

## 生物遺骸の示す古水温

メタデータ	言語: ja 出版者: 日本古生物学会 公開日: 2008-02-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 堀部, 純男, 新妻, 信明, 酒井, 豊三郎 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10297/603">http://hdl.handle.net/10297/603</a>

# 生物遺骸の示す古水温\*

堀部純男\*\*・新妻信明\*\*\*・酒井豊三郎\*\*\*

酸素には3種の安定同位体 ( $O^{16}$ ,  $O^{17}$ ,  $O^{18}$ ) があるが、たがいに平衡状態にある分子間で、これら安定同位体の存在比は異なっている。また同じ分子におけるこれらの存在比は温度によって変化することがわかっており、したがって安定同位体の存在比を測定することにより、逆に平衡状態の温度を推定することができる。従来、この方法が適用されてきたのは主に海棲生物の石灰質遺骸についてである。生物遺骸を使用して測定された酸素安定同位体比には、同位体平衡に関する物理化学的要因（生成結晶の種類、結晶生成時の平衡状態等）のほか、生物の生態的要因、たとえば、生息深度あるいは生長の季節などが結晶生成時の温度として反映されている。したがって、もし物理化学的要因がわかっているならば、求められた古水温にもとづいて、古生物の生態を検討することが可能である。この小論では、有孔虫と軟体動物においておこなった古水温算定と、その結果にもとづいた生態的要因の検討例について述べることにする。

## 1. 浮遊性有孔虫遺骸の示す古水温

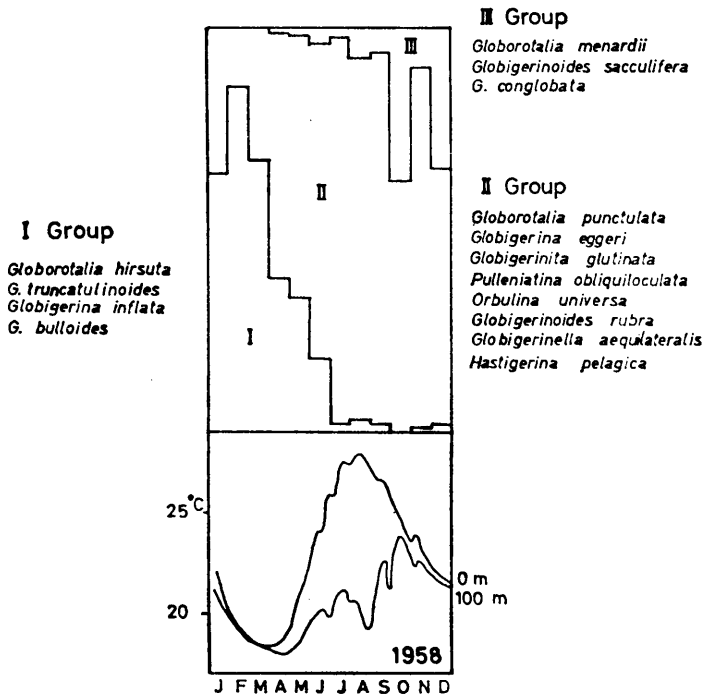
浮遊性有孔虫遺骸の酸素同位体比に関しては、C. EMILIANI の多くの業績がある。彼は深海底より採集された底質コアにふくまれる浮遊性有孔虫遺骸から、コアの層準ごとの古水温を算出し、その垂直変化（経年変化）を氷期・間氷期の海水温の変化と関係づけている (EMILIANI, 1955)。コアの各層準からとられたおのおのの試料中には浮遊性有孔虫の多くの種がふくまれるが、種ごと別々に酸素同位体比を測定して古水温をもとめると、各種の示す古水温は異なるが、古水温の垂直変化の画く曲線はいずれも同じ傾向を示す。彼はこれを浮遊性有孔虫の生息深度が種ごとに異なっているためと解釈した (EMILIANI, 1954)。その後、LIDZら (1968) はカリブ海のコアについてさらに多くの種について測定を行ない、氷期・間氷期におけるそれぞれの種の生息深度を推定したが、現生の浮遊性有孔虫の生息深度 (JONES, 1967) とかならずしも良い一致をみなかった。

大西洋バーミューダ沖の浮遊性有孔虫をプランクトンネットにより精査した BÉ (1960) の研究によれば、現生の浮遊性有孔虫の個体数および種数は 100m 以浅に多く、その構成種は季節により変化し、第1図に示すような I, II, III の3つのグループに分けられるという。すなわち、I は1~3月に、II は5~9月に、III は10~12月に個体数が増えるグループである。この海域の水温は3月に最も低く、10月に最も高い。このグループ分けを LIDZ ら (1968) の測定結果と対照させて考察すると、LIDZ らの高い古水温を示す種は BÉ の III のグループに属し、低い古水温を示す種は II のグループに属している (第2図)。このこ

\* Paleotemperature indicated by skeleton of organisms

\*\* Yoshio HORIBE 東京大学海洋研究所

\*\*\* Nobuaki NIITSUMA, Toyosaburo SAKAI 東北大学地質学古生物学教室

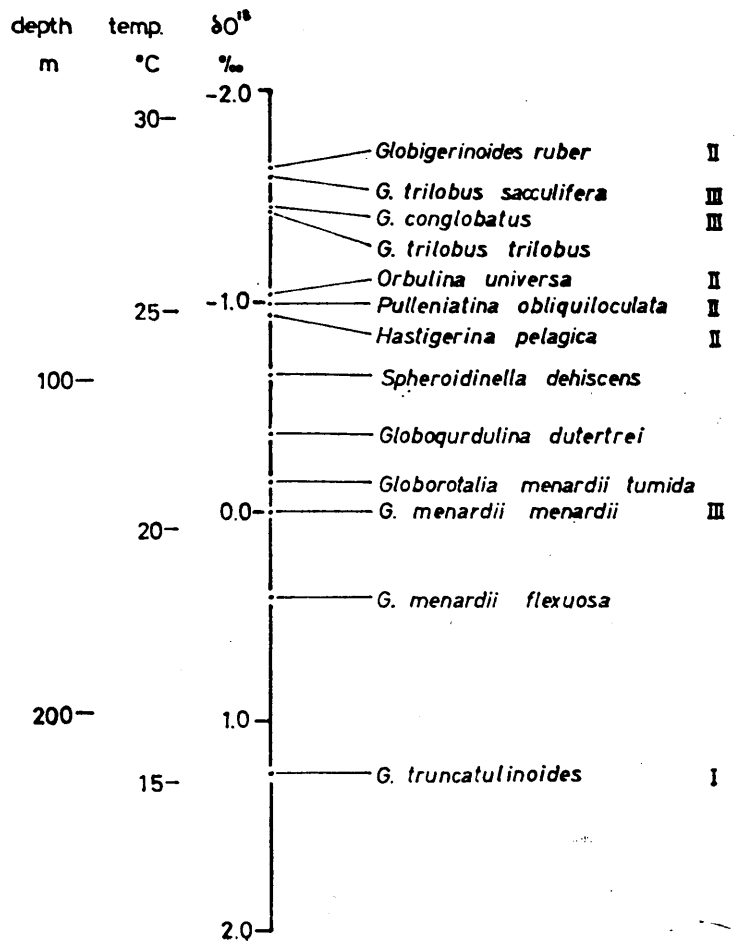


第1図 バーミュエダ島周辺における浮遊性有孔虫の構成種の変化と水温変化 (after BÉ, 1960)

とから浮遊性有孔虫遺骸の示す種ごとの古水温の違いは、季節による種構成の変化、すなわち、種によりある海域に出現する季節が違うことに起因すると考えても説明されよう。しかし、*Globorotalia* 属に属する種の遺骸は BÉ のグループ分けに関係なく、すべて低い古水温を示しており、出現期の季節差では説明できない。

*Globorotalia* 属に属する浮遊性有孔虫殻の微細構造はほかの属のものとは異なり、それぞれの結晶形態が全くことなる lamella と crust の2層からなることは、光学顕微鏡 (BÉ and ERICSON, 1963) および電子顕微鏡 (TAKAYANAGI, NIITSUMA

and SAKAI, 1968) によって観察されている。Lamella 層はchamber を作り、個体生長にともなってその数を増加させる。Crust はこれら chamber の数の増加が完全に終わったのちに、chambers を外側からおおって形成される。*Globorotalia truncatulinoides* の観察結果では、結晶形態からみて、crust は1層のみからなり、その形成に際しては断続がないものと判断される (TAKAYANAGI, et al. 1968)。現生の *Globorotalia* 属の浮遊性有孔虫では、lamella 層



第2図

P 6304-8 コア (14°59'N, 69°20'W, 深度 3927m) 表層より 10cm 下における各種浮遊性有孔虫の酸素同位体比と推定古水温および推定生息深度 (after LIDZ et al., 1968) I, II, III はBÉのグループ

のみからなる lamellar stage のものは表層近くに、crustを有する encrusting stage のものは深海に見いだされる (BÉ, 1960)。このことは、深度のことなる海底堆積物中の浮遊性有孔虫遺骸を検討した結果からも確認されている (ORR, 1967)。

そこで、Globorotalia 属の浮遊性有孔虫の個体発生過程における生息深度の変化について、酸素の同位体比による古水温の立場からの検討を進めてみた。

まず、結晶形態を全く異にする lamella と crust の含有元素をエレクトロンマイクロプローブ・アナライザーにより測定した。その結果、対象とした2種 Globorotalia menardii および G. truncatulinoides の断面においては、lamella と crust との間に含有元素の差を見いだせなかった。一方、深海底のグロビゲリナ軟泥の中には、crust を有する個体 (crusted individual) と、少数ではあるが crust を有しない個体 (non-crusted individual) が見いだされる。そこで、北太平洋低緯度の2点における底質表層のドレッジ試料\* にふくまれる G. menardii と G. truncatulinoides の 250 $\mu$  より大きい個体から crusted および noncrusted の個体を別々に拾い出し、そのおのおのについて酸素同位体比を堀部・大場 (本号) の方法により測定した。また、海水の表層と底層の温度を推定する材料として、100~125 $\mu$  の矮小浮遊性有孔虫および底生有孔虫についてもそれぞれについて酸素同位体比を測定した。測定値からの古水温の算出は堀部・大場・新妻 (本号) の関係値によった (第1表)。

第1表 酸素同位体比測定結果表

$\delta O^{18}$ ‰ (SMOW)		St. 41 depth 3200 m 17°31' N. 176°13' W.	St. 43 1855 m 17°53' N. 175°32' W.
planktonic Foraminifera (125-100 $\mu$ )		- 0.68 (22.7 °C) - 0.70	
Globorotalia menardii	non-crusted	- 0.88 (23.6 )	- 0.61 (22.5 )
	crusted	- 0.24 (19.0 ) + 0.14	- 0.06 (19.9 )
G. truncatulinoides	noncrusted		- 0.74 (22.9 )
	crusted	+ 0.47 (17.0 ) + 0.82	+ 1.01 (15.6 )
benthonic Foraminifera		+ 3.56 (5.9 )	

さて、noncrusted 個体が示す古水温は、G. menardii, G. truncatulinoides において良く一致し、23°Cである。この温度は比較的表層近くに多いといわれる矮小浮遊性有孔虫が示す古水温とも良い一致を示すので、一応海水の表層の水温を示していると考えられる。crusted の個体は G. menardii が19°C, G. truncatulinoides が16°Cとともにより低い古水温

を示す。先述したように、crust は lamella 層による chamber の形成後これらを一様におおって形成されるのであるから、noncrusted 個体は個体発生の若い段階、すなわち、crust が chamber をおおる以前に死に、その遺骸が深海底に堆積したものと考えられる。crusted 個体は noncrusted 個体を経た個体発生を同じように行ない、さらに crust を有するまで個体発生の段階を経たのち死に堆積したものと考えると、crusted 個体と noncrusted 個体の示す古水温の差は lamella 層と crust の酸素同位体比が著しくことなるためによるものと考えられる。また、crusted 個体について crust と lamella 層の体積比

\* 1967~1968年、白鳳丸のラバウルーハワイ航海で採取された。

を種々の方向の断面における面積比から計算すると、多少のばらつきがあるが、1:2の比率となる(第2表)。この体積比を使って crusted 個体の酸素同位体比から lamella

第2表 lamella と crust の比率  
(断面積比より算出)

lamella/crust ratio in volume

<i>Globorotalia menardii</i>	<i>G. truncatulinoides</i>
2.38	2.40
	1.93
	1.42
	2.75
	2.68

による水温変化の測定結果、および REID (1965) の太平洋断面の水温分布によると、水深100mまではほぼ表層の水温と等しく、100~300mでは水温勾配が大きく、300m以深では水温勾配が小さい。

以上のことより *G. menardii* の個体発生過程における生息深度の

変化を考察すると、noncrusted個体は表層の水温を示すから、lamellar stage には表層水に生息していると考えられる。一方、crust の示す古水温は表層水と深層水の間中部で温度勾配の大きな深度にあたることから、個体生長が終了したのち、crust を形成する encrusting stage には表層水と深層水の境界部まで生息深度を下げると考えられる。*G. truncatulinoides* の場合は lamellar stage において *G. menardii* と同じく表層水に生息していると考えられる。しかし、crust が示す水温は底層のものと同様であるから、encrusting stage には生息深度を深層水まで下げると考えられる。よって、*Globorotalia* 属の浮遊性有孔虫は、chamber の数が増加する個体生長が終了すると、何らかの生物学的な変化を起し、生息深度を下げる。その後、chamber を作った殻形成機構とは全く異なった機構で crust を形成するものと考えられる。このように、lamellar stage と encrusting stage の間には、殻形成機構および生息深度に非常に大きな変化が存在することを、微細構造の研究と酸素同位体比の研究により示すことができる。

の部分の酸素同位体比を差し引いて、crust のみの酸素同位体比を算出し、水温に換算すると、*G. menardii* は15°C、*G. truncatulinoides* は5°Cの値を得る(第3表)。海底の水温を示すと考えられる底生有孔虫による値は5°Cで、*G. truncatulinoides* の crust の値と一致する。

さて、試料採集地点における深度

第3表 lamellar stage および encrusting stageの生息水温

$\delta^{18}\text{O}_{\text{‰}}(\text{SMOW})$	<i>Globorotalia menardii</i>	<i>G. truncatulinoides</i>
lamellar stage	-0.75 (23.0°C)	-0.74 (22.9)
encrusting stage	+1.05 (15.5)	+3.79 (5.1)
benthonic Foram.	+3.56 (5.9)	

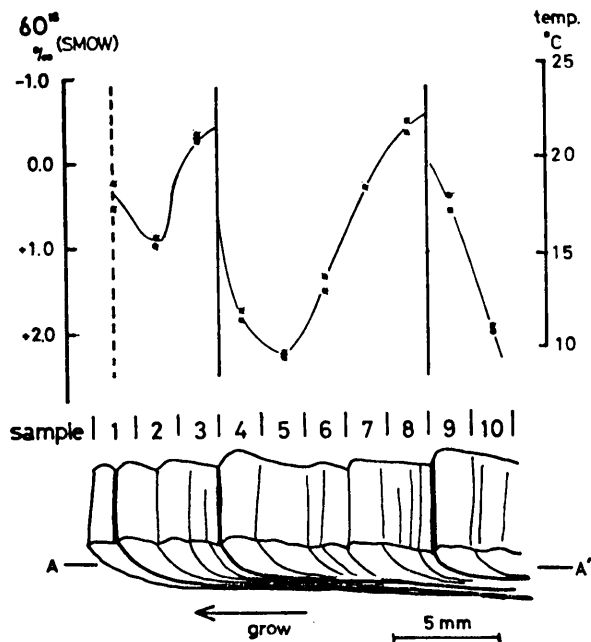
## 2. 軟体動物遺骸の示す古水温

軟体動物の殻は生長が早いうえ、殻の構造は生長過程を細かく保存している(PANNELLA and MACCLINTOCK, 1968) そのために酸素同位体比を用いて水温の季節変化を推定するには非常に良い材料である。この種の研究は UREY ら(1951)の研究以来、多くなされ

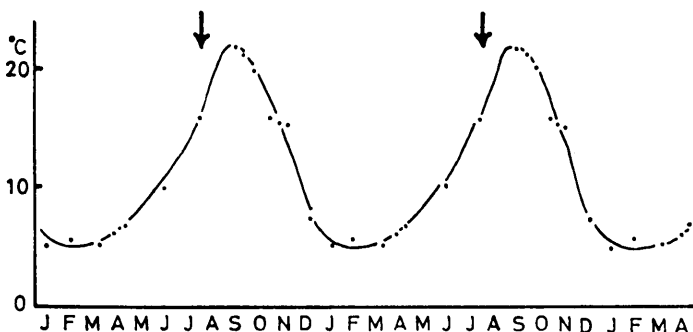
できた (BOWEN, 1966)。ここでは多少見方を変え、酸素同位体比を使って軟体動物の殻に残されているいわゆる「生長線」について検討を行なう。

「生長線」には、それが年輪であるか、その形成時期はいつか、生態的および生理的にいかなる意味を持つかなど、充分解明されていない問題がある。ここで検討に用いた材料は1965年7月陸奥湾で採集したあかがい *Anadara broughtoni* の生貝の殻である。まず、殻の断面の微細構造を検討するため、殻を金ノコでリブ rib に沿って切断し、切断面をカーボランダムで研磨し、0.1Nの塩酸でエッチングして、アセトンにひたし、電子顕微鏡用アセチルセルローズ フィルムでレプリカを取り、光学顕微鏡で調べた。その結果、「生長線」はほかの多くの線とは明瞭に区別でき、規則的な構造を持っていることが明らかになった。

酸素同位体比を測定するため、その殻の一本の rib を金ノコで切り出し、内層の部分を削り落とし、2mmごとに10個の試料を作った。酸素同位体比は堀部・大場 (本号) にしたがって測定した (第3図)。酸素同位体比より推定した水温変化曲線は陸奥湾の海底近く



第3図 あかがい殻の断面における測定試料の位置および試料番号とその酸素同位体比A—A'以下は削り落とし除いた



第4図 陸奥湾海底水温の季節変化 (矢印はあかがいの産卵期)

での水温変化 (第4図) と良く一致する。

第3図で、試料番号1~3で変化が小さくなっているのは生長速度が遅くなったためである。「生長線」は試料番号1,3と4の間および8と9の間にあり、酸素同位体比による水温変化の曲線では水温が上昇し始めたところにある。そして、「生長線」形成後に水温は最高に達する。陸奥湾において水温が最高に達するのは、9月~10月であるから、「生長線」が形成されるのは7月~8月と考えられる。この時期は陸奥湾ではちょうどあかがいの産卵期にあたっている。このことから「生長線」は年輪であり、しかも産卵期に形成されると結論できる。

あかがいが産卵をはじめめる年令以前「生長線」はいかなる時期に形成されるかは若年貝の殻を同じ方法で解析することにより知ることができはずだが、薄い殻から試料を取り出すことが技術的に困難なため今回は行なうことができなかった。しかし、あかがいに生物学的な一年の周期が存

在すると考えると、産卵以前でも、この季節に「生長線」が形成されるということは充分考えられる。

あかがいの場合、「生長線」は産卵期に形成され、殻の微細構造から容易に認識できるので、「生長線」と産卵期との関係が普遍的なものであるとすれば、化石などの産卵期の全く知られていないものに適用することによって、そのものの産卵期を推定することが可能になると考えられる。

### 3. 古生物学と酸素同位体比

従来の酸素同位体比の研究は、生物遺骸を使用して、古環境の一要因としての古水温の推定に終始してきた感がある。

しかし、前述のごとく生物遺骸の微細構造を充分検討してから酸素同位体比を測定し検討すると、非常に数多くのプランクトン・ネットを引いたり、飼育して精密な観察や測定をしたりしなければ得ることのできなかつた生物の生態などに関する知識を別の角度からも得られることがわかる。したがって、このような方法は生態学にとって新しい、しかも重要な手段になるとともに、絶滅した種を取り扱うことが多く、したがって生きた個体で生物学的実験・観察することのできない古生物学にとって非常に重要な手段になると考えられる。すなわち、従来ばく然と論じられ勝ちであった古生態の問題や生態進化の問題に対し、より明確な資料を提供することが可能になると考えられる。

### あ と が き

この研究を行なうに際し、東北大学理学部地質学古生物学教室の浅野清教授、金谷太郎助教授、高柳洋吉博士には種々御指導、御助言を賜った。東京大学海洋研究所の重原好次博士、小倉信子技官には酸素同位体比の測定に際して、御協力をいただいた。同研究所の服部陸男博士には貴重な海洋底の試料を提供していただいた。地質調査所の嶋崎吉彦博士、鶴飼和子技官にはエレクトロン・マイクロプローブ、アナライザーにより試料を測定していただいた。青森県水産増殖センターの津幡文隆博士、佐々木鉄郎技官、菅野溥記技官には陸奥湾の貴重な資料およびあかがいを提供していただいた。以上の方々に心から御礼申し上げる。

### 引 用 文 献

- Bé, A. W. H. (1960), Ecology of Recent planktonic Foraminifera ; Part 2—  
Bathymetric and seasonal distributions in the Sargasso Sea off Bermuda.  
*Micropaleontology.*, vol.6, no.4, p. 373—392.
- and Ericson, D. B. (1963), Aspects of calcification in planktonic Forami-

- nifera (Sarcodina). *New York Acad. Sci., Ann.*, vol.109, part1, p.65—81.
- BOWEN, R. (1966), Paleotemperature analysis. *Elsevier Publ. Co.*, Amsterdam, 265 pp.
- EMILIANI, C. (1954), Depth habitats of some species of pelagic Foraminifera as indicated by oxygen isotope ratios. *Amer. Jour. Sci.*, vol.252, no.3, p. 149—158.
- (1955), Pleistocene temperatures. *Jour.Geol.*, vol. 63, no.6, p.538—578.
- JONES, I. J. (1967), Significance of distribution of planktonic Foraminifera in the Equatorial Atlantic Undercurrent. *Micropaleontology*, vol.13, no.4, p. 489—501.
- LIDZ, B., KEHM, A., and MILLER, H. (1968), Depth habitats of pelagic Foraminifera during the Pleistocene. *Nature*, vol. 217, no. 5125, p. 245—247.
- ORR, W. N. (1967), Secondary calcification in the foraminiferal genus *Globorotalia*. *Sci.*, vol.175, no.3796, p. 1554—1556.
- PANNELLA, G., and MACCLINTOCK, C. (1968), Biological and environmental rhythms reflected in molluscan shell growth. *Paleont. Soc., Mem.* 2, p.64—80.
- REID, J. L., Jr. (1965), Intermediate waters of the Pacific Ocean. The Johns Hopkins Oceanographic Studies, *Johns Hopkins Press*, Baltimore, .
- TAKAYANAGI, Y., NIITSUMA, N., and SAKAI, T. (1968), Wall microstructure of *Globorotalia truncatulinoides* (D'ORBIGNY). *Tohoku Univ., Sci. Rep., 2nd ser. (Geol.)*, vol.40, no.2, p. 141—170.
- UREY, H. C., LOWENSTAM, H. A., EPSTEIN, S., and MCKINNEY, C. R. (1951), Measurements of paleotemperatures and temperatures of the Upper Cretaceous of England, Denmark, and the southeastern United States. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol.62, p. 399—416.