

## 海水準変化に関するコメント<sup>1)</sup>

大 場 忠 道<sup>2)</sup>

### Comment for Sea Level Change<sup>1)</sup>

Tadamichi OBA<sup>2)</sup>

Paleoenvironmental changes in the Japan Sea provide a clue for estimating the absolute value of eustatic sea level change during the last glacial age. Oxygen isotopic curves of planktonic foraminiferal tests in six piston cores from the Japan Sea show an abrupt change at the time just before deposition of AT volcanic ash. This phenomenon was caused by a supply of fresh water into the Japan Sea from the Huang Ho River in China, when sea level had dropped more than 95 m, if we can assume that tectonic movement around Cheju Island located at south of the Korea Peninsula was negligible over the last twenty-several thousand years. The sea level at the last glacial maximum period is inferred to be  $127 \pm 30$  m shallower than the present level. This value was estimated from the oxygen isotopic curves of benthic foraminiferal tests in two piston cores from the Pacific Ocean, by extrapolating the sea level difference (95 m) between the age of the AT ash layer and the present to that between the last glacial maximum period and the present.

#### I. はじめに

日本の第四系の層序、段丘、海底地形はいずれもグローバルな海水準変化と密接に関連しており、グローバルな海水準変化が詳しくわかれば、わが国の第四系の層序、段丘、海底地形の研究も一段と発展することが期待される。このコメントでは、日本海のご環境変遷史が、第四紀におけるグローバルな海水準低下量の絶対値を見積もる手段として、重要な役割を果たしていることを紹介しよう。そして、最終氷期の最寒期における海水準低下量が  $127 \pm 30$  m に達したであろうということを指摘してみたい。

#### II. 深海底コアの酸素同位体比

第四紀におけるグローバルな海水準変化を引き起こした主要な要因として、海水量そのものの変化と氷河や海水の荷重変化によって起こる地殻のアイソスタティックな変形とが知られている。このうち、海水量そのものの変化は、そのほとんどすべてが大陸氷床の消長に伴う変

化(氷河性海面変化)であり、また、アイソスタティックな変形の多くも大陸氷床の消長によって引き起こされる(貝塚, 1982)。したがって、グローバルな海水準変化を明らかにするには、大陸氷床の消長を正確にとらえることが重要である。その大陸氷床の消長を、深海底コアに含まれる有孔虫殻の酸素同位体比がモニターしている。とくに、水温の変化がほとんどなかったと考えられる深海底に生息していた底生有孔虫殻の酸素同位体比は、大陸氷床の消長に伴って起こる海水の酸素同位体比の変化を反映する(Shackleton and Opdyke, 1973)。その原因は、氷期に海面から蒸発した水蒸気が大陸氷床として固定される時、質量の軽い<sup>16</sup>Oが重い<sup>18</sup>Oより多く蒸発するため、大陸氷床が発達する程、すなわち海水準が低下すればする程、海水の酸素同位体比は濃くなる。反対に、薄い酸素同位体比を持つ大陸氷床が解けて海洋に加わる間氷期では、海水準が上昇するにつれて海水の酸素同位体比は薄くなる。このように、グローバルな海水準変化は、大陸氷床の消長に伴って起こる海水の酸素同位体比の変化と直接結び付いており、その変化

1) 1987年8月3日受付。1986年8月22日日本第四紀学会シンポジウムにおいて発表。

2) 金沢大学教養部地学教室 Department of Geology, College of Liberal Arts, Kanazawa University.

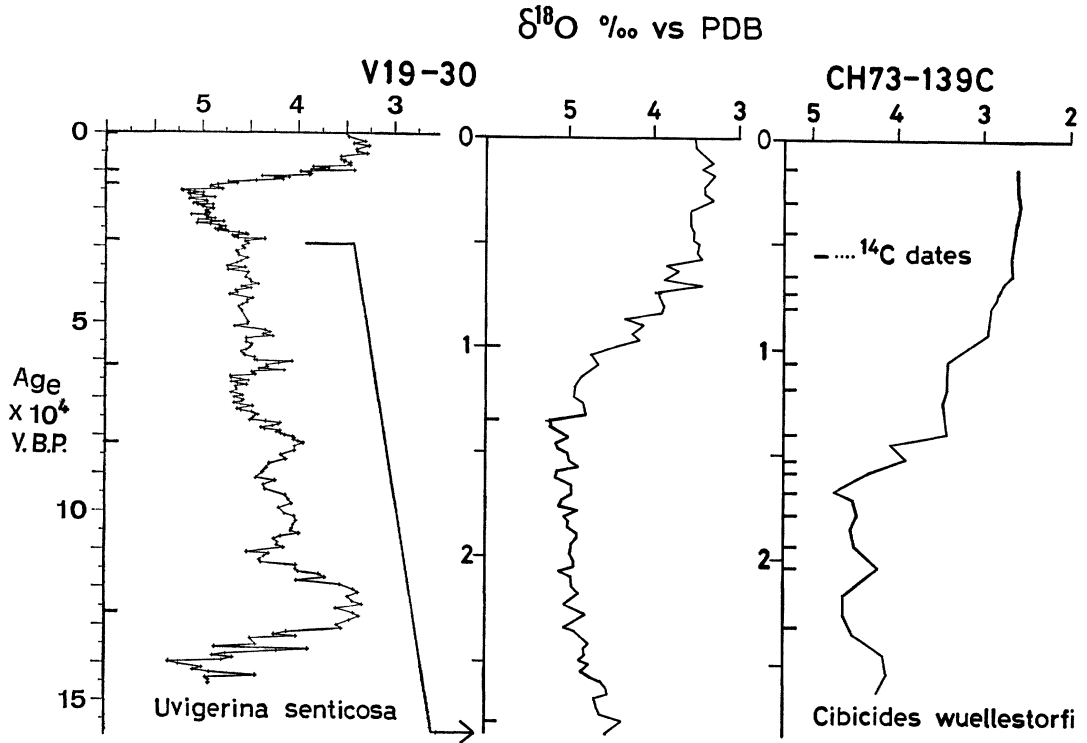


図 1 深海底コア V19-30 について得られた過去 15 万年間の底生有孔虫殻の酸素同位体比 (左) SHACKLETON *et al.* (1983) ; その最上部付近の拡大図 (中央) ; 多数の  $^{14}\text{C}$  年代値が得られているコア CH73-139C の底生有孔虫殻の酸素同位体比 (右) DUPLESSY *et al.* (1981, 1986)

は深海底コアに含まれる底生有孔虫の殻に記録されている。

今までに、底生有孔虫殻の酸素同位体比が最も精度良く測定された深海底コアは、SHACKLETON *et al.* (1983) が行った東赤道太平洋のコア V19-30 である (図 1)。そして、その酸素同位体比カーブは、現在から約 15 万年前までの大陸氷床の消長の変化、すなわち氷河性海面変化を最も詳しく表しているとみなすことができる。しかし、コア V19-30 堆積物の年代は 7 層準でしか判明しておらず十分とは言いがたい。その点、DUPLESSY *et al.* (1981, 1986) が調査した北西大西洋のコア (CH73-139C) は、加速器によって  $^{14}\text{C}$  年代測定値が現在から 24,000 年前までの間で 20 層準も得られており、この間の年代精度が高い (図 1)。したがって、最終氷期最寒期の年代は、SHACKLETON *et al.* (1983) が示した約 13,600 年前よりもむしろ DUPLESSY *et al.* (1986) の 16,800 年前頃が適当であると考えられる。図 1 に示した SHACKLETON *et al.* (1983) が求めたコア V19-30 の酸素同位体比カ

ーブは、過去 15 万年間の氷河性海面変化の相対的な変化を詳しく表しているが、その絶対値については何ら情報を提供しない。しかし、ある時代の海水準の絶対値が仮に一つでも与えられるならば、SHACKLETON *et al.* (1983) のカーブに基づいて、過去 15 万年間の海水準の絶対値を求めることができよう。このような重要な意味を持つ、ある時代の海水準の絶対値を求めるにあたって、日本海の大環境変遷史が一つの貴重な手掛りを提供する。

### III. 日本海への淡水流入

図 2 は、日本海の 6 本のピストン・コアについて得られた有孔虫殻の酸素同位体比のカーブを示したものである。とくに、日本海南部の 3 本のコアが示すように、コアの下部から上部へ向かってほぼ一定の値を保ってきた浮遊性有孔虫殻の酸素同位体比は、AT 火山灰堆積直前で急激に折れ曲がるように薄くなっている。同様な現象は日本海東部のコアについても認められるが、そのこと

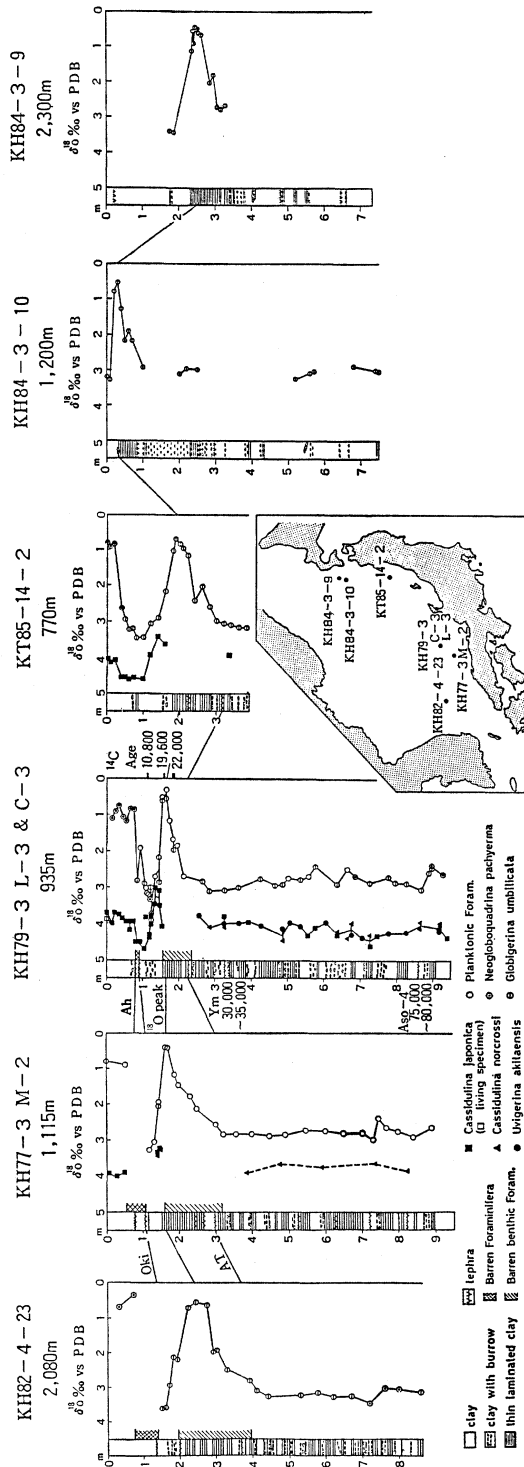


図 2 日本海の 6 本のピストン・コアについて得られた有孔虫殻の酸素同位体比

は南部と東部のコアの岩相を対比することによって確かめられる。そして、これらのコアの浮遊性有孔虫殻の酸素同位体比が最も薄くなった時代は、コア L-3 の  $^{14}\text{C}$  年代値が示すように、ちょうど 2 万年前である。その間、すなわち AT 火山灰堆積直前から 2 万年前までの間、浮遊性有孔虫殻の酸素同位体比は 2.4~2.8‰ 薄くなっている。その原因は、この時代に日本海の表層へ淡水が供給されたことによると考えられている(大場ほか, 1980)。この解釈は、日本海の約 10 本のコアに、珪藻や石灰質ナンノプランクトンの淡水種や低塩分種がこの時代に限って多産するという事実によっても裏付けられる(TANIMURA, 1981; 谷村, 1983; 高山, 1983; 小泉, 1984)。また、この時代には日本海の広域にわたって葉理の発達した粘土が堆積しているが(図 2)、この層準には底生有孔虫の化石が含まれず、底生動物のはい跡も見当たらない。これらの事実は、この時代に日本海の表層に淡水が供給され、海水の成層構造が発達して鉛直混合が弱まり、海底への酸素の供給がほとんどなくなってしまったために底生生物が死滅したことによると解釈されている(大場ほか, 1980, 1984)。このように、日本海では AT 火山灰堆積直前から約 2 万年前にかけて淡水が供給され、その後、淡水の供給は急速に減少して、1.4 万年前頃には淡水の影響がほとんどなくなっている(図 2)。それでは、一体どこから日本海へ淡水が供給されたのであろうか。それは、以下に述べるいくつかの根拠に基づいて判断すると、中国大陸の黄河の可能性が高い。

1. 図 2 に示される 6 本のコアの薄い酸素同位体比のピークは、日本海の南部のコア程東部や北東部のコアのそれらより大きい。

2. 珪藻の *Paralia sulcata* は、現在の東シナ海の低塩分域に特徴的な種で、日本海ではその分布が対馬海峡付近の南部に限定されるが(TANIMURA, 1981)、AT 火山灰堆積直前から約 2 万年前にかけては隠岐堆積周辺のコアにまで多く含まれている(谷村, 1983)。

上述の 2 つの事実は、淡水が日本海の南部おそらく対馬海峡を通して供給されたことを示唆する。

3. 日本海への淡水の供給源として、日本海周辺の河川水ということも考えられる(新井ほか, 1981; 小泉, 1984)。しかし、その場合には、海水準が最も低下して日本海の弧立化が進行した最終氷期の最寒期(16,800 年前頃)に最も薄い酸素同位体比のピークが現れると予想される。ところが、そのピークは日本海のコアではちょうど 2 万年前に現れており、約 16,800 年前の浮遊性有孔虫殻の酸素同位体比は 2 万年前より約 2‰ も濃く、

淡水が供給される以前の値に近い(図 2)。

4. 最終氷期の最寒期には極前線が現在より南下していたと考えられているが(MANABE and HAHN, 1977)、それによって黄河の水の酸素同位体比も現在の値(黄河中流の西安付近で -10‰, 大場の未発表のデータ)より薄かったと予想される。そこで、その値を -15‰ と仮定すると、浮遊性有孔虫殻に見られる 2.4~2.8‰ の酸素同位体比の減少は、当時の日本海表層水の塩分が約 28~29‰ であったことを推測させる。一般に、沿岸部の降水の酸素同位体比は大陸内部の値より濃い。したがって、日本海周辺の河川水が淡水の供給源であり、その酸素同位体比を -10‰ であったと仮定すると、当時の日本海表層の塩分は 24~26‰ まで低下しなければならず、プランクトンの生存が危ぶまれる程薄い塩分になってしまう。

上述の 3 と 4 の事実は、日本海周辺の河川水が淡水の供給源であるという考えに対して不都合な内容である。

5. 九州西方海域で採取された海底コアには、AT 火山灰堆積時から約 2 万年前にかけて、日本海で見られたような薄い酸素同位体比のピークが認められない(OBA, 1983)。このことは、日本海への淡水の供給源として楊子江の関与がほとんどないことを意味している。

上述の 5 つの根拠から判断すると、日本海への淡水の供給源は黄河の可能性が高い。また、黄河を淡水の供給源とすれば、日本海のコアで見られた AT 火山灰堆積直前で浮遊性有孔虫殻の酸素同位体比が急激に折れ曲がるように薄くなった現象を次のように説明することができる。約 3 万年前から最終氷期の最寒期に向かって世界的に海水準が低下するにつれて黄河の河口は前進し、もし済州島付近の地殻変動が著しくなければ、海水準が 90 m 低下した時、河口は済州島の西側に達したであろう(図 3)。さらに海水準が低下し、現在より 100 m 低くなると、その河口は済州島(東西約 90 km)の存在によって、一挙に約 130 km 離れた済州島の東側から淡水を排出したに違いない。その淡水によって希釈された対馬海峡南西海域の低塩分表層水が日本海へ流入し、日本海表層水の塩分低下を招いたものと考えられる。このように、日本海のコアに見られる AT 火山灰堆積直前の時代で浮遊性有孔虫殻の酸素同位体比が急激に折れ曲がるように薄くなっている現象は、海水準が 90 m から 100 m に低下した時(平均 95 m 低下した時)、黄河の河口が済州島の西側から東側へ一挙に約 130 km も移動したために生じたものと解釈することができる。また、このような解釈をしない限り、AT 火山灰堆積直前における浮

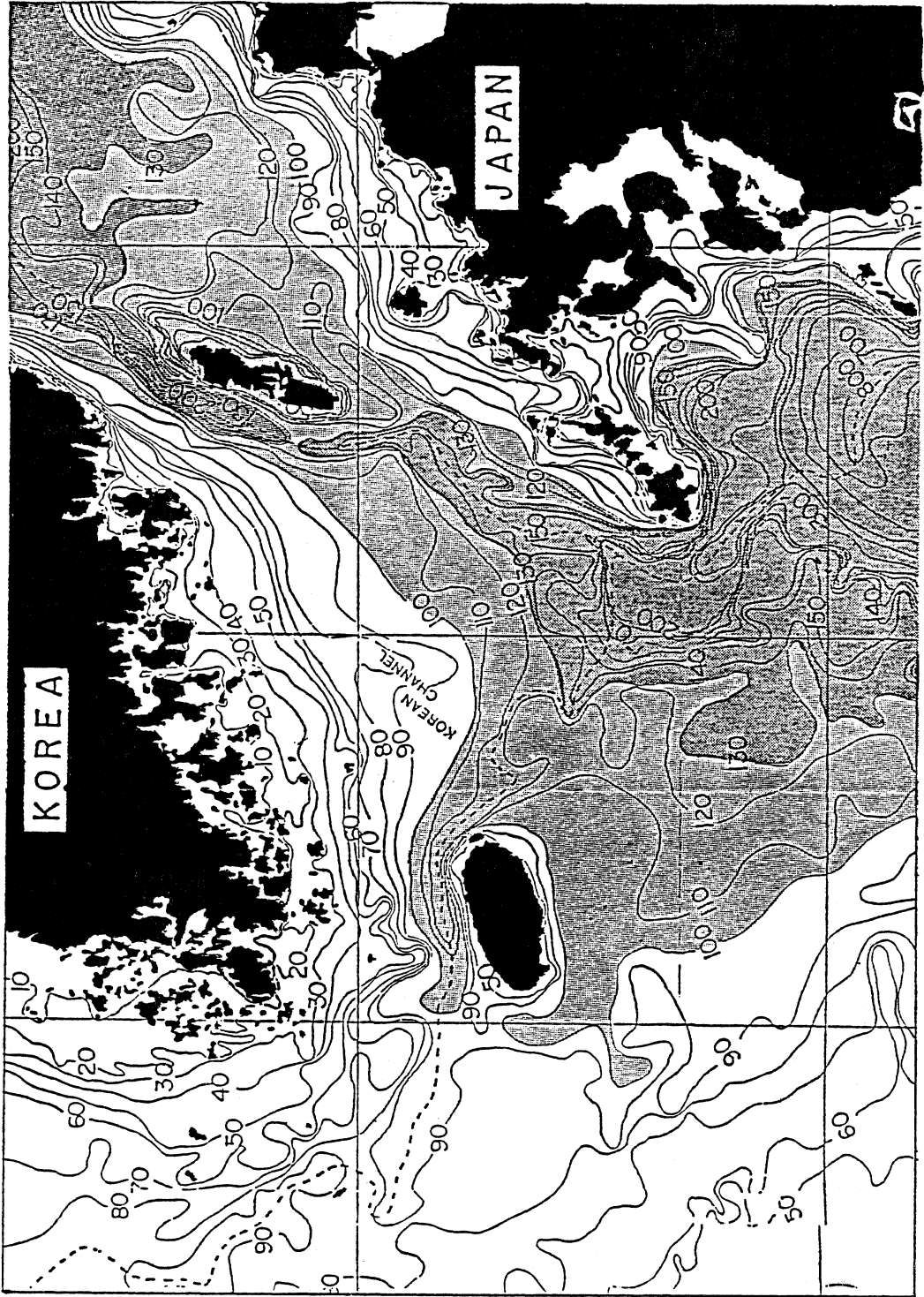


図 3 濟州島から対馬海峡にかけての水深図、100m と 130m の等深線を示す。

遊性有孔虫殻の酸素同位体比カーブの折れ曲がり現象を説明するのが困難である。この点に関して、地質調査所の大嶋和雄氏は濟州島の西側に海底埋没谷の存在を認め、黄河の流路は濟州島の西側を通過していた河能性を指摘した（日本第四紀学会 1986 年大会，1986 年 8 月 22 日，地質調査所において）。しかし，黄河が濟州島の西側を常に通過していたならば，AT 火山灰堆積直前の浮遊性有孔虫殻の酸素同位体比は次第に薄くなり，急激な折れ曲がり現象を示さないであろう。したがって，少なくとも黄河の主流は，AT 火山灰堆積直前から 2 万年前にかけて濟州島の東側へ淡水を排出していたと考えざるをえない。CHANG and CHEANG (1987) は，濟州島付近の海底地質を調査した結果，黄河は最終氷期の最寒期頃に濟州島の北側を流れていた（すなわち東側に淡水を排出していた）と推測している。

#### IV. 最終氷期最寒期の海水準

前節で述べたように，日本海のコアに見られる AT 火山灰堆積直前で浮遊性有孔虫殻の酸素同位体比が急激に折れ曲がるように薄くなっている現象は，濟州島付近の地殻変動が著しくなかったと仮定したならば，世界的に海水準が 95 m 低下した時，黄河の河口が濟州島の西側から東側へ一挙に移動したことによって生じたと考えられる。そこで，AT 火山灰を含む太平洋側のコア（新井・町田，1983）についても，その火山灰の堆積直前における海水準が現在より 95 m 低かったとみなすことができる。図 4 には AT 火山灰を含む遠州灘沖のコア（KH-79-3, C-4）と沖繩東方のコア（NH-82-4, 8）について，底生有孔虫殻（*Pyrgo* spp.）の酸素同位体比の測定結果が示されている。両コアとも測定値のバラツキが大きいが，測定値の三点移動加重平均曲線で示される全体的な傾向は，SHACKLETON *et al.* (1983) のカーブ（図 1）と似ている。とくに，後氷期と最終氷期最寒期の間で酸素同位体比の振幅は，コア C-4 では 1.93‰，コア 8 では 1.97‰ で，SHACKLETON *et al.* (1983) が示したコア V19-30 の 1.95‰ に近い。コア C-4 とコア 8 において，海水準が 95 m 低下したと考えられる AT 火山灰直下における酸素同位体比の値は，後氷期における値より共に約 1.45‰ 濃い（図 4）。したがって，最終氷期の最寒期における海水準低下量を比例配分を外挿することによって求めると，コア C-4 では 126 m，コア 8 では 129 m になり（図 4），平均 127 m という値が得られる。この推定値の誤差は，それぞれのコアの酸素同位体比の最大値と最小値を使って，同様にして求めると

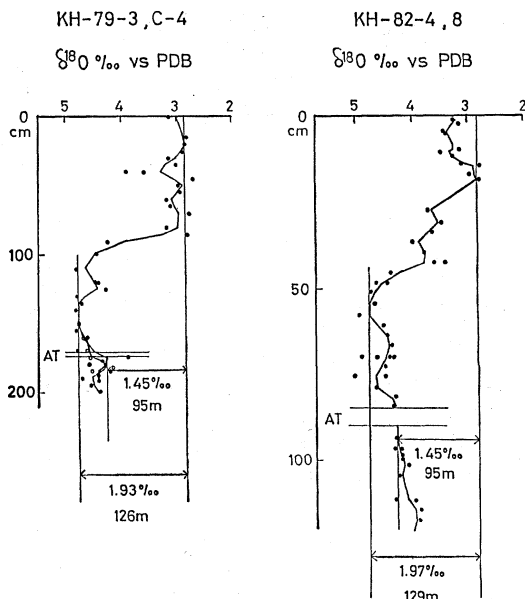


図 4 遠州灘沖のコア (KH-79-3, C-4) と沖繩東方のコア (KH-82-4, 8) について得られた底生有孔虫殻 (*Pyrgo* spp.) の酸素同位体比と AT 火山灰の層準・最終氷期最寒期の海水準低下量は，AT 火山灰堆積直前における海水準低下量を 95 m とし，その時と後氷期の間における酸素同位体比の振幅と，後氷期と最終氷期最寒期の間における酸素同位体比の振幅とから推定される。

およそ  $\pm 30$  m である。その誤差の要因として，測定値のバラツキのほか，現在と後氷期の最暖期における海水準の差や，コア C-4 のように AT 火山灰直下の酸素同位体比の値をどの層準に取るかといった問題も含まれる。このようにして，最終氷期最寒期における海水準低下量が  $127 \pm 30$  m と得られたが，その実際の低下量は，おそらくプラスの誤差よりもむしろマイナスの誤差の範囲内に入るものと推定される。なぜなら，AT 火山灰堆積時から 2 万年前までは黄河起源の低塩分水が対馬海峡（広義）を通過して日本海へ流入しており，2 万年前から約 1.4 万年前までは津軽海峡から親潮が日本海へ流入していたと考えられ，最終氷期最寒期においてさえ対馬・津軽両海峡共閉鎖することはなかったと考えられるからである（大場ほか，1984）。

次に，日本海への淡水の供給源として，日本海周辺の河川水の可能性を検討してみよう。

最終氷期に海水準が低下するにつれて，日本海を囲む 4 つの海峡は浅くなり，外洋水の日本海への流入が制限

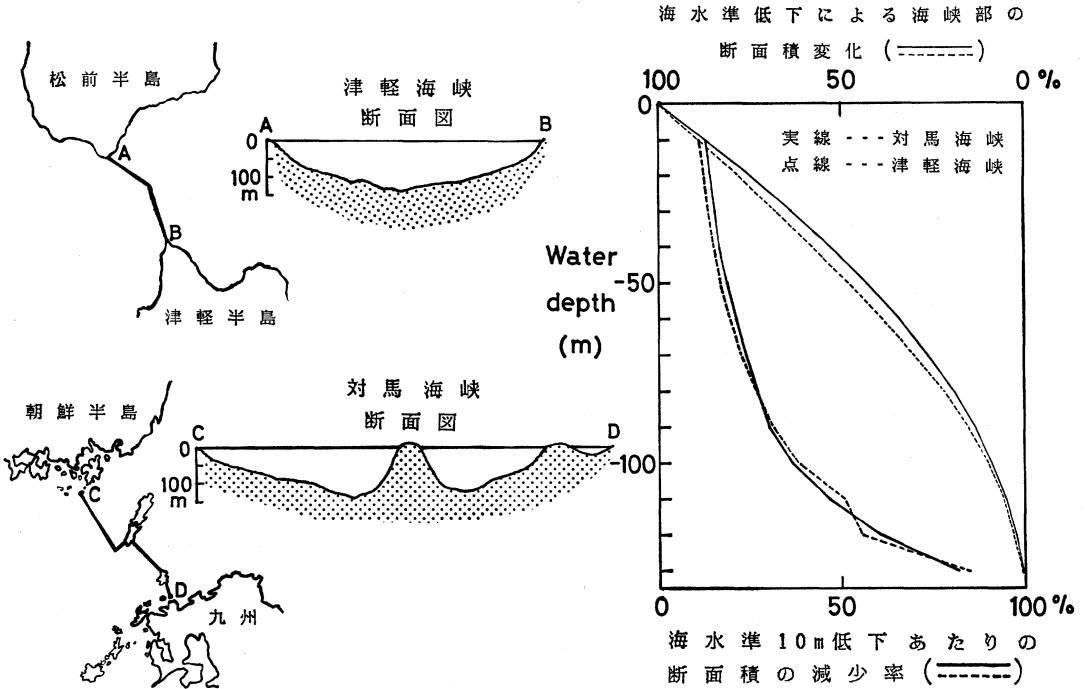


図 5 対馬および津軽海峡の海峡鞍部における断面図 (左) と、海水準低下に伴う海峡断面積の変化 (右)。

されるようになった。このような状況下で、日本海表層水の低塩分化現象が起こっていることは、当時の日本海や日本海周辺の降水量が蒸発量を上回っていたことになる。その降水量が蒸発量に対して AT 火山灰堆積直前から急速に増加したり、あるいは約 2 万年前から急激に減少したりしたということを示唆するような観察事実は、この時代の花粉分析を福井県三方湖のボーリング・コアについて詳細に調査した安田 (1982) の結果にも現れていない。しかしここでは、海水準低下によって日本海が閉鎖的になり、河川水の流入によって日本海表層水の低塩分化現象が起こったとして話を進めてみよう。日本海の閉鎖は、主に対馬・津軽両海峡の浅化・狭あい化によって引き起こされるので、対馬・津軽両海峡の断面積の変化が日本海の閉鎖の程度と密接に関連している。すなわち、AT 火山灰堆積直前で両海峡あるいはどちらかの海峡の断面積に急激な減少が起こり、また 2 万年前で日本海が最も閉鎖的になったと考えられる。そこで、対馬および津軽海峡のそれぞれの海峡鞍部における断面積が海水準低下によってどのように変化したかを知る必要がある。第 5 図には、現在の海水準における海峡の断面積に対する各海水準低下時における断面積の割合の変

化と海水準が 10 m 低下するにつれて断面積の減少する割合の変化とが示されている。その断面積の減少する割合は、対馬・津軽両海峡共に海水準が 90 m から 100 m 低下した時、始めてやや急激な変化を示している (第 5 図)。おそらく、この 90 m から 100 m に海水準が低下した時、日本海はそれまでの海水準低下の時より一段と閉鎖的となり、そのために AT 火山灰堆積直前で見られるような、日本海表層水の低塩分化現象が始まったのであろう。ちょうど、この 90 m から 100 m の海水準低下は、既に述べたような淡水の供給源を黄河起源とした立場に立てば、黄河の河口が済州島の西側から東側へ移動した時代に対応し、日本海へ低塩分水が一段と入りにくくなった状況の中で、黄河起源の非常に薄い酸素同位体比の淡水で希釈された対馬海峡南西海域の表層水が日本海へ流入したことになる。再び、淡水の供給源を日本海周辺の河川水とする立場に立てば、海水準が最も低下した最終氷期最寒期において、日本海が最も閉鎖的となり、日本海表層水の塩分低下が最大になったと予想される。ところが、その時代は、コア L-3 ではちょうど 2 万年前であり、最終氷期の最寒期と考えられる Duplessy *et al.* (1986) が示した 16,800 年前頃ではな

い、仮に、コア L-3 の  $^{14}\text{C}$  年代測定値が疑わしく、2 万年前とした時代が 16,800 年前頃であれば、日本海への淡水の供給源は日本海周辺の河川水の可能性が強くなる。しかし、その場合は、前節で指摘した問題点や日本海およびその周辺における降水量と蒸発量の時代的变化などをさらに検討する必要がある。もっとも、日本海への淡水の供給源を日本海周辺の河川水とした場合でも、海水準が 90 m から 100 m に低下した時代が AT 火山灰堆積直前に相当するならば、前節で求めた最終氷期最寒期の海水準低下量 ( $127 \pm 30$  m) は変わらない。

## V. あとがき

本稿では、最終氷期最寒期の海水準低下量を日本海および太平洋側の海底コアの酸素同位体比カーブに基づいて推定した。その際、日本海のご環境変遷史が重要な情報を提供している。すなわち、日本海のコアに観察される AT 火山灰堆積直前における日本海表層水の低塩分化現象は、海水準が 90 m から 100 m 低下した時に起こったと考えられるが、その解釈が正しく、かつ九州島や対馬・津軽海峡付近の地殻変動が過去 2 万数千年の間無視できる程小さかったという仮定が成り立つならば、最終氷期最寒期の海水準低下量は  $127 \pm 30$  m になる。今後、海底コアの酸素同位体比の詳細な測定に加えて、日本海のご環境変遷史をさらに明確にすることができれば、最終氷期最寒期の海水準低下量を一層精度良く推定することができよう。

## 謝辞

本研究で扱った海底コアはいずれも東京大学海洋研究所の「白鳳丸」によって採取されたものである。それぞれの研究航海における主席研究者・乗船研究者ならびに田玉一郎船長をはじめとする乗組員の方々にはコア採取にご協力頂いた。また、東京都立大学の町田洋教授には本稿に対して有益なご批判、ご助言を頂いた。以上の方々に厚くお礼を申し上げます。

## 引用文献

- 新井房夫・大場忠道・北里洋・堀部純男・町田洋 (1981) 後期第四紀における日本海のご環境—テフクロノロジー、有孔虫群集解析、酸素同位体比法による—。第四紀研究, **20**, p. 209—230.
- 新井房夫・町田洋 (1983) 日本列島周辺深海底テフラカカタログ。文部省科学研究費(総合研究)研究成果報告書, (研究代表者, 町田洋, 課題番号 56390016), 日本列島周辺の深海底堆積物の分布を中心とした第四紀火山活動と気候変動の研究, p. 7—34.
- CHANG, S. K. and CHEONG, H. K. (1987) A study on Holocene paleo-environments of the middle eastern Yellow Sea. 韓国海洋研究所報告書, BSPE 00087—137—5, 147 p.
- DUPLESSY, J. C., DELIBRIAS, G., TURON, J. L., POJO I. C. and DUPART, J. (1981) Deglacial warming of the northeastern Atlantic Ocean: correlation with the paleoclimatic evolution of the european continent. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **35**, p. 121—144.
- DUPLESSY, J. C., ARNOLD, M., MAURICE, P., BARE, E., DUPART, J. and MOYES, J. (1986) Direct dating of the oxygen isotope record of the last deglaciation by  $^{14}\text{C}$  accelerator mass spectrometry. *Nature*, **320**, p. 350—352.
- 貝塚彦平 (1982) 変動する第四紀の地球表面。笠原慶一・杉村新編, 「岩波講座, 地球科学 10—変動する地球—現在及び第四紀」, 第 5 章, p. 183—242.
- 小泉格 (1984) 最終氷期の日本海—珪藻—KH-79-3, C-3 コアの解析を中心にして。月刊地球, **6**, p. 547—553.
- MANABE, S. and HAHN, D. G. (1977) Simulation of the tropical climate of an ice age. *J. Geophys. Res.*, **82**, p. 3889—3911.
- OBA, T. (1983) Oxygen isotope analysis. Preliminary Report of Hakuho Maru Cruise KH82—4, p. 140—141.
- 大場忠道・堀部純男・北里洋 (1980) 日本海のご 2 本のコアによる最終氷期以降のご環境解析。考古学と自然科学, **13**, p. 31—49.
- 大場忠道・大村明雄・加藤道雄・北里洋・小泉格・酒井豊三郎・高山俊昭・溝田智俊 (1984) 最終氷期の日本海—ご環境変遷史—KH-79-3, C-3 コアの解析を中心にして。月刊地球, **6**, p. 571—575.
- SHACLETON, N. J. and OPDYKE, N. D. (1973) Oxygen isotope and palaeomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V28—238: oxygen isotope temperatures and ice volumes on a  $10^5$ -year and  $10^6$ -year scale. *Quat. Res.*, **3**, p. 39—55.
- SHACLETON, N. J., IMBRIE, J. and HALL, M. A. (1983) Oxygen and carbon isotope record of east Pacific core V19—30: implications for the formation of deep water in the late Pleistocene north Atlantic. *Earth Planet. Sci. Letts.*, **65**, p. 233—244.
- 高山俊昭 (1983) 石灰質ナンノ化石からみた日本海のご 第四紀ご環境。月刊海洋科学, **15**, p. 85—89.
- TANIMURA, Y. (1981) Late Quaternary diatoms of the Sea of Japan. *Tohoku Univ. Sci. Rep.*, 2nd ser. (Geol.), **51**, p. 1—37.
- 谷村好洋 (1983) 日本海底質中の珪藻—その地理的分布と層位分布について—。月刊海洋科学, **15**, p. 78—84.
- 安田喜憲 (1982) 福井県三方湖の泥土の花粉分析的研究。第四紀研究, **21**, p. 255—271.