

(第6号様式)

学位論文審査の結果の要旨

氏名	ヘンドラ プラセティア Hendra Prasetia
審査委員	主査 榊原 正幸 副査 井上 雅裕 副査 鏑本 武久 副査 武部 博倫

論文名

Environmental assessment study of atmospheric mercury contamination using tree as bioindicator in ASGM area of Gorontalo Province, Indonesia

審査結果の要旨

Hendra Prasetia氏は、本学位論文において、インドネシア共和国東部のスラウェシ島北部ゴロンタロ州の北ゴロンタロ県東Sumalata地域における零細小規模金採掘(ASGM)に伴う水銀汚染に関する新たな生物指標としての木本類の有効性に関する研究を行った。

近年、開発途上国における深刻な環境汚染問題として、国際的に水銀汚染が注目されている。国連環境計画(UNEP)は、世界の開発途上国で水銀汚染が拡大し、健康・環境への影響が深刻となっていると報告している。その主因の一つとして、金精錬に水銀を使用する零細小規模金採掘(ASGM)が挙げられている。世界で1,500万人以上の労働者がこの採掘に関わっており、それには500万人以上の女性・子供も含まれている。また、その水銀環境汚染による間接的被害者は1億人を超えるとも言われている。これらの国々では、国際的に金価格が高止まりする中で、金抽出で使用する水銀使用量が年々増加し、生態系の水銀汚染さらには人間の健康問題をも深刻化させていると言われている。特に、金-水銀アマルガムの加熱によって発生する蒸気水銀は、広範な大気の水銀汚染を引き起こしていると言われているが、その実態は明らかではない。

本研究の目的は、インドネシア共和国のスラウェシ島北部のゴロンタロ州の北ゴロンタロ県における木本類の樹皮の水銀汚染の実態をマクロからミクロの多様なスケールで解明し、ASGMによる大気の水銀汚染を評価する指標を確立することである。本研究における分析試料は、木本類の樹皮・枝・根および土壌の総数205個で、分析は岩手医科大学のPIXE分析装置を用いて行われた。また、水銀濃度の高い代表的な樹皮に関しては、その縦断面のプレパラートを作成して、メルボルン大学に設置しているmicro-PIXE装置を利用して、2次元マイクロ元素マッピング分析を行った。

本論文の研究成果は、以下の4点に纏められる。

(1) ASGM周辺地域における木本類の種による樹皮の単位面積当たり総水銀量の差異

この実験では、ASGMサイトが位置する谷沿いに自生する木本類の種を調査し、そのうち最も個体数

が卓越する表面形状が大きく異なる*Mangifera indica* (ウルシ科マンゴー)、*Syzygium aromaticum* (フトモモ科チョウジノキ)、*Terminalia catappa* (シクンシ科モモタマナ) および *Lansium domesticum* (センダングラ科ロンコン) のそれぞれの樹皮12~18 cm²の平均水銀濃度をPIXEを用いて測定し、単位面積(100 cm²)当たりの総水銀重量を求めた。その最大値は、*M. indica*が74.6、*S. aromaticum*が157、*T. catappagmail*が180、*L. domesticum*が3.4 μgと、ASGMサイトからの距離に関わらず、種ごとに大きく異なる。

(2) ASGM周辺地域における*M. indica*の高度による樹皮の単位面積当たり総水銀量の差異

この実験では、ASGMサイトが位置する谷沿いの*M. indica*のうち、代表的な5本を選択し、高さ1、2および3 mでそれぞれ樹皮を採取し、PIXE分析によって単位面積当たり総水銀量を求めた。その結果、その量は地形的に低地で高く、かつ多くの場合高さ2 m以下で相対的に高いことが明らかになった。

(3) ASGM周辺地域およびゴロンタロ市における*M. indica*の樹皮の単位面積当たり総水銀量のスクリーニング調査

ASGMサイトを中心とした広域的な*M. indica*の樹皮の単位面積当たり総水銀量のスクリーニング調査をPIXE分析によって行った。また、同時に、ASGMサイトから離れたゴロンタロ市においても3試料の分析を行った。東Sumalata周辺地域の*M. indica*の樹皮の単位面積当たり総水銀量は、ASGMサイトから10 km以上離れた試料からも検出され、かつ、その値のバラつきが大きいものの、その最大値はASGMサイトから離れるのに従って低くなる傾向が見いだされた。また、ASGMゴロンタロ市内の試料でも、74.9~183 μgと高い値を示した。また、樹皮、枝および根の水銀量の相関は得られなかった。

(4) *M. indica*の樹皮における水銀のマイクロホットスポットの発見

メルボルン大学に設置しているmicro-PIXE装置を用いて*M. indica*の樹皮の断面のマイクロレベルの水銀および他元素の2次元マッピング分析を行った。その結果、樹皮表面のみから散点的に10 μm程度のサイズの高水銀濃度部(水銀のマイクロホットスポットと命名)を見出した。その最大濃度は110~732 μg/gである。このデータは、大気中に拡散した微細の水銀液滴が周辺樹木の樹皮に付着したことを示唆している。

(5) ASGMサイト周辺における水銀による大気汚染の新たなバイオインディケーター の提案とそれに基づく広域的な水銀による大気汚染に関する評価

本研究において、同氏は新たなバイオインディケーターとして木本類の樹皮を用いて、その単位面積当たり総水銀量を求め、それによって水銀の大気汚染の広がりを評価する方法を提案した。その結果に基づくと、同水銀量の分布は極めて不均質であるものの、ASGMサイトから最大で10 km以上も拡散していることが明らかにされた。また、micro-PIXE分析によると、その水銀は樹木表面にマイクロホットスポットというべき形状で濃集しており、水銀アマルガムを焼いた際に蒸気化し、その後、微細な水銀液滴となり、大気の流れとともに周辺に広く拡散したと推定された。

提出された学位論文の研究成果に関連する成果は、国際学術雑誌に2編公表し、査読付きの国際学会紀要に1編受理されている。

本学位論文の公聴会は平成30年8月2日に開催し、約30分の英語による論文発表と20分の質疑応答が行われた。引き続き、学位論文審査委員会を開き、本論文の内容を厳正に審議した結果、審査委員が全員一致で、博士(理学)の学位を授与するのに値するものと判定した。