

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：82110

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24651041

研究課題名(和文) ミャンマーをモデルとした途上国の水銀環境汚染改善モジュールの構築

研究課題名(英文) Small-scale gold mining in Myanmar

研究代表者

大澤 崇人 (OSAWA, Takahito)

独立行政法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 量子ビーム応用研究センター・研究副主幹

研究者番号：70414589

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：ミャンマーで行われている金の小規模採鉱の実態を探り、水銀汚染の状況を把握すべく現地調査及びサンプリングを行った。調査地・試料採取地はモン州のチャイトー、バゴ管区のシュウェジン、ザガイン管区のカレーミョ近郊、そしてマンダレー管区とザガイン管区の、マンダレー以北のエーヤワディー河中流域である。調査により、これまで謎であったミャンマーの小規模金採鉱の実態が明らかとなった。金採鉱の規模や手法は多岐にわたっているが、採鉱者は例外なく水銀を使用している。水銀濃度の測定では重要な情報が得られた。河川水は有為に高い水銀濃度を示しており、また採鉱者やその家族の髪の毛からも高濃度の水銀が検出された。

研究成果の概要(英文)：Small-scale mining area in Myanmar was investigated. Sampling and investigation areas of this study are Kyaikhto in Mon state, Shwekyin in Bago region, near Kalaymyo in Sagaing region, and the middle reaches of the Ayeyarwaddy river in Mandalay and Sagaing region. Water, hairs of miners, and sands were sampled. A variety of small-scale gold mining styles are in Myanmar and all miners use mercury to obtain gold. Significantly high concentrations of mercury were detected for river water samples and hairs of miners and their families were contaminated with high concentrations of mercury up to 60 ppm. High concentration of mercury over 35 ppm was detected from 4-years old child's hair. The mercury pollution in Myanmar do not warrant optimism.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学

キーワード：ミャンマー 小規模金採鉱 水銀環境汚染

### 1. 研究開始当初の背景

現在、開発途上国では個人レベルの小規模採鉱が広く行われており、世界 50 カ国で 1300 万から 2000 万人が従事していると推定されている。その中で金の小規模採鉱は金の精製に水銀を用いる金アマルガム法が広く用いられているため、大量の水銀が環境中に放出されてしまい、深刻な水銀汚染と健康被害を引き起こしている。しかし従事者の多くは零細な貧困層であるため、放出する水銀への対策は皆無に等しい。これまで申請者は、小規模採鉱問題の専門家であるピーター・アペル博士、分析化学の専門家である初川雄一博士、フィリピンの金属工業研究開発センターのメンバーらと共に、フィリピンの金小規模採鉱地域における水銀汚染の実態調査を行ってきた。捨てられた選鉱くずは最大 400 ppm、水は最大 4 ppm もの超高濃度の水銀で汚染されている極めて深刻な汚染実態が明らかになったが、水銀鍍金を施した銅板を用いた簡便な水銀除去装置(State Battery 装置)を現地の金採掘者に作製させたところ、本装置は顕著な水銀除染能力を示した。また申請者は現地で採取した試料を分析するため、即発ガンマ線分析と放射化分析を組み合わせ水銀と金を連続して定量する新たな分析手法を開発することで[1]、選鉱くず内の水銀だけでなく取り残された金も定量できるようになった。選鉱くず内には最大で 4 ppm もの金が検出され、水銀を回収しつつ金も得られることが判明し、採鉱者が主体的に水銀を除染する道を明確に示すことに成功した。しかし、これはあくまでもフィリピンの北カマリネス州とバギオ郊外の数カ所のローカルなケースに過ぎず、またフィリピンは途上国の中でも比較的インフラが整備され物資も入手し易い国であるため、より開発が遅れた国の水銀汚染に対応できるかは不明である。そこで申請者は、アジアで最も開発が遅れている国、ミャンマーに着目した。ミャンマーは特殊な政治体制のため国際社会から厳しい経済制裁に今なお苦しんでおり、外国からの援助は人道支援以外は極めて少額でインフラは劣悪である。ミャンマーでは金の小規模採鉱が現に各地で行われており、その多くは水銀を使用している実態も事前の現地調査で突き止めたが、その詳細な汚染実態は報告がないため全くわかっていない。

### 2. 研究の目的

本研究は開発途上国各国で行われている金アマルガム法を用いた金の小規模採鉱によって深刻化している水銀環境汚染問題を解決するための一般的改善モジュールを確立することを目的とする。申請者らがこれまでフィリピンで行ってきた水銀汚染調査法と、現地で経済的に実行可能な簡易水銀除染法を全ての途上国で実行可能にするため、最貧国でありしかも国際経済制裁に苦しむミャンマーを敢えて調査地に選定する。現地の水

銀汚染状況を新たに提案する自動即発ガンマ線分析・放射化分析連続測定法を用いて明らかにしつつ、現地でフィージビリティをもった最適な水銀除染法を提案する。本研究は水銀環境汚染改善の一般的改善モジュールの確立を通して、開発途上国一般で実施可能な環境保全国際学術協力の基本モジュールの創成を目指す。

### 3. 研究の方法

#### (1) 現地調査

ミャンマー各地で金の小規模採鉱の実態調査を行い、河川水、湖沼水、河川砂、採鉱者の髪の毛の採取を行った。調査方法は、事前に調整した採鉱地での調査と、現地で調査地を決定する場合とがある。小規模金採鉱の中でも、家族規模や個人規模での採鉱者の場合、採鉱時期が不定期かつ採鉱場所も頻りに移動するため、調査の事前調整が不可能である。よって、現場で臨機応変に調査対象を変更する戦略が不可欠である。ミャンマーでは採鉱者が 100 キロ以上移動していくことも珍しくないのである。エーヤワディー河での調査では船上生活を送りながら河を遡上し、採鉱現場を発見次第上陸して調査するという方法を採用した。調査はまず採鉱者に対するインタビューと採鉱作業をビデオに記録することを主体とし、これにより金採鉱の方法から彼らの経済状況に至るまでが明らかとなる。現場の位置確認は GPS を用いて位置を記録する。

#### (2) 水銀分析

研究炉 JRR-3 が稼働しなかったため、水銀の測定は冷原子吸光法を用いる。水試料は還元気化法を用い、髪の毛は加熱気化法を用いた。髪の毛は中性洗剤、アセトンで洗浄した後に測定した。水試料はフィルターがけをして固形物を取り除いた後に分析をおこなった。分析は平沼産業 HG-2500 を用いた。

### 4. 研究成果

現地調査に先立って、ミャンマーの重要人物との接触を図り、人脈を築くとともに情報を集めることとした。ミャンマー工業会会長であるウゾーミンウィン氏と会談し、彼の協力の下ヤンゴンで講演会を開催した。講演会にてミャンマーの鉱山関係者や日本からの鉱物関連ベンチャー企業の方々と面識を得、情報を得た。また政府の局長クラスの方々と接触する期会を得た。さらにミャンマーの大規模な鉱山会社の社長を会談し、ミャンマーの地質や鉱山の現状について貴重な情報を得ることができた。

次に、ミャンマーで行われている金の小規模採鉱の実態を現地調査で探り、水銀汚染の状況を把握すべく現地調査及びサンプリングを行った。調査地・試料採取地は、モン州のチャイトー、バゴー管区のシュウェジン、ザガイン管区のカレーミョ近郊、そしてマン

ダレー管区とザガイン管区の、マングレー以北のエーヤワディー河中流域である。この調査により、これまで謎であったミャンマーの小規模金採鉱の実態が明らかとなった。ミャンマーの小規模金採鉱は、これまで研究代表者が調査を行ってきたフィリピンとは全く異なる態様であり、文献に見られる他国の金採鉱の態様とも異なっており、独特の文化を形成していた。このことは当初想定していた研究計画に少なからぬ影響を与える結果となったが、結果的に研究には大きな前進があった。

ミャンマーでの金採鉱の規模や手法は多岐にわたっている。まず規模であるが、砂地に巨大な穴を掘り下げて行う比較的大規模な採鉱形態から、個人規模で行われるものまで様々である。ただし、比較的大規模な採鉱であっても重機を使うことは稀で、泥水の汲み上げにディーゼルエンジンを使うこと以外はほぼ人力で作業が行われている。多くの女性が男性と共に、しかし完全な分業の上で肉体労働を行っている点は特徴的である。例えば、フィリピンでは女性の労働者が直接採鉱作業を行うことはほとんどない。

採鉱の方式にはおおまかに二種類あり、陸上で行う採鉱と水上で行う採鉱とがある。水上で行う採鉱では、金採鉱のために特別に設えた採鉱船があり、船団を組んで行動している。採鉱船は採鉱に関わるすべての作業を船上で行うことが可能であるが、最近では河の中で泥水を滑り台に流す作業は政府が禁止している模様で、専ら川岸にてこの作業を行っている。機械を用いた採鉱を行う場合は政府の許可制になっているため、非合法の無秩序な開発が行われてはいないようだった。しかし中央政府の支配が及ばない周辺地域でどうなっているのかはわからなかった。採鉱を行っている地域や場所に関しては現地にて多くの情報を得ることができたが、そのうち実際に外国人が調査できる地域は限定されていた。ミャンマーの多くの地域は未だ紛争地帯であり、しかも交通の便が著しく悪いために船で近づくしかない。中央政府と地方政府の両者から調査の許可が降りたとしても、実際に現地に侵入した場合には船が狙撃されることもあるようで、極めて危険である。現地民から「そこへ行ってはいけない」と諭されることも多く、調査を断念することもあった。ミャンマーの調査において最大の壁がこの民族紛争の問題である。

さて、採鉱には必ず木で作られた滑り台が使われ、上には人工芝が敷かれる。この滑り台に金を含む砂と水を混ぜた泥水を流して金を比重選鉱にて濃縮する。滑り台の規模も様々で、小さいものは1メートルほどしかないが、大規模なものになると15メートル程になる。

採鉱者は例外なく水銀を使用している。採鉱者は二種類の方法で現金を得る。すなわち、アマルガムのまま売るか、アマルガムを焼い

て金にしたものを売るかである。相対的に小規模な個人ベースの採鉱者はアマルガムのまま売ることが多い。対して比較的大規模な、エンジンを用いた採鉱を行う人々は作ったアマルガムを焼いて金を取り出す。アマルガムの加熱はもっぱら炭と火鉢を使う。ガスを使うことはない。アマルガムを大きめの金属製の匙に載せて炭で炙る方法が一般的で、小さい陶器を使うこともある。ほとんどの場合はアマルガムの加熱は厨房で行われている。

水銀濃度の測定では重要な情報が得られた。河川水は有為に高い水銀濃度を示しており、また採鉱者やその家族の髪の毛からも高濃度の水銀が検出された。髪の毛の水銀濃度は興味深い結果を示している。まず、河の中で個人ベースの採鉱を行っていた男性の場合、水銀濃度は5.3 ppmと全く正常値であり、水銀を使う作業がそれほど危険ではないことを示している。彼らは水銀でアマルガムは作るが、それを自分で焼くことがない。

しかし一方で、別の採鉱地では女性の採鉱者から高い水銀濃度が確認された。その理由は、アマルガムを焼く最も危険な作業を女性が行うケースが多いことと関係していると推測される。ミャンマーの家屋は極めて素朴で、壁らしい壁がなく通気性が良いものの、厨房での作業では水銀蒸気の暴露は免れず、食器類や食材もかなり水銀で汚染されているであろうことは想像に難くない。また、4歳児の髪の毛から、最大37.5 ppmとかなり高い水銀濃度が検出された。彼らが採鉱の従事者でないことは明らかであるが、児童は母親の近くで過ごすことが多く、そのためにアマルガムを焼く作業に間近で接している。こうした生活様式が、彼らの健康リスクを高めていることは間違いない。

本研究では残念ながら当初の目的を完遂することはできなかった。その理由は、まずミャンマーの小規模金採鉱の実態があまりにも予想と大きく異なっていたこと、そして研究炉JRR-3が全く稼働しなかったことである。しかしながら、これまで謎のベールに包まれていたミャンマーの小規模金採鉱の実態を詳細に調査し、試料数が多くはないながらも水銀汚染状況を明らかに出来たことは特筆に値する。これまで科学的データが全く存在しなかったため、汚染されているのか、健康リスクが存在するのかどうかさえも不明だったミャンマーにおいて、最初の科学的な環境データを提示できることの意義は多大である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 件)

〔学会発表〕(計 件)

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

大澤崇人 (OSAWA Takahito)  
独立行政法人日本原子力研究開発機構・原  
子力科学研究部門・量子ビーム応用研究セ  
ンター・研究副主幹  
研究者番号：70414589

### (2) 研究分担者

初川雄一 (HATSUKAWA Yuichi)  
独立行政法人日本原子力研究開発機構・原  
子力科学研究部門・量子ビーム応用研究セ  
ンター・研究主幹  
研究者番号：40343917

大澤清二 (OHSAWA Seiji)  
大妻女子大学・副学長  
研究者番号：50114046

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：