

令和元年6月3日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(A)（海外学術調査）

研究期間：2016～2018

課題番号：16H02706

研究課題名（和文）インドネシアの金鉱山地域における水銀汚染リスクの低減に関する超学際的研究

研究課題名（英文）Transdisciplinary research of reduction of mercury pollution in ASGM areas, Indonesia

研究代表者

榊原 正幸（Sakakibara, Masayuki）

愛媛大学・社会共創学部・教授

研究者番号：80202084

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 31,700,000円

研究成果の概要（和文）：東南アジア地域では、貧困問題を背景とする零細小規模金採掘による水銀汚染が発生し、近年、住民の健康リスクが顕在化している。本研究では、インドネシアのゴロンタロ州における水銀汚染の環境影響評価および住民の健康影響評価を実施した。そして、それらの調査結果を住民および行政に周知すると同時に、研究者の「科学知」と住民の「経験知」を統合することによって、伝統的産業を活性化について住民と協議した。また、これらの研究を通して、持続的に貧困問題を改善しつつ、水銀汚染リスクを低減する未来シナリオを協力した住民と共創し、持続可能な地域社会づくりの方法論を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の予想される結果として、地域のステークホルダーと協働でいくつかの持続可能な地域知と科学知の統合知をイノベーションへと展開する道筋を明らかにした。そして、その実装によって、地域社会の「環境管理力」を向上させる道筋が明確になり、さらに、この技術を新環境産業として活用し、貧困削減や地域経済再生につなげ、かつ近い将来、高い環境汚染リスクから解放されるという「未来への展望」がどのように地域社会を変容させるのかを解明できる。これらの結果は、貧困問題を背景とする零細小規模金採掘による水銀汚染問題を解決する道筋を示すことができるという点で非常に重要な意義を有する。

研究成果の概要（英文）：In Southeast Asia, mercury pollution has been occurring due to poverty-driven artisanal and small-scale gold mining, and health risks of the residents have been increasing recently. In this study, environmental and health impact assessments of mercury pollution in Gorontalo province, Indonesia, were conducted. The results of our project were informed to the residents and local governments, and the revitalization of traditional industries were discussed by integrating the "scientific knowledge" of the researchers and the "local knowledge" of the residents. Through the project researches, future scenarios have been co-created to reduce the risk of mercury pollution by sustainable improvement of the poverty problem, and the methodology for creating a sustainable community has been established.

研究分野：地球環境学

キーワード：インドネシア 小規模人力金採掘 水銀汚染 知の統合 超学際的研究

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

1 . 研究開始当初の背景

東アジア地域では、経済発展および人口増大とともに、土壌・水環境の汚染が深刻な課題となっている。最近、国連環境計画(UNEP)は、世界の発展途上国で水銀汚染が拡大しており、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、精錬に水銀を使用する小規模人力金採掘が挙げられる。特に、中国、ベトナム、フィリピンやインドネシアを中心とする東アジアでは、このような金抽出で使用した水銀による環境汚染が広がっている。その水銀消費国の第一位は中国で、それに次ぐインドネシアでは水銀の年間消費量が 100 ~ 150 t にも達している。これらの環境汚染は貧困問題を背景としており、この問題の改善が重要となる。

インドネシアでは、小規模人力金鉱山周辺において、すでに形態異常を示す魚類や原因不明の疾病例が報告されており、一部の研究者はそれが水銀などの重金属汚染による影響と考えている。しかし、その因果関係は科学的に証明されていないため、有効な対策がとられていない。そのため鉱山労働者や鉱山周辺の住民が水銀環境汚染による極めて高い健康被害リスクに晒されているにもかかわらず、金鉱山における水銀使用は年々増大する傾向にある。さらに、中央政府もしくは地方政府がその汚染環境を修復することは、技術的にも経済的にも不可能に近い。

特に、スラウェシ島北部の沿岸海洋域には、サンゴ礁が広域的に形成され、その豊かな生態系を世界的な生物資源として保全する必要性が指摘されている。また、森林地域の動植物も熱帯地域固有の豊かな生態系を有している。近年、上記のような金鉱山開発による水銀汚染が及ぼす周辺陸海域の環境および生態系への影響が懸念されているが、経済発展から取り残された農村・漁村地域では、生活のために金鉱山で働く住民も多く、鉱山における女性や子供の就労もしばしば見出される。

2 . 研究の目的

近年、東アジア地域では、生態系が貧困問題を背景とする小規模人力金採掘によって水銀汚染され、周辺住民の健康リスクが顕在化しつつある。本研究では、インドネシアのゴロンタロ州において、地域住民と協働で、小規模人力金鉱山周辺の水銀汚染による周辺環境や生態系への影響を評価すると同時に、地域住民の社会経済評価および健康への影響を明らかにする。そして、それらの調査結果を住民に周知すると同時に、研究者の「科学知」と住民の「経験知」を統合することによって、伝統的産業を再生・再活性化を検証する。さらに、持続可能な環境修復技術を協働開発することによって、住民の環境管理能力を向上させる。これらの研究を通して、持続的に貧困問題を改善しつつ、水銀汚染リスクを低減する地域社会づくりのモデルケースを目指す。

3 . 研究の方法

平成 28 年 ~ 30 年の 3 ヶ年にわたり、インドネシア共和国東部のスラウェシ島北部・ゴロンタロ州における 4 ヶ所の小規模な金鉱山(北部の Kuandang および Sumalata , 南部の Marisa および Bilato) 周辺の (1) 沿岸域・森林生態系に対する水銀汚染の環境影響評価、(2) 水銀汚染地域における医療地質学的研究、(3) 水銀汚染された土壌・水環境を修復する持続可能な新グリーン技術の開発および実用化、(4) 地域住民および地方自治体の行政職員に対する水銀汚染に関する「環境教育」の実施および研究成果の普及、および(5) 研究データの総合解析を行う。これらの研究は、環境影響評価グループ、社会経済評価グループおよび技術開発グループの 3 グループによって実施される。

本研究プロジェクトは、このような貧困問題を背景とする環境汚染問題を科学的に解明し、同時に汚染リスクを低減する文理融合国際研究プロジェクトである。研究プロジェクトは、環境影響評価グループ、社会経済評価グループおよび技術開発グループの 3 グループによって実施される。環境影響評価グループは、スラウェシ島北部のゴロンタロ州における金鉱山周辺の土壌・水・生態系の水銀汚染の実態および住民健康への影響を解明し、かつ植物活用グリーン技術等の持続可能な環境修復技術導入の前後における各地域の社会生態系システムにおける環境影響調査を実施する。社会経済評価グループは住民へのアンケート・聞き取り調査を実施し、ミクロデータから環境負荷の地域住民への影響および問題への対応行動などを解析する。技術開発グループは、持続可能な低コストの浄化技術を住民と協働で開発し、その技術を実用化にまで展開する。また、それらの技術を活用することによって、自治体と協働で新たな環境産業を創出し、鉱山地域の住民の貧困緩和を検証する。

4 . 研究成果

< 平成 28 年度 >

4 月にはスタートミーティングを愛媛大学で開催した。研究代表者の榊原が 6 月にインドネシアを訪問し、インドネシア人主要研究協力者と研究の意義・目標や各グループの役割・課題などを共有した。7 月に、調査のための打ち合わせを、10 月には平成 28 年度のフィールド調査報告会を実施した。各グループの研究実績を以下に述べる。

環境影響評価グループ：8 ~ 9 月にゴロンタロ州北部の北ゴロンタロ県 Kuandang および Sumalata の違法金鉱山周辺の河川周辺の生態系調査および分析試料採取を実施した。北ゴロンタロ県およびボネボランゴ県の鉱山周辺地域において、土壌・河川堆積物・河川水・植物等の

水銀地球化学図を作成するための試料（約 500 試料）を採取した。また、総水銀濃度測定のための毛髪・爪試料を鉱山労働者および周辺住民から採取した（約 200 試料）。さらに、水銀中毒調査のための問診票を作成し、鉱山労働者や住民に対する疫学的問診を行った。採取した堆積物・土壌・水・植物・毛髪・爪試料を ICP-MS, ED-XRF, PIXE 等を用いて、水銀および他の重金属濃度を測定した。

社会経済評価グループ：ゴロンタロ州ボネボランゴ県における小規模金採掘により環境汚染・健康被害を軽減し、持続的な地域経済を実現するため、現地の状況を把握するとともに、代替的な職業への就業機会を創出する上での基礎的情報の収集を行った。より具体的な情報の把握に向けて、現地研究者と合同で大規模調査を実施する方向で調整を進める。

環境影響評価グループは、現地周辺において、植生調査を行うとともにシダ類およびマンゴーを中心に草本・木本類を採取した（約 200 試料）。また、現地に自生するカヤツリグサ科の植物を探索した。

技術開発グループ：天然繊維を用いた水質浄化システムをプロトタイプのプロトタイプを開発し、室内実験によってその性能に関する定性的試験を実施した。

<平成 29 年度>

まず、7 月に中間総括ミーティングを愛媛大学で開催し、これまでの進捗状況と今後の予定について情報を共有した。研究計画に基づいて、研究代表者の榊原が 6 月、8 月、10 月、11 月、12 月、3 月にインドネシアを訪問し、インドネシア人主要研究協力者と研究打合せ、調査、セミナーなど随時行ってきた。また、4 名の研究分担者および現地連携研究者も 8 月および 12 月にインドネシアを訪問・調査を行った。その結果、スラウェシ島のゴロンタロ州の多数の零細小規模金採掘（ASGM）現場では、金抽出に主に水銀が使用され、周辺環境に投棄されていることが明らかになった。この調査における各グループの研究実績は以下の通りである。

環境影響評価グループ：調査地域の沿岸域および島嶼部において周辺の土壌、サンゴ礁の分布範囲および海洋生物の生態系調査を行った。水銀分析用の魚介類の試料（約 100 試料）を採取し、水銀濃度を測定した。森林地域では、木本類の樹皮の水銀濃度分析を実施し、ASGM サイトから放出された蒸気水銀の挙動を解析した。また、調査地域の鉱山周辺地域において、土壌・河川堆積物・河川水の水銀地球化学図を作成するための試料を採取した。総水銀濃度測定のための毛髪・爪試料を鉱山労働者および周辺住民約 250 名から採取した。また、水銀中毒調査のための問診票を作成し、鉱山労働者や住民のべ約 250 人に対する疫学的問診を行った。

社会経済評価グループ：既存資料レビュー・社会経済状況の調査に加えて、地域住民や行政主体などの ASGM 周辺地域の住民約 1000 人へのアンケート・聞き取り調査を実施した。所得水準・貧困・環境問題の認識などの基礎情報も把握した。

また、ゴロンタロ州の ASGM が盛んな地域において、金採掘依存度に影響する要因評価を実施した。分析の結果、世帯主が高齢な世帯ほど、また世帯主及び世帯構成員の教育水準が低い世帯ほど、鉱山収入に依存する割合が増加傾向であった。鉱山への依存度を下げるためには、成人への教育研修が重要であることを示唆した。また食品加工業への就業という仮想的なシナリオに対する潜在需要評価を実施したところ、住民は収入の安定性や給与の支払い頻度といった要因をより重要視していることが明らかになった。ゴロンタロ州ボネ・ボランゴ県のスワワ地方に位置する ASGM の「所有者」(ボス)と労働者の拠点となっている村の一つ(Dumbayabulan 村、以下、D 村)で、ASGM をめぐる社会関係、労働状況に関する聞き取り調査を行った。D 村では、2018 年 12 月の調査時点で 278 世帯からなり、農業(トウモロコシ、キャッサバ、とうがらし)と果樹栽培を主な生業とする一方、村内から約 300 人以上が鉱山労働、約 200 名が鉱山地域までの輸送バイク運転手として収入を得ていると推定された。鉱山労働への依存度の高い村といえる。鉱山労働者は 10 名程度のグループ(kongsi)をつくり、2 週間から 1 カ月の間、鉱山で採掘にあたる。鉱山での必要費用(食費、採掘費用等)は、坑道を「所有」する“ボス”が負担し、収益から費用を差し引いた後、ボスと労働者の間で折半する(ボス:労働者全員=1:3, 1:2 など)。採掘状況がよい時期で、3 週間の採掘で 2000 万ルピア以上得た労働者もいるが、近年は採掘量が下がりつつあり、月 100 万~500 万ルピア(8000 円~45000 円)程度である。スワワ地方では、1970 年代に国立公園内の土地が用途転換され、複数の鉱山会社が代わる代わる事業許可を取得してきた。そうした中、1991 年、スワワ地方で土地に対し慣習的な権利を持つとされる「地主」(tuan tanah)13 名が、鉱山会社の事業契約地内で住民による採掘を開始したことが、スワワ地方での ASGM の端緒である。国法上は、採掘地に対する慣習的な権利は認知されていない。「地主」は坑道を所有する“ボス”でもあり、近年「スワワ鉱山労働者フォーラム」(代表: Usman Hulopi, D 村在住)を組織し、住民の権利認知を求める取組を進めている。「住民の権利認知」をめぐる対話が、ASGM ステイクホルダー間のバウンダリー・オブジェクトとして機能する可能性は高く、今後の課題として位置づけられる。

技術開発グループ：現地周辺において、植生調査を行うとともに自生する草本類約 100 試料を採取し、水銀濃度等を測定した。現地に自生するモエジマシダの分布調査および重金属濃度を測定した。モエジマシダは、ボネボランゴ県を流れるボネ川上流に広く分布し、ASGM サイト周辺で、ヒ素、鉛および水銀濃度が高くなる傾向を示した。

<平成 30 年度>

本研究プロジェクトの最終年度として、以下の各研究グループの研究を遂行した。年度中に、研究成果を発表するための国際セミナーを実施した。また、各グループの研究成果を国際学術雑誌および国際会議紀要（査読付き）に発表した。研究成果は以下の通りである。

環境影響評価グループ：平成 28・29 年度にゴロンタロ州の各調査地域において採取したすべての試料（堆積物、土壌、水、植物、毛髪、血液、作物等）、および、今年度、補足的に採取した試料の重金属濃度（水銀、ヒ素、鉛等）を分析した。分析終了後、各データの総合的解析を実施した。

社会経済評価グループ：平成 28・29 年度調査で不十分な地域を再調査し、戸別インタビューおよびアンケート調査を実施した。それらのデータに基づいて社会経済的に解析した。

本年度、地元の若者が、地域資源を活かす在来の知恵や技術を掘り起こし、記録する教育プログラムとして、ゴロンタロ州の高校生を対象に「聞き書き」研修を実施した。「聞き書き」は、長年身近な自然資源を活かし、生業に活かしてきた年配者を、地元の高校生が訪ね、年配者の経験と知恵・技術を聞き取りし、話し手の言葉だけで構成する「聞き書き作品」に仕上げているプログラムである。日本では「聞き書き甲子園」として 2002 年以来継続的に実施され、地域にある在来知と持続可能な社会のあり方に関する気づきの深化、さらにはそれが具体的な実践・行動へと結びついている点で ESD のベスト・プラクティスとして国内外での展開が期待されている。「聞き書き甲子園」の実績とアプローチを応用し、ゴロンタロ州での実施を試みた。

「聞き書き」に対する関心は高く、ゴロンタロ国立大学、ゴロンタロ州政府、ゴロンタロ市内高校との連携と協力で、州内の高校生 50 名と教員 25 名を対象とした「聞き書き研修」を実施した(2018 年 7 月 19-21 日)。参加高校生は各地域で聞き書きに取り組み、計 33 作品が提出され、書籍として出版された。聞き書きの対象者となったのは、ゴロンタロの伝統刺繍クラウン職人、ゴザ・籐職人、ヤシ砂糖づくり、竹の伝統楽器づくり、薬草処方などである。また、優秀な作品を提出した生徒はポゴール農業大学で開催されたセミナーにて報告し、他地域(ポゴール、中カリマントン州、中スラウェシ州)で聞き書きに取り組んだ高校生との交流をはかった。

以上の実践から、「聞き書き」は在来知を集め記録するだけでなく、持続可能な社会のあり方に対する人々の関心を高め、潜在的アクターを掘り起こし、関係構築をすすめる TBO として機能しうる可能性が見えてきた。この可能性については、2018 年 8 月に開催された国際シンポジウムにて報告した。

技術開発グループ：昨年度、水銀を高濃度に蓄積するモエジマシダを発見した。今年度は、モエジマシダの分布調査を行い、水銀・ヒ素濃度を測定した。

以上のデータに基づいて、研究メンバー全員が、8 月までに、研究結果のデータを共有し、その後、各グループの総合解析結果・考察を議論した。その成果は、平成 30 年 8 月 11-12 日にインドネシア・ゴロンタロ州ゴロンタロ市において、研究代表者が主催する TREPSEA2018(Transdisciplinary Research of Environmental Problems in Southeast Asia 2018)において発表した。TREPSEA2018 のポスト国際学会紀要は、現在、全論文査読中であり、2019 年度中に発行する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 7 件)

Gafur N. A., Sakakibara M., Sano S., and Sera K., A Case Study of Heavy Metal Pollution in Water of Bone River by Artisanal Small-Scale Gold Mine Activities in Eastern Part of Gorontalo, Indonesia. *Water*, 査読有, Vol. 10, 1507-1517, 2018, doi:10.3390/w10111507

Pateda S. M., Sakakibara M., and Sera K., Lung Function Assessment as an Early Biomonitor of Mercury-Induced Health Disorders in Artisanal and Small-Scale Gold Mining Areas in Indonesia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 査読有, Vol.15, 2480-2492, 2018, <https://doi.org/10.3390/ijerph15112480>

Prasetia H., Sakakibara M., Omori K., Laird J., Sera K., and Kurniawan I., *Mangifera indica* as Bioindicator of Mercury Atmospheric Contamination in an ASGM Area in North Gorontalo Regency, Indonesia. *Geosciences*, Vol. 8, 31-40, 2018. doi:10.3390/geosciences8010031

Abbas H., Sakakibara M., Sera K., and Arma L., Mercury Exposure and Health Problems in Urban Artisanal Gold Mining (UAGM) in Makassar, South Sulawesi, Indonesia. *Geosciences*, Vol. 7, 44-59, 2017. doi:10.3390/geosciences7030044

Basri, Sakakibara M., Sera K., and Kurniawan I. A., Mercury Contamination of Cattle in Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Bombana, Southeast Sulawesi, Indonesia. *Geosciences*, Vol. 7, 133-143, 2017. doi:10.3390/geosciences7040133

Gafur, N. A., Sakakibara, M., and Sera, K., Phytoremediation of Heavy Metal-Polluted Mine Drainage by *Eleocharis acicularis*. *Environmental Science*, Vol.13(1), 131-142, 2017.

〔学会発表〕(計 8 件)

Kasamatsu, H., Shimagami, M. and Sakakibara, M., The Researchers Role and Future View

of TDCOPs from Case Study of Dihime Limboto-ko, Gorontalo District. The 3rd international conference of the Transdisciplinary Research on Environmental Problems in Southeast Asia (TREPSEA2018).

Sakakibara, M., Tanaka, K., Kasamatsu, H. and Shimagami, M., Co-creation of Sustainable Regional Innovation for Reducing Risk of High-impact Environmental Pollution. The 3rd international conference of the Transdisciplinary Research on Environmental Problems in Southeast Asia (TREPSEA2018).

Shimagami, M., Kasamatsu, H. and Sakakibara, M., Kikigaki Program as a Transformative Boundary Object for Stimulating Sustainable Regional Innovation through Crossgenerational Urban-Rural Interaction: Case studies from Japan and Indonesia. The 3rd international conference of the Transdisciplinary Research on Environmental Problems in Southeast Asia (TREPSEA2018).

Komatsu, S. and Tanaka, K., Household Attributes and Dependency on Artisanal and Small-scale Gold Mining of Villagers in Rural Gorontalo. The 3rd international conference of the Transdisciplinary Research on Environmental Problems in Southeast Asia (TREPSEA2018).

Kasamatsu, H., Sakakibara, M., Tanaka, K., Komatsu, S. and Shimagami, M., Transdisciplinary approaches for creating innovative livelihood alternatives in high environmental loading areas affected by mercury pollution in Indonesia. The 3rd international conference of the Transdisciplinary Research on Environmental Problems in Southeast Asia (TREPSEA2018).

Sakakibara, M., Co-creation of regional innovation in the highly environmental polluted area by transdisciplinary approach. International Conference on Transdisciplinary Approach Research (ICTAR 2017).

Tanaka, K., Sato, T., and Sakakibara, M., Co-creation of regional innovation for reducing high-impact environmental pollution by transdisciplinary approach. The International Conference of Transdisciplinary Research on Environmental Problem in Southeastern Asia, 2016, 09 20-2016, 09 22, Bandung, Indonesia.

Sakakibara, M., Takehara, A. and Sano, S., Potentials of phytoremediation of radiogenic Cs-polluted soil and water by aquatic macrophyte *Eleocharis asicularis*. HANOI GEOENGINEERING, 2016.

[図書] (計 1 件)

Fenty U. P., Shimagami, M., Lukman A.R. L., Lilan D., Raflin H., ed. Kikigaki: Mendengar dan Menulis: Mempertahankan Kearifan Lokal Gorontalo melalui Kikigaki. Ideas Publishing, 2018.

[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 <https://trepsea.org/> <https://sakakibara-lab.com/>

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：世良 耕一郎

ローマ字氏名：(SERA, Koichiro)

所属研究機関名：岩手医科大学

部局名：医学部

職名：教授

研究者番号 (8 桁) : 00230855

研究分担者氏名：畑 啓生

ローマ字氏名：(HATA, Hiroki)

所属研究機関名：愛媛大学

部局名：理工学研究科 (理学系)

職名：准教授

研究者番号 (8 桁) : 00510512

研究分担者氏名：大森 浩二

ローマ字氏名：(OMORI, Koji)

所属研究機関名：愛媛大学

部局名：社会共創学部
職名：教授
研究者番号（8桁）：10152258

研究分担者氏名：佐野 栄
ローマ字氏名：(SANO, Sakae)
所属研究機関名：愛媛大学
部局名：教育学部
職名：教授
研究者番号（8桁）：10226037

研究分担者氏名：N . P . B h a n d a r y ネットラ・ブラカシュ・バンダリ
ローマ字氏名：(BHANDARY, Netra Prakash)
所属研究機関名：愛媛大学
部局名：社会共創学部
職名：准教授
研究者番号（8桁）：10363251

研究分担者氏名：田中 勝也
ローマ字氏名：(TANAKA, Katsuya)
所属研究機関名：滋賀大学
部局名：環境総合研究センター
職名：教授
研究者番号（8桁）：20397938

研究分担者氏名：古川 慎哉
ローマ字氏名：(FURUKAWA, Shinya)
所属研究機関名：愛媛大学
部局名：医学系研究科
職名：准教授
研究者番号（8桁）：60444733

研究分担者氏名：笠松 浩樹
ローマ字氏名：(KASAMATSU, Hiroki)
所属研究機関名：愛媛大学
部局名：社会共創学部
職名：講師
研究者番号（8桁）：60520690

研究分担者氏名：小松 悟
ローマ字氏名：(KOMATSU, Satoru)
所属研究機関名：長崎大学
部局名：多文化社会学部
職名：准教授
研究者番号（8桁）：80553560

研究分担者氏名：武部 博倫
ローマ字氏名：(TAKEBE, Hiromichi)
所属研究機関名：愛媛大学
部局名：理工学研究科（工学系）
職名：教授
研究者番号（8桁）：90236498

研究分担者氏名：島上 宗子
ローマ字氏名：(SHIMAGAMI, Motoko)
所属研究機関名：愛媛大学
部局名：国際連携推進機構
職名：准教授
研究者番号（8桁）：90447988

(2)研究協力者
無し