

## 地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

### 研究課題別中間評価報告書

#### 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4月～2021年3月)

#### 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系・社会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：A+**

**(所期の計画をやや上回る取り組みが行われ、大きな成果が期待できる)**

「鉛汚染の実態、人体への鉛進入経路の特定、鉛汚染と社会・経済との関連性、鉛汚染の環境修復」といった鉛汚染の包括的研究が進み、中間評価時点としては十分な成果を挙げていると評価する。カブウェ地域における鉛汚染の暴露経路も絞り込まれつつあり、それら暴露経路に対する有効な抑制対策の検証が進んでいる。

また、中間評価の時点において37本の原著論文が学術雑誌に掲載され、学会発表(口頭発表：59件、ポスター発表：69件)も精力的に行われていることから、学術的アウトプットは十分に高いと評価する。必ずしも研究環境が良いとは言えない当該地域において、上記

の学術的アウトプットが挙げられたことは、研究代表者のリーダーシップの高さ・各サブチームの研究遂行能力の高さを示すものといえる。

さらに、当初は計画されていなかった世界銀行の環境修復プロジェクト（以下、世銀プロジェクト）との協働体制の構築も概ね順調である。本プロジェクトによって得られた鉛汚染に関する系統的データが世銀プロジェクトの科学的基盤となることは、社会実装の観点から高く評価できる。また、今回の協働を国際協力のモデルとして、他地域・他の重金属汚染へも展開できれば、アフリカをはじめとする世界各地の重金属汚染に対して大きなインパクトを与えることができると考える。

ただし、カブウェ地域における鉛汚染の拡散経路の検証がまだ十分ではないため、引き続き慎重な対応が必要であると考え。また、プロジェクトの残り期間において研究活動を包括的な汚染状況の解明、保健・経済影響の評価、汚染環境の修復技術の確立へ着実に展開するためにも、個別の研究成果をいかに取りまとめるのかが重要である。

また、先に述べた原著論文のうち、ザンビア側研究メンバーとの共著論文はやや少ない。短期研修生・留学生の受け入れや、現地調査の共同実施も行われているが、プロジェクト後半にかけて論文執筆や研究計画作成にかかる技術移転を通して、可能な限り相手国研究者の人材育成に注力すべきと考える。

さらに、今後の世銀プロジェクトの進展によって、本プロジェクトの活動スケジュール（パイロット試験実施や血液中鉛濃度の測定など）が流動的にならざるを得ない。そのため、本プロジェクト自体の目標達成に向けたハンドリングをしっかりと行うことを期待する。

#### 4-1. 国際共同研究の進捗状況について

本プロジェクトの各研究題目の進捗状況を下記にまとめる。

##### (1) 土壌から生態系・人・動物への汚染メカニズムの解明

本研究題目の進捗は順調であると評価する。リモートセンシングや人工衛星画像の解析により、カブウェ地域の「土地被覆の季節変化」や「土地利用の経年変化」がデータベース化されるなど、計画通りに研究活動が進捗していると評価する。

また、各種の鉛汚染データをデジタルマップにプロットし、各研究グループがカブウェ地域の汚染状況を広範囲にわたって網羅的に把握できるようにしたことも評価できる。これにより、将来的に汚染対策を実施する際に、同デジタルマップが「対策エリアを優先順位付けする」といった意思決定ツールになり得ることが期待される。

また、野外調査の結果から、カブウェ地域では鉛を含んだ大気粉塵が主な鉛暴露経路である可能性が高いことを明らかにしたことは注目に値する。現在、日本・ザンビア両国にて進行中の植栽試験によって、地表植栽が鉛汚染の拡散抑制に有効であるといったさらなる仮説検証が進むことを期待する。

## (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

本研究題目は順調に進捗していると評価する。子どもを中心としたカブウェ地域住民を対象に、鉛暴露による健康調査および神経発達障害や知能指数低下などのリスクアセスメント、さらに母親の健康関連 QOL (Quality of Life) 評価が研究計画に沿って進んでいる。

野生のトカゲ類・昆虫・植物・土壌といった多様な試料が、カブウェ地域の住宅地や緑地、荒地といった土地利用の異なる場所から採取されている。プロジェクト後半にかけて、上記の各試料の鉛濃度が総合的に考察され、土地利用と鉛汚染の関係性や鉛汚染が生態系に与える影響が解明されることを期待する。また、鉛暴露による健康調査からは、血中鉛濃度の高い子どもを養育する母親の心理的負担についての重要な知見が得られている。

さらに、本プロジェクトから世銀プロジェクトへ血液中濃度などの基礎データを提供し、2018 年度以降に予定される世銀プロジェクトの治療計画の根拠にできるよう MOU (Memorandum of Understanding) を締結したことは社会実装の観点から高く評価できる。

## (3) オンデマンドの環境修復技術の開発と評価

本研究題目の進捗は順調であると評価する。鉛をはじめとする重金属汚染がカブウェ地域の鉱床跡地から周辺へ拡大するのを抑制する環境修復技術が、プロジェクト後半にかけて提案されることを期待する。

鉱床跡地のスラグ堆積場におけるモニタリング井戸の採水と水位データの定期測定は、金属類の地下水移行や地下水を介した周辺地域への拡散を継続的にモニタリングする上で重要な取り組みである。また、鉱床跡地のスラグをザンビア大学へ運搬し、複数の覆土工法や不溶化工法を組み合わせたパイロット試験場を施工するなど、フィジカルレメディエーション手法の効果を慎重に検証する姿勢は評価に値する。加えて、ケミカルレメディエーション手法については半焼成ドロマイトによる不溶化技術が開発され、バイオレメディエーション手法については微生物が生産する炭酸カルシウムがバイオセメントとして鉛不溶化に有効であることが確認されるなど、各種レメディエーションに関する新たな知見が蓄積されていることを評価する。

## 4-2. 国際共同研究の実施体制について

中間評価の時点において、68 名もの日本側研究メンバーが本プロジェクトに参画している。合同セミナーやグループリーダー会議といった会合が定期的開催され、調査・分析結果の情報共有に努めていることは、プロジェクト運営の観点から望ましい。こうした会合を活用し、各サブグループが連携して相乗的に研究成果を生み出すことを期待する。

また、日本側研究メンバーのうち 36 名が JICA 専門家として現地派遣されており、様々な研究分野において包括的な人材交流が進んでいると評価する。学部生・大学院生の現地派

遣も多く、本プロジェクトが研究者の人材育成に大きく貢献している。

業務調整員に加え、北海道大学から派遣された長期在外研究員がカブウェ地域に滞在することで、日本－ザンビア間の研究メンバーらの意思伝達・共同作業が促進され、プロジェクト運営に望ましい影響をもたらしていると評価する。

ザンビア側では、これまでに104名もの研究メンバーが参画している。そのうち10名が日本側研究機関に研修員として招聘されるなど、本プロジェクトの全ての研究題目において積極的な人材交流が進んでいる。また、ザンビア側の若手研究メンバーによる国内・国際学会発表も多く、本プロジェクトの研究成果が広くプロジェクト内外へ発信されていることは望ましい傾向である。

また、ザンビア側共同研究機関のカブウェ市役所や水産畜産省からは、本プロジェクト専用の執務スペースが無償提供されており、本プロジェクトのオンサイトラボラトリーなどに活用されている。こうしたザンビア側の便宜供与から、研究機関だけでなく各政府機関のコミットメントも十分に引き出されていると推察できる。

#### 4-3. 科学技術の発展と今後の研究について

本プロジェクトで収集したカブウェ住民の血中濃度などの基礎データは、世銀プロジェクトが2018年度以降に予定する治療計画の基盤となる見込みである。こうした世銀プロジェクトとの協働は、国際協力の望ましいモデルであり、重金属汚染に悩むアフリカ諸国への波及効果も大きいと期待する。現在も調整が進んでいる国際連合工業開発機構（UNIDO）や世界保健機関（WHO）といった国連機関との研究協力についても、より大きな波及効果を生み出す上で望ましい取り組みといえる。

また、ザンビア政府の省庁関係者（保健省・鉱山省・高等教育省・保健管理局など）への調査結果の共有や、カブウェ地域の関係者（カブウェ市長や公衆衛生部門の責任者、保健局長、保健局医師、各郡内クリニック院長、住民代表者、教育委員会代表者ら）への定期的な情報公開も望ましいアウトリーチ活動である。これらアウトリーチ活動によって、現地住民の鉛汚染に関するヘルスリテラシーが醸成されれば、今後予定される世銀プロジェクトによる治療計画の実施がよりスムーズに進むと期待される。

#### 4-4. 持続的研究活動等への貢献の見込みについて

本プロジェクトから、ザンビアにおける環境中の鉛の健康影響に関する系統的なデータを含む研究成果が生み出されることが期待できる。それらの研究成果は、他の地域・国や他の重金属汚染へと横展開できると考えられ、社会的インパクトも大きいと期待する。

本プロジェクトでは、日本側の若手研究メンバーがザンビアに長期派遣されており、グローバル人材の育成が積極的に行われていると評価する。こうした人材交流を通して、本プロジェクトがザンビア側研究メンバーの研究力向上に一貫して貢献し、日本・ザンビア両国の研究者の連携がより強固なものになることを期待したい。

## 5. 今後の課題・今後の研究者に対する要望事項

プロジェクト後半にかけて、研究代表者および各研究題目のリーダーには、得られた研究成果を取りまとめ、包括的な汚染状況の解明、健康・経済への影響の評価、汚染環境の修復技術の確立へ展開することを期待する。まずは、鉛の暴露経路となり得る「大気粉塵による鉛汚染の拡散」という仮説が早急に検証されることを期待する。暴露経路の特定は、プロジェクト後半に想定される修復方法の選択に大きな影響を与えるため、エビデンスをしっかりと蓄積することが必要である。

環境修復手法として植栽やドロマイトによる鉛の非活性化といった手法が検討されているが、それ以外の具体的成果はまだ乏しい印象を受ける。引き続き、ザンビアの研究者が中心になって、有効策の探索や定量的評価（機能とコスト）を進めることが重要と考える。

子どもの神経発達障害の解明をはじめ、神経生理学・病理学的解析と疫学解析の統合に期待する。アフリカをはじめとする途上国における、鉛などの重金属汚染による健康影響の情報不足している状況の緩和に貢献してほしい。

先に述べた原著論文 37 本のうち、ザンビア側研究メンバーとの共著論文はやや少ない。短期研修生・留学生の受け入れ、現地調査の共同実施も行われているが、プロジェクト後半にかけて可能な限り相手国研究者の人材育成（論文執筆や研究計画作成にかかる技術移転）に注力してほしい。

本プロジェクト終了後のザンビア国における研究、事業の継続性、展開性については、予算確保・継続体制の構築を含めて検討が必要と考える。

世銀プロジェクトとの連携を前提に、本プロジェクトの活動スケジュール（パイロット試験実施や血液中鉛濃度の測定など）が流動的にならざるを得ない事情もある。他方で本プロジェクト本来の目標達成に向けたハンドリングもしっかり行う必要があると考える。

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<br>(所属機関) | 石塚 真由美<br>(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～平成33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"> <li>鉱山資源の維持可能型開発法の確立</li> <li>三菱マテリアルテクノ株式会社との参画による、環境修復の実施のための基盤確立</li> </ul>   |
| 科学技術の発展                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>非河川地域の金属汚染の防止及び環境修復</li> <li>地球化学・生態分析調査、衛星画像解析データの統合</li> <li>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</li> </ul>                                       |
| 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"> <li>スペクトルを用いた土壌汚染度評価法</li> <li>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</li> <li>健康および経済のリスク評価プロトコルの確立</li> </ul>   |
| 世界で活躍できる日本人人材の育成              | <ul style="list-style-type: none"> <li>国際的に活躍可能な日本側の若手研究者の育成</li> <li>国際会議での主催や主導的活躍</li> </ul>   |
| 技術及び人的ネットワークの構築               | <ul style="list-style-type: none"> <li>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</li> <li>アフリカ諸国における研究者とのネットワーク形成</li> </ul>   |
| 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"> <li>衛星を利用した汚染状況評価法</li> <li>汚染防止・環境修復プロトコルの作成</li> <li>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</li> <li>慢性鉛暴露におけるセラピープロトコル</li> <li>汚染拡散シミュレーション法の作成</li> </ul> |

## 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

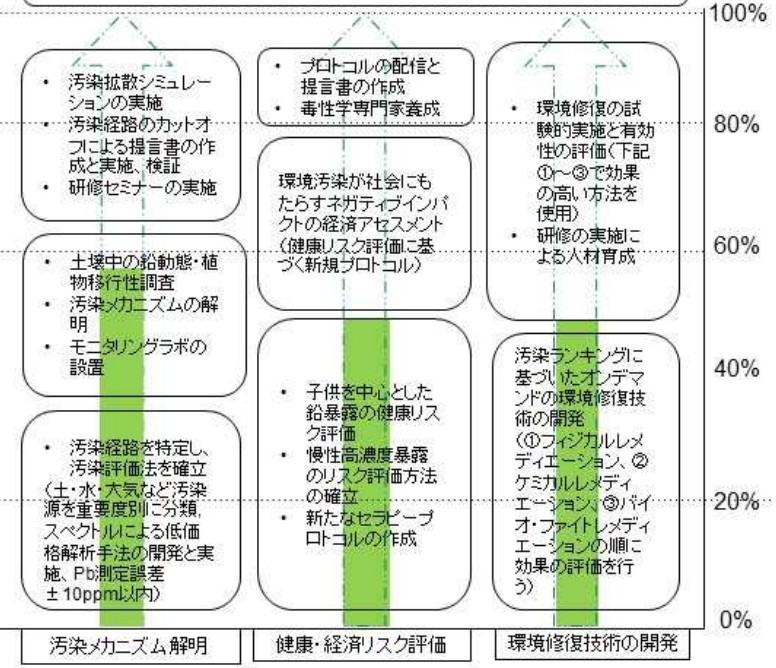


図1 成果目標シートと達成状況 (2019年3月時点)