

RF-0908 南西諸島のマングースの水銀濃縮解明に関する研究

(3) 食物網を通じた水銀取込み・排泄に関する研究

東京農工大学 大学院 農学研究院

渡邊 泉

<研究協力者>

環境省 那覇自然環境事務所

阿部慎太郎

琉球大学 農学部 生産環境学科 亜熱帯動物学講座研

小倉 剛

平成21～22年度累計予算額：7,800千円（うち、平成22年度予算額：3,900千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨] 南西諸島に分布を拡大するマングースは、海生哺乳類で知られる肝臓の水銀濃縮現象を示す陸上哺乳類である。本研究は、その濃縮メカニズムを、とくに餌からのインプットに着目して行った。つまり、生態系における水銀循環の最終点として高次捕食者であるマングースが位置付けられると考え、その曝露の詳細を検討した。その手法として、水銀の濃縮現象が確認されたやんばると、他の地域から捕獲されたマングースおよび餌生物の蓄積状況を比較すること、さらに、このとき、水銀と関連すると考えられる微量元素25種の解析を併せて行うことで、水銀の起源推定を試みた。さらに、マングースが属する生態系の負荷の状況および発生源を明らかにするため、重金属類の蓄積植物を用いた分布の解明を行った。

やんばるのマングースに比べ、沖縄島恩納村南部および鹿児島本土で捕獲されたマングースの肝臓における水銀レベルは高くなく、一方で、恩納村南部の個体からは極めて高濃度のカドミウムと鉛、ヒ素を検出した。マングースが摂餌していると判明している餌生物を分析した結果、生態系の低次生物で恩納村南部は水銀及び鉛など強毒性元素のレベルが、やんばるに比べて高いことが明らかとなった。このことは、バックグラウンド・レベルとしては低いやんばるや奄美の水銀レベルが、マングースまでの生物増幅の過程が異なるため差が生じたと考えられ、やんばる及び先行研究で明らかになった奄美大島のマングースの水銀濃縮は、より長い食物連鎖を通じた生物増幅によってもたらされていることを示唆した。このことは、貴重な固有種を有するやんばるや奄美のマングースが、ヤンバルクイナやノグチゲラ、イボイモリ、アマミノクロウサギといった希少種を捕食しているという報告を裏付けるものと考えられ、マングース対策の一層の強化が求められた。さらに、重金属類の蓄積植物であるコセンダングサを用いた水銀及び関連する微量元素レベルの分布において、やんばるでは塩屋湾周辺に開発にともなった水銀及び強毒性元素の高レベルが存在し、沖縄島全体では本部半島のセメント工場が水銀の発生源として機能している可能性が示唆された。

[キーワード] 水銀、重金属類、微量元素、マングース、生物増幅

1. はじめに

2004年に公布された外来生物法で特定外来生物に指定されているマングースは、南西諸島においてイボイモリやヤンバルクイナ、ノグチゲラ、アマミノクロウサギなど希少な固有種を捕食し、生存を脅かしている可能性が指摘されている¹⁾。これまで、沖縄県の沖縄島および鹿児島県の奄美大島といった島嶼部のみに分布が認識されていたが、2009年に九州本土である鹿児島市喜入地域で捕獲されていた個体がファイリマングースであることが確認された。これにより、現在我が国では3地域にマングースが侵入していることとなった。現在までに沖縄島は、最北部を除く全島で、奄美大島でも南部森林地帯および最北部を除く全島で本種の分布が拡大している。

我が国における本種の最も古い導入は、1910年に渡瀬庄三郎が英領印度の個体を沖縄島南部中心に放獣した13~17頭で、その後、1979年頃から奄美大島で目撃され始めた。この奄美大島のマングースは沖縄島から持ち込まれた可能性が高いとされ、鹿児島本土のマングースも同時期の導入が疑われている²⁾。原産国のインドでは本来、マングースは深い森に生息しないと言われている。しかし、沖縄島において分布拡大の大きな障壁と考えられていた沖縄島北部森林地帯（通称やんばる）への侵入や、大部分が森林地帯である奄美大島での分布拡大は、両島の森林環境が林道建設や伐採のため貧弱になったことと関係している可能性が指摘されている。

マングースの種の同定は、移入当時、*Herpestes mungo*もしくは*Herpestes griseus*とされたが、1980年代にはインドマングース*Herpestes edwardsii*と考えられた。その後、沖縄島に移入されたとされる原産地を含むインドマラヤ地域のマングースに関してCorbet & Hill³⁾が、ファイリマングース*Herpestes auropunctatus*とジャワマングース*Herpestes javanicus*を一括し、ジャワマングースとしていた。今年になり両種の遺伝子解析から、我が国に分布する種は前者と同定され²⁾、本研究は当初、ジャワマングースとしていた試料を、2010年からファイリマングースもしくはマングースと呼称した。

これまで、沖縄島やんばる地域および奄美大島に分布するマングースは、強毒性の地球環境汚染元素である水銀（Hg）を肝臓に高濃度で蓄積することが明らかとなっている⁴⁾。そのメカニズムとして、食物連鎖を介した生物増幅（Biomagnification）や、本種が必須元素Se（Se）と関連した特異な解毒機構を有すること、さらに類似の食性と考えられた座間味のニホンイタチ*Mustela itatsi*と異なり、換毛に伴うHg排泄がほとんどないこと⁵⁾などが明らかにされつつある。

また、マングースが濃縮するHgの蓄積メカニズムを理解する上で、Hgの起源推定が求められる。そもそもHgはどこからやってきたのか？ 本研究では、その解明のための一つのアプローチとして、関連すると考えられた約25種の微量元素分析を行い、それらの動態解析を行った。くわえて、やんばるを含む沖縄島におけるHgおよび微量元素レベルの分布把握を試みた。

とくに、マングースにまで至る南西諸島の生態系の入口として、土壌から直接、生物が利用可能な画分は植物により反映すると考え、蓄積植物の分析を行った。我々はHg汚染地の調査より、Hg蓄積植物はカドミウム（Cd）など重金属類一般の蓄積種と重なっていること、つまり、Hgの蓄積メカニズムはCdなどと類似していることを示唆した。コセンダングサは、熱帯アメリカ原産の一年生草本植物であり、世界的に暖帯から温帯に分布する農耕地雑草である。日本では本州中部以西の畑地、樹園地、牧草地、芝地、道端などに群生しているが、本種は外来生物法により要注意外来生物に指定されている。また、近年、本種はCdの“ハイパーアキュムレーター（超蓄積

種)”であることが報告された。つまり、悪環境に強い、生長が、高バイオマスであるという特性を有することからCdによる土壌汚染のレメディエーションへの利用が期待されている⁶⁾。また、台湾において微量元素モニタリングに本種を用いた調査も報告されている⁷⁾。

2. 研究目的

マングースのHg濃縮現象を、関係すると考えられる微量元素分析と併せ、生態系における食物連鎖からのメカニズムを包括的に理解することを目的として研究を遂行した。

本研究は大きく二つのパートよりなっているが、他地域のマングースの生態学的位置（ニッチ）を考慮した比較を行うことで、Hgおよび関連する微量元素のインプット解明を試みた前半部が主であり、南西諸島、とくにやんばるを中心とした沖縄島におけるHgおよび微量元素レベルの分布解明を試みた後者が従の関係となっている。

具体的には、研究開始直前の2009年春、九州本土でもマングースが確認されたことをうけ、これまでマングースの微量元素レベルが分析されていない地域、つまり九州本土（鹿児島本土）および沖縄県恩納村南部の個体におけるHgを含む微量元素レベルを解析した。このことから、本種のHg蓄積および必須元素を介した解毒がマングースに共通のものか確認し、さらに人為活動で放出される各種汚染元素を含む微量元素の蓄積傾向に差があるか、地域の特徴の検討を行った。

くわえて、マングースに至るHgの起源推定として、やんばるを含む沖縄島におけるHgおよび関連する微量元素レベルの分布解明を、指標植物を用いて行った。指標種として調査地域に広く分布していたコセンダングサを選択し、沖縄島をやんばる、北部、中部及び南部の4域に分類し、各地域で採取した本種のHg及び微量元素レベルを比較することで、やんばるにおける植物の毒性元素レベルの把握を試みた。さらに、やんばる以外の3地域における微量元素レベルについても検討し、地域によるHgを含めた微量元素分布の特徴を解析した。

3. 研究方法

(1) 試料

1) マングースのHg蓄積メカニズム解明のための動物試料

2007年から2009年にかけて以下の3地域から収集された、ファイリマングース *Herpestes auropunctatus* の筋肉、肝臓と腎臓を供試した。つまり、九州本土より鹿児島県鹿児島市喜入地域で捕獲された12個体（オス9、メス3検体：平均体重690±178g）、および沖縄県恩納村南部で捕獲された25個体（オス16、メス9検体：平均体重652±164g）、および、比較のため、沖縄県北部山林地帯（通称やんばる）で捕獲された49個体（オス23、メス25検体：平均体重472±165gおよび胎児1検体）である。それぞれの採取地点を図1に示す。

2) Hgおよび関連する微量元素の分布解明のための植物試料

2009年から2010年にかけて、以下の5地域から収集されたコセンダングサ *Bidens pilosa* L. の葉部を供試した。つまり、沖縄島北部森林地域（通称やんばる）の26地点、沖縄島北部（名護市、恩納村、今帰仁村など）の16地点、沖縄島中部（うるま市、沖縄市、嘉手納町など）の11地点、沖縄島南部（那覇市、糸満市、八重瀬町など）の13地点である（図2）。また、比較のため有害金属汚染地の群馬県安中市のZn精錬所周辺の4地点（東西南北の1地点ずつ）および非汚染の参考地と

して東京都府中市東京農工大学構内で採取したコセンダングサ数個体を用いた。

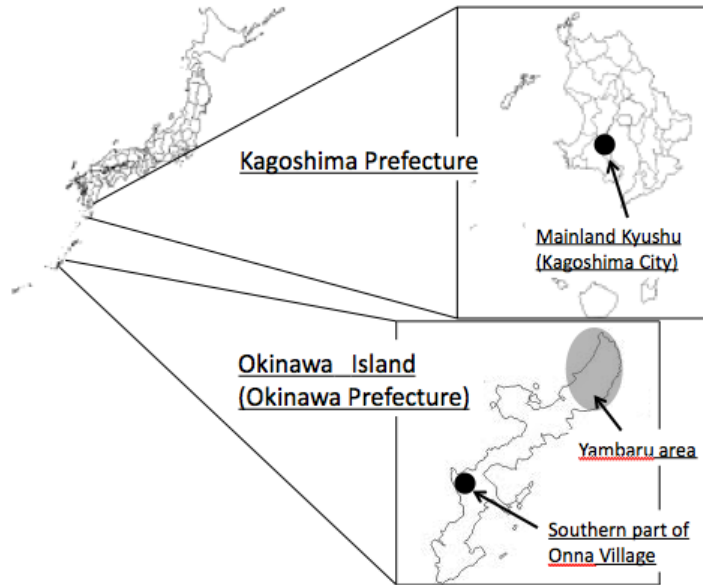


図1 鹿児島本土および沖縄島におけるマングースの採取場所

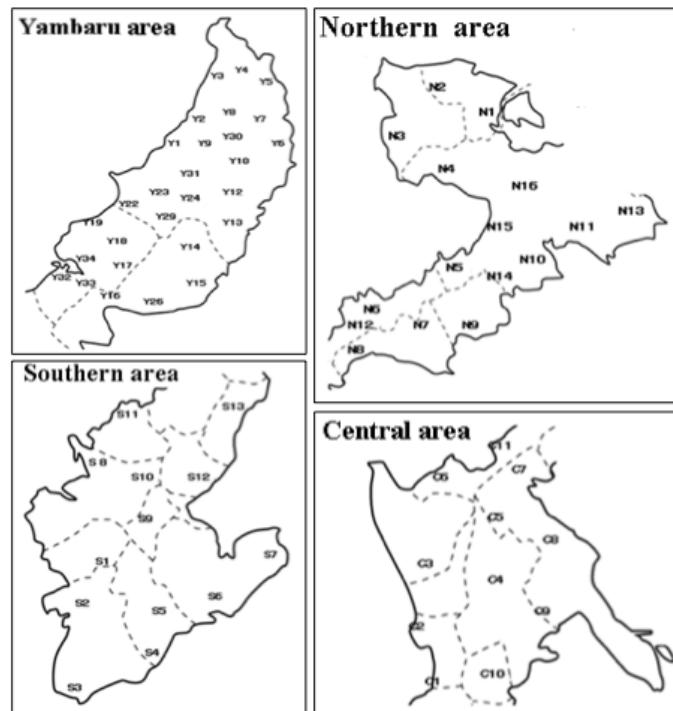


図2 沖縄島における重金属の蓄積植物コセンダングサの採取場所

(2) 方法

1) Hg及び関連する微量元素分析

各動物の組織・器官をステンレス製の器具を用い摘出し、湿重量を測定した。筋肉と肝臓、腎臓は2次汚染を避けるため表面周辺を取り除き供試した。各組織はフッ素樹脂シート上に乗せ、90°Cで16時間乾燥させ、乾重量の測定から水分含量を算出した。破碎後、乾燥試料を約0.100 g秤量し、テフロンPFA製バイアル内で高純度硝酸を2.0 mL添加した。このPFAバイアルを、テフロンPTFE製容器に密閉し、マイクロウェーブ分解を行った。灰化後、超純水を用いて、約25gに希釈し、精秤後、溶液試料とした。

採取した植物試料（コセンダングサ）は十分に水洗いを行い、葉表面の塵やごみを取り除いた後、蒸留水で軽く濯ぎ、水分を拭き取ったものを実験室に輸送した。輸送されサンプルは、動物試料と同様に50°Cで16時間乾燥し、破碎した後、乾燥試料を約0.200 g秤量し、高純度硝酸を2.0 mL添加した。その後、マイクロウェーブ分解を行い、灰化後、超純水を用いて、約17 gに希釈し、精秤後、溶液試料とした。

総Hg濃度は還元気化原子吸光度法（HG-300, 平沼産業）を用いて測定し、各分析精度は繰り返し分析で確認した。また、Hgの起源推定や特徴解析に用いた他の微量元素濃度はICP-MS（4500a, Agilent）を用い、23元素、つまりリチウム（⁷Li）、バナジウム（⁵¹V）、クロム（⁵²Cr）、マンガン（⁵⁵Mn）、鉄（⁵⁷Fe）、コバルト（⁵⁹Co）、ニッケル（⁶⁰Ni）、銅（⁶³Cu）、亜鉛（⁶⁶Zn）、ガリウム（⁶⁹Ga）、ヒ素（⁷⁵As）、Se（⁸²Se）、ルビジウム（⁸⁵Rb）、ストロンチウム（⁸⁸Sr）、モリブデン（⁹⁵Mo）、銀（¹⁰⁷Ag）、カドミウム（¹¹¹Cd）、インジウム（¹¹⁵In）、アンチモン（¹²¹Sb）、セシウム（¹³³Cs）、バリウム（¹³⁷Ba）、タリウム（²⁰⁵Tl）、および鉛（²⁰⁸Pb）濃度について検量線法を用い定量した。また、栄養状態の参考として多量元素であるマグネシウム（²⁴Mg）とカルシウム（⁴³Ca）濃度も測定した。

2) 統計処理

データの処理は得られた濃度を対数変換にて標準化し、SPSS ver. 11.0 for Macを用い、2変量の相関はSpearmanの順位相関検定で、またグループ間の比較は、3グループについてKruskal Wallis法で差異の存在を検定した後、それぞれの差をMann-Whitney U-testで検定した。さらに多元素間の関係解析は、順位による標準化を行った後、クラスター分析を行った。

4. 結果・考察

(1) 食物網を通じたマンガースのHg蓄積メカニズムの解明

1) 3地域で捕獲された本種の筋肉、肝臓と腎臓におけるレベル

九州本土（鹿児島本土）および沖縄県沖縄島の2地点（恩納村南部とやんばる）で捕獲されたマンガースのHgおよび微量元素濃度を表1、2および3に示す。

分析されたマンガース体内の26元素濃度（ μ g/g乾重あたり）の順位は、九州本土の個体で以下であった。

筋肉：Fe > Zn > Rb > Cu > Hg > Mn > Se > Cr > Cs > Sr > Ba > As > Mo > Ag > Ni > Li > V > Pb > Tl > Sb > Co > Ga > Cd > In

肝臓：Fe > Zn > Rb > Cu > Mn > Hg > Se > Mo > Cd > Cr > Cs > Sr > V > Pb > As > Co > Li > Ba > Ag

> Sb > Tl > Ni > Ga > In

腎臓 : Fe > Zn > Rb > Cu > Se > Hg > Mn > Cd > Mo > Cr > Cs > Sr > Pb > As > Li > V > Co > Tl > Ba
> Sb > Ni > Ga > Ag > In

また、沖縄島の恩納村南部で捕獲された個体に関しては以下の濃度順位であった。

筋肉 : Fe > Zn > Rb > Cu > Se > Cr > Mn > Hg > As > Sr > Cs > Ag > Mo > Cd > V · Pb > Ba > Sb >
Ni > Co > Ga > Tl > Li > In

肝臓 : Fe > Zn > Cu > Rb > Mn > Cd > Se > Mo > Hg > Pb > Cr > As > V > Sb > Co > Sr > Cs > Ag >
Ba > Ni > Ga > In > Tl > Li

腎臓 : Fe > Zn > Cd > Rb > Cu > Se > Mn > Pb > Mo · Cr > Hg > Sr > As > V > Ba > Cs > Co > Ni > Tl
> Ag > Sb > Li > Ga > In

さらに、先行研究で分析された、やんばるの個体における濃度順位は以下であった。

筋肉 : Zn > Fe > Rb > Cu > Cr > Hg > Se > Mn > As > Sr > Mo > Cs > Li > Ni > V > Ag > Co > Pb > Cd
> Ba > Tl > Ga > In > Sb

肝臓 : Fe > Zn > Cu > Se > Rb > Mn > Hg > Cr > Mo > Pb > Cd > Ag > Sr > Co > V > Cs > Ni > Ba >
Li > Tl > Ga > In > As, Sb

腎臓 : Fe > Zn > Cu > Rb > Se > Hg > Cr > Mn > Pb > Cd > Ni > Sr > Mo > V > Cs > Li > Co > Ba > Ga,
As, Ag, In, Sb, Tl

組織間の濃度順位の特徴を地域別にみると、九州本土の個体において筋肉で最も高値を示した元素はアルカリ・アルカリ土類金属のMg、Ca、Rb、Sr、CsおよびBaと、Cr、Ni、Ga、Ag、InやSbであった。肝臓で高濃度であった元素はHgや他の強毒性元素Pb、Asに加え必須元素V、Mn、Fe、Co、Cu、Zn、Se、Moであった。一方、腎臓で高濃度であったのはLiとCd、Tlであった。

恩納村南部の個体は筋肉でMg、Cr、AgおよびCsが肝臓と腎臓に比べ高濃度で検出され、肝臓ではHgに加え汚染元素Pb、InやSb、必須元素V、Mn、Fe、Co、Cu、Zn、MoやGa、Rbが高かった。また、腎臓で高濃度がみられた元素はアルカリ・アルカリ土類金属Li、Ca、SrとBaで、またNi、As、Se、Cd、Tlが高値を示した。やんばるの個体は、筋肉でアルカリ・アルカリ土類金属のLi、Mg、Ca、Rb、Sr、Cs、BaとV、Cr、Ga、As、Inが他の2組織より平均値および最高値で高濃度を示す傾向がみられ、肝臓ではHgにくわえ強毒性元素Ag、Cd、Tl、Pb、さらに必須元素Mn、Fe、Co、Cu、Zn、Se、Moが比較的高値であった。腎臓で最も高かったのはNiとPbだった。

これまで野生動物の体内において、毒性元素であるHgやPb、また多くの必須元素濃度は肝臓で高いことが知られ、アルカリ金属とアルカリ土類金属は筋肉中に比較的高レベルで保持されることが報告されている⁸⁾。3地域で採取された本種でみられたパターンも多くはそれらに類似していた。しかし、やんばるの個体はCdの主要な蓄積器官として知られる腎臓での高蓄積が認められなかった（鹿児島本土の個体は腎/肝比が約4、恩納村南部は約5であった）。また、比較的強い毒性が知られるAgとTlはやんばる個体の肝臓で高値であったが、他の2地域では筋肉および腎臓に高濃度であった。Asは3地域で高濃度を示した部位が異なり、鹿児島本土では肝臓に、やんばるでは筋肉、恩納村南部では腎臓に、他の2組織より高濃度が認められた。恩納村南部の個体はアルカリ・アルカリ土類金属を腎臓で蓄積しやすく、また肝臓にInやSbといった強毒性元素を比較的高いレベルで蓄積する一方、Hg解毒のため濃度上昇することが知られるSeは腎臓で高いといった地域の特徴が認められた。

表1 鹿児島本土で捕獲されたマンブーの微量元素濃度 (on $\mu\text{g/g}$ dry weight basis).

		Li	Mg	Ca	V	Cr	Mn	Fe
Muscle	Mean±S.D.	0.059 ± 0.008	1480 ± 101	226 ± 193	0.053 ± 0.031	0.99 ± 0.26	1.3 ± 0.2	156 ± 14
	Min.-Max.	0.052 - 0.067	1410 - 1600	114 - 449	0.024 - 0.085	0.74 - 1.27	1.0 - 1.4	141 - 169
	<i>n</i>	3	3	3	3	3	3	3
Liver	Mean±S.D.	0.041 ± 0.034	801 ± 143	150 ± 63	0.22 ± 0.11	0.41 ± 0.12	13 ± 3	838 ± 237
	Min.-Max.	0.015 - 0.112	658 - 1140	92 - 322	0.05 - 0.41	0.20 - 0.62	9 - 18	533 - 1320
	<i>n</i>	12	12	12	12	12	12	12
Kidney	Mean±S.D.	0.12 ± 0.04	588 ± 190	149 ± 54	0.099 ± 0.058	0.49 ± 0.26	3.3 ± 1.1	405 ± 122
	Min.-Max.	0.08 - 0.23	392 - 1050	78 - 245	0.028 - 0.247	0.16 - 1.15	1.8 - 5.2	161 - 588
	<i>n</i>	12	12	12	12	12	12	12
		Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Se
Muscle	Mean±S.D.	0.026 ± 0.007	0.063 ± 0.051	7.2 ± 0.3	153 ± 71	0.018 ± 0.005	0.11 ± 0.02	1.1 ± 0.2
	Min.-Max.	0.021 - 0.034	0.024 - 0.121	6.9 - 7.5	110 - 236	0.012 - 0.021	0.08 - 0.13	1.0 - 1.3
	<i>n</i>	3	3	3	3	3	3	3
Liver	Mean±S.D.	0.10 ± 0.03	0.019 ± 0.007	45 ± 25	172 ± 27	0.016 ± 0.006	0.15 ± 0.04	8.8 ± 5.5
	Min.-Max.	0.05 - 0.16	0.009 - 0.031	15 - 112	137 - 220	0.009 - 0.028	0.08 - 0.23	2.0 - 18.8
	<i>n</i>	12	12	12	12	12	12	12
Kidney	Mean±S.D.	0.094 ± 0.038	0.022 ± 0.010	14 ± 4	84 ± 24	0.007 ± 0.003	0.13 ± 0.05	7.6 ± 3.2
	Min.-Max.	0.058 - 0.189	0.010 - 0.043	8 - 20	51 - 125	0.003 - 0.013	0.05 - 0.21	2.6 - 13.7
	<i>n</i>	12	12	12	12	12	12	12
		Rb	Sr	Mo	Ag	Cd	In	Sb
Muscle	Mean±S.D.	85 ± 20	0.39 ± 0.34	0.07 ± 0.01	0.071 ± 0.077	0.014 ± 0.005	0.004 ± 0.001	0.036 ± 0.002
	Min.-Max.	71 - 107	0.19 - 0.79	0.06 - 0.08	0.022 - 0.159	0.008 - 0.018	0.003 - 0.005	0.033 - 0.038
	<i>n</i>	3	3	3	3	3	3	3
Liver	Mean±S.D.	56 ± 13	0.33 ± 0.48	1.9 ± 0.5	0.036 ± 0.054	0.63 ± 0.31	0.002 ± 0.002	0.033 ± 0.021
	Min.-Max.	40 - 78	0.08 - 1.82	1.2 - 3.0	0.0001 - 0.191	0.07 - 1.29	0.00001 - 0.006	0.011 - 0.080
	<i>n</i>	12	12	12	12	12	12	12
Kidney	Mean±S.D.	47 ± 13	0.30 ± 0.29	0.96 ± 0.37	0.003 ± 0.010	2.4 ± 1.7	0.001 ± 0.001	0.028 ± 0.048
	Min.-Max.	27 - 71	0.11 - 1.15	0.50 - 1.65	0.0001 - 0.034	0.3 - 6.5	0.00001 - 0.002	0.006 - 0.179
	<i>n</i>	12	12	12	12	12	12	12
		Cs	Ba	Hg	Tl	Pb		
Muscle	Mean±S.D.	0.76 ± 0.12	0.14 ± 0.07	3.0 ± 0.6	0.041 ± 0.009	0.05 ± 0.05		
	Min.-Max.	0.66 - 0.90	0.08 - 0.21	2.4 - 3.7	0.031 - 0.048	0.01 - 0.11		
	<i>n</i>	3	3	3	3	3		
Liver	Mean±S.D.	0.34 ± 0.16	0.038 ± 0.031	12 ± 11	0.023 ± 0.010	0.18 ± 0.07		
	Min.-Max.	0.16 - 0.70	0.007 - 0.091	0 - 37	0.013 - 0.041	0.06 - 0.36		
	<i>n</i>	12	12	12	12	12		
Kidney	Mean±S.D.	0.39 ± 0.12	0.056 ± 0.040	4.4 ± 2.3	0.057 ± 0.020	0.16 ± 0.14		
	Min.-Max.	0.20 - 0.64	0.022 - 0.149	0.3 - 8.4	0.033 - 0.108	0.05 - 0.57		
	<i>n</i>	12	12	12	12	12		

表2 沖縄島恩納村南部で捕獲されたマングースの微量元素濃度 (on $\mu\text{g/g}$ dry weight basis).

		Li	Mg	Ca	V	Cr	Mn	Fe
Muscle	Mean±S.D.	0.012 ± 0.016	1590 ± 791	179 ± 129	0.08 ± 0.07	1.5 ± 0.8	0.7 ± 0.3	132 ± 102
	Min.-Max.	0.0001 - 0.052	475 - 2820	36 - 563	0.01 - 0.30	0.7 - 4.4	0.3 - 1.5	35 - 472
	<i>n</i>	25	25	25	25	25	25	25
Liver	Mean±S.D.	0.007 ± 0.009	951 ± 516	139 ± 151	0.36 ± 0.30	0.8 ± 0.5	12.2 ± 6.1	1060 ± 1090
	Min.-Max.	0.0001 - 0.027	329 - 1890	33 - 750	0.06 - 1.26	0.2 - 2.5	4.5 - 25.8	245 - 5500
	<i>n</i>	24	24	24	24	24	24	24
Kidney	Mean±S.D.	0.024 ± 0.016	1070 ± 584	543 ± 689	0.29 ± 0.22	1.4 ± 0.8	5.4 ± 2.7	459 ± 358
	Min.-Max.	0.0001 - 0.066	46 - 1920	10 - 2960	0.01 - 0.82	0.1 - 2.8	0.3 - 10.2	16 - 1420
	<i>n</i>	25	25	25	25	25	25	25
		Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Se
Muscle	Mean±S.D.	0.02 ± 0.02	0.036 ± 0.026	5.6 ± 2.6	107 ± 57	0.022 ± 0.016	0.33 ± 0.21	1.5 ± 0.7
	Min.-Max.	0.01 - 0.09	0.003 - 0.104	2.3 - 10.5	53 - 295	0.003 - 0.051	0.08 - 0.81	0.3 - 3.0
	<i>n</i>	25	25	25	25	25	25	25
Liver	Mean±S.D.	0.19 ± 0.14	0.034 ± 0.026	113 ± 111	271 ± 158	0.028 ± 0.019	0.39 ± 0.20	5.7 ± 3.0
	Min.-Max.	0.05 - 0.61	0.002 - 0.107	10 - 517	119 - 823	0.005 - 0.068	0.12 - 0.69	1.5 - 11.7
	<i>n</i>	24	24	24	24	24	24	24
Kidney	Mean±S.D.	0.18 ± 0.10	0.088 ± 0.078	23 ± 13	207 ± 142	0.024 ± 0.027	0.65 ± 0.33	9.3 ± 4.2
	Min.-Max.	0.01 - 0.42	0.004 - 0.310	1 - 54	13 - 569	0.002 - 0.135	0.11 - 1.21	0.8 - 17.3
	<i>n</i>	25	25	25	25	25	25	25
		Rb	Sr	Mo	Ag	Cd	In	Sb
Muscle	Mean±S.D.	41 ± 12	0.28 ± 0.46	0.12 ± 0.05	0.14 ± 0.16	0.11 ± 0.16	0.011 ± 0.010	0.040 ± 0.024
	Min.-Max.	20 - 74	0.04 - 2.31	0.05 - 0.22	0.0001 - 0.66	0.01 - 0.76	0.00001 - 0.037	0.006 - 0.113
	<i>n</i>	25	25	25	25	25	25	25
Liver	Mean±S.D.	43 ± 17	0.16 ± 0.14	3.3 ± 2.2	0.05 ± 0.04	8.9 ± 8.9	0.020 ± 0.022	0.229 ± 0.175
	Min.-Max.	21 - 88	0.03 - 0.69	1.2 - 9.9	0.001 - 0.16	0.7 - 39.3	0.002 - 0.110	0.064 - 0.790
	<i>n</i>	24	24	24	24	24	24	24
Kidney	Mean±S.D.	40 ± 17	0.86 ± 1.48	1.4 ± 0.6	0.03 ± 0.05	49 ± 44	0.011 ± 0.010	0.030 ± 0.023
	Min.-Max.	4 - 82	0.02 - 7.28	0.1 - 2.7	0.0001 - 0.21	3 - 154	0.002 - 0.053	0.003 - 0.084
	<i>n</i>	25	25	25	25	25	25	25
		Cs	Ba	Hg	Tl	Pb		
Muscle	Mean±S.D.	0.27 ± 0.08	0.051 ± 0.044	0.37 ± 0.43	0.019 ± 0.012	0.081 ± 0.091		
	Min.-Max.	0.12 - 0.45	0.001 - 0.209	0.01 - 1.79	0.008 - 0.055	0.015 - 0.463		
	<i>n</i>	25	25	25	25	25		
Liver	Mean±S.D.	0.15 ± 0.09	0.048 ± 0.046	3.13 ± 3.59	0.019 ± 0.011	2.5 ± 4.7		
	Min.-Max.	0.06 - 0.49	0.007 - 0.228	0.07 - 14.10	0.006 - 0.054	0.1 - 23.6		
	<i>n</i>	24	24	24	24	24		
Kidney	Mean±S.D.	0.21 ± 0.09	0.25 ± 0.45	0.97 ± 0.72	0.039 ± 0.030	1.6 ± 1.8		
	Min.-Max.	0.02 - 0.47	0.01 - 2.23	0.12 - 2.32	0.006 - 0.143	0.1 - 8.5		
	<i>n</i>	25	25	25	25	25		

表3 沖縄島北部森林地帯(やんぼる)で捕獲されたマンガースの微量元素濃度 (on $\mu\text{g/g}$ dry weight basis).

		Li	Mg	Ca	V	Cr	Mn	Fe
Muscle	mean \pm SD	0.12 \pm 0.06	994 \pm 125	244 \pm 285	0.081 \pm 0.064	3.1 \pm 2.0	0.79 \pm 0.25	82 \pm 20
	min-max	0.02-0.27	688-1370	80-2150	0.029-0.408	1.6-12.4	0.48-2.11	33-144
	n	46	49	49	49	49	49	49
Liver	mean \pm SD	0.027 \pm 0.013	615 \pm 71	174 \pm 90	0.11 \pm 0.09	3.0 \pm 1.8	10 \pm 2.8	663 \pm 189
	min-max	0.001-0.060	492-861	65-708	0.02-0.37	1.8-10.1	4.7-22	307-1210
	n	39	49	49	49	49	49	49
Kidney	mean \pm SD	0.060 \pm 0.037	694 \pm 140	254 \pm 135	0.18 \pm 0.12	6.2 \pm 2.2	3.8 \pm 0.8	276 \pm 77
	min-max	0.016-0.083	539-986	165-624	0.06-0.41	4.2-10.1	2.5-5.0	161-403
	n	3	10	10	10	10	10	10
		Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Se
Muscle	mean \pm SD	0.047 \pm 0.025	0.11 \pm 0.21	6.5 \pm 1.6	94 \pm 22	0.010 \pm 0.008	0.54	1.6 \pm 0.7
	min-max	0.002-0.117	0.02-1.42	4.6-14.6	49-153	0.002-0.058		0.7-3.7
	n	45	49	49	49	44	1	49
Liver	mean \pm SD	0.17 \pm 0.14	0.045 \pm 0.10	29 \pm 19	198 \pm 211	0.004 \pm 0.003	N.D.	22 \pm 37
	min-max	0.02-0.89	0.005-0.649	14-132	101-1250	0.0004-0.012		2-154
	n	48	48	49	49	39	0	49
Kidney	mean \pm SD	0.051 \pm 0.030	0.57 \pm 0.68	23 \pm 12	259 \pm 286	N.D.	N.D.	7.3 \pm 1.9
	min-max	0.006-0.083	0.03-2.07	15-55	79-872			3.0-9.5
	n	8	9	10	10	0	0	10
		Pb	Sr	Mo	Ag	Cd	In	Sb
Muscle	mean \pm SD	21 \pm 7	0.43 \pm 0.42	0.19 \pm 0.13	0.050 \pm 0.020	0.045 \pm 0.022	0.009 \pm 0.006	N.D.
	min-max	8-44	0.09-2.97	0.02-0.64	0.036-0.064	0.015-0.094	0.002-0.036	
	n	49	49	41	2	40	41	0
Liver	mean \pm SD	16 \pm 6	0.37 \pm 0.20	1.2 \pm 0.4	0.44 \pm 0.33	0.82 \pm 1.07	0.001 \pm 0.001	N.D.
	min-max	7-36	0.07-1.13	0.5-2.3	0.07-1.03	0.02-4.88	0.0002-0.005	
	n	49	48	49	10	47	37	0
Kidney	mean \pm SD	21 \pm 7	0.45 \pm 0.21	0.42 \pm 0.10	N.D.	1.4 \pm 1.4	N.D.	N.D.
	min-max	8-29	0.02-0.66	0.33-0.65		0.1-3.7		
	n	10	9	9	0	9	0	0
		Cs	Ba	Hg	Tl	Pb		
Muscle	mean \pm SD	0.13 \pm 0.06	0.045 \pm 0.152	5.0 \pm 4.3	0.011 \pm 0.004	0.045 \pm 0.026		
	min-max	0.04-0.44	0.002-0.950	0.2-17.7	0.001-0.021	0.011-0.106		
	n	49	38	47	41	42		
Liver	mean \pm SD	0.058 \pm 0.035	0.035 \pm 0.035	44 \pm 79	0.009 \pm 0.005	0.85 \pm 2.2		
	min-max	0.005-0.237	0.003-0.145	1-351	0.003-0.028	0.10-15.1		
	n	47	24	45	39	49		
Kidney	mean \pm SD	0.062 \pm 0.040	0.028 \pm 0.037	14 \pm 9	N.D.	1.8 \pm 4.0		
	min-max	0.025-0.124	0.001-0.107	5-31		0.1-13.0		
	n	8	7	10	0	10		

微量元素分布における組織間の差は、これまで毒性評価の試みに用いられてきた。つまり、HgやCdは体内に高濃度で蓄積する場合、それぞれの標的部位である腎臓や肝臓に濃縮され、あるレベル以上で毒性を発現する。さらにCdは実際の障害が起こると、腎臓/肝臓の濃度比が逆転することが知られている。本報で明らかになった、Hgをはじめとする微量元素の3地域における組織間分

布の差は、それぞれの地域における微量元素の潜在的なリスクを表している可能性があり、今後の詳細な検討が待たれる。

2) 3地点間の比較 ～Hg濃縮メカニズムの差異～

九州本土（鹿児島本土）および沖縄県恩納村南部、やんばる地域のマングース体内に蓄積した微量元素レベルを比較した。その結果、Hgは3組織で有意な地域差が認められた（Kruskal Wallis testによる）。さらに関係すると考えられる微量元素は25元素中、筋肉でLi、Mg、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Ga、As、Rb、Sr、Ag、Cd、Sb、Cs、Ba、TlとPbの19元素に、肝臓でLi、Mg、Ca、V、Cr、Mn、Ni、Cu、Zn、Ga、As、Se、Rb、Sr、Ag、Cd、Sb、Cs、Ba、TlとPbの21元素に、腎臓ではLi、Ca、V、Cr、Mn、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、As、Rb、Mo、Ag、Cd、In、Sb、Cs、Ba、TlとPbの21元素に有意な地域差が認められた（いずれもKruskal Wallis testによる）。

とくにHg以外の汚染元素に注目すると、Asは筋肉でやんばる>恩納村南部>九州本土、肝臓と腎臓で恩納村南部>九州本土>やんばるの差が有意であった（ $p<0.05$ ；以下、2グループ間の差はいずれもMann-Whitney U-testによる）。自然由来のAs負荷は主に火山活動によるものと、鉱山や鉱床の風化などにより高濃度のAsを含む地下水や土壌が形成されることによる。ここで、沖縄本島の米軍基地の排水がAsやCd、Hg、Pbといった汚染物質を高濃度で含むことが報告され⁹⁾、嘉手納海域ではヒラアジで、日本の一般的なアジの濃度0.25-3.25 ppm（ $\mu\text{g/g}$ と同じ）を超える8.3 ppmという値が報告されている¹⁰⁾。

Cdは筋肉、肝臓および腎臓のいずれにおいても、以下の地域差が有意であった。恩納村南部>九州本土（ $p<0.05$ ）、恩納村南部>やんばる（ $p<0.05$ ）。九州本土の個体が採取された鹿児島市が面している鹿児島湾は、過去に火山活動由来の温泉水経路でCdやPb等の重金属類が流入しているという報告がなされている¹¹⁾。しかし、Cd濃度は恩納村南部の個体で極めて高く、腎臓の最高濃度は150 $\mu\text{g/g}$ DWを超えた。一般に、成人における肝臓のCd濃度は2-3ppmが通常とされ、恩納村南部のマングースのレベルは肝臓のレベルでも明らかに高いと結論された。

Sbは筋肉で九州本土>やんばる、恩納村南部>やんばるの濃度差が、肝臓では恩納村南部>九州本土>やんばる、腎臓では恩納村南部>九州本土、恩納村南部>やんばるの濃度差が有意であった（ $p<0.05$ ）。Sbはプラスチックの難燃助剤として添加され、近年、汚染の進行が懸念されている。また、鉛玉には被削性や耐磨耗性といった硬度増強のためSbを添加していることが知られ、野生鳥類から一定の濃度比で検出されている。蓄積部位と考えられる肝臓で恩納村南部の個体が高濃度であったことは、この地域に汚染源が存在することを示唆していると考えられた。

Pbは筋肉で恩納村南部>やんばる、肝臓で恩納村南部>やんばる>九州本土、腎臓でやんばる>恩納村南部>九州本土の濃度差が有意で（ $p<0.05$ ）九州本土の個体は低かった。PbもまたCdやAs、Hgと共に沖縄の米軍基地排水に高濃度であったことが報告されている⁹⁾。地域の生態系において比較的高次に位置するオオジョロウグモを含んだクモ類の分析においても、恩納村南部付近の沖縄島中部ではPbに加えCd濃度が高く、やんばる地域ではHg濃度が高かった（表4）。この結果は、恩納村南部など米軍基地に近い地点でPbおよびCdレベルが高い可能性を支持していると考えられた。

Hgは筋肉と肝臓でやんばる>恩納村南部、九州本土>恩納村南部、腎臓でやんばる>九州本

土>恩納村南部の差が有意であり ($p < 0.05$)、恩納村南部が最も低かった。これまで、恩納村に

表4 沖縄島中部周辺及びやんばるのクモ類における毒性元素濃度
($\mu\text{g/g}$ on dry weight)

	Central	Yambaru
As	0.86 \pm 0.98	0.94 \pm 1.62
n	(3)	(3)
Se	0.84 \pm 0.21	1.9 \pm 1.5
n	(8)	(6)
Cd	2.4 \pm 1.7	1.5 \pm 0.9
n	(8)	(6)
Hg	0.27 \pm 0.06	0.67 \pm 0.53
n	(8)	(6)
Pb	0.23 \pm 0.18	0.039 \pm 0.062
n	(7)	(2)

近い沖縄市において井戸水から基準値 ($<0.0005 \text{ mg/L}$) を超える Hg が検出され、その原因に自然涌昇が指摘されている¹²⁾。そのため、沖縄市に近い恩納村南部の高濃度が予想されたが、3地域のうち最も低い濃度であった。鹿児島市で採取された個体の濃度には火山の影響が考えられたが、やんばる地域より低かった。これまでマングースの特異的な Hg 蓄積が認められたやんばる地域から得られた個体は、本報で供試したものの中で平均体重は最も小さかった。しかし、Hg レベルは比較した 3 地域で最も高濃度であった。この原因として、それぞれの地点における Hg バックグランド・レベルの違いとともに、以下に示すように食物網の次数、つまり食物連鎖の長さとの関与が推察された。マングースが捕獲された恩納村南部および鹿児島市内の個体は、比較的人間活動に近い場所に生息している。そのため、おもに低次の昆虫類等を摂食していることが考えられる。とくに、鹿児島本土の個体は消化管内容物における昆虫類の絶対出現頻度（全捕獲個体）が、季節的な変動があるものの、9 割を占めており、沖縄島や奄美大島の場合よりも高い傾向が認められる。先に高濃度が報告された奄美大島およびやんばるで、本種は先行研究である RF-085 で明らかにした比較的 Hg レベルの高い野生の鳥類や哺乳類など、より高次の脊椎動物等を摂食しており、生物増幅が進んだ結果、やんばるでは Hg が高濃度になったと考えられた。ここで、小倉ら¹⁾はやんばるの南部となる名護市北部のマングースの食性を報告している。その結果、やんばるの地域に隣接した、マングースの侵入から 10 年以上たった地域では、本種の食性がやんばるの個体と異なり、昆虫食主体であった。つまり、やんばるに侵入したマングースは生態系の高次に位置する小動物を比較的多く餌資源としていると考えられ、さらに侵入から年数がたつと、昆虫食主体へと変化し、Hg レベルに変化が生じる可能性が推察された。

以上の傾向をまとめると、沖縄島北部森林地帯に生息するマングースは Hg のみが高濃度であり、恩納村南部の個体は As や Cd、Pb といった強毒性の汚染元素レベルが高いと結論された。生物学的半減期が長い汚染元素 Hg と Cd は、その肝臓における濃度比を検討することで、種の餌嗜好性やその履歴推定に用いられてきた。マングースでは興味深いことに、同種でありながら地域によって Hg/Cd 比が著しく異なっており、個体群による食性の違いが支持された（図3）。また、鹿児島本

土のマンガースは、微量元素蓄積の傾向として恩納村南部に類似しており、クラスター分析の結果、筋肉、肝臓および腎臓ともに両地域が同一クラスターを形成し、やんばるとは異なっていた。一例として肝臓におけるPb-Asの関係を見ると、Asがより卓越する恩納村南部型の蓄積を示した(図4)。

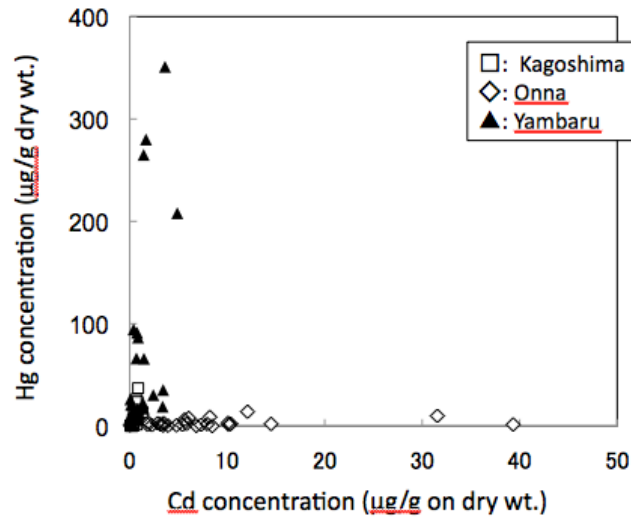


図3 鹿児島本土および沖縄島(恩納村南部およびやんばる)で採取されたマンガースの肝臓における水銀とカドミウム濃度の関係

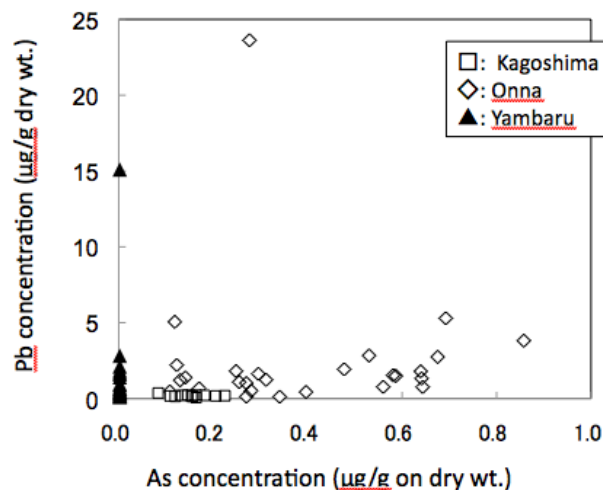


図4 鹿児島本土および沖縄島(恩納村南部およびやんばる)で採取されたマンガースの肝臓におけるヒ素と鉛濃度の関係

3地点における26元素蓄積の特徴を明らかにするためクラスター分析を行い、元素間関係の検討を行った。その結果、比較的強い毒性を有する汚染元素が同一クラスターを形成する傾向がみられた。以下に各地域で同一クラスターを形成した毒性元素についてまとめる。

九州本土

- 筋肉：[Tl, Sb][Cd, As, Pb]
- 肝臓：[Hg, Cd] [As, Pb, Tl]
- 腎臓：[Hg, Cd] [As, Pb, Tl]

恩納村南部

- 筋肉：[Hg, As][Tl, Pb, Sb, Cd]
- 肝臓：[Hg, Pb, Cd] [Sb, As]
- 腎臓：[Sb, Tl, As, Cd, Pb]

やんばる

- 筋肉：[Cd, As, Pb, Tl, Sb]
- 肝臓：[As, Sb, Tl][Cd, Pb]
- 腎臓：[As, Sb, Tl][Cd, Pb]

とくに、多くの重金属類の主要な蓄積器官である肝臓の結果をみると（図5）、Hgはいずれの地域でも、解毒のため強い相関を示すSeと同一クラスターに属していた。しかし、九州本土、やん

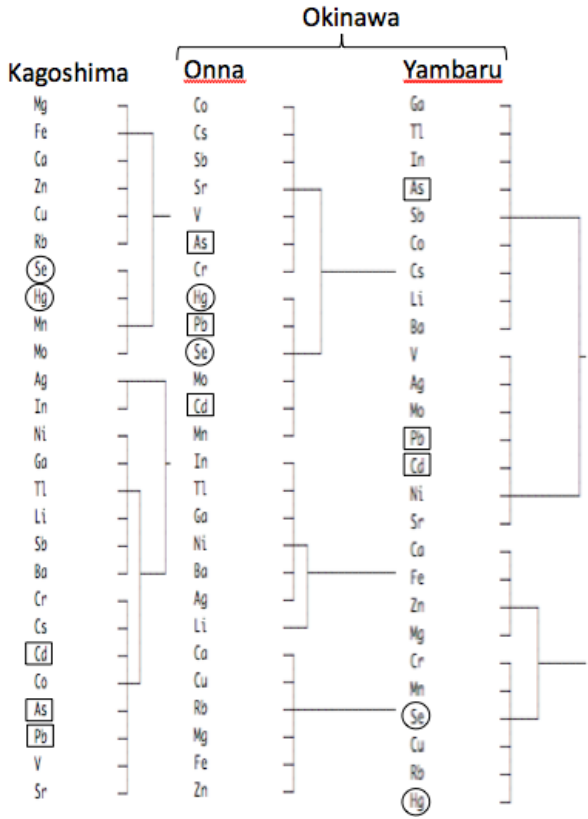


図5 鹿児島本土および沖縄島(恩納村南部およびやんばる)で捕獲されたマングースの肝臓における微量元素濃度の関係(強毒性元素は囲い文字)

ばるでは他の汚染元素PbやCd、AsとHgは別クラスターに属していた。一方で、恩納村南部でHgはPbやCd、Asと同一クラスターを形成した。同一クラスター内の微量元素は類似した挙動を示すと判断され、この場合、類似の経路で曝露されている可能性が示された。九州本土では、AsがPbやCdと同一クラスターを形成し、汚染元素として類似の挙動をとることが推察されたのに対し、沖縄島の2地域でAsはPbおよびCdとは異なるクラスターに属しており特徴的といえた。また、汚染元素PbとCdは地殻由来の必須元素FeやMg、Ca、Zn、Cuと離れたクラスターを形成していたが、Hgはやんばる及び九州本土において、これら必須元素と近いクラスターに属していた。これらの結果から、とくに沖縄北部の豊かな森林地帯であるやんばるの生態系では、マングースは他の栄養元素とともにHgを餌由来で生物増幅され摂取するのに対し、恩納村南部では、元素の複合汚染に直接曝露される無脊椎動物を摂取するため、Hgの特異な濃縮が起きず、一方で他の汚染元素PbおよびCdと類似した蓄積パターンを示すことが考えられた。

(2) 植物を用いた沖縄島およびやんばる地域におけるHg分布の解明

・沖縄島の各地域における微量元素レベル

やんばる、沖縄島北部、沖縄島中部、沖縄島南部および群馬県安中市の5地域のコセンダングサ葉部の微量元素濃度を表5に示す。

分析されたコセンダングサ葉部の26元素濃度の中央値による順位は、以下であった。

やんばる：Ca>Mg>Fe>Mn>Sr>Zn>Rb>Cu>Ba>Cr>Ni>Mo>Pb>Li>Cd>V>Co>Ga>Cs>Hg>As, Se, Ag, In, Sb, Tl

北部：Ca>Mg>Fe>Zn>Mn>Sr>Cu>Rb>Ba>Pb>Mo>Ni>Li>Cd>Se>As>Ga>Cr>Co>V>Cs>Hg>Sb>Tl>Ag, In

中部：Ca>Mg>Fe>Zn>Sr>Mn>Rb>Cu>Ba>Mo>Ni>Li>Cd>Pb>Se>Ga>Cs>Co>Cr>As>V>Tl>Hg>Sb>Ag, In

南部：Ca>Mg>Fe>Mn>Sr>Zn>Cu>Rb>Ba>Li>Mo>Pb>Ni>Cd>Cr>Ga>Se>As>Co>V>Cs>Sb>Hg>Tl>Ag, In

安中：Ca>Mg>Fe>Zn>Sr>Mn>Rb>Cd>Cu>Ba>Pb>Mo>Ni>Ga>Se>Li>Cr>As>Hg>Tl>Co>Sb>V>Ag, In, Cs

また、HgをはじめとするCd、Pbなどの毒性元素について、各地域の中央値による順位は以下であった。

Hg：北部>やんばる>中部>南部（Mann-WhitneyのU検定により、やんばると中部、やんばると南部、北部と中部の間に $p<0.05$ で有意差あり）

As：北部>南部>中部>やんばる（Mann-WhitneyのU検定により、北部とやんばる、中部とやんばる、南部とやんばるの間に $p<0.05$ で有意差あり）

Se：中部>北部>南部>やんばる（Mann-WhitneyのU検定により、中部とやんばる、中部と南部、北部とやんばる、南部とやんばるの間に $p<0.05$ で有意差あり）

Cd：南部>中部>やんばる>北部（Mann-WhitneyのU検定により、南部とやんばる、南部と北部の間に $p<0.05$ で有意差あり）

Sb：北部>南部>中部>やんばる（Mann-WhitneyのU検定により、北部とやんばる、中部とやんばる、南部とやんばるの間に $p<0.05$ で有意差あり）

表5 沖縄島のコセンダングサ葉部における微量元素濃度 (on µg/g dry weight basis).

Area		Li	Mg	Ca	V	Cr
Yambaru area	Average ±S.D.	0.549 ± 0.708	4450 ± 1171	14196 ± 3278	0.200 ± 0.225	7.93 ± 11.1
	Median	0.302	4240	13607	0.151	3.63
	Min.-Max.	0.0331 - 3.44	3003 - 7591	7862 - 21936	0.0264 - 1.19	0.152 - 52.2
Northern area	Average ±S.D.	0.846 ± 1.43	4983 ± 2382	23982 ± 5636	0.144 ± 0.0950	0.375 ± 0.602
	Median	0.286	4277	22355	0.123	0.162
	Min.-Max.	0.0811 - 4.49	2467 - 11015	17135 - 36220	0.0212 - 0.339	0.0502 - 2.36
Central area	Average ±S.D.	2.13 ± 3.34	7842 ± 1900	29952 ± 10306	0.195 ± 0.347	0.269 ± 0.374
	Median	0.431	8459	26909	0.0833	0.159
	Min.-Max.	0.117 - 10.6	4052 - 10834	18473 - 46433	0.0283 - 1.23	N.D. - 1.36
Southern area	Average ±S.D.	5.57 ± 8.47	4762 ± 1551	21192 ± 5044	0.168 ± 0.115	0.254 ± 0.154
	Median	2.02	4735	21153	0.128	0.232
	Min.-Max.	0.366 - 29.6	2770 - 7581	13455 - 31349	0.0383 - 0.388	0.0871 - 0.598
Okinawa Island	Average ±S.D.	1.87 ± 4.40	5206 ± 2072	20572 ± 8160	0.179 ± 0.208	3.31 ± 7.82
	Median	0.398	4670	18579	0.128	0.337
	Min.-Max.	0.0331 - 29.6	2467 - 11015	7862 - 46433	0.0212 - 1.23	N.D. - 52.2
		Mn	Fe	Co	Ni	Cu
Yambaru area	Average ±S.D.	82.4 ± 38.1	321 ± 114	0.168 ± 0.138	3.14 ± 3.63	15.6 ± 5.02
	Median	77.1	306	0.149	1.60	15.1
	Min.-Max.	13.8 - 218	202 - 793	N.D. - 0.518	0.437 - 17.2	6.20 - 27.0
Northern area	Average ±S.D.	92.4 ± 66.6	356 ± 61.9	0.193 ± 0.104	1.34 ± 0.876	20.7 ± 8.22
	Median	65.8	354	0.153	1.04	19.4
	Min.-Max.	39.8 - 291	249 - 457	0.0869 - 0.429	0.627 - 3.53	10.1 - 46.0
Central area	Average ±S.D.	86.0 ± 53.1	406 ± 212	0.205 ± 0.0937	1.10 ± 0.369	28.4 ± 7.62
	Median	74.1	325	0.171	1.02	24.8
	Min.-Max.	16.0 - 216	238 - 955	0.0553 - 0.372	0.585 - 1.64	21.0 - 44.4
Southern area	Average ±S.D.	107 ± 46.2	321 ± 82.4	0.173 ± 0.0587	0.875 ± 0.324	23.5 ± 10.6
	Median	91.1	319	0.155	0.781	22.7
	Min.-Max.	52.7 - 212	186 - 460	0.0897 - 0.268	0.510 - 1.67	8.69 - 47.1
Okinawa Island	Average ±S.D.	90.4 ± 50.0	344 ± 123	0.181 ± 0.110	1.91 ± 2.51	20.5 ± 8.76
	Median	78.1	324	0.154	1.15	18.1
	Min.-Max.	13.8 - 291	186 - 955	N.D. - 0.518	0.437 - 17.2	6.20 - 47.1
		Zn	Ga	As	Se	Rb
Yambaru area	Average ±S.D.	60.7 ± 18.8	0.136 ± 0.113	0.0346 ± 0.0840	0.114 ± 0.145	20.1 ± 8.80
	Median	57.2	0.109	0.005	0.047	20.1
	Min.-Max.	37.7 - 117	0.0159 - 0.559	N.D. - 0.409	N.D. - 0.618	8.36 - 41.1
Northern area	Average ±S.D.	76.0 ± 39.6	0.222 ± 0.248	0.170 ± 0.0558	0.259 ± 0.0959	33.8 ± 45.1
	Median	67.8	0.163	0.166	0.236	15.3
	Min.-Max.	41.0 - 198	0.0746 - 1.13	0.0862 - 0.283	0.152 - 0.485	4.90 - 160
Central area	Average ±S.D.	114 ± 49.7	0.212 ± 0.0864	0.143 ± 0.111	0.334 ± 0.216	65.7 ± 41.1
	Median	96.0	0.217	0.102	0.268	64.1
	Min.-Max.	66.9 - 220	0.0747 - 0.405	0.0529 - 0.456	0.0987 - 0.755	11.1 - 134
Southern area	Average ±S.D.	79.1 ± 32.4	0.196 ± 0.0725	0.146 ± 0.046	0.190 ± 0.0495	16.8 ± 12.0
	Median	73.7	0.203	0.164	0.199	12.7
	Min.-Max.	45.8 - 159	0.0689 - 0.366	0.0593 - 0.211	0.103 - 0.252	6.50 - 43.5
Okinawa Island	Average ±S.D.	76.9 ± 37.6	0.181 ± 0.150	0.107 ± 0.0966	0.201 ± 0.157	30.3 ± 32.8
	Median	67.1	0.153	0.103	0.182	18.7
	Min.-Max.	37.7 - 220	0.0159 - 1.13	0.00543 - 0.456	0.0468 - 0.755	4.90 - 160

表5 つづき

		Sr	Mo	Cd	In	Sb
Yambaru area	Average ±S.D.	68.0 ± 31.8	0.914 ± 0.627	0.317 ± 0.197	N.D.	0.00833 ± 0.00993
	Median	62.8	0.858	0.298	N.D.	0.00423
	Min.-Max.	27.3 - 143	0.120 - 2.71	0.0536 - 0.857		N.D. - 0.0425
	<i>n</i>	26	26	26	26	
Northern area	Average ±S.D.	74.9 ± 28.6	1.37 ± 0.613	0.318 ± 0.195	N.D.	0.0278 ± 0.0210
	Median	58.6	1.07	0.246	N.D.	0.0268
	Min.-Max.	43.9 - 124	0.717 - 2.64	0.140 - 0.729		N.D. - 0.0831
	<i>n</i>	16	16	16	16	16
Central area	Average ±S.D.	103 ± 54.6	2.48 ± 0.854	0.508 ± 0.489	0.00198 ± 0.00248	0.0255 ± 0.0217
	Median	88.5	2.09	0.320	N.D.	0.0207
	Min.-Max.	41.2 - 214	1.64 - 4.21	0.135 - 1.50	N.D. - 0.00722	N.D. - 0.0730
	<i>n</i>	11	11	11	11	11
Southern area	Average ±S.D.	83.8 ± 19.4	1.51 ± 0.746	0.665 ± 0.468	0.00171 ± 0.00299	0.0227 ± 0.0201
	Median	77.3	1.56	0.552	N.D.	0.0254
	Min.-Max.	53.8 - 126	0.572 - 3.34	0.185 - 1.64	N.D. - 0.0107	N.D. - 0.0734
	<i>n</i>	13	13	13	13	13
Okinawa Island	Average ±S.D.	78.6 ± 35.5	1.40 ± 0.864	0.418 ± 0.348	0.00184 ± 0.00271	0.0187 ± 0.0190
	Median	71.1	1.21	0.298	N.D.	0.0110
	Min.-Max.	27.3 - 214	0.120 - 4.21	0.054 - 1.64	N.D. - 0.0107	N.D. - 0.0831
	<i>n</i>	66	66	66	66	66
		Cs	Ba	Hg	Tl	Pb
Yambaru area	Average ±S.D.	0.0802 ± 0.0658	4.30 ± 2.56	0.0410 ± 0.0389	0.0007 ± 0.0005	0.816 ± 0.611
	Median	0.0611	3.85	0.0317	0.0006	0.694
	Min.-Max.	N.D. - 0.247	0.981 - 11.0	0.0178 - 0.220	N.D. - 0.00329	0.170 - 2.98
	<i>n</i>	26	26	26	26	26
Northern area	Average ±S.D.	0.257 ± 0.681	6.53 ± 8.44	0.0451 ± 0.0404	0.0230 ± 0.0229	1.15 ± 0.932
	Median	0.0711	4.56	0.0419	0.0151	1.18
	Min.-Max.	0.0164 - 2.80	1.86 - 37.6	0.00340 - 0.185	0.00632 - 0.0890	0.0711 - 2.88
	<i>n</i>	16	16	16	16	16
Central area	Average ±S.D.	0.376 ± 0.559	5.61 ± 1.84	0.0257 ± 0.00774	0.0492 ± 0.0487	0.321 ± 0.311
	Median	0.1869	5.83	0.0246	0.0366	0.272
	Min.-Max.	N.D. - 2.00	1.93 - 7.93	0.0161 - 0.0402	N.D. - 0.170	0.0565 - 1.20
	<i>n</i>	11	11	11	11	11
Southern area	Average ±S.D.	0.0413 ± 0.0258	5.29 ± 2.61	0.0280 ± 0.0124	0.0114 ± 0.00735	1.02 ± 0.843
	Median	0.0336	4.89	0.0234	0.0115	1.02
	Min.-Max.	0.00806 - 0.100	1.30 - 11.2	0.0172 - 0.0546	0.00165 - 0.0293	0.0322 - 2.58
	<i>n</i>	13	13	13	13	13
Okinawa Island	Average ±S.D.	0.165 ± 0.415	5.25 ± 4.64	0.0369 ± 0.0325	0.0163 ± 0.0281	0.854 ± 0.752
	Median	0.0627	4.41	0.0307	0.00681	0.667
	Min.-Max.	N.D. - 2.80	0.981 - 37.6	0.00340 - 0.220	N.D. - 0.170	0.0322 - 2.98
	<i>n</i>	66	66	66	66	66

Tl: 中部 > 北部 > 南部 > やんばる (Mann-WhitneyのU検定により、中部とやんばる、中部と南部、北部とやんばる、南部とやんばるの間に $p < 0.05$ で有意差あり)

Pb: 北部 > 南部 > やんばる > 中部 (Mann-WhitneyのU検定により、やんばると中部の間に $p < 0.05$ で有意差あり)

沖縄島のコセンダングサの毒性元素レベルは、非汚染地と位置づけた東京都府中市に比べ、Se、Cd、TlおよびPbがやや高いレベルであった。

また、沖縄島のコセンダングサにおける微量元素の濃度順位の特徴を地域別にみると、やんばるにおいてHgおよびCr、Ni、V、Co、北部においてPb、SeおよびAs、中部においてMo、Ni、Cd、Se、Ga、CsおよびTl、南部においてLi、GaおよびSbが高い濃度順位であった。また、各地域の中央値において、やんばるで比較的高濃度である傾向を示した元素はV、Cr、MnおよびNi、北部ではHgにくわえCa、Fe、Ni、As、Se、Sb、Cs、Pb、中部ではLi、Mg、Ca、Co、Cu、Zn、Ga、

Se、Rb、Sr、Mo、Cs、BaおよびTl、南部ではLi、V、Mn、Co、Cu、Sr、MoおよびCdであった。さらに、沖縄島におけるコセンダングサのLi、Ca、V、Cr、Mn、Co、Ni、Cu、Sr、Mo及びCsは汚染地の参考地である群馬県安中市と比較しても、高濃度を示す傾向がみられた。

各地域の元素レベルを地点別に詳しくみると、やんばるでは塩屋湾付近のY32の地点で採取した試料で、Hgの他V、Fe、Ga、As、Sb、Pbの濃度が最高値であり、それぞれ0.22、1.19、793、0.559、0.409、0.425および2.98 $\mu\text{g/g}$ DWであった。Hgに加えCd、Pbといった毒性元素に注目すると、国頭村中央部の米軍演習場付近に位置するY10、東村海岸部のY15および大宜味村の塩屋湾周辺部に位置するY32で比較的高濃度の毒性元素が検出された（図6）。有害金属の汚染地である群馬県安中市で採取されたコセンダングサのレベルと同等以上であったのは、Y32のHgおよびAs、Pb、Y5のSe、Y10のPbであった。

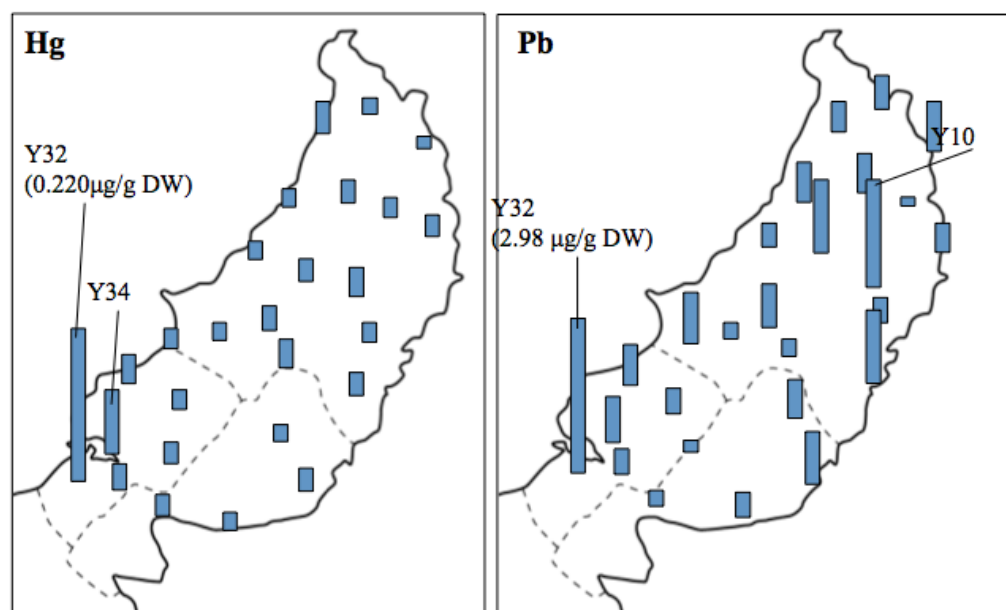


図6 沖縄島北部森林地帯におけるコセンダングサの葉における水銀と鉛濃度の分布

沖縄の土壌は本州のものと比較して特殊であり、“ジャーガル”、“島尻マーヅ”、“国頭マーヅ”などと呼称され、古くから各土壌の特性による違いで分類され、利用されている。やんばるには、おもに酸性である“国頭マーヅ”が分布しているが、酸性の土壌として知られる蛇紋岩から成る土壌には、NiやCrが多量に含まれ、溶出しやすいことが報告されている¹³⁾。やんばるのコセンダングサにおけるCrやNiは比較的高濃度であったことから、国頭マーヅの寄与が考えられた。この地域では好酸性のパインが盛んに栽培されていることや、Ni溶出を抑制するとされるMgが他の地域と比較して低いレベルであった。このことは上の仮説を支持すると考えられた^{13, 14)}。また、HgにくわえCd、Pbといった毒性元素が塩屋湾周辺部において比較的高濃度であった。その原因は本研究からは特定できないが、塩屋湾に注ぐ大保川には沖縄県内で2番目の規模である大保ダムが建設され、ダム周辺で処分されなかった建設残土は塩屋湾の埋め立て事業に使用されたという報告がある¹⁵⁾。また、大保川の水質は、豚舎からの排水や支川からの赤土の流入などの影響を受けており良好ではないなど、これらの影響を受けていた可能性が考えられた。伊藤¹⁶⁾や桜井¹⁷⁾は林道やダ

ム建設などに伴う天然林伐採が赤土流出の原因であり、環境や生態系を破壊している点を指摘している。

沖縄島北部は、恩納村中央部のN12の地点で採取した試料で、Ca、Mn、Cu、Zn、Ga、Rb、Sr、BaおよびTlの濃度が最高値であり、それぞれ36220、291、46.0、198、1.13、160、124、37.6および0.089 $\mu\text{g/g DW}$ であった。HgをはじめとするCd、Pb、Asなどの毒性元素に注目すると、今帰仁村のN1とN2、名護市北西部のセメント工場付近のN4で比較的高濃度の強毒性元素が検出された（図7）。群馬県安中市で採取したコセンダングサのレベルと同等以上の値を示したのは、N1のAs、SbおよびPb、N2のPb、N4のPb、N8のSe、N12のTl、N16のSeであった。

As、Sb、Pbなどの強毒性元素が高濃度であったN1、N2およびN4が位置する本部半島は、琉球石灰岩に由来する“島尻マーヅ”が分布する地域であり、N4付近を通る国道449号周辺は石灰岩採石場及びセメント工場が立地している。いくつかの報告はセメント工場や石灰岩採石場の周辺において微量元素が高いことや、その粉塵などによる健康へのリスクを指摘しており^{18, 19)}、N4についてはセメント工場による影響を受けている可能性も考えられた。また、今帰仁村のN1とN2について、相沢・栗原²⁰⁾は国頭村辺戸と今帰仁村で採集した石灰岩を分析し、MgO、Sr、Mn、Fe、Ni、Cu、Zn及びPbについて今帰仁村の試料がより高濃度であったことを報告している。このことと併せ、本部半島の石灰岩は微量元素が比較的高いことが考えられた。

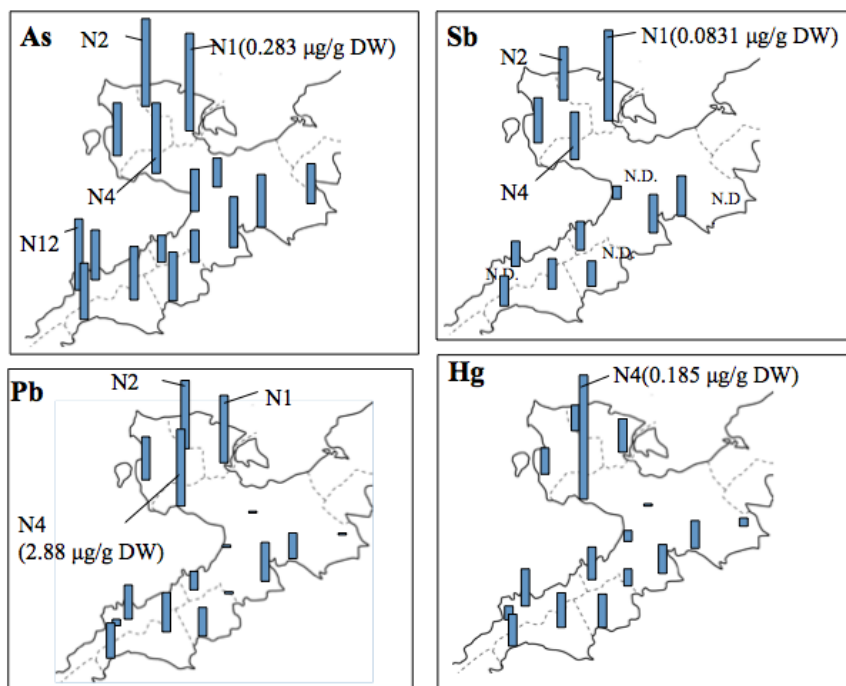


図7 コセンダングサ葉を用いた沖縄島北部における微量元素の分布

沖縄島中部では沖縄市中央部のC4の地点で採取した試料で、Mg、Ca、V、Cr、Fe、Cu、Ga、As、Se、In、SbおよびPbの濃度が最高値であり、それぞれ10800、46400、1.23、1.36、955、44.4、0.405、0.456、0.755、0.0072、0.073および1.20 $\mu\text{g/g DW}$ であった。HgをはじめとしたCd、Pb、Asなどの毒性元素に注目すると、北谷町南部のC1、沖縄市中央部のC4、うるま市中央部のC8と

いずれも米軍基地周辺で採取した試料より比較的高濃度の毒性元素が検出された（図8）。群馬県安中市で採取したコセンダングサの毒性元素レベルと同等以上の値を示したのは、C1のSeとTl、C3のSe、C4のAs、Se、SbおよびTlであった。

中部では、MgやCaといったアルカリ金属元素、アルカリ土類金属元素および比較的必須とされる微量元素が高濃度である傾向がみられた。沖縄島において中・南部の台地や低地に広く分布する“ジャーガル”は県内で最も肥沃な土壌として知られ、Ca及びMgの含有率が高い。中部においてみられた必須元素の蓄積はこの“ジャーガル”の特性を反映している可能性が考えられ、他の微量元素はCa及びMgと連動して吸収された可能性がある。しかしながら、本研究において米軍基地周辺で採取したコセンダングサから比較的高いCd、Asなどの毒性元素を検出した。中部は嘉手納基地など米軍施設が多く立地する地域であり、福地⁹⁾や林²¹⁾は米軍基地やその返還地において、CdやPbといった強毒性元素により排水や土壌が汚染された事例や基地からの赤土流出による汚染について報告している。また、渡邊ら²²⁾も恩納村南部の微量元素汚染の原因のひとつとして、米軍基地の可能性を示唆している。この地域はかつてAsや自然由来のHg蒸気による地下水汚染が問題となった地域でもあることから^{12, 23)}、この地域の微量元素汚染について今後もより詳細な調査を行う必要があると結論された。

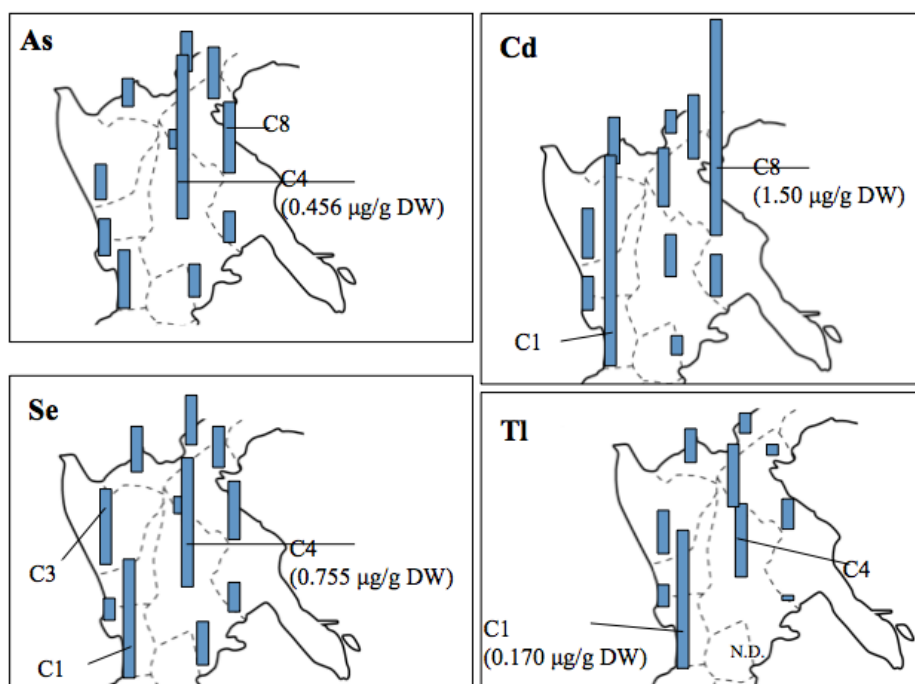


図8 コセンダングサ葉を用いた沖縄島中部における微量元素の分布

沖縄島南部では那覇市東部のS10の地点で採取した試料で、Li、Ni、Ga、As、Sr及びBaの濃度が最高値であり、それぞれ29.6、1.67、0.366、0.211、126および11.2 µg/g DWであった。HgをはじめとしたCd、Pb、Asなどの強毒性元素に注目すると、豊見城市南部のS1、糸満市海岸部のS3、八重瀬町中央部のS5で比較的高濃度が検出された（図9）。群馬県安中市で採取したコセンダ

ングサの毒性元素レベルと同等以上の値を示したのは、S1のSbとPb、S3のPbであった。

南部で高濃度であったS1、S3、S5など地域は、北部の本部半島と同様に“島尻マーヅ”が分布する地域である。“島尻マーヅ”は、その生成にMn団塊と深い関連があることから²⁴⁾、Mn濃度が高いと推察されるが、本研究においても“島尻マーヅ”が分布すると考えられるS1、S3、S4、S5、S7などから採取した試料はMn濃度が比較的高い傾向がみられた。この南部の沿岸地域には汚染源となり得る排出源は考えにくいことから、この地域で高濃度だったCdやPbなどは、“島尻マーヅ”に多量に含まれる重金属類などの吸収に連動した可能性が考えられた。

以上の結果、各地域の微量元素分布から、汚染が懸念されたやんばる地域の植物における微量元素レベルは、塩屋湾周辺部など一部を除いて比較的低い傾向が明らかになり、潜在的な微量元素汚染の可能性としては、むしろ北部の本部半島や中部の米軍基地周辺などで高い可能性が考えられた。この結果は、やんばるにおけるマングースのHg高蓄積が、やんばるの多様な食物網による生物増幅の結果であるという渡邊ら²²⁾の報告を支持するものであった。

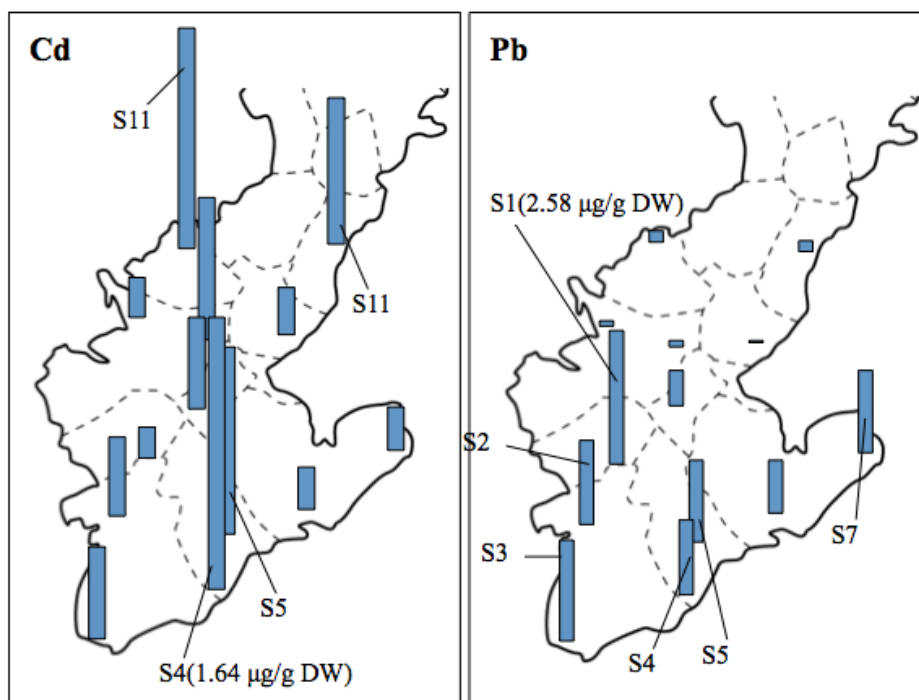


図9 コセンダングサ葉を用いた沖縄島南部における微量元素の分布

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

南西諸島に分布拡大するマングースのHg濃縮現象は、外来種マングースによる貴重な生態系のかく乱を全力で防ごうとする試みの中における偶然の発見であった。奄美大島に続き、マングースが最初に移入された沖縄島の個体からも高濃度のHg蓄積を認め、Seが関与する同様の解毒メカニズムの存在も明らかになってきた。この我々の発見は、これまで海洋の高次生物で認められていたHg蓄積現象を陸上哺乳類で再現する、唯一の種の発見である。そのため、マングースのHg濃縮現象は海生哺乳類や海鳥類等と同様の“種特異性”と位置付けられてきた。しかし、ここで、後

に追加された沖縄島の個体は、種の多様性が維持された生態系における、食物連鎖が多段階で生物濃縮が著しいことに起因する北部森林地帯（やんばる）で駆除されたものであった。本研究は、やんばる地域と奄美大島以外の場所、つまり、沖縄島のより市街地に近い恩納村南部と2009年に分布が確認された九州本土（鹿児島本土）の個体を分析した初の報告となる。その結果は、市街地に近い2地点ではHgの濃縮は確認されず、むしろ、新たな汚染の発見ともいえる極めて高濃度CdおよびPb、Asの蓄積を明らかにした。

本研究の成果は、以下の二点に絞ることができる。一点目は、餌生物の分析や多変量解析の結果、マングースのHg濃縮現象は豊かな生態系とリンクした長い食物連鎖に起因することが示唆され、このことは奄美大島とやんばるのマングースが、希少な鳥類や哺乳類を捕食していることの裏付けとなる可能性がある。本種の駆除をメインとした生態系の保全に、全力を挙げた対策が望まれよう。

二点目は、とくに恩納村南部で確認された重金属汚染の存在である。これまで分析された野生の陸上哺乳類にくらべ、恩納村南部で捕獲されたマングースのCdレベルは極めて高いといえ、同時に、高濃度のPbやAsの蓄積も明らかとなった。試料捕獲地に隣接したすぐ南は嘉手納をはじめとした米軍基地が巨大な面積を占有している。福地⁹⁾による基地排水の重金属濃度の報告は、安直な結びつけは厳に慎むべきであるが、重く捉える必要がある。調査地付近の住民の健康のためにも汚染源の詳細な追求が求められる。「鉄の暴風」と呼ばれる激しい戦争を経験した沖縄において、重金属類の起源推定にはバックグラウンド・レベルや歴史的変遷を考慮した慎重な調査が望まれる。その上で、当然のことながら、この地に新たな重金属汚染の被害が起きることは、あってはならないことであり、進行を防ぐことは急務である。

（2）環境政策への貢献

本研究の成果は、南西諸島の生態系における食物連鎖を通じたHg濃縮のメカニズムを明らかにした。その過程で、カドミウムやヒ素、鉛といった有害重金属の汚染が沖縄島に存在する可能性を示唆した。今後、学会発表や学術雑誌への投稿を通じ、成果の広報・普及に努める。

6. 引用文献

- 1) 小倉剛・織田銑一・川島由次 (2003): 外来動物ジャワマングースの捕獲個体分析および対策の現状と課題, -特集 野生動物モニタリングと環境保護-, 獣医畜産新報, 56, 295-301.
- 2) Y. Watari, J. Nagata & K. Funakoshi (2010) New detection of a 30-year-old population of introduced mongoose on Kyushu Island, Japan, *Biol Invasions*, in press.
- 3) G.B. Corbet, & J.E. Hill (1992) The mammals of Indomalayan region: A systematic review, 488pp, Oxford University Press.
- 4) S. Horai, M. Minagawa, H. Ozaki, I. Watanabe, Y. Takeda, K. Yamada, T. Ando, S. Akiba, S. Abe & K. Kuno (2006) Accumulation of Hg and other heavy metals in the Javan mongoose (*Herpestes javanicus*) captured on Amamioshima Island, Japan, *Chemosphere*, 65, 657-665.
- 5) 佐野翔一・渡邊 泉・小倉 剛・須藤健二・宮里芳和 (2009) 座間味島のニホンイタチの微量元素蓄積, 第18回環境化学討論会講演要旨集, 340-341.
- 6) Y. B. Sun, Q. X. Zhou, W. Liu & L. Wang (2009a) Cadmium tolerance and accumulation

- characteristics of *Bidens pilosa* L. as a potential Cd-hyperaccumulator, *Journal of Hazardous Materials*, 161, 808-814.
- 7) Y. S. Wu, G. C. Fang & S. H. Lin (2010) Season variations for metallic elements compositions study in plant *Bidens pilosa* L. var. radiata Sch. in central Taiwan, *Environmental monitoring and assessment*, 168, 255-267.
- 8) E. Y. Kim, R. Goto, S. Tanabe, H. Tanaka & R. Tatsukawa (1998) Distribution of 14 elements in tissues and organs of oceanic seabirds, *Arch Environ Contam Toxicol*, 35, 638-645.
- 9) 福地曠明 (1996) 基地と環境破壊 - 沖縄における複合汚染, 225pp, 同時代社.
- 10) 吉田直史・玉城不二美・渡口 輝・大城洋平・佐々木 壮・宮城俊彦 (2007): 沖縄県牧港, 嘉手納海域における魚類中の重金属類及び有機塩素系化合物含有量について, 沖縄県衛生環境研究所報 41, 199-207.
- 11) 坂元隼雄・鎌田政明 (1975) 錦江湾 (鹿児島湾) に流入する河川経由の物質移動量 (その2) 霧島火山地域から河川を経由して流下する火山噴出物とくに温泉水由来の重金属の量, 鹿児島大学理学部紀要, 99-109.
- 12) 吉田直史・上地さおり・玉城不二美・渡口 輝・大城洋平・宮城俊彦・安里直和・上原 強 (2006): 沖縄市における地下水水銀汚染について, 沖縄県衛生環境研究所報, 40, 59-63.
- 13) 宍戸信貞・石田哲也 (1999) 蛇紋岩質土壌におけるニッケル (Ni) 障害, 開発土木研究所月報, 559, 33-37.
- 14) 大城逸朗・野原昌人 (1976) 琉球列島の表層土壌に含まれるマンガン塊, 地質ニュース, 260, 16-23.
- 15) 町田宗久 (2003) 大保ダム建設の概要, しまたてい, 25, 11-13.
- 16) 伊藤嘉昭 (1995) 沖縄やんばるの森 世界的な自然をなぜ守れないのか, 187pp, 岩波書店.
- 17) 桜井国俊 (2010) 環境問題から見た沖縄, 97-126, 宮本憲一・川瀬光義編, 沖縄論 平和・環境・自治の島へ, 304pp, 岩波書店.
- 18) M. Schuhmacher, J. L. Domingo & J. Garreta (2004) Pollutants emitted by a cement plant: health risks for the population living in the neighborhood. *Environmental Research*, 95, 198-206.
- 19) G. M. A. Bermudez, M. Moreno, R. Invernizzi, R. Plá & M.L. Pignata (2010) Heavy metal pollution in topsoils near a cement plant: The role of organic matter and distance to the source to predict total and HCl-extracted heavy metal concentrations, *Chemosphere*, 78, 375-381.
- 20) 相沢省一・栗原利広 (2006) 沖縄本島三畳系石灰岩の重金属元素含量, 地球化学, 40, 253-261.
- 21) 林公則 (2010) 米軍基地跡地利用の阻害要因, 127-142, 宮本憲一・川瀬光義編, 沖縄論 平和・環境・自治の島へ, 岩波書店.
- 22) 渡邊泉・宝来佐和子・小川大輔・中島周三・船越公威・平野昂規・小倉剛 (2010) 沖縄県恩納村南部, 鹿児島市喜入およびやんばるで捕獲されたマングース *Herpestes auropunctatus* の微量元素蓄積, 人間と環境, 36, 208-220.
- 23) 普天間朝好・与儀喜真・嘉数江美子・宮城俊彦・新垣和代 (2001) 県内As検出地下水の水質特性について, 沖縄県衛生環境研究所報, 35, 137-140.

24) H. Taira, Y. Kitano & K. Kaneshima (1981) Terrestrial ferro- manganese nodules formed in limestone areas of the Ryukyu Islands Part I Major and minor constituents of terrestrial ferro- manganese nodules, *Geochemical Journal*, 15, 69-80.

7. 国際共同研究等の状況

特に記載すべき事項はない。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

- 1) 渡邊 泉, 宝来佐和子, 小川大輔, 中島周三, 船越公威, 平野昂規, 小倉 剛 : 人間と環境, 36,3,208-220(2010)

“沖縄県恩納村南部, 鹿児島市喜入およびやんばるで捕獲されたマングース *Herpestes auropunctatus* の微量元素蓄積”

- 2) 渡邊 泉, 秋山太一, 佐野翔一 : 地球化学, 45,1,29-42(2011)

“沖縄島北部やんばる地域の生態系における水銀分布と他元素との関係”

- 3) 鈴木大輔, 尾崎宏和, 渡邊 泉 : 人間と環境, 37, 2, in press (2011)

“コセンダングサ *Bidens pilosa* L. を指標生物として用いた沖縄島における微量元素分布”

<査読付論文に準ずる成果発表>

記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表（学会等）

- 1) I. Watanabe, M. Onuma, T. Kuwana, A. Tominaga, M. Honda, G. Ogura : International Symposium on Environmental Specimen Bank, 2009

“Biomagnification of mercury through the ecosystem of Yambaru area, northern part of Okinawa Island, Japan”

- 2) 渡邊 泉, 油谷有紀 : 第19回環境化学討論会 (2010)

「沖縄島北部地域の表層土壌における水銀および微量元素の分布」

- 3) 小川大輔, 渡邊 泉, 小倉 剛, 平野昂規, 平田佐和子, 船越公威 : 第19回環境化学討論会 (2010)

「鹿児島県本土および, 沖縄県中部, 北部で捕獲されたジャワマングースの微量元素蓄積特性」

- 4) 鈴木大輔, 渡邊 泉 : 第19回環境化学討論会 (2010)

「沖縄本島北部（やんばる）の野生植物における微量元素蓄積と分布」

- 5) I. Watanabe: The 2nd Korea-Japan Symposium on Environmental Chemistry, 2010

“Distribution of mercury and other elements in the ecosystem of Yambaru area, northern part of Okinawa Island, Japan”

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。