

研究課題名

野生哺乳類を用いた微量元素汚染実態の解明と環境影響評価
—射撃場周辺に生息するノネズミ類の微量元素汚染実態の解明とリスク評価—

寶來 佐和子（鳥取大学），国末 達也（愛媛大学）

研究目的

鳥取県覚寺に位置する鳥取クレー射撃場は、1983年に建設されたが、鉛弾による環境汚染問題により、2008年から休場措置を取っていた。鳥獣被害防止を図る観点から、年々減少している銃猟者保護および育成のため、飛散防止ネットの設置やアスファルト舗装といった環境に配慮した整備を実施した後、2016年9月に運営が再開された。

銃弾の主成分は、Pbが93.7%以上であり、残り、Sb（1.5~6.3%）、As（0.21~0.97%）、Cu（0.01~0.10%）などである（環境省 2007）。また、安価な弾薬にはSbやAsがより多く含まれていることもあるようだ（Hall and Fisher, 1985; Rooney et al., 1999）。従って、射撃場土壌は使用済み銃弾によるPbを始めとする様々な元素で汚染されていることになる。環境中のPbは環境中の条件によって50~5000年と、長期にわたり残留するため、Pb汚染は深刻な問題となる（Kumar et al., 1995）。

我々の先行研究から、本射撃場における土壌中Pb濃度の中央値は197mg/kg（DW）であり、環境基準値である150mg/kgを超過していた（菅野, 2016）。さらに、最高値は13,800mg/kgであったことから、本地域の生物相への影響が懸念された。

本研究に用いた指標生物種は、2種のノネズミ類であるアカネズミ（*Apodemus speciosus*）とヒメネズミ（*Apodemus argenteus*）である。本生物種の選定根拠は、徳丸（1992）に準じ、国内に広く分布しており入手しやすく、諸外国にも同一種ないし近縁種が広く分布している種、生物学的、生態学的情報の多い生物種であるためである。本ノネズミ類の行動範囲は600~2200m²と、中・大型哺乳類のそれよりも狭い（上田, 1978）。また、土壌動物であるミミズを捕食するため、土壌汚染による健康被害のリスクが高い可能性がある（Scheuhammer et al., 2003）。以上のことから、本地域のノネズミ類も土壌の影響を強く反映することが推察され、Pbなどの重金属によるリスクが懸念された。

そこで本研究は、鳥取市射撃場周辺に生息する2種のノネズミ類の臓器中微量元素レベルを明らかにし、蓄積特性の解明と毒性影響評価を実施することを

目的とした。

研究内容

試料と方法

試料

2016年3月～11月に鳥取市クレ射撃場周辺で捕獲されたアカネズミ12検体（オス7検体（成獣4検体、幼獣3検体）、メス5検体（成獣4検体、亜成獣1検体）、ヒメネズミ2検体（メス2検体（亜成獣1検体、幼獣1検体）計14検体であった。また、人為的Pb汚染が比較的少ないと考えられた鳥取大学湖山キャンパス周辺に生息していたアカネズミ3検体（オス2検体（成獣1検体、亜成獣1検体）、ヒメネズミ2検体（メス2検体（成獣）の計5検体を捕獲した。解剖後、脳、肺、胃、腎臓、肝臓、心臓、筋肉、被毛、骨、消化管、食道、気管、耳下腺、舌、皮膚、眼球の16器官および組織を採取し、分析に供試した。

化学分析

上記臓器組織を凍結乾燥し、粉末化した試料をテフロン製バイアルに0.1g秤量し、HNO₃を3ml添加した。12時間静置した後、マイクロウェーブ分解を行い、超純水で25mlに希釈した。誘導結合プラズマ質量分析装置（ICP-MS 7500cx; Agilent Technologies, Tokyo, Japan）で22元素（Li, Mg, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr, Mo, Cd, Sb, Cs, Ba, Pb, Bi）を測定した。ウシ肝臓試料（NIST SRM 1577-c）を用いて回収率試験を実施した。回収率は94.9%（Zn）～102%（Co）であった。

統計解析

統計解析はStatcel 3（柳井，2011）を用いて実施した。有意差はMann-Whitney U-test、3群間以上の臓器間比較にはSteel-Dwassによる多重比較検定を用いた。バイオメトリーと元素濃度ととの相関検定にSpearmanの順位相関係数検定を適用した。*p*値は0.05未満を有意とした。

研究成果

各臓器中微量元素濃度の地点間比較

射撃場周辺と湖山キャンパス周辺に生息していたノネズミ類の臓器中微量元素濃度を比較した結果、射撃場周辺のノネズミ類で有意に高値を示した元素は、Rb以外の21元素であった。注目すべき元素はPb、Se、Coであり、これらの元素は、Pbが胃と眼球を除く14臓器組織において、Seが腎臓、気管、骨を除く13臓器組織において、Coが10臓器組織で有意に高値であった。ノネズミ類は土壌中レベルが反映していることが考えられたため、土壌中微量元素分析を実施した。その結果、PbとCoは湖山キャンパスよりも射撃場において有意に

高値を示した一方、Seは、有意差はみられなかった。このことから、ノネズミ類体内のPbとCoレベルは、土壌の影響を受けた結果であることが考えられた。また、Seは土壌よりも別の要因の影響が強いことが推測された。その要因の一つとして採餌習慣の違いが考えられる。Seは麦類や豆類に比較的多く含まれることから、射撃場周辺のノネズミ類はSeを比較的多く含む餌を摂取していることが推測された。今後、射撃場種変と湖山キャンパス周辺のノネズミ類のエサとなりうる植生を調査することが必要となるだろう。

臓器分布比較

Pbは骨に最も分布していた。骨に最も分布していた元素はPbのほかに、Mn、Zn、Ga、Sr、Baであった。本研究において元素集積が多くみられた臓器組織は、骨と消化管であった。骨は重金属を集めやすい部位であることが報告されており（不破，1982）、本研究結果はそれと一致していたことになる。哺乳類における一般的なPbの集積臓器は、骨>腎臓>肝臓>脳>筋肉であることが報告されているが（Ma, 1996）、より詳細な臓器中元素レベルを明らかにした結果、骨に次いで気管と消化管が腎臓よりも高値を示した。

Pbの毒性影響評価

脊椎動物におけるPb中毒の特徴の一つは体重減少である（Goyer et al., 1970; Ma, 1989）。そこで本研究において体重の地点間比較を実施した結果、有意差は示されなかった。次に、各臓器重量の2地点間比較を行ったところ、脳重量のみで有意差がみられた（ $p < 0.05$ ）。Pb濃度と脳重量との間には相関はみられなかったものの、減少傾向を示していた。先行研究において、Pb投与による歩行障害が生じたオスラットの全脳中平均Pb濃度は0.239 $\mu\text{g/g WW}$ であり、本研究において、この濃度を超過した検体は14匹中4匹（28.6%）であった。

鳥類および哺乳類における肝臓および腎臓中Pb濃度のリスク評価において、 $<1 \mu\text{g/g WW}$ で正常、 $1\sim 2 \mu\text{g/g WW}$ で準臨床的毒性レベル、 $\geq 6 \mu\text{g/g WW}$ で潜在的臨床毒性レベルと分類されている（Lewis et al., 2001）。湖山キャンパス周辺に生息していたノネズミ類において、肝臓および腎臓中Pb濃度は、すべて $1 \mu\text{g/g WW}$ 未満であったが、射撃場周辺の個体において、肝臓で14匹中3匹（20%）が、腎臓において14匹中9匹（60%）が準臨床的毒性レベルを超過していたことが明らかとなった。これらのことから、射撃場周辺に生息するノネズミ類のなかには、肝臓、腎臓、脳においてPbによるなんらかの毒性影響が生じている個体が存在することが懸念された。

結論

鳥取市射撃場に生息しているノネズミ類において、Co、Se、Pb が特徴的な元素であり、Co と Pb は土壌の影響を強く受けていることが推察された。Pb の臓器分布において、骨に最も集積しており、次いで気管>消化管>腎臓>肝臓の順であった。Pb のリスク評価を実施した結果、準臨床的および潜在的臨床毒性を超過した個体が存在したことから、本種における Pb の毒性影響が懸念された。今後は、病理学的組織観察を実施し、さらに詳細な毒性影響を明らかにする必要があるだろう。

参考文献

Ma (1989) Effect of soil pollution with metallic lead pellets on lead bioaccumulation and organ/body weight alterations in small mammals. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 18, 617-622.

Lewis et al. (2001) Lead toxicosis and trace element levels in wild birds and mammals at a firearms training facility. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 41, 208-214.

Hall and Fisher (1985) Heavy metal concentrations of duck tissues in relation to ingestion of spent shot. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 35, 163-172.

Scheuhammer et al. (2003) Lead and stable lead isotope ratios in soil, earthworms and bones of American woodcock (*Scolopax minor*) from eastern Canada. Environ. Toxicol. Chem. 22, 2585-2591.

環境省 (2007) 水・大気環境局土壌環境課「射撃場に係る鉛汚染調査・対策ガイドライン」.

徳丸 (1992) 生物指標の考え方とデータ解析法—身近な生きもの調査をめぐる考察.

上田 (1978) 野ネズミ発生予察法と防除法 わかりやすい林業研究解説シリーズ, No.62, 日本林業技術協会.

菅野 (2016) 「鳥取市クレイ射撃場土壌における微量元素汚染実態の解明」卒業論文 鳥取大学.

成果発表

本成果は、環境化学会誌に投稿準備中。

今後の問題点

本研究における今後の問題点は、病理組織学的観察を実施する際に、脳をいかに傷つけずに処理するかである。

本事業における今後の問題点に関して、採択者側として、いかに迅速に効率的に論文に結び付けるかが課題となる。