



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	冷凍マイクロトーム法による現生シャコガイ殻の酸素同位体比分析より推定される詳細な水温変化
Author(s)	渡邊, 剛; 大場, 忠道
Citation	地球化学, 32(2), 87-95
Issue Date	1998-05-20
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/56462
Type	journal article
File Information	GCj_32_87-.pdf



地球化学 32, 87-95 (1997)

Chikyukagaku (Geochemistry) 32, 87-95 (1997)

冷凍マイクロトーム法による現生シャコガイ殻の 酸素同位体比分析より推定される詳細な水温変化

渡 邊 剛*・大 場 忠 道*

(1997年9月16日受付, 1998年1月22日受理)

High resolution reconstruction of water temperature estimated from oxygen isotopic ratios of a modern *Tridacna* shell based on freezing microtome sampling technique

Tsuyoshi WATANABE* and Tadamichi OBA*

* Graduate School of Environmental Earth Science, Hokkaido University,
Nishi 5 Kita 10, Kita-ku, Sapporo 060-0810 Japan,

A modern *Tridacna* (*Hippopus hippopus*) was collected on September 5, 1993 from a coral reef at Ishigaki Island in Ryukyu Archipelago, Japan, in order to investigate the environmental changes recorded in the shell. We adopted freezing microtome technique for high resolution analysis of the oxygen isotope of the shell. A portion of the inner layer, where daily growth lines are observed under a microscope, was cut out vertically from the inner surface. A stick measuring $20 \times 1 \times 2$ mm was then placed in water and frozen. Using a microtome, $50 \mu\text{m}$ interval samples were peeled off the stick in a room maintained at -20°C . We determined the date of the formation of each sample by measuring the distance from the inner surface of the shell and by counting the daily growth lines. The water temperatures estimated from the oxygen isotopic values at 1-2 day intervals agreed very well (correlation coefficient: 0.90) with the observed water temperatures which have a seasonal temperature range between about 20°C and 32°C . This implies that the *Tridacna* precipitates its shell in isotopic equilibrium with the surrounding sea water and that the oxygen isotope values are mainly determined by the water temperature.

Key words: oxygen isotope, *Tridacna* shell, high resolution, Ishigaki Island, calculated temperature, freezing microtome sampling

1. はじめに

サンゴや貝化石などの炭酸塩骨格を用いて古環境を復元しようとする試みは、最近ますます高分解能かつ高精度で分析が行われるようになってきた（例えば、Gagan *et al.*, 1994; Alibert and McCulloch, 1997）。しかし、それぞれの研究材料には解析を行う上で長所や短所があり、なかなか季節変化以上に詳しい解析ができない場合が少なくなかった。そうしたなかで、サンゴ礁に広く生息するシャコガイ (*Tridacna* 属) は、

殻の成長速度が速く、時には1 m以上の殻長に達することもあり、またその殻が非常に緻密なので試料採取を細かく行うことができ、古環境解析を高分解能で行おうとする時、絶好な研究材料となっている。特に、シャコガイの殻の内層には日輪に相当する成長線が観測されるので (Aharon and Chappell, 1986; 蛭沼, 中森, 1995), 試料の採取方法さえ工夫すれば日単位での古環境復元も期待できる。

これまでに、シャコガイの殻の酸素同位体比を使って古環境解析が行われた研究例として以下のものがある。Aharon *et al.* (1980) は、パプアニューギニアのHuon半島に発達する隆起サンゴ礁のうち、14万年前から10.5万年前までに形成された各段丘面からそれぞれ

* 北海道大学大学院 地球環境科学研究科
〒060-0810 札幌市北区北10条西5丁目

れ採取した化石 *Tridacna gigas* の殻と現在のサンゴ礁から採取した *Tridacna gigas* の殻の酸素同位体比を測定した。そして、それらの値には当時の海洋全体の海水の酸素同位体比が反映されているとして、現生の *Tridacna gigas* の殻の酸素同位体比との比較から、14万年前から10.5万年前までの氷床量の変化に伴う海水準変動を推定した。その後、Aharon (1983) は、同じくパプアニューギニアの14万年前から現在までの隆起サンゴ礁の各段丘面から化石 *Tridacna gigas* を採取し、それらの酸素同位体比から14万年前から現在までの海水準変動を求めた。また同時に、現生の *Tridacna gigas* の殻の酸素同位体比を測定し、その殻の酸素同位体比はほぼ水温によって決定され、殻は同位体平衡で形成されたと報告した。そのことから、各段丘面から得られる *Tridacna gigas* の殻の酸素同位体比は、海水準変化に伴う海洋全体の海水の酸素同位体比と当時のその場所での水温変化の両方が含まれており、水温の季節変化を求めるには更に高分解能で分析を行う必要があると述べている。その後、Aharon and Chappell (1986) は、パプアニューギニアの現生 *Tridacna gigas* と14万年前以降の隆起サンゴ礁の各段丘面から採取した化石 *Tridacna gigas* の個々の殻について更に精密な試料採取を行った上で、酸素同位体比を測定した。その結果、各個体には0.5~0.8‰に及ぶ酸素同位体比の周期的変化が認められ、その原因は水温の季節変化が反映されたものであると結論した。その上で、各個体の酸素同位体比の平均値を比較して、過去14万年間の海水準変化と酸素同位体比との関係を論じた。また、シャコガイの殻の内層に見られる明暗の密度バンドは、それぞれ夏と冬に形成され、一対の明暗バンドの間に日輪と考えられる成長線が 368.4 ± 18 本観測されることも報告した。ただし、彼らの酸素同位体比の測定間隔は、年間に最大でも10試料であり、今日では高分解能とは言い難いものである。Jones *et al.* (1986) は、南西太平洋のRose 環礁で採取された現生の *Tridacna maxima* の殻の酸素同位体比を測定し、その殻の酸素同位体比の変化は前半において高振幅・低振動数、後半において低振幅・高振動数を示すことを報告した。前半の高振幅・低振動数の酸素同位体比の変化は未だ性的な成熟を迎えていない幼年期で、後半の低振幅・高振動数の酸素同位体比の変化は性的成熟を迎えた成熟期のものであると推定した。そして、一度成熟期に達した個体は、配偶子を形成する夏期に体内のエネルギーを殻の石灰化よりも生殖に使うために、

殻の酸素同位体比の変化は周囲の海水と同位体平衡にはならず低振幅になる。その上、成熟期になると成長速度が遅くなるため、1年の成長量が小さく、殻の長さを横軸にとった場合、成熟期の酸素同位体比の変化は幼年期のものに比べるとより高振動数になると説明した。Romanek *et al.* (1987) は、Jones *et al.* (1986) が用いた *Tridacna maxima* の個体の成長速度を酸素同位体比の周期的変化から求め、幼年期は成長速度が速く(平均12mm/年)、成熟期の成長速度は遅い(平均4.2mm/年)ことを確かめ、成熟期に入ると夏期には生殖のために同位体平衡では殻を形成せず、また、成長速度が遅くなるために殻の酸素同位体比の変化が幼年期に比べ低振幅、高振動数のものになるというJones *et al.* (1986) の考え方が妥当なものであることを確かめた。もっとも、彼らの酸素同位体比の測定間隔は、幼年期でも年間5~8試料と粗く、かつ1つの試料として0.5mgもの炭酸塩を用いているため正確な水温の季節変化が得られていない可能性もある。Romanek and Grossman (1989) は、Rose 環礁で生息深度の異なる *Tridacna maxima* を用いて、それらの殻の酸素同位体比からそれぞれの水温の季節変化を算出した。その結果、浅い所(1m)で採取された個体の酸素同位体比は、深い所(9m)で採取されたものよりも全体に小さい値(すなわち、高い水温)を示し、振幅も大きいことがわかった。その理由として、浅い方が深い水深より水温が高く、季節変化が大きいことに加えてより小さい酸素同位体比をもつ淡水の影響を受けているためと結論した。Pätzold *et al.* (1991) は、パラオ島の現生の *Tridacna gigas* の内層と外層の酸素同位体比を測定したところ、それぞれの酸素同位体比は殻の光の透過率と非常によい正相関を示し、水温が高い時に形成される殻は酸素同位体比が小さく、殻の光の透過率の高い層が形成され、水温が低い時には酸素同位体比が大きく、殻の光の透過率が低い層が形成されると解釈した。なかでも内層の酸素同位体比の方がより鋭敏に殻の光の透過率と対応しており、また、電子顕微鏡下での観察によると内層のみに日輪に相当する成長線が認められることから、高分解能で分析を行う場合には同位体測定には外層よりも内層の方が適していると述べている。彼らの酸素同位体比の測定間隔は、年間に11~17試料と、より高分解にはなっているが、1試料に0.5mgの炭酸塩を用いているため、最高水温や最低水温のピークをとっていない場合もあると考えられる。Aharon (1991)

は、グレートバリアリーフで採取した *Tridacna gigas* の酸素同位体比を測定し、殻の酸素同位体比がその場所の水温や塩分から予想される同位体平衡の値に近いことを確認した。しかし、細かい変動について見てみると、幼年期では、実際の水温変化から予想される振幅よりも大きな酸素同位体比の変動幅をもち、その理由はこの時期の殻の酸素同位体比の変化には、水温変化以外に降水と蒸発による海水の酸素同位体比の変動が記録されているためであると結論した。それに対して、成熟期は酸素同位体比の振幅が小さく、実際の水温の季節変化の変動幅を記録しておらず、その理由は、Romanek *et al.* (1987) と同様に性的成熟を迎えたことにより夏期に殻が同位体平衡で形成されなくなるためであると述べている。しかし、Aharon (1991) の測定間隔も年間 5～8 試料と粗く、最高水温や最低水温のピークをとらえているとは思えない。それらに対し、渡邊、大場 (1995) は、本研究で用いたものと同一個体のシャコガイの殻について、日輪の計測は行わなかったが、約 5 カ月間に 123 試料というこれまでに報告されたことのない高分解能で酸素同位体比の測定を行い、その酸素同位体比の変動が水温の季節変化によってほぼ決定されていることを明らかにした。

以上のように、シャコガイの殻の酸素同位体比についてのこれまでの研究は、その周期的変化が水温によって主に引き起こされているという点では一致しているが (Aharon, 1983; Aharon and Chappell, 1986; Jones *et al.*, 1986; Romanek *et al.*, 1987; Romanek and Grossman, 1989; Pätzold *et al.*, 1991; Aharon, 1991; 渡邊, 大場, 1995), 個体の成熟度 (Jones *et al.*, 1986; Romanek *et al.*, 1987) や、淡水の流入 (Romanek and Grossman, 1989; Aharon, 1991) などによっても影響を受けるという報告がある。しかし、これらの報告では、分析試料の採取間隔が粗く時間分解能が低いため水温変化のピークを確実に捉えることができないために、このような結論になった可能性が高い。シャコガイの内層には、日輪が観測されている (Aharon and Chappell, 1986; 蛭沼, 中森, 1995) ことから、日輪に対応する試料を採取した上で同位体比の分析を行えば、上述の問題を解決できるはずである。

そこで本研究では、琉球列島石垣島川平サンゴ礁で採取された現生のシャコガイの殻について、試料を短冊状に切り出し、マイクロトームを用いて削り出すという氷結マイクロトーム法 (Wada, 1988) を採用し

た。すなわち、 -20°C の低温室内で氷結試料を $50\mu\text{m}$ 間隔という高分解能で削り、それらの酸素同位体比の測定を行った。一方、同位体比の測定を行った内層断面を高倍率の顕微鏡下で観測して日輪を数えて、同位体比測定用の各試料が形成された日時を特定した。その上で、酸素同位体比を測定して得られた結果から水温を算出し、実際の水温と一致するかどうかを調べたものである。

2. 研究材料と分析方法

2.1 研究材料

本研究に用いたシャコガイ (*Hippopus hippopus*) は、琉球列島石垣島川平のサンゴ礁 (Fig. 1 A) において、海岸から約 500m 離れた内側礁原 (Fig. 1 B) の水深約 1.5m に生息していた個体を 1993 年 9 月 5 日に採取されたものである。その個体の殻高は 17cm, 殻長は 31cm で (Fig. 2 A), 蛭沼, 中森 (1995) によって成長線解析が行われたものと同一のものである。また、1995 年 7 月 26 日と 31 日にシャコガイ採取地点とほぼ同地点で海水 50ml を採取し、海水の酸素同位体比を測定した。なお、比較のために用いた気象データは、水温・塩分については川平から約 10km 離れた浦底湾 (Fig. 1 A) のものであり、水温は水深 1m, 塩分は水深 12m の値である (日本栽培漁業センター未公表データ, 1997)。全天日射量・降水量については川平から約 13km 離れた石垣港 (Fig. 1 A) のものを用いた (気象庁, SDP・気象官署の地上気象観測データ, 1993)。

2.2 冷凍マイクロトーム法による試料採取方法

本研究で用いたシャコガイの殻の内層には、渡邊, 大場 (1995) の酸素同位体比カーブから 1 年と推定された約 1.2cm の間に、ほぼ 360 本の成長線 (日輪) が観測されている (蛭沼, 中森, 1995)。そこで、この日輪に対応する試料を採取するために、次のような試料採取法を採用した。まず、シャコガイの片方の殻の中央部を殻頂から腹縁にかけて垂直に切断し (Fig. 2 B), その切断面から厚さ 2mm の薄片を制作した (Fig. 2 C)。その薄片について殻の内側表面から長さ 12.4mm, 幅 1.0mm, 奥行き 2.0mm の短冊状の試料を歯科用の切断機を用いて切り出した (Fig. 2 C の実線部分)。その短冊状の試料を冷凍室で氷詰めにした後 (Fig. 3 A), -20°C の低温室内でマイクロトームを用いて 12.4mm の長さを $50\mu\text{m}$ 間隔に削りだした (Fig. 2 C の実線部分, Fig. 3 B)。この氷詰め試料

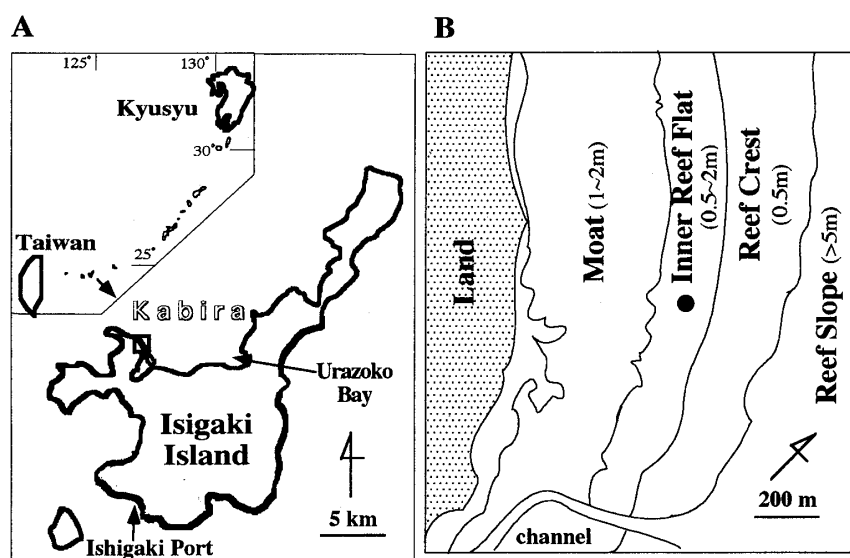


Fig. 1 Sample location of studied area.

A : Location of Kabira coral reef at Ishigaki Island.

B : Sampling point (solid circle) of a living *Tridacna* shell in the Kabira coral reef.

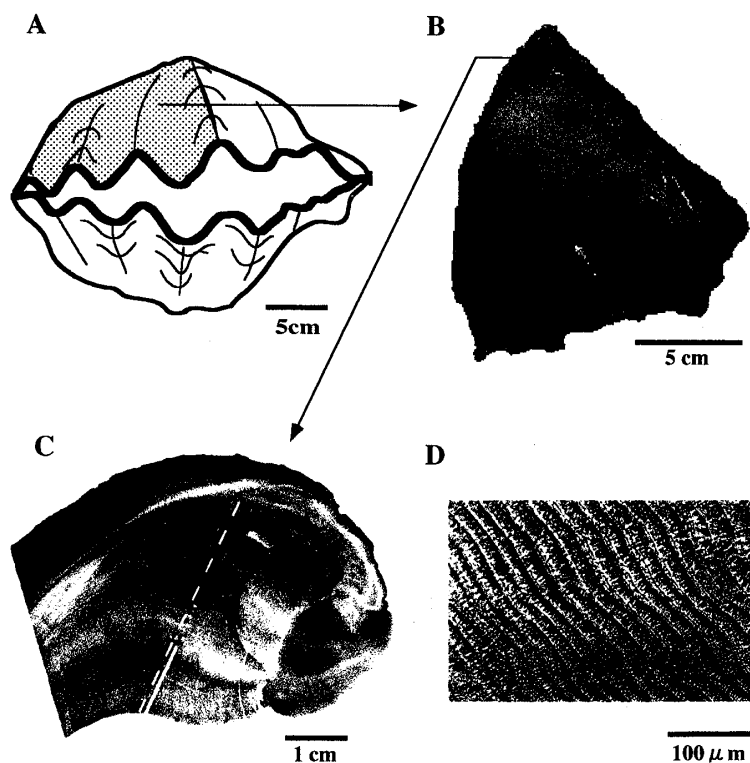


Fig. 2 A : Schematic illustration of *Hippopus hippopus*.

B : A cut half of the left valve (Dotted area in Fig. 2A).

C : Transmitted light photograph of the cutting section. Two sampling lines from the inner surface of the shell are shown on the section ; solid line : 50μm intervals, dash line : 1mm intervals (Watanabe and Oba, 1995).

D : Growth line of this *Hippopus hippopus*.

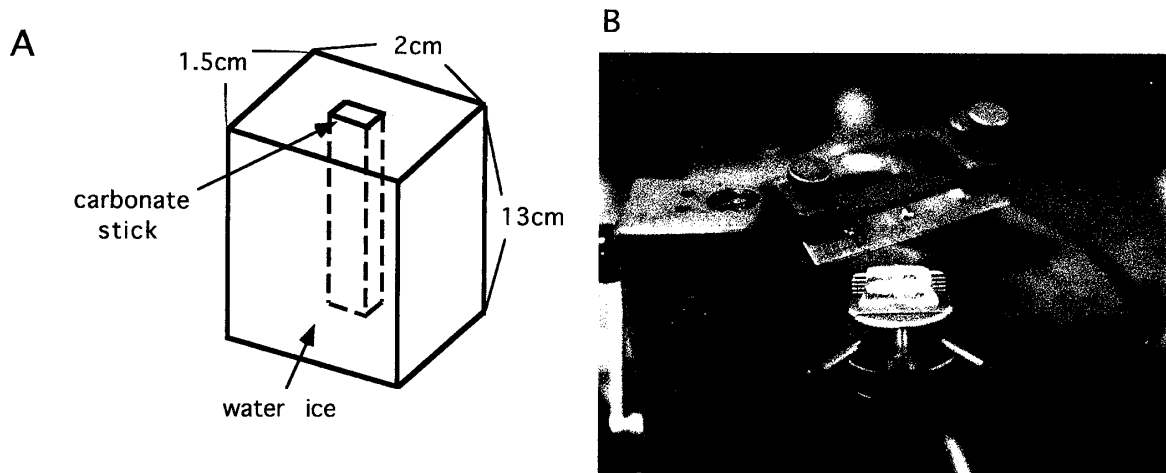


Fig. 3 Freezing microtome sampling. A carbonate stick sample was freezed in water ice and shaved off at 50 μ m intervals with the microtome in a freezing room kept at -20 $^{\circ}$ C.

A : Image of frozen sample in water ice

B : Sampling with microtome

をマイクロトームを用いるという試料採取した方法では、氷と一緒に削られ巻き上げられるときに試料を内包するので飛散せずにすみ、また、一定間隔に削り出すことができるので採取した全ての試料について殻の内側表面からの距離を求めることができる。一方、シャコガイの殻の切断面の薄片を100倍の光学顕微鏡下で観測した (Fig. 2 D)。日輪の幅は8.3~77.5 μ mであり、同位体測線に沿って日輪を数えるのと同時に殻の内側表面からの距離を計測することによって、マイクロトームで削った分析用試料の全てについて、それらが形成された日時を特定することができた。このように分析試料のひとつ一つに正確な形成日時を特定した上で同位体比の分析を行えば、気象データとの厳密な比較を行うことができる。

2.3 分析方法

マイクロトームで削り取った氷詰めの試料 (約50 μ g) を小さな容器に入れ、低温室から取り出した直後に真空乾燥機に入れて水分を除き低温で乾燥させた。それらの試料をステンレス製の小さな容器に移し、真空中で100%リン酸と60.0 $^{\circ}$ Cで反応させた。発生した二酸化炭素を液体窒素 (-196 $^{\circ}$ C) 並びにエチルアルコールと液体窒素の混合液 (約-100 $^{\circ}$ C) を用いて真空中で精製した後、和田ほか (1982) と同様に試料導入部を超微量測定用に改良した同位体比質量分析計 (Finnigan MAT251) を用いて酸素同位体比を測定した。また、海水の酸素同位体比の測定の際の試

料調整法は、Yoshida and Mizutani (1986) の方法 (海水2.0mlと二酸化炭素 (ガスクロ工業社製99.9%のプッシュ缶入) 4 mlをポリプロピレン製シリンジに入れ、25.0 $\pm$ 0.1 $^{\circ}$ Cの高温振とう器に一晩保ってから、同位体平衡に達した二酸化炭素を抽出、精製する) を採用した。シャコガイの殻の酸素同位体比の測定値は、25.0 $^{\circ}$ Cで反応させた値に直すための分配係数の補正を加えた後、標準試料のPDBの酸素同位体比からの偏差を以下のように千分率で表現した。測定精度 ($\pm 1 \sigma$) は約 $\pm 0.03\%$ である。

$$\delta^{18}\text{O} = \left(\frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{sample}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{PDB}}} - 1 \right) \times 1000$$

3. 結 果

3.1 酸素同位体比

Fig. 4 の最上部に、シャコガイの内層表面から12.4 mmの間を50 μ m 間隔に測定した酸素同位体比の結果を示す。横軸は、前節で述べたようにシャコガイ採取日の1993年9月5日からさかのぼって、1992年10月4日までの日時に直してある。酸素同位体比は、細かい変動をしながらもほぼ1年に近い周期的変化を示し、そのなかで異常値を除くと、冬期に最大値0.0%と夏期に最小値-2.3%をとり、約2.3%の振幅が認められる。この酸素同位体比に対して、表面水温、全天日射量、成長線間隔、塩分などの気象データや計測値との相関係数 (R) を求めると、それぞれ0.88, 0.74, 0.63,

0.66となり (Fig. 4), 水温との相関係数が最も高い ($R=0.88$)。1995年7月26日と31日のシャコガイ採取地点の海水の酸素同位体比はそれぞれ, $+0.33$, $+0.38$ であった。なお, 降水量が特に多い1992年10月29日と1993年5月22日に, シャコガイの殻の酸素同位体比には何の変化も表れていない。

4. 考 察

4.1 酸素同位体比の変動要因

シャコガイの殻に限らず, 一般に炭酸カルシウムが同位体平衡で沈積すれば, その炭酸カルシウムの酸素同位体比は, 水温と水の酸素同位体比によって決定される (Epstein *et al.*, 1953)。本研究で分析したシャコガイの殻の酸素同位体比は, 表面水温との相関が高く ($R=0.88$), 水温変化の影響を強く受けていたことがわかる。一方, 海水の酸素同位体比は, 1995年7月26日と31日の実測値 (それぞれ, $+0.33$, $+0.38\text{‰}$ vs SMOW) はあるが, シャコガイの殻が成長した1992年10月から1993年9月までの間については実測値がない。しかし, 表層海水の酸素同位体比は塩分とよい相関があり, 東シナ海から黒潮域にかけてのその関係は, Oba (1988) によって $\delta^{18}\text{O} (\text{‰}) = 0.203S - 6.76$ (ここで, S は塩分) と報告されている。そこで, Fig. 4 に示される浦底湾の塩分の値をこの式に代入して, 当時の海水の酸素同位体比を求めると, 最高塩分の34.8‰の時の海水の酸素同位体比は $+0.30\text{‰}$, 最低塩分の31.6‰の時は -0.34‰ になる。極端な塩分の一時的な低下を除いて考えると, 塩分の季節変化は大体34.2‰から34.7‰であり (Fig. 4), それぞれに対応する海水の酸素同位体比は $+0.18\text{‰}$ から $+0.28\text{‰}$ というように, わずか0.1‰の相違しかない (実測値の酸素同位体比が幾分高いのは, 川平サンゴ礁の内側礁原と塩分が測定された浦底湾との場所の相違かもしれない)。従って, シャコガイの殻に見られた2.3‰の酸素同位体比の振幅のうち, 海水の酸素同位体比の影響は約5%で, 残りの95%は水温変化に起因したことによる。そこで, この期間の塩分の観測データから算出される海水の酸素同位体比 (δ_w) と殻の酸素同位体比の実測値 (δ_c) から水温を算出してみよう。海水の酸素同位体比の算出値は, SMOW (Standard Mean Ocean Water) 基準なので PDB 基準に直した後 (Craig, 1965), 次式のアラレ石の温度スケール (Aharon, 1983) の δ_w に代入し, δ_c には殻の酸素同位体比を代入して水温を求めると, 最高水温は

32.3℃, 最低水温は19.8℃となり, 石垣島浦底湾における現場水温の季節変化 (最高水温32.3℃, 最低水温20.0℃: 日本栽培漁業センター未公表データ) とよく一致する (Fig. 5)。

$$T = 21.30 - 4.42 (\delta_c - \delta_w)$$

この算出水温と浦底湾の実測水温の相関係数を求めると $R=0.90$ となり, 塩分の季節変化に伴う海水の酸素同位体比の補正を加えたことによって, 相関係数は0.88から0.90とさらに良くなった。それでも算出水温と実測水温の間に差が見られる時期がある。特に1992年の10月から1993年の1月中旬までと1993年の4月後半と8月中旬では実測水温の方が1~2℃高く, 1993年の3月後半と8月中旬では実測水温の方が2~3℃低い。このような水温差が生じた最大の原因は, シャコガイ採取地の川平サンゴ礁と水温が測定された浦底湾との地理的, 地形的な相違が考えられる。川平サンゴ礁は礁内の水深が最大でも2m程度で干潮時には礁嶺が水面にまで顔を出し, 礁内はほぼ閉鎖系になるために, 気温の影響を受けやすいのに対し, 浦底湾は水深が25m以上あり湾内が閉鎖系になることはない。例えば, 川平サンゴ礁の算出水温が浦底湾の実測水温より冬期に1~2℃低いのは, 川平サンゴ礁の水温が大気によって冷やされるが, 浦底湾では海水の鉛直混合によってあまり冷やされないためと考える。1993年の4月後半が実測水温の方が1~2℃高く, 1993年の3月後半と8月中旬では実測水温の方が2~3℃低い理由はここでは明らかではないが, おそらく場所の相違が考えられる。なぜなら, 川平サンゴ礁から13km離れた石垣港においてもこれらの時期に浦底湾で観測されたような水温のピークが見られないからである。

これまでもシャコガイの殻の酸素同位体比の周期的変化は, 多くの場合同位体平衡下で主に水温変化を反映していると言われてきた (Aharon, 1983; Aharon and Chappell, 1986; Jones *et al.*, 1986; Romanek *et al.*, 1987; Romanek and Grossman, 1989; Pätzold *et al.*, 1991; Aharon, 1991; 渡邊, 大場, 1995)。しかし, Jones *et al.* (1986), Romanek *et al.* (1987), Aharon (1991) らによると, 年周期よりも細かい酸素同位体比の変動要因として, 水温の他に成熟期における夏期の同位体非平衡があるという。彼らは, シャコガイが性的に成熟を迎える夏に配偶子を形成し, それに多くのエネルギーを必要とするために夏の間は同位体平衡にならないと結論した。本研究で用いたシャコガイの殻は, 夏には成長速度がむしろ大きいことが

蛭沼, 中森 (1995) によって調べられており, この個体が未だ成熟を迎えていない幼年期のものであることが考えられる (Fig. 4)。また, McConnaughey (1989) は造礁性サンゴ *Pavona clavus* の骨格を用いて骨格の成長速度が速いほど平衡からのずれが大きくなり, その酸素同位体比は小さくなることを示し, サンゴ骨格の石灰化には Kinetic effects が存在すると述べている

が, 本研究において, 各成長線と対応させた日単位でのシャコガイの殻の成長速度と酸素同位体比を比較しても特定の対応関係は見られず (Fig. 4), シャコガイにおいては成長速度の相違が酸素同位体比に影響を与えないことが明らかになった。さらに, シャコガイ殻の酸素同位体比を変える要因として, 降水による一時的な海水の酸素同位体比の低下も考えられる

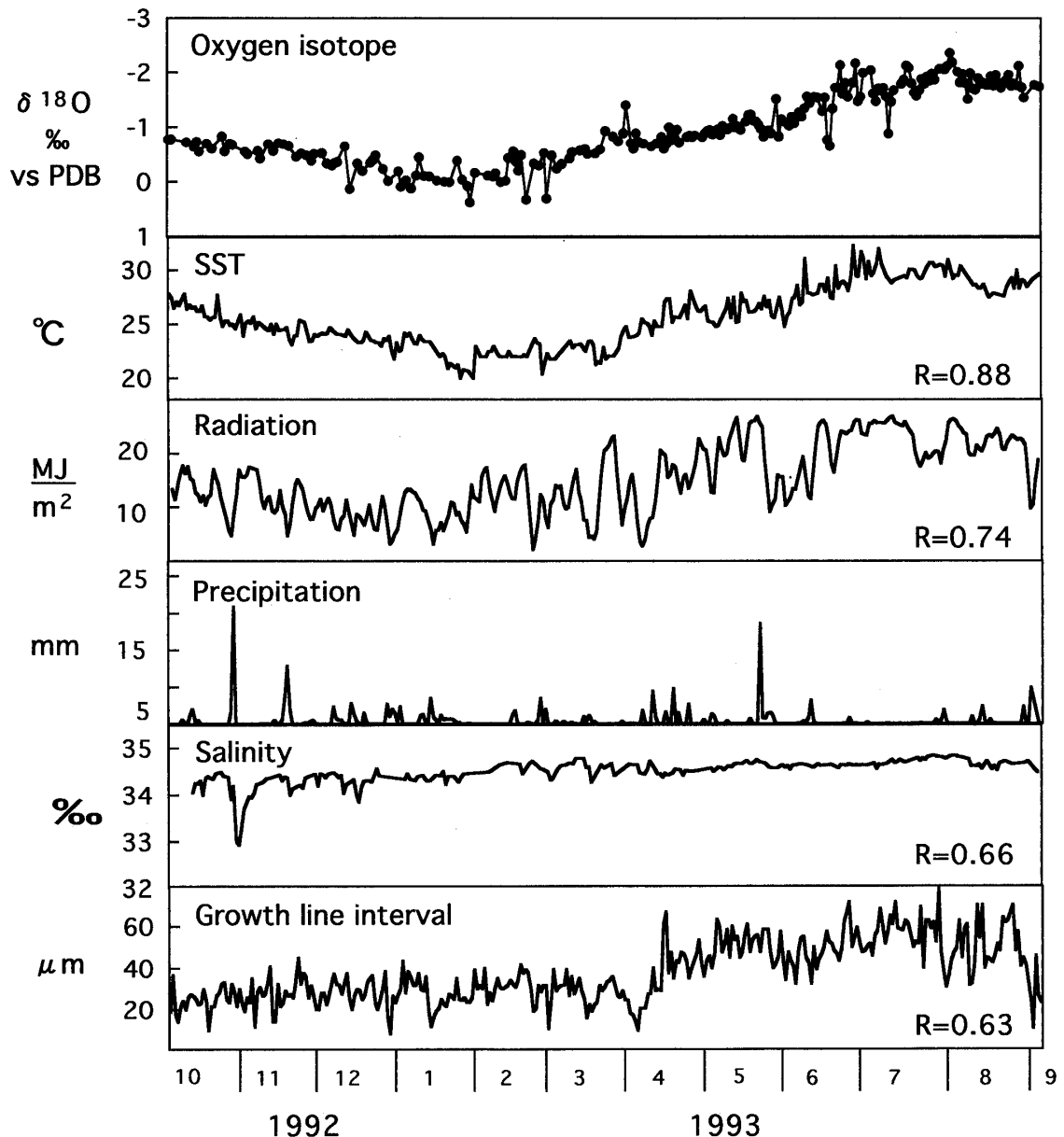


Fig. 4 Annual variations of oxygen isotope and growth line interval of the *Hippopus hippopus*. The date of the meteorological data in Ishigaki Island are shown. R= correlation coefficient of oxygen isotopes in *Hippopus hippopus* versus meteorological data and the growth line interval. The date of the growth line interval of this *Hippopus hippopus* is cited from Hirunuma and Nakamori (1995).

(Romanek and Grossman, 1989; Aharon, 1991)。本研究では、1992年10月29日と1993年5月22日に大雨が降っている (Fig. 4)。そのうち、1993年5月22日において浦底湾の水深12mの塩分が低下していないのは、海水が成層状態であったためと考えられるが、1992年10月29日の大雨の時には浦底湾の塩分も最大で1.5‰低下している。塩分の低下の伴う海水の酸素同位体比の低下 (塩分が1‰小さくなると海水の酸素同位体比が約0.2‰小さくなる) は小さく、10月29, 30日以外は0.1‰以上の影響を与えない。10月29, 30日にシャコガイの殻の酸素同位体比に顕著な変化が見られない理由は、現時点ではよくわからないが、この点を解決するには今後同一地点での海水の酸素同位体比の連続測定が必要である。これまでの多くの研究は、シャコガイの1年間の成長に対して数個～20個弱の分析試料を採取し、しかも1試料0.5mg程度の炭酸塩を用いる場合が多かった (Aharon, 1983; Aharon and Chappell, 1986; Jones *et al.*, 1986; Romanek *et al.*, 1987; Romanek and Grossman, 1989; Pätzold *et al.*, 1991; Aharon, 1991)。それに対して、本研究では、1年間に226個の分析試料 (1試料が平均1.6日) を採取し、かつ1試料に約50μgの炭酸塩を用いて従来よりも一桁高い分解能で解析を行うことができた。さらに、シャコガイの殻の日輪を数えることによって、同位体比分析用の試料ひとつひとつに形成された日時を与えることができたことから、同位体比の結果を気象データと厳密に比較することが初めて可能になった。その結果、シャコガイの殻は同位体比平衡下で形成され、その酸素同位体比はほぼ水温によって決定されることが明らかになった。

5. 結 論

琉球列島石垣島の川平サンゴ礁で1993年9月5日に採取された現生シャコガイの殻について、氷詰め試料をマイクロトームで削り取るという試料採取方法を採用したことによって、高分解能で酸素同位体比の測定を行うことができ、以下の結論が得られた。

1. シャコガイの殻の内層表面から短冊状に切り出した試料を、氷詰めにしてマイクロトームを用いて一定間隔 (50μm) に削り出すと同時に、日輪を計測することによって分析用試料のひとつひとつの形成時期を日単位で特定することができた。
2. これらの試料の酸素同位体比に、塩分補正を加えて算出した水温を実測水温と比較したところ、両

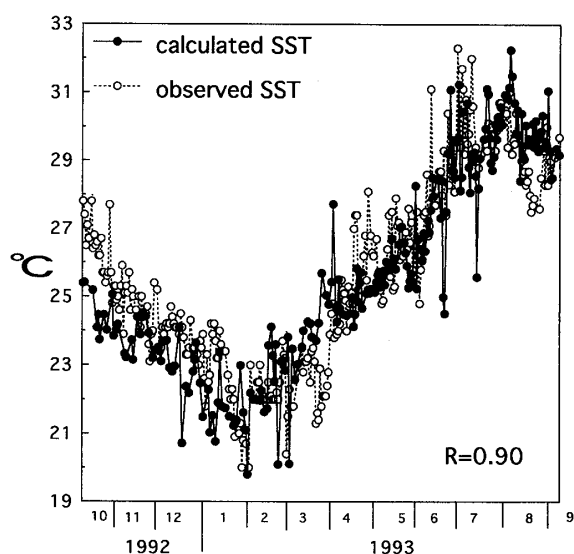


Fig. 5 Comparison between the sea surface temperature (SST) calculated from the oxygen isotopes of *Hippopus hippopus* and the observed SST at Urazoko Bay, Ishigaki Island during 1992-1993.

者の水温の変動幅は等しく、相関係数が0.90という極めて高い一致が見られた。

3. シャコガイ殻の酸素同位体比は、その変動幅のおよそ95%までが水温によって決定され、その生息深度が1.5mであるにもかかわらず、降水による淡水の影響をほとんど受けていないことが明らかになった。
4. 試料間隔が1～2日というこれまでに報告されたことのない程の高分解能で解析した結果、シャコガイの殻がほぼ同位体平衡で形成されたことが確認された。

謝 辞

東北大学理学部中森 亨助教授には貴重な試料を頂きかつ有益なご助言を頂いた。北海道大学低温科学研究所の成田英器助教授には氷詰め試料の作成方法についてご助言を頂いた。北海道大学理学部の平間正男技官には薄片作成や写真撮影の際にご協力を頂いた。日本栽培漁業協会の岡 雅一氏、竹内宏行氏には貴重な未公表データを使わせて頂いた。以上の方に厚く御礼を申し上げる。

(1995年4月, 日本地質学会第102年学術大会, 1996年4月, 日本地質学会第103年学術大会, 1996年8月, 日本地球化学会年会で一部講演)

文 献

- Aharon, P., Chappell, J. and Compston, W. (1980) Stable isotope and sea-level data from New Guinea supports Antarctic ice-surge theory of ice ages. *Nature* **283**, 649-651.
- Aharon, P. (1983) 140,000-yr isotope climatic record from raised coral reefs in New Guinea. *Nature* **304**, 720-723.
- Aharon, P. (1991) Recorders of reef environmental histories: isotopes in corals, giant clams, and calcareous algae. *Coral Reefs* **10**, 71-90.
- Aharon, P. and Chappell, J. (1986) Oxygen isotopes, sea level changes and temperature history of a coral reef environment in New Guinea over the last 105 Years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **56**, 337-379.
- Alibert, C. and McCulloch, T. (1997) Strontium/calcium ratios in modern *Porites* corals from the Great Barrier Reef as a proxy for sea surface temperature: Calibration of the thermometer and monitoring of ENSO. *Paleoceanography* **12**, 345-363.
- Craig, H. (1965) The measurement of oxygen isotope paleotemperatures. In: *Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures* (ed. E. Tongiorgi), Con. Naz. Ric. Lab. Geol. Nucl., Pisa, 161-182.
- Epstein, S., Buchsbaum, Lowenstam, H. A. and Urey, H. C. (1953) Revised carbonate-water isotopic temperature scale. *Bull. Geo. Soc. Am.* **64**, 1315-1356.
- Gagan, M. K., Chivas, A. R. and Isdale, P. J. (1994) High resolution isotopic records from corals using ocean temperature and mass-spawning chronometer. *Earth Planet Sci. Lett.* **121**, 549-558.
- 気象庁「SDP・気象官署の地上気象観測データ（石垣島）」（1993）
- 蛭沼紀江，中森亨（1995）シャコガイに記録された環境変動の解析. 月刊地球, **17**, **11**, 718-723.
- Jones, D. S., Williams, D. F. and Romanek, C. S. (1986) Life history of symbiontbearing giant clams from stable isotope profiles. *Science* **231**, 46-48.
- Oba, T. (1988) Paleooceanographic information obtained by isotopic measurement of individual foraminiferal specimens. In: *Asian Marine Geology* (ed. P. Wang, Q. Lao and Q. He), China Ocean Press, 169-180.
- Pätzold, J., Heinrichs, J. P., Wolschendorf, K. and Wefer, G. (1991) Correlation of stable oxygen isotope temperature record with light attenuation profiles in reef-dwelling *Tridacna* shells. *Coral Reefs* **10**, 65-69.
- Romanek, C. S. and Grossman, E. L. (1989) Stable isotope profiles of *Tridacna maxima* as environmental indicators. *Palaios* **4**, 402-413.
- Romanek, C. S., Jones, D. S., Williams, D. F., Krantz, D. E. and Radtke, R. (1987) Stable isotopic investigation of physiological and environmental changes recorded in shell carbonate from the giant clam *Tridacna maxima*. *Marine Biology* **94**, 385-393.
- McConnaughey, T. (1989) ^{13}C and ^{18}O isotopic disequilibrium in biological carbonates: 1. Patterns. *Geochim. Cosmochim. Acta* **53**, 151-162.
- Yoshida, N. and Mizutani, Y. (1986) Preparation of carbon dioxide for oxygen-18 determination of water by use of a plastic syringe. *Anal. Chem.* **58**, 1273-1275.
- Wada, H. (1988) Microscale isotopic zoning in calcite and graphite crystals in marble. *Nature* **331**, 61-63.
- 和田秀樹，新妻信明，斎藤常正（1982）超微量試料による炭素・酸素同位体比の測定について. 静岡大学地球科学研究報告, **7**, 35-50.
- 渡邊剛，大場忠道（1995）石垣島産現生シャコガイ殻の酸素・炭素同位体比. 月刊地球, **17**, **11**, 728-730.