

日本海中部-南東部から採取された柱状試料の 加速器質量分析法による炭素 14 年代

池原 研* 片山 肇* 中嶋 健*

IKEHARA Ken, KATAYAMA Hajime and NAKAJIMA Takeshi (1996) AMS ^{14}C ages of cored material collected from central to southeastern Japan Sea. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 47 (6), p. 309-316, 3 figs., 2 tables.

Abstract: Acceleration mass spectrometer (AMS) radiocarbon ages were determined on 18 samples in six cores collected from the central to southeastern Japan Sea. Corrections for ^{13}C values and for ^{14}C differences between atmosphere and surface sea water were not conducted. The AMS ^{14}C ages suggest that the uppermost dark layer (TL1) is approximately 10,400 ^{14}C years B.P. The age of the second dark layer (TL2), which was formed by prevention of vertical mixing of sea water due to a low salinity surface water cap, is about 15,500-23,000 ^{14}C years B.P. A tephra layer (Kitanihon 2; NJ2) intercalated with the middle part of TL2 yields an age of about 17,000 ^{14}C years B.P.

要 旨

日本海中部-南東部において採取された6本の柱状試料の16層準18試料について有孔虫化石を用いて加速器質量分析法による放射性炭素年代測定を行った。その結果、炭素の同位体分別の補正並びに大気-表層水間の ^{14}C 濃度の補正を行っていない ^{14}C 年代値として、日本海の堆積物中に特徴的に現われる暗色層のうち、最上位の暗色層 (TL1) について約10,400年前、最終氷期最盛期に形成されたと考えられている厚い暗色層 (TL2) の最上位で約15,500年前、TL2の中部に挟在する北日本2火山灰層 (NJ2) について約17,000年前という年代を得た。これらの結果のうち、TL1についてはこれまで挟在する火山灰層の年代から推定されていたものとほぼ同じであるが、TL2の終わりの年代とNJ2の年代については約2000年の違いが生じている。

1. はじめに

日本海は対馬 (水深130m)、津軽 (水深130m)、宗谷 (水深40m)、間宮 (水深15m) の各海峡によって東シナ海、太平洋、オホーツク海から隔てられた日本列島とアジア大陸の間に位置する縁海である。このような浅い海峡によって他の海とつながっているため、変動量約100mにも及ぶ第四紀におけるユースタティックな海水準変動は日本海の環境を大きく変動させてきたことが知ら

* 海洋地質部 Marine Geology Department (GSJ)

れている (Oba *et al.*, 1991; Tada *et al.*, 1992; Ikehara *et al.*, 1994; 中嶋ほか, 1996)。Oba *et al.* (1991) は山陰沖隠岐堆頂部から採取された柱状試料について、微化石 (有孔虫, 珪藻, 石灰質ナノプランクトン, 放散虫)・有孔虫化石の酸素同位体比・有機及び無機炭素量などの研究を行い、最近約9万年間における日本海の環境変遷の概要を明らかにしたもので、日本海の高海洋学研究の先駆けとなったものである。しかしこの研究においては、5枚のテフラ (鬼界アカホヤ・鬱陵隠岐・始良丹沢・鬱陵大和・阿蘇4火山灰) と3つの放射性炭素年代を基に環境変遷を復元しており、海水準が最も低下した最終氷期の最盛期の前に低塩分濃度の表層水が拡大し、還元的な海底環境が形成されたが、最盛期にはむしろ外からの海水が流入するなど、汎世界的な海水準変動との関係からすると多少矛盾した結果が示されていた。これに関しては Keigwin and Gorbarenko (1992) によって疑問が出されている。これに対して Ikehara *et al.* (1994) は、日本海中部から南部にかけての海域から採取された多数の柱状試料に12枚のテフラの挟在を認め、これらの噴出年代と一部の試料の酸素同位体比の測定などから、低塩分濃度の表層水の拡大時期は最終氷期最盛期であり、日本海の高環境変遷が汎世界的な海水準変動に大きく影響されていたことを示した。しかし、陸上で報告されているテフラの年代値には数百から数千年の年代幅があ

Keywords: AMS ^{14}C age, Japan Sea, paleoceanography, tephra, foraminifer, sea level change

り、環境変遷の時期を精度良く決定し、世界的な現象と正確に対比するには問題が残っていた。日本海の現在の炭酸塩補償深度は2000 m程度とされ(Ujiie and Ichikura, 1973), 炭酸カルシウムからなる微化石の保存状態は水深800-1000 mを越えると非常に悪くなる(Ikehara, 1991)が、有孔虫化石の産出は最終氷期最盛期の還元的な環境下では水深2500 m付近、それから10,000年前頃までは1500 m付近まで認められており、このあたりの年代を正確に決めるには有孔虫化石を用いた放射性炭素年代測定が最もふさわしいと考えられる。海底からの柱状試料は一般に直径6-12 cm程度しかなく、多量の有孔虫化石を特定の層準から採取することは困難な場合が多いので、少量の炭素で測定のできる加速器質量分析(AMS)法を用いた放射性炭素(^{14}C)年代測定が有効である。しかし、日本海の試料におけるAMS ^{14}C 年代測定の報告は、最近大場ほか(1995)による隠岐堆の試料についての報告があるのみである。古環境の変化が起きた時期は、日本海内における地域や水深の違いによって異なる可能性もあるので、より多くの測定値を蓄積する必要がある。

本研究では, Ikehara *et al.* (1994) で示された柱状試料及びその後の地質調査所の研究航海で採取された柱状試料のうち、主に日本海中部-南東部海域から採取された始良丹沢火山灰(AT)が挟在し、肉眼観察で有孔虫化石を比較的多く含む6柱状試料16層準18サンプルについて有孔虫化石を用いてAMS ^{14}C 年代測定を行った。有孔虫化石を用いた放射性炭素年代測定においては、水深によって海水中の ^{14}C 濃度が異なるため、生息深度の同じ単一の種を用いて測定を行うことが望ましいが、試料重量の制約などからこのような分離を行っていない。このような年代値ではあるが、年代測定値の報告の少ない現状では多少なりとも貢献できると考え、報告する次第である。

2. 試料と方法

今回測定に供したサンプルはGH89-2, GH89-4, GH92の3調査航海において、大和海盆北部(892-24, 892-25)及び中部(92-703), 富山深海扇状地上(892-27, 892-31), 最上トラフ(894-33)から採取された6本の柱状試料(Fig. 1)の16層準から分取した18サンプルである。

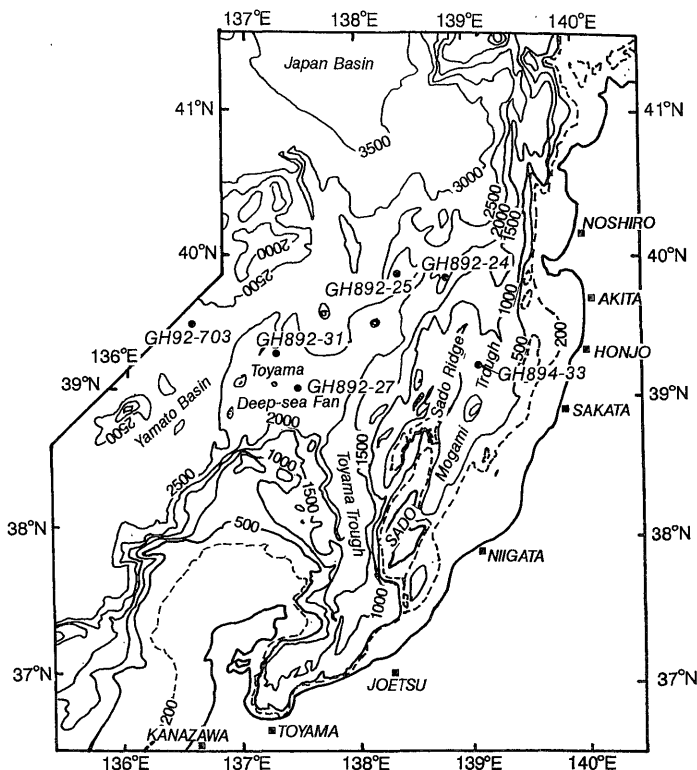


Fig. 1 Location of sampling points of cored materials used for the present study.

2本の柱状試料の2層準については1層準から2つの測定用試料をとり、年代のチェック用とした。試料の採取水深は大和海域と富山深海扇状地の試料では2237-2638 m、最上トラフの試料で671 mである。これらの柱状試料にはいずれもATが挟在しており(吉川・池原, 1990, 1991, 1993)、最終氷期最盛期以降の連続した堆積物である。各試料の岩相は、92-703以外については中嶋ほか(1990)に、92-703については中嶋ほか(1993)に記載されている。なお、92-703を除く試料は、中嶋ほか(1996)においてSt. 24, 25, 27, 31, 33として記述されているものと同じである。測定に供した有孔虫化石は、シルト質粘土の底質中に含まれており、肉眼及び軟エックス線写真による堆積構造の解析からはタービダイトのような二次的な堆積物ではない。有孔虫化石の含有は、TL1と呼ばれる最上位の暗色層(中嶋ほか(1996)のD1に対応)で最初に多産し、ここからTL2と呼ばれる最終氷期最盛期に形成された厚い暗色層(中嶋ほか(1996)のD2に対応)までとところどころに多産しながら認められる。水深2000 mを越える試料では肉眼では有孔虫化石の含有が認められるものの年代測定に十分なだけの量が含まれていない場合が多く、最も多くの層準から測定できた試料でも6層準からの測定である。有孔虫化石は肉眼記載を参考にし、多産する層準の1-4 cm程度をとり、63 μ mのふるいで分離した後、超音波洗浄を行い、付着した泥などを物理的に除去した。この試料を乾燥後、鏡下で観察して、その組成を定性的に確認し、有孔虫以外の粒子が多いものを除去した。この観察によれば、浮遊性有孔虫が卓越していた。加速器質量分析法に

よる放射性炭素年代測定はテレダインアイソトープ社に依頼してアリゾナ大学で行った。半減期としてLibbyの半減期(5,568年)を用いた。年代値算出時には測定試料調整時の同位体分別効果による炭素同位体組成の変化のための $\delta^{13}\text{C}$ による同位体分別効果の補正と、今回の測定試料が海水中で形成された炭酸塩(有孔虫殻)であるので現在の大气と表層水との ^{14}C 濃度差(Broecker and Peng, 1982)を基にした大气-海水間の補正(測定値から400年を引く, Broecker *et al.*, 1988; Bard, 1988)を行う必要があるが、今回の測定ではどちらの補正も行っていない。

3. 結果

得られた年代値はTable 1及びFig. 2のようにまとめられる。層序的位置については、2つの暗色層との関係で示してある。なお、ここで述べる年代値は特にことわりのない限り未補正の ^{14}C 年代値である。892-25及び892-31の2本の柱状試料の下位2つづつの測定値はこれまでテフラの年代から推定されていた値や今回測定した他の値との関係から見て、明らかに年代が新しく、測定試料作成時に新しい炭素が混入したものと思われる。得られた ^{14}C 年代値と層序的位置の関係からすれば、最上位の暗色層であるTL1については、10,415年前(892-25)、10,500年前(892-27)、10,275年前(892-31)の3つの年代値が、次の暗色層であるTL2との間の灰色の粘土層からは、11,195年前、11,740年前、11,820年前(以上892-27)、11,800年前、11,910年前(以上92-703)の5つの年代値が、TL2の最上部では、15,755年前(892-24)、

Table 1 AMS ^{14}C ages of cores studied.

Sample No.	Core No.	Latitude	Longitude	Water Depth (m)	Sub-bottom Depth (cm)	AMS ^{14}C age	Accession No.	Stratigraphic Position
1	892-24	39-48.92	139-48.39	2279	301-303	15,755 \pm 100	I-17,493	near top of TL2
2					349-350	21,020 \pm 160	I-17,494	middle part of TL2
3	892-25	39-50.37	138-20.00	2629	139-141	10,415 \pm 90	I-17,495	TL1
4					175-177	10,280 \pm 70	I-17,496	TL2 (above NJ2)
5					177-179	10,380 \pm 70	I-17,497	TL2 (above TL2)
6	892-27	39-04.80	137-30.25	2237	131-133	10,500 \pm 70	I-17,498	TL1
7					137.5-140	11,195 \pm 80	I-17,499	between TL1 and TL2
8					146-148	11,820 \pm 80	I-17,500	between TL1 and TL2
9					146-148	11,740 \pm 90	I-17,510	between TL1 and TL2
10					193-195.5	16,445 \pm 130	I-17,501	TL2 (above NJ2)
11					200-201	17,085 \pm 120	I-17,502	TL2 (below NJ2)
12					229-231	20,490 \pm 210	I-17,503	middle part of TL2
13	892-31	39-17.83	137-19.96	2360	200-202	10,275 \pm 80	I-17,504	TL1
14					318-320	11,085 \pm 80	I-17,505	TL2 (below NJ2)
15					338-339.5	12,310 \pm 90	I-17,506	TL2 (below NJ2)
16	894-33	39-12.46	139-04.97	610	100.5-102.5	15,505 \pm 110	I-17,507	near top of TL2
17	92-703	39-29.64	136-29.98	2638	181-185	11,800 \pm 90	I-17,508	between TL1 and TL2
18					181-185	11,910 \pm 90	I-17,509	between TL1 and TL2

Correlation for $\delta^{13}\text{C}$ values and for the ^{14}C differences between atmosphere and surface sea water were not conducted. The Libby half-life of 5568 years was used to calculate the ages. Statistical errors are given at 1 σ .

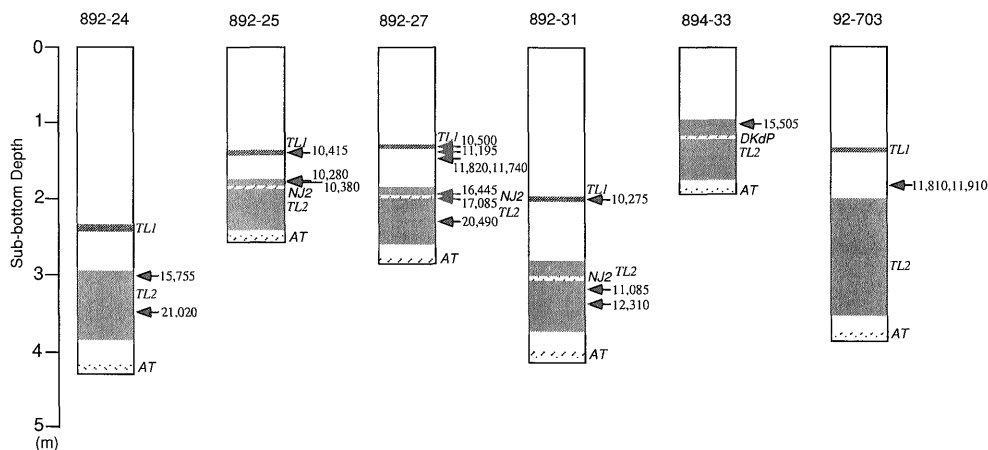


Fig. 2 Columnar section of the cores studied with AMS ¹⁴C ages. Figures showed only the sections above Aira-Tanzawa (AT) ash with horizons of dark layers (TL1 and TL2) and of tephra layers (Kitanihon 2 (NJ2) ash, Daisen-Kusatanihara pumice (DKdP) and AT). Lithology of the cores are after Nakajima *et al.* (1990, 1993). Identification of each tephra was done by Kikkawa and Ikehara (1990, 1991, 1993).

15,505 年前 (894-33) の 2 つの年代値が、TL2 の上から 1/3 程度の位置に挟在する北日本 2 火山灰 (NJ2; 吉川・池原, 1990) の上位で、16,445 年前 (892-27), 下位で 17,085 年前と 20,490 年前 (892-27), NJ2 との層序関係は不明であるが TL2 の中部から 21,020 年前 (892-24) の年代値が得られている。したがって、TL1 が約 10,400 年前、TL2 のトップが 15,500 年前程度の年代となる。TL2 の最下部の年代については直接的な測定値はないが、AT の年代 (約 24,500 年前; 松本ほか, 1987; 村山ほか, 1993; 池田ほか, 1995) との関係からすると約 23,000 年前程度となる。同じ層準から試料を 2 つに分けて測定した結果では 892-27 では 11,740 年前と 11,820 年前、92-703 では 11,800 年前と 11,910 年前と約 100 年程度の違いでおさまっている。したがって、この程度以下の年代差は今回の測定値からは議論できない。

4. AMS ¹⁴C 年代値からみた日本海の古環境変遷

大場ほか (1995) は隠岐堆頂部から採取された 2 本の柱状試料について 8 つの AMS ¹⁴C 年代を報告している。これによれば、 $\delta^{13}\text{C}$ 補正と大気-海水間の ¹⁴C 濃度補正をした値で、最初の暗色層 (TL1) は 9,880 年前、TL1 と次の暗色層 (TL2) との間で 10,220 年前と 11,430 年前、TL2 のトップで 14,930 年前、中部で 17,450 年前、下部で 21,010 年前、AT の下位で 29,120 年前と 29,840 年前である。2 つの補正前の年代では、TL1 で 10,070 年

Table 2 Comparison of ages of TL1 and TL2.

	TL1	TL2 top
Ikehara <i>et al.</i> (1994)	10000~11000	13000
Oba <i>et al.</i> (1995) *	10070	15110
Nakajima <i>et al.</i> (1996)	10300~10700	13800
This Study	10400 (10275~10500)	15500

*: Uncorrected ¹⁴C ages

前、TL2 のトップで 15,110 年前であるので、数百年の違いはあるが、ほぼ今回の報告値に近い (Table 2)。また、今回の年代値は、中嶋ほか (1996) により推定された TL1 の年代 (10,300-10,700 年前) とほぼ同じかやや若く、TL2 のトップの年代 (13,800 年前) よりもやや古い (Table 2)。また、Ikehara *et al.* (1994) がそれまで報告された陸上におけるテフラの ¹⁴C 年代から推定した TL1 の年代値 10,000-11,000 年前の中には入るが、TL2 の年代値 13,000-23,000 年前とはトップの年代が約 2,000 年異なる。Ikehara *et al.* (1994) や中嶋ほか (1996) において TL2 のトップの年代の根拠となったのは TL2 の直上に産する浅間草津軽石 (As-K; あるいは浅間燻恋降下軽石, YPk) であり、陸上におけるこのテフラの ¹⁴C 年代は 13,600 年前とされる (早川, 1992)。今回の結果はこのテフラの噴出年代がこれより古く未補正の AMS ¹⁴C 年代測定値で約 15,500 年前程度であった可能性を示

している。また、いずれにせよ今回の年代値からすると、日本海に低塩分濃度の表層水が拡大し、還元的な海底環境が発達したのは最終氷期の最盛期の低海水準期であったことが確認された。

一方、最上位の暗色層である TL1 は、大場ほか(1995)の補正された年代値では 10,000 年前よりも少し若く、Ikehara *et al.* (1994) が推定したような Younger Dryas 期(放射性炭素年代で 10,000-11,000 年前;例えば、Fairbanks, 1989, 1990)よりも後の現象である可能性がでてきた。今回得た年代値は補正されていないが、前述のように大場ほか(1995)の未補正の年代値よりわずかに古く、TL1 の年代に関しては今後さらに年代測定の数を増やすことによって検討すべき課題である。

Ikehara *et al.* (1994) は、TL2 形成後 TL1 堆積までの間で堆積速度が速くなることを示した。また大場ほか(1995)の結果は、TL2 消滅後、約 11,000 年前まではそれまでよりやや遅い堆積速度だが、約 11,000 年前から鬱陵隠岐火山灰の噴出年代である約 9,300 年前の間に急激な堆積速度の増加を示している。日本海沿岸域の堆積物の花粉分析結果からすると、最終氷期最盛期終了後に気候の急激な湿潤化が起り、この湿潤化に伴って陸域では粗粒堆積物が形成されたとされている(安田, 1982, 1987)。このような湿潤化は河川を通じての陸源物質の供給量の増加をもたらすと考えられる。しかし、今回の結果において 1 本の試料から最もたくさんの年代値が得られた 892-27 の試料について堆積速度変化曲線を描いてみると、この試料では AT 堆積以降大きな堆積速度の

変化は認められず、約 11,000 年前頃に顕著な堆積速度の変曲点は認められない(Fig. 3)。このコアにはタービダイトが挟在するので、大場ほか(1995)の結果とはこれらの影響を除いた上で比較せねばならないが、日本海のすべての地域でこのような堆積速度の変化が認められるかは、より多くの試料の年代測定の結果を待たねばならない。そしてその上で、湿潤化と堆積速度変化の関係については、両者が変化する年代の正確な対比によって今後より詳細に検討すべき課題である。また、このような湿潤化の原因については日本海の表層水の変化に求める考えがある(安田, 1987)が、これについても海域の堆積物の詳細な分析とあわせてどのような表層水の変化が陸上気候に影響を与えたかを解明していく必要がある。また、この急激な堆積速度の変化は約 11,000 年前に起こっているが、この年代は海水準上昇速度が速くなる時期(12,000 年前; Fairbanks, 1989)に近く、堆積速度急変のメカニズムを考えるうえで、両者の関係についても検討すべきである。

TL2 の中部のやや上位には北日本 2 火山灰(NJ2)と仮称されている給源不明のテフラが挟在している(吉川, 1990)。このテフラは陸上のテフラと対比がついていないが、東北沖日本海の堆積物中に広く認められており(吉川・池原, 1990, 1994)、中部-東部日本海においては重要なテフラの一つである。今回の測定結果では、892-27 の試料についてこのテフラの上下において 16,445 年前、17,085 年前の 2 つの年代値が得られた。したがってこのテフラの噴出年代はこの 2 つの年代値の間にあり、

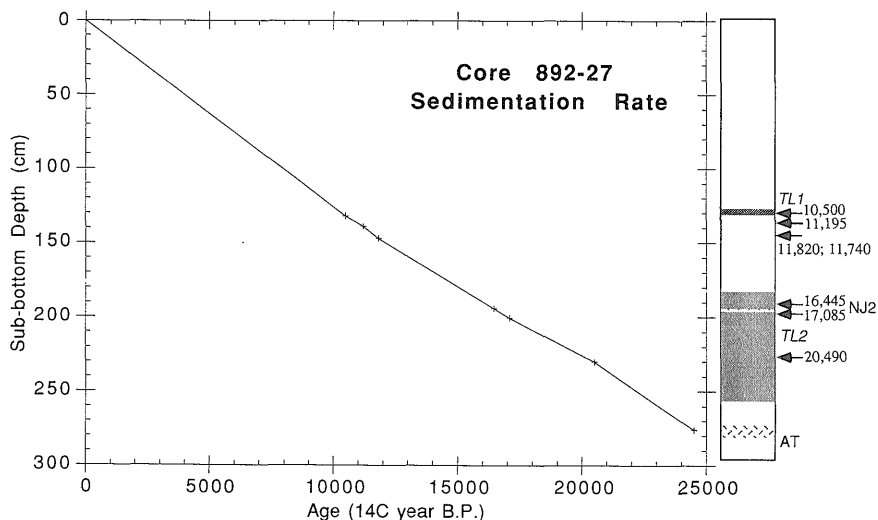


Fig. 3 Age-depth plots of core 892-27.

17,000年前頃の噴出物と推定される。Ikehara *et al.* (1994) や中嶋ほか (1996; ただし記載されている暦年代 (17.8千年前) から Bard *et al.* (1993) の方法で¹⁴C年代に計算した値) ではこのテフラの年代を約15,000年前頃と推定していたが、この年代に修正する必要がある。このテフラと陸上のものとの対比が行われれば、陸上のテフラの年代に一つのデータを与えることになる。また、894-33のTL2下位には山陰大山火山起源の大山草谷原軽石(DKdP;あるいは大山弥山火山灰, DMs)が挟在している(三浦ほか, 1991)。このテフラの陸上における年代値は18,000年前と報告されている(三浦・林, 1991)。今回の年代値ではこのテフラの下位からの年代が測定されていないため正確にはいえないが、894-33におけるこのテフラの上位での年代値(15,505年前)とATとの層序的位置関係からすれば、ほぼこの程度の年代の噴出物であると思われる。

5. ま と め

日本海中部から採取された6本の柱状試料の16層準18サンプルの有孔虫を用いた加速器質量分析法放射性炭素年代測定を行い、14サンプルについてよい結果を得た。結果として、日本海の最上位(最新)の暗色層(TL1)について約10,400年前、次の厚い暗色層(TL2)のトップについて約15,500年前という年代を推定できた。また、TL2中に挟在する北日本2火山灰(NJ2)については約17,000年前の間の噴出物であると推定できた。これらの年代値のうちTL1については、Ikehara *et al.* (1994) のテフラの年代からの推定とほぼ同じであるが、TL2のトップとNJ2に関しては約2,000年のずれが生じている。これはおそらく年代推定に用いたテフラの年代値に起因するものと思われる。今後これらの年代値を基にし、さらに年代測定値を増やすことによって日本海古環境変遷の詳細を議論できるとと思われる。

謝辞 挟在するテフラの分析・同定は、環境地質部吉川清志氏によるものである。また船上作業においては、白嶺丸の三回の研究航海(GH89-2, GH89-4, GH92航海)の乗組員・乗船研究者の方々に大変お世話になった。以上の方々に厚くお礼申し上げる。本研究は、工業技術院特別研究「日本海中部東縁部大陸棚周辺海域の海洋地質学的研究」により採取・解析された試料について、平成4年度重点基礎研究「加速器質量分析¹⁴C年代測定による最終氷期以降の日本海古環境の研究」によりAMS¹⁴C年代測定を行ったものである。

文 献

- Bard, E. (1988) Correction of accelerator mass spectrometry ¹⁴C ages measured in planktonic foraminifera: Paleocceanographic implications. *Paleocceanography*, **3**, 635-646.
- Bard, E., Arnold, M., Fairbanks, R.G. and Hamelin, B. (1993) ²³⁰Th-²³⁴U and ¹⁴C ages obtained by mass spectrometry on corals. *Radiocarbon*, **35**, 191-199.
- Broecker, W.S., Andree, M., Wolfii, W., Oeschger, H., Bonani, G., Kennett, J. and Peteet, D. (1988) The chronology of the last deglaciation: Implications to the cause of the Younger Dryas event. *Paleocceanography*, **3**, 1-19.
- Broecker, W.S. and Peng, T.-H. (1982) Tracers in the Sea. Eldigio Press, New York, 690 p.
- Fairbanks, R.G. (1989) A 17,000-year glacio-eustatic sea level record: Influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature*, **342**, 637-642.
- Fairbanks, R.G. (1990) The age and origin of the "Younger Dryas Climate Event" in Greenland ice cores. *Paleocceanography*, **5**, 937-948.
- 早川由紀夫 (1992) 火山の地質巡検案内1: 浅間山と草津白根山. 群馬大学教育紀要, 自然科学, **40**, 65-81.
- 池田晃子・奥野 充・中村俊夫・筒井正明・小林哲夫 (1995) 南九州, 始良カルデラ起源の大隅降下軽石と入戸火砕流中の炭化樹木の加速器質量分析法による¹⁴C年代. 第四紀研究, **34**, 377-379.
- Ikehara, K. (1991) Modern sedimentation off San'in district in the southern Japan Sea. *In*: Takano, K., ed., Oceanography of Asian Marginal Seas, Elsevier, Amsterdam, 143-161.
- Ikehara, K., Kikkawa, K., Katayama, H. and Seto, K. (1994) Late Quaternary paleocceanography of the Japan Sea; a tephrochro-

- nological and sedimentological study. *Proc. 29th IGC, Part B*, 229-235.
- Keigwin, L. D. and Gorbarenko, S. A. (1992) Sea level, surface salinity of the Japan Sea, and the Younger Dryas event in the northwestern Pacific Ocean. *Quat. Res.*, **37**, 346-360.
- 吉川清志 (1990) ICP 発光分析を用いたテフラの同定法とその応用. *地学雑*, **99**, 743-758.
- 吉川清志・池原 研 (1990) 日本海東縁海域のコアに含まれるテフラ (火山灰) 層の化学組成と広域対比. 岡村行信・有田正史・奥田義久 (編), 「日本海中部東縁部大陸棚周辺海域の海洋地質学的研究」平成元年度研究概要報告書—青森県-新潟県沖概査一, 地質調査所, 93-110.
- 中嶋 健・片山 肇・池原 研 (1993) GH92 航海の堆積物. 岡村行信 (編), 「日本海中部東縁部大陸棚周辺海域の海洋地質学的研究」平成 4 年度研究概要報告書, 地質調査所, 142-170.
- 中嶋 健・吉川清志・池原 研・片山 肇・木川栄一・上嶋正人・瀬戸浩二 (1996) 日本海南東部における海底堆積物と後期第四紀層序—特に暗色層の形成時期に関連して—. *地質雑*, **102**, 125-138.
- Oba, T., Kato, M., Kitazato, H., Koizumi, I., Omura, A., Sakai, T. and Takayama, T. (1991) Paleoenvironmental changes in the Japan Sea during the last 85,000 years. *Paleoceanography*, **6**, 499-518.
- 大場忠道・村山雅史・松本英二・中村俊夫 (1995) 日本海隠岐堆積コアの加速器質量分析 (AMS) 法による¹⁴C年代. *第四紀研究*, **34**, 289-296.
- Tada, R., Koizumi, I., Cramp, A. and Rahman, A. (1992) Correlation of dark and light layers and the origin of their cyclicity in the Quaternary sediments from the Japan Sea. *Proc. ODP, Sci. Results*, **127/128**, 577-601.
- Ujiié, H. and Ichikura, M. (1973) Holocene to uppermost Pleistocene planktonic foraminifers in a piston core from off San'in District, Sea of Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan*, **91**, 137-150.
- 安田喜憲 (1982) 福井県三方湖の泥土の花粉分析的研究—最終氷期以降の日本海側の乾・湿の変動を中心として—. *第四紀研究*, **21**, 255-271.
- 松本英二・前田保夫・竹村恵二・西田史朗 (1987) 始良 Tn 火山灰 (AT) の¹⁴C年代. *第四紀研究*, **26**, 79-83.
- 三浦 清・林 正久 (1991) 中国・四国地方の第四紀テフラ研究—広域テフラを中心として—. *第四紀研究*, **30**, 339-351.
- 三浦 清・池原 研・吉川清志 (1991) 北陸沖日本海海底堆積物中に見られる大山火山起源のテフラ. *山陰地域研究 (自然環境)*, **6**, 7-22.
- 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

安田喜憲(1987) 最終氷期の寒冷気候について—
南部ヨーロッパとの比較— 第四紀研究,

25, 277-294.

(受付: 1996年3月12日; 受理: 1996年4月23日)