

# 真珠とアコヤガイの同位体および石灰化過程

川幡 穂高<sup>1), 2), 3)</sup>・中島 礼<sup>2)</sup>・鈴木 淳<sup>2)</sup>・古田 望美<sup>4)</sup>

## 1. はじめに

生物が鉱物を作る現象はバイオミネラリゼーション(生物鉱化作用)と呼ばれている。炭酸塩に不飽和で、無機質な炭酸塩の沈殿が起こり得ない深海底でも底生有孔虫が方解石殻を作れるように、幾つかの生物群は細胞液を炭酸塩に飽和させることで、非常に効率的に炭酸塩を沈着する能力を進化の過程で身につけたと考えられる。

生物起源炭酸塩を構成する代表的な鉱物は有孔虫や円石藻が作る方解石とサンゴを構成するアラレ石である。これらの炭酸塩殻が、生産された周囲の環境を定量的に記録しているとの考えに基づいて、古環境などが推定されているが、二つの異なった鉱物がなぜ沈積するのか、その際同位体平衡が成立するのか、周囲の海水の元素濃度を反映するのか、といった問題について未だ定量的な答えは与えられていない。

生物起源炭酸塩は通常上記の2種の鉱物より構成されるが、その形態には変化がみられる。真珠は真珠光沢で特徴づけられ、「生物が作る宝石」と言われているが、それは上記の炭酸塩とは構造がかなり異なっている(和田, 1992; 1994; 1999)。有名なアコヤガイ(*Pinctada martensii*) (二枚貝)は、二枚貝綱、翼形亜綱ウグイスガイ科に属しており、その殻は内層、中層、外層の三層構造になっていて、内層、中層は真珠層で、鉱物としてはアラレ石から成っているが、①有機物の薄層(0.02m)とアラレ石(約0.4m)が数千層と互層した真珠層を作っている。そして、②光の回折と③有機物の色により独特の光沢を有している。

なお、真珠を作る唯一の巻き貝として腹足綱、原

始腹足目ミミガイ科に属するアワビ類がある。このアワビの殻の場合は、内層、中層、外層と3層より構成され、内・中層はアラレ石を主体とした真珠層を、外層は方解石とアラレ石との混合層を作るといったように、生物の炭酸塩生成機構は普通に思われているよりずっと変化に富んでいて、まだ知られていない重要な生成プロセスが関連していることは確かである。また、石灰化の促進メカニズムとして、光合成の影響や、石灰化母液中のアスパラギン酸などの有機物の役割が指摘されていることから個体レベルで有機態および無機態の炭素収支を明らかにすることも、石灰化プロセスの解明に不可欠である。

## 2. アコヤガイおよび真珠

### 2.1 アコヤガイ

アコヤガイは二枚貝で以下に述べる養殖真珠の母貝となるもので、外層は方解石で、それ以外は真珠層より成っているが、石灰化には貝の軟体部全体を包んでいる外套膜がいとうまくが必要である。この外套膜から貝殻成分である炭酸カルシウムを分泌し、外層や内層の殻部分には方解石、内層真珠層にはアラレ石が作られるのである。

炭酸塩は $\text{CaCO}_3$ であるが、その中のカルシウムの起源は水中の溶存 $\text{Ca}^{2+}$ で、これは貝の体表、えら、外套膜表面、消化管などから貝の体内に吸収され、血流にのって最終的に外套膜や真珠袋に供給され、貝殻や真珠が形成される。一方、 $\text{CO}_3^{2-}$ イオンについては、餌料由来の有機炭素Cであるとの指摘もある(和田, 1999)が、他の二枚貝の研究を対比すると疑わしい。

次に、結晶については、方解石の部分は稜柱構造

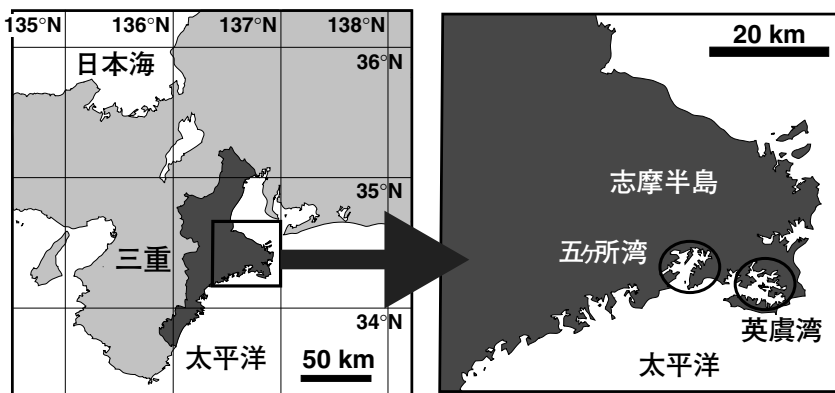
1) 東京大学 大学院 新領域創成科学研究科, 海洋研究所

2) 産総研 地質情報研究部門

3) 東北大学 大学院 理学研究科

4) 慶応大学 理工学部

キーワード: 真珠, アコヤガイ, 方解石, アラレ石, 同位体, 英虞湾



第1図 三重県周辺の地図と本研究で用いたアコヤガイ (*Pinctada martensii*) の飼育および採取地点。

と呼ばれる構造を示す。これは、多角形の稜柱がその長軸を貝殻内面に垂直に向けて集合した形で、表面の方から見ると蜂の巣のような多角形の網目構造となる。一方、真珠層の方では、アラゴナイトの板状結晶が平行に積み重なっており、たんぱく質の薄層が挟在する。

### 2.2 真珠

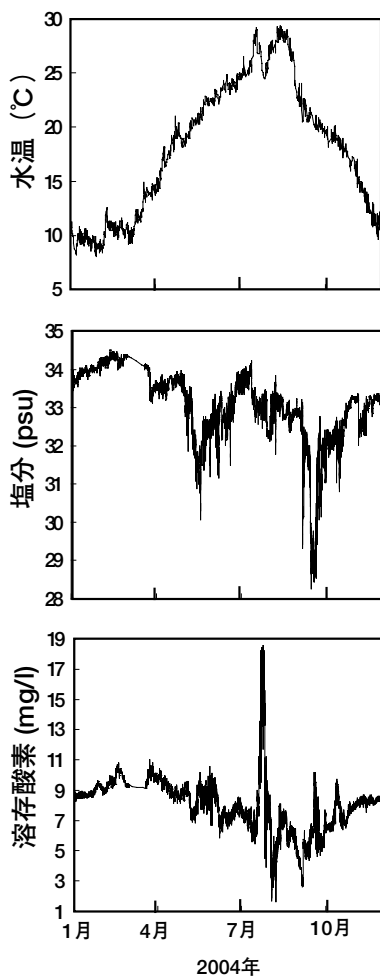
真珠には、天然真珠、養殖真珠、人工真珠がある。天然真珠は砂粒などの異物が真珠貝に入った場合にできるものである。これに対し養殖真珠の場合には、外套膜小片を貝の体内(生殖巣など)に移植して真珠袋を人為的につくらせ、その内腔に分泌された真珠層を珠として形成させたものである。通常アコヤガイの場合には、淡水棲二枚貝の方解石殻を球として成型し、それを挿入することで有核真珠となる。その化学、鉱物組成は天然真珠と全く同じである。

これらと全く異なるのが人工真珠である。これは、方解石の球体などに一種の人工着色料を塗布したもので、通常の安価なブローチなどについているのは人工真珠で、真珠層は存在しないので、注意が必要である。

今回、三重県英虞湾<sup>あごわん</sup>で生育したアコヤガイの天然真珠および別のセットのアコヤガイについて方解石殻と真珠層の形成について研究したので紹介する。

### 3. 三重県英虞湾の環境

英虞湾賢島付近(第1図)の水深3mにおける水温、塩分、溶存酸素を示す(第2図)。年間の最大水温差は約20℃もある。冬に比べて夏は雨が多く、それによ



第2図 三重県英虞湾賢島周辺の海面下3mにおける水温、塩分、溶存酸素濃度。但し、水温については2003年のものが観測されているが、塩分と溶存酸素は2004年以降しか1年単位でデータがそろわないため、2004年のものを示す。

り塩分が低くなる。塩分の値の高低には通常河川水などの影響も考えられるが、真珠の養殖にはなるべく一定した環境での飼育が必要となるので、河川水などの影響を受けにくい場所で養殖を行う。したがって、この場合の塩分の値には河川水の影響はほとんどないものと考えられる。塩分同様溶存酸素も冬に比べて夏のほうが値が下がっている。これは、夏場は表層が温められ、密度が低下するため、成層化するためである。これが進行しすぎると、下層が無酸素水となり、アコヤガイの大量死を引き起こすことがある。

#### 4. 三重県英虞湾産の天然真珠

今回三重県英虞湾からアコヤガイの殻の中に異物が入ったりして、アコヤガイが自然の状態で作った天然真珠(人工の核のない真珠)を入手した。そして、炭酸塩中の安定同位体比を分析した。その研究目的は、酸素同位体比については、真珠のアラレ石は水温を記録しているのか、その場合、産状と整合的であるのか? 次に、炭素同位体比については、これまでの研究では、餌由来の炭素が真珠の炭素の主要な起源と考えられてきたが、本当にそのようになっているのか? であった。

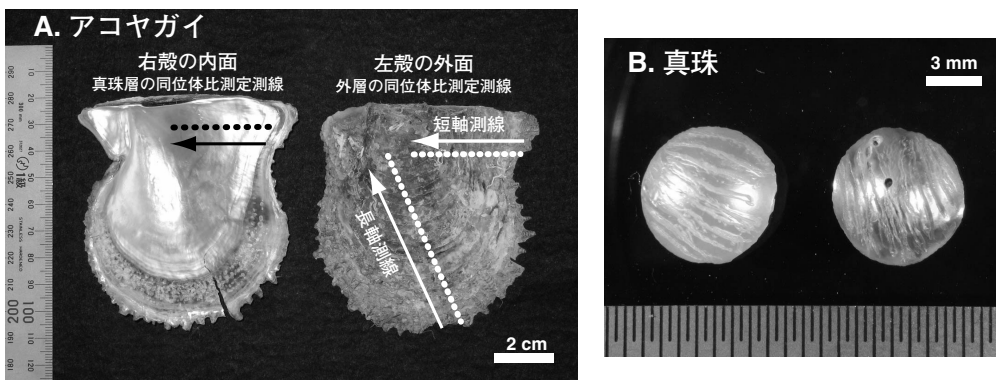
この地域の降雨の酸素同位体比から海水の酸素同位体比0.25‰~-0.25‰と仮定すると、本研究で用いた真珠は、真珠表層が水温23℃の条件下で形成したと推定された。これは、水温の実地観測と照らし合わせると6月頃と考えられた。サンゴ骨格の近年の研

究からは、成長速度年あたり2mm以上、すなわち年あたり平方cmあたり約0.3g以上の場合には同位体に非平衡の状態で沈積したことがわかっている。しかしながら、今回の真珠は年あたり平方cmあたり0.2-1gと高い石灰化を示したものの、真珠の酸素同位体比は同位体平衡あるいは近い状態を意味しており、サンゴ骨格で顕著な速度論的效果はほとんど認められなかった(Kawahata *et al.*, 2006)。

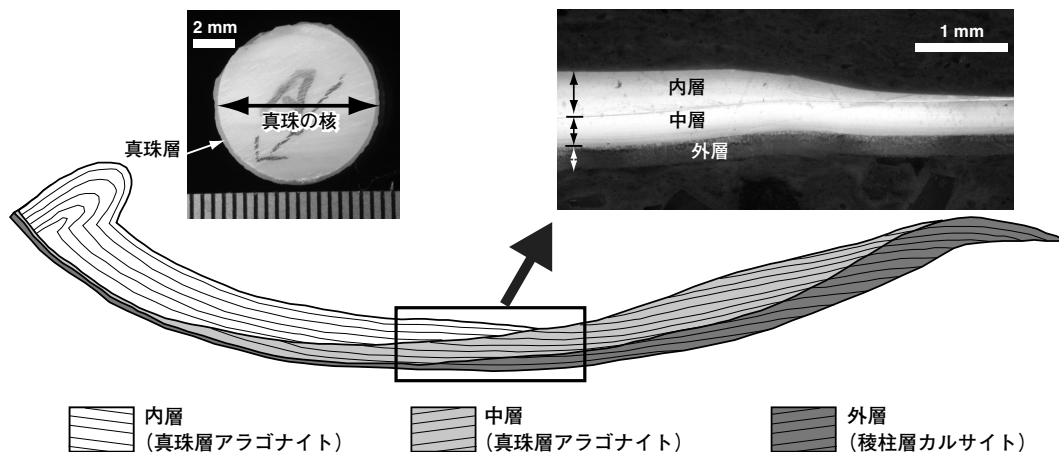
次に、炭素同位体比は、外洋水から計算した値より小さかった。その原因としては、湾内の海水が有機物の溶解に影響されているか、餌由来の同位体が寄与しているためと解釈された。もし、後者の場合には有機物由来の炭素が14%寄与していることがわかった(Kawahata *et al.*, 2006)。

#### 5. 三重県英虞湾産の養殖真珠とアコヤガイ

次に、上記天然真珠を採取したのとは別セットの養殖真珠とアコヤガイについて述べることにする(第3図)。分析に供したアコヤガイは2002年の春に生まれた。しかしながら、どの土地で養殖されていたのかは定かではない。その理由は生まれてから稚貝になるまでを育てる業者と稚貝以降を育てる業者は全く別々の業者で、稚貝以降を育てる業者は稚貝をさまざまな稚貝養成業者から仕入れるため、どの貝がどこから来たものであるか一つ一つまで把握できていないからである。今回の試料は、2002年10月19日に三重県海山町から三重県賢島に運ばれてきた。その



第3図 A. アコヤガイ (*Pinctada martensii*) の内層と外層の写真。内層からの試料分取は線に沿って行われた。また、外層については、2つの線に沿って、すなわち、短軸と長軸に沿って行われた。B. 真珠の試料。



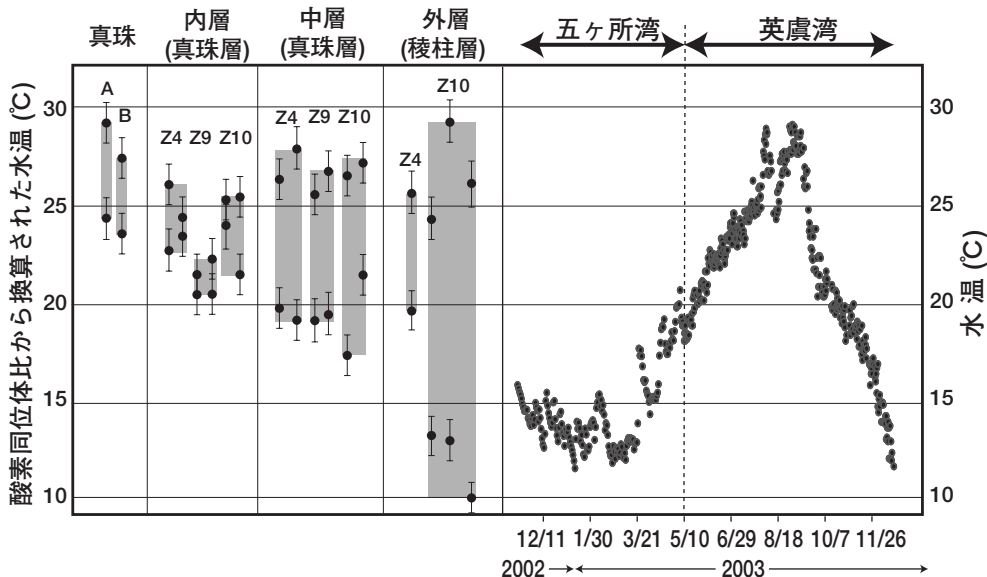
第4図 アコヤガイと真珠の内部構造と酸素同位体比のデータに基づくアコヤガイの成長に関する模式図。

後、11月16日に避寒のため三重県五ヶ所湾へ移送され、5月9日に再び五ヶ所湾から英虞湾賢島へ運搬された。6月下旬に中心核を入れる挿核手術が行われ、12月21日に浜揚げされて、養殖真珠が採取された。今回は、外層の方解石と内・中層のアラレ石の成長方向に沿った安定同位体比の測定を行った(第4図)。

アコヤガイの外層方解石の安定同位体比の結果

は、明瞭な季節変化を示していた。冬期の最低水温期を除いて、ほぼ一年中外層の殻は成長を続けていることが示された。しかも、二枚貝の同一個体の左殻と右殻を比較すると、酸素同位体比は左右で同様な挙動を示した。

次にアコヤガイ内・中層の真珠層アラレ石にも酸素同位体比に変動が見られた。酸素同位体比は水温が高くなると低くなる。真珠層では、酸素同位体比の最



第5図 アコヤガイと真珠の酸素同位体比と三重県五ヶ所湾と英虞湾賢島の水溫。酸素同位体比から水溫への換算では、水の酸素同位体比は+0.25から-0.25パーミル(SMOWスケール)まで変化させた。そして、最高温度と最低温度を計算した。

小値は水温が高い夏期に現れる。その時期に形成した外層方解石の部分、その酸素同位体比も最小値を示した。この部分について両者を比較すると、真珠層アラレ石は、この外層方解石より酸素同位体比は約0.6‰大きく、同一温度で生成したカルサイト-アラゴナイト酸素同位体比平衡値の差とほぼ一致した(第5図)。

真珠層アラレ石の酸素同位体比の相対値などから判断すると、真珠層は、真夏を含む数ヶ月で一気に形成されていると考えられた。かつ、養殖真珠アラレ石も、内層アラレ石の夏の時期の酸素同位体比と同じぐらいの値をとることから、夏の間の短い期間で一気に形成され、冬季を含む前後の低水温期には成長が停止あるいは遅滞していると考えられた。これは、前章で述べた天然真珠の結果とも整合的であった(第5図)。

## 6. 将来の課題

### 6.1 真珠のバイオミネラリゼーション

真珠は大きく分類すると、海水から沈殿する真珠とここではふれなかった淡水真珠に分類される。炭酸塩の原料となるカルシウムは湖沼の水には海水と比べて微量にしか含まれないが、実は成長速度は淡水真珠の方がはるかに速い。安定同位体比、殻の化学組成を分析し、外界と真珠とが平衡下で沈積しているのか、それとも速度論的な効果の下で沈積しているのかは重要な課題である。

### 6.2 母貝のバイオミネラリゼーション

真珠養殖の母貝はアコヤガイなどの二枚貝が主流であるが、アワビは真珠を作る唯一の巻き貝である。特にアワビは、外層殻が主にアラレ石よりなるが、方解石も含まれるという非常に不思議な特徴がある。2つの鉱化作用が貝の成長にどのように関係しているのかも興味深い。

### 6.3 美しい究極真珠を作るための研究

真珠玉は大きい方が人気がある。一般に炭酸塩の形成は水温の高い夏場に促進される。一方、真珠玉は美しいものが人気がある。養殖業者によると、一般に水温が低くなるときれいな透明感のある真珠層が形成され、これは炭酸塩の結晶の配列や大きさと関係していると言われている。そこで、安定同位体比、元素分析に加え、結晶度あるいは結晶配列も調べ、大きく、しかも美しい真珠玉を作るにはどのような環境条件が望ましいのかを探求したい。

**謝辞：**本稿を準備するにあたって、文部省科学研究費補助金基盤研究A(17253006)「熱帯域の高精度環境復元と高緯度氷床と低緯度域環境とのリンケージの評価」および文部省科学研究費補助金基盤研究B(16340161)「浮遊性有孔虫殻の安定同位体と微量化学成分のグローバルマッピングと古海洋への応用」の研究費を使用した。本試料を入手するにあたり、若狭大月真珠養殖株式会社賢島工場の藤村卓也博士にお世話になった。

#### 引用文献

- Kawahata, H., Inoue, M., Nohara, M. and Suzuki, A. (2006) : Stable isotope and chemical composition of pearls - Biomineralization in cultured pearl oysters in Ago Bay, Japan -. *Journal of Oceanography*, 62, 405-412.
- Nakashima, R., Furuta, N., Suzuki, A., Kawahata, H. and Shikazono, N. (2006) : Growth history of cultured pearl oysters based on stable oxygen isotope analysis. *Marine Biology*, submitted.
- 和田浩爾(1992) : 科学する真珠養殖。(社)日本真珠振興会, 東京, 213.
- 和田浩爾(1994) : 続・科学する真珠養殖。(真珠新聞社, 東京, pp.115.
- 和田浩爾(1999) : 真珠の科学-真珠のできる仕組みと見分けかた-。真珠新聞社, 東京, 336.

KAWAHATA Hodaka, NAKASHIMA Rei, SUZUKI Atsushi and FURUTA Nozomi (2007) : Isotopic characteristics and calcification process of pearl and pearl oyster.

<受付：2006年12月22日>