

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 八十島光子

重金属元素は微量ながらも地球表層の様々な環境に遍く存在し、地殻、海洋についてはそれは自然存在度として知られている。全ての生命はこの存在度を生命維持の基盤として進化、発展してきたと考えられる。産業革命以来、人間の生産力の肥大化が重金属のみならず、自然には存在しない物質までも地球表層に撒き散らす結果となり、予測できない種々の反作用、つまり環境問題となって人間の生活に跳ね返ってきている。様々の事例では環境汚染が人間に及ぶ前に連鎖の下位に位置する生物にまず異常が生じ、次第に上位に影響が及ぶ構図が浮かび上がっている。したがって環境問題の顕在化を予防する観点からは、食物連鎖の下位に位置する、すなわち汚染環境に直接生活の基盤を持つ生物を対象として異常をモニターするのが、環境問題の発生を未然に防止する上で効果的なアプローチと言えよう。

本論文はこの観点から陸棲貝類に焦点を当て、陸上環境における重金属汚染の生物指標としての有効性を、貝の飼育実験と自然環境内にある貝について比較検討したものである。その内容は4つの章にまとめられている。第1章は本研究の目的を簡潔に示し、これに関した先行研究の到達点と問題点をまとめ、なぜ陸棲貝類が重金属汚染に関する環境問題の研究上、有望な研究対象であるかということ、およびこの研究全体の行くべき方向を明示している。また研究対象とした陸棲貝類の分類と、研究の焦点のひとつである石灰殻の形成過程に関する知見をまとめ、後の議論の基礎としている。

第2章では室内飼育実験によって得られた知見をまとめている。陸棲貝類の安定した飼育は必ずしも容易ではなく、普遍的な飼育方法は存在しない。論文提出者はまず飼育方法の検討を行い、*Bradybaena similaris*、すなわちオナジマイマイが本研究に適していることを見出した。この陸棲貝はほぼ日本全体に分布しており、合成飼料による飼育にもよく適応する利点がある。合成飼料に0~8 ppm レベルの3種の重金属イオン、Cu, Zn, Cd, を混入し、稚貝から12週間この飼料によって飼育し体重を測定したのち解剖し、軟体部を肝臓、外套膜、その他の部分に分割、また石灰殻部分を切り離して、それぞれについて重金属濃度を測定した。その結果、Cuでは4 ppm, Cdでは2 ppm までは飼料とマイマイの殻部分の金属濃度は互いに比例関係にあるが、Znでは明確な関係が認められない事が示された。またppmレベルであってもこれらの重金属はオナジマイマイの成長にストレスとなり、体重減少をもたらす事が明らかにされた。この減少は軟体部の縮小に起因し、石灰殻はむしろその重量が増加する傾向を示した。従来、陸棲貝類を生物モニターとして使用する場合、貝の年齢による変動を補正する必要があることが指摘されていたが、年齢推定の基礎とされた石灰殻の重さが加齢以外の要因によって、増減ことが明らかとなった。これらの事実を踏まえ、学位申請者は個体の全体重をパラメーターとして用いる補正法を提案し、実試料で有効性を確認した。

第3章はオナジマイマイに取り込まれた重金属の存在状態に関する結果のまとめである。非破壊法による目的元素の存在状態の情報を得ることがこの種の研究で最善とされるが、学位申請者は最近さまざまな分野で重金属の存在状態研究に用いられてきた X 線吸収微細構造 (XAFS) 法を飼育したオナジマイマイに適用し、Cu, Zn について考察した。軟体部においてはこれらの金属は体内の有機配位子と結合していると予想される。XAFS 法では金属周りの元素間の電子情報が得られる。したがって結合に関与する有機物を特定できないまでもその有機配位子が S, O, N のいずれを介して Cu, Zn と結合しているか、もしこれらのいずれとも結合しているのであればそれらの割合はどのくらいかを推定できる。これは XAFS のみでは不可能で、部分最小二乗法 (PLS) を適用して初めて可能となった。Cu についての結果は、肝臓では 80% が S と 20% が O と結合した状態にあること、外套膜部やその他の部分では両者がほぼ等分に結合している事を示した。石灰殻ではほぼ全て酸素配位である事が明らかにされた。これらの情報は乾燥試料について得られたが、生の試料では存在状態が異なる可能性がある。解剖後の湿潤試料を用いて同様の分析を行った結果、肝臓、石灰殻では乾燥試料と同じ分布であったが、外套膜部およびその他の部位の Cu は 80% 以上 S 配位である事がわかった。そして肝臓では Cu はメタルチオネインの形で S 配位であるが、他の軟体部ではより動きやすい形の Cu 錯体が共存しており、さらに石灰殻では約 50% の Cu は有機物と結合している事が明らかとなった。Zn については XAFS スペクトルの質が詳しい解析に耐えなかったため Cu ほど明瞭な結論を引き出すにいたらなかったが、Cu とほぼ同じ存在状態にあると推定された。

第4章はさまざまな野外環境に生息する陸棲貝類とその周りの食性植物および土壌中の重金属の相互関係を調査解析し、室内実験で得られた知見と総合して、オナジマイマイを生物指標として使う場合の指針を決定した。終章は研究全体のまとめと今後の展望を述べている。

陸上環境の重金属汚染はフォールアウト、土壌等を直接モニターすることによって行われる場合が多い。これらの汚染は食物連鎖における生物濃縮により連鎖の頂点にある人間に大きな影響を与える。従来はほ乳類を対象として重金属汚染をモニターしていたが、汚染が見いだされるときには環境汚染が深く進行しているのである。この研究は食物連鎖の下位に位置するマイマイに焦点を当て、人工重金属汚染に対するこの動物のレスポンスと、従来の全金属分析による解析では不可能であった生身のマイマイ体内における重金属の存在状態をはじめ実験的に決定した。さらに実環境下にあるマイマイの環境へのレスポンスを調べ、結果を総合してどの重金属がこの動物を用いた場合モニタリングに有効であるかを初めて示した。これらの結果は生物による環境モニタリング研究への大きな貢献である。よって、本論文は博士(学術)の学位論文としてふさわしいものであると審査委員会は認め、合格と判定する。