

## 論文の内容の要旨

論文題目 Terrestrial Snails as a Bioindicator of Trace Heavy Metals in the Environment:  
Investigation on Their Accumulation and States of Existence

(環境微量重金属に対する生物指標としての陸棲貝類：蓄積と存在状態に関する研究)

氏名 八十島 光子

軟体動物、とりわけ貝類は環境指標として注目されており、特に、その重金属を蓄積しやすいという特徴により、海洋における重金属汚染の生物指標対象として研究が多数進められている。これらについては、海洋中の重金属の  $10^2$  から  $10^3$  倍ものオーダーでその体内に重金属を蓄積するという報告もある。陸棲の貝類も、食物連鎖を介して重金属の環境中の輸送に関与しているという報告もあるが、これらの研究は機器分析の検出限界が高くなるという理由で軟体部を対象としたものがほとんどである。

しかし、マイマイなどの貝類を利用することの利点とは、その生物が死去した後も環境中にその殻が痕跡として残ることであり、殻に着目した研究は世界的にもほとんど例がない。陸棲貝類については、似通った大きさの個体同士であれば異なる環境より採取したものを比較が可能であるという報告もあるが、環境変化、気候、そして個体差を考えると疑わしい点が多くあった。したがって、本研究においてはオナジマイマイという日本全国に分布し飼育が比較的しやすい陸棲貝類を飼育実験により環境をコントロールすることによって、オナジマイマイへの重金属の取りこみについて研究を行った。

オナジマイマイ(成貝)は、東京都目黒区駒場にて採取した。稚貝が 1000 匹以上になった時点で無作為に 40 匹ずつで構成される 10 グループを作った。個体同士の影響を取り除くためにマイマイは一匹ずつプラスチック容器中で飼育された。各グループにはそれぞれ異なる濃度の目的元素が含まれた餌を随時与えられた。各餌中の重金属濃度は次の通りである: 0ppm, Cu(2ppm, 4ppm, 8ppm), Zn (2ppm, 4ppm, 8ppm), Cd (0.4ppm, 2ppm, 4ppm)。餌はキャットフード(市販)と炭酸カルシウムを主成分とし、目的の濃度となるような硝酸塩重金属溶液を加え、

寒天で固めたものを与えた。飼育実験期間はちょうど稚貝から成貝になる 12 週間と定めて行った。

飼育実験後、各個体の体重を量り、殻、外套膜、肝臓、その他の 4 部に解剖し、真空乾燥処理の後、乾燥重量を測定した。殻は蒸留水で洗浄後乾燥し、めのう乳鉢で粉末状にした。粉末試料は清浄なテフロン容器、高純度試薬を用いた湿式分解の後、誘導結合プラズマ質量分析 (ICP-MS : Hewlett-Packard HP4500)法により元素分析を行った。

元素分析の結果、軟体部における重金属の濃度は、肝臓において  $Zn > Cu > Cd$ 、外套膜において  $Cu > Zn > Cd$ 、その他においては  $Cu > Zn > Cd$  であった。また、各元素ともに相対的に肝臓において最も元素の取りこみが高く、特に Zn に関しては Cu の約 2 倍、Cd の約 4.5 倍であった。殻から肝臓への重金属濃度比は、Cu で  $3.0 \times 10^{-3}$ 、Cd で  $1.6 \times 10^{-3}$ 、Zn で  $3.4 \times 10^{-4}$  殻と与えた餌中の元素濃度間においては、Cu で相関がみられた ( $p < 0.05$ )。しかし、Cd では Cd 2ppm 以上の餌を与えたマイマイの殻中の Cd に増加がみられなかった。これは、Cd の毒性に起因するものであると考える。Zn については、餌とマイマイ各部位間において相関がみられなかった。しかし、Zn の取りこみが他元素に比べて多い事実は、二枚貝である *Mytilus galloprovincialis* の軟体部、殻ともに Puente らによって指摘されている。すなわち、殻は重金属の排出の場とも成り得るが、体内を通して殻へ移行してくるのは非常に少ない割合と言えよう。

また、本研究の顕著な発見としては、与えた餌中の重金属濃度が高くなるほどマイマイの体重が減少し、逆に殻と外套膜の重さが増加、肝臓やその他の部位が減少する、という点である。これは Cu と Cd においては明らかであった。特に、Cu はコントロールと最も濃度の高い餌を与えたマイマイグループ間では、30%の減少であった (有意差  $p < 0.05$ )。すなわち、この結果より異なる環境によるマイマイの体重と年齢がかならずしも一致しないということが明らかとなった。また、これにより環境による成長速度のばらつきも示唆される。Cd に関しては Cd 4ppm を与えたマイマイの体重が急に減少する傾向が見られたが、この現象は Gomot によっても報告されているが Cd の毒性と深く関与していると思われる。

そこで、異なる環境から採取する個体差を

簡単な数式のみでどう修正するかと考えた。Watson らは、殻中の重金属濃度を殻の重量で標準化をしている。しかし、上記のようにマイマイの全重量差が最も有効であることから全重量を含め標準化をする必要性は明白である。その式とは、殻中重金属濃度に殻重量を掛けてマイマイ全重量で割るという至って簡単な方法であ

る。Cd については Cd 4ppm のプロットを除いたものについても導入したところ、Cu、Cd とともに Watson の結果よりも相関が改良された (Table 1)。

すなわち、オナジマイマイに重金属が特に肝臓に蓄積され、また各元素ともに殻へも取りこまれ得る、そして餌中の重金属濃度と殻中の重金属濃度が良い相関となることが明らかとなった。しかし、与えた重金属含有の餌によってマイマイの成長率に有意差がみられることから、異なる環境から採取する試料を比較する際には細心の注意が必要であることが本研究により明

Table 1. Correlation coefficient between metal content in shells and metal added in diet (\*=results eliminating the 4ppm diet group)

	$r_{Cu}$	$r_{Cd}$	$r_{Cd}^*$
Watson's	0.8903	0.8790	0.9999
measured	0.8914	0.7629	0.9997
normalized	0.9276	0.7997	0.9999

らかとなった。この点は、前述で提案した数式により改善され、十分に実用可能である。オナジマイマイを環境指標として応用しようとした例は世界でも全く無いに等しい。しかし、本研究により、異なる環境でもマイマイの殻重量及び全重量を用いて標準化すれば、その殻中の重金属濃度より環境中の濃度を推定することが可能となることが明らかとされた。