

## 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

「持続可能な資源開発実現のための空間環境解析と高度金属回収の融合システム研究」

(2014年5月1日～2020年3月31日)

#### 2. 研究代表者

2. 1. 日本側研究代表者：石山 大三 (秋田大学 国際資源学部 教授)

2. 2. 相手国側研究代表者：Zoran Stevanovic

(セルビア共和国 ボール鉱山冶金研究所 執行役員)

#### 3. 研究概要

本研究課題は、三次元的な環境評価・解析と高度な金属回収技術を融合し、持続的な資源開発に不可欠な開発と環境との両立を目指した広域環境評価修復システムの開発を行うことを目的とする。具体的には、研究実施フィールドとして、鉱山開発による環境への影響が広がるセルビア共和国のボール鉱山地域を含む数千平方キロメートルの地域を選定し、鉱山廃棄物の拡散と環境汚染の評価研究のための現地検証（広域環境負荷評価研究）および高度な金属回収技術の適用による鉱業廃棄物や廃水の無害化と資源化のための実証（金属回収・無害化研究）を踏まえた上で、環境修復のための全体システムを構築（環境評価修復システム研究）することである。このために3つの研究題目を設定している。

研究項目1：広域環境負荷評価研究

研究項目2：金属回収・無害化研究

研究項目3：環境評価修復システム研究

#### 4. 評価結果

##### **総合評価（A－：所期の計画と同等の取組みが行われ、一定の成果が期待できる）**

これまでの研究はほぼ計画通りに進められており、研究成果も得られていると評価される。研究項目1の広域環境負荷評価に関しては順調に進展しており、衛星を使った広域的な汚染状況の把握や、河川での汚染状況の可視化などの現地の環境改善につながる貴重な成果が得られている。また、研究項目2の金属回収・無害化研究についても、各要素技術についての実験室レベルでの成果においては、回収効率の顕著な向上が見られている。

一方で、各研究成果が独立しているという印象が強く、研究項目3で各成果がどのように統合されていくのか、現時点ではその道筋が明確には示されてなく、最終的な目的であるこ

の地域における汚染物質の削減に至る環境評価修復システムの実態がどうなるのかがまだ明確になっていないと思われる。

また、研究項目2では、浮選尾鉱や廃水からいかに効率良く資源を回収するかに力点が置かれているように思われ、これらの技術を通じて汚染源から流出する河川等の汚染を削減するという視点での研究の方向性がはっきりしていないように思われる。さらには、この環境評価修復システムは、環境修復に実効性のあるものでなければならない。そのため持続可能な仕組み作りもこの課題の目的に含まれることを認識していただく必要がある。

#### 4-1. 国際共同研究の進捗状況について

研究項目1においては、汚染物質の広域分布の把握は現地調査を通して着実に進んでいるほか、リモートセンシングによる分布の把握に関する研究も計画通り進められている。研究項目2においては、金属回収技術に関しては、それぞれの手法による金属回収の効率向上が確認され、ほぼ計画通りの手法開発が進められている。加圧酸浸出法などはコストのかかる手法であり、そのコスト評価を通して社会実装の実現性を確かめる必要があるが、すでにその作業にも一部着手している。ただし、浮選尾鉱や廃水からいかに効率良く資源を回収するかに力点が置かれており、むしろ汚染物質の削減・無害化という視点でこれらの技術をどのようにブラッシュアップするのか明確にしていく必要がある。

研究項目3については、ほぼ計画に沿った進捗状況といえるが、これまでは鉱山の操業計画など今後の動向の把握や予備的コスト調査等にとどまっており、最終的な目的である汚染物質の無害化に至る環境評価修復システムの実態がまだ明確になっていないように感じる。研究項目1と2の成果をどのように繋げて統合化し、さらに相手国機関に具体的に実装していくのか、現時点ではその道筋が明確になっていないので、研究項目3への統合の道筋を早急に詰めたいうえで社会実装に向けた構想を早急に定め、研究メンバーで共有して研究を進めてもらう必要がある。残りの研究期間を考えると、研究項目3からバックキャスト的に考えて、研究項目1、2において何を集中的に実施するか、その優先順位をつけることが必要であると思われる。

成果の科学的・技術的インパクトについては、世界トップレベルの研究が進められていると評価される。衛星観測等を利用した空間分布評価については、最新の技術や知見を利用したデータの収集・解析が行われ、興味深い結果が得られている。衛星解析手法についてはその新規性は必ずしも高くはないが、今後の汚染分布状況の把握や生態系評価等において重要な要素となることから、今後はデータの入手手段や精度等も含め現実的な実装方法を構築していく必要があると思われる。

金属回収・無害化についても研究レベルは国際的にも高く、研究室レベルでの成果もあげていると評価する。相手国の期待も高く、セルビアにとっては新しい技術であると判断できる。ただし、選鉱尾鉱の再利用に関する研究は、鉱物資源の有効利用の観点からは意義ある

研究であるが、本課題の目的である鉱山廃棄物による河川の汚染の削減に対する寄与に関しては間接的であり、結果として資源の再回収は進展したが、汚染は拡大したという結果にならないように留意する必要がある。

また、現時点においては、日本人研究者による主要国際誌への投稿がほとんど無い。日本側研究者の本課題における貢献として、科学技術面での顕著な業績が示されることを今後期待したい。

#### 4-2. 国際共同研究の実施体制について

日本側研究代表者およびセルビア側研究代表者のリーダーシップがよく発揮され、両国研究機関のコミュニケーションは良好であると思われる。特に、相手国政府機関の副大臣等を日本に招へいして積極的に研究成果のアピールを行うなど、本課題のステークホルダーを束ねた手腕は高く評価される。共同研究推進体制も整備されており、研究に必要な研究者はほぼ整っていると考えられる。

これまでは、要素技術の開発の側面が強く出ていたが、プロジェクトの後半ではそれらの要素技術を環境評価修復プログラムにまとめ上げることが求められる。研究代表者が今まで以上にリーダーシップを発揮し、セルビア側の研究者だけでなく政府関係者を巻き込んで、本課題終了後も持続可能な体制を構築し、鉱山汚染の法的規制への道筋が明確になるように努力していく必要がある。

機材の供与は予定通り進んでおり、現地でも有効に使われている。ボール鉱山冶金研究所は、新しい機材導入のために多くの実験室を整備し、技術スタッフも適切に配備されている。研究費計画のコストパフォーマンスに関しても問題ない。

#### 4-3. 科学技術の発展と今後の研究について

稀少金属を含む金属資源の確保は相手国にとっても日本にとっても重要な課題であり、本研究成果の他国への水平展開を図ることは日本にとって有益であることは間違いない。本課題により、金属資源の環境持続性を考慮した効率的な管理手法の展開が可能となれば、日本にとっても有効な資源外交手段になると考えられる。

今後の研究の方向としては、社会実装への道筋を明確にしていくことが重要である。この課題における社会実装は、環境問題の解決、具体的には鉱山汚染の削減であるので、それがある程度目に見える形で進展するように、全体の計画を進めていくことが望まれる。この鉱山の場合、利害関係者が鉱山付近だけでなく下流域のかなり広範に広がっていると思われるので、この点に配慮しながら研究成果を活かせる方向で相手国の環境対策としての要望に応じていく必要がある。さらには、汚染物質の排出抑制についても何らかの対策案を示し、政策・施策案の提言とその実施への働きかけを強化していく必要があると思われる。

また、広域環境負荷評価も金属回収・無害化技術も、現地のニーズに合致しなければ社会的なインパクトを期待することは難しい。広域環境負荷評価が現地の環境改善につながる情報の創出に寄与するものとなっているか、金属回収・無害化技術が現地の汚染対策のニーズとコストに見合うものとなっているか、これからの研究計画を改めて見直し、改良してもらう必要がある。

日本人若手研究者の育成については、現時点では十分に行われているとは判断できなかった。若手研究者の現地滞在はそれほど多くはなく、また滞在期間も短いようであり、育成の効果が十分かどうか疑念が残る。ただし、このプロジェクトを契機として、ベオグラード大学ポール校との学生や大学院生レベルでの交流は盛んに行われており、長期的にみると国際的人材育成には貢献しているのではないかと思われる。

#### 4-4. 持続的研究活動等への貢献の見込みについて

セルビアでは鉱山廃水に関する法的な規制が無いとのことなので、適切な廃水処理を行うインセンティブが働かないように感じる。一方で EU 加盟に向けて、このような鉱山廃水に関する法的な枠組みが必要なので、これを環境問題解決のインセンティブとして強く打ち出していくことが重要である。そして、最終的に何らかの形で法制度的な課題に踏み込むことが必要ではないかと思われる。

そのためにも、研究成果をどのように社会実装していくのか、その具体的イメージを明確にしていかなければならない。環境評価修復システムのマニュアル等を誰に向けてどのような形で作成していくのか、実際の鉱山運営などに採用される見込みがあるのか、廃棄物や廃水の規制などに結び付くかなど、具体的で現実的な社会実装のイメージを早急に定め、それに向けた働きかけが望まれる。

現地の研究者との交流については積極的に行われていると評価する。延べ 31 人の研究者・行政関係者等を招へいし、積極的な技術移転やトレーニングが図られている。セルビア側研究者も、カウンターパートとして自らの研究内容をよく理解し、自律して研究を行っていると思われる。今後は、相手国研究者が主導的に研究を進める体制を構築していくことが望まれる。さらには、鉱山技術者にも環境保全が鉱山開発の必須条件であることを研究協力や大学での教育を通じてしっかり認識できるようにこれからも務めてもらうことを期待する。

#### 4-5. 今後の課題・研究者に対する要望事項

1. これからの本課題の成否は、研究項目 1 と研究項目 2 で得られた研究成果が、現地の環境改善に貢献しうる環境評価修復システム（研究項目 3）に適切に組み込まれ、研究成果を踏まえた科学的なシステム構築ができるかどうかによる。そうした観点から、環境評価修復システムの構成要素の明確化とそれに応じた研究項目 3 における研究計画の明

確化・具体化を早急に行い、それを両国の全研究メンバーが共有する努力をしていただきたい。

2. 現地の環境改善に貢献しうる環境評価修復システムの構築のためには、環境汚染の分布だけでなく、それが人や環境・生態系にどのようなリスクを及ぼしているか、社会条件（例えば、飲料水の水源や農地の分布、貴重な生態系の所在など）をふまえたリスク評価が必要であり是非検討していただきたい。それによって、優先されるべき対策や地域が特定され、現地の環境改善に貢献しうる環境評価修復システムの構築に資する情報を取得することが可能となる。
3. 環境評価修復システムのマニュアル化に際しては、鉱山会社に対するものか、あるいは行政向けなのか、ターゲットを明確にして作成し、現実的な社会実装の方向性を明確にしていきたい。さらに課題終了後も継続して関係機関への働きかけが行われるような体制の構築を目指していただきたい。
4. これまでに得られた研究成果を踏まえると、汚染物質の発生源対策による発生抑制が重要であることがすでに明確になっていると考えられる。したがって、発生源対策についても、現地の環境改善に資する環境評価修復システムの重要な一要素として位置付けて、現地当局に政策提言することを検討していただきたい。
5. セルビアの現政権はEU加盟をめざしており、そのためには大半のEUの環境規制を遵守することが求められる。そのため、こうした環境評価修復システムの提言は、現地政府にとっても貴重なインプットとして受け止められる背景は十分にあると考える。EUの環境基準を考慮しつつ環境評価修復システムの構築を行っていただきたい。
6. 研究項目1において、環境評価修復システム構築のためにさらにどのような情報が必要かという観点から研究内容を見直し、収集すべき情報の具体化を行っていただきたい。
7. 研究項目2については、鉱山廃棄物からの有用金属回収が有害物質の無害化に対するインセンティブになるにしても、研究項目2が鉱物資源のより効率的な生産手法の研究になってしまえばSATREPSの目的である環境問題の解決とは方向性が異なってくる。したがって、鉱山からの有害廃棄物の削減や地域の汚染削減といった全体のフレームの中で金属回収技術開発の位置付けを明確にしていきたい。
8. 浮選尾鉱の加圧酸抽出による金属回収については、コスト削減の検討と、金属回収処理後の汚泥等の処理方法、さらには処分場所や管理方法も含めて研究を行っていただきたい。また、中和沈殿法による浸出水処理においては、どの程度の規模で、どの場所でどこまで汚染削減が可能か評価し、汚染削減のための社会実装へのプロセスを明確にしていきたい。

以上

# 成果目標シート

研究課題名	持続可能な資源開発実現のための空間環境解析と高度金属回収の融合システム研究
研究代表者名 (所属機関)	石山大三 (秋田大学教授, 国際資源学部)
研究期間	H26採択(平成27年1月1日～平成32年3月31日)
相手国名/主要相手国研究機関	セルビア共和国/セルビア共和国鉱業エネルギー省、農業環境省、ボール鉱山冶金研究所、ペオグラード大学ボール校

## 付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> <li>資源開発企業の技術優位性の向上</li> <li>日本企業による環境修復技術の事業化</li> </ul>
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> <li>環境評価技術の高度化</li> <li>金属回収技術高度化と廃棄物の新たな資源化</li> <li>次世代衛星センサーの実用化</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>次世代衛星データと地表データを統合した資源開発環境評価</li> <li>鉱山廃水中のレアメタルリサイクル技術</li> <li>極低品位鉱床の開発技術</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(国際会議への指導力、レビュー付雑誌への論文掲載など)</li> </ul>
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>セルビアを核とした東欧地域の資源学関係人材とのネットワーク構築</li> <li>世界の鉱山地域への技術適用および人的ネットワークの拡大</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>環境評価修復システムマニュアル</li> <li>ハイパーセンサー利用技術マニュアル</li> <li>衛星と地表データの統合解析プログラム</li> <li>廃水、廃さい等からの金属回収、資源化技術論文等</li> </ul>

## 上位目標

セルビアのボール地域及び環境問題を有する他の鉱業地域において環境評価修復システムの社会実装が開始されること。

MMI-Bor及びTF-Borが実用化に向けて研究を継続するとともにセルビア政府が社会実装に向けた取り組みを開始する。

## プロジェクト目標

広域環境評価と鉱業廃棄物からの金属排出量削減(1/4～1/10以上)と資源化(80%以上)を実現する環境評価修復システムの開発。

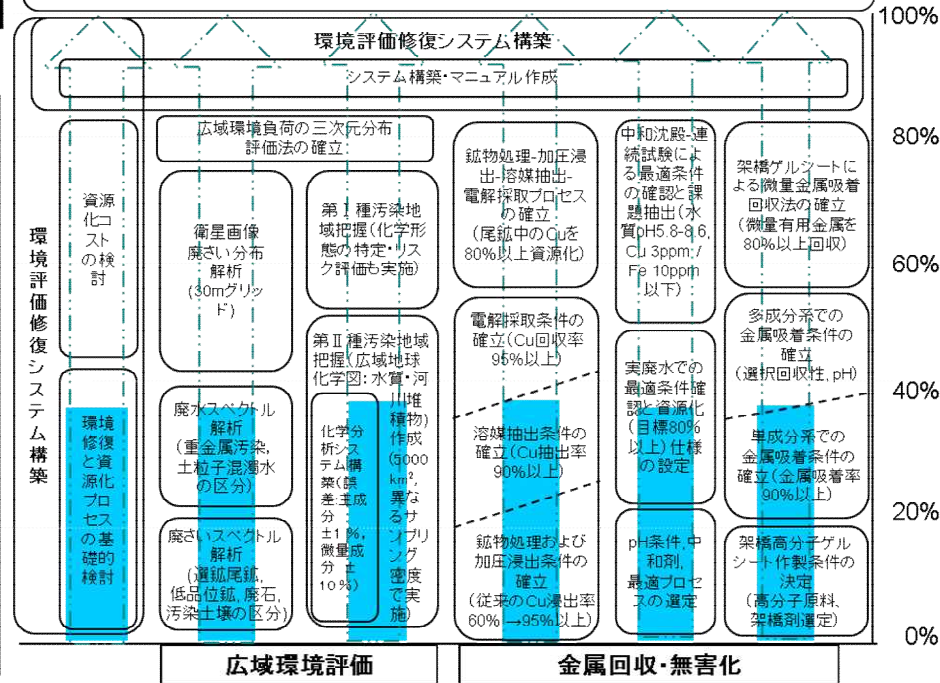


図1 成果目標シートと達成状況 (2017年7月時点)