SURE 静岡大学学術リポジトリ
Shizuoka University REpository

炭素・酸素同位体比による有孔虫の古生態の推定

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 静岡大学地球科学教室 公開日: 2008-01-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 新妻, 信明, 藤井, 昇, 北里, 洋 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10297/242

静岡大学地球科学研究報告　10　(1984年7月)　113頁～122頁
Geosci. Repts. Shizuoka Univ., 10 (July, 1984), 113-122

炭素・酸素同位体比による有孔虫の古生態の推定

新妻信明*・藤井　昇*・北里　洋*

Estimation on the Paleoecology of the Foraminifera by Means of the Carbon and Oxygen Isotope of their Shell

Nobuaki NIITSUMA*, Noboru FUJII* and Hiroshi KITAZATO*

The object of this study is to clarify the paleoecological meaning of the carbon and oxygen isotope data of foraminiferal shells. The samples for the analysis come from sublittoral to upper bathyal sediments just below the key tuff U6 which is exposed for a distance of more than 80km in the Kanto area, central Japan. The sediments consist of sandy siltstone, siltstone, and alternation of sandstone and siltstone, and their geologic age is Middle Pleistocene.

The foraminiferal fauna in the samples can be divided into two groups, sublittoral and upper bathyal. The carbon and oxygen isotopic data of the benthic foraminiferal shells supports the paleoenvironment of the deposition. The mixed fauna of the two groups are found in the sandy siltstone samples along the boundary. The mixed fauna has been estimated as the intermediate environments of sublittoral and upper bathyal, however, the isotopic data shows that the benthic foraminifera of each group grew in each paleoenvironment and then mixed up with each other. The idea of the mixing of the fauna is supported by the grain size distribution of the sediments. The sandy siltstone with mixed fauna has bimodal grain size distribution with the mode of longshore sand and upper bathyal mud.

The difference in a group is not found in terms of the oxygen isotope, which represents water temperature. However, the significant differences are found in the carbon isotope of the different species of the benthic foraminifera. The differences in the carbon isotope are systematic in all the examined samples and their amount is up to 2 ‰, which corresponds to the differences in the carbon isotope between surface watermass and deep watermass in the ocean. The systematic differences in carbon isotope are also found in the benthic foraminiferal fauna of upper bathyal siltstone at the boundary between the Brunhes and Matuyama magnetic polarity epochs. The differences in the carbon isotope can be explained by the differences in the depth habitat in the sediment layer, because the carbon isotope ratio in the interstitial water of the surface sediments decreases remarkably with depth and a decrease by 2 ‰ in carbon isotopic ratio corresponds to 1cm of depth in the sediments. The depth habitat estimated by the systematic differences in the carbon

1984年3月19日受理
* 静岡大学理学部地球科学教室　Institute of Geosciences, School of Science, Shizuoka University, Shizuoka 422.

isotope regarding the species of the benthic foraminifera are consistent with the observations on the life habitat of living benthic foraminiferal species. The consistency suggests that the carbon isotope ratio of benthic foraminiferal shells can be used for the estimation of their depth habitat in the surface sediment layer, specially for extinct species.

はじめに

有孔虫化石は堆積物の地質年代の決定や水温・水深の推定のために用いられてきている．その時用いられる水温や水深の推定に関する論理は現在生息している有孔虫の分布を過去へさかのぼって当てはめてみて，比較するものである．現生の有孔虫の生態についての資料が少ない現状において，この種の研究の進展が期待されるが，この現生の生物の分布を過去に延長する方法には自ずと限界が存在する．すなわち，検討しようとする地質時代にその生物が生存し，さらにその生態が現在と同じでなければならない．しかし，そのような仮定は中生代や古生代の化石には適用できない．このような状況を打開するためには，生物自身による環境適合性を使用する方法と並行して，物理化学的に過去の環境を独立に知る必要がある．

このような目的には石灰質殻の炭素・酸素同位体比を用いる方法がある．これは1950年代初頭にその測定方法が確立されるとともに古水温の推定がなされ (EPSTEIN *et al.*, 1953)，広く知られるところとなった．1960年代後半になり世界的にもいくつかの

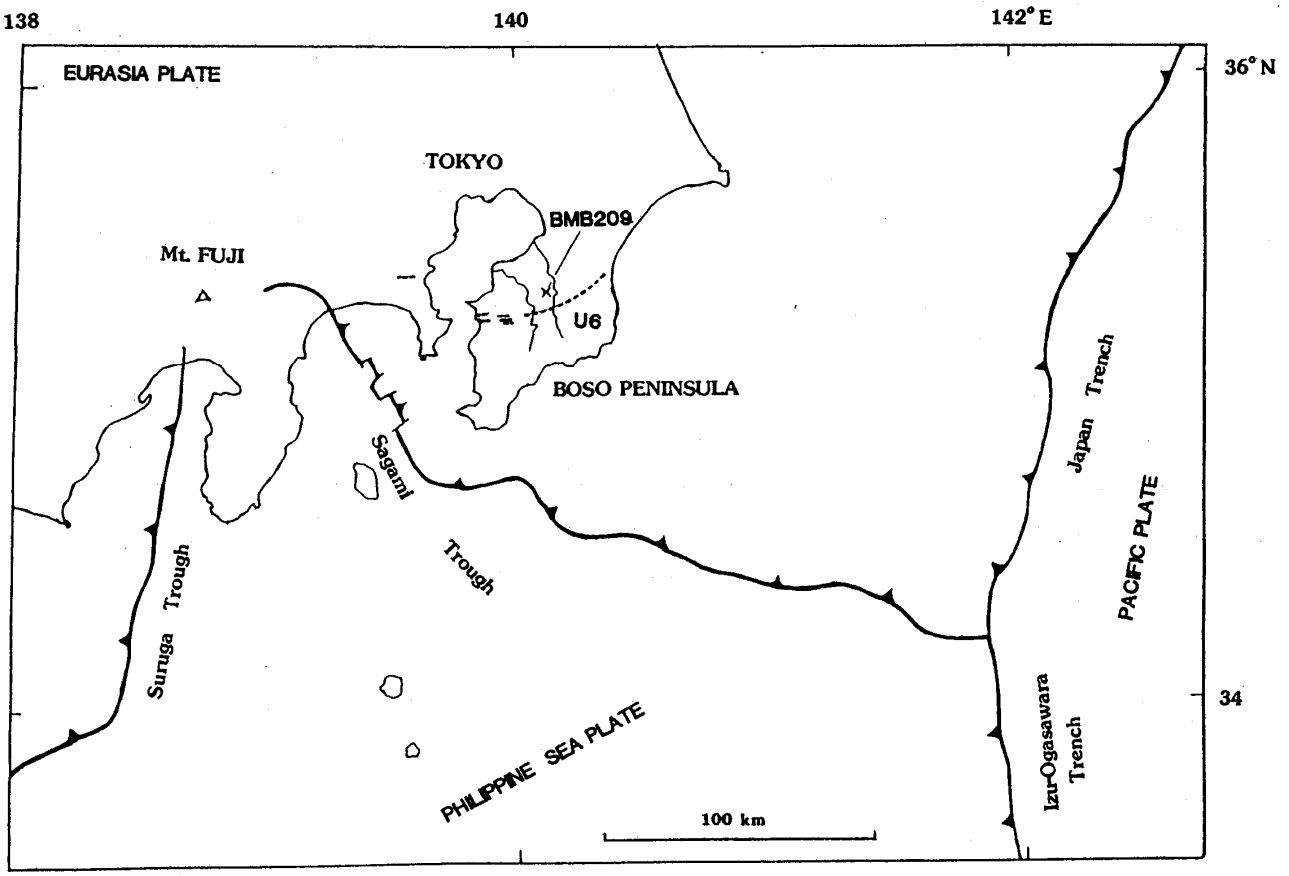

Fig. 1. Map showing the distribution of the U6 key tuff (dotted line) and sampling locality of BMB 209.

研究室において測定が行われるようになり，現在に到っている．有孔虫の古生態についても炭素・酸素同位体比を用いて解明を試みており，その一例として，形態的に浮遊性と考えられていた白亜紀の有孔虫を炭素と酸素の同位体比を用いて浮遊性であることを証明したこと(SAITO and VANDONK, 1974)があげられる．

筆者等は有孔虫殻の炭素と酸素の同位体比が古生態や古環境についてどれだけの情報をもっているか調べるため，これまで非常に良く調査されている関東地域の更新世の堆積岩試料中の有孔虫化石について検討した．その結果，いくつかの重要な知見が得られたので報告する．

1. 試　　料

本研究には房総半島を縦断し，さらに横浜にかけて露出する梅ガ瀬層中部の火山灰鍵層 U6A と U6D 直下の有孔虫化石群集を KITAZATO (1977)が検討した試料(U6-1, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 13, 15, 16, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 28, 29, 30, 31)と，房総半島の中部に露出する国本層中部にある Brunhes-Matuyama 磁極期境界について NIITSUMA (1971) が検討した試料(BMB 209)を用いた(Fig. 1, 2). これらの試料は既に有孔虫化石分別のために分散処理と 200 メッシュふるいによる水洗が行われて保存されていたものである．その中から 120 メッシュより粗粒な有孔虫を双眼実体顕微鏡下で拾い出し，直径 400μm 以上の有孔虫殻を分析試料とした．分析に用いたのは浮遊性有孔虫の *Pulleniatina obliquiloculata* (PARKER and JONES)および底生有孔虫の *Bulimina aculeata* D'ORBIGNY, *Uvigerina akitaensis* Asano *Gyroidina orbicularis* D'ORBIGNY, *Uvigerina peregrina*

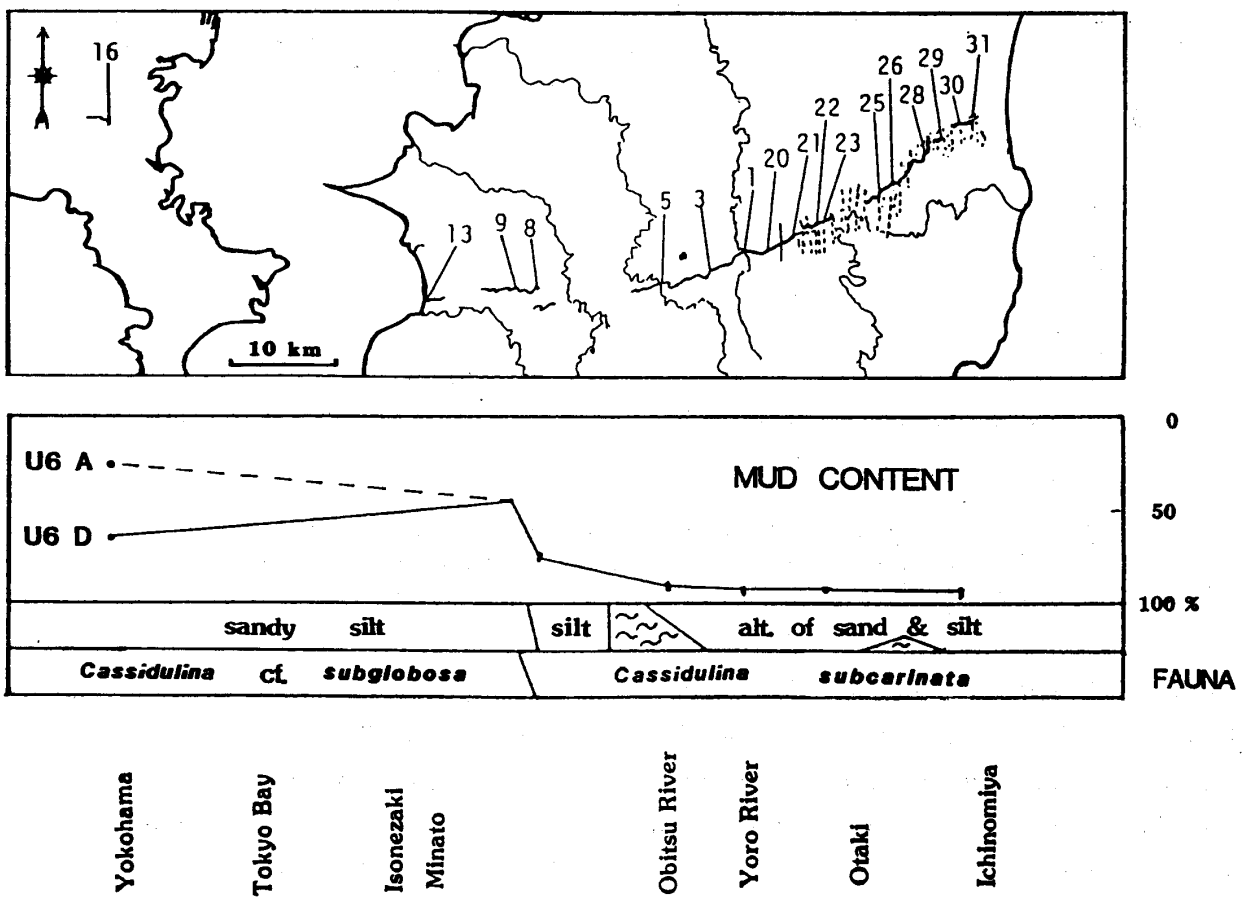

Fig. 2. Map showing the distribution of the U6 key tuff and sampling localities, fauna of benthic foraminifera, lithology and mud contents in the U6 horizon (KITAZATO, 1977). ～: intraformational disturbance.

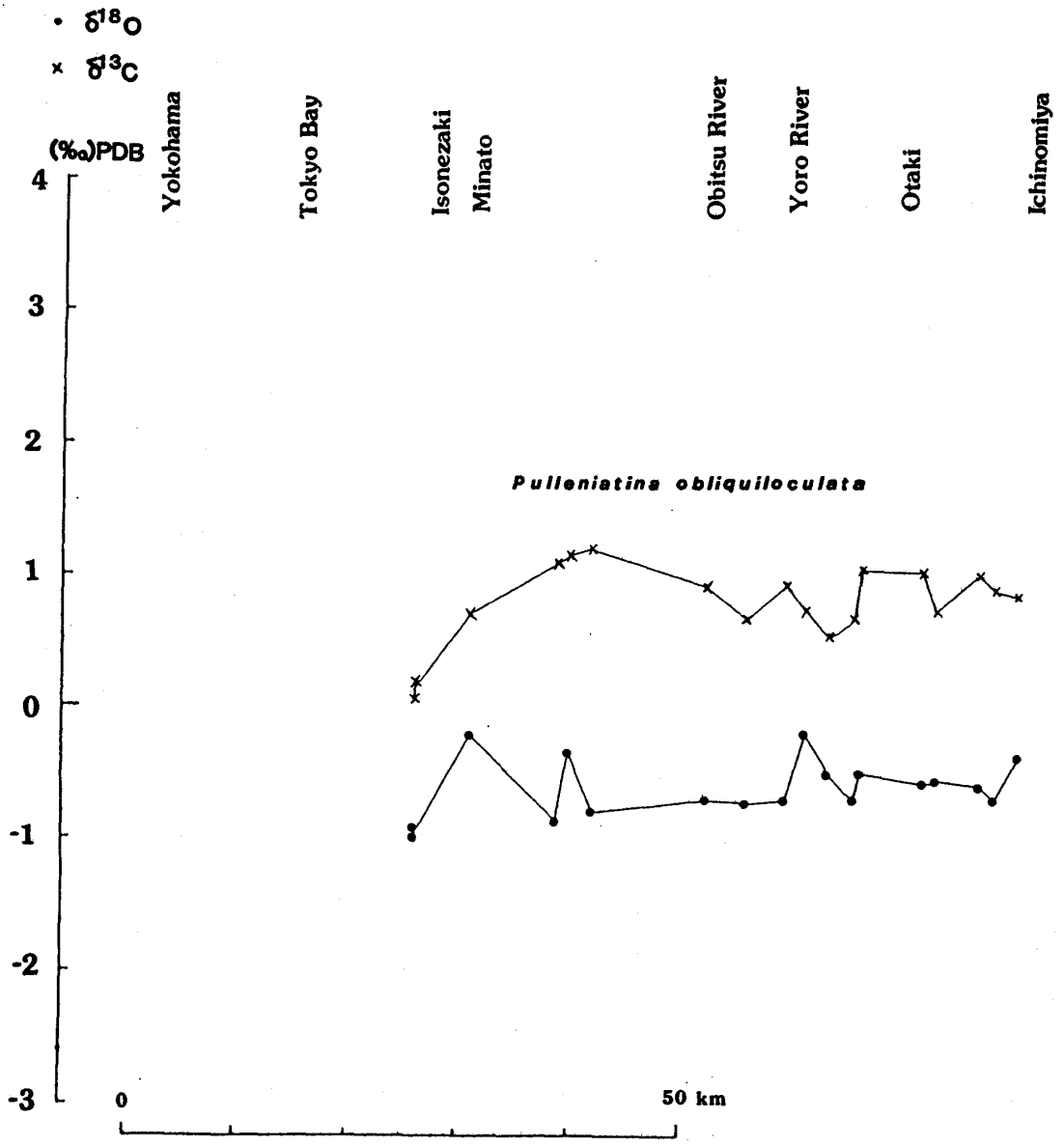

Fig. 3. Isotopic results on Planktonic Foraminifera *Pulleniatina obliquiloculata* in the sediments distributed below the key tuff U6 D in Boso Peninsula, central Japan.

curticosta (CUSHMAN), *Rectobolivina raphana* (PARKER and JONES), *Hanzawaia nipponica* ASANO, *Rectobolivina bifrons* (BRADY), *Bolivinita quadrilatera* (SCHWAGER), *Melonis barleeanus* (WILLIAMSON)である.

2. 測 定 法

測定用有孔虫化石殻1個体をステンレススチール製シンブルに入れ，メチルアルコールを1滴たらし，細い針金で押して破砕し，乾燥して同位体比測定用試料とした．測定法は和田・他(1984)に従い，炭素と酸素の同位体比をMAT 250にて測定した．測定値はNBS 20の炭素の同位体比を$\delta^{13}C = -1.07$‰ PDB，酸素同位体比を$\delta^{18}O = -4.18$‰ PDBとしてPDBに換算した．測定精度は測定用試料の大きさにはよらず，0.05‰よりよい．測定可能な最少ガス量は標準状態で1μl であり，*P. obliquiloculata* の場合には直径が280μm 以上あれば1個体で測定

できる.

3. 浮遊性有孔虫の同位体比

梅ガ瀬層の U6D 鍵層直下の試料には浮遊性有孔虫化石を含有するが，東方ほど含有量が多く，西方ほど少ない．これは堆積物や底生有孔虫から推定される東方ほど深く西方ほど浅い堆積環境と合致する (KITAZATO, 1977). 分析に用いた *Pulleniatina obliquiloculata* は東京湾以東にしか含有しない．房総半島では 50 kmにわたり産出しており，測定された結果を Fig.3 に示す.

酸素同位体比の値はばらつきはあるが，ほぼ一定でその平均値と標準偏差は $\delta^{18}O = -0.65 \pm 0.28$ ‰ である．炭素同位体比の値は一番西の磯根崎で小さく，上総湊と小櫃川の間で最も大きくなる．平均値と標準偏差は $\delta^{13}C = +0.83 \pm 0.24$ ‰ であり，これらの同位体比の値は殻が海表面近くで形成されたことを示している.

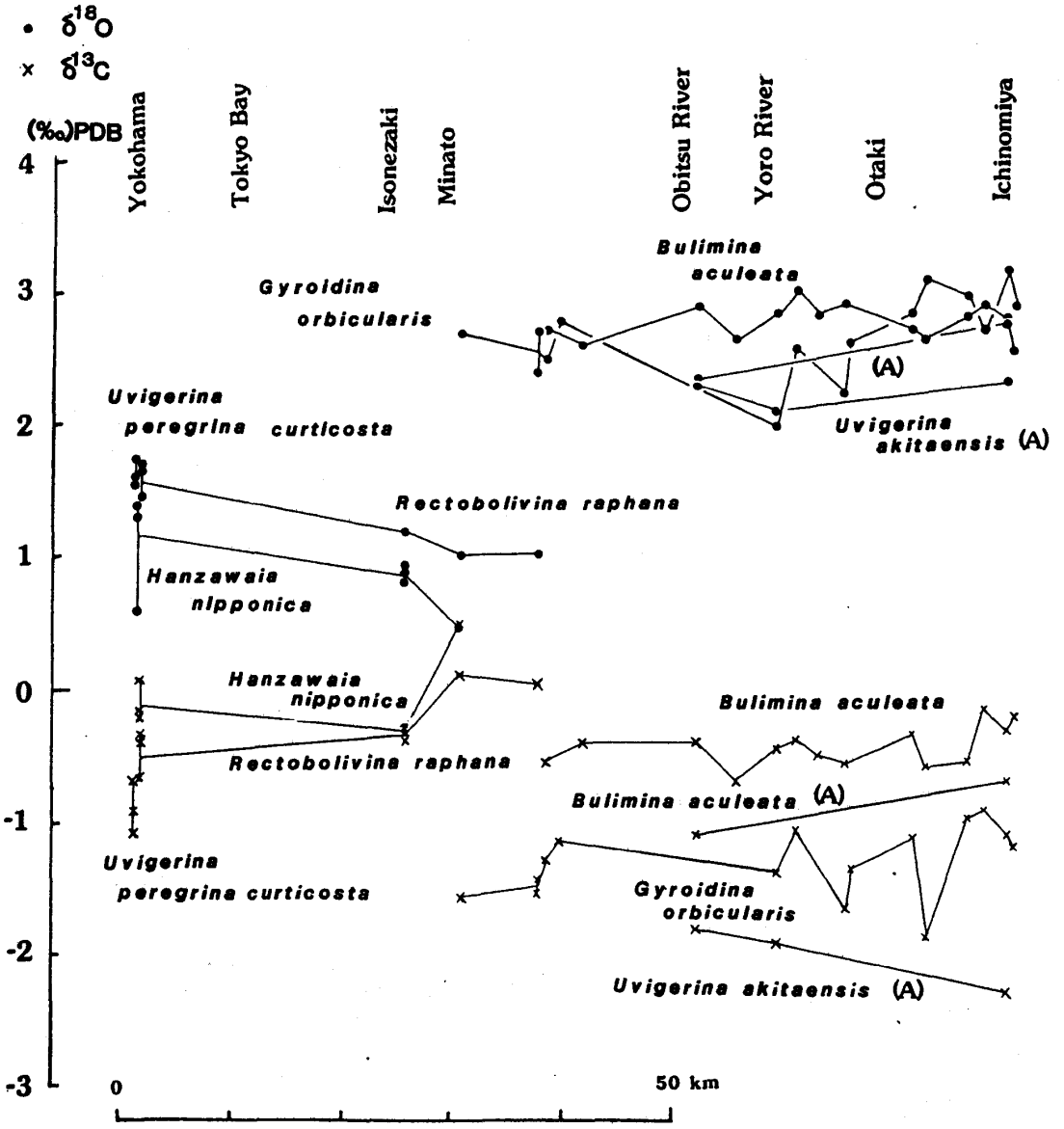

Fig. 4. Isotopic results on benthic foraminifera in the sediments distributed below the key tuff U6 D and U6 A, in Boso Peninsula, central Japan. (A): Benthic Foraminifera in the horizon below the key tuff U6 A.

Fig. 5 は横軸に酸素同位体比を，縦軸に炭素同位体比をとったものである．有孔虫殻の酸素同位体比は海水の温度と同位体比に支配される．海水の酸素同位体比は時代とともに変化し，それは極地域の氷床量に支配されているが，海洋のどの部分でもかなり均一である．この図で右側ほど海水の温度が低いか，氷床量が多いことを意味し，いずれにしろ寒いことを示している．炭素同位体比は海水中の生物生産量に支配されており，生産量の高いところでは，生物が ^{12}C を ^{13}C よりも選択的に多く取り込むため海水の $\delta^{13}C$ は大きくなる．海洋表層では光合成がさかんに行われているので，生物生産量が多く，このグラフでは上方に点がくる．海洋表層では水温が高いので点は左上方に位置することになる．図中に点線で示したのが赤道大西洋とカリフォルニア沖で実測された海水の炭素同位体比と水温において析出した方解石殻の同位体比の関係を示したものである．図の上部には酸素同位体比と水温の関係，赤道大西洋とカリフォルニア沖の水深と水温の関係，および房総半島沖の表層水温の範囲を示した．この図から房総半島沖は両海域の中間の水温を持ち季節変化が大きいことが分かる．

図中にアルファベットで示したのは，赤道大西洋でプランクトンネットで捕えられた現生の浮遊性有孔虫の殻の同位体比(KAHN, 1979)である．今回測定した *P. obliquiloculata* は，赤道大西洋のものより約 3°C 低いが，点の位置は妥当なものと考えられる．Fig. 3 に示した炭素同位体比が湊と小櫃川の間で大きくなっているのは，大きい所が底生有孔虫化石群集組成が大きく変化する所と一致していることから，海底地形の境界部における上昇流の影響で，炭素同位体比の大きい深層水が表層にもたらされているこ

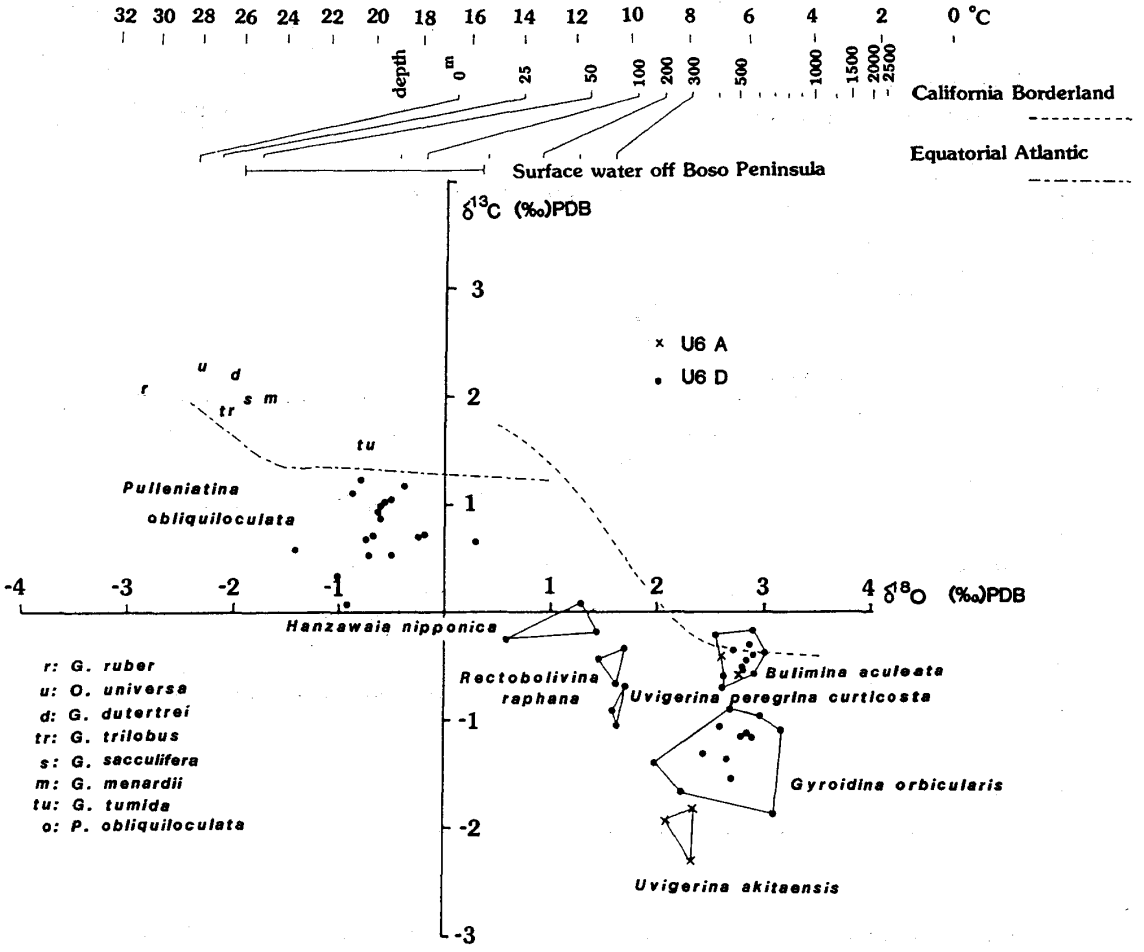

Fig. 5. Isotopic relation of carbon and oxygen in the planktonic and benthic foraminifera of the U6 horizon of the Umegase Formation in Boso Peninsula, central Japan.

とを示しているものと考えられる．

Brunhes-Matuyama 磁極期境界の*P. obliquiloculata* の同位体比は Fig. 6 に示した．これも梅ガ瀬層のものとほぼ同様な位置にプロットされている．

4. 底生有孔虫の同位体比

梅ガ瀬層の U6 層準では，東部と西部では底生有孔虫化石群集が異なり(Fig. 2)，東ほど深く，西ほど浅い海底で堆積したと考えられている(KITAZATO, 1977)．このように堆積環境の異なる場所の底生有孔虫殻の同位体比がどのように異なるかを知るため，できるだけ同一種の殻の測定を行った．ただし，上総湊西方苗割付近を境とし群集組成が完全に異なるため，東部と西部で異なる種を使わざるをえなかった．測定結果を Fig. 4 に示す．

東部の底生有孔虫の炭素同位体比は小さく生物生産量の少ないことを示し，酸素同位体比は大きく低温を示し，いずれも漸深海の環境を支持している．西部のものは，東部のものと浮遊性有孔虫の値の中間であり，浅海の環境を支持している．

東部の酸素同位体比は，約 1 ‰ のばらつきがあるが，場所による差はなくほぼ一定であり，種による差は認められない．炭素同位体比は種によって明確な差があるが，場所による差はない．

西部の酸素同位体比は東ほど小さく，高温を示し，炭素同位体比は大きく，生物生産量の多いことを示し，むしろ浅海であることを示している．この傾向は含泥率の変化(Fig. 1)とも対応している．*U. peregrina curticosta* と *R. raphana* の酸素同位体比は一致しているが，*H. nipponica* の値は異なり，*H. nipponica* がより浅海の環境を示している．炭素同位体比は東部と同様に種により差があり，*H. nip-*

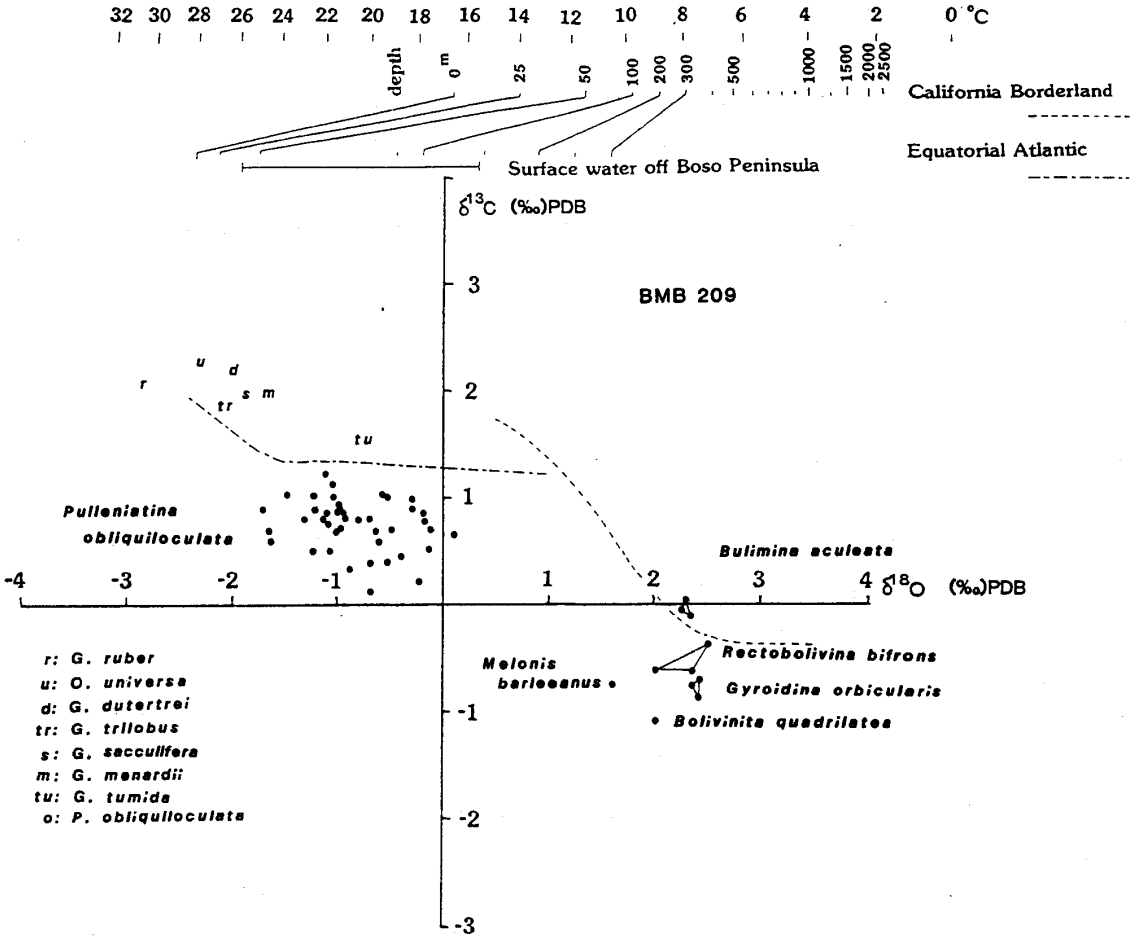

Fig. 6. Isotopic relation of carbon and oxygen in the planktonic and benthic foraminifera of the Brunhes-Matuyama Geomagnetic Polarity Epoch Boundary of the Kokumoto Formation in central Boso Peninsula, central Japan.

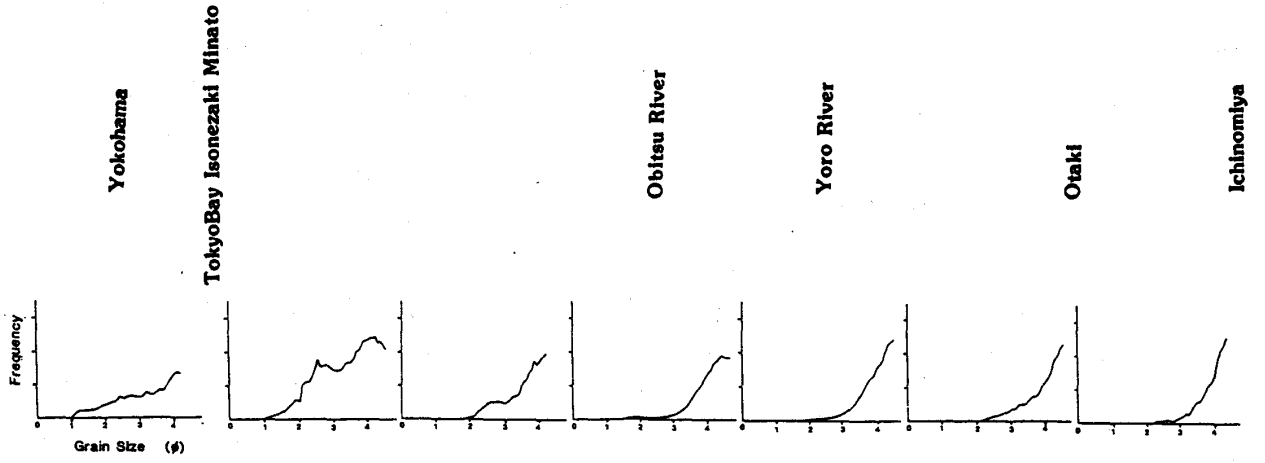

Fig. 7. Grain size distribution of sandy siltstone below the tuff U6 D. The grain size distribution is explained as the mixture of longshore sand with the mode of 2.5ϕ and upper bathyal mud (KITAZATO, 1977).

ponica が最も大きく，*R. raphana*, *U. peregrina curticosta* の順に小さくなっている．

1) 有孔虫化石群集の混合

上総湊およびその東方では東部に主に産する種である *G. orbicularis* と西部の *R. raphana* が同一試料から産出しており，それらの同位体比は同一試料中に両種が含まれているにもかかわらず相互に大きな差がある．すなわち，東部の種については東部の同位体比と同様な値であり，西部の種については西部よりもむしろ浅海性を示す同位体比を持つ．このように同位体比の全く異なる底生有孔虫化石が1つの試料に含まれていることは，その化石群集が生息していた時の生物群集ではなく，死後，運搬され混合されたことを強く示唆している．

この底生有孔虫化石の混合が認められるのは砂質シルト岩の試料であり，混合の認められる試料の東縁は砂質シルト岩とシルト岩の境界と一致している．この砂質シルト岩の粒度分布には，2.5ϕ のモード(極大値) があり(Fig. 7), 含泥率が異なる試料でもこのモードの粒径は殆んど変らない(KITAZATO, 1977). このような粒度分布は沿岸砂と漸深海泥の混合によって説明でき(新妻・目加田, 1971, 1972), 浅海性の底生有孔虫は沿岸砂とともに運搬されてきたものと考えられる．これらのことから上総湊付近の底生有孔虫化石が混合して産する砂質シルト岩は，それより東方のシルト岩や砂岩・シルト岩互層中のシルト岩とほぼ同じ深度および環境下で堆積したものであり，砂質シルト岩の砂粒子は浅海域から運搬されてきたものと考えられる．底生有孔虫化石群集区分の境界も砂質シルト岩とシルト岩の境界に一致していることから(Fig. 2), 有孔虫化石群集の大部分が浅海域から運搬されてきたことを支持している．

2) 堆積物中における底生有孔虫の生息深度

底生有孔虫の炭素同位体比は種ごとに異なっており，その差は採取地点によらずほぼ一定である．この種による違いは，海洋の表層水と深層水に溶存している無機炭素の同位体比の差と同程度ある．この差は有孔虫が殻を分泌する時に炭素の同位体分別を行っているからとも考えられるが，もし同位体分別が起こっているとすると，酸素に対する同位体分別が炭素の2倍予想できるにもかかわらず，実際には種による有意な差は認められないので否定できる．また，同位体分別によるにしては種による差が大きすぎる．従って，この炭素同位体比の差はこれらの底生有孔虫が生息していた場所の海水の同位体比の差と考えることができる．

堆積物中には有機炭素が含まれているが，その有機炭素を堆積物中の生物が摂取し，炭酸ガスとして放出している．この炭素の同位体比は −20〜−25‰ と非常に小さい．炭酸ガスは間隙水に溶け，堆積物表層では海水と交換する．従って，間隙水の炭

素同位体比は堆積物表層では海水と同じであるが，堆積物に入るに従い急激に小さくなるはずである．実際，カリフォルニア沖では，表層で −0.5 ‰ であるのに，1 cmで −2.8 ‰，5 cmで −6.0 ‰ と小さくなっている(GROSSMAN, 1982MS).

今回測定された底生有孔虫の種による炭素同位体比の差は 2 ‰程度であるので，カリフォルニア沖の炭素同位体比の結果をそのまま内挿して適用すると，これらの有孔虫が堆積物表層 1 cm以内にすみわけていれば十分説明をつけることができる．種相互の関係は試料が異なっていても一定であるので，これらの種の堆積物内での生息深度が場所により異ならないことを示しており，炭素同位体比が有孔虫の個々の種の生態を記録しているといえる．*B. aculeata* では $\delta^{13}C = -0.44 \pm 0.15$ ‰ であるので堆積物表面に生息していたと考えられ，*G. orbicularis* では $\delta^{13}C = -1.31 \pm 0.27$ ‰ であり 3〜4 mmの深さに，*U. akitaensis* では $\delta^{13}C = -2.02 \pm 0.23$ ‰ であり 8 mmの深さに生息していたことになる．この推定は表層に生息していると考えられる *B. aculeata* の同位体比の標準偏差が，より深くに生息する種のものに比して小さいことによっても支持される．これらの底生有孔虫類の堆積物中での垂直分布は現生底質試料中での観察結果(KITAZATO, 1984)と一致するが，実際の堆積物中では 3 cm位まで多数生息していることから，ここで求められた生息深度の幅がもっと大きい可能性がある．この相違は実際の間隙水中の炭素同位体比の減少量とここで用いた値の差によるものと考えられる．

西部の底生有孔虫では，*H. nipponica, R. raphana, U. peregrina curticosta* の順に堆積物の深部に生息していたと考えられるが，これは *H. nipponica* が海底表面の物質に付着生活をし，*R. raphana* が堆積物中に生息しているという現生種の生態観察結果(北里，1981；KITAZATO, 1984)とも一致している．また，表層のものの酸素同位体比が小さい方にばらついていることは，表層に生息している有孔虫の殻には運搬されてきた個体がより多く混入していることを示しており，堆積物中に生息する有孔虫の殻は運搬される機会が少ないという一般的な事実とも合致する．

Brunhes-Matuyama 磁極期境界の底生有孔虫について行った測定結果を Fig. 6 に示す．ここでも *B. aculeata* の炭素の同位体比が最も大きく，*R. bifrons, G. orbicularis, B. quadrilatera* の順に小さくなり，堆積物のより深いところに生息していたものと考えられる．この生息深度の関係は *U6* 層準のものと同じであることは，これらの有孔虫種の古生態を表していることを示している．このなかで *M. barleeanus* は，これらの種の範囲から外れて左方にプロットされている．これまでの種の酸素の同位体比は堆積物中の生息深度に関係なく一定であったが，この種は有意に小さいので，これはこの種が殻を形成する時の同位体比分別係数が異なっていたものと考えられる．

結　　論

今回は火山灰鍵層を用い同時面下の有孔虫化石殻の同位体比を検討したので，地質時代による世界的な環境変化の影響を取り除くことができ，しかも浅海から漸深海にわたる堆積環境のもとに堆積した堆積物に含まれる化石を検討できた．その結果，化石群集は想像以上に混合が起こっていることがわかり，今後，有孔虫化石群集を解析するためには生態学的分布の他に運搬移動についてこれまで以上に考慮しなければならないことが明らかになった．また，運搬移動を考慮するために同位体比が非常に有効であり，堆積物の粒度分布についても基本的な資料を提供できることが分かった．堆積物が堆積した時の深度(古水深)についても正確な推定ができ，U6 層準では砂質シルト岩，シルト岩，シルト岩・砂岩互層と岩相が変わり，それらが次第に深い堆積層を表わすものと考えられていたが，同位体比による古水深は殆んど差が無く，これらの岩相の差は大陸斜面急崖からの距離に関係していることが判明した．

有孔虫の堆積物中における生息深度を知るためには現生の有孔虫を現場あるいは実験室で観察すればある程度知ることができるが，炭素の同位体比によっても知ることができることが分かった．この方法によると飼育の困難な深海の有孔虫も浅海の有孔虫と同様に測定できるので，有孔虫の生態の研究をする上で有力な手段を与えるとともに，絶滅した化

石種にも適用できるので，絶滅した化石種がどの様な生態をしていたか知るための直接的方法が得られたことになる．

謝　辞

本研究は文部省科学研究費補助金一般研究A「酸素・炭素同位体測定による地球磁場逆転にともなう環境および生物量変化の解析」(課題番号 56420018) により実施したものである．本研究を行うにあたり，静岡大学の和田秀樹博士には試料の調整および測定について討論や助言をいただくとともに校閲をしていただいた．カリフォルニア州立大学のM. I. KAHN博士，テキサスA & MのE. L. GROSSMAN博士には現生有孔虫および堆積物中の間隙水の同位体比について討論いただくとともに未公表の資料を提供していただいた．山形大学の斎藤常正教授には討論していただくとともに，論文の校閲をしていただいた．静岡大学の山本哲之氏には論文作成に協力いただいた．以上の方々に心から御礼申し上げる．

文　　献

EPSTEIN, S., BUCHSBAUM, R., LOWENSTAM, H. A. and UREY, H. C. (1953), Revised carbonate-water isotopic temperature scale. *Geol. Soc. Amer., Bull.*, **64**, 1315-1326.

GROSSMAN, E. L. (1982MS), Stable isotopes in live benthic foraminifera from the Southern California Bouderland. *Univ. Southern Calif., PhD. Dissertation*, 164p.

KAHN, M. I. (1979), Non-equilibrium oxygen and carbon isotopic fractionation in tests of living planktonic foraminifera. *Ocean. Acta*, **2**, 195-208.

KITAZATO, H. (1977), Vertical and lateral distributions of benthic foraminiferal fauna and the fluctuation of warm and cold waters in the Middle Pleistocene of the Boso Peninsula, Central Japan. *Tohoku Univ., Sci. Rep., 2nd Ser.* (*Geol.*), **47**, 7-41.

北里　洋(1981), 底生有孔虫の行動と生活様式の観察. 静岡大地球科学研報, **6**, 61-71.

KITAZATO, H. (1984), Microhabitats of benthic foraminifera and their application to fossil assemblages. *Proc. 2nd International Symposium on Benthic Foraminifera.* Pau, France. 339-344.

NIITSUMA, N. (1971), Detailed Study of the Sediments Recording the Matuyama-Brunhes Geomagnetic Reversal. *Tohoku Univ., Sci. Rep., 2nd Ser.* (Geol.), **43**, 1-39.

新妻信明・目加田義正(1971), 陸奥湾底質の自動粒度分析機による解析. 東北大地質古生物研邦報, (72), 37-48.

――――・目加田義正(1972), 自動粒度分析機による堆積物の解析. 岩井淳一教授記念論集, 201-208.

SAITO, T. and VANDONK, J. (1974), Oxygen and carbon isotope measurements of Late Cretaceous and Early Tertiary foraminifera. *Micropaleont.* **20**, 152-177.

和田秀樹・藤井　昇・新妻信明(1984), MAT 250による超微量炭酸ガス試料の安定同位体比測定法. 静岡大地球科学研報, **10**, 103-112.