

元素を高濃度に蓄積する 亜熱帯域の海洋生物

石井 紀明

科学技術庁放射線医学総合研究所
那珂湊放射生態学研究センター

High accumulation of elements by marine organisms in the subtropical zone

T. Ishii

はじめに

海洋生物の中には、ある特定の元素を高濃度に蓄積する特異的濃縮生物が存在している。コンブ類がヨウ素を、ホヤ類がバナジウムを高濃度に濃縮していることは一般に良く知られていることである。高濃度蓄積生物の存在は以下の4点で重要な意味を有する。

1. 高濃度蓄積生物は一般の生物に比べて元素濃縮能力が非常に高いので重金属や放射性核種による海洋汚染モニタ - の指標生物として有効に活用できる。
2. 高濃度蓄積生物の体内には特定の元素に対して高い親和性を有する生理活性物質が存在しているはずであり、生理活性物質から創造された高機能性錯体は効率良く金属を捕らえる能力がある。高機能性錯体の活用法として、たとえば海水などから重要希少金属を集めるための捕集剤として利用できる。
3. 海洋生物による元素の濃縮機構を解明する際、低濃度蓄積生物では元素濃縮能力が低い室内実験におけるデータに誤差を生じやすい。この点において濃縮係数の高い高濃度蓄積生物は元素の代謝機構を解明する上で低濃度蓄積生物よりも適切な実験材料となりうる。
4. 海洋生物中においては検出されながら、元素の存在状態、特に化学種の特定に関する研究が進んでいない場合が多い。この理由として、目的元素の含量が極めて微量であるため状態分析に用いる分析装置の検出感度の不足、そして溶媒抽出、イオン交換、濃縮などの化学操作中に化学変化を起こすア - テファクトが生じる可能性のあることがあげられる。ア - テファクトの侵入を防ぐためには、出来るだけ元素濃度の高い、状態分析のし易い生物が必要である。以上の理由から高濃度蓄積生物の検索が重要で

あると考えられたので、本邦産海洋生物 500 種以上に対して元素分析によるスクリーニング作業による検索を行い、10 種以上の生物について高濃度蓄積現象を見出した。本論文では、亜熱帯の海域に生息するヒレジャコガイ、リュウキュウヒザラガイ、マガキガイについて元素の濃度、分布、化学的性状を報告するとともに、濃縮部位における元素の生理学的役割についても考察する。

材料および方法

沖縄県の阿嘉島および石垣島からヒレジャコガイ、リュウキュウヒザラガイ、マガキガイを採取した。解剖して部位ごとにビ - カ - に収容し、硝酸 + 過塩素酸で湿式分解を行い溶液化した。ヒレジャコガイのマンガンとリュウキュウヒザラガイの鉄の定量は誘導結合プラズマ原子発光分析法で行った。

またマガキガイなど巻貝中のヨウ素濃度の測定は真空凍結乾燥した試料について放射化分析法で行った。

結果および考察

1. ヒレジャコガイの腎臓中のマンガン
ヒレジャコガイは軟体動物門・斧足綱・シャコガイ科に属し、亜熱帯から熱帯にかけて生息している。体全体をサンゴ礁に埋めると同時に足糸で体を固定している。外套膜には褐虫藻 (Zooxanthella) が共生しており、褐虫藻が光合成でつくりあげた糖類などを栄養源としている。
ヒレジャコガイの軟体部を腎臓など 10 部位に解剖してマンガン濃度を測定したところ、腎臓中にはマンガンが乾燥重量当たり 1,000 ppm 含まれていた。一般の二枚貝の腎臓中のマンガン濃度は 1-10 ppm

であるからヒレジャコガイの腎臓は 100-1,000 倍高いことになる。なお、Ishii *et al.* (1992) はヒレジャコガイの腎臓にはマンガンだけでなく、ニッケル、亜鉛、カルシウムなどの金属元素も高濃度に含まれていると報告している。

腎臓組織について顕微鏡観察したところ図 1 に示したように、細胞内に同心円状の層状構造を有する顆粒が存在していることが分かった。このような腎臓結石は外国の二枚貝ではホタテガイやタイラギの仲間で見られるが、本邦産では Ishii *et al.* (1986) が茨城県の鹿島灘に生息するマルスダレガイ科のワスレガイの腎臓の細胞外に金属顆粒が存在していると報告している。

顆粒だけを取り出してマンガン濃度を測定したところ 3,270 ppm であった。顆粒についてシンクロトロン放射光を用いた X 線吸収微細構造解析法 (XAFS) を適用してマンガンの化学形について調べたところ、マンガンの酸化状態は 2 価で、6 つの酸素で囲まれたやや歪んだ八面体構造を示し、化学状態はリン酸塩 $[Mn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O]$ であることが分かった。

ヒレジャコガイの腎臓中のマンガンの生理学的役割については次のように考えている。ヒレジャコガイ組織中のマンガンは主にタンパク質と結合した形で存在しているが、一部は遊離のマンガンイオンとして存在しているものと考えられる。マンガンイオンは毒性があるため、ヒレジャコガイはイオンを水に不溶性リン酸塩の形に生体内変換させて無毒化しているものと考えられる。

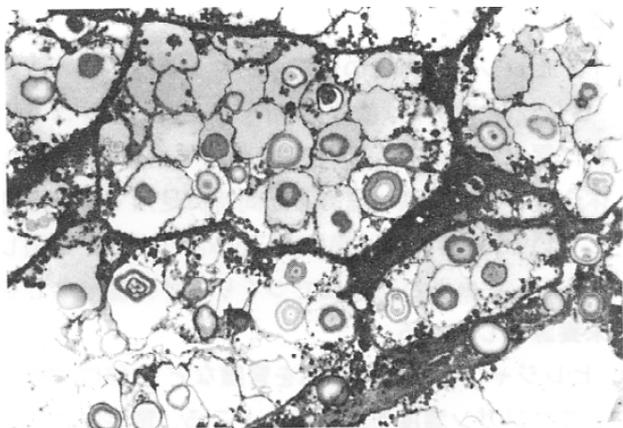


図 1. ヒレジャコガイの腎臓組織の顕微鏡写真 (細胞の中に同心円状層状構造を有する顆粒が観察される)

2. リュウキュウヒザラガイの歯舌歯の鉄

リュウキュウヒザラガイは軟体動物門・多板綱・ヒザラガイ科に属し、房総以南から南西諸島の潮干帯の岩盤上に生息している。リュウキュウヒザラガイ類は歯舌という特殊な摂餌機能を有している。歯舌は歯と基底膜からなり、歯は中央歯、側歯、縁歯から構成され、このユニットが約 70 列ある (図 2 参照)。三種類の歯の中で側歯だけに鉄の生体鉱物化現象 (バイオミネラリゼーション) が起こっている。

側歯だけを取り出して鉄濃度を測定したところ、237,000 ppm であった。Okoshi and Ishii (1996) は、側歯に高濃度の鉄が含有されているのは、ヒザラガイ類やカサガイ類に共通して見られるが、他の巻貝のエゾアワビやサザエなどでは全く観察されない現象であると報告している。

鉄の分布を X 線マイクロアナライザ - で調べたところ、鉄は posterior side の摂餌面に 740,000 ppm という高濃度で含有されていることが分かった。

鉄の化学形を X 線回折法とラマン分光法で調べたところ、摂餌面における鉄は磁鉄鉱 (Fe_3O_4) であることが分かったが、磁鉄鉱の前駆体物質はフェリチンであると考えている。フェリチンは、鉄含有複合タンパク質 (分子量約 48 万で 24,000 のサブユニット 20 個からなる) であり、鉄を約 20% 含む。鉄は $(FeO \cdot OH)_8 (FeO \cdot OP_3H_2)$ の組成状態で存在し、鉄の化学状態は水酸化酸化鉄である。フェリチンから磁鉄鉱に鉄の化学状態が変化するときどのような酵素が働いているかについて現在研究中である。

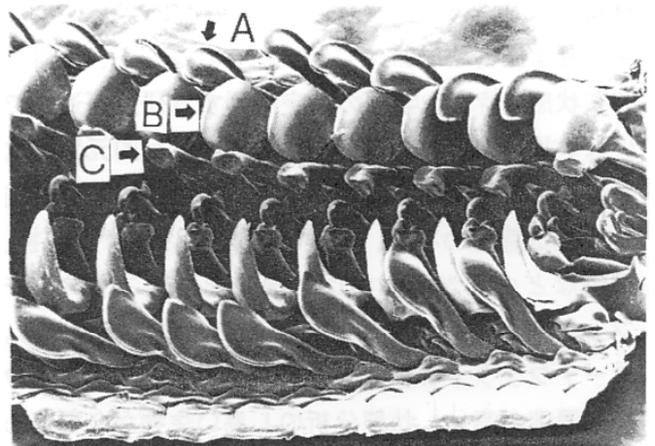


図 2. リュウキュウヒザラガイの歯舌の走査電顕写真 (A; 縁歯、B; 側歯、C; 中央歯)

なお鉄の生理学的役割であるが、リュウキュウヒザラガイは歯舌を使って岩盤上の微細藻類を掻き取るとき歯の先端部から摩耗する。摩耗を出来るだけ防止するため鉄を磁鉄鉱と言う硬い鉱物に変えていると考えられる。

3. マガキガイの蓋のヨウ素

マガキガイは軟体動物門・腹足綱(巻貝)・ソデガイ科(ソデボラ・スイショウガイ)科に属し、高知県から沖縄県に分布し、潮干帯の砂礫底やサンゴ礁のタイドプールに生息している。図3に見られるようにマガキガイには鋸状の蓋が存在しており、この蓋を砂礫に引っかけて棹をさすようにしてジクザクにはねるように歩く。

24種類の巻貝から蓋を取り出し、ヨウ素濃度を測定したところ、ソデガイ科に属す巻貝はクボガイやサザエなどの他の巻貝と比べてヨウ素濃度が非常に高く、特にマガキガイの蓋が最も高い22,800ppmを示した。海水中のヨウ素濃度は0.060ppmであるから、濃縮係数は380,000と計算される。マコンブはヨウ素を高濃度に含有することが一般に知られているが、マコンブにおけるヨウ素濃度は乾燥重量当たり2,000ppmであるから、マガキガイのヨウ素濃度はマコンブよりも10倍も高いことになる。

Ishii(1997)は、蓋の構成成分について赤外分光装置とCHSアナライザで調べており、蓋の主成分はタンパク質であるとしている。さらに、Ishii(1997)は、ヨウ素の化学形をXAFS法で解析したところ、ヨウ素はアミノ酸の側鎖上の炭素と結合していると報告している。

一般に、巻貝は捕食者に対し、軟体部を貝殻内におさめた後、蓋で殻口を閉じて外敵に対しての防御態勢をとる。一方、ソデガイ科の巻貝の蓋は一般の貝



図3. 鋸状の蓋(矢印)を有するマガキガイ

の蓋とは異なり、海底を匍匐するためにも蓋を使用している。

ソデガイ科の巻貝類の足は一般的に他の科の巻貝に比べて小さく、その運動性能が低い。退化した足の運動能力を補うために、砂礫の中に蓋を埋めて体を海底に固定すると同時に足の筋肉を急激に縮めて前方に進むような行動をとる。また時には砂礫を蹴るような行動をとるときがある。蓋で砂礫に固定して前進、または砂礫を蹴るために蓋を使うとすると、蓋にはある程度の堅さが必要であると考えられる。ソデガイ科の巻貝は蓋をタンパク質で形成するときにヨウ素含有アミノ酸でタンパク質を硬くするキノン効果を働かせていると考えられる。

終わりに

今回は亜熱帯に生息する3種類の海洋生物について元素が特異的に濃縮される現象について報告したが、亜熱帯には元素代謝の観点から見たときに非常に興味深い生物種が多数存在している可能性がある。これからも行動学、生理学、生物無機化学など幅広い視野をもって亜熱帯生物の持つ神秘性・多様性に触れて行きたいと考えている。

謝辞

本研究を行うにあたり、ヒレジャコガイ、リュウキュウヒザラガイ、マガキガイの採取にご協力頂いた横地洋之助教授(東海大学海洋研究所)、下池和幸研究員(阿嘉島臨海研究所)に謹んで謝意を表します。

引用文献

- Ishii, T., K. Ikuta, T. Otake, M. Hara, M. Ishikawa and T. Koyanagi 1986. High accumulation of elements in the kidney of the marine bivalve *Cyclosunetta menstrualis*. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish., 52: 147-154.
- Ishii, T., K. Okoshi, T. Otake and M. Nakahara 1992. Concentrations of elements in tissues of four species of Tridacnidae. Nippon Suisan Gakkaishi, 58: 1285-1290.
- Okoshi, K. and T. Ishii 1996. Concentrations of elements in the radular teeth of limpets, chitons, and other marine mollusks. Mar. Biotech., 3: 252-257.
- Ishii, T. 1997. The specific accumulation of iodine by the operculum of the strawberry conch *Strombus luhuanus*. Fisheries Sci., 63: 646-647.