

地球規模課題対応国際科学技術協カプログラム (SATREPS)

研究課題別終了評価報告書

1. 研究課題名

ザンビアにおける鉛汚染のメカニズムの解明と健康・経済リスク評価手法および
予防・修復技術の開発

(2015年6月1日～2022年3月31日)

2. 研究代表者

2-1 日本側研究代表者：石塚 真由美 (北海道大学 大学院獣医学研究院 教授)

2-2 相手国側研究代表者：Prof. Luke E Mumba (Vice Chancellor, The University of
Zambia)

3. 研究概要

アフリカ諸国の環境汚染の中でも、地下資源開発に伴う金属汚染は特に深刻で普遍的な問題である。本プロジェクト対象地域のザンビア共和国カブウェ地域においても、鉛による金属汚染が顕著であり、人や家畜に対する高濃度の鉛による慢性暴露が確認されている。しかし、同地域での汚染メカニズムは解明されておらず、健康・経済に対する潜在的リスクの評価や具体的な汚染対策が実施されずにいる。

そこで、本プロジェクトはザンビアのカブウェ地域を鉛汚染のモデル地域とし、アフリカ諸国の共通問題である地下資源開発に伴う金属汚染が生態・社会生態に与えるインパクトの定量評価、将来予測、リスク低減手法の提案に取り組む。

本プロジェクトは下記の3つの研究題目で構成されている。

- (1) 土壌から生態系・人・動物への汚染メカニズムの解明
- (2) 鉱床地域の子供における有害金属汚染へのフォローアップスタディ
- (3) オンデマンドの環境修復技術の開発と評価

4. 評価結果

総合評価：S (所期の計画を越えた取り組みが行われている)

相手国の喫緊の課題である鉛汚染対策について、①汚染経路が主に粉塵経路であることを科学的に明らかにし、②その知見に基づいた環境修復技術を設計するという、分析から対策までの一貫した流れが構築されたと評価する。

また、現地住民の血中鉛濃度を測定して、その結果をザンビア関連省庁や世界銀行プロジェクト (ZMERIP) と共有することで、プロジェクト期間中に調査対象地域に住む子供約1万人への検査および鉛中毒治療の提供に寄与した。

さらに、世界銀行やザンビアの関連省庁には、環境修復技術の提案書や血中鉛濃度の調査方法のマニュアルも提出されており、これらの機関が本プロジェクトの提言に基づいた環境修復を実施する見込みが高いと考える。

本プロジェクトの成果はWHOのガイドラインの一部に取り込まれる予定であることから、研究成果が国際社会で認知され、他国や他地域で活用される可能性も高い。

このように、本プロジェクトは、科学技術的な新規性と社会実装の実現の両面において、極めて優れた成果を挙げたと評価する。

4-1. 地球規模課題解決への貢献

【課題の重要性とプロジェクトの成果が課題解決に与える科学的・技術的インパクト】

鉱物資源開発に起因するヒト、地域社会また生態系への環境汚染リスクを評価し、その環境汚染対策を講ずることは、鉱物資源輸出に依存することの多い発展途上の国々においては最重要課題の一つとなっている。

本プロジェクトでは、住民の鉛汚染経路が粉塵の吸入が主体であることを科学的データにより明らかにし、粉塵の飛散の防止策として植生の被覆が最有力であることを示した。また、その知見に基づいて、具体的な環境修復を行う方法論を提案した。この研究成果は、82件の学術論文として発表されるとともに、ザンビア政府および世界銀行プロジェクト(ZMERIP)との連携のもとで、社会実装に向けて実践的に活用されるに至っている。

汚染経路の同定結果に基づいて汚染対策、環境修復案を提案する一連の研究手法は、重金属汚染被害に苦しむ他の地域への展開にも大きく貢献するものと期待される。基礎的な科学研究の積み上げから社会実装までの道筋をつけた本研究の科学技術的意義は高い。

【国際社会における認知、活用の見通し】

学術的なアウトプットとしては、82編の学術論文が投稿されており、科学技術コミュニティへの知の展開が図られていると考える。

また、2019年に開催された第7回アフリカ開発会議(TICAD7)では、国際シンポジウムの開催・特設ブースの出展を行い、アフリカ諸国の参加者に広くプロジェクト成果を水平展開した。

世界保健機関(WHO)は鉛中毒に関するガイドラインを作成中である。WHOからの要請に基づいて、本プロジェクトの関係者が対象地域における汚染状況および汚染対策手法に関するレビューレポートを作成している。このレビューレポートはガイドラインの一部を構成する予定である。こうした取り組みからも、本プロジェクトの成果が国際社会で認知され、活用される見通しが高いと考える。

【他国、他地域への波及】

本プロジェクトの成果が、WHOのガイドラインの一部に取り込まれる予定であることから、本プロジェクトの成果が他国や他地域で活用される可能性は高いと考える。また、JST

持続可能開発目標達成支援事業（aXis、2020年～2021年度）でのフォローアップ体制に加え、JSPS 研究拠点事業「アフリカにおける環境毒性コア拠点の形成」等の国際共同研究の実施や世界銀行プロジェクト（ZMERIP）との連携や等を通じ、本プロジェクトの研究成果をシームレスに横展開することができると期待する。

【国内外の類似研究と比較したレベルや重要度】

重金属汚染等の公害への取り組みは日本における環境研究の原点でもあり、日本においてもその蓄積は大きい。しかしながら、これまでの日本における重金属等の汚染経路は主として水系を介してのものであった。ザンビアにおいて新たに大気系（大気粉塵）を介しての汚染ルートを科学的に解明したことは、新たな知見を生み出したものと評価する。

また、その汚染経路の知見に基づき、種々の環境修復技術を対象としてコスト分析も含めて評価したことも新しい成果と考える。汚染メカニズムの解明から環境修復までの一貫した流れを構築したことは他の類似研究と比較しても研究の完成度が高い。

原著論文を計 82 報出版しているが、論文データベース「Expertscape」によれば、鉛に関する研究では、本プロジェクトの北大の研究者が国内トップ、世界でも若手研究者が 0.1% のトップ専門家に入っており、国内外において高いレベルであることを示している。

ただし、提案された鉛汚染対策については、植生による土壌被覆による飛散防止は有効であると思われる一方、恒常的なケミカルレメディエーション、フィジカルレメディエーションにはやや新規性が乏しいと考える。

4-2. 相手国ニーズの充足

【課題の重要性とプロジェクトの成果が相手国ニーズの充足に与えるインパクト】

世界銀行プロジェクト（ZMERIP）が、ザンビアの鉛汚染対策を目的として立ち上げられたことから、当該課題が相手国の喫緊の課題であったと考える。

重金属汚染はアフリカでは普遍的で最も懸念すべき環境汚染の一つであるが、特にザンビアは、世界で最も汚染されている 10 の地域の一つに挙げられている。本プロジェクトは、ザンビアの関連省庁に各種環境修復技術の提案書を提出しており、相手国のニーズに込えている。また本プロジェクトからのサポートにより 1 万人規模の血中鉛濃度の測定と治療提供が 2020 年に実現しており、相手国のニーズの充足に極めて高いインパクトを与えた。

しかしながら、植生の被覆といった環境回復手法は当面の健康リスクを軽減する対策として有用であるが、恒常的にはリン酸による鉛の不溶化といったさらなる対策が必要になると考えられる。

【課題解決、社会実装の見通し】

本プロジェクトは、血中鉛濃度の調査方法のマニュアル、治療のベースとなる血中鉛濃度データ、鉛拡散シミュレーション結果、環境修復に関する提言などを相手国の関連省庁に提出した。これらの関連省庁や世界銀行では、本プロジェクトからの提言に基づいた環

境修復を実施する見込みがある。また、汚染被害の経済損失、対策による経済効果などの試算がなされたことも政策への反映を後押しする望ましい取り組みと考える。

しかし、現地鉱床における採掘活動は小規模ながらも継続されており、恒常的な環境保全策は今後の課題として残っていると考えられる。

【継続的發展の見通し（人材育成、組織、機材の整備等）】

ザンビア大学内におけるモニタリングラボの構築や技術移転によって、プロジェクト後半も日本側・ザンビア側で同時並行的に研究活動を進めることが可能になったと考える。これにより、新型コロナウイルスの感染拡大によって海外渡航が困難になった2020年度以降もザンビア側メンバーが主導となり現地の研究活動を継続することができた。こうした状況から、継続的發展の見通しは高い。

【成果を基とした研究・利用活動が持続的に発展していく見込み（政策等への反映、成果物の利用など）】

発表されている原著論文（82編）のうち相手国研究者との共著の成果が42編と多く、ザンビア・日本両国の研究者の人材育成が進んだと考えられる。また、本プロジェクトのザンビア人研究者が世界銀行プロジェクト（ZMERIP）の代表者に指名されたことから、本プロジェクトに関連する取り組みが継続的に発展する見込みがあると考えられた。

4-3. 付随的成果

【日本政府、社会、産業への貢献】

これまで日本において培われてきた公害・環境研究の成果が本 SATREPS 研究を通じて他の国において新たな展開を見せたことは、日本における公害・環境研究の新たな展開を示すものであり評価したい。具体的な産業への貢献については未知数であるが、日本における資源開発産業における環境影響評価能力、また環境修復能力の向上を通じて、産業競争力を高めるものと期待する。

本プロジェクトの成果は、2019年8月に横浜で開催された TICAD7 などの場で公表されており、日本のプレゼンス向上に大きく貢献した。

【科学技術の発展】

前述のように、本プロジェクトでは汚染メカニズムの科学的解明から、環境汚染リスクと経済リスクの評価、さらには修復のための技術開発までを一貫した流れとして実施する方法論を展開しており、科学技術の社会実装を考える上でその貢献度は高い。

また、子供の血中鉛濃度と DNA メチル化レベルとの関係、子供の鉛中毒と母親の生活の質の関係なども明らかにしている。鉛汚染の実態から、その人への影響を住民の生活まで踏み込んで調査した結果は貴重であると考えられる。

【世界で活躍できる日本人人材の育成（若手、グローバル化対応）】

本プロジェクトのグループリーダーおよびサブグループリーダーに30代～40代の若手研究者を積極的に登用したこと、20代の若手研究者を長期・短期在外研究員として現地に長期間に渡って派遣したこと、プロジェクト期間を通じて若手メンバーが研究グループのオーガナイズや相手国機関および国際機関との連携において中心的な役割を担ったことなどから、世界で活躍できる日本人人材の育成に寄与したと考える。

【知財の獲得や、国際標準化への取り組み、生物資源へのアクセスや、データ入手手法】

重金属汚染対策は多くの開発途上国に共通する課題であり、その対策に向けての国際標準的な方法論の提案につながる可能性も高い。特許出願、標準化などはない。

【その他の具体的成果物（提言書、論文、プログラム、試作品、マニュアル、データなど）】

世界銀行やザンビアの関連省庁に各種環境修復技術の提案、処理コスト試算、ダスト飛散シミュレーションなどを含んだ提案書が提出された。この提案書には、処理コストの試算も示されていることから、ザンビアのような開発途上国において、現実的に採りうる対策を選択する際に役立つと考える。

また、82編の原著論文（特にそのうちの42件が相手国との共著）が発表されており、さらにその数は増加する可能性が高い。これらの点から、具体的な学術的なアウトプットは十分である。

【技術および人的ネットワークの構築（相手国を含む）】

今後の継承に向けた技術および人的ネットワークが構築されており、今後も日本側代表機関（北海道大学）が相手国政府ならびに世界銀行との連携を行うための基本合意書が締結されている。また、プロジェクト後も北海道大学の研究拠点が現地に残るとのことも、技術および人的ネットワークの継続に寄与すると考えられる。

4-4. プロジェクトの運営

【プロジェクト推進体制の構築（他のプロジェクト、機関などとの連携も含む）】

プロジェクト期間中に、日本側から長期在外研究員が1名、JICA業務調整員2名がザンビアに派遣されている。カブウェに滞在した長期在外研究員は、現地調査などに必要な関連機関との事前調整や事後の活動報告を担当し、JICA業務調整員2名は「機材調達をはじめとするプロジェクト運営」と「世界銀行との対外交渉」を分担してきた（通常、プロジェクトに配置されるJICA業務調整員は1名）。合計3名の日本人メンバーが現地に常駐してプロジェクト運営に携わっており、彼らが緩衝材となってザンビア側・日本側研究メンバーとの意思伝達・共同作業が促進されていると考えられた。

日本側代表機関である北海道大学はザンビアに研究拠点を持つ。そのせいか、2020年度以降のコロナ禍においても、長期在外研究員や共同研究者の現地渡航が数回実現している（計159日滞在）。また、北海道大学に留学中のザンビア人研究員も現地に滞在し続け、現

地での研究活動に従事した（計 485 日滞在）。海外への渡航や現地での活動制限が課される厳しい状況においても、本プロジェクトでは現地における研究活動が行えたことがコロナ禍のプロジェクト運営に大きく影響したことが窺える。

2020 年度から 2021 年度にかけて JST の aXis プログラムの支援によって本プロジェクトの研究成果のフィージビリティスタディーが行われた。特に、カブウェ鉱床に隣接する公用地（カブウェ市役所が無償提供）にて、環境修復や植生・農地回復の手法について実証実験を行うことができた。これにより、本プロジェクトの取りまとめる提案書について科学的な裏打ちがなされたと考えられる。

【プロジェクト管理および状況変化への対処（研究チームの体制・遂行状況や研究代表者のリーダーシップ）】

研究代表者は、ザンビア側や世界銀行などとの打合せや交渉において強いリーダーシップを発揮した。また、3 つの課題グループの間で活発な情報交換や議論が行われてきたと考える。

また、コロナ禍という環境下においても、長期滞在を含め多くの日本人研究者またザンビア研究者が現地で活動を続け、それらの活動に基づいて論文発表等を進め、さらに世銀との連携が強化されたと評価する。

【成果の活用に向けた活動】

本プロジェクトは、血中鉛濃度の調査方法のマニュアル、治療のベースとなる血中鉛濃度データ、鉛拡散シミュレーション結果、環境修復に関する提言などを相手国の関連省庁や世界銀行に提出している。これらのマニュアルや提言書は、相手国や世界銀行で活用されと期待される。また、研究代表者らは、今後も引き続きザンビア側との協力関係を維持する計画であり、成果の活用に貢献するものと期待される。

【情報発信（論文、講演、シンポジウム、セミナー、マスメディアなど）】

コロナ禍において、現地のデータに基づいて 82 編の原著論文（特にそのうちの 42 件が相手国との共著）を発表したことを高く評価したい。

市民への啓発のため、ザンビア人主演で啓発動画を作成し、小学校に配布したほか、Youtube でも配信中である。手洗いやマスクなど個人レベルで可能な鉛暴露の予防法を解説したり、フリップボードを作成して現地小学校で利用したり、ラジオ放送による住民の啓発が取り組まれている。また、ワークショップ、セミナー、シンポジウム、アウトリーチなどの活動が合計 425 件も実施され、優れた情報発信を行ったと考える。

【人材、機材、予算の活用（効率、効果）】

相手国代表機関（ザンビア大学）における第 1 ラボラトリーの設置に続いて、主に金属分析を目的とする第 2 ラボも設置した。これらのラボの運営には現地スタッフを充てており、今後も継続的に活用されると見込まれる。

4-5. 今後の課題・今後の研究者に対する要望事項

日本がこれまで世界で先頭をきって培ってきた公害・環境対策の科学技術をさらに一般化（Commonize）して、世界に発信していただきたい。さらに、この方法論を他の地域や国に横展開（Customize）することより、環境汚染対策のための科学技術の体系化を試みていただきたい。

また、課題名にある鉛汚染の予防技術の開発については、報告書および発表から具体的な内容が読み取れなかったため、今後の成果に期待したい。トウモロコシなどの作物の鉛濃度も WHO の基準を超えているものがあるとのことであり、粉塵対策の次にはこれらへの対策も求められるであろう。恒常的な環境保全策として鉛の不溶化、不活性化の研究を期待したい。

以上

成果目標シート

公開資料

研究課題名	ザンビアにおける鉛汚染のメカニズムの解明と健康・経済リスク評価手法および予防・修復技術の開発
研究代表者名 (所属機関)	石塚 真由美 (北海道大学大学院獣医学研究科)
研究期間	H27採択(平成28年4月1日～令和4年6月6日)
相手国名/主要相手国研究機関	ザンビア共和国/ザンビア大学、鉱山省、水衛生省、保健省、国立リモートセンシングセンター、ザンビア環境管理局、カプエ市役所

付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> 鉱山資源の維持可能型開発法の確立 三菱マテリアルテクノ株式会社の参画による、環境修復の実施のための基盤確立
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> 非河川地域の金属汚染の防止及び環境修復 地球化学・生態分析調査、衛星画像解析データの統合 ケミカルハザードメカニズムの解明とリスク・経済的アセスメント法の新規確立
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	<ul style="list-style-type: none"> スペクトルを用いた土壌汚染度評価法 土壌タイプ、汚染レベルに即した最効果的環境修復法の確立 健康および経済のリスク評価プロトコルの確立
世界で活躍できる日本人人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> 国際的に活躍可能な日本側の若手研究者の育成 国際会議での主催や主導的活躍
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> ケミカルハザード問題に取り組むための学際的かつ実学的チームの形成 アフリカ諸国における研究者とのネットワーク形成
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	<ul style="list-style-type: none"> 衛星を利用した汚染状況評価法 汚染防止・環境修復プロトコルの作成 コミュニティレベルで利用可能な家庭利用型汚染防止マニュアルの作成 慢性鉛暴露におけるセラピープロトコル 汚染拡散シミュレーション法の作成

上位目標

アフリカを中心とした世界諸地域における金属汚染を解決するためのプロトコルの提言と配布、世界的に主要なハザードである金属汚染対策に貢献

ザンビアにおける政策に採用される。健康および経済リスク評価に基づく環境修復を実施する。人(幼児)の鉛レベルに低下が見られる。汚染土壌からの植物生育が改善される。

プロジェクト目標

汚染レベル、汚染源別に、汚染除去法を最適化し、健康リスク評価に基づく経済的効果を定量化する

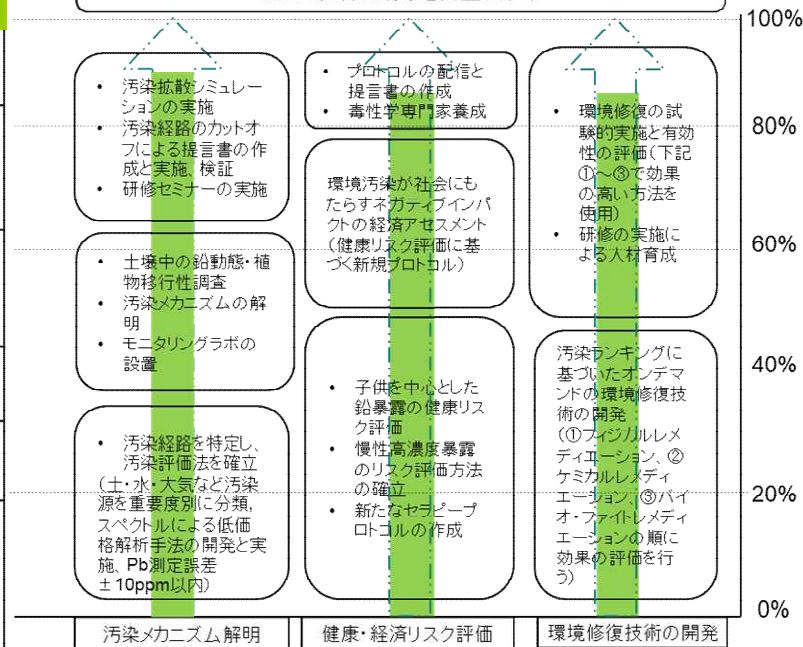


図1 成果目標シートと達成状況(2022年4月時点)