.5	18.8
		100m	18.0	16.0	15.5	17.5	17.0	17.0	18.5	19.0	20.5	19.0	19.0	19.0	18.0	20.5	15.5	50-200Av
		200m		16.0			15.0			16.0			17.0		16.0	17.0	15.0	17.9
	Salinity ‰	0m	34.8	34.8	34.8	34.8	34.7	34.5	34.4	34.4	34.4	34.4	34.5	34.6	34.6	34.8	34.4	0-200Av
		50m	34.8	34.8	34.7	34.6	34.8	34.6	34.6	34.6	34.6	34.5	34.5	34.6	34.6	34.8	34.5	34.7
		100m	34.7	34.7	34.8	34.6	34.7	34.8	34.8	34.7	34.8	34.6	34.7	34.7	34.7	34.8	34.6	
		200m		34.7			34.7			34.7			34.7		34.7	34.7	34.7	
	Oxygen ml/l	0m	5.75	5.25	5.50	5.00	5.25	5.00	4.75	4.75	4.75	4.75	5.00	5.50	5.10	5.75	4.75	0-200Av
		100m	5.50	5.25	5.25	5.00	5.00	5.00	4.75	4.75	4.50	4.50	4.75	4.75	4.92	5.50	4.50	4.97
		200m		5.00			4.75			4.75			4.50		4.75	5.00	4.50	

		Depth	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Average	Max	Min	Remarks
		0m	7.0	7.5	5.5	9.0	10.0	13.5	20.0	21.5	20.5	17.5	14.5	11.0	13.1	21.5	5.5	0-200Av
MR00-K05	Temperature °C	50m	6.5	7.0	6.0	8.0	7.0	9.0	10.0	10.0	11.5	14.0	12.0	11.5	9.4	14.0	6.0	8.8
		100m	6.5	6.5	7.0	6.0	6.0	7.0	7.0	7.0	8.0	10.0	9.0	9.0	7.4	10.0	6.0	50-200Av
		200m		5.5			4.5			5.0			6.0		5.3	6.0	4.5	7.3
	Salinity ‰	0m	33.8	33.8	33.8	34.0	33.5	33.6	33.4	33.4	33.4	33.8	33.8	33.6	33.7	34.0	33.4	0-200Av
		50m	33.6	33.8	33.8	34.0	33.6	33.8	33.8	33.8	33.6	33.9	33.8	33.6	33.8	34.0	33.6	33.7
		100m	33.6	33.8	33.8	33.9	33.7	33.9	33.7	33.8	33.9	33.9	34.0	33.9	33.8	34.0	33.6	
		200m		33.8			33.7			33.7			33.8		33.8	33.8	33.7	
	Oxygen ml/l	0m	7.00	6.75	6.50	7.00	7.25	6.75	5.75	5.50	5.75	5.75	6.00	6.25	6.35	7.25	5.50	0-200Av
		100m	7.00	6.75	6.50	6.75	6.50	6.50	5.50	6.00	4.75	4.75	5.75	6.00	6.06	7.00	4.75	6.07
		200m		5.75			5.25			5.00			5.00		5.25	5.75	5.00	

- ・乾燥した残渣試料は、実体顕微鏡下で放散虫の有無及び残渣の状況を確認する。
- ・耳掻きで試料をすくい取り、ホットプレート(70℃程度)にのせたスライドガラス上に均一にまく。
- ・スライドガラスに封入剤(エンテランニュー)を数滴落とし、24×24mmのカバーガラスを気泡が入らないように静かに乗せ、数時間放置し乾燥させプレパレーションの作業を完了する。

3.2. 顕微鏡での検鏡

作成したプレパラートは100倍の倍率で、群集が安定する500個体を同定・カウントし基準として行った。両コア共に350cm以上の層準で52試料づつを検鏡した。

3.3. 群集解析

各試料中に産出する放散虫のうち、北西太平洋の環境指標種として知られる90種に着眼しその挙動を調べ、山内(1986)²⁾に示される放散虫指数を算出した。

$$Sr = \sum (S \cdot n) / \sum n$$

S=1: Subarctic Fauna
S=2: Subtropic Fauna
S=3: Tropic Fauna
n: 個体数

求められたSrの値は、指標種の性格から群集の類似度および海水の温暖さを相対的に表すものと言える。このことより、以下のように水塊を区分することが可能となる。

- Sr=3.0: 黒潮本流(温暖域)
3.0>Sr>2.0: 黒潮変質部(温暖～漸移域)
Sr=2.0: 黒潮前線
2.0>Sr>1.0: 黒潮・親潮混合水帯(漸移～寒冷域)
Sr=1.0: 親潮本流(寒冷域)

放散虫は他のプランクトンと同様の生態を示し、水深100m付近で群集密度が最も高くなっている。また中緯度域では春季と秋季の年二回の発生期が、高緯度域では夏季のみの発生が知られている。このことから本邦付近の海水温との相関は、季節躍層を除いた水温との相関を見る必要がある。山内(1986)²⁾は、上記の理由で年間の50～200mの平均水温とSrの相関を調べ、次の水温回帰式を作成している。

$$Temp = 7.12Sr + 0.685$$

求められた古水温は、その定義に従って50～200mの年間平均水温ということになるが、この値は春季の水深100mでの水温に近似していることから、古水温を春季の100mとして解釈しても差し支えない。

環境指標として用いた種を以下に示す。

暖海種(Tropic Fauna)

Acrosphaera lappacea, *Acrosphaera murrayana*, *Acrosphaera spinosa*, *Acrosphaera* sp. A, *Collosphaera*

huxleyi, *Collosphaera tuberosa*, *Collosphaera* sp. C, *Disolenia zanguebarica*, *Otosphaera polymorpha*, *Siphonosphaera martensi*, *Siphonosphaera socialis*, *Stylosphaera melpomene*, *Ommatartus* sp. A, *Heliodiscus echiniscus*, *Heliodiscus* (?) sp., *Euchitonina elegans*, *Larcospira quadrangula*, *Prunocarpus* (?) sp. A, *Carpocanistrum acutidentatum*, *Carpocanistrum flosculum*, *Dictyophimus hirundo*, *Lithopera bacca*, *Liriospyris reticulata*, *Trissocircus lentellipsis*

温暖種(Subtropic Fauna)

Collosphaera macropora, *Cladococcus cervicornis*, *Cladococcus stalactites*, *Spongoplegma streptacantha*, *Styptosphaera spongiacea*, *Arachnocorys umbelifera*, *Ceratocyrtis sinuosa*, *Clathromitra pentacantha*, *Eucecryphalus gegenbauri*, *Eucecryphalus sestrodiscus*, *Lampromitra coronata*, *Lophophaenomma witjazi*, *Pseudocubus octostylus*, *Pseudocubus* sp., *Verticillata hexacantha*, *Dictyophimus infabricatus*, *Dictyophimus platycephalus*, *Pseudodictyophimus gracilipes*, *Tholospyris scaphipes*

寒冷種(Subarctic Fauna)

Acrosphaera arkitos, *Actinomma* cf. *capillaceum*, *Actinomma* (?) sp., *Cenosphaera cristata*, *Cladococcus abietinus*, *Cladococcus pinetum*, *Cromyechinus antarctica*, *Cromyechinus* cf. *icosacanthus*, *Cromyodrymus* sp. A, *Cromyodrymus* sp. B, *Hexastylus* cf. *minimum*, *Rhizosphaera* sp. A, *Sphaeropyle mespilus*, *Styptosphaera* (?) spumacea, *Styptosphaera* sp., *Stylatractus* sp., *Stylosphaera* sp., *Spongostrochus beringianus*, *Spongostrochus glacialis*, *Spongostrochus* sp. B, *Spirema* (?) sp., *Pterocorys macroceras*, *Botryostrobus aquilonalis*, *Dictyophimus mawsoni*, *Lychnocanium grande rugosum*, *Pterocanium* (?) *kortonevi*, *Tristyluspyris* sp.

4. 各コアの時代観

2本のコアの古環境解析・対比を行うにあたっては正確な時間軸が必要となる。しかし、両コアとも炭酸塩補償深度(CCD)を越えるため石灰質微化石を産出せず、酸素同位体の変動曲線や¹⁴Cなどの絶対年代の測定は行えない。また、昨年度までは既知の火山灰との対比から時間軸を得たが、現段階ではテフラの同定と対比が行われていない。従って、船上で測定されたγ線量、帯磁率、分光測色計による色差の変化と放散虫の生層序、放散虫の環境指標種による寒暖のパターンとMartinson et al.(1987)³⁾の酸素同位体曲線との対比から類推することとした。

放散虫の第四紀の生層序は低緯度と高緯度では、それぞれ示準種が異なることが知られている。幸いコアの採取された海域は中緯度域にあたるため、低緯度と高緯度の示準種

を産出する可能性がある。しかし、ピストンコアのように短い堆積物では、その海域の堆積速度によって出現層準や絶滅層準の試料中の深度が大きく変化するため、コアの全層準について包括的に検討する必要がある。今回の調査ではコア・トップから350cmまでを検鏡したため、第四紀の極めて上位の層準のみを見ていることになる。従って、示準種の出現層準については、真の層準を表すかどうかを慎重に検討しなければならない。一方、絶滅層準についても、海域によって数千から数万年のオーダーでの誤差が知られている。このため、各示準種の消長を総合的に解釈し時代観を得ることとした。

PC1では第四紀の示準種である*Collosphaera tuberosa*と*Lychnocanium grande rugosum*が産出する。このうち、*C. tuberosa*はNigrini (1971)⁴⁾、Johnson&Knoll (1975)⁵⁾らによってその出現層準は、370,000年であることが指摘されている。本種は検鏡した350cmまでのほぼ全層準で産出することから、少なくとも350cm以浅の層準は370,000年よりも新しいことになる。一方、*L. grande rugosum*は、現世の表層堆積物中にも僅かながら産出する。しかしKruglikova (1976⁶⁾、1977⁷⁾は、北太平洋で35,000～40,000年前後の消滅を確認している。またMorley et al. (1982)⁸⁾では、その消滅層準の年代を49,000年に見積もっている。*L. grande rugosum*の産状は150cm以深で連続的になることから、150cm以深はおおよそ50,000年よりも古い堆積物であり、150cmより浅い上部の層準は50,000年よりも新しい堆積物であると考えられる。PC1の帯磁率の変化は、Martinson et al. (1987)の酸素同位体の変化パターンに類似し、このパターンをそれぞれの酸素同位体ステージに対比し、前述の放散虫から考察された時代観と照らし合わせてみると矛盾を生じないことが分かった。

PC2では、低緯度の示準種として知られる*Collosphaera tuberosa*と*Buccinosphaera invaginata*が産出する。このうち*B. invaginata*は210,000年前に出現した種である。連続的に産出する130cm以浅の層準は210,000年よりも新しい堆積物であることとなる。しかし、PC1のように寒冷な示準種の*L. grande rugosum*が連続して産出しないため、実際には50,000年よりも新しい堆積物であるものと見られる。帯磁率の変化は一見すると酸素同位体の変化に似るが、その増減のパターンと酸素同位体ステージの明確な対比は行えず、放散虫の生層序との対応関係も不明であった。

以上から、PC1のコアトップから350cmまでは同位体ステージ6以上の140,000年を見ていることになり、コアトップの欠如を15cmとして堆積速度を求めると、2.6cm/kaとなる。PC2は同位体ステージ3以上を見ているものと推定され、寒冷種が最も多産する280cmを最終氷期の18,000年として堆積速度を求めると15.6cm/kaとなる。

5. 調査結果

両コアとも水洗処理後の残渣は、陸源の粗粒碎屑物をほとんど含まず下位の層準まで保存状態の良い放散虫を多産する。船上のコア観察では、PC1のコアトップが15～19cm欠如していることから、パイロットコアから3層準とメインコアから350cmまでの52層準、計55層準で群集解析を行った。また

PC2ではコアトップから深度350cmまでの52層準で検鏡を行った。これら2本のコアの指標種による産出状況を、表2、表3に示す。また、暖海種、温暖種、寒冷種の産出数を百分率に換算し、群集の多様度と古水温を求めて図3にまとめた。

PC1では1試料500個体あたり平均105種前後が産出し、延べ236種が確認された。暖海種、寒冷種の増減はどちらも寒暖の程度を表すが、本海域では暖海種の挙動の方が気候変動の様子を顕著に示す。また温暖種の産出は寒冷種の増加に対して弱い負の相関があるものの、その量は2.5%前後と終始少ない。一般に温暖種は黒潮変質部から混合水塊にかけての流軸以西の栄養塩の多い海域で多産することから、本海域が終始栄養塩の乏しい海域であったことが分かる。多様度も水温低下と共に若干減少する傾向にあるが、温暖種同様大きな変化は示さない。放散虫指数Srは、パイロットコアのトップで見積もられた値が2.31で、現在と同じ混合水塊以南の黒潮変質部にあったことを示す。またSrから求められた古水温は17.1℃と、海洋環境図から求めた観測値の17.9℃と良い一致を示した。この放散虫指数Srは、コアトップから350cmまでの平均値が1.63となっている。このことから、パイロットコアからコアトップにかけてと、280～290cmにかけての2層準を除き、黒潮統流は採泥点の南を終始流れていたことになる。つまり過去140,000年間では、本地点は混合水塊の中にある時期の方が長かったこととなる。言い換えれば、前述の2層準のみ黒潮統流が現在同様北方を流れていたこととなる。本地点での放散虫指数Srのカーブは、Martinson et al. (1987)³⁾の酸素同位体ステージと極めて高い相関を示し、寒暖のカーブはそれぞれ酸素同位体ステージの1から6に対比される。特に、ステージ1と5の下部の温暖なピーク、ステージ2, 4, 6の寒冷なピークが顕著となっている。ステージ2の最終氷期の極大はピストンコアの深度28cmとなり、コアトップより7.1℃低い10℃となっている。氷期にあたるステージ2, 4, 6はそれぞれ10℃前後とほぼ同じ値を示し、親潮前線が近い混合水塊の中にあつたことを示している。一方、間氷期に対応するステージ1, 3, 5の場合は、ステージ1と5で現在とはほぼ同じ水温を示すものの、ステージ3については氷期より約2℃程度しか水温が上昇しなかったことになる。第四紀における酸素同位体の変化は、のこぎりの歯のような急激な温暖化とゆっくりとした寒冷化で特徴付けられるが、PC1で求められた古水温の変化も同じ傾向にあることが判明した。最終氷期より上位の層準に注目すると、完新世にかけての温暖化は連続的に上昇するのではなく、2回の停滞期または寒冷化が存在していることが分かる。特に12cm付近では明らかに温暖化の停滞を示し、12,000年前後のヤングドリアス期の寒冷化を見ているものと考えられる。この最終氷期から完新世にかけての古水温の変化は、西方で採泥されたMR97-04 St.3のパターンに似ている。MR97-04の報告書⁹⁾の中では、完新世に見られる水温低下を地域的な黒潮の蛇行による親潮水の引き込みと解釈したが、本地点でも同様の傾向があることから約6°東方でも親潮の冷水塊が一時的に南下し東方へ流れ込んだものと見られる。

PC2では1試料500個体あたり平均95種前後が産出し、延

表2 MR00-K05 PC1における放散虫指標種の産出状況
Table 2 The producing condition of radiolarian index species in PC1 (MR00-K05)

[illegible]

表2の続き

[illegible]

表3 MR00-K05 PC2における放散虫指標種の産出状況
Table 3 The producing condition of radiolarian index species in PC2 (MR00-K05)

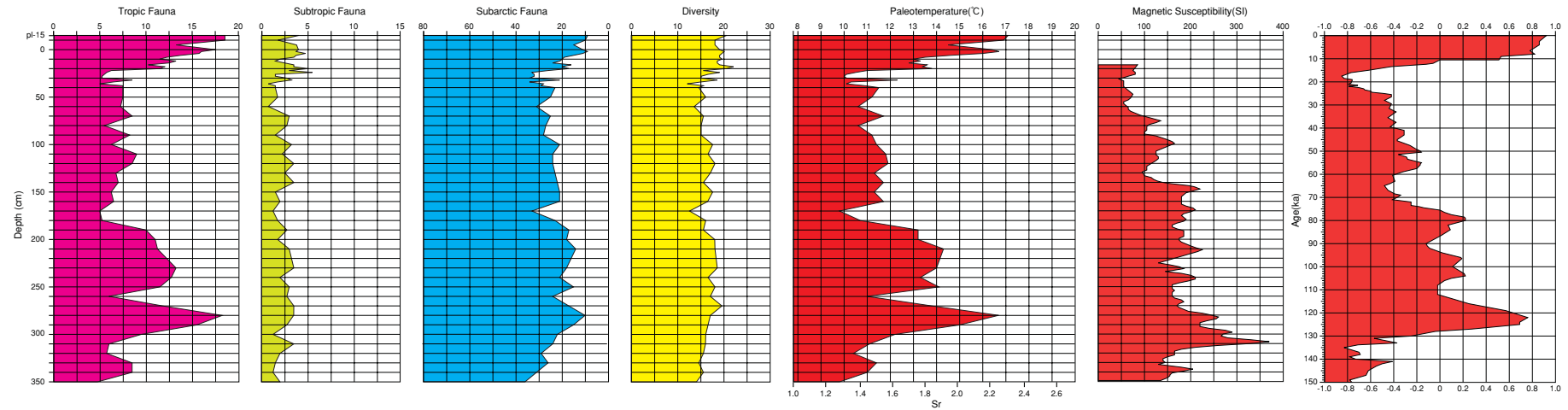
MR00-K05 PC2		1	2	3	4	5	6	7	8		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
		0	2	4	6	8	10	12	14		18	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350
Tropic Fauna	Acrosphaera lappaeaea				1									2	1	1			1	1	1	2	1	1	3	2			2	1															1	1			1				
	Acrosphaera murrayana				1																									1		1																					
	Acrosphaera spinosa	3	2	1	2	3	3		2		2	1		1	1	2	1	1	2			1	3	6	3		7	1	6	5	4	5	1	2								1	2	2	1	2		1		2	1		
	Acrosphaera sp. A			1												1													1																				1				
	Collosphaera huxleyi					1											1		1				3					1	1					1													1		1	1			
	Collosphaera tuberosa														1							1					1				1			1										1				1					
	Collosphaera sp. C																													1																				1			
	Disolenia quadrata													1				1													1					1																	
	Disolenia zanguebarica		1			1	1							1	1			1	1	1	1	1					1	1																									
	Otosphaera polymorpha	1	2	2	1	1	2	2	1		1	1	1	1	3					1	1	1	5	2	1	1			1	1			1	1	1																		
	Siphonosphaera martensi	1				1		1							1												1							3																			
	Siphonosphaera socialis	5	2	2	2	3	4	3	2		5	3	6		1	3	3	3	2	4	5	6	2	4	3	3	2	2	5	12	3	5	1	1	2	1					1	1				1	6			2	2	6	
	Stylosphaera melpomene																																																				
	Ommatartus sp. A	2	4	2	8	4	2	2	4		4	3	2	2	2		4	2	2	5	2	5	3	6	2	5	3	4	2	2	5	8	2	3										1					2	3	2		
	Heliodiscus echiniscus		1				1										1		1	1	1		1		1		1																				1			1			
	Heliodiscus (?) sp.																																																				
	Euchltonia elegans											3	1		1	2	1	1	1			1	2	1		2	3	2	2	1		1	2			1	2											1					
	Larospira quadrangula					1						1	1	1	1		1		1	1	1	1		2	1				1	2					1	1	1	1		2	2			1	3	1	1			2	1	2	3
	Prunocarpus (?) sp. A																						1	2	1	1	1	1		1	1		2																			1	
	Carpocanistrum acutidentatum															1					2	1	1	1	1		1		1	3	2							1														1	
	Carpocanistrum flosculum		1	1					1								1		1				1		1		1		1	2	1		1																			3	3
	Dictyophimus hirundo		1	1				1	1	2		1		1	1	1	1	1	1		1	1	1		2	1		1	2	2		1	1			3	1	1													1	1	3
	Lithopera bacca			1											2				1		1								1				1				1														1	1	1
	Liriospyris reticulata								1		1	2	1							2		1	1		1	1				1		1	1	1		1		1															
	Trissocircus lentellipsis																																																				
	Subtropic Fauna	Buccinosphaera invaginata			1		1						1			1										1	1	1		1	2	2	1																				
Collosphaera macropora								1			1			1	1	1			1			1						2					1																				
Astrosphaera hexagonalis																																																					
Cladococcus cervicornis		2	1	1		1	2	1			4	4	2	3	2	1	1		1	2	1		1	1			3				2	1																					
Cladococcus stalactites			1																																																		
Lychnosphaera regina												1																																									
Spongoplaema streptacantha		1	1	1	1	1	2				1	1	1	1	2	1			2				2			2	2	1								1														2			
Styptosphaera spongicea									1								3		1							1			1	1	1	1				1																	
Amphiplecta acrotoma			1	1							1	1	1	1	1		1							1		1		1	1				1	1																			
Amphiplecta callistoma																																																					
Arachnocorys umbellifera				1								1	1	1	1											1																											
Calimnitra carolothae												1														1																											
Calimnitra cf. elizabethae																																																					
Ceratocyrtis sinuosa		2	3	1	3				2	2		2		4	1	1	3		3	1	2	2	2	6	1	2	3	3	3			4	1	2	1	1	3			1	1	1				1	2	1	1	2	2	3	
Cliathromitra pentacantha							1	1	1	1					1	1		1		1	2				1		1	1		2						1	1	1	2												1	4	
Dimelissa thoracites		3	2	2	3	3		2	1		2	3	6	1	4				1	1			4	1	2	2	1		1	1	1	1	2		1				1													1	2
Enneaphormis rotura					1	1									1	2						1					1						1	1			1																
Eucecyphalus cervus						1						1								1					1				1				1	3	1												1						
Eucecyphalus gegenbauri			2	1	1		1	3	2			1	1	1	1					1	2	3			2	4	1	1	2		1	2	2		2	1				2													
Eucecyphalus sestrodiscus		2	3		3	4	1	1	2		4	2	1	2	1	4	2	2	4		3	2	2			3	2	5	2	1	2	3	2	4		1		1	1						1								
Eucecyphalus sp. A					1																																																
Lampromitra coronata																		1							1																												
Lampromitra cracenta					1				1			1	1		1	1									2						1	1	1																				

表3の続き

[illegible]

MR00-K05 PC1

Martinson et al.1987



MR00-K05 PC2

Martinson et al. 1987

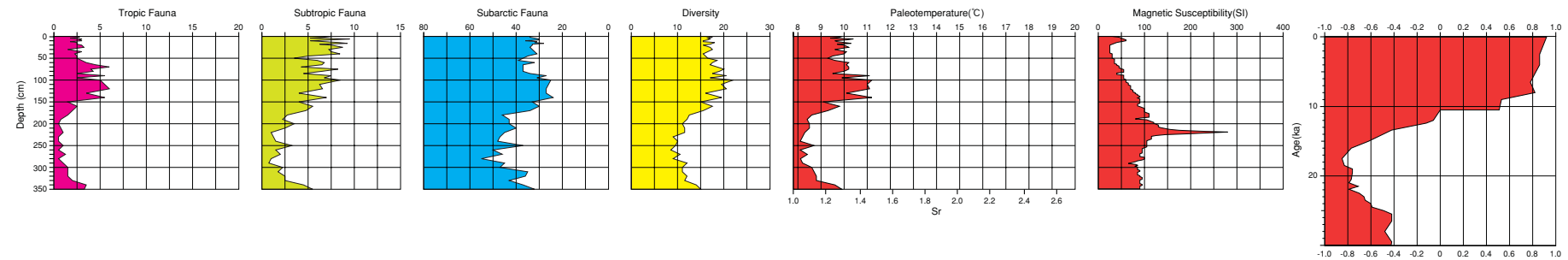


図3 MR00-K05 PC1およびPC2における指標種、多様度、Sr (古水温)、帯磁率の変化
 Fig. 3 The changes of index species, species diversity, Sr. ratio and Magnetic Susceptibility at the PC1 and PC2 (MR00-K05)

べ238種が確認された。指標種は、全層準で寒冷種が卓越し、温暖種、暖海種の順に産出が少なくなる。各指標種の変動量はさほど大きくないが、深度180cm以下で寒冷種が増加し暖海種と温暖種は減少する。なお、温暖種は、同緯度で採泥されたMR97-04 St.1, MR99-K04 PC2と比べると完新世で産出量がやや多く、加えて残渣中に珪藻も多量に含まれることから高生産の場であったことを示している。多様度はPC1と同程度の値であるが、寒冷化に伴う明確な低下が認められた。コアトップから見積もられた放散虫指数Srは1.30となり、現在と同じ混合水塊の北方にあったことを示す。しかし変換式より求められた古水温は9.9℃と、海洋環境図から求めた観測値の7.3℃より2.6℃高い値を示した。この原因として、海洋環境図やNOAAではあまり反映されない親潮主軸東方への暖水塊の北上が考えられる。一方、最終氷期の極大と見られる280cmの試料でのSrは1.04となり、親潮前線からほぼ親潮水塊に入った状態を示す。求められた古水温は8.1℃で、コアトップと比較すると1.8℃しか水温低下がなかったことになる。混合水塊の親潮側では、過去に西方の親潮軸流付近でのMR97-04 St.1と東方のMR99-K04 PC2の放散虫解析が行われている¹⁰⁾が、それぞれの最終氷期の温度低下は0.1℃と2.2℃となっており、間に位置する本地点での水温低下もその間の値となっている。現在北緯40°線上の水温分布は、親潮の流路の関係で西方ほど親潮水の影響が強く、東方ではその影響が弱まり若干水温が高くなっている(図2)。3地点の最終氷期のSrおよび古水温は、ほぼ親潮水下に入ったため、それぞれ現在の親潮水塊との温度の差分が低下した形になっている。なお、コアトップから85cmまでと90cmから140cmまで、つまり完新世の上位の層準と下位の層準で古水温に差が見られ、上位では平均値9.9℃、下位では平均値10.8℃とおおよそ1℃の差が認められた。

6. 最終氷期の古水温

放散虫の示す古水温は、Srと観測で得られた50～200mの年間平均水温との相関関係から求められているが、同様の変換関数を各水深の月別データと相関関係を調べることで作成できる。そこで観測値、コアトップおよび最終氷期のピークの水温変化を比較して見た(表4, 図4)。

放散虫指数Srから求められる古水温は、月ごとの水深別の黒潮域から親潮にかけての水温減率にしたがって復元されている。本邦周辺海域では、北方になるほど表層水温の年較差が増大する傾向にあるので、最終氷期の古水温として復元される水温は、見かけ上水深が浅いほど夏季の水温低下は少なく、水深が深くなるほど水温低下をおこしているように見える。水塊の区分は元々Srで定義されているが、ここで復元される水深50m, 100mの寒冷な水も、黒潮、混合水塊、親潮といった水塊の違いを反映している。したがって氷期における寒冷化という意味合いで表層水を捉える場合、暖かな夏季の水温に着眼するよりも冷たい冬季の水温を重視しなければならない。なお、水深0mの表層水は大気との熱交換を伴うので、風系を含めたローカルな季節・気候についての検討に有効となるものと見られる。以下にPC1とPC2の完新世と最終氷期の水深ごとの特徴を記す。

〔PC1〕

表4および図4に見られるように海洋環境図から求められた観測値とパイロットコア試料0cmから求めた古水温は、水深の月別データと極めて良い一致をする。各水深毎の年間平均誤差は、水深0mで0.1℃、水深50mで0.4℃、水深100mで0.5℃となっている。また、観測値から求められた各水深での最高値と最低値の差、つまり年較差は、水深0mで9.5℃、水深50mで8.5℃、水深100mで5.0℃となっている。パイロットコア試料から換算された年較差との誤差はそれぞれ0.5℃, 2.1℃, 1.7℃となり、年間変動の大きい各水深の誤差としてはその値が小さいことになる。上記のことを踏まえて水深別に最終氷期の年平均水温を見てみると、水深0mでは5.6℃、水深50mでは7.0℃、水深100mでは7.3℃の温度低下があった。また水深0mにおける最終氷期の年較差は13.9℃に達し、パイロットコアより求められた水深0mの年較差との差が、3.9℃広がったことになる。なお、パイロットコア試料0cmと比較すると、最高水温が3.4℃の低下、最低水温が7.4℃の低下となり、現在とさほど変わらない比較的暖かな夏と極めて冷たい冬があったことになる。最終氷期の水深50mでの年較差は7.3℃で、表層堆積物から求められた値より0.9℃しか拡大しないが、最高水温は6.2℃、最低水温は7.2℃低下し、明らかに北方の冷たい水塊に変わったことを示している。水深100mでの年較差は3.9℃で、表層堆積物の値よりも0.6℃しか拡大しないが、最高水温が6.9℃、最低水温が7.4℃のそれぞれ低下するため、水深50mと同様、明らかに北方の冷たい水塊に置き換わったこととなる。

〔PC2〕

PC2の場合は、観測値とコアトップから求められた水温との間に各水深とも明らかな差異が見られ、水深0mの年平均で2.3℃、水深50mの年平均で3.1℃、100mの年平均で2.8℃とそれぞれ高い値を示した。前章では親潮主軸東方への暖水塊の北上に原因を求めたが、現段階では断言できないので、コアトップと最終氷期の差についてのみ検討することとした。

最終氷期の古水温とコアトップの古水温を比較すると、水深0mでは年平均で1.4℃、水深50mでは1.8℃、水深100mでは1.9℃の温度低下があったことを示している。PC2では水温低下は少ないが、PC1と同様に水深が深くなるにつれて水温低下の割合が大きくなっている。最終氷期における水深0mでの年較差は14.9℃で、コアトップから求められた0mの年較差との差に対し1.0℃広がったに留まる。また、コアトップと最終氷期の最高水温と最低水温の比較では、最高水温が0.9℃の低下、最低水温が1.9℃の低下となる。水深50mでの年較差、水深100mでの年較差は、それぞれ7.5℃, 4.1℃となるが、コアトップでの年較差と比べるとどちらも0.2℃しか変わらない。水深50mでの最高水温と最低水温の比較では、最高水温が1.6℃の低下、最低水温が1.8℃の低下となり、水深100mでの最高水温と最低水温の比較では、最高水温が1.7℃の低下、最低水温が1.9℃の低下となる。したがってPC2では最終氷期に1.6℃前後の水温低下はあるものの、水塊自体は大きく変化せず、やや北方の水塊が南下した程度に留まったこととなる。

表4 回帰式によって求められた観測水温とコアトップおよび最終氷期のピークの水温変化の比較

Table 4 Comparison with the observation temperature, core top value and the peak value of the LGM

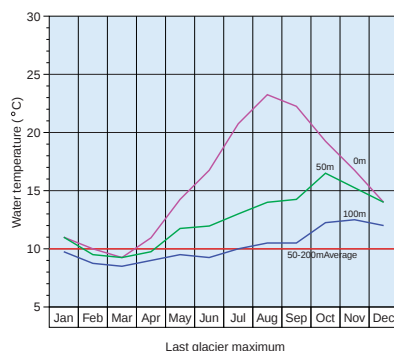
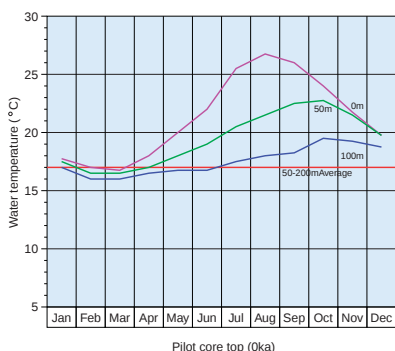
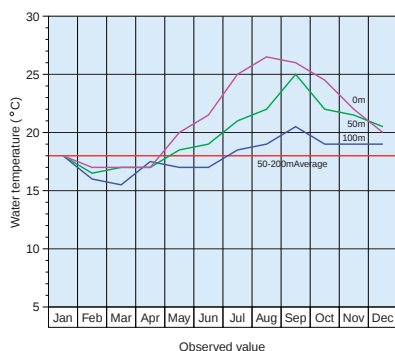
MR00-K05 PC1

	Observed value	Holocene pilot 0cm	Residual pl 0cm-Ob	LGM 28cm	Residual 18-0ka		Observed value	Holocene pilot 0cm	Residual pl 0cm-Ob	LGM 28cm	Residual 18-0ka		Observed value	Holocene pilot 0cm	Residual pl 0cm-Ob	LGM 28cm	Residual 18-0ka
Jan 0m	18.0°C	17.7°C	-0.3°C	10.9°C	-6.8°C	Jan 50m	18.0°C	17.6°C	-0.4°C	11.0°C	-6.6°C	Jan 100m	18.0°C	17.1°C	-0.9°C	9.8°C	-7.3°C
Feb 0m	17.0°C	16.9°C	-0.1°C	10.1°C	-6.8°C	Feb 50m	16.5°C	16.6°C	+0.1°C	9.6°C	-7.0°C	Feb 100m	16.0°C	16.1°C	+0.1°C	8.8°C	-7.3°C
Mar 0m	17.0°C	16.7°C	-0.3°C	9.3°C	-7.4°C	Mar 50m	17.0°C	16.5°C	-0.5°C	9.3°C	-7.2°C	Mar 100m	15.5°C	16.0°C	+0.5°C	8.6°C	-7.4°C
Apr 0m	17.0°C	18.0°C	+1.0°C	11.0°C	-7.0°C	Apr 50m	17.0°C	17.0°C	+0.0°C	9.8°C	-7.2°C	Apr 100m	17.5°C	16.4°C	-1.1°C	9.0°C	-7.4°C
May 0m	20.0°C	20.0°C	-0.0°C	14.2°C	-5.8°C	May 50m	18.5°C	18.6°C	+0.1°C	11.7°C	-6.9°C	May 100m	17.0°C	16.8°C	-0.2°C	9.6°C	-7.2°C
Jun 0m	21.5°C	22.2°C	+0.7°C	16.7°C	-5.5°C	Jun 50m	19.0°C	19.0°C	-0.0°C	11.9°C	-7.1°C	Jun 100m	17.0°C	16.7°C	-0.3°C	9.2°C	-7.5°C
Jul 0m	25.0°C	25.4°C	+0.4°C	20.8°C	-4.6°C	Jul 50m	21.0°C	20.4°C	-0.6°C	12.9°C	-7.5°C	Jul 100m	18.5°C	17.4°C	-1.1°C	10.1°C	-7.3°C
Aug 0m	26.5°C	26.7°C	+0.2°C	23.3°C	-3.4°C	Aug 50m	22.0°C	21.6°C	-0.4°C	13.9°C	-7.7°C	Aug 100m	19.0°C	18.0°C	-1.0°C	10.4°C	-7.6°C
Sep 0m	26.0°C	26.0°C	+0.0°C	22.3°C	-3.7°C	Sep 50m	25.0°C	22.4°C	-2.6°C	14.2°C	-8.2°C	Sep 100m	20.5°C	18.3°C	-2.2°C	10.6°C	-7.7°C
Oct 0m	24.5°C	24.0°C	-0.5°C	19.3°C	-4.7°C	Oct 50m	22.0°C	22.8°C	+0.8°C	16.6°C	-6.2°C	Oct 100m	19.0°C	19.4°C	+0.4°C	12.3°C	-7.1°C
Nov 0m	22.0°C	21.8°C	-0.2°C	16.7°C	-5.1°C	Nov 50m	21.5°C	21.4°C	-0.1°C	15.3°C	-6.1°C	Nov 100m	19.0°C	19.3°C	+0.3°C	12.5°C	-6.8°C
Dec 0m	22.0°C	19.8°C	-2.2°C	14.1°C	-5.7°C	Dec 50m	20.5°C	19.8°C	-0.7°C	14.0°C	-5.8°C	Dec 100m	19.0°C	18.8°C	-0.2°C	12.1°C	-6.7°C
Average	21.4°C	21.3°C	-0.1°C	15.7°C	-5.6°C	Average	19.8°C	19.5°C	-0.4°C	12.5°C	-7.0°C	Average	18.0°C	17.5°C	-0.5°C	10.2°C	-7.3°C
Maximum	26.5°C	26.7°C	+0.2°C	23.3°C	-3.4°C	Maximum	25.0°C	22.8°C	-2.2°C	16.6°C	-6.2°C	Maximum	20.5°C	19.4°C	-1.1°C	12.5°C	-6.9°C
Minimum	17.0°C	16.7°C	-0.3°C	9.3°C	-7.4°C	Minimum	16.5°C	16.5°C	-0.0°C	9.3°C	-7.2°C	Minimum	15.5°C	16.0°C	+0.5°C	8.6°C	-7.4°C
Max-Min	9.5°C	10.0°C	0.5°C	13.9°C	3.9°C	Max-Min	8.5°C	6.4°C	-2.1°C	7.3°C	0.9°C	Max-Min	5.0°C	3.3°C	-1.7°C	3.9°C	0.6°C

MR00-K05 PC2

	Observed value	Holocene pilot 0cm	Residual pl 0cm-Ob	LGM 28cm	Residual 18-0ka		Observed value	Holocene pilot 0cm	Residual pl 0cm-Ob	LGM 28cm	Residual 18-0ka		Observed value	Holocene pilot 0cm	Residual pl 0cm-Ob	LGM 28cm	Residual 18-0ka
Jan 0m	7.0°C	10.9°C	+3.9°C	9.1°C	-1.8°C	Jan 50m	6.5°C	11.0°C	+4.5°C	9.3°C	-1.7°C	Jan 100m	6.5°C	9.8°C	+3.3°C	7.9°C	-1.9°C
Feb 0m	7.5°C	10.1°C	+2.6°C	8.3°C	-1.8°C	Feb 50m	7.0°C	9.6°C	+2.6°C	7.8°C	-1.8°C	Feb 100m	6.5°C	8.7°C	+2.2°C	6.9°C	-1.8°C
Mar 0m	5.5°C	9.3°C	+3.8°C	7.4°C	-1.9°C	Mar 50m	6.0°C	9.2°C	+3.2°C	7.4°C	-1.8°C	Mar 100m	7.0°C	8.5°C	+1.5°C	6.6°C	-1.9°C
Apr 0m	9.0°C	10.9°C	+1.9°C	9.2°C	-1.7°C	Apr 50m	8.0°C	9.7°C	+1.7°C	7.9°C	-1.8°C	Apr 100m	6.0°C	8.9°C	+2.9°C	7.1°C	-1.8°C
May 0m	10.0°C	14.2°C	+4.2°C	12.7°C	-1.5°C	May 50m	7.0°C	11.7°C	+4.7°C	9.9°C	-1.8°C	May 100m	6.0°C	9.5°C	+3.5°C	7.7°C	-1.8°C
Jun 0m	13.5°C	16.7°C	+3.2°C	15.3°C	-1.4°C	Jun 50m	9.0°C	11.9°C	+2.9°C	10.1°C	-1.8°C	Jun 100m	7.0°C	9.1°C	+2.1°C	7.2°C	-1.9°C
Jul 0m	20.0°C	20.8°C	+0.8°C	19.6°C	-1.2°C	Jul 50m	10.0°C	12.9°C	+2.9°C	10.9°C	-2.0°C	Jul 100m	7.0°C	10.0°C	+3.0°C	8.2°C	-1.8°C
Aug 0m	21.5°C	23.2°C	+1.7°C	22.3°C	-0.9°C	Aug 50m	10.0°C	13.9°C	+3.9°C	11.9°C	-2.0°C	Aug 100m	7.0°C	10.3°C	+3.3°C	8.4°C	-1.9°C
Sep 0m	20.5°C	22.3°C	+1.8°C	21.4°C	-0.9°C	Sep 50m	11.5°C	14.1°C	+2.6°C	12.1°C	-2.0°C	Sep 100m	8.0°C	10.6°C	+2.6°C	8.6°C	-2.0°C
Oct 0m	17.5°C	19.3°C	+1.8°C	18.1°C	-1.2°C	Oct 50m	14.0°C	16.5°C	+2.5°C	14.9°C	-1.6°C	Oct 100m	10.0°C	12.2°C	+2.2°C	10.4°C	-1.8°C
Nov 0m	14.5°C	16.7°C	+2.2°C	15.4°C	-1.3°C	Nov 50m	12.0°C	15.2°C	+3.2°C	13.7°C	-1.5°C	Nov 100m	9.0°C	12.4°C	+3.4°C	10.7°C	-1.7°C
Dec 0m	11.0°C	14.1°C	+3.1°C	12.6°C	-1.5°C	Dec 50m	11.5°C	14.0°C	+2.5°C	12.5°C	-1.5°C	Dec 100m	9.0°C	12.0°C	+3.0°C	10.3°C	-1.7°C
Average	13.1°C	15.7°C	+2.6°C	14.3°C	-1.4°C	Average	9.4°C	12.5°C	+3.1°C	10.7°C	-1.8°C	Average	7.4°C	10.2°C	+2.8°C	8.3°C	-1.9°C
Maximum	21.5°C	23.2°C	+1.7°C	22.3°C	-0.9°C	Maximum	14.0°C	16.5°C	+2.5°C	14.9°C	-1.6°C	Maximum	10.0°C	12.4°C	+2.4°C	10.7°C	-1.7°C
Minimum	5.5°C	9.3°C	+3.8°C	7.4°C	-1.9°C	Minimum	6.0°C	9.2°C	+3.2°C	7.4°C	-1.8°C	Minimum	6.0°C	8.5°C	+2.5°C	6.6°C	-1.9°C
Max-Min	16.0°C	13.9°C	-2.1°C	14.9°C	1.0°C	Max-Min	8.0°C	7.3°C	-0.7°C	7.5°C	0.2°C	Max-Min	4.0°C	3.9°C	-0.1°C	4.1°C	0.2°C

MR00-K05 PC1



MR00-K05 PC2

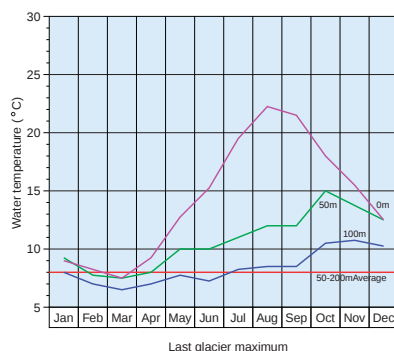
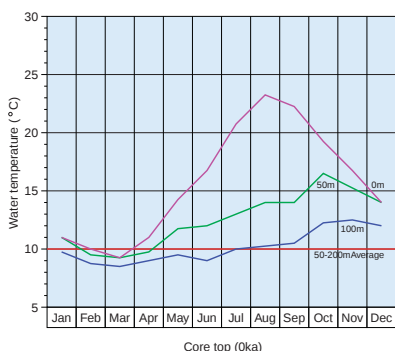
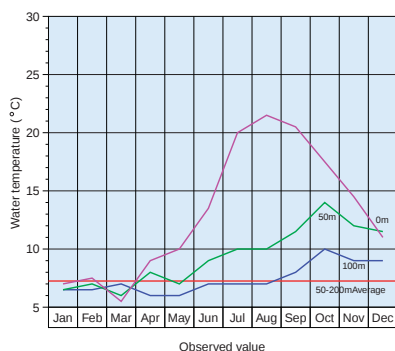


図4 回帰式によって求められた完新世0kaと最終氷期18kaの水深別年間水温

Fig. 4 The annual water temperature by each depth of 0ka and 18ka looked for due to the Recurrence-type

7. 結論

調査結果から、PC1の古水温は、10ka以前の各氷期において3.4~7.4℃程度低下し、現在の混合水塊の北方の水塊が張り出していたことになる。一方PC2の古水温は、最終氷期で0.9~1.9℃しか低下せず、北方のベーリング海やオホーツク海の寒冷水が直接北西太平洋の本海域に流入したのではなく、やや北方の水塊が張り出した程度となる。したがって、緯度の異なる2地点の温度差が狭まっていることから、黒潮前線は北緯35°よりも南に退き、混合水塊の幅が広がっていたこととなる。また、北緯35~40°での等温線の間隔は極めてゆるやかな状態であったこととなる。なお、MR99-03の調査結果では、最終氷期に本邦東方沖を親潮が南下したことが指摘されていることから、寒冷化に伴う親潮水の張り出しは主軸のみについて顕著に現れたものと見られる。今後、北緯30°前後で調査を行うことによって、最終氷期における黒潮統流の流路が解明されるものと思われる。

参考文献

- 1) 海洋試料センター編(1978): 海洋環境図外洋編-北西太平洋Ⅱ-。日本水路協会発行
- 2) 山内守明(1986): 日本近海表層堆積物中の放散虫群集。大阪微化石研究会誌特別号第7号, p.141-156.
- 3) 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 a high-resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy. *Quart. Res.*, 27, 1-29.
- 4) Nigrini, C., 1971. Radiolarian zones in the Quaternary of the equatorial Pacific Ocean. In: *The Micropaleontology of Oceans*, ed. B. M. Funnell & W. R. Riedel, pp.443-61, Cambridge University Press, Cambridge.
- 5) Johnson, D.A. and Knoll, A.H., 1975. Absolute ages of Quaternary radiolarian datum levels in the Equatorial Pacific. *Quater. Res.*, 5: 99-110.
- 6) Kruglikova, S.B., 1976. Radiolarians in the upper Pleistocene sediments of the boreal and northern subtropical zones of the Pacific Ocean. *Oceanology*, 16: 113-117.
- 7) Kruglikova, S.B., 1977. Peculiarities of the distribution of radiolarians in the sediments of the boreal and subtropical zones of the Pacific Ocean in the Pleistocene. *Oceanology*, 17: 1055-1062.
- 8) Morley, J.J., Hays, J.D. and Robertson, J.H., 1982. Stratigraphic framework for the late Pleistocene in the northwest Pacific Ocean. *Deep-Sea Res.*, 29: 1485-1499.
- 9) 山本浩文, 山内守明: 日本東方沖海底コア中の微化石群集解析による過去2万年の海洋表層水温の推定(MR97-04次航海), 海洋科学技術センター試験研究報告, 40, 43-52(2000)
- 10) 山内守明, 山本浩文: 「みらい」MR99-04 ピストンコア中の放散中遺骸群集に基づく過去2万年間の黒潮・親潮水塊の変遷, 海洋科学技術センター試験研究報告, 43, 73-82(2001)
- 11) 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 coast of Central Japan. *Marine Micropaleontology*, 11, 273-291.

(原稿受理: 2001年7月31日)