

海底堆積物中の浮遊性有孔虫と有機炭素を用いた 放射性炭素年代測定値の比較

池原 研¹

Ken IKEHARA (2000) Comparison of radiocarbon ages of planktonic foraminifera and bulk organic carbon in marine sediments. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 51 (7), p. 299-307, 3 figs, 2 tables.

Abstract: Radiocarbon ages of planktonic foraminifera and bulk organic carbon in marine sediments were compared for the Holocene marine sediment cores collected from the northern Japan Sea (Rishiri Trough) and off the Tokai area (Yukie Trough, off of Cape Omae-zaki). The results indicate the radiocarbon ages of organic carbon were older than those of planktonic foraminifera. The age differences are around 1080-1790 years in the conventional radiocarbon age and 1450-2160 years in the measured radiocarbon age. There is contamination of the "older" terrigenous carbon in sediments, although the C/N ratio of sediments and $\delta^{13}\text{C}$ values of organic carbon indicate that most of the organic materials in the sediments are marine (surface water plankton) origin. Depth plot of radiocarbon ages by both planktonic foraminifera and bulk organic carbon indicates the linear shift of the profile. The estimated conventional radiocarbon ages of planktonic foraminifera and organic carbon at the sediment surface of the Rishiri Trough are 480 ¹⁴C yr BP and 1990 ¹⁴C yr BP, respectively. Therefore, the age differences between radiocarbon ages and calendar age are estimated as 530 years and 2040 years. This suggests that the radiocarbon age of organic carbon in marine sediments deposited under the same environment can be used to determine the age with errors of several hundreds years, if the difference between the real age and radiocarbon age of organic carbon is known.

要 旨

日本海と東海沖の完新世海底堆積物について、堆積物中の浮遊性有孔虫と有機炭素の示す放射性炭素年代値について比較した。結果として、有機炭素の示す年代の方が $\delta^{13}\text{C}$ 補正後の年代値で1080-1790年(未補正の年代値で1450-2160年)古くでることが分かった。このことは、堆積物のC/N比や $\delta^{13}\text{C}$ 値では主に海洋起源を示す有機物でも、“古い”陸源の有機物粒子を含んでいることを示している。一方、浮遊性有孔虫及び有機炭素の示す年代値をコア深度に対してプロットしてみると、数百年のふらつきを考慮すれば、浮遊性有孔虫の示す年代値とほぼ平行関係にあることを示している。利尻トラフの堆積速度曲線から推定される海底表面における浮遊性有孔虫及び有機炭素の $\delta^{13}\text{C}$ 補正後の年代値はそれぞれ480年前と1990年前と計算され、浮遊性有孔虫及び有機炭素の $\delta^{13}\text{C}$ 補正後の年代値と暦年代(試料採取年)との差はそれぞれおよそ530年及び2040年と推定される。このことは、ある層準で有機物の示す年代値と真の年代値の差が求められれば、有機物の起源や供給量・割合がほぼ同じ

時期であれば、堆積物中の有機物を用いた年代測定結果も数百年程度の誤差をもって利用できることを示している。

1. はじめに

数百年～数千年前程度までの海底堆積物を用いた海洋古環境変遷や地質イベント年代決定のための時間軸設定には、堆積物中に含まれる浮遊性有孔虫を用いた放射性炭素年代測定がもっとも一般的である。近年、加速器質量分析法による放射性炭素年代測定が導入されてから、海底堆積物の堆積年代の決定が多くの場所で、そして一つの試料の多くの層準で、行われるようになった。このような多数の堆積年代の決定は、古環境変遷や地質イベントの研究に大きく貢献してきている。浮遊性有孔虫でも種によってその生息水深が異なり、水深によって海水中の ¹⁴C 濃度が異なるため、同じ層準でも測定対象とする浮遊性有孔虫の種によって示す年代値が異なることが知られている (Broecker *et al.*, 1988)。このため、海底堆積物のより良い年代決定のためには、大気と二酸化炭

¹ 海洋地質部 (Marine Geology Department, GSI)

Keywords: marine sediment, radiocarbon age, planktonic foraminifera, organic carbon

素分圧が平衡状態にある表層水中に生息する浮遊性有孔虫の単種を用いて年代測定を行うのがよいとされる(村山ほか, 1993)。しかし, 対象海域の水深が深かったり, 底層水温が著しく低温な場合, また表層水中での浮遊性有孔虫の生産量が小さいか陸源物質や珪質微化石遺骸の大量な堆積のため浮遊性有孔虫が堆積物中で希釈され, 浮遊性有孔虫遺骸の産出量が著しく低い場合や, 構成する浮遊性有孔虫が小型で殻の薄いもののみからなる場合には, 単種のみならず浮遊性有孔虫の全量でも年代測定に必要な量の浮遊性有孔虫を得ることが困難な場合もある。特に, 完新世の日本海のように炭酸カルシウム補償深度(Calcium carbonate Compensation Depth: CCD)が浅い海(約2000m: Ichikura and Ujiie, 1976)では, 浮遊性有孔虫を用いた年代決定が不可能な場合もある。このような場合, 堆積物中の有機炭素を測定対象として放射性炭素年代測定を行う場合がある。堆積物中の有機炭素の起源としては, 海洋表層で生産された有機物と陸から供給された有機物とがある。海洋表層で生産された有機物は大气よりも約50%低い表層水の¹⁴C濃度(Broecker and Peng, 1982; Bard, 1988)に対応した年代を示すと考えられるが, 陸源の有機物では大气中の¹⁴C濃度に対応した年代を示す“新しい炭素”と土壌や陸上堆積物などを經由してくる炭化物などの“古い炭素”の混合物となり, 一般に実際よりも古い年代を示すことが多い。このような海洋起源の炭素と陸源の炭素, さらに陸源の“新しい炭素”と“古い炭素”の混合比は, それぞれの場所の堆積過程や供給源の違いによって, 時空間的に変化すると考えられる。したがって, 海底堆積物の有機炭素を用いた年代値がどの程度の時間精度の議論まで使えるかは, 各場所の各時代について検討しておく必要がある。このような検討は古環境変遷や過去の地質イベントを論じる際の時間精度の基本問題となる。

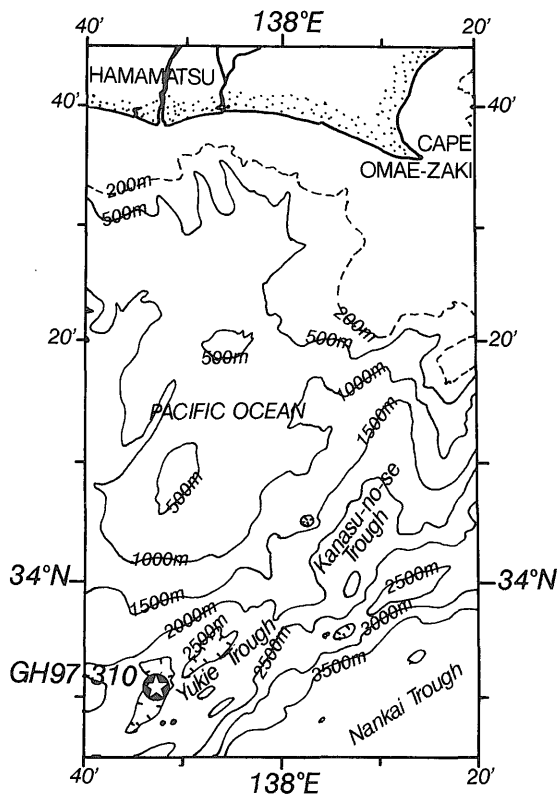
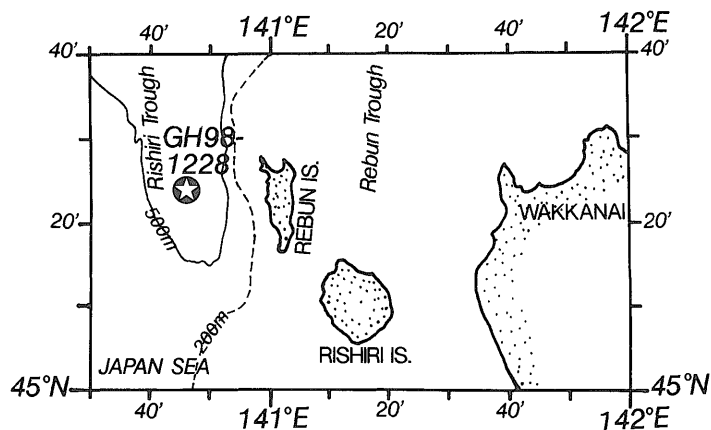
ここでは, 日本海北部と太平洋東海沖の完新世堆積物を例に, 浮遊性有孔虫と堆積物の有機炭素を用いた年代

測定結果について比較する。この比較からこの2つの海域における有機炭素を用いた年代値から議論可能な時間精度について考察する。

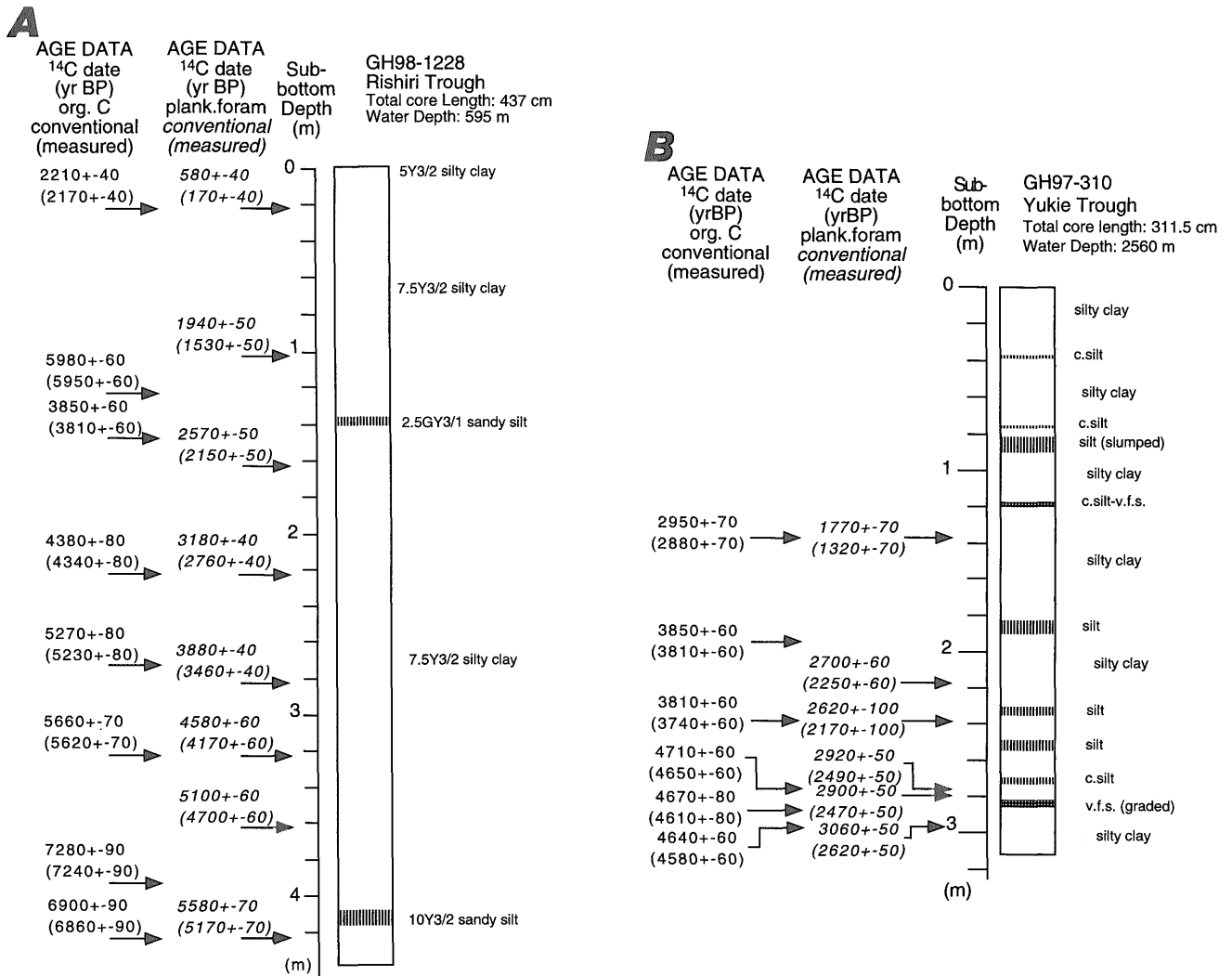
2. 試料と方法

今回の比較では, 日本海北部と太平洋東海沖から採取された1本ずつの海底堆積物柱状試料について検討する(第1図)。それぞれの試料の柱状図は第2図に示した。

日本海北部の試料は, 地質調査所による白嶺丸のGH98航海において, 北海道西方沖, 礼文島西方の利尻トラフ(北緯: 45° 24.05', 東経: 140° 45.93', 水深: 595m)から採取されたコアGH98-1228である。このコアはオリブ~オリブ黒色の珪藻化石に富む半遠洋性粘土からなる。そして, この試料には深度137-140cmと408-414cmの層準に砂質シルトからなるタービダイトが挟在している(第2図A)。浮遊性有孔虫による年代測定用試料は, 20cm間隔で3cm厚の試料を分取し, 63μmのふるい上で水洗し, 残渣を超音波洗浄した後, 乾燥器にて低温で乾燥させた。これから実体顕微鏡下で浮遊性有孔虫を拾い出して試料とした。年代測定に十分な量の試料が得られたのは12層準である。有機炭素による年代測定試料は, およそ50cm間隔で湿重量で3-5g程度を採取した。測定試料の数は8個である。



第1図 試料採取地点位置
Fig. 1 Sampling locations



第2図 研究対象試料の柱状図と浮遊性有孔虫 (plank. foram) 及び有機炭素 (org. C) を用いた未補正 (measured) 及び $\delta^{13}\text{C}$ 補正後 (conventional) の放射性炭素年代値。A) 日本海北部利尻トラフのコア GH98-1228, B) 東海沖ユキエトラフのコア GH97-310。Fig. 2 Columnar sections of studied cores with radiocarbon ages of planktonic foraminifera and bulk organic carbon. Measured and conventional radiocarbon ages are shown. A) Core GH98-1228 from Rishiri Trough, northern Japan Sea, B) Core GH97-310 from Yukie Trough, off of Tokai.

東海沖の試料は、地質調査所による白嶺丸のGH97航海において、御前崎南方のユキエトラフ(北緯: 33° 50.97', 東経: 137° 47.19', 水深: 2560m) から採取されたコア GH97-310である。このコアはオリブ色の半遠洋性泥(粘土質シルト~シルト質粘土)中に粗粒シルト~極細粒砂のタービダイトを多数挟み込んでいる(第2図B)。浮遊性有孔虫による年代測定試料は、タービダイト間の半遠洋性泥の2-6cm厚を分取し、63 μm のふるい上で水洗し、残渣を超音波洗浄後、低温で乾燥させた試料から、鏡下で拾い出した。コア全体で10個の試料を測定した。有機炭素による年代測定試料は同じ層準を中心に湿重量で3-7g程度を採取した。測定試料の数は6個である。

これらすべての年代測定用試料は、(株)地球科学研究

所を通じて、Beta Analytic社で加速器質量分析法により放射性炭素年代測定を実施した。有機炭素による年代測定においては、堆積物中に含まれる無機炭素(炭酸塩)を除去するために酸処理を行った。得られた年代値は、Libbyの半減期である5568年を用い、大気中の二酸化炭素の ^{14}C 比放射能を一定として計算される年代値(measured radiocarbon age; 以下、本論では未補正年代値と呼ぶ)と $\delta^{13}\text{C}$ 測定による同位体分別の補正を行った放射性炭素年代値(conventional radiocarbon age; 以下、本論では $\delta^{13}\text{C}$ 補正年代値と呼ぶ)の2種類あり、本論では主に $\delta^{13}\text{C}$ 補正年代値で比較した。両海域とも海洋のレザバー年代値及び堆積物中の有機物の海洋起源/陸源の比率が不明のため、暦年代への補正はしていない。

本論文は、浮遊性有孔虫の示す年代値と有機炭素の示

す年代値の差を検討するのが目的であるので、2つのコアで得られたすべての浮遊性有孔虫の年代は考察に使用していない。これらについては、利尻トラフの試料については池原(投稿中)、東海沖の試料については Ikehara (1999) を参照されたい。

3. 年代測定結果

2本のコアの浮遊性有孔虫及び有機炭素を用いた年代測定結果の比較は第1, 2表のようにまとめられる。

日本海北部利尻トラフのGH98-1228の浮遊性有孔虫の年代測定結果(第1表)から、この試料はすべて完新世のものであり、その堆積速度はコア全体を通じておよそ80cm/1000年と見積もられる。また、浮遊性有孔虫の示す $\delta^{13}\text{C}$ 補正年代は表層近くの深度21-24cmにおける580¹⁴C yrBPからコア基部近くの深度421-424cmの5580¹⁴C yrBPまで、コアの深度増加方向に単純に増加している。これに対して有機炭素による年代測定結果は、おおよそコア深度増加方向に増加するものの、2つの層準(深度121-124cmと深度391-394cm)において明らかに下位層準の年代値よりも古い年代値を示している。表層近くの深度21-24cmにおける $\delta^{13}\text{C}$ 補正年代値は2210¹⁴C yrBP、コア基部近くの深度421-424cmでは6900¹⁴C yrBPとなっている。8つの測定層準のうち下位より古い年代を示す2つの層準を除いた6つの層準の有機炭素の示す $\delta^{13}\text{C}$ 補正年代値は、同じ層準の浮遊性有孔虫の $\delta^{13}\text{C}$ 補正年代あるいはその上下の浮遊性有孔虫の $\delta^{13}\text{C}$ 補正年代から内挿して求められる年代よりも1080~1630年古い。この年代差に層序的な規則性は認められないが、下位の層準(年代的に古い層準)ほどわずかながら年代差が小さくなる傾向が見られる(第1表, 第3図A)。

東海沖ユキエトラフのGH97-310の浮遊性有孔虫の年代測定結果は、この試料はすべて完新世のものであり、比較した層準の $\delta^{13}\text{C}$ 補正年代がおおよそ1800¹⁴C yrBPから3000¹⁴C yrBPの範囲にあることを示している(第2表)。このコアでは、浮遊性有孔虫の示す年代も深度212-218cmと深度274-278cmにおいて下位の層準(深度234-238cm及び深度278-280cm)よりも古い。このうち、下位のもの(深度274-278cm)については深度差を考慮すれば年代測定誤差の中に収まると考えられる。したがって、上位のもの(深度212-218cm)を除けばほぼ直線的な堆積速度曲線を示している。一方、有機炭素の示す年代は大局的にみれば、コアの下位に向かって年代が増加しているが、年代値の逆転も多く認められる。測定結果のうち、もっとも古い年代を示したのは深度274-278cmの層準で、この層準の $\delta^{13}\text{C}$ 補正年代値(4710¹⁴C yrBP)はこの下位の2つの層準における年代値よりもわずかに大きい。ただし、コア中での深度差(11cm及び20cm)を考慮すれば年代測定誤差の範囲にはいる可能性がある。有機炭素と浮遊性有孔虫の示す $\delta^{13}\text{C}$ 補正年代値の差は1180~1790年の間にあり、有機炭素の示す年代の方が古い。年代差は下位の方がやや大きいように見えるが、差は顕著でない(第2表, 第3図B)。

4. 浮遊性有孔虫の示す年代と有機物の示す年代の違い

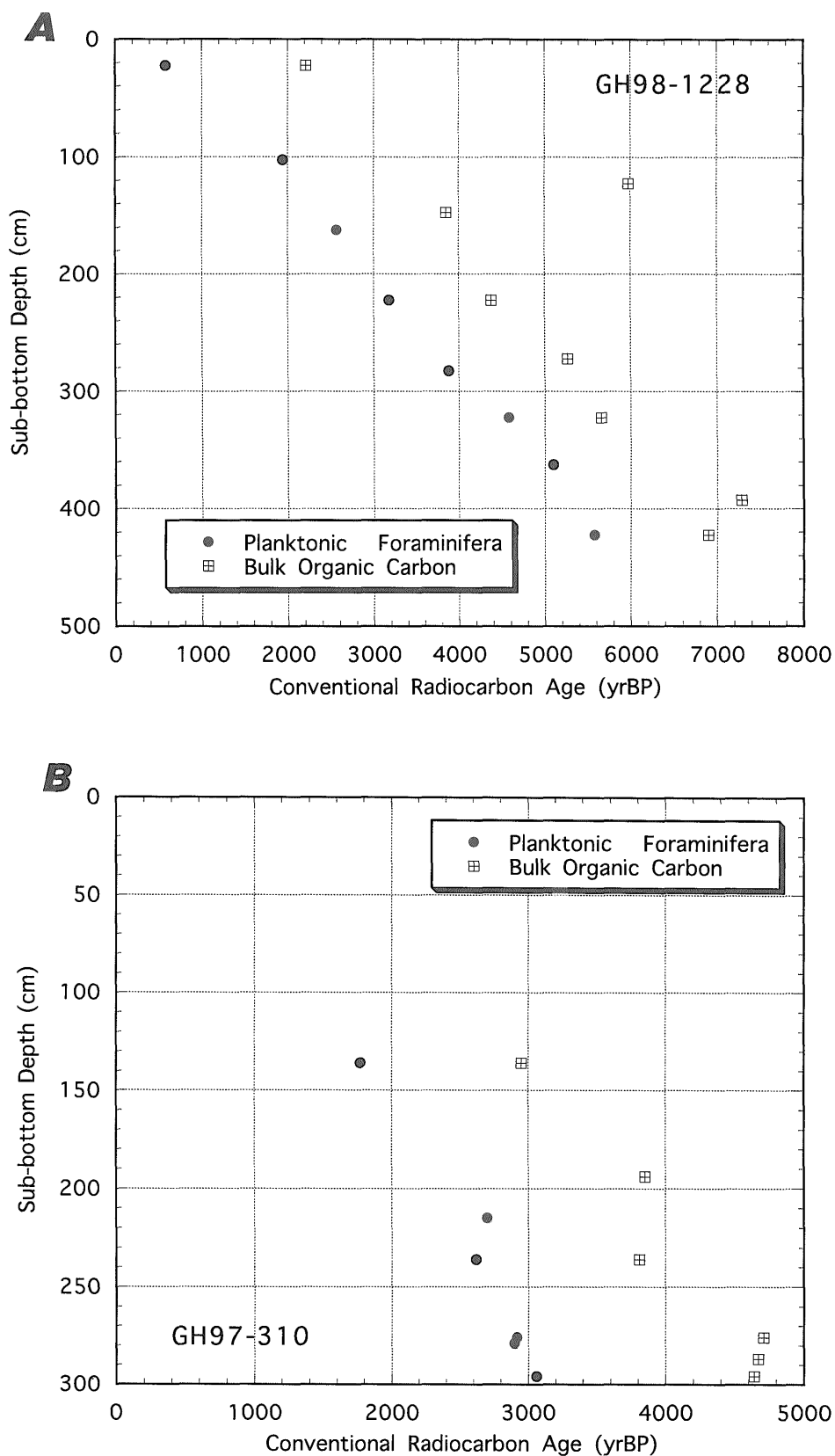
いずれの結果においても、有機物の示す年代の方が浮遊性有孔虫の示す年代よりも古い年代を示している。このことは、有機物の起源として、陸源の“古い炭素”が含まれていることを指示している。浮遊性有孔虫の示す年代は海洋のレザバー効果の影響を含んでいるので、レザバー効果補正後の年代値は表の数値よりも数百年以上(全球平均では400年と見積もられている: Broecker

第1表 日本海北部利尻トラフからの柱状試料(GH98-1228)の浮遊性有孔虫及び有機炭素を用いた放射性炭素年代測定結果。浮遊性有孔虫(Fあるいはpl.F)と有機炭素(CあるいはorgC)の未補正年代値(measured age), $\delta^{13}\text{C}$ 値, $\delta^{13}\text{C}$ の同位体分別補正後の年代値(conventional age)を示した。

Table 1 Result of radiocarbon age determination of planktonic foraminifera and organic carbon in Core GH98-1228 from the Rishiri Trough, northern Japan Sea. Measured radiocarbon ages, $\delta^{13}\text{C}$ values, and conventional radiocarbon ages of planktonic foraminifera (F and pl. F) and bulk organic carbon (C or orgC) are shown.

Sample No.	Sub-bottom Depth (cm)	¹⁴ C age (F) (measured)	$\delta^{13}\text{C}$ (F) (permil)	¹⁴ C age (F) (conventional)	Accession No. (F)	¹⁴ C age (C) (measured)	$\delta^{13}\text{C}$ (C) (permil)	¹⁴ C age (C) (conventional)	Accession No. (C)	Age Difference (orgC-pl.F)
1	G1228-2-10 21-24	170±40	-0.2	580±40	Beta-134159	2170±40	-22.4	2210±40	Beta-128561	1630
2	G1228-2-90 101-104	1530±50	0.0	1940±50	Beta-134163					
3	GSJ12282 121-124					5950±60	-23.2	5980±60	Beta-128562	-
4	GSJ12283 146-149					3810±60	-22.6	3850±60	Beta-128563	1450*
5	G1228-3-50 161-164	2150±50	0.3	2570±50	Beta-134164					
6	G1228-4-10 221-224	2760±40	0.4	3180±40	Beta-134165	4340±80	-23.2	4380±80	Beta-128564	1200
7	G12285 271-274					5230±80	-22.4	5270±80	Beta-128564	1510*
8	G1228-4-70 281-284	3460±40	0.3	3880±40	Beta-134166					
9	G1228-5-10 321-324	4170±60	-0.3	4580±60	Beta-134168	5620±70	-22.5	5660±70	Beta-128569	1080
10	G1228-5-50 361-364	4700±60	-0.7	5100±60	Beta-134169					
11	GSJK3112 391-394					7240±90	-22.7	7280±90	Beta-128570	-
12	G1228-C-10 421-424	5170±70	0.0	5580±70	Beta-134170	6860±90	-22.4	6900±90	Beta-128571	1320

*: estimation from two ¹⁴C ages of planktonic foraminifera above and below the measured horizon



第3図 浮遊性有孔虫及び有機炭素を用いた $\delta^{13}\text{C}$ 補正後の放射性炭素年代とコア深度との関係。A) 日本海北部利尻トラフのコア GH98-1228, B) 東海沖ユキエトラフのコア GH97-310。

Fig. 3 Depth plot of conventional radiocarbon ages of planktonic foraminifera and bulk organic carbon. A) Core GH98-1228 from Rishiri Trough, northern Japan Sea, B) Core GH97-310 from Yuki Trough, off of Tokai.

第2表 東海沖ユキエトラフからの柱状試料(GH97-310)の浮遊性有孔虫及び有機炭素を用いた放射性炭素年代測定結果。浮遊性有孔虫(Fあるいはpl.F)と有機炭素(CあるいはorgC)の未補正年代値(measured age), $\delta^{13}\text{C}$ 値, $\delta^{13}\text{C}$ の同位体分別補正後の年代値(conventional age)を示した。

Tabel 2 Result of radiocarbon age determination of planktonic foraminifera and organic carbon in Core GH97-310 from the Yukie Trough, off of Tokai area. Measured radiocarbon ages, $\delta^{13}\text{C}$ values, and conventional radiocarbon ages of planktonic foraminifera (F and pl. F) and bulk organic carbon (C or orgC) are shown.

Sample No.	Sub-bottom Depth (cm)	^{14}C age (F) (measured)	$\delta^{13}\text{C}$ (F) (permil)	^{14}C age (F) (conventional)	Accession No. (F)	^{14}C age (C) (measured)	$\delta^{13}\text{C}$ (C) (permil)	^{14}C age (C) (conventional)	Accession No. (C)	Age Difference (orgC-pl.F)	
1	310-6-69-75	133-139 cm	1320±70	2.0	1770±70	Beta-116717	2880±70	-20.9	2950±70	Beta-128566	1180
2	310-7-27-33	191-197 cm					3810±60	-22.6	3850±60	Beta-139865	1400*
3	310-7-48-54	212-218 cm	2250±60	2.1	2700±60	Beta-116718					
4	310-7-70-74	234-238 cm	2170±100	2.8	2620±100	Beta-116720	3740±60	-20.8	3810±60	Beta-128567	1190
5	310-CC-10-14	274-278 cm	2490±50	1.1	2920±50	Beta-116724	4650±60	-21.6	4710±60	Beta-139866	1790
6	310-CC-14-16	278-280 cm	2470±50	1.1	2900±50	Beta-116725					
7	310-CC-21-25	285-289 cm					4610±80	-21.1	4670±80	Beta-128568	1695*
8	310-CC-31-33	295-297 cm	2620±50	1.4	3060±50	Beta-116726	4580±60	-21.4	4640±60	Beta-139867	1580

*: estimation from two ^{14}C ages of planktonic foraminifera above and below the measured horizon

and Peng, 1982; Bard, 1988) 若くなる。一方、海洋起源の有機物は浮遊性有孔虫と同様に海洋のレザバー効果の影響を受けているが、陸源の有機物はレザバー効果の影響を受けない。したがって、レザバー効果の補正値はすべてが海洋起源の場合よりも小さくなるので、レザバー効果補正後の浮遊性有孔虫と有機炭素の年代値の差は第1, 2表に示した数値よりも大きくなるはずである。

有機物の海洋/陸源の指標となるとされる有機物のC/N比(重量比)は、試料採取地点近傍の東海沖の表層堆積物について7.5-7.6(Maekawa and Komiya, 1999), という値が得られている。また、利尻トラフの表層堆積物については炭酸塩も含んだ全炭素と全窒素の比で7.83-8.07と測定されている(横田未公表資料)。利尻トラフの分析試料は酸との反応で発泡などの反応が認められないので、この値はほぼ堆積物中の有機物のC/N比を示すと考えられる。海洋プランクトンのC/N比は4.3~6.6(Redfield *et al.*, 1963; Jasper and Gagosian, 1990)あるいは5~6(Emerson and Hedges, 1988), 陸源の有機物のC/N比は17以上(Hedges and Parker, 1976; Hedges *et al.*, 1986)なので、この表層堆積物の値は有機物の起源が主に海洋表層にあること、陸源の有機物の混入があることを示している。また、今回測定された $\delta^{13}\text{C}$ の値は、利尻トラフの試料で-22.4~-23.2‰(第1表), 東海沖の試料で-20.8~-22.6‰(第2表)となっている。三陸大槌湾の河川及び海底堆積物中の有機物の炭素同位体比は河川から河口域では-24‰以下(平均-25.9‰)なのに対し、海底堆積物では-21~-25‰とやや重くなる(Wada *et al.*, 1987)。また、日本海溝や千島南東沖の表層堆積物では約-21‰を示す(中塚, 1998)。さらに、中緯度域の陸上植物の炭素同位体比は-25~-27‰で、海洋プランクトンの値は-19~-22‰(酒井・松久, 1996), 日本周辺海域の海洋起源有機炭素のそれは-18~-21‰(南川, 1995)とされる。炭素同位体比の結果も、今回の堆積物の有機物の起源が主に海洋表層起源であるが陸源の有機物の混入があることを示している。これらのことは、堆積物の有機物の中に陸源

の“古い炭素”の混入を示す年代測定結果と調和的である。

一方、それぞれのコアについて年代差を見てみると利尻トラフのGH98-1228では $\delta^{13}\text{C}$ 補正年代値で1080~1630年(年代差の単純平均で1365年:未補正放射性炭素年代では1450~2000年の年代差), 東海沖のGH97-310では1180~1790年(単純平均1473年:未補正年代値では1560~2160年の年代差)の範囲にある。測定数が少ないので統計的な意味に欠けるが補正後の年代差の標準偏差(1 σ)は、利尻トラフの試料について190年, 東海沖の試料について240年となる。また、浮遊性有孔虫と有機炭素を用いた年代測定結果($\delta^{13}\text{C}$ 補正年代値)をコアの深度に対してプロットすると、一部大きくはずれるものはあるものの、浮遊性有孔虫の年代の示す曲線と有機炭素の年代の示す曲線は誤差を考慮すればほぼ平行関係になる(第3図)。特に、両者ともほぼ直線的な堆積年代-深度曲線を示す利尻トラフの場合、明らかに古い年代を示す2つの層準の有機物の年代を除いて、それぞれの $\delta^{13}\text{C}$ 補正年代とコア深度について回帰直線を求めると、それぞれ以下のような式が求められる。

$$T_{\text{PF}} = 12.4D_{\text{PF}} + 480$$

$$T_{\text{orgC}} = 11.6D_{\text{orgC}} + 1990$$

ここで、 T_{PF} , D_{PF} はそれぞれ、浮遊性有孔虫についての $\delta^{13}\text{C}$ 補正年代とコア深度, T_{orgC} , D_{orgC} は有機炭素についての $\delta^{13}\text{C}$ 補正年代をコア深度である。両式について計算される相関係数は浮遊性有孔虫, 有機炭素両方について0.997である。この式で、深度0 cm(海底表面)における年代値を推定すると、浮遊性有孔虫について約480年, 有機炭素について約1990年という値が求められる。この試料の採取年が1998年であるので、通常放射性炭素年代の基準である1950年から48年が経過している。したがって、放射性炭素年代で見ると現在と考えられる海底表面の示す年代は、浮遊性有孔虫については約530年, 有機炭素については約2040年古いことになる。この原因には、浮遊性有孔虫については、海洋のレザバー効果とLibbyの半減期(5568年)と現在受け入れられている半減

期(5730年)の違い, 太陽活動や地球磁場変動などによる大気中二酸化炭素の ^{14}C 比放射能の変動が関係しており, 有機物についてはさらに有機物の起源や“古い”有機物の混入なども関係している。また, 両式の勾配の数値の違いからわずかながら過去(下位の層準)に向かって年代差が減少していくことも読み取れる。ちなみに, 浮遊性有孔虫と有機炭素の年代値及び深度差から計算される平均堆積速度は, 利尻トラフの場合80cm/1000年と85cm/1000年, 東海沖の場合124cm/1000年と95cm/1000年となる。東海沖の場合, 平均堆積速度にやや差が大きい, 有機炭素による年代値にばらつきが大きいのが原因と考えられ, もっとも堆積速度が大きく計算できる深度133-139cmと234-238cmの区間で堆積速度を計算すると116cm/1000年となる。以上のことは, 海洋環境に大きな変化がないと考えられる区間においては, ある層準において浮遊性有孔虫との年代差あるいは年代既知の火山灰層などを用いることにより真の堆積年代との年代差が決定できれば, 有機炭素の年代から堆積年代のおおよそを推定することが可能であることを示している。今回得られた結果のばらつきからみれば, 利尻トラフの例では300-400年, 東海沖の例では400-500年程度の誤差を考慮に入れた議論はできる可能性があると考えられる。したがって, 3000年程度の利尻沖のタービダイトの堆積間隔(池原, 投稿中)の議論においては有機炭素の年代のみを用いても大きな問題は生じないと言える。しかし, 南海トラフ沿いのように100-150年の間隔で地震が起こり, タービダイトから過去の地震の発生年代や間隔を考察しようとする場合には有機物の年代値のみを用いて議論することは難しい。

前述のように, 有機物の起源は大きく海洋表層起源と陸源に区別され, 陸源には“新しい炭素”と“古い炭素”がある。海底堆積物における有機物の海洋起源/陸源の比や陸源中の“新しい炭素”と“古い炭素”の比は, 海洋表層における生物生産性, 生産されるものの種類, 陸から供給される物質の質と量や供給過程に関係する。例えば, 秋田沖陸棚一斜面域の表層堆積物では, 陸上河川から供給された有機物粒子が陸棚域の海洋循環に支配されて輸送され, 外側陸棚から斜面上部のある場所に堆積していることが知られている(Ikehara *et al.*, 1996)。このような粒子輸送過程は海水準変動や海洋環境変動の影響を強く受けるので, 上記のような年代差ほぼ一定の仮定はある場所の同じ海洋環境下においてのみ成り立つものである。また, 利尻トラフで推定した海底表面(現在)における浮遊性有孔虫, 有機炭素の示す年代値も時空間的に変わる可能性がある。例えば, 現在と大きく海洋環境が異なっていた最終氷期最盛期(酸素同位体ステージ2)の日本海においても, 上記の利尻トラフの結果がそのまま使える保証はない。つまり, 環境が異なっていたことが分かっている場合には, それぞれの環境におい

て年代差を求めることが必要である。また, 環境毎に年代差が異なるとすれば, 供給される有機物の量や質が異なっていることを意味するので, 海洋環境変化解読のための一つの指標に使える可能性もある。今回の2つの試料の場合, いずれも完新世の試料からなっており, 大きな海洋環境の違いはないと言える。ただし, 利尻トラフの試料の下部は縄文前期の温暖期(縄文海進に相当)(例えば, 海津, 1994; 坂口, 1995)にかかり, 日本海でも暖流が強かった時期と考えられている(小泉, 1994)。したがって, 海洋表層での生物生産性などが現在と多少違っていた可能性も残るが, このような環境変化が年代差にいかにか現れているかは現在のところ不明である。

今回の2本のコアにはいずれもタービダイトが挟在している(第2図)。どちらの場所のタービダイトも地震時に近傍の斜面域の崩壊により形成されたと考えられる(Ikehara, 1999; Ikehara *et al.*, 1999; 池原, 2000, 投稿中)が, このような二次堆積物ではしばしば崩壊した斜面に堆積していた“古い”粒子をもたらすことがある。さらに, タービダイトの上位の半遠洋性泥の堆積する通常時には底生生物により底質が混合される。タービダイトによる“古い”粒子が表層付近に存在する場合には, この“古い”粒子も混合されて, 新しい堆積物中に拡散する。このため, タービダイトの直上の半遠洋性泥では予想されるよりも古い年代値が出たり, 年代値の層位的逆転が起こることがある。今回の利尻トラフの有機炭素による例ではタービダイト層の上位でのみ年代の逆転が見られる。一方, 東海沖の例ではタービダイトの存在と年代の逆転には明瞭な関係は認められない。しかし, 東海沖においては多数のタービダイトが挟在し, “古い”粒子が頻りに供給されている場と考えられる。このような場では, 得られた年代値の一つ一つについて十分に吟味することが必要である。また, 東海沖の有機炭素の示す年代にばらつきが大きいのは, このように“古い”粒子の供給が多いことも原因の一つである可能性がある。

5. おわりに

以上, 日本海北部利尻トラフと東海沖の2本のコアの年代測定結果は, 海底堆積物中の有機炭素を用いた年代測定は真の堆積年代よりも明らかに古い年代を示すものの, どこかで真の堆積年代との差を決めてやることで, 年代指標値となりえることを示している。ただし, 浮遊性有孔虫の示す年代と有機炭素の示す年代との差のばらつきは数百年以上あるので, 有機炭素の年代値から堆積年代を議論する場合には300-500年程度より細かい精度で議論することは困難である。しかし, 浮遊性有孔虫の産出が稀な海域や水深域では浮遊性有孔虫や火山灰の示す年代の補助的手段として有機炭素の年代も十分使える場合があることを示している。もちろん, このような年

代差は海洋環境の変化による陸源物質の供給パターンや供給源の変化, 海洋表層での生物生産性や生産物の変化の影響を強く受けると考えられる。したがって, 研究対象海域の研究対象時代において, このような環境変化が起こっていたかどうかは, 今回報告した結果を応用する上では重要な検討項目である。このような点を考慮した上で, 有機炭素を用いた年代測定値も有効に使っていくことが求められる。

謝辞 今回用いた2本の海底堆積物柱状試料の採取にあたっては, 「白嶺丸」のGH97航海及びGH98航海の乗船乗組員, 研究者の方々に大変お世話になった。利尻トラフの試料からの浮遊性有孔虫の処理は, 宇佐見和子さんをお願いした。また, 査読者からは建設的な意見をいただき, 原稿が改善された。以上の方々に礼を申し上げる。本研究結果は, 科学技術振興調整費「南海トラフにおける海溝型巨大地震災害軽減のための地震発生機構のモデル化・観測手法の高度化に関する総合研究」並びに「日本海東縁の地震発生ポテンシャルに関する総合的研究」の成果の一部である。

文 献

- Bard, E. (1988) Correction of accelerator mass spectrometry ^{14}C ages measured in planktonic foraminifera: Paleooceanographic implication. *Paleoceanography*, **3**, 635-646.
- Broecker, W. S. and Peng, T. -H. (1982) *Tracers in the Sea*. Eldigio Press, New York, 690p.
- Broecker, W. S., Andreé, M., Bonani, G., Wolfi, W., Klas, M., Mix, A. and Oeschger, H. (1988) Comparison between radiocarbon ages obtained on coexisting planktonic foraminifera. *Paleoceanography*, **3**, 647-657.
- Emerson, S. and Hedges, J. I. (1988) Processes controlling the organic carbon content of open ocean sediments. *Paleoceanography*, **3**, 621-634.
- Hedges, J. I., Clark, W. A., Quay, P. D., Richey, J. E., Devol, A. H. and Santos, U. M. (1986) Compositions and fluxes of particulate material in the Amazon River. *Limonol. Oceanogr.*, **31**, 717-738.
- Hedges, J. I. and Parker, P. L. (1976) Land-derived organic matter in surface sediments from the Gulf of Mexico. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **40**, 1019-1029.
- Ichikura, M. and Ujiie, H. (1976) Lithology and planktonic foraminifera of the Sea of Japan piston cores. *Bull. Natl. Sci. Mus., Tokyo*, ser. C, **2**, 151-178.
- Ikehara, K. (1999) Recurrence intervals of deep-sea turbidites in some basins along the eastern Nankai Trough. *Proc. Workshop on Recurrence of Great Interplate Earthquakes and Its Mechanism*, 49-54.
- 池原 研 (2000) 海底堆積物中の地震性堆積物からみた北海道西方沖の地震再来間隔。月刊地球号外, no. 28, 134-138.
- 池原 研 (投稿中) 利尻トラフの海底堆積物中にタービダイトとして記録された北海道北端部の地震。第四紀研究 (受理済)。
- Ikehara, K., Katayama, H. and Nakajima, T. (1996) Mode of mud deposition on shelf to basin area off Akita, northeast Japan Sea. *La mer*, **34**, 137-151.
- Ikehara, K., Katayama, H., Saito, Y., Komiya, M., Ishizuka, O., Yuasa, M. and Nakasone, T. (1999) Surface sediment characteristics and sedimentology off Tokai region. *Geol. Surv. Japan Cruise Rep.*, no. 24, 101-125.
- Jasper, J. P. and Gagosian, R. B. (1990) The source and deposition of organic matter in the Late Quaternary Pigmy Basin, Gulf of Mexico. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **54**, 1117-1132.
- 小泉 格 (1994) 日本列島周辺の海流と日本文化。小泉 格・田中耕司 (編), 講座「文明と環境」第10巻「海と文明」, 朝倉書店, 東京, 12-22.
- Maekawa, T. and Komiya, M. (1999) Carbon and nitrogen contents of surface sediments collected from Off Tokai area, Japan. *Geol. Surv. Japan Cruise Rep.*, no. 24, 165-170.
- 南川雅男 (1995) 海洋有機物の炭素・窒素同位体による古海洋研究の課題。月刊海洋, **27**, 520-524.
- 村山雅史・松本英二・中村俊夫・岡村 眞・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—。地質雑, **99**, 787-798.
- 中塚 武 (1998) 堆積有機物の炭素・窒素安定同位体比による古海洋解析。地学雑, **107**, 203-217.
- Redfield, A. C., Ketchum, B. H. and Richards, F. A. (1963) The influence of organisms on the composition of seawater. In M. N. Hill, ed., *The Sea, Vol. 2*, J. Wiley & Sons, London, 26-77.
- 坂口 豊 (1995) 過去1万3000年間の気候変化と人類の歴史。吉野正敏・安田喜憲 (編), 講座「文

- 明と環境」第6巻「歴史と気候」, 朝倉書店, 東京, 1-12.
- 酒井 均・松久幸敬 (1996) 安定同位体地球化学. 東京大出版会, 東京, 403p.
- 海津正倫 (1994) 沖積低地の古環境学. 古今書院, 東京, 270p.
- Wada, E., Minagawa, M., Mizutani, H., Tsuji, T.,

Imaizumi, R. and Karasawa, K. (1987) Biogeochemical studies on the transport of organic matter along the Otsuchi River watershed, Japan. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **25**, 321-336.

(受付: 2000年4月19日; 受理: 2000年5月29日)