

令和元年6月14日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H05629

研究課題名(和文) 人力小規模金採掘が農水産物に与える水銀汚染の時空間的影響評価と対策手法

研究課題名(英文) Spatiotemporal impact of mercury released from ASGM (Artisanal/Small scale Gold Mining) on agricultural and marine products: evaluation and countermeasures

研究代表者

竹中 千里 (TAKENAKA, CHISATO)

名古屋大学・生命農学研究科・教授

研究者番号：40240808

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：フィリピン・カマリネスノルテ州・ホセパンガン市において、小規模金採掘(ASGM)の精錬所で使用されるHgが、周辺環境にどの程度拡散し、人への健康リスクにつながるかについて調査を行った。毛髪調査の結果では、ASGM周辺の住民ではなく、魚を多く摂取する住民のHg濃度が高いことが明らかになり、水系/魚を通してのHg汚染のリスクが示唆された。精錬所周辺では、大気と水系を通してのHg汚染が認められ、不均一分布しており、尾鉱のシアン化処理は、水銀の拡散を助長しているが、植物への取り込み増加は認められなかった。湾周辺でのHg汚染は湾東側に偏在しており、精錬所からの懸濁態としての流入が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水俣条約によって注目を集めている水銀汚染について、フィリピンのASGMにおける実態を明らかにすることができた。研究成果の中で、水銀の森林や土壌中での存在と分布は、Hg使用を止めた後にも残るリスクを示している。また、その森林において火災が起こると、多くのHgが揮発してなくなり、他の場所に再沈着していることが示唆された。すなわち、火災がASGM地域のHg動態と分布に大きく影響することを明らかにした。また、人への影響としては、ASGM周辺の住民よりも、魚を多く摂取する住民のリスクが高いことが明らかになり、特に女性の魚摂取には注意が必要であることが確認され、それを現地住民にも報告することができた。

研究成果の概要(英文)：In order to clarify the Hg contamination risk by ASGM, we conducted the field survey in Jose Panganiban, Camarines Norte in Philippines. Through hair analysis, we found that dietary intake of fish is the main path of Hg contamination to residents. The Hg was dispersed through both of air and water flow, and then the distribution of Hg was not related with the distance from the rodmill station, where Hg is used. Cyanide treatment increased the soil contamination, but was not related to uptake by plants. Around bay area, the Hg concentrations in seawater, sediments, and suspended matter sampled in east side were higher than west side. This means the transportation of Hg as suspended matter through water flow was the main process in the bay.

研究分野：森林環境化学

キーワード：小規模金採掘 水銀 汚染 リスク 毛髪 流域 魚

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

人力小規模金採掘 (Artisanal/Small-scale Gold Mining: ASGM) とは、主に、発展途上国の低所得層が産金地帯に入り込み、乱掘、選鉱、製錬、運搬、販売を行う金のビジネスをいう。多くの場合、事業登録をせず、関連法令にも従わない非合法的な事業である。水銀は金と容易に合金 (アマルガム) を作る性質があるので、ASGM では、選鉱・製錬作業において、水銀を用いる。すなわち、鉱石の粉末を水銀と混ぜ、布で濾して、アマルガムを坩堝の上に絞り出し、これを加熱して、水銀のみを気化させ、粗金を得る。また、青化溶液 (シアン化カリウム溶液) を用いて、尾鉱 (選鉱屑) を再処理する事が多いが、水銀はシアンと結合して、溶解度の高い錯体を形成するため、現場周辺では深刻な水銀汚染が進行している。気化した水銀と、シアン化錯体となった水銀により、ASGM 周辺には、相当量の水銀が存在し、農地や漁場を汚染していると予想されるが、これまでの研究は採掘現場が中心であるため、周辺地域の実態は明らかになっていない。また、近隣住民の健康被害の実態も、不明な点が多い。そこで、地域住民の生活防衛に役立つ水銀の管理手法を開発したいと考えた。研究場所としては ASGM と農林水産業が共存するフィリピンのカマリネス・ノルテ州を選定した。

2. 研究の目的

本研究では、地球規模、特に東南アジアで、水銀汚染を引き起こしている人力小規模金採掘 (Artisanal/Small-scale Gold Mining: ASGM) の現場と、周辺のコミュニティにおいて、住民の水銀摂取リスクを低減する方法を、学際的に検討する。具体的には、農林水産業と ASGM が共存するフィリピンのカマリネス・ノルテ州を対象とし、水銀汚染の分布、飲料水や食料の水銀含有量、など、科学的データを流域レベルで取得するとともに、地域の慣習、食生活、価値観など、生態人類学的視点を加味して、住民への水銀汚染リスクを低減するための指針を作成する。

3. 研究の方法

- (1) カマリネス・ノルテ州、ホセパンガニバン市において、ASGM のある 3 地区 (バラングイ)、ASGM のない 3 地区 (バラングイ) からの 20 ~ 40 歳の女性 195 名から毛髪を採取し、同時に食生活や水銀の利用に関するインタビュー調査を行った。毛髪については岩手医科大学の PIXE で水銀の分析をおこなった。
- (2) ASGM の選鉱・製錬現場周辺から、土壌、植物を採取し、水銀濃度を測定し、周囲への汚染の広がりを明らかにした。
- (3) シアン化処理施設から流出する水系の堆積物や植物を採取し、シアン化物としての水銀汚染の広がりを調べた。
- (4) 森林への水銀の沈着について、森林内のさまざまな樹木、リター、土壌中の水銀を分析することによって調べた。また、火災のあった森林においても同様の調査を行い、森林火災が水銀動態に与える影響を調べた。
- (5) ASGM のある地区とない地区の農地から土壌とイネを採取し、水銀汚染の状況を調べた。
- (6) 精錬所からの水銀の流出を、河川から湾に至るまで堆積物と河川水を採取し、分析した。
- (7) 魚類については、湾で採取された魚および市場で購入した魚について、水銀分析をおこなった。
- (8) 湾周辺の漁業の実態、および湾周辺地域の住民の魚摂取量について、聞き取り調査をおこなった。
- (9) 以上を総括し、カマリネス・ノルテ州ホセパンガニバン市における水銀汚染の現状とリスク削減策に関して、地元報告会を開催した。

4. 研究成果

- (1) ホセパンガニバン市の女性の毛髪を分析した結果、最高値が 9.9 ppm で、中央値が 2.4 ppm であり、安全レベルとされている 5 ppm や日本女性の平均値 1.6 ppm と比較して、特に高い傾向は見られなかった。食生活やパラングイ毎で評価すると、ASGM のあるパラングイの住民が高いわけではなく、海辺の漁業中心のパラングイの女性、および魚の摂取量が高い女性の毛髪中水銀濃度が比較的高いことが明らかになった。これらのことから、ASGM の精錬所で使用している水銀の影響は、魚をとおしてヒトに蓄積されていることが示唆された。

- (2) 製錬所周辺の表層土壌中総水銀濃度は、2.45- 106 mg/kg (中央値 10.7 mg/kg) であり、製錬の行われていない地点での表層土壌中水銀濃度 (0.06- 0.15 mg/kg) と比較して、明らかに高い値であり、製錬所の周辺では水銀汚染の存在が明らかになった。

精錬所そばでは、近接した 2 地点でも土壌中水銀濃度が大きく異なった。このことから、製錬所周辺での水銀汚染の面的分布にはかなりばらつきがあることが明らかになった。この原因は、精錬の際に残る尾鉱中に含まれる水銀が懸濁態として運ばれているためだと推測された。また、土壌中の水銀は、比較的表層にとどまっている傾向が見られた。これは、周辺土壌への水銀源が、大気や懸濁態水銀に由来していることを示している。土壌中のメチル水銀濃度も総水銀濃度と同様に表層土壌で下層土壌に比べて高い傾向が見られた。また、総水銀とメチル水銀濃度には強い正の相関が見られ、土壌中におけるメチル水銀の生成が示唆された。

ASGM の存在しない地点で採取された植物の水銀濃度は、0.06- 0.14 mg/kg であり、ホセパンガニバン市の市役所周辺では、0.04- 0.42 mg/kg であったのに対し、精錬所周辺で採取した植物葉中水銀濃度は、中央値 3.30 mg/kg であり、濃度範囲は、0.16- 29.5 mg/kg であった。これらの値から、製錬所周辺の植物は金の製錬活動による水銀の汚染を受けていることが確認され、主に大気に由来していると考えられた。同地点で生育していた植物においても植物ごとに水銀濃度にばらつきが見られ、着葉の位置や構造が植物体中の水銀濃度に影響を与える可能性が示唆された。

- (3) シアン化処理施設周辺の表層土壌では 7.3- 34 mg/kg、下層土壌では 0.22- 9.9 mg/kg と製錬所周辺と同程度の水銀濃度が検出された。これは、シアン化処理によって可溶化した水銀による汚染を示唆している。

シアン化処理施設周辺の植物中水銀濃度は、中央値 0.35mg/kg 濃度範囲 0.03- 0.74 mg/kg と製錬所周辺の植物(0.16- 29.5 mg/kg)と比較して水銀濃度が低かった。製錬所周辺と土壌中水銀濃度が同程度にも関わらず、植物中水銀濃度が低いということから、土壌中からの水銀は植物体地上部にほとんど移行しておらず、大気由来の水銀の沈着量が製錬所周辺と比較して小さいことが、植物中水銀濃度が低い原因であると考えられた。

- (4) 森林においても高濃度の水銀が確認され、大気由来の水銀汚染が確認された。また、植物

によって吸着・吸収された水銀がリターによって土壌への供給されることが確認された。森林土壌中の水銀の深度分布は、表層で高い傾向が見られ、これは有機物の存在と関連していることが示唆された。また、形態別分析から、森林土壌中の水銀の多くは、有機物の存在と関係していることが明らかとなった。次いで残渣中水銀が多く存在していた。水溶性および交換態水銀の濃度はわずかであった。これらのことから、通常の降雨等によって水溶性の水銀が系外に流出する可能性は低いと考えられるが、表層土壌の流出が起こるような状況下では、有機物や土砂の流出とともに系外に流出する水銀が増加するリスクが明らかとなった。

山火事により土壌およびリター中の水銀の損失が確認された。山火事による土壌の水銀形態の変化として、山火事により有機物結合態水銀の減少および水溶性・残渣中水銀の増加が確認された。このことから、山火事は水銀の動態に大きな影響を与えていることが明らかとなった。

- (5) 住民の主食の米を供給している水田群は ASGM における採掘や金抽出作業サイトが点在する丘陵の間に開かれており、これら丘陵部を集水域とすることにより成立していることが明らかとなった。ASGM からの水銀は灌漑水に運ばれ水田内に堆積すると共に田越し灌漑や上流の水田排水の下流水田における再利用などを通してこの地域の水田土壌に広く分布していることが推測された。生産量増強のための二期作は一期作に比べて通水期間が長いので水銀の堆積量を促進している可能性が示唆された。
- (6) ホセパンガニバン市が取り囲むマンブラオ湾では、海水、堆積物、懸濁物ともに湾の東岸が西岸域よりも高く、東側の陸域から懸濁物として水銀が流入していることが示唆された。海水中の総水銀の最高値は 62 ng/L, 堆積物中の最高値は 175 mg/kg, 懸濁物質の最高値は 75 mg/kg であった。そのうち 0.4%程度が有機水銀として存在することも確認された。
- (7) 調べた魚は 20 種 22 サンプルであり、最も水銀濃度が高い試料には 1 mg/kg 含まれていたが、残りの試料は基準値の 0.4 mg/kg 以下であった。また、そのうち約 80 %がメチル水銀であることが明らかとなった。
- (8) 2017 年 9 月, 2018 年 2 月に収集した食事日誌の入力と分析をおこない, 世帯ごとに摂取されている水産物やその頻度を明らかにした。その結果、すべての家族において、タンパク源の 90 %を魚に依存しており、汚染された魚からの水銀リスクは非常に高いと判断された。漁業は、主は外洋であるが、天候によっては湾内でも行うということが明らかになった。したがって、汚染されている湾内の魚汚染は深刻な問題ととらえることができる。
- (9) 2019 年 3 月 15 日に、ホセパンガニバン市の市役所にて、主に市議員を対象に本科研の成果の報告会を開催し、質疑応答を行った。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Murao S., Tomiyasu T., Ono K., Shibata H., Narisawa N. and Takenaka C. (2019) Mercury distribution in artisanal and small-scale gold mining area: a case study of hot spots in Camarines Norte, Philippines, *International Journal of Environmental Science and Development* 10(5):122-129 査読あり

〔学会発表〕(計 7 件)

- 1) 池口明子 (2018) 小規模金採掘地域における漁民の生態知と環境ガバナンス：フィリピン・ピコール地方の湾域を事例として，地域漁業学会
- 2) YASUMATSU Sora, Hitoshi KODAMATANI, Ryo KANZAKI, Ian A. NAVARRETE, Chisato TAKENAKA, Satoshi MURAO, Shuichi MIYAGAWA, Kenichi NONAKA, Akiko IKEGUCHI and Takashi TOMIYASU, The dynamics of mercury around the artisanal and small-scale gold mining area, Camarines Norte, Philippines, 2019 International Conference on Mercury as a Global Pollutant
- 3) 安松空良, 竹中千里, 富安卓滋 (2018) フィリピン，カマリネスノルテ州における小規模金精錬活動により放出された水銀の拡散挙動 第 28 回環境地質学シンポジウム
- 4) 安松 空良, 児玉谷 仁, 神崎 亮, 竹中 千里, 富安 卓滋 (2018) フィリピン，カマリネスノルテ州小規模金精錬地域及びその周辺における水銀分布 第 78 回分析化学討論会
- 5) 柴田晴音, 竹中千里, 富安卓滋, 田和康太, 野中健一, 宮川修一, 村尾智 (2016) 人力小規模金採掘が農林水産物に与える水銀汚染の時空間的影響評価と対策手法－環境中の水銀濃度の分析－第 26 回環境地質学シンポジウム
- 6) 柴田晴音, 竹中千里, 中島和夫, 成澤昇, 村尾智 (2017) ASGM における金抽出処理がもたらす重金属可溶化について第 27 回環境地質学シンポジウム
- 7) 村尾 智・竹中千里・Noel PERCIL・Mylene MACABUHAY・Arlene GALVEZ・Evelyn CUBELO・Richard GUITEREZ (2017) フィリピンにおける零細及び小規模金採掘現場訪問の留意点について 第 27 回環境地質学シンポジウム

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6 . 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：村尾 智

ローマ字氏名：Murao Satoshi

所属研究機関名：国立研究開発法人産業技術総合研究所

部局名：地圏資源環境研究部門

職名：上級主任研究員

研究者番号（8桁）: 10358145

研究分担者氏名：野中 健一

ローマ字氏名：Nonaka Kennichi

所属研究機関名：立教大学

部局名：文学部

職名：教授

研究者番号（8桁）: 20241284

研究分担者氏名：宮川 修一（2017年まで）

ローマ字氏名：Miyagawa Shuuichi

所属研究機関名：岐阜大学

部局名：応用生物科学部

職名：教授

研究者番号（8桁）: 60115425

研究分担者氏名：池口 明子

ローマ字氏名：Ikeguchi Akiko

所属研究機関名：横浜国立大学

部局名：教育人間科学部

職名：准教授

研究者番号（8桁）: 20387905

研究分担者氏名：富安 卓滋

ローマ字氏名：Tomiyasu Takashi

所属研究機関名：鹿児島大学

部局名：理学部

職名：教授

研究者番号（8桁）: 60217552

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。