公開資料

国際科学技術共同研究推進事業
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）

研究領域「環境・エネルギー分野「地球規模の環境課題の解決に資する研究」

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」

採択年度：平成 26 年度/研究期間：３・４・(５)年/相手国名：セルビア共和国

終 了 報 告 書

国際共同研究期間*1
平成 27 年　4 月　21 日から令和　2 年　4 月　20 日まで
JST 側研究期間*2
平成 26 年　5 月　1 日から令和　2 年　3 月　31 日まで
（正式契約移行日　平成　27 年　1 月　1 日）

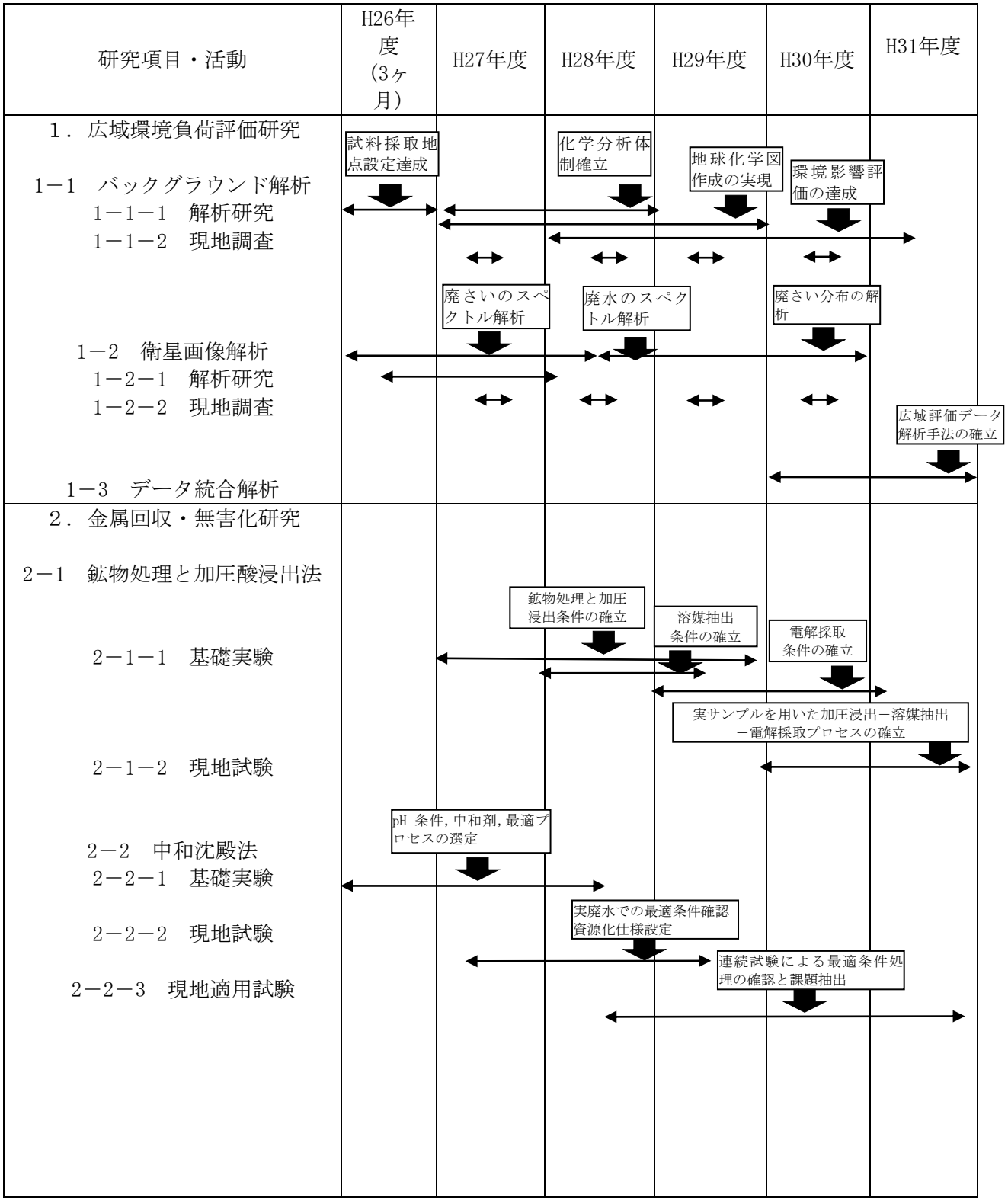
*1 R/D に基づいた協力期間（JICA ナレッジサイト等参照）
*2 開始日=暫定契約開始日、終了日=JST との正式契約に定めた該年度末

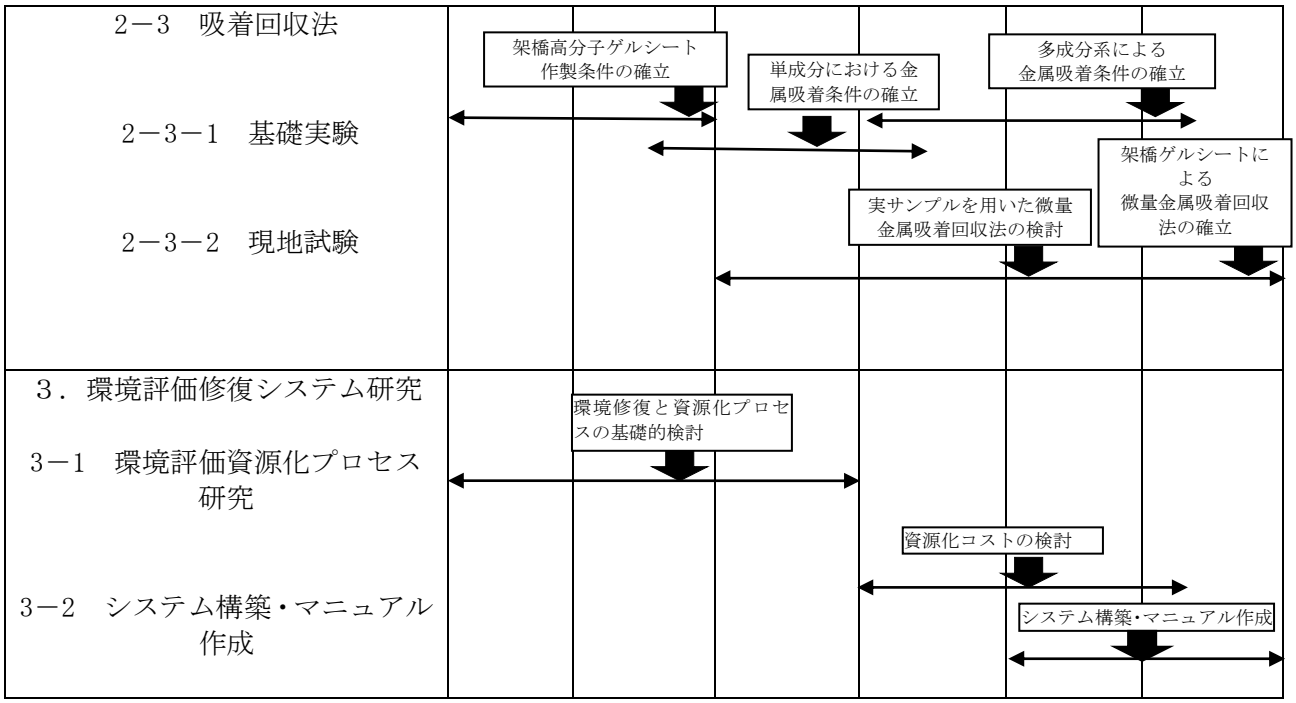
研究代表者：石山　大三
秋田大学大学院・国際資源学研究科・教授

Ⅰ．国際共同研究の内容（公開）

１．当初の研究計画に対する進捗状況

(1)研究の主なスケジュール(実績)




2－3　吸着回収法
2－3－1　基礎実験
2－3－2　現地試験
架橋高分子ゲルシート作製条件の確立
単成分における金属吸着条件の確立
多成分系による金属吸着条件の確立
実サンプルを用いた微量金属吸着回収法の検討
架橋ゲルシートによる微量金属吸着回収法の確立
３．環境評価修復システム研究
3－1　環境評価資源化プロセス研究
3－2　システム構築・マニュアル作成
環境修復と資源化プロセスの基礎的検討
資源化コストの検討
システム構築・マニュアル作成

(2)中間評価での指摘事項への対応
中間評価報告書第４－５項の今後の課題・研究者に対する要望事項で指摘された 8 点について以下に記載した。

１．環境評価修復システム（研究項目３）の研究計画の明確化・具体化

中間評価結果を受けて、各研究要素の関連性の見直しと具体化を行い、環境評価修復システム（研究項目３）の整理を行い、メンバーで共有した。それらの関係を後述の図 3-1 に示した。具体的には、環境影響評価分野の「バックグラウンド解析」の部分を「広域金属元素分布把握による鉱業地域環境バックグラウンド評価」と「有害元素溶出リスク評価」に再整理し、鉱業活動に伴う環境負荷地域（危険地域）の抽出を行うことを明確にした。環境影響評価分野の「衛星画像解析」の部分においては、廃さいの位置、体積、分類を行い、バックグランド解析において行う廃さいからの溶出リスク評価と組み合わせて、廃さいによる環境負荷予測を行うようにした。これらの事に基づき、危険地域を抽出し、同地域の環境負荷を軽減するための技術開発として、「中和吸着処理法」と「鉱物処理・加圧酸浸出法」で行うようにした。さらにこれらの技術を適用することで、危険地域のリスクの軽減予測を行い、環境対策実施後の将来像を具体化するとともに、環境対策実施に必要な費用についても推定を行い、実施への道筋を示すこととした。プロジェクトの終了 2 年程度前からセルビア共和国鉱業エネルギー省-環境保全省省庁間会議（以下、省庁間連絡会議）を開始し、これらのことをカウンターパートと共有し、提言について合意形成後に提言として、プロジェクトからカウンターパートに提出するように計画を実施し、その内容について JCC を兼ねた同省庁間連絡会議において提言を行った。その提言は、同 JCC の MM へ記載された。

２．社会条件をふまえたリスク評価と対策手法や対策地域の順位付け

本プロジェクトの研究対象地域の飲料水の水源は地下水であり、鉱山廃水や汚染河川水による地下水の汚染問題は住民にとっては重要な問題である。本プロジェクトにおいても汚染河川に沿った集落について検討を行い、鉱山廃水の社会条件への影響を推定し、対策手法や対策地域の最適化を行うように構成した。

３．環境評価修復システムのマニュアルのターゲットの明確化と課題終了後の体制の構築

環境評価修復システムのマニュアルの内容については、鉱山会社対象の内容と行政対象の内容がある。実際に社会実装へ進める場合には、鉱山会社の環境修復に対する対策も不可欠であり、行政からの指導のような形態で進められると考えられる。従って、マニュアルの内容については、鉱山会社に対するものと行政に対するものに整理し、行政に提言として提出した。課題終了後の関係機関への働きかけを行う体制として、「省庁間連絡会議」を中間評価後に提案し、開始した。本会議を継続したことで、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が構築できたと考えている。

４．環境評価修復システムにおける発生源対策の位置づけ

環境対策のために汚染物質の発生源における発生抑制が重要であることは、そのとおりである。環境影響評価研究分野と無害化のための金属回収研究分野の結果に基づき作成される水質予測改善の中で、発生源における汚染物質の発生抑制が重要であることを指摘し、提言に盛り込んだ。本内容については、すでに 2019 年 6 月 21 日（金）にベオグラードで開催された第二回省庁間連絡会議においても、セルビア共和国鉱業エネルギー省と環境保全省に説明を行っている。

５．EU の環境基準を考慮した環境評価修復システムの構築

セルビア政府はEU 加盟を目指しており、環境基準等についてはEU 基準に準拠した基準を準備している。国営企業であった鉱山会社の RTB-Bor が中国の鉱山会社に買収され、新規鉱山開発に伴う環境汚染防止の必要性も生じている。第一回～第四回省庁間連絡会議においてセルビア国、EU、日本などの環境基準値の比較の説明やセルビア国環境基準値に基づく研究対象地域の汚染の現状と水質改善予測の説明を行い、EU 基準に準拠したセルビア環境基準での環境対策への道筋を説明した。最終的には、本内容も提言へ盛り込まれた。

６．研究項目１における環境評価修復システム構築のための収集すべき情報の具体化

前頁の項目１において記述したとおり、バックグラウンド解析を「広域金属元素分布把握による鉱業地域環境バックグラウンド評価」と「有害元素溶出リスク評価」に再整理し、危険地域の抽出を行うことを明確にした。環境影響評価分野の「衛星画像解析」の部分においては、廃さいの位置、体積、分類を行い、バックグランド解析において行う廃さいからの溶出リスク評価と組み合わせて、廃さいによる環境負荷予測を行うようにした。

７．研究項目２の金属回収技術開発の位置付けの明確化

研究項目２の金属回収技術開発についても、中間評価指摘事項項目１に対する対応において記述したとおり、研究項目１で抽出された危険地域について、危険地域の環境負荷を軽減するための技術（無害化のための金属回収技術）として「中和吸着処理法」と「鉱物処理・加圧酸浸出法」の位置づけを確認し、これらの技術を適用することで、危険地域のリスクの軽減予測を行い、環境対策実施後の将来像の具体化と環境対策実施に必要な費用についても推定を行い、実施への道筋を示した。

８．研究項目２の汚染削減のための金属回収技術の社会実装への見通しの明確化

金属回収のコスト削減は、一般的な加圧酸浸出に比べ、比較的低温で処理することによって実現できると考えられる。既存の鉱物処理では、多くの場合 200℃以上の高温域が用いられるが､今回の研究では 170～180℃とやや低温にしても銅の 95%以上が回収可能であり、類似の条件に比べ一定量のコスト抑制が可能と考えられる。また、浸出残渣の金属溶出性も低く、比較的安定な残渣（汚泥）が得られたと考えている。実際、溶出試験を行った結果、銅や鉄の振とう液への溶出値は極めて低く、条件によっては検出限界以下になることを確認している。また、残渣の処分・管理法については、濾過・脱水まで行えば従来の尾鉱ダム等に埋め戻しが可能であると考えられるほか、海外の類似の製錬プロセスでは路盤材等に利用した事例もあることから、鉄源を含めた再利用の可能性が期待される。

中和沈殿法においては、Bor 鉱山操業地域及びその近傍における廃水と河川の水質変化について、プロジェクト当初より年 4 回の定期的なサンプリングと化学分析および流量観測とともに、現地連続中和試験結果をもとに中和沈殿法による廃水処理の適用可能性と適用による汚染の削減効果について評価した。併せて露天掘りから出る廃土や廃石および廃さいなどの汚染水の発生源に対する減水や水質改善策とそれらの結果をもとにした中和処理施設の建設と運転コストなどについての解析をもとに社会実装への道筋を明確にした。

(3)プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

特段の変更無し。

２．プロジェクト成果目標の達成状況とインパクト（公開）

(1) プロジェクト全体
・成果目標の達成状況とインパクト等

広域環境負荷評価研究、金属回収・無害化研究、環境評価修復システム研究各分野でのデータをもとに日本国内とセルビアにおいて当初の予定通り研究を推進した結果、以下の通りの成果を得た。

鉱山地域を含むその下流域まで包含した広域環境負荷評価研究においては、地表調査に基づくデータに基に解析を行う「バックグラウンド解析」と「衛星画像解析」から構成されている。「バックグラウンド解析」においては、H27 年度から H29 年度にかけて、研究対象地域において約 200 地点で河川水、河川堆積物のサンプリングを開始し、採取試料をカナダの分析会社に送り分析データを取得した。その結果に基づき、河川水と堆積物についての多元素の地球化学図の作成とバックグラウンド値と異常値を区分する閾値を推定した。その閾値に基づき、汚染地域と非汚染地域の区別を行った（第Ⅱ種汚染地域)。H29 年度から河川堆積物について、同一試料を用いて、0.5M HCl 溶液を用いて、Cu 抽出実験を行った。その結果、Cu が溶出しやすい地域とそうでない地域の存在が明らかになり、鉱業関連施設の分布も考慮して、Cu が溶出しやすい地域を危険地域（第Ⅰ種汚染地域）とした（有害元素溶出リスク評価)。併せて、セルビア共和国、ドイツ、EU、日本等の河川水、土壌、廃水の環境基準値の調査と比較を行ない、セルビア共和国の基準値が EU に準拠する方向で整備されていることを確認した。河川水については、セルビア共和国の表層水の基準値に基づき、調査地域における汚染分布図を作成し、研究題目 2 で検討対象とすべき廃水や汚染河川の抽出を行った。これらのことと並行して、プロジェクト実施中から終了以降のモニタリング等の継続的な環境対策実施の体制構築のために、化学分析装置等をカウンターパートの MMI-Bor に H27 年度に導入した。そして、日本やセルビアでの研修を行い、モニタリング等に必要な体制を構築した。本研究プロジェクト中期以降には導入した装置での分析体制が確立された。このように計画は予定通り進められた。

「衛星画像解析」においては、「１．（１）研究のスケジュール」にある通り、（１）廃さいのスペクトル解析、（２）廃水のスペクトル解析、そして（３）廃さい分布の解析の３つを目的として研究を実施した。（１）廃さいのスペクトル解析では、Bor 鉱山周辺の廃さいを採取し、XRD 分析によって廃さいを構成する鉱物の種類と含有量を同定したうえで、携行型分光放射計による廃さいスペクトルの測定を行い、鉱物種によってスペクトルの吸収波長に違いがみられること、鉱物の含有量が多いほど吸収の深さが大きくなることを確認した。（１）の結果を踏まえ、（３）廃さい分布の解析では、衛星画像を用いることで、廃さいを構成する鉱物種の違いを分類できることを示した。また、酸性水の発生に伴い形成される含水硫酸塩鉱物の Jarosite に着目し、衛星画像および UAV 搭載ハイパースペクトルカメラを用いて Jarosite の分布と量を広域で推定できることを示した。さらに、地形情報を用いた解析では、廃さいの面的な分布だけでなく、体積の推定が可能であることを示した。（２）廃水のスペクトル解析では、携行型分光放射計の測定から、河川水の pH の違いがスペクトルに違いが表れることを明らかにした。また、Bor 鉱山と Veliki Krivelji 鉱山という異なる鉱山を流域に持つ 2 つの河川（それぞれ Bor 川と Krivelji 川）を衛星画像で分類できることを示し、河川の汚染源をスペクトルの違いから特定できる可能性を示した。これらに加え、バックグラウンド解析分野の廃さい等の抽出実験結果と衛星画像解析による廃さいの体積推定値を組合せ、廃さい等についての環境負荷の推定を行った。また、本研究を通して取得した位置情報付きの現地調査データや画像データを一括して管理し、関係者間で共有するための WebGIS システムである（４）GDSS の構築を行った。H27～H30 の期間、日本国およびセルビア国において、セルビア側関係者を対象に、上記（１）～（４）で必要となる解析技術の研修を実施した。

廃さいなどの鉱業廃棄物の無害化および金属回収技術では、主に廃さい（浮選尾鉱）に含まれる微量な銅の回収と残渣物の安定化処理を目的に、浮遊選鉱、加圧浸出（高温高圧浸出）、溶媒抽出、電解採取を組み合わせたプロセス開発について研究を行った。浮遊選鉱および加圧浸出では、廃さいに含まれる硫化鉱物（酸性坑廃水の発生要因となる鉱物種）の分離、固定化に加え、銅を浸出液として回収するための主要条件を調査し、特に加圧浸出では、廃さいと水を混合し高温高圧条件（例えば 180℃、2MPa）を付与することで、銅の 95%以上を浸出回収できることを解明した。一方、浸出残渣は酸化鉄を主成分とする安定性の非常に高い二次鉱物組成に転換できていることを明らかにした。この酸化鉄鉱物相を中心とした固定化により、酸性坑廃水の発生原因としてのポテンシャルは大きく低下し、廃さいの無害化も実現できると考えられる。また、この残渣物は鉄等の溶出性が極めて低いことから、鉄源として有効利用の可能性も期待される。一方、加圧浸出によって得られた浸出液中の銅は、溶媒抽出および電解採取を行うことで、最終的に廃さいに含まれる銅の 80%程度を回収できる可能性があることを実験的に示すことができた。これらの結果より、酸性坑廃水の発生要因の一種であり、環境配慮が必要となる鉱山廃さい（鉱業廃棄物）の安定化／無害化処理に加え、有用金属を回収するという両面からのアプローチを行った。以上のことからも、本研究は着実に進行し、研究期間内の目標が達成されたと判断される。

廃水処理による環境修復の技術として、中和試験装置プロセスでの現地適用試験を予定より一年前倒しで開始し、廃水の無害化と資源化のための各種条件や試験装置の運転条件についてのデータを取得し、廃水の無害化及び廃水中に含まれる銅及び鉄の濃縮、80％以上の回収が実現可能なことが示された。H30 年度までの目標である、中和沈殿-連続試験による最適条件の確認と課題抽出（水質 pH5.8-8.6, Cu 3ppm / Fe 10ppm 以下）を達成した。また、酸性坑廃水処理の 1 つとして、天然有機高分子を主たる材料に吸着現象を利用した金属除去技術の開発に関する研究を併せて実施した。その結果、-COOH や-OH、$-NH_2$ など多彩な官能基を有するゼラチンに架橋反応を導入することにより、吸着材マトリクスとして適切なヒドロゲル作製が可能である事、キトサンなどの有機高分子が、実際の坑廃水に同程度の濃度で含まれる Cu を 90%以上除去する性質を有する事、中和処理後の排水に残存する Mn を 80%以上除去できる事を確認し、中和沈殿法との連携による酸性坑廃水の資源化・無害化プロセスの実現可能性を示すことができた。

以上のとりまとめと全体の評価のため、各研究分野の研究成果をもとに、改めて相互関係を整理するとともに課題を抽出、相互の連携とシステム化のためのフローを構築した。環境対策の方針を考えるために、セルビア、ドイツ、EU、日本の廃水基準値、H29 年度までに推定されたバックグラウンド値と汚染を示す異常値との閾値との比較を行ったほか、環境修復システム構築の指標として重要となる廃水処理等による水質環境の変化予測手法とその投資コストや資源回収による収益などの経済的な分析を行った。全体計画に対しては、環境修復と資源化プロセスの基礎的検討から資源化コストの検討まで、予定通り年次目標を達成した。

以上の研究成果を将来社会システムに組み込むための関係省庁との協議等の活動を積極的に推進した結果、鉱業エネルギー省及び環境保全省の政府関係者の関心は非常に高まり、国の政策への反映を目的として、鉱業エネルギー省大臣への成果説明を行った。今後、セルビア側ではメディアを通じた成果の公表、広報などが検討されており、本プロジェクト研究成果がもたらすインパクトは大きいと考えられる。

・プロジェクト全体のねらい

資源開発に係る広域的な環境評価と新たな環境対策の研究は、資源開発に当たっての地球規模の課題となっており、多額な費用と時間を要する広域的な環境影響評価や環境修復に対して、先進的で低コスト高効率な技術による取り組みが求められている。

このような状況を解決するためには、先ず広域的な環境負荷の正確かつ効率的な評価が不可欠であり、その情報をもとにした効率的な環境管理と修復が必要となる。また、環境対策が持続可能であるためには、廃棄物の資源化と併せた環境維持・修復技術が必要となる。

本研究の目的は、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である。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 8 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。

・地球規模課題解決に資する重要性、科学技術・学術上の独創性・新規性

近年のレアメタル等資源需要の増大による資源開発の活発化とともに環境汚染の広域化が著しく、河川を通した汚染の広域的な拡散拡大により、流域住民への健康被害や農業生産へのリスク増大している。またこのような環境問題が我が国産業に必要不可欠なレアメタル等金属資源の安定的供給に対する阻害要因となりつつある。

東欧をはじめ、CIS 諸国、中国、東南アジア、アフリカ、中南米などの資源保有開発途上国において、過去の資源開発による環境汚染の深刻化とともに新たな資源開発に対する住民の反対運動などが活発化する中で、資源保有国政府の環境規制の強化と環境保全や修復への取り組み姿勢など、より環境を重視した資源開発が求められてきている。

資源開発に係る広域的な環境評価と新たな環境対策の研究は、資源開発に当たっての地球規模の課題となっており、多額な費用と時間を要する広域的な環境影響評価や環境修復に対して先進的で低コスト高効率な技術による取り組みが求められている。

このような状況を解決するためには、先ず広域的な環境負荷の正確かつ効率的な評価が不可欠であり、その情報をもとにした効率的な環境管理と修復が必要となる。また、環境対策が持続可能であるためには、廃棄物の資源化と併せた環境維持・修復技術が必要となる。

・研究運営体制、日本人人材の育成(若手、グローバル化対応)、人的支援の構築(留学生、研修、若手の育成)等

研究運営体制については、研究プロジェクト実施中から終了後にかけて研究成果が社会実装に使われる可能性を考慮して、日本側の秋田大学、一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構、三井金属資源開発の合同チームとセルビア側の研究機関である MMI-Bor とベオグラード大学 TF-Bor だけではなく、セルビア側総括責任組織として同政府鉱業エネルギー省および環境保全省が加わった構成でセルビア側の研究体制を作った。研究プロジェクト推進の中では、定期的に両省庁に結果を報告するとともに、日本での研修において、鉱山開発に伴う廃水処理や環境修復後の実例の視察の機会や実際に廃水対策など統括している JOGMEC 等で環境対策のための予算措置や法制度についての意見交換の機会を設け、環境対策の重要性・必要性への理解や対策実施への可能性への理解を推進した。

セルビア側と日本側の研究機関同士での意思疎通は、研究代表者間や各研究者間において、共同研究による直接的な相互訪問やメール等を使った情報共有により緊密な意見交換が行われ、スムーズに研究がすすめられた。

日本人若手研究者の人材育成については、若手研究者が本プロジェクトの推進に携わることで、共同研究における研究遂行能力はもちろんであるが、カウンターパートと研究の推進に必要な運営やシンポジウムの企画・運営を行い、グローバル化に対応できる国際交流能力を向上させることができた。これらのことを踏まえ、関連分野において、科研費の採択がなされるなど、自立した研究ができる若手研究者育成を行った。また、日本側の若手研究者が中心となり企画したシンポジウム等では、秋田大学の博士課程学生も参加し積極的な議論が展開されるなど、次世代の若手研究者となる人材育成も行った。特任助教教員は、研究能力・プロジェクト遂行能力も含めて評価され、他大学へ転出することとなった。

学部から大学院生レベルの日本人人材の育成およびセルビア側人材育成支援の構築としては、秋田大学国際資源学部 3 年生（29 名）とベオグラード大学ボール校の院生・学部学生（17 名）に対して合同フィールドワーク実習を実施し、環境に関する人材育成を行ってきた。同実習の実施は、秋田大学教職員、ボール鉱山冶金研究所研究者、ベオグラード大学ボール校教員合同チームの指導の下行った。H30 年度からは、セルビア若手人材の育成をさらに進めるべく、秋田大学ーTF‐Bor 校共同教育事業として、秋田大学教員 4 名による講義と廃さいや廃水の無害化の分野を拡充設置して、2 分野での人材育成を行うように発展させた。これらのことに加え、環境保全への関心の醸成、異文化間でのコミュニケーション能力の育成を進めた。日本人学生にとっては、異なる文化や気候のもとでの活動を経験することで、グローバル社会の中で活動する意味や意義を理解することができた。これらの研究成果として、ボール市で行われた「3rd International Student Conference on Technical Sciences」や「5th International Student Conference on Technical Sciences」にて合計 4 編の論文が学生から発表された。

セルビア側人材育成支援の構築のもう一つの活動として、博士課程での研究者人材育成やカウンターパートの研究者への研修事業を各分野で行った。H27 年度に SATREPS 枠で採択された MMI-Bor の若手研究者について、秋田大学大学院国際資源学研究科博士課程において 3 年間の博士課程の教育を経て、環境分野の国際誌への論文公表と博士号取得を行い、同課程を修了させるとともに、研究カウンターパートの MMI-Bor の中核研究員として活動するようにした。また、H30 年度から新たに博士課程に若手研究者を受け入れ、環境影響評価分野での博士課程の教育を行っている。本プロジェクトでの博士課程受入予定者 2 名の教育は、予定通り実施される見通しである。カウンターパートである鉱業エネルギー省、環境保全省、MMI-Bor、TF-Bor のメンバーについては、合計 39 名の研修を行った。鉱業エネルギー省（4 名）、環境保全省のメンバー（1 名）には、前述のとおり、環境政策に関連する内容を中心に研修を行った。MMI-Bor および TF-Bor のメンバーには、本プロジェクトで導入した新規観測・実験手法に関する研修をセルビア国および日本で行い、導入した観測機器や実験装置の運用や取得データの解釈が自立的にできるようにした。これらの研修活動は、研究を進めるうえで大きな推進力となっている。

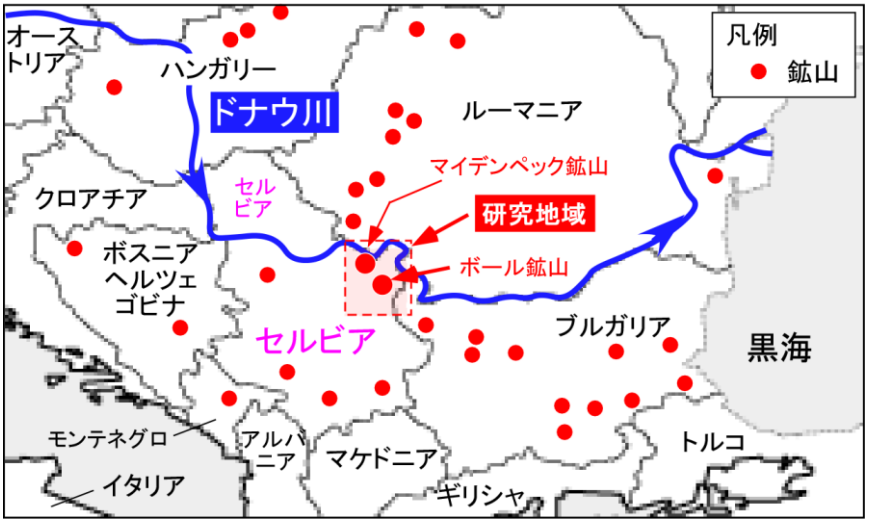


図1-1-1. ボール鉱山地域位置図および環境影響評価検討地域
赤丸印は，鉱山開発地域に対応しており，東欧諸国の鉱山開発がルーマニア，セルビア，ブルガリア等の流域各国で行われており，ドナウ川の水質はこれらの国々の鉱業活動の影響を受けている

研究題目１：「広域環境負荷評価研究」
秋田大学グループ　（リーダー：石山大三）
一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構グループ（リーダー：佐藤功）

研究題目 1－1

①研究題目１－１の当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

1-1 バックグラウンド解析

本研究題目の全体に対する成果目標は、衛星画像解析分野と連携して正確かつ効率的な環境影響評価手法を開発することと研究題目２で検討対象とする地域（危険地域）を抽出することである。抽出された危険地域の情報は、本研究での無害化の技術開発研究に提供され、同技術の最適化と環境改善予測に利用される。その概要を記述する。

a. 試料採取地点と鉱業施設の分布

本研究プロジェクトで研究対象としたボール-マイデンペック鉱山地域は、セルビア東部に位置し、国際河川であるドナウ川を介して本地域の北と東にはルーマニア、南東にはブルガリアが存在する（図 1-1-1）。本研究地域の主要河川は、ドナウ川、ペック川、ティモック川である。ペック川の上流部には本地域の主要鉱山の一つであるマイデンペック鉱山が存在する。一方、ティモック川の支流にボール鉱山地域から流れ下るボール川、ベリケクリベリ川、ベラ川がある。ボール鉱山地域には、採掘を終えたボール露天掘り、現在も坑内での採掘を継続しているボール坑内掘り鉱山、ベリキクリベリ露天掘り、セルボ露天掘りがある。併せて、ボール坑内掘り鉱山、ベリキクリベリ露天掘り、セルボ露天掘り、マイデンペック鉱山の鉱石から金属を精製する製錬所がボール鉱山に重要施設として存在している（図 1-1-2）。これらの鉱山の周辺には剥土（overburden）や廃さい（選鉱尾鉱、tailing）が多数、しかも広域に分布している（図 1-1-3）。これらの剥土や選鉱尾鉱は、1960 年代の鉱業廃棄物管理地域の決壊のためにボール川、ベラ川、ティモック川を通じてドナウ川まで流出し、これらの河川に沿って分布し、下流域にも大きな環境負荷を与えて

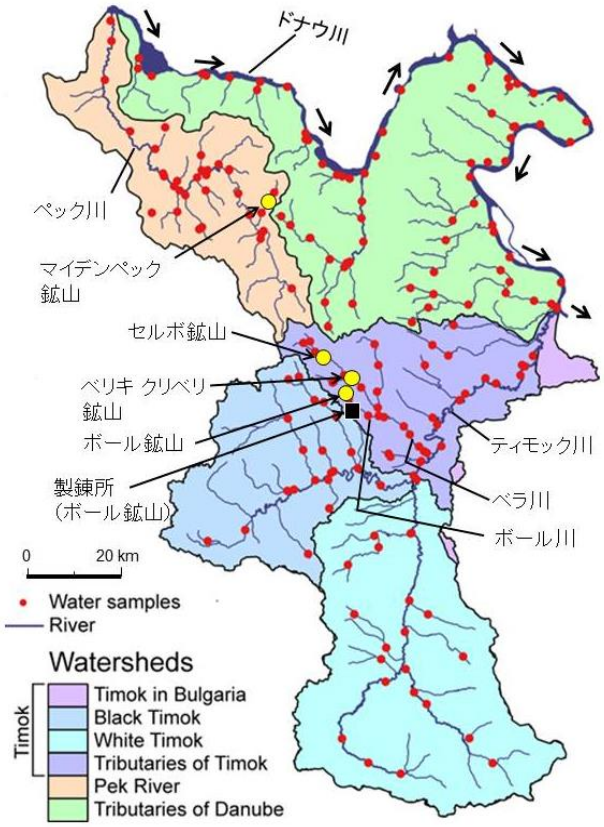


図1-1-2. ボール-マイデンペック鉱山地域の水系、主要鉱山施設、河川水サンプリング地点を示した図
本ボール-マイデンペック鉱山地域は、図1-1-1の赤破線枠に対応する

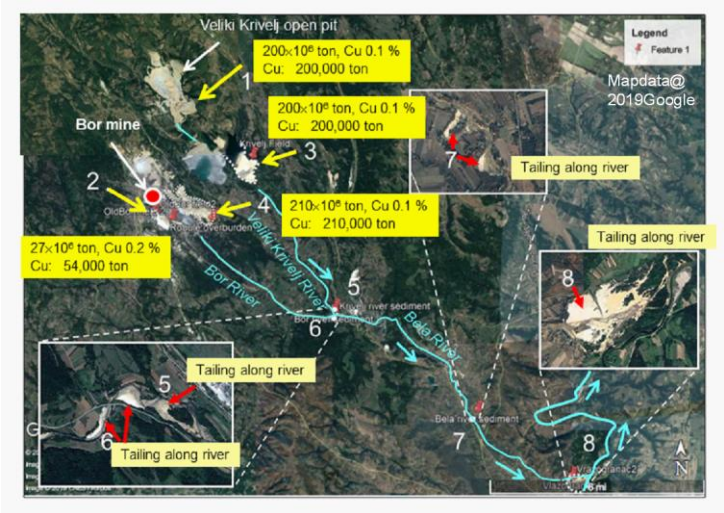


図1-1-3. ボール鉱山周辺の剝土（overburden）と廃さい（Tailing）の分布図
代表的な剝土と廃さいの量、それらの中の銅濃度、銅含有量とボール川、ベラ川沿いに分布する廃さいが示されている

いる（図 1-1-3）。

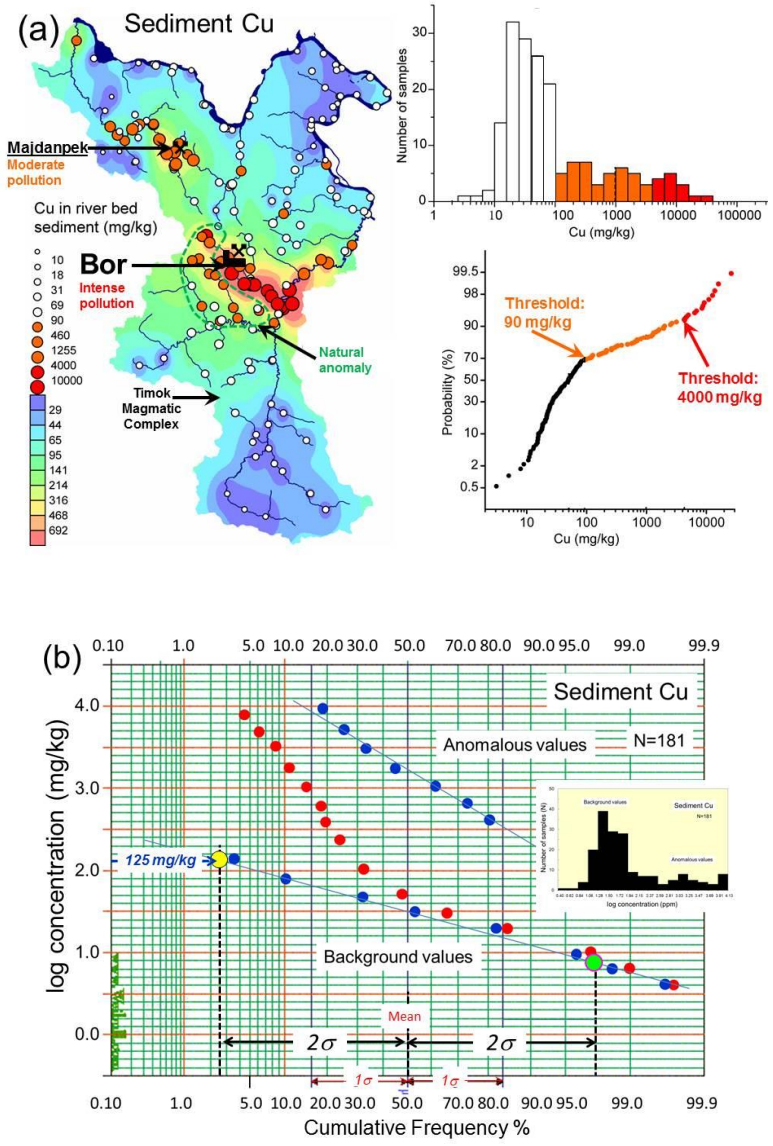


図 1-1-4　Cumulative probability diagram (CP diagram)法 (a) と Probability graph 法 (b) によるバックグラウンド値と異常値を区分する閾値の推定法

ボール-マイデンペック鉱山地域の汚染源は、

1）製錬所からの廃水
2）露天掘りからの廃水
3）鉱山周辺の剥土や廃さいからの廃水
4）河川に沿って分布する流出剥土や廃さいからの廃水

に分けられる。河川の水系に製錬所が存在せず、露天掘り鉱山、剥土、廃さいが存在するベリケクリベリ川やペック川では、操業状態に応じて、pH が 3～6 程度の範囲で変化するが、水系に製錬所、露天掘り鉱山、剥土、廃さいが存在するボール川では、操業状態に応じて、ｐＨは 1.5～4 程度の範囲にあり、製錬所からの廃水が環境に大きな影響を与えている。

表 1-1-1　CP diagram 法と Probability graph 法により推定された閾値

Elements	Cumulative probability diagram method	Probability graph method	Cumulative probability diagram method	Probability graph method
	Sediments		Mine drainage water and river water	
unit	mg/kg		μg/L	
Fe	70000	89000	1100	1410
Cu	90	125	15	36
As	23	20	9	6
Pb	31	126	2	4

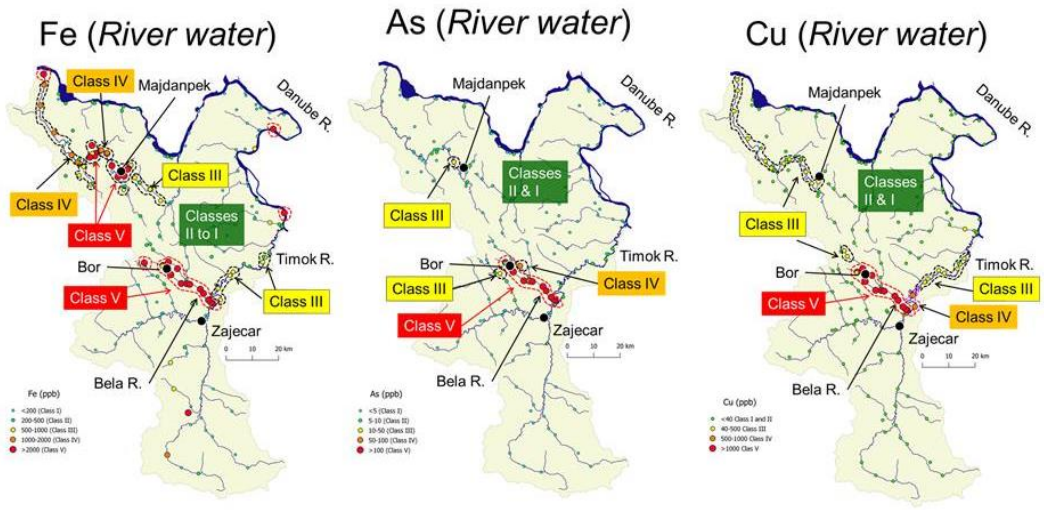


図 1-1-5　研究対象地域の河川水の Fe, As, Cu 濃度分布とセルビア共和国表層水基準値との比較

b. 地球化学図の作成と閾値の推定

河川水や河川堆積物について広域地域の地球化学図を作成するプロセスの中で、鉱山活動等に由来する汚染を示す異常値と非汚染であることを示すバックグラウンド値を区別するための閾値を推定した。さらに、河川水中の元素の化学形態や移動形態の変化の解明とともに、環境対策が必要な危険地域を見出すことを行った。河川水の広域地域の地球化学図については、pH、Eh、Cl^-、SO_4^{2-}、Al、Mn、Fe、Ni、Cu、Zn、As、Cd、Pb 等について作成した。併せて、河川水の流量の分布についても検討した。河川水中のこれらの元素については、総濃度、懸濁物態、溶存態に分けて地球化学図を作成した。河川堆積物試料については、河川水と同様に Al、Mn、Fe、Ni、Cu、Zn、As、Cd、Pb 等について作成した。

バックグラウンド値と異常値を分ける閾値の推定には、Reimann and Caritat (2017)や Reimann et al. (2017)の cumulative probability diagram (CP diagram)法と Sinclair (1986)の probability graph 法（バックグラウンド値のばらつきの範囲：2σ）が検討された（図 1-1-4)。例えば、河川堆積物の Cu の場合には、CP diagram 法での閾値は、90 mg/kg で、probability graph 法では 125 mg/kg であった（表 1-1-1)。同様に、河川水中の総 Cu

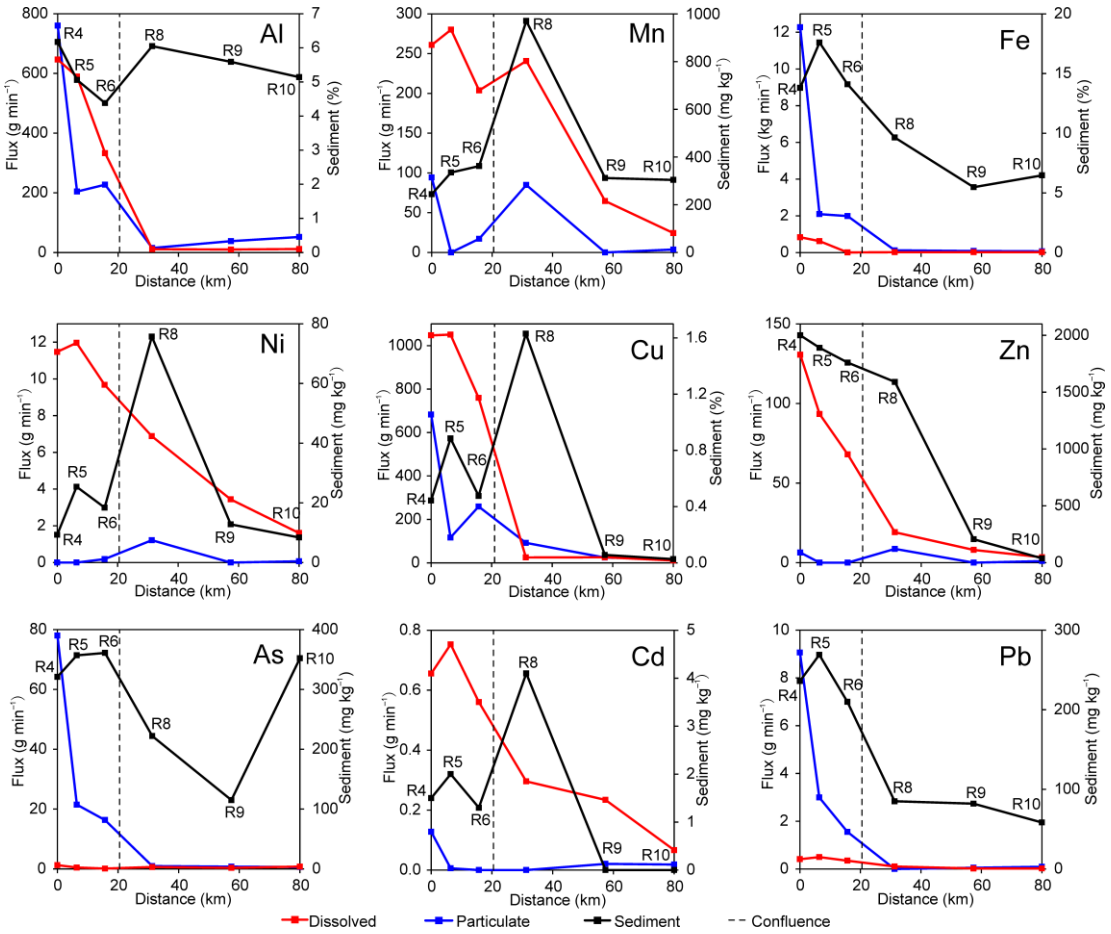


図 1-1-7　ベラ川（R4-R6）、ティモック川（R7-R10）での対象元素移動量

濃度については、CP diagram 法での閾値は、15 μg/L で、probability graph 法では 36 μg/L であった。CP diagram 法で推定される閾値は、Sinclair (1986)の probability graph 法において、バックグラウンド値のばらつきの範囲を 1σ とした場合に相当するのに対して、Sinclair (1986)の probability graph 法のほうがバックグラウンド値のばらつきの許容範囲が 2σ と大きくなっているため、閾値が高く推定される。バックグラウンド値と異常値を区別する閾値の推定には、バックグラウンド値の許容範囲を 2σ とするほうがバックグラウンド値の最大値を見積もるには適しているため、今回は Sinclair (1986)の方法を用いた。（PDM 指標 1-1-5）

推定された閾値とセルビア共和国の河川水などの表層水の環境基準値（“SI. glasnik RS”, br. 50/2012）と比較を行った。河川水中の Fe の閾値は、1400 μg/L であり、凝集等の浄水処理を行えば飲料水等にも使える Class III の水質基準（1000 μg/L）より少し高いがその値に近い値を持つ。同様に、Cu については、その閾値は、36 μg/L であり、よい水質に対応する Class I の水質基準（40 μg/L）に類似した値を持つ。As についても、その閾値は、6 μg/L であり、よい水質に対応する Class II の水質基準（10 μg/L）に類似した値を持つ。Fe のバックグランド値の最大値が 1400 μg/L と推定されることから、本研究地域における Fe の水質改善目標は Class III の水質と推定される。Cu や As に関しては理想的な水質改善目標としては Class II が考えられる。

上記の結果とセルビア共和国の表層水の環境基準値に基づいた河川水の水質の分布をあわせて検討すると、Fe については、ボール鉱山から南東に流れるボール川、ベラ川とマイ

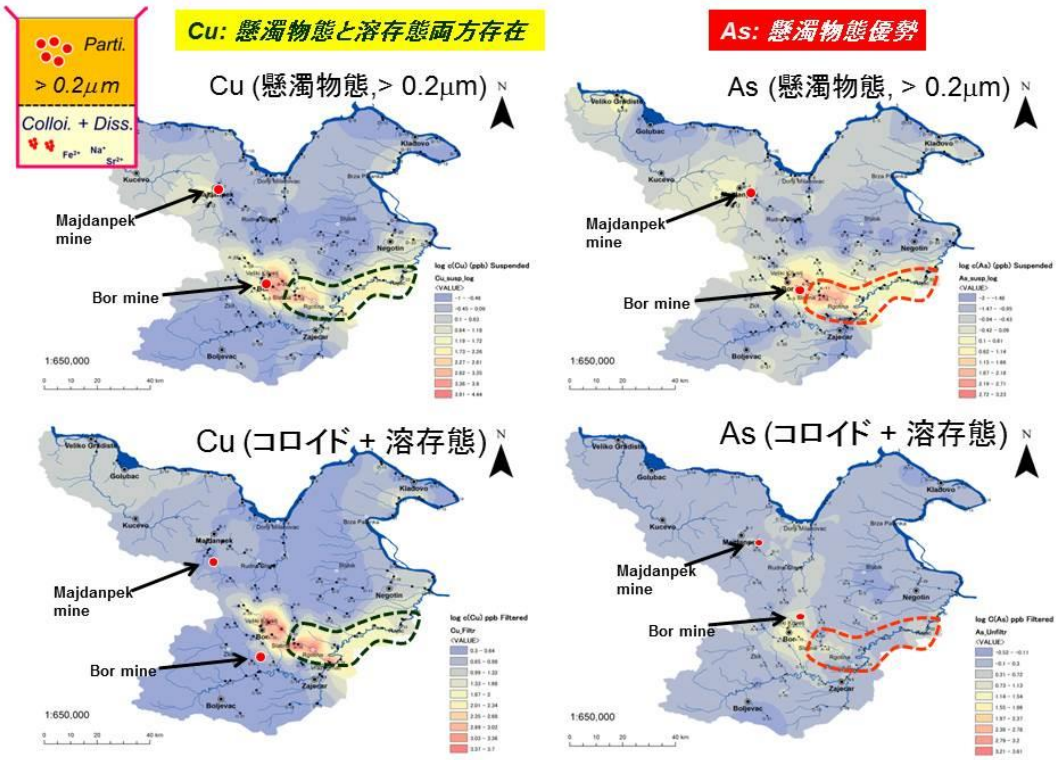


図 1-1-6　研究対象地域の河川水中の Cu と As の化学形態分布と運搬メカニズムの比較

デンペック鉱山から北西に流れるペック川に汚染が認められる。Cu については、ボール川、ベラ川、ティモック川中流域から下流域とマイデンペック鉱山から北西に流れるペック川に汚染が認められる。As については、ボール川、ベラ川とマイデンペック鉱山近傍のペック川に汚染が認められる。（PDM 指標 1-1-5）また、広範囲に汚染が認められる元素は、Cu と Fe である。特に Cu の汚染が下流域まで及んでいる可能性が高い（図 1-1-5）。河川水に対する環境対策を行う地域としては、ボール鉱山下流域とマイデンペック鉱山下流域があげられる。特にボール鉱山下流域への対策が重要であると考えられる。実際の対策については、汚染源の廃水よりも鉱山廃水を含み重金属元素濃度等が低濃度になった河川水への対策は費用に対する効果が低いと考えられるので、本研究プロジェクトで Output2 の鉱山廃水発生源での廃さいや鉱山廃水の無害化の対策が重要である。

c. 河川水中の元素の化学形態

既に河川水による汚染の分布の特徴の中で、As の汚染の範囲が Fe や Cu の汚染範囲より小さいことを述べた。また、河川水中の元素を懸濁物態と溶存態の異なる化学形態に分けて採取し分析した結果からは、これらの元素は上流域から下流域に移動する際に河川水の pH が中性側に変化することで、溶存態から懸濁物態へ変化することが明らかになった（図 1-1-6）。各調査地点の河川流量データと化学分析値より、対象成分の移動量（Flux）を求め、図 1-1-7 に示した。図 1-1-7 で、総移動量（Flux）の減少は河床への沈殿を意味する。

As は、水の中に Fe が存在すると、水中で形成される水酸化鉄懸濁物態などに吸着されることが知られている。このように As は、水酸化鉄懸濁物態に吸着され、水酸化鉄懸濁物態が河床に堆積することで環境への影響が他の元素より狭い範囲に限定されると考えられる。Cu、Fe、As の中で Cu が最も下流域まで溶存態として存在する比率が他の元素より大きいが、全体としては下流域に向かいイオン状態で存在する溶存態よりも濁物態の量が増加する。（PDM 指標 1-1-5）

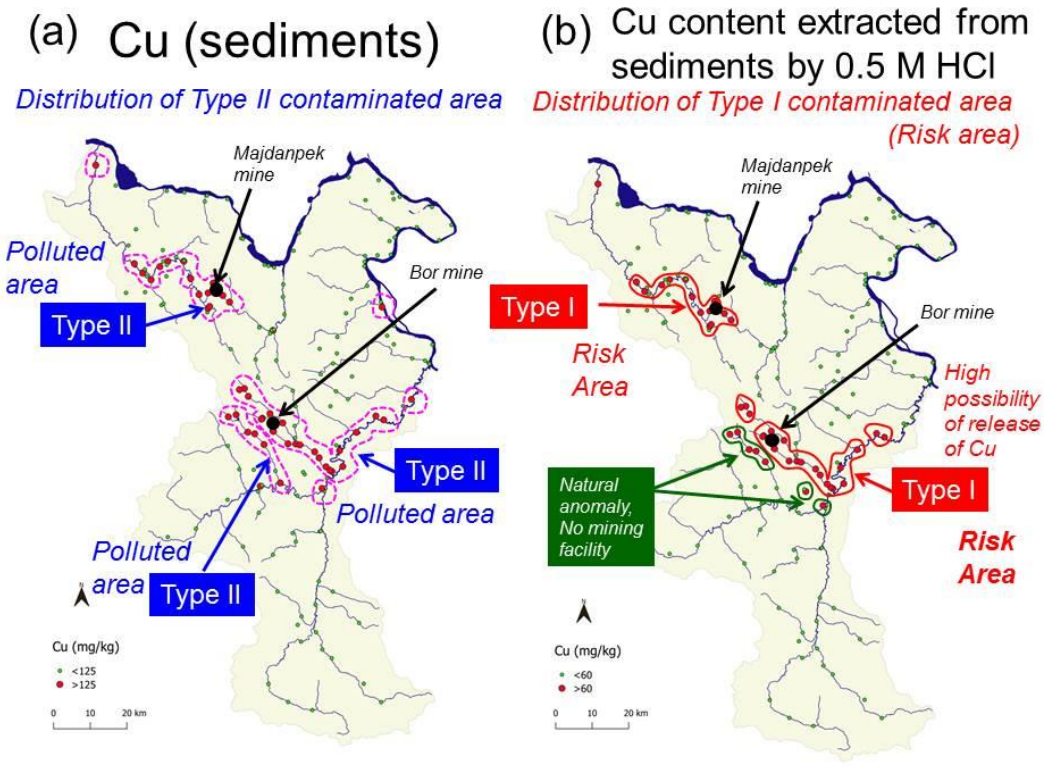


図 1-1-8　河川堆積物中の Cu 総濃度の分布図（a）と河川堆積物から 0.5M HCl 溶液により抽出された Cu 濃度の分布図（b）

d. 鉱業活動に伴う環境負荷地域（危険地域）の分布

本研究対象地域の河川には、鉱山から由来する廃さいなどが河床に堆積していることがしばしばある。このような堆積物からの有害元素の溶出が容易に起こるのか否かは、河川下流域への影響を考える際には重要である。そこで、最初に河川堆積物中の有害元素濃度が閾値より高い地域を第Ⅱ種汚染地域として区分した。例えば、河川堆積物の Cu 総濃度の閾値は、CP diagram 法では 90 mg/kg で、Sinclair (1986)の probability graph 法では 125 mg/kg であった。今回は、Sinclair (1986)の方法による 125 mg/kg の含有量より高い地域を第Ⅱ種汚染地域とした（図 1-1-8-a）。

土壌、堆積物中に含まれる有害元素は様々な化学形態で存在している。そのため、有害元素の土壌、堆積物中からの溶出のしやすさも、どのような化学形態で有害元素が存在しているかによって大きく異なる。従って、図 1-1-8-a に示した堆積物中の全含有量だけでは、的確に有害元素溶出リスクを評価することはできない。土壌、堆積物中の有害元素の特定には、BCR 法などの逐次抽出実験が広く用いられている。BCR 法では、第 1 段階で炭酸塩態、第 2 段階で鉄・マンガン酸化物態、第 3 段階で有機物態、硫化物態、第 4 段階でケイ酸塩態を抽出する。人為的汚染により土壌、堆積物に取り込まれた有害元素は、主に第 3 段階までで抽出され、非汚染由来の有害元素は、ケイ酸塩態など鉱物の結晶格子の中に安定した形態で閉じ込められている。BCR 法の第 3 段階までのフラクションは、0.5 M 塩酸で抽出することができ、人為汚染による重金属が溶出しやすい地域とそうでない地域の区別が可能になる。このように抽出実験データをもとに、有害元素が溶出しやすい地域を抽出する。また、有害元素全含有量のうちの 0.5 M 塩酸可溶態の割合を調べることで、有害元素の起源が人為的汚染または非汚染由来であるのかの予測もできる。

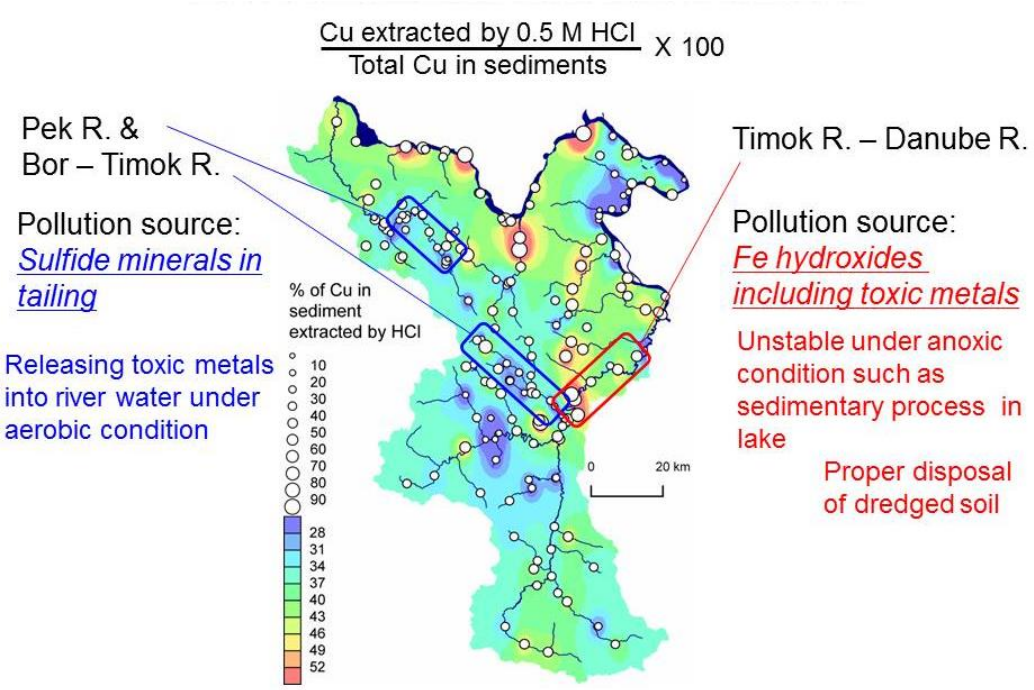


図 1-1-9　河川堆積物中の総 Cu 濃度と溶出実験による溶出 Cu 濃度の比（塩酸可溶態 Cu/総 Cu 濃度濃度比）の分布図

具体的には、0.5 M HCl 溶液による Cu 溶出実験結果について、閾値を Sinclair (1986) の方法で推定し（60 mg/kg、図 1-1-8-ｂ）、Cu 溶出量の高い地域を推定した。この地域の中には、鉱業施設が分布する水系の地域とそうでない水系の地域がある。鉱業施設がなくても高い Cu 溶出特性を示す地域は、自然由来の影響により、河川堆積物中に Cu が濃集している地域である。このような地域を除き、危険地域（第 I 種汚染地域）を抽出した。本研究地域の危険地域は、ボール鉱山北西のベリキクレベリ川上流部、ボール鉱山から下流のボール川、ベラ川、ティモック川中流域、マイデンペック鉱山周辺部に分布する。これらの危険地域の中には、衛星画像解析で分布が確認される汚染の起源である廃さい（tailing）や剥土（overburden）が含まれる。これらの危険地域は、おおむね河川水の Cu 高濃度地域や目視で魚を確認できない地域に対応している。

e. 堆積物中の Cu 化学形態と溶出予測

河川堆積物中の総 Cu 濃度と溶出実験による溶出 Cu 濃度の比（塩酸可溶態 Cu/総 Cu 濃度濃度比）を図 1-1-9 に示す。ベラ川合流後のティモック川中流域では、河川堆積物の Cu 濃度は高く（第 I 種汚染地域）、しかも塩酸可溶態 Cu/総 Cu 濃度比は高い。図 1-1-9 より、ベラ川河川水中の Cu は、ティモック川合流後に Cu は溶存成分から懸濁物態（鉄、アルミニウム水酸化物への吸着態）へと化学形態が変化していることから、堆積物中の Cu は、水酸化鉄に吸着された形態で存在していることが推定される。(PDM 指標 1-1-6) 環境保全のためには、河川堆積物から Cu が溶出しなくなるような対策が必要である。この化学形態で存在する元素は、酸化的環境では安定であるものの、酸化還元状態の変化に対しては敏感で、還元的な環境下に晒されると鉄水酸化物の溶解により再溶出する可能性がある。特に、環境修復のため対象地域の堆積物を取り除き、処分地に処分した際に還元的な環境となり、新たな汚染問題が発生する可能性がある。

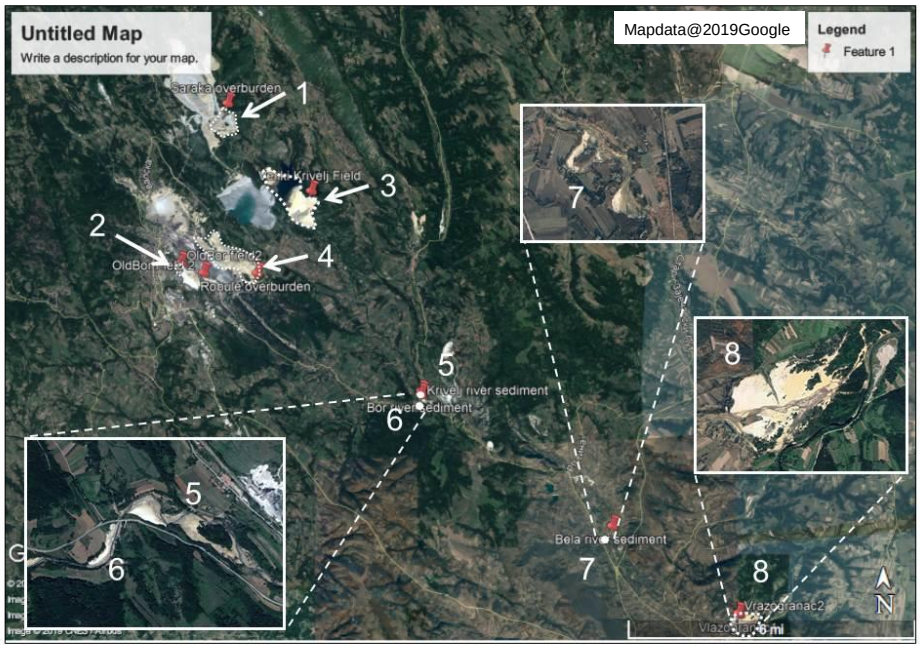


図 1-1-10　抽出実験に用いた廃さい試料の位置図

表 1-1-2　廃さい試料を用いた 250 mg/L 炭酸水素イオン溶液溶出実験の結果
　　試料位置は、図 1-1-7 に示されている

SAMPLE ID NO.	pH	pH	pH
	1st	2nd	3rd
1	8.08	7.77	8.15
2	3.57	4.45	6.75
3	4.52	6.94	7.78
4	3	6.56	7.67
5	4.79	7.28	7.88
6	7.79	7.91	8.08
7	4.48	7.73	8.13
8	3.65	7.66	8.07
Blank solution	8.54	8.18	8.35

一方、ボール川、ベラ川の第 I 種汚染地域（高 Cu 濃度河川堆積物分布地域）では、塩酸可溶態 Cu/総 Cu 濃度比は低い。しかし、ここでは非汚染由来の Cu 比率が高いこと示唆するものではないと考えられる。その理由は、ボール川、ベラ川の堆積物中には鉱業活動に伴う硫化鉱物も含まれており、硫化鉱物の結晶格子中に安定に存在する有害元素は 0.5 M 塩酸および BCR 法第 3 段階までで抽出することはできないからである。今回のボール川、ベラ川で認められた低塩酸可溶態 Cu/総 Cu 濃度比は、両河川の堆積物中に有害元素が硫化鉱物の形で存在していることを示唆している。（PDM 指標 1-1-6）

Cu が硫化鉱物のような形態で存在し、ボール川、ベラ川のように酸化的な環境では硫化鉱物中の Cu は溶解され、汚染が継続することが予想される。この地域の鉱山活動による汚染の影響を受けていない河川の炭酸水素イオン濃度は 250 mg/L である。そこで、廃さいを含む試料（図 1-1-10、表 1-1-2）を用いて、250 mg/L 炭酸水素イオン溶液を用いての溶出実験を行った。廃さいが絶え間なく炭酸水素イオンを含むこの河川水に接することを想定し、同試験を３回繰り返し行い、河川水に可溶な硫化物の存在の有無を調べた。表 1-1-2 には、溶出溶液のｐH を示した。第１段階の抽出実験で、その溶液が酸性化を示す廃さい試料も確認できたものの、繰り返し 250 mg/L 炭酸水素イオン溶液に接することで酸性化の程度も小さくなることから、汚染発生源で汚染防止対策がなされ、ボール川、ベラ川の河川水の pH が中性に近づいた時には、ボール川、ベラ川の河川堆積物中の硫化鉱物が酸化され有害元素が溶出されることは抑制される可能性がある。

図 1-1-11　モニタリング用地下水を採取した Brezanic, Slatina, Vrazogranac 位置図

f. 鉱山廃水含有河川下流域の地下水汚染状況

f-1. 検討の経緯と概要

本検討は、当初計画には無かったが、環境保全省からの要請で開始された。Bor 周辺の鉱山、精錬所、さらに廃さい起源の酸性鉱山廃水は、環境基準を満たす廃水処理が行われず Bor 川、Krivelj 川、Bela 川に合流し下流域の集落沿いに流れる。これまで環境汚染の評価研究のため河川水の現地検証を行い、銅や鉄など重金属成分による地球化学図の作成、河川流域の危険度評価を実施してきた。ここでは前述した酸性鉱山廃水の地下水に与える評価研究結果について述べる。対象とした地域は Bor 川沿いの Slatina 集落(Bor 中心部より南東に 7km)、Bela 川沿いの Vrazogranac 集落(Bor 中心部より南東に 26km)の 2 地域である（図 1-1-11)。地下水試料は、集落の各家に既存する井戸を利用し採水した。試料中の懸濁物の影響を除くため 0.45μm フィルターを通過した試料を用い、ナトリウム、カリウム、カルシウム、マグネシウム等の陽イオン、硝酸イオン、硫酸イオン等の陰イオン濃度をイオンクロマトグラフィーで、さらに銅、鉄などの重金属測定用試料は原子吸光及び ICP-MS で測定した。測定は MMI-Bor にて、日本から供与された分析機器を用い、技術研修を受けたカウンターパートが実施した。

f-2. 分析結果および考察

f-2-1. 重金属成分濃度

重金属成分として、銅、鉄、マンガン、亜鉛、ヒ素濃度を測定した。表 1-1-3 に Slatina の 2018 年 8 月に採取した地下水の測定結果とセルビアでの社会条件の 1 つである飲料水の基準値を示す。Slatina 集落では、ヒ素を除く銅、鉄、マンガン、亜鉛は基準値以下を示し、これら重金属による大規模な地下水汚染は発生していないと考えられる。ヒ素濃度は、<2.1μg/L－22.1μg/L を示し、基準値 10μg/L を超過する井戸が 5 箇所存在する。超過する井戸と Bor 川との直線距離に相関関係は認められないが、比較的水位の浅い井戸にその傾向が見られる。ヒ素濃度が基準値を超える要因が Bor 川を流れる鉱山廃水起源であるか否かは、今後モニタリング継続して明らかにする必要がある。

表 1-1-3　Slatina 集落の既存の井戸から採取した地下水の重金属成分一覧とセルビアの飲料水基準値

Date		No.	Level(m)	pH	Cu(mg/L)	Fe(mg/L)	Mn(mg/L)	Zn(mg/L)	As(μg/L)
2018.08.17	Well	1	1.55	7.5	<0.05	<0.1	<0.01	<0.02	22
	Well	2	5.35	7.0	<0.05	<0.1	<0.01	<0.02	2
	Well	3	3.50	6.8	<0.05	<0.1	0.05	0.04	6
	Well	4	3.56	7.1	<0.05	<0.1	<0.01	<0.02	10
	Well	5	1.90	7.2	<0.05	<0.1	<0.01	<0.02	7
	Well	6	1.90	7.3	<0.05	<0.1	0.01	<0.02	13
	Well	7	4.63	7.2	<0.05	<0.1	0.01	<0.02	4
	Well	8	3.30	7.6	<0.05	<0.1	<0.01	<0.02	11
	Well	9	1.30	7.8	<0.05	<0.1	<0.01	0.03	15
	Well	10	3.90	7.2	<0.05	<0.1	<0.01	<0.02	9
	Well	11	4.05	7.0	<0.05	<0.1	<0.01	0.03	9
	Well	12	3.24	7.0	<0.05	<0.1	<0.01	<0.02	<2
	Spring	13	-	7.9	<0.05	<0.1	<0.01	<0.02	<2
	Well	14	2.55	7.1	<0.05	<0.1	<0.01	<0.02	8
Maximum Allowable Concentration of Drinking Water					2.0	0.3	-	3.0	10

f-2-2. 主化学成分濃度

イオンクロマトグラフィーを用いて、ナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウムの各陽イオン、硝酸、塩酸、塩化物イオンの各陰イオンを測定した。測定結果は 2019 年 4 月に採取した地下水で、pH は 6.4 から 7.7 の範囲でほぼ中性である。ほとんどの試料で最も高い値を示す陽イオンはカルシウムイオンで、Slatina で 60-252mg/L、Vrazgranac で 127-543mg/L を示す。陰イオンは硫酸イオンで、Slatina で 46-355mg/L、Vrazgranac で 109-1142mg/L を示す。一般に河川水や地下水に含まれる硫酸イオンは、水-岩石反応を起源とする。しかしながら、本地域では銅製錬の過程で生成される硫酸の放流が下流河川水の汚染源として確認されている。図 1-1-12 に pH と硫酸イオン濃度の関係図を示す。これまで定期的に試料収集している Bor 川と Bela 川のデータも合わせてプロットする。pH は Bor 川で 1.9-3.6、Bela 川で 2.7-6.2、硫酸イオン濃度は Bor 川で 1717mg/L-5805 mg/L、Bela 川で 517 mg/L-2600 mg/L を示し、汚染源に近い Bor 川で pH がより酸性で、硫酸濃度が高い。それぞれの河川で pH、硫酸イオン濃度に幅があるのは、精錬所からの酸性鉱山排水の放流の状態に依存することによる。Slatina、Vrazogranac の地下水は、概ね pH が 6.8-7.9、硫酸イオン濃度は 50mg/L-540 mg/L の範囲にある。酸性鉱山廃水の影響を受けない Brezanic（Bor 中心部より北北西 7km）の地下水は、pH=7.3-7.4、硫酸イオン濃度が 110mg/L-144mg/L を示し、Slatina、Vrazogranac の地下水より硫酸イオン濃度が明らかに低い傾向にある。一部の Vrazogranac の地下水の化学組成が、ベラ川の河川水の化学組成に類似する可能性があるが（図 1-1-13）、この結果のみで酸性鉱山廃水による硫酸イオンの広域地下水への混合を結論づける事はできない。今後のモニタリングでは pH、硫酸イオン濃度も注視する必要がある。カリウムイオンと硝酸イオン濃度も高い（図 1-1-13）。Brezanic を除く Slatina、Vrazogranac の多くの地下水は、飲料水の基準値であるカリウムイオン濃度 12mg/L と硝酸イオン濃度 50mg/L を超えている。これに対して、Bor 川、Bela 川のカリウムイオンと硝酸イオン濃度は、飲料水の基準値以下と低い。これら集落でカリウムイオンと硝酸イオン濃度が高いのは、酸性鉱山廃水の影響ではなく、農地への多量施肥など人為的な影響に由来すると思われる。これら肥料構成成分のイオン濃度に関しても注視が必要である。

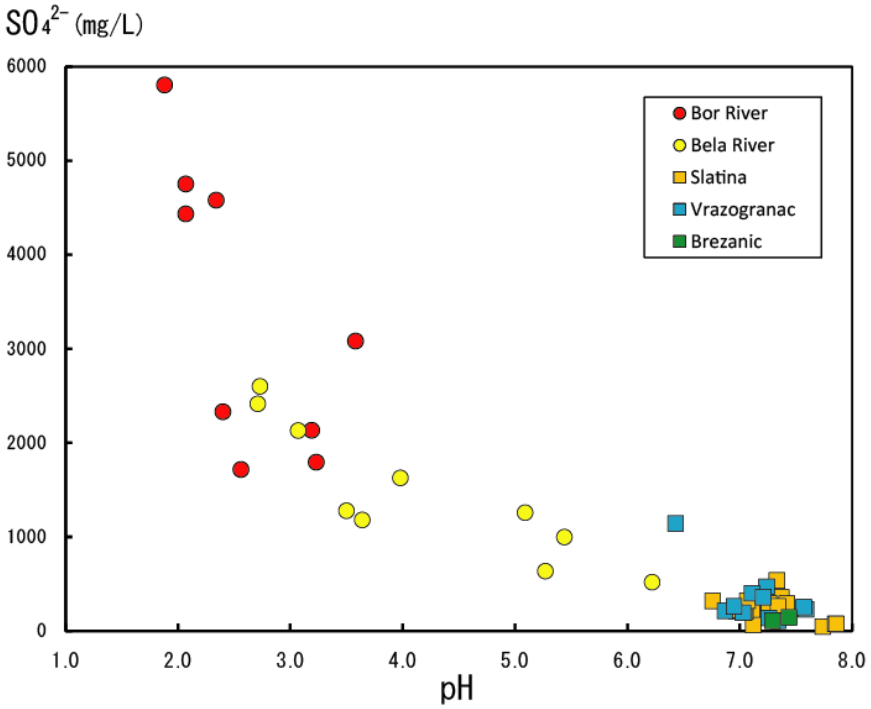


図 1-1-12　酸性鉱山廃水が流れる Slatina ，Vrazogranac と影響のない Brezanic の pH と硫酸イオン濃度の関係

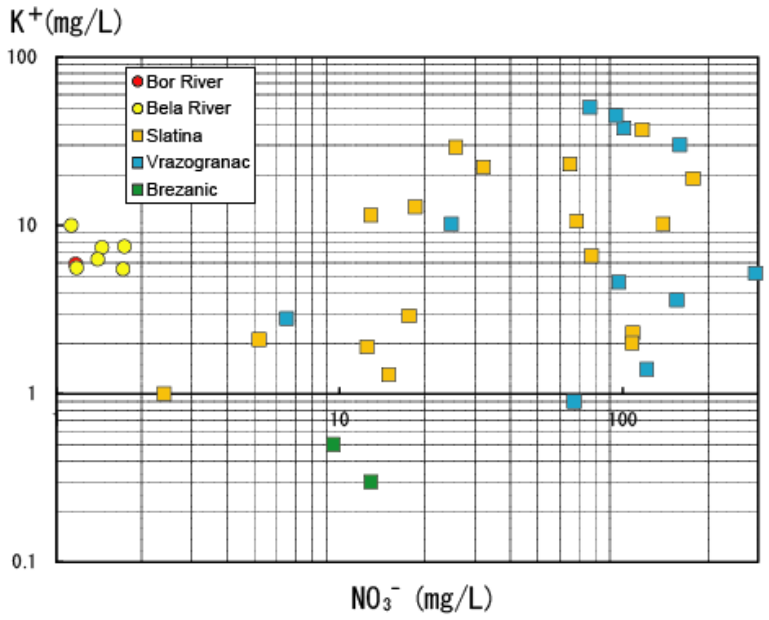


図 1-1-13　酸性鉱山廃水が流れる Slatina ，Vrazogranac と影響のない Brezanic のカリウムイオン濃度と硝酸イオン濃度の関係

研究題目 1－２

①研究題目１－２の当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

1-2 衛星画像解析

1-2-1 廃さいのスペクトル解析

Bor 鉱山周辺の環境汚染の原因となっている廃さい分布を明らかにするため、2015 年に鉱山周辺 22 ヵ所で採取した廃さいについて粉末 X 線回折法による分析（以降、XRD 分析）を行い、廃さい中に含まれる鉱物の構成を明らかにした（表 1-2-1）。表 1-2-1 から、廃さいは、採取した場所によって含まれる鉱物の種類や量が異なり、空間的なばらつきが大きいことが分かった。なお、XRD 分析は、衛星画像を解析する際の参照データおよび検証データとして必要になるため、2015 年以降も同様の調査、分析を実施した。

表 1-2-1　2015 年に採取した廃さい試料の XRD 分析結果（H、M、S はそれぞれ、検出された各鉱物の量が多い、普通、少ないことを意味する。）

	1501	1502	1503	1504	1505	1506	1507	1508	1601	1602	1603	1604	1605	1606	1607	1608	1701	1702	1703	1704	1705	1706
Albite (Plagioclase)	M	M	M	M	M	M	S	M	M	H	H	M	H				S	M	S		S	M
Alunite							S							S	S		S	S	S	S	S	S
Calcite	M	M	H	S	S	S																
Chlorite	S	S	S	S	S	S			M	M	M	M	S									S
Dickite (Kaolinite)	S	S	S				M	S						H	H	M	M	M		M	M	S
Dolomite	S	S	S	S	S	S													M			
Fayalite																M						S
Gypsum							S	M	M		S	M				M			M	M		H
Hornblende				S	S	S	S	S									S	S	S		S	S
Jarosite							S	S	S	M	S	S		S	S	S	S	S	S	S	S	S
Magnetite (Spinel)																S						S
Phengite (Muscovite/Illite)	M	M	S	S	M	S		S	S	S		S	S			S	S	S	S			
Pyrite																S						
Quartz	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	M	H	H	H	M	H	H	H	H	H	M

H :High　M :Medium　S :Small

次に、廃さいに含まれる構成鉱物の違いによる反射スペクトルの違いを明らかにするため、XRD 分析を行った廃さいサンプルに対して、分光放射計（FieldSpec3、 ASD 社）による反射スペクトルの測定を行った。図 1-2-1 は、測定した反射スペクトルの 1 例として、表 1-2-1 の試料 1602 のスペクトルを示している。試料 1602 は、Jarosite や Albite を多く含んでおり、図 1-2-1 の反射スペクトルにおいても、Jarosite に特徴的な吸収波長である 910nm 付近や、Albite に特徴的な吸収波長である 650nm 付近にそれぞれ吸収ピークが見られるなど、構成する個々の鉱物の反射スペクトルの特徴が反映されていることが確認できた。（PDM 指標 1-2-1-i, 1-2-2-i）

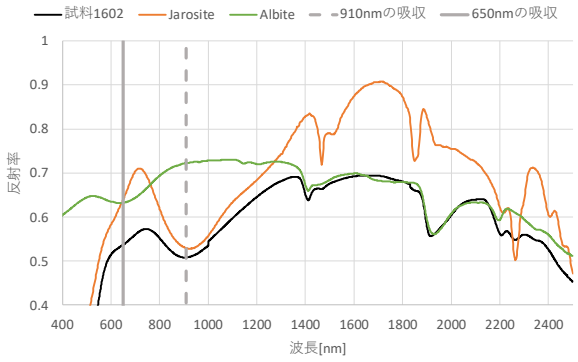


図 1-2-1　表 1-2-1 の廃さい試料 1602 の反射スペクトル例

表 1-2-2　表 1-2-1 に示す試料を構成鉱物の種類に応じて 4 つのグループに分けた結果

		Small	Large	Small	Large
相対的環境負荷					
廃さいの主要起源		鉱体周辺部由来の廃さい	鉱体中心部由来の廃さい	鉱体周辺部由来の廃さい	鉱体中心部由来の廃さい
		方解石-イライト-緑泥石-カオリン	カオリン-石膏-明礬石-鉄明礬石	緑泥石-カオリン-石膏-イライト-鉄明礬石	カオリン-明礬石-鉄明礬石

	Group 1						Group 2				Group 3							Group 4				
	1501	1502	1503	1504	1505	1506	1507	1703	1704	1706	1508	1608	1601	1602	1603	1604	1605	1606	1607	1701	1702	1705
Alunite							S	S	S	S								S	S	S	S	S
Calcite	M	M	H	S	S	S																
Chlorite	S	S	S	S	S	S				S			M	M	M	M	S					
Dickite (Kaolinite)	S	S	S				M		M	S	S	M						H	H	M	M	M
Dolomite	S	S	S	S	S	S		M														
Gypsum							S	M	M	H	M	M	M		S	M						
Jarosite							S	S	S	S	S	S	S	M	S	S		S	S	S	S	S
Phengite (Muscovite/Illite)	M	M	S	S	M	S		S			S	S	S	S		S	S			S	S	

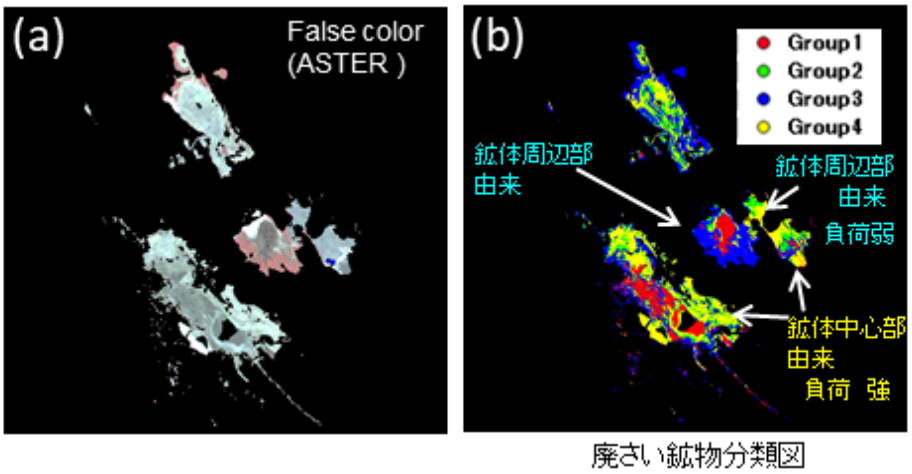


図 1-2-2　2007 年 4 月 20 日と 2007 年 4 月 27 日に取得した ASTER 画像を用いて、廃さいを分類した結果　(a)False color 画像、(b)廃さい分類図

1-2-2 廃さい分布の解析

a) 構成鉱物に注目した分布

廃さいに含まれる鉱物の種類を広域で推定するため、衛星画像を用いた画像分類を行った。最初に、表 1-2-1 で示した 22 サンプルを構成鉱物が似ている 4 つのグループに整理した（表 1-2-2)。図 1-2-1 から、構成鉱物が似ている廃さいは反射スペクトルも似ていることが推察されたので、廃さいの採取場所と重なる衛星画像の画素値を教師データ（参照スペクトル）として、廃さいを採取していない画素がどのグループに属するかを、教師付き分類の 1 つである Spectral Angle Mapping(SAM)法で分類した。図 1-2-2 は、日本の地球観測センサ ASTER を使って廃さいを分類した結果である。教師データの数が少なかったため、分類精度の検証には教師データと同じデータを使用するクローズドテストを実施し、全体精度 58%という結果が得られた。図 1-2-2 の(b)の分類画像を見て分かるように、(a)の False color 画像からは見分けられない構成鉱物の違いが表れており、衛星画像から廃さいを構成する鉱物の種類を推定できる可能性が示された。

さらに衛星画像解析から得られた廃さいのタイプ（Group 1, 2, 3, 4）毎の分布、それらの鉱物組み合わせ、鉱物組合せが持つ地質学的・鉱床学的意味を考慮すると、Group 2 と 4 は、Alunite と Kaolinite が多く存在することから、鉱床の鉱石が存在する鉱体の中心部

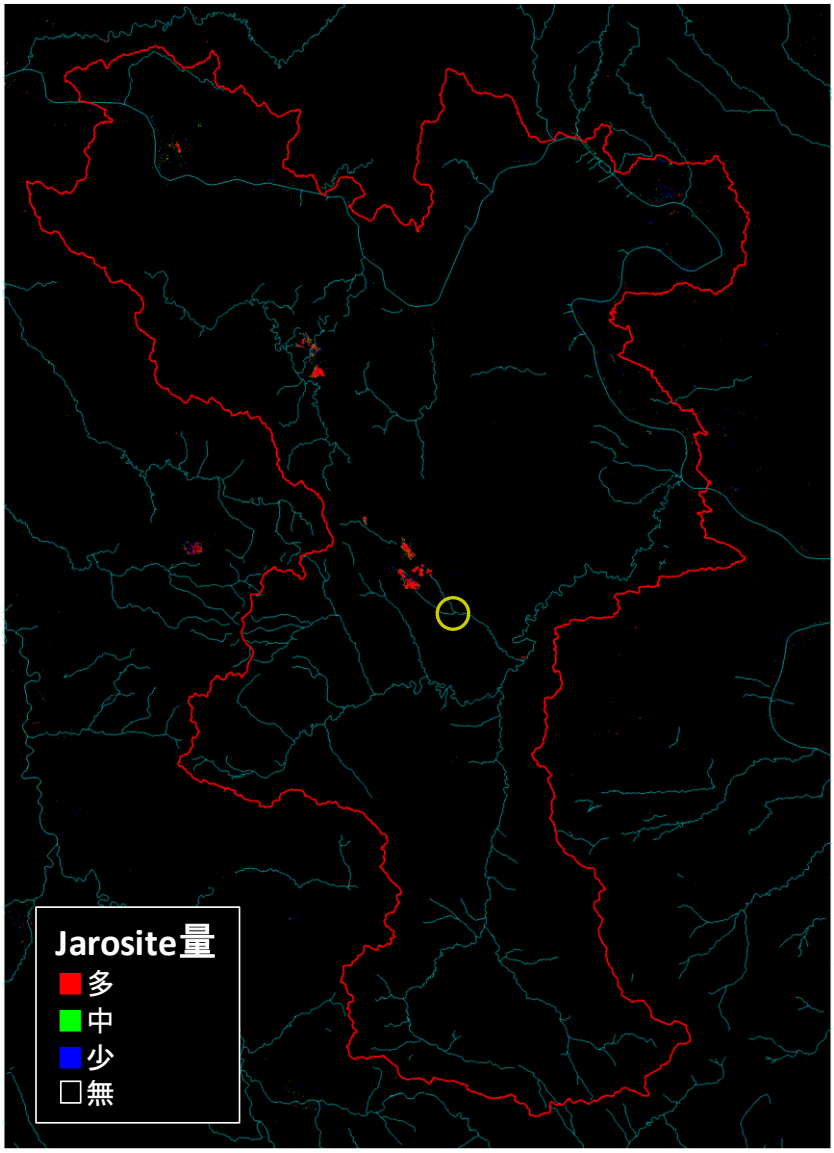


図 1-2-3　2017 年 7 月 21 日に取得した Sentinel-2 を用いた Jarosite 量の分類結果

由来の岩石が鉱物処理過程で粉砕され形成された廃さいが主要な廃さいのグループと推定される。一方、Group 1 と 3 は、Alunite を欠き、Chlorite、illite、calcite が存在することから、鉱化作用の影響が弱い鉱体の周縁部由来の岩石が鉱物処理過程で粉砕され形成された廃さいが主要な廃さいのグループと推定される。Group 2 と 4 は、Group 1 と 3 に比較すると、鉱化作用の影響が高く含有 Pyrite や chalcopyrite 量が多いと予想されるので、Group 2 と 4 の廃さいは、Group 1 と 3 より、環境負荷が大きい廃さいであると考えることができる。衛星画像解析の情報は廃さいの表面の情報ではあるが、同情報から肉眼観察では区別ができない廃さいの特性を分類することができ、タイプ分けされた廃さいの環境負荷を予測する手がかりを与えてくれる可能性がある。

b)　鉄酸化物の量に注目した分布

a)では構成鉱物の種類に着目して廃さいの分類を行ったが、バックグラウンド解析から汚染物質の 1 つである廃さい由来の酸性水が環境への負荷に大きく寄与していることが分

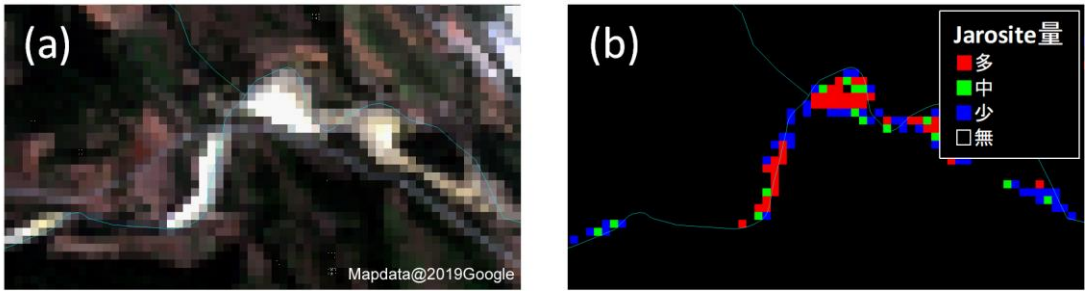


図 1-2-4　Krivelj 川と Bor 川の合流地点における Jarosite 量の分布。(a)Ture color、(b)Jarosite 量の分類図

かったため、その発生原因となっている含水硫酸塩鉱物（特に Jarosite）の分布と量に着目し、①衛星搭載マルチスペクトルセンサの Sentinel-2 と、②UAV 搭載 LCTF カメラへを用いて、これを推定する手法について検討した。

b-1)Sentinel-2 による解析結果

①の Sentinel-2 を使った解析では、Jarosite の吸収波長に近い Sentinel-2 のバンド 8A（中心波長:865nm）を使用し、Jarosite の分布と量を推定した。図 1-2-3 は、2017 年 7 月 21 日に取得された Sentinel-2 画像を用いて、地球化学図と同じ範囲の Jarosite の分布を広域で推定した結果である。前節と同様にクローズドテストで分類精度を確認した結果、全体精度は 41%だった。図 1-2-3 から、Verki Krivelj 鉱山、Old Bor 鉱山、そして Majdanpek 鉱山周辺では、Jarosite が広く分布しており、かつその量も多いことが分かる。また、Krivelj 川と Bo 川の合流地点（図 1-2-3 の黄色丸で示した場所）で、現地でも廃さいの堆積が確認された場所では、高い Jarosite の含有量を示しており（図 1-2-4）、Sentinel-2 の空間分解能 20m という解像度で、Jarosite の分布を広域推定できることが分かった。（PDM 指標 1-2-3）

b-2)LCTF による解析結果

本調査で用いた LCTF の観測波長範囲は 600nm から 900nm で、波長分解能は 10nm である。そこで、Jarosite の吸収波長である 910nm と Jarosite の吸収に関与しない波長である 750nm の反射率から、以下の式を用いて Jarosite Index（JI）を計算し、鉄酸化物の分布と量を推定した。

$$JI = (R750 - R910)/(R750 + R910) \qquad 式(1)$$

ここで、R750 と R910 はそれぞれ、750nm と 910nm における反射率である。

LCTF を使った現地調査は、2017 年 8 月 31 日に Bor 鉱山周辺の廃さいを対象に 9 カ所で行った。調査では、三脚に取り付けた LCTF でカメラ直下の廃さいのスペクトル画像を取得した。得られたスペクトル画像から JI を計算し、XRD 分析で得られた採取した廃さいのジャロサイト量と比較した。図 1-2-5 は、Jarosite 量が異なる廃さいから得られた LCTF によるスペクトルカーブである。左図の Jarosite 量が多い場所では、右図の Jarosite 量が少ない場所と比較して 900nm の吸収が深くなっているのが分かる。参考までに、Fieldspec を用いて測定した。同じ廃さいのスペクトルカーブも合わせて示す。図 1-2-6 は、測定を行った 9 カ所の、JI と Jarosite 量の関係を示した結果である。Jarosite 量が多い場所では JI が大きく、Jarosite 量が少ない場所では JI が小さくなっているのが分かる。以上の結果から、LCTF の

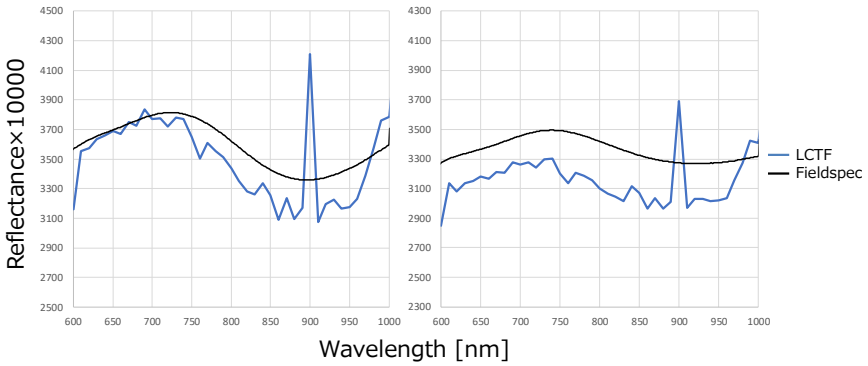


図 1-2-5　三脚に取り付けた LCTF で取得した、Jarosite 量の異なる廃さいのスペクトルカーブ

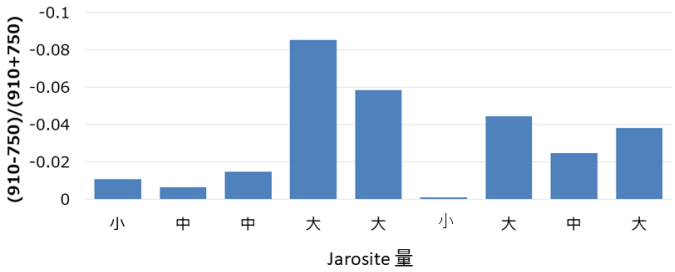


図 1-2-6　Jarosite Index と現地で測定した Jarosite 量との関係

ようなハイパースペクトル画像を用いることで、Jarosite 量をより詳細に推定できる可能性が示唆された。

c） 廃さい体積の推定

過去から現在までに鉱山で採掘された廃さいの体積を推定するため、Veliki Krivelj 鉱山を対象に、1970 年に作成された地形図の標高値と、2000 年にスペースシャトルのミッションとして作成されたデジタル標高データ SRTM（Shuttle Radar Topography Mission）の標高値との差分を計算した（図 1-2-7 左）。

Veliki Krivelj 鉱山では、等高線の変化から、もともとあった山の斜面や小さなピークを削って露天掘りを行った様子や、鉱山の下流部分が鉱滓ダムとして埋め立てられた様子が確認できた（図 1-2-7 左）。図 1-2-7 右は、地形図の標高値から SRTM の標高値を引いた差分を表している。図 1-2-7 右より、露天掘りによって元の地形よりも 240m 以上低くなっていることや、鉱山の南東の沢が鉱滓ダムとして埋め立てられたことによって標高が 100m 以上高くなっていることが分かった。

標高の変化から体積を計算した結果、露天掘りの場所（図中の 67）で採掘された岩石の体積は 109,817,134 m^3、同露天掘りの場所から鉱滓ダムの場所（図中の 248）へ運び込まれた廃さいの体積は 154,831,399 m^3 であった。現地で測定した露天掘りと鉱滓ダムの岩石密度はそれぞれ 2.3 g/cm^3 と 1.3 g/cm^3 であり、体積と密度から重量を求めた結果、露天掘りと鉱滓ダムでそれぞれ約 252.6 百万トンと約 201.3 百万トンとなった。一方、MMI-Bor から提供された 2000 年時点の鉱滓ダムの体積は 118,533,333 m^3 であり、重量に換算すると約 154.1 百万トンで、標高の変化から推定した重量よりも小さい値となっていた。MMI-Bor から提供された 2000 年時点の鉱滓ダムの実測の体積値を基準にすると、標高の変化から体積を計算した鉱滓ダムの重量は、1.3 倍になっており、誤差は含むもののおおよその廃さいの

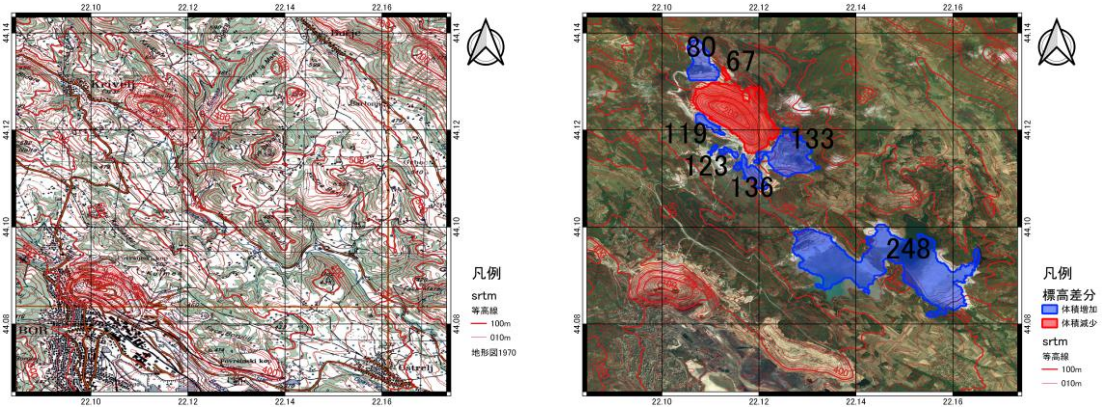


図 1-2-7　左図：1970 年に作成された紙ベースの地形図に、SRTM から計算した等高線を重ねたもの　右図：紙ベースの地形図と SRTM との標高の差を計算した結果　背景には Bing 画像を使用

体積を推定することができた。さらに精度よく推定するには、今後更なる検証が必要である。

1-2-3 廃水のスペクトル解析

廃さいを通過した河川水や雨水は、強い酸性で且つ金属を含んでいるため周辺の環境にとって有害である。廃水の pH は、下流に向かうにしたがって希釈されるため、上流で溶けていた金属等が下流で析出された結果が河川水の色の違いとして表れる。この色の変化を廃水の反射スペクトルの違いとして捉えることが出来れば、廃水の汚染状況を衛星画像から推定することが可能になる。

対象とした河川は川幅が狭く、ASTER 等の中解像度衛星では反射スペクトルの観測が難しいため、解像度が約 2m の WorldView-2 を使用した。図 1-2-8 左は、Bor 川で廃水を採取した地点とその拡大図、およびそれぞれの地点の pH を表しており、図 1-2-8 右は、廃水を採取した地点の WorldView-2 の反射スペクトルを表している。図 1-2-8 左は、上流よりも下流で pH が中性側に変化しており、酸性水が希釈された結果と考えられる。また、河川の色が灰色から茶色に変化しており、この色の変化が図 1-2-8 右の反射スペクトルの黄色から赤の高い反射率に反映されていた。

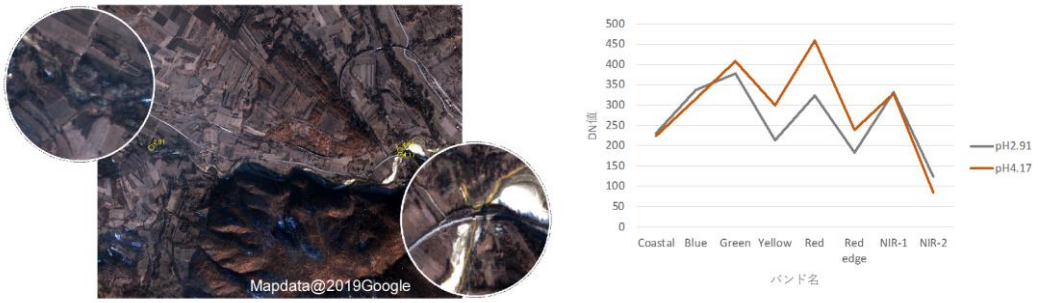
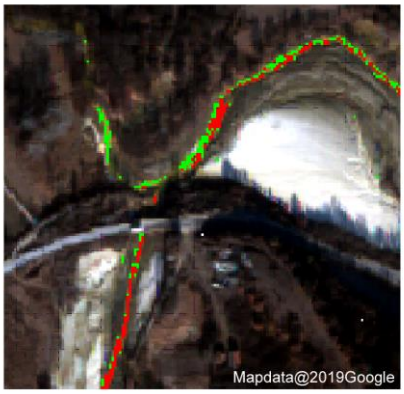


図 1-2-8　左図：廃水を含む河川水を採取した地点とその拡大図、およびそれぞれの地点の pH の値　右図：廃水を採取した地点の河川水の WorldView-2 の反射スペクトル

図 1-2-9 は、Bor 川と Krivelj 川を反射スペクトルの違いで分類した結果である。両河川はきれいに分かれており（合流後は両河川の特徴が交互に現れる）、NIR-1 のわずかな反射



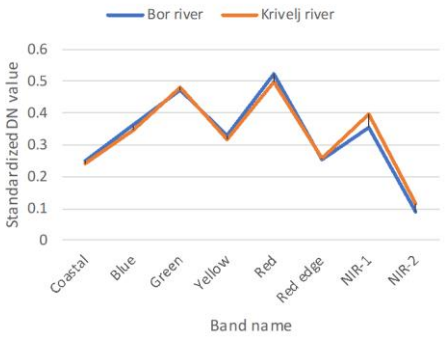


図 1-2-9　左図：Bor 川と Krivel 川の河川水を反射スペクトルに基づき分類した結果
　　右図：それぞれの河川で測定した廃水の反射スペクトル

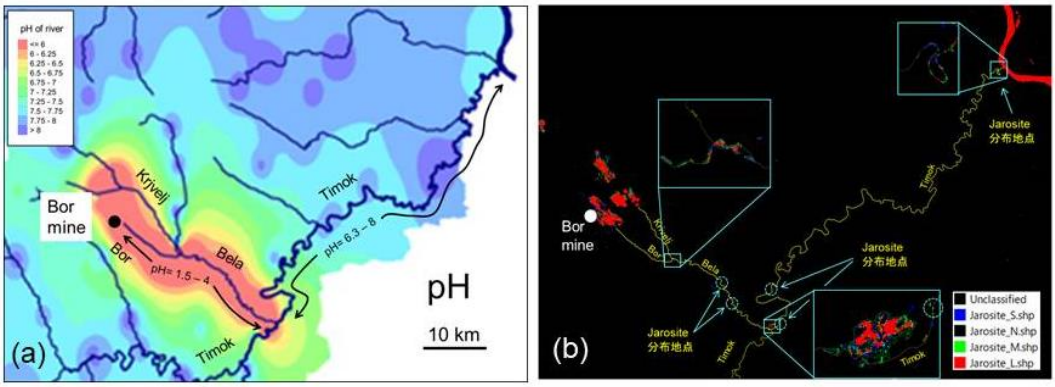


図 1-3-1　河川水の pH の分布（a）と Jarosite を伴う廃さいの分布(b)

スペクトルの違いを捉えていると考えられる。Bor 川と Krivelj 川の流域には、それぞれ Old Bor 鉱山と Veliki Krivelj 鉱山を持っており、河川水の違いを分類することによって汚染源の違いを推定できる可能性が示唆された。（PDM 指標 1-2-1-ii, 1-2-2-ii）

1-2-4 GDSS の構築

本事業で取得した各種 GIS データを一元管理し、メンバー間で容易に共有、閲覧できるようにするため、GDSS（GIS Data Sharing System）の開発を行った。また、現地調査用ツールとして、Android 向けスマートフォンに対応したアプリの開発を行った。本アプリを使用することで、取得したデータを画面に表示させながら現地調査を行ったり、現地で取得したデータをその場で GDSS に保存できるようになった。

1－3 バックグラウンド解析と衛星画像解析の統合

1－3－1 衛星画像解析による河川水の pH の推定

スペクトルから河川水の pH の違いを直接推定することは通常は困難だが、汚染が強い場合には河川水の pH の違いによって金属元素が懸濁物態や溶存態の形で存在し、この形態の

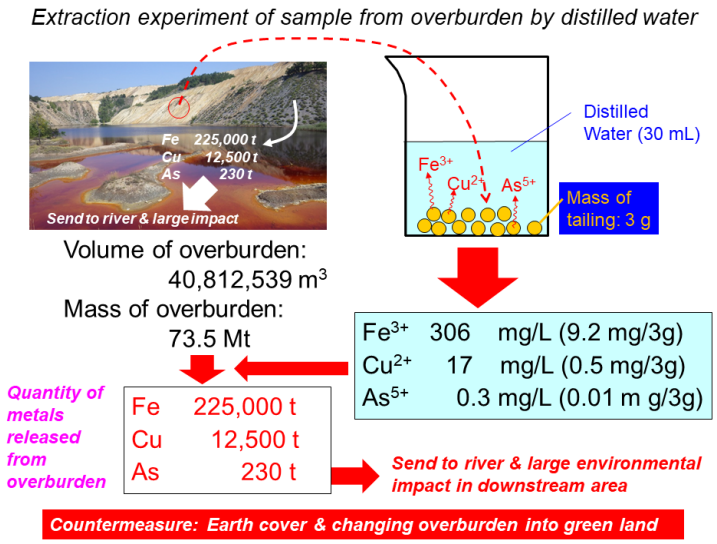


図 1-3-2　蒸留水と廃さいの反応による金属元素抽出実験モデル図

表 1-3-1　蒸留水と廃さいの反応による金属元素抽出実験結果
試料位置は、図 1-1-7 に示されている

Sample location		1	2	3	4	5	6	7	8
Location		Saraka overburden	Old Bo rField 1	Veliki Krivelj Field 2	Robule oberburden	Krivelj river	Bor river	Bela river	Vrazogranac
Sample type		Rocks of overburden	Surface sediment of flotation tailing pond	Surface sediment of flotation tailing pond	Rock of overburden	Surface sediment of flood plain	Surface sediment of flood plain	Surface sediment of flood plain	Surface sediment of flood plain
Total volume of waste materials	(m^3)	32809922	2212000	89400000	40812539	803500	108800	84800	802800
Mass	(Mt)	57.3	2.9	116.2	73.5	1.0	0.1	0.1	1.0
Concentration	(ppm)								
Mn		0.17	2.79	0.62	0.95	0.59	0.04	0.18	0.06
Fe		< 0.3	23.40	2.93	305.91	11.55	< 0.3	30.88	122.88
Co		0.01	0.54	0.15	0.16	0.04	0.00	0.02	0.02
Ni		0.01	0.14	0.06	0.06	0.05	0.02	0.02	0.01
Cu		0.41	50.27	2.93	17.02	2.17	0.18	1.75	1.14
Zn		0.02	27.05	0.12	2.39	0.26	0.08	0.27	0.07
As		0.00	0.02	0.01	0.31	0.02	0.02	0.03	0.02
Cd		0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Hg		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pb		0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.62	0.07
Quantity of metals	(ton)								
Mn		98	80	716	700	6	0	0	1
Fe		< 172	673	3402	224732	121	< 0.4	34	1282
Co		6	15	178	116	0	0	0	0
Ni		4	4	75	42	1	0	0	0
Cu		237	1445	3400	12502	23	0	2	12
Zn		12	778	140	1758	3	0	0	1
As		1	1	10	227	0	0	0	0
Cd		0	0	0	6	0	0	0	0
Hg		0	0	0	0	0	0	0	0
Pb		0	0	1	5	0	0	1	1

違いが河川水の色の違い、あるいは金属元素が析出した河川底質の色の違いとして表れる。このことを利用して河川水の pH を間接的に推定できることを示した。また、1-2-3 廃水のスペクトル解析で述べたとおり、WorldView-2 のような高解像度の衛星画像を解析することで河川水の pH の違いを区別できる可能性が示された（図 1-2-8、図 1-2-9）。(PDM 指標 1-3-1)

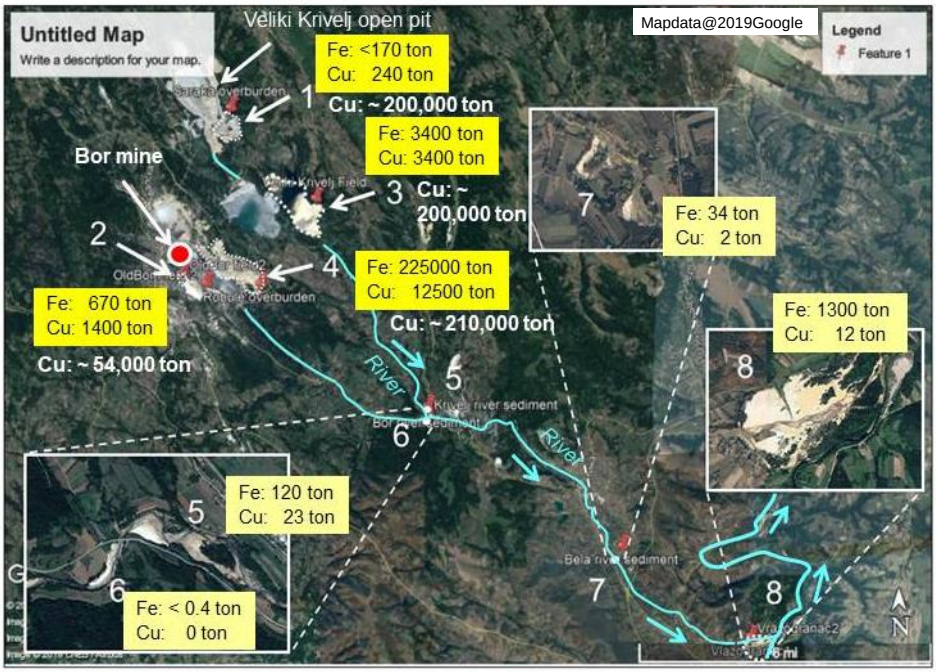


図 1-3-3　蒸留水と廃さいの反応により抽出される金属量と廃さい中に含まれる Cu 金属量．廃さい中の Cu 金属量の推定は,MMI-Bor 研究者からのデータ

１－３－２ 衛星画像解析による河川水中の金属濃度の推定と分布の把握

鉱山地域からの流下する汚染河川の両岸に分布する廃さいの分布と河川水の pH および河川水中の金属元素濃度の比較を行い、河川における相対的な金属濃度の差異について検討を行った。廃さいの分布と河川水の pH の関係においては、河川水の pH が 4 よりも酸性の河川水が存在するボール川、ベラ川では河川に沿って廃さいで覆われた裸地が存在し、衛星画像の解析により Jarosite の分布が比較的容易に確認される。一方、河川水の pH が 6.3～8 ないしは 8 以上の河川水が流れるティモック川河川流域では、河川沿いの裸地に植生の侵入がみられ、結果的に Jarosite の検出も難しいことが多い(図 1-3-1)。このように、衛星画像解析による河川に沿った Jarosite が含まれる裸地の検出と河川水の pH にはある程度の関連性が確認された。本プロジェクトの河川水中の Cu、Fe 等の金属元素濃度は、河川水の pH が 4 よりも酸性の河川水では高く、pH が 6.3 よりも中性からアルカリ性では、それらの濃度は低い。この関係に基づくと、衛星画像解析により河川に沿って Jarosite が比較的容易に確認できる河川では、河川水中の金属濃度が高いことが予想される。河川に沿った Jarosite を含む裸地（廃さい）の分布から、河川水中の金属濃度の違いを推定できる可能性が示唆された。(PDM 指標 1-3-2、1-3-3)

１－３－３ バックグラウンド解析と衛星画像解析による環境負荷地域の推定

将来のボール地域の環境影響評価を予測するうえで、ボール鉱山地域の廃さいや剥土が雨水と反応した場合にどの程度の量の金属元素が溶出するのかを見積もることが必要である。雨水が廃さいや剥土と反応する場合は、蒸留水が廃さいや剥土と反応する場合に近いと仮定し、蒸留水による廃さいや剥土からの元素の抽出実験を行った（図 1-3-2)。その結果、ボール鉱山近傍の廃さいや剥土から溶出する元素濃度は高く、ボール川下流の河川の両岸などに堆積する堆積物から溶出される元素濃度は低い傾向があることが明らかになった。具体的には、廃さいや剥土から溶出する元素の濃度は、例えば、Fe では約 300～0.1 ppm、Cu では 50～0.4 ppm、As では 0.3～0.0 ppm の濃度の元素が溶出する。一方、河川の両岸などに堆積する堆積物から溶出される元素濃度では、Fe では約 120～0.1 ppm、Cu では 2.2～

0.2 ppm、As では 0.03～0.02 ppm の濃度の元素が溶出する（表 1-3-1）。

衛星画像解析から推定された廃さい、剥土、河川の両岸に分布する堆積物の体積とこれらを構成する物質の密度（廃さい 1.3 g/cm^3、剥土 1.8 g/cm^3）から、これらの廃棄物の質量が推定できる。この質量と抽出実験で得られる溶出元素濃度を組合せることで、廃さい、剥土、河川の両岸などに分布する堆積物から今後溶出する金属元素量が推定される。今後溶出すると予想される金属量は、廃さいと剥土では大きく、河川の両岸に分布する堆積物では相対的に小さいと予想される。具体的には、廃さいや剥土では、Fe については 23 万～170 トン以下、Cu では 1.3 万～200 トン、As については 200～1 トンの元素が溶出すると考えられる。一方、河川の堆積物では、Fe については 120～0.4 トン以下、Cu では 20～0.2 トン、As については多くても 0.2 トン程度の元素が溶出すると考えられる（図 1-3-3、表 1-3-1）。ボール鉱山地域の廃さい、剥土、河川の両岸に分布する堆積物の中では、廃さいと剥土から溶出してくる元素の影響が、河川の両岸に分布する堆積物からの影響に比べて大きい。（PDM 指標 1-3-4）

これらの推定値は、廃さいや剥土と蒸留水を一緒にし、振とうさせて得られた結果から推定された値である。振とう実験により抽出された元素濃度と実際の鉱山廃水の元素濃度を比較すると、溶出する元素濃度は、振とう実験による濃度よりも実際の鉱山廃水の元素濃度のほうが低いが、下流域に環境負荷を与える濃度の元素が溶出すると予測される。一方、廃さいや剥土には、21～5.4 万トンの Cu が存在することがカウンターパートの調査から明らかになっている。実際の降水と廃さいと剥土との反応では、振とう実験により抽出された元素濃度のようには高くない分、汚染は長期間にわたり継続することが予想される。対策法については研究題目 3 に記載する。

② 研究題目１のカウンターパートへの技術移転の状況

バックグラウンド解析分野では、サンプリング地点の選定から環境影響評価までの一連のプロセスをカウンターパートともに行い、環境調査技術の技術移転を行った。H27 年～28 年にかけては、サンプリングと試料調製法についてはセルビア及び日本で行い、同じ技術で試料準備ができるようにした。H28 年～H29 年にかけては、本プロジェクトで導入した実験装置（イオンクロマトグラフィー、蛍光 X 線分析装置、ICP-MS、X 線粉末解析装置）の実験精度の向上と確認を共同で行った。イオンクロマトグラフィー、蛍光 X 線分析装置、ICP-MS の化学分析装置については、必要とされる精度のデータが取得できることを確認し（図 1-4-1）、今後モニタリングに必要なデータの取得ができる体制にした。（PDM 指標 1-1-7, 1-1-8, 1-1-9） X 線粉末解析装置の実験法については通常の分析に加えて、廃さいなどに含まれる粘土鉱物の同定法についても技術移転を行い、衛星画像解析で鉱物の同定などに利用している。（PDM 指標 1-1-10）環境影響評価に必要なデータ処理および解釈については、博士課程の院生として在籍していた MMI-Bor 研究員を中心にして地球化学図を作成するプロセスの中で技術移転を行い、セルビア側でも地球化学図を作成できる環境を構築した。

衛星画像解析分野では、H27 から H30 までの 4 年間、セルビアと日本の両国において、セルビア側の関係者を対象としたリモートセンシングと GIS の研修を行い、衛星画像解析に関する基礎的知識、解析ソフトや衛星データの利用方法、現地調査用機材の操作方法に関する技術移転を行った。（PDM 指標 1-2-2-iii）日本での研修では、秋田県と北海道の鉱山施設の見学も行った。また、現地調査をセルビア側と一緒に行う過程で、衛星画像解析で必要となる野外調査の方法やデータ等についても情報共有することができた。また、取得したデータを共有するために導入した GDSS についても、現地のスタッフだけで継続的にメンテナンスできるよう、MMI-Bor の IT 担当者に対して管理方法を指導した。

③　研究題目１の当初計画では想定されていなかった新たな展開

バックグラウンド分野では、研究開始 3 年目に農業環境省（現環境保全省）から本研究地域において飲料水の供給源となっている地下水についても環境影響評価の要請があり、地下水の水質についても研究を開始することとなった。研究のためのサンプリングを通じて、地域住民の中に環境に対する関心が高まり、最終年度（令和元年度）の春には、鉱山近傍の集落の代表者から研究結果の開示の依頼があった。MMI-Bor と秋田大学関係者でデータをまとめ、要請があった代表者にデータを開示した。

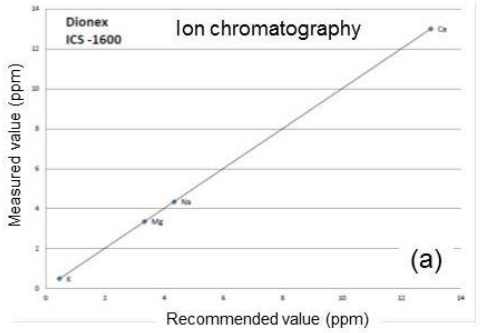
衛星解析分野では、研究開始当初、日本が開発を行っていた衛星搭載型ハイパースペクトルセンサ HISUI が 2018 年に打ち上げられる予定だったが、打ち上げが延期された結果、本事業期間中に利用出来ないことが分かった。この事態に対応するため、2015 年に運用が開始された欧州宇宙機関の光学衛星 Sentinel-2 や、小型のハイパースペクトルカメラである LCTF カメラを利用して観測を行うことで、廃さい分布の推定を実現した。

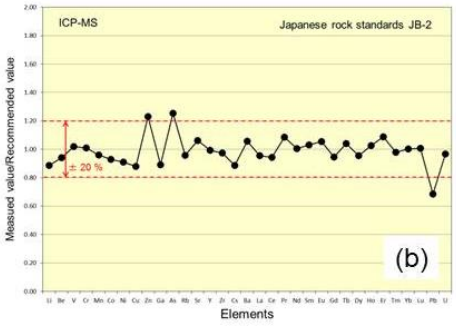
当初の計画では廃さいの面的な分布のみを推定する予定だったが、廃さいが環境に与える影響を定量的に評価し、且つ廃さいからの金属の再回収・無害化に資する情報を提供するためには、廃さいの総量を推定する必要がでてきた。そこで、衛星画像等を使った廃さい分布の面的な推定に加えて、デジタル標高モデル（DEM）を利用した体積の推定も行った。

研究を進めるにしたがって取得データの量が増えていったため、データの散逸を防ぎつつ、効率的にデータを利用するための仕組みが必要となった。そこで、位置情報付きのデータの保存、検索が容易な web-GIS である GDSS を開発し、これをセルビアに導入することになった。

④　研究題目１の研究のねらい（参考）

ボール鉱山地域においては、環境影響評価のバックグランド解析はほとんど行われておらず、具体的な有害元素の分布については不明な点が多く、環境対策案を作成するにあたっても有効な対策を作成しがたい状況にあった。そこで、バックグランド解析分野では、ボール鉱山やマイデンペック鉱山を含む広域地域についてはサンプリングを行い、重金属元素等の高濃度分布域（第Ⅱ種汚染地域）とバックグランド値を持つ地域の把握を行うこと、抽出実験により第Ⅱ種汚染地域の中でも有害元素が溶け出しやすい地域（第Ⅰ種汚染





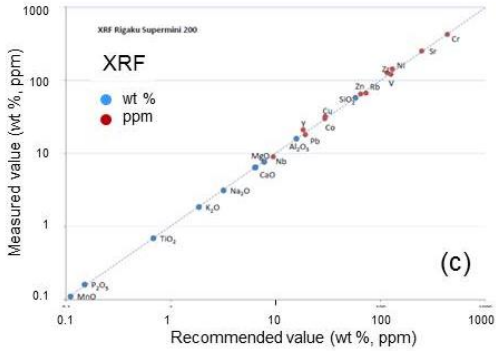


図 1-4-1　本プロジェクトで導入した化学分析装置の実験精度　(a)イオンクロマトグラフィー，(b) ICP-MS，(c) 蛍光 X 線分析装置

地域）を把握する。この事から、鉱業活動及びその他社会活動による汚染範囲の特定や対策の重要度など適切な環境影響評価の実施が可能になり、無害化のための金属回収技術適用地域を抽出する。また、河川水については、元素の化学形態を区分した解析を行い、鉱山開発に起因する汚染物質の移動、拡散メカニズムを広域的に把握し、下流域の河川堆積物のへの影響を予測する。

これまで、広範な地域を対象にする衛星画像解析では地質図作成が目的であり、鉱山環境分野で必要な衛星画像に関する高精度高密度の地表データ取り込みが行われることはなく、衛星画像による廃さいや廃水などの識別手法は未開発であった。本研究の衛星画像解析分野では、衛星画像や廃さい・廃水の反射スペクトルから、鉱山周辺の廃さいの場所や廃さいの構成鉱物とその量、さらには廃水の pH や懸濁物粒子を定量的に推定することで、Bor 鉱山周辺の環境汚染の現状を把握し、無害化等の環境修復に資する情報を提供するとともに、廃さいからの金属資源の再回収の可能性を判断する材料を提供することがねらいである。

⑤　研究題目１の研究実施方法（参考）

バックグランド解析分野では、カウンターパートと共に調査地域においてサンプリング地点を選定し、サンプリング地点において温度、pH、 ORP、流量等の観測を行うとともに河川水については現地で酸を加えた未濾過試料と濾過試料を、堆積物試料については河川堆積物の採取を行う。次に、河川堆積物試料については粒度を整え、河川水試料については採取試料をカナダの Actlab 社に送り、それぞれの化学分析データを取得する。研究期間中期の追加試料については MMI-Bor に導入した分析装置でデータの取得を行う。(PDM 指標 1-1-1, 1-1-2, 1-1-3, 1-1-4)

堆積物試料について得られた化学分析データを GIS ソフトウェアーで処理し、地球化学図を作成し、元素濃度分布を検討する。また、得られたデータについて、統計的な処理を行い、バックグラウンド値と汚染を示す異常値を区分する閾値を求める。この閾値や環境基準値をもとに各地点での汚染の程度を評価し、第Ⅱ種汚染地域の抽出を行う。

さらに、第Ⅱ種汚染地域の中でも有害元素が溶出しやすい地域（第Ⅰ種汚染地域）を抽出するために 0.5M HCl 溶液による抽出実験を行う。その結果を基に、汚染河川堆積物中の Cu の化学形態を明らかにするとともに、第Ⅰ種汚染地域を抽出する。

河川水については、Actlab 社により得られたデータを基に、堆積物と同様に GIS ソフトウェアーで処理し、地球化学図を作成し、元素濃度分布を確認するとともに閾値や環境基準値と比較し、汚染の程度を評価する。また、河川水中の元素については、未濾過試料と濾過試料のデータから、河川水中の元素の化学形態を明らかにし、鉱山開発に起因する汚染物質の移動、拡散メカニズムを広域的に把握し、下流域の河川堆積物のへの影響を予測する。

衛星画像解析分野では、上記の研究のねらいを達成するために必要な衛星画像や DEM を Web から収集するとともに、廃さいや廃水の反射スペクトルの測定や XRD 分析による廃さいの構成鉱物の測定を行う。これらのデータを使用し、画像に対する様々な補正や分類を行うことで、廃さいの場所やその量、河川水の pH 変異ゾーン等の有用な情報を抽出する。

研究題目 2：「金属回収・無害化研究」
秋田大学グループ C（リーダー：柴山　敦）
三井金属資源開発グループ D（リーダー：藤井　昇）

研究題目２－１

① 研究題目２－１の当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

鉱物処理と加圧酸浸出法による選鉱尾鉱の無害化および資源回収

本研究では、浮選および加圧浸出を用いて鉱業廃棄物である廃さい（浮選尾鉱など）から、汚染源となり得る金属類を除去することで廃さいを無害化・固定化し、それと同時に金属類（主に廃さいに微量に含まれる銅）を溶液中に回収することで金属回収が可能か実験的調査を行った。特に、溶液として回収した銅については、溶媒抽出および電解採取を組み合わせることで金属銅としての回収の可能性を調査し、プロセス開発という観点から研究を進めた。

選鉱尾鉱

本研究で用いた選鉱尾鉱の写真を図 2-1-1 に、化学組成および X 線回折分析結果を表 2-1-1 、図 2-1-2 にそれぞれ示す。選鉱尾鉱には 0.34mass%の銅が含まれているほか、8.94%の鉄が含まれている。鉄の主要な鉱物形態は、X 線回折分析より黄鉄鉱（FeS_2）であることがわかる。鉱物処理・加圧酸浸出では、酸性廃水の発生および金属溶出の原因として考えられるこの黄鉄鉱を分離・除去するため、浮選および加圧酸浸出を用いた無害化試験を行った。

図 2-1-1　選鉱尾鉱

表 2-1-1　選鉱尾鉱の化学組成

	Grade (mass%)				
	Cu	Fe	Al	S	SiO_2
Mine tailings	0.34	8.96	8.12	11.23	57.84

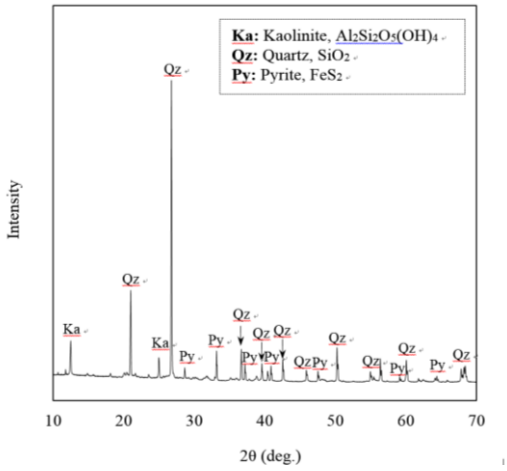


図 2-1-2　選鉱尾鉱の X 線回折分析結果

浮遊選鉱法（浮選）

選鉱尾鉱中に含まれる硫化鉱物の分離を目的に、浮選試験を行った。実験では、pH や浮選試薬添加量等の影響を検討し、硫化鉱物の浮上分離ならびに有用金属の濃縮が可能か調査した。その結果、硫化剤として水硫化ナトリウムを添加し、捕収剤としてアミルキサントゲン酸カリウム、起泡剤としてメチルイソブチルカルビノールを添加して浮選を行うことで、尾鉱中に含まれる硫化物の 80%以上を浮上回収可能であった。また、表 2-1-2 に示す通り、浮選より得られた浮上産物中の銅品位は 0.34 mass%から 0.65mass%に濃縮していることを確認した。一方、この浮選より得られた尾鉱の環境影響を把握するため、金属の溶出性試験を行った結果、日本の環境省が定める一律排水基準（Cu 3 mg/L、 Fe 10 mg/L 以下）を満たすことは困難であった。（PDM 指標 2－1－4）

表 2-1-2 選鉱尾鉱および浮鉱産物の化学組成

Sample name	Grade (mass%)				
	Cu	Fe	Al	S	SiO_2
Mine tailings	0.34	8.96	8.12	11.23	57.84
Concentrate of the mine tailings	0.65	33.20	2.63	32.72	23.41

加圧酸浸出

浮選による選鉱尾鉱の無害化は困難であったため、硫化鉱物を酸化分解する加圧浸出（高温高圧浸出）法の有効性を調査した。図 2-1-2 には、加圧浸出における硫酸濃度と金属浸出率の関係を示す。主要な条件として、反応槽の温度、圧力を 180℃、2MPa 程度に設定することで、硫酸濃度 0 M（蒸留水のみ）の条件でも、選鉱尾鉱に含まれる銅の 95%以上、鉄の 65%以上を浸出可能であった。これは、選鉱尾鉱に含まれる黄鉄鉱（FeS_2）が酸化分解し、硫酸が生成したため、銅等の浸出が促進したと考えられる。また、加圧浸出により得られた残渣は、鉄酸化物相（鉱物形態）であることがわかり、鉄や銅の溶出性が極めて低い安定な鉱物相に転換できていることを確認した。実際、金属溶出性を評価した結果（図 2-1-3）、pH2～7 のいずれの溶液中でも金属の浸出は確認されないことから、加圧浸出によって選鉱尾鉱の無害化は達成できたと考えられる。この条件のように、高温高圧の条件を付与する必要はあるものの、酸等の薬剤を添加せず、水だけで銅を分離し、廃さい中の鉄は安定な酸化物に固定化できるなど、酸性坑廃水の発生要因を抑えた環境技術として新たな可能性を示唆することができた。（PDM 指標 2－1－5, 2－1－6）

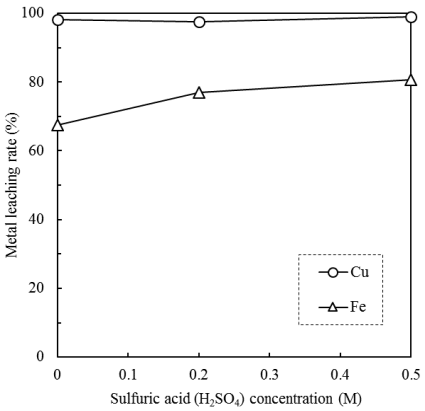


図 2-1-2 加圧酸浸出における硫酸濃度の変化が金属浸出率に与える影響

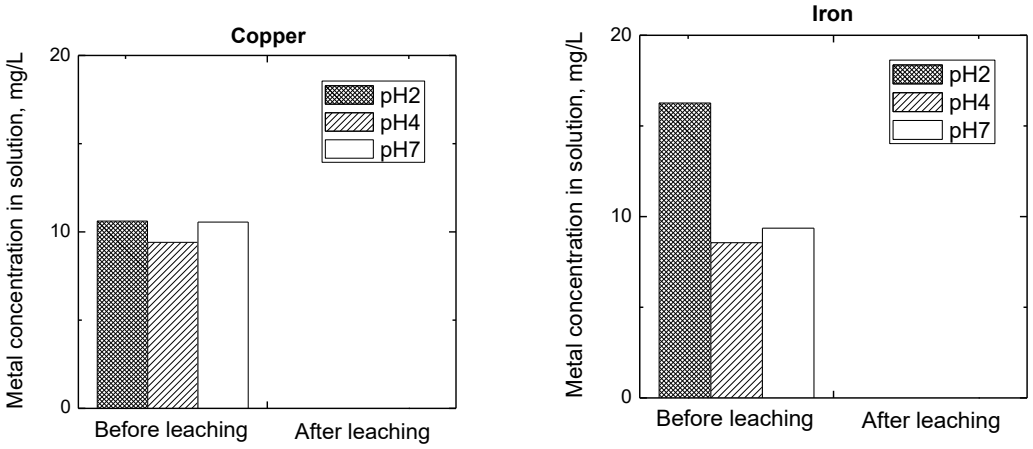


図 2-1-3　加圧酸浸出残渣からの金属溶出率評価結果

溶媒抽出

加圧酸浸出より得られる浸出液から銅を回収する方法としては電解採取が考えられるが、銅濃度が低く、鉄濃度が高いため、直接電解採取を行うことはできない。そのため、銅の濃縮および鉄の分離除去を行うため、溶媒抽出を行った。正抽出の結果を図 2-1-4、逆抽出の結果を図 2-1-5 に示す。銅の抽出剤として LIX84-I を用い、初期 pH を 2.0 に調整して正抽出を行うことで、93.7%の銅を有機相側に抽出できた。一方鉄の抽出率は 11.3%であることから、銅を選択的に抽出できた。また、逆抽出により銅の濃縮を検討した結果、1.5 M の硫酸で逆抽出することで、93.4%の銅を逆抽出できたほか、溶液中の銅濃度を 44.8 g/L まで濃縮でき、電解採取を行うために十分な銅濃度を持つ溶液が得られた。(PDM 指標 2－1－8, 2－1－9)

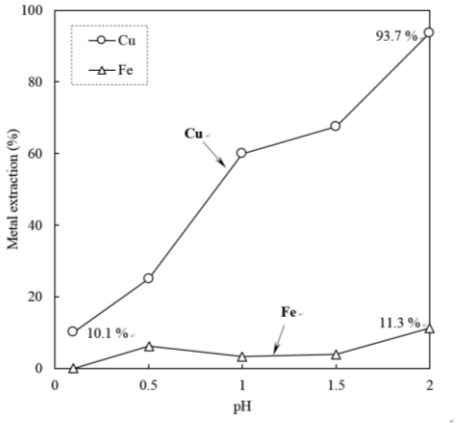


図 2-1-4　正抽出における pH の影響

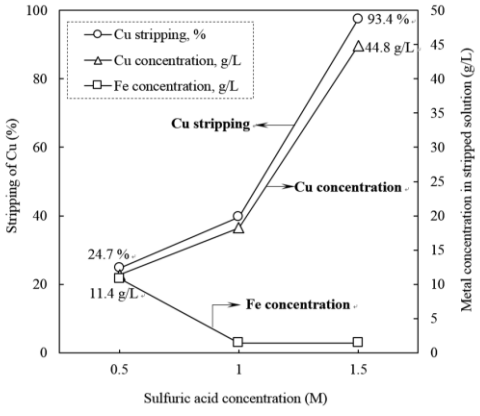


図 2-1-5　逆抽出における硫酸濃度の影響

電解採取

効率的な電解採取を行うため、電解採取における電解液中の鉄（Ⅲ）イオン濃度および銅濃度の影響を調査した。その結果、電解液中の鉄（Ⅲ）イオン濃度の上昇に伴い、電流効率（投入した電気量に対する理論析出量と実際の析出量との比）は低下する傾向を確認した。また、銅濃度が 25 g/L になると電流効率が低下することが明らかとなった(図 2-1-6)。以上の結果から、電解採取で効率的に銅を回収するためには、銅濃度を 35 g/L 以上まで濃

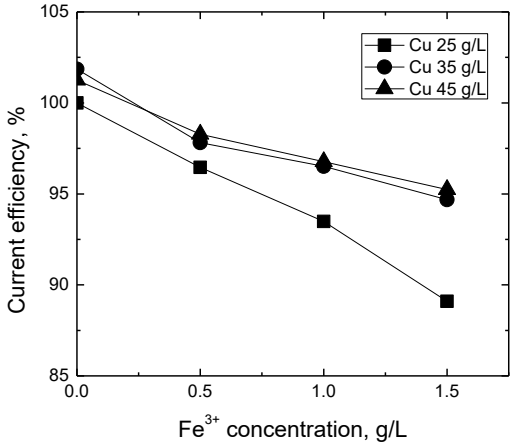


図 2-1-6　電解採取における鉄（Ⅲ）イオン濃度および銅濃度の影響

縮するとともに、鉄（Ⅲ）イオン濃度を極力低減させる必要がある。(PDM 指標 2－1－8, 2－1－9)

まとめ

研究項目 2-1 における選鉱尾鉱の無害化および資源化フローの一例を図 2-1-7 に示す。今回の研究では、選鉱尾鉱の無害化方法として浮選と加圧酸浸出、資源化（金属回収）方法として溶媒抽出と電解採取を行った。選鉱尾鉱（または浮鉱産物）を加圧酸浸出で処理することで、尾鉱中の硫化物を環境負荷の少ない酸化鉄に転換できることを明らかにした。また、この酸化鉄はダムへの埋め戻しも可能であるほか、路盤材等の鉄源としての利用できる可能性がある。また加圧酸浸出により得られた溶液を溶媒抽出、電解採取で処理することで、選鉱尾鉱中の銅の 85%を資源化できる可能性を見出した。

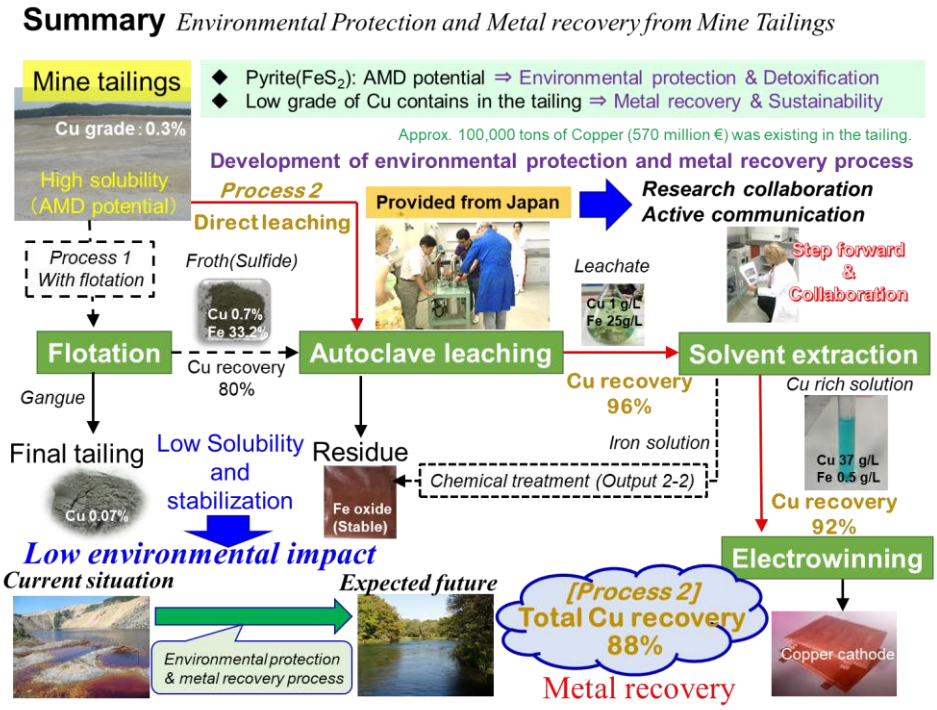


図 2-1-7　研究項目 2-1 における選鉱尾鉱の無害化および資源化フローの一例

研究題目２－２

② 研究題目２－２の当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

中和沈殿法の研究

H27 年度；中和沈殿法の研究においては全体計画に従って模擬廃水の中和条件などの基礎的なデータを収集し、実廃水の水質などの検討と実廃水を用いた中和実験により、pH 条件、中和剤などを含めた最適中和条件などを把握した。この結果、中和 pH をコントロールしつつ 2 段階で処理することにより廃水中に溶存する鉄および銅を水酸化物として回収すると同時に、廃水中の有害元素を除去することが可能な最適プロセスを構築した。現地連続試験装置の仕様策定や現地試験サイトの選定など、次年度以降の研究活動目標に向けた準備を整えた。（PDM 指標 2－2－1、2－2－2）

同時に廃水処理施設検討の基礎データを得る目的で、Bor 鉱山地域とその近傍地域の河川や坑廃水の流出状況や水質および流量の定点モニタリングを開始した。モニタリング 12 点数の頻度は 4 回/年とし、最終年度（31 年度）まで継続した。（PDM 指標 2－2－3）

H28 年度、実坑廃水を用いた中和試験により、金属回収に必要な pH 条件、中和剤等の添加条件、沈殿物の性状等を把握した結果、廃水処理と同時に金属回収を実現するために 2 段階中和方式を採用したプロセス概念を構築できた。そのプロセス及び仕様を決定し、現地試験装置の設計製作、セルビアへの輸送、現地試運転及びトレーニングを実施した。（PDM 指標 2－2－4、 2－2－5）

トレーニングの結果、セルビア側による現地試験装置の運用が可能となるとともに現地試運転の結果、開発したプロセスの有効性を確認することができた。当初計画では H30 年度から現地連続試験を計画していたところ、1 年前倒しで、H29 年度からの連続試験開始が可能となった。（PDM 指標 2－2－2、2－2－6）

H29 年度、当初計画では H30 年度から現地連続試験を計画していたところ、1 年前倒しで、連続試験開始が可能となり、発生源の異なる 2 種類の実廃水を対象として現地試験装置を用いた現地連続試験をそれぞれ 1 回ずつ実施した。その結果、廃水の無害化と資源化のための各種条件や試験装置の運転条件についてのデータを得ることが出来た。試験結果として、廃水の無害化（pH5.8-8.6、銅 3 ppm/鉄 10 ppm 以下）及び銅及び鉄の濃縮、回収が実現可能なことが示された。（PDM 指標 2－2－5、2－2－6）

H30 年度、H29 年度に引き続き、発生源の異なる 2 種類の実廃水を対象として現地連続試験をそれぞれ 1 回ずつ実施した。その結果、異なる水質の坑廃水においても、目標とした廃水の無害化（pH5.8-8.6、銅 3 ppm/鉄 10 ppm 以下）及び銅及び鉄の濃縮、回収が実現可能なことが示された。すなわち、実廃水を pH4 および pH7 の 2 段階を目標に連続中和処理した結果、鉄はほぼ 100%除去され 0.2ppm 以下に、銅は 99%以上除去され 0.3ppm 以下に低減可能であることが示されるとともに、処理により生成される沈殿物として最大で鉄を 33%以上、銅を 7.8%以上に濃集して回収することができた。（PDM 指標 2－2－6、2－2－7）

R 元年度（H31 年度）、現在過年度に得られたモニタリングデータの解析と追加的なサンプリングと分析、現地連続中和試験の結果の詳細解析とコスト等の分析、水質予測手法の検討と基礎データの整備を実施し、最終とりまとめを行った。（PDM 指標 2－2－3、2－2－7、2－2－8）

以上の通り、本研究題目の成果は当初目標に従い達成された。

本研究題目の成果として中和沈殿法が Bor 鉱山地域の環境修復に有効である可能性が高いことが示されたことから、鉱業エネルギー省及び環境保全省の関心は高く、セルビア政府の政策への反映を目指して、鉱業エネルギー省大臣等の政府最上層への働きかけを行った。

以上の通り、本研究題目では当初の目標を達成されたことのみならず、セルビア国内における鉱山における廃水処理技術の導入の先駆的な取り組みとなり、鉱業エネルギー省や

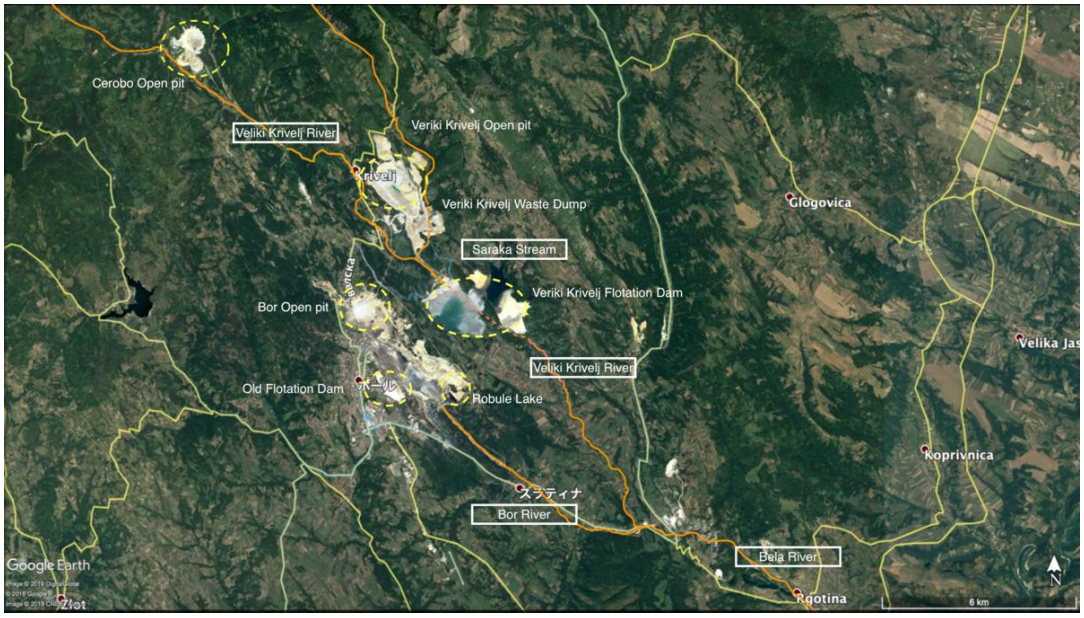


図 2-2-1　ボール鉱山およびその周辺地域の画像（Google earth）

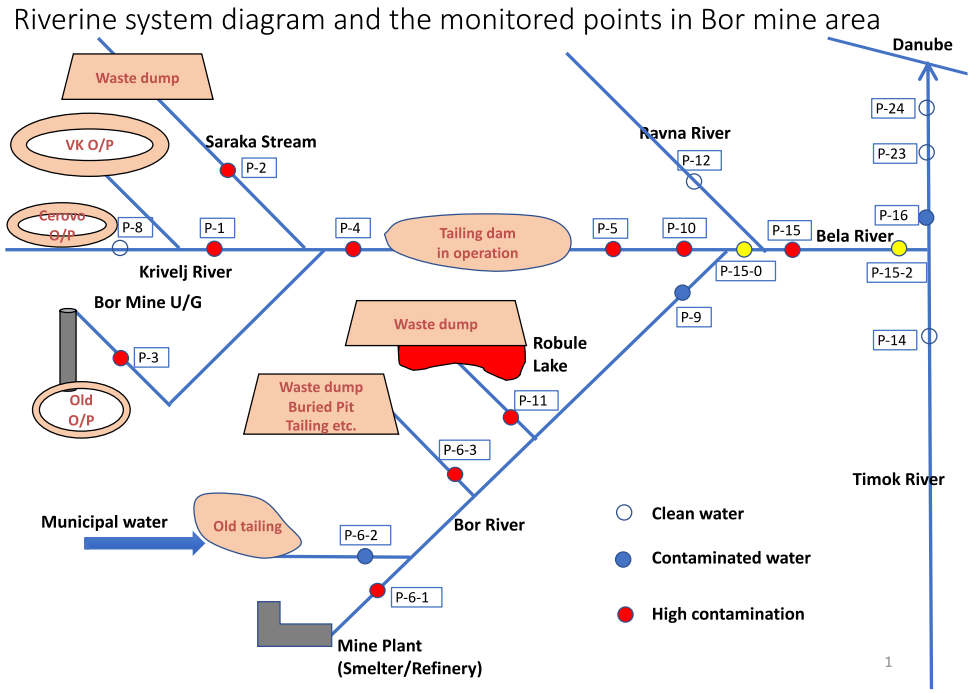


図 2-2-2　ボール鉱山およびその近傍地域の水系模式図

環境保全省が強い関心を持った点でも研究面、実用面ともに問題解決に対する大きなインパクトになったと思われる。この事により今まで環境問題への対策が遅れていた Bor 鉱山の環境について買収した中国企業への政府からの強い働きかけが行われることが期待される。

さらに、現在政府ではセルビア全土の鉱山廃さい分布と水質調査などの現状調査を実施

中であり、本研究成果がそれらへの適用も視野に入ってくることが期待される。
また、今までの国際会議での発表を通じて鉱山環境問題の日本の取り組みや本研究において開発された二段階中和プロセスの有効性など国際社会における認知が進みつつある。今後経済的な分析を進めることによりその活用が図られることを期待している。セルビア周辺国ルーマニア、ブルガリアなど古くから鉱業が盛んな国々では未だ環境問題に対する対処は十分でないのが現状であり、今後この研究成果が認知され、活用されていくことも期待したい。

以上の研究成果の概要は以下の通りである。

図 2-2-1 に見られるとおり、本地域では広い範囲に露天掘り採掘場、浮遊選鉱尾鉱など廃さいや露天掘りから排出される剥土堆積場などの各種鉱山施設が分布しており、その間を縫うように河川が流入流下している。主要な河川として、Krivelj 川と Bor 川があり、いずれも鉱山施設からの廃水が放流されているが、特に Bor 川については自然河川ではなく、降雨時に流域の雨水が流入する他はすべてがボール市の汚水、製錬所からの排水、廃さいなどの鉱業廃棄物からの浸透廃水などの各種廃水が集まった河川である。

本地域の河川と関係する鉱業施設との関係を調査し、模式化したものが図 2-2-2 である。本流である Kribelj 川と Bor 川には各種鉱業施設からの廃水が放流されており、これらの廃水と河川との関係も明らかになった。すなわち、露天掘りの剥土や鉱化変質石や低品位鉱石などの廃石からの浸透水（P-2）、坑内採掘により発生する坑内からの排水（P-3）は Krivelj 川へ、鉱山内製錬所などの冶金施設からの排水（P-6-1）、廃さいなどの集積場からの浸透水（P-11）などは Bor 川へ放流されている。

図 2-2-3　河川および廃水の流出状況

図 2-2-3 に、特徴的なポイントの状況を写真で示す。河川や廃水の流量が大きく異なることやその水質もそれぞれ特徴的であることが想像される。これらをモニタリングポイン

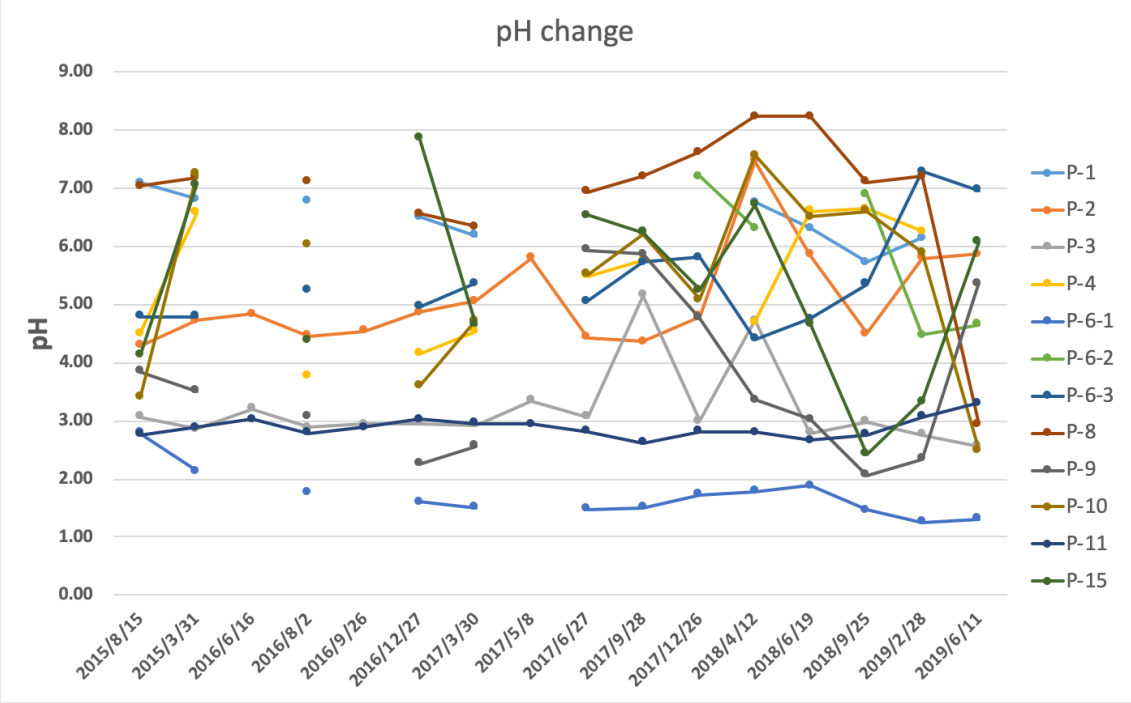


図 2-2-4　モニタリング結果の一例（各ポイントの pH 変化の状況）

トと定めて 4 回/年の頻度で採水、流量測定などを継続的に実施した。モニタリング結果の一例として 4 年に亘る pH の時系列変化を図 2-2-4 に示す。製錬所からの排水が直接ボール川に放流されている P-6-1 は最も低い pH を示しており、それも低下傾向にある。

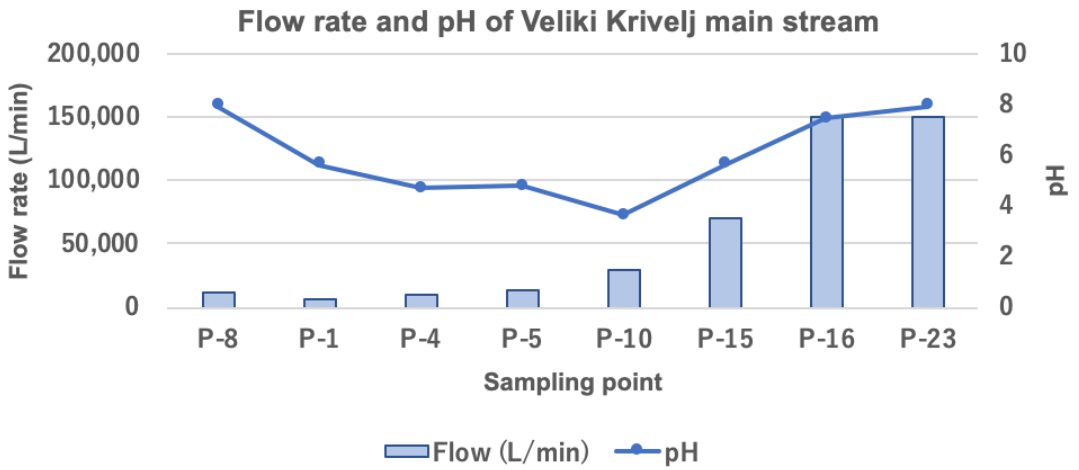


図 2-2-5　Krivelj 川の流下に伴う流量と pH 変化

図 2-2-5 は Krivelj 川のサンプリングポイントを上流から順に左から右に横軸に置き、それぞれの pH を示したものである。Krivelj 川は鉱山外の上流から流下している川であるが、上流側 P-8 においては pH の低下は見られず、鉱山地域に入った P-1 から水質悪化が認められ、流下に従い水質悪化が進み、Bor 川との合流後、鉱山外に出る P-15 あたりから水質の改善が認められる。さらに Timok 川と合流する P-16 においては希釈の影響が大きく水質は改善される傾向にある。

表 2-2-1　サンプリング結果の一例（2018，25-Sep.）

2018 25-Sep	Fe	As	Cu	Mn	Zn	Ni	Co	Pb	Cd	Cr	S	pH
Sample Name	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	mg/l	
P-1	16.59	0.02	14.92	5.60	0.34	104.8	429.1	<2.1	4.4	2.4	480.45	5.72
P-2	50.40	0.01	101.60	11.51	1.12	303.9	1408.1	<2.1	20.1	<1.7	675.24	4.50
P-3	179.09	0.25	60.81	8.16	2.68	570.9	343.5	<2.1	48.2	9.9	577.49	2.98
P-4	11.75	0.03	5.20	5.04	0.24	78.0	237.6	<2.1	5.0	2.3	401.81	6.65
P-6-1	2518.85	39.39	456.23	18.71	71.00	6376.7	1242.5	140.4	3584.7	274.8	3718.12	1.46
P-6-2	41.26	0.07	3.63	1.52	0.27	24.5	18.1	117.2	4.8	4.8	118.56	5.35
P-6-3	150.67	0.22	4.86	17.98	5.81	177.9	377.3	6.8	18.4	<1.7	785.49	6.90
P-8	0.06	0.00	0.06	0.03	0.030	<3.6	1.6	<2.1	0.5	<1.7	74.82	7.10
P-9	623.31	8.17	97.87	8.16	14.62	1622.3	365.2	130.9	771.2	65.8	961.92	2.07
P-10	14.97	0.03	5.50	4.09	0.20	73.7	215.6	<2.1	3.6	<1.7	393.97	6.60
P-11	659.23	0.02	50.29	89.36	16.13	893.6	1777.6	<2.1	79.7	6.8	2523.66	2.76
P-15	302.51	3.91	49.88	5.71	7.48	746.7	231.8	111.2	374.3	31.6	698.07	2.42
Category IV	< 2.0	< 0.1	< 1.0	< 1.0	< 5.0					< 250		6.5-8.5

表 2-2-1 にサンプリング結果の一例（2018 年 9 月）を示した。黄色で着色した部分が Category IV*基準値を超える濃度である。(上からの順番は流下の順序では無いことに注意) 先に述べたとおり、P-8 は鉱山地域流入前のポイントであるため汚染はほとんど見られないものの、上流には Cerovo 露天掘りが稼働中であり、今後の増産などの影響が懸念される。他のポイントにおいてはすべてで IV 基準を超える濃度のなんらかの金属が溶存する。特に問題と考えられるのが、鉄、ヒ素、銅、マンガン、亜鉛および pH である。さらに特記すべきは P-6-1 で、他のポイントを大幅に超える金属含有量と低い pH が特徴的である。クロムを含有する点でも他と異質と言える。これは製錬所が外国からの鉱石を輸入し、生産を行っていることからこの地域の鉱石とは異質な鉱石も併せて処理していることが理由であると理解される。

*Category V & IV：セルビアの河川水質の水質分類は Category V が最も水質が悪い基準で、いかなる用途にも使用できない水である。Category IV の水は、次の用途に使用できるとされる。すなわち、飲料水としては高度な方法により浄化した場合に供給可能、農業用水、工業用水（プロセス水、冷却水）に利用できるとされる。

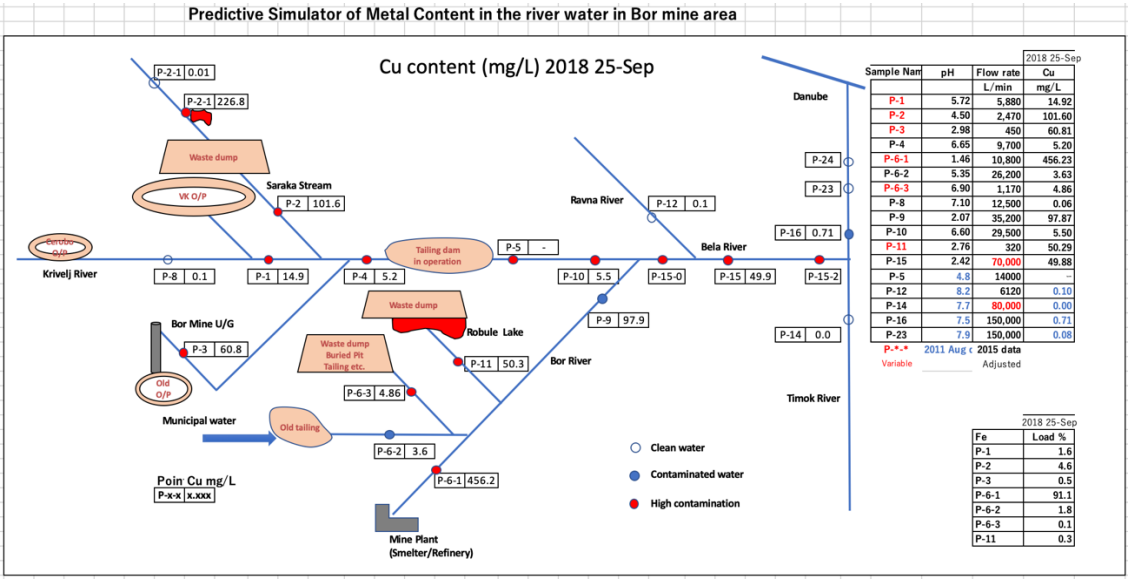


図 2-2-6　モニタリング結果と水質改善シミュレーションモデル（銅）の一例（2018，25-Sep.）

図 2-2-6 に示すとおり、モニタリングの結果、上流からの影響を排除して考えた結果、

P-2、 P-3、 P-11 および P-6-1 が発生源となる汚染が顕著であり、河川への影響が著しいと考えられた。その中でも、P-6-1 が最も大きな汚染源となっていて、河川に排出される金属量（この図では銅）の 90%以上がここから排出されていると算定された。すなわちこの廃水が最も汚染への寄与が大きく、最優先で対処すべきものと言える。そして次に対処すべき対象として P-2、 P-3、 P-11 が位置づけられる。

先に述べたとおり、P-2 は Veriki Krivelj 露天掘り採掘の剥土堆積場からの浸透水が上流からの河川水と混合したもの、P-3 は Bor 鉱山の坑内採掘に伴う地下水のくみ上げ水（鉱体および周辺の変質帯を通過した廃水）、P-11 は廃石、廃土、廃さいなどの集積場からの浸透水、P-6-1 は精錬所、精錬所などの鉱山の冶金施設からの排水とされている。なお、Bor 川にはボール市の下水が未処理で放流されており、 P-6-1 と P-11 がそれに合流している。水量としても P-6-1 が 10t/分以上程度であり発生源としては最大の流量といえる。

以上の結果から、P-6-1 の冶金施設からの廃水については鉱山の冶金プロセスの中で処理すべきものと位置づけ、P-2、3、11 を廃水処理（中和沈殿法）による環境修復の対象として選定した。

図 2-2-7～2-2-9 に P-2、3、11 の鉄、銅と pH の経時変化を示した。またこれらの特徴を整理して表 2-2-2 に示すとともに各汚染水についてのモニタリング結果をまとめた。特に廃水処理の前提として実施すべき対策として、P-2 については汚染のない河川水との分離（清濁分離）による処理量の削減がコストに対して大きな効果があること、P-3 については鉱山操業上の対策が減水や水質改善に効果があると考えられるため、操業方法の見直し、改善が必要なこと、P-11 については自然のまま放置されている大量の鉱業廃棄物の適切な管理として、整形、覆土植栽、水路の設置などの対策により水量の削減と水質の改善が図られる可能性が高いことなどをまとめて提言した。

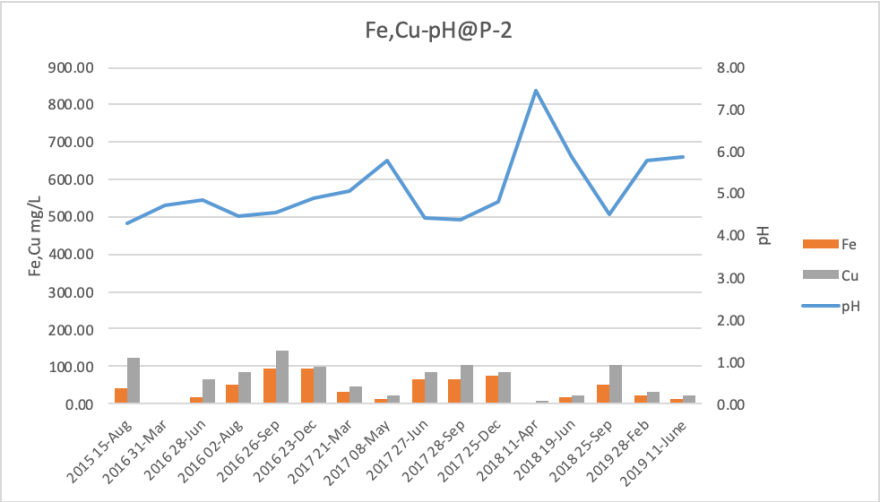


図 2-2-7　P-2 における鉄、銅の含有量と経時変化

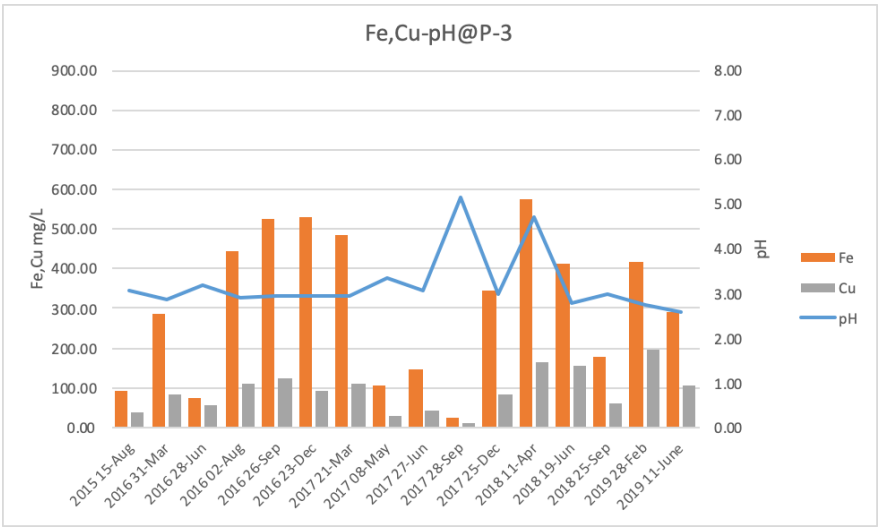


図 2-2-8　P-3 における鉄、銅の含有量と経時変化

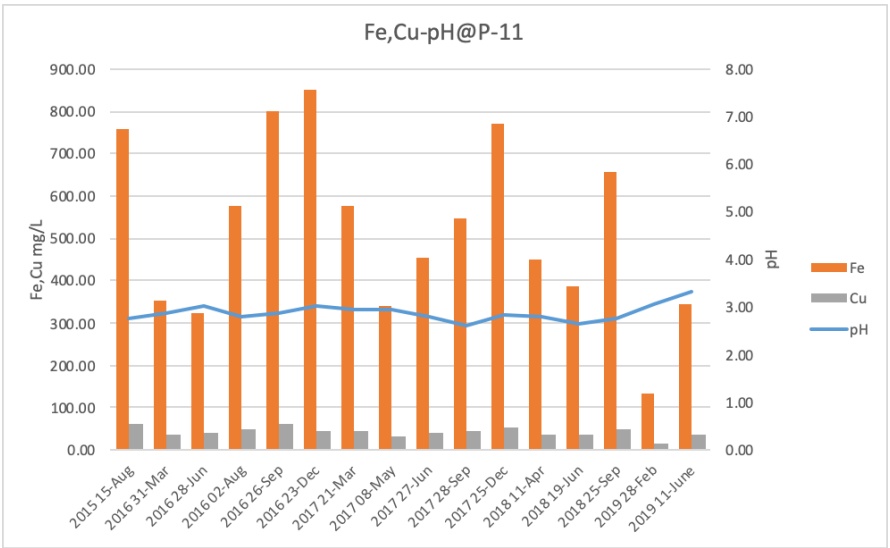


図 2-2-9　P-11 における鉄、銅の含有量と経時変化

表 2-2-2　P-2, P-3, P-11 廃水の特徴と廃水処理の前提として実施すべき対策

	Fe, Cu, pH	Flow rate/pH Correlation	Cu/Flow rate Correlation	Fe/Flow rate Correlation	Comments
P-2	Fe; Low Cu; High pH; High & fluctuate	Strong	Strong negative exponential	Strong negative exponential	Higher flow rate affects metal contents, because dilution occurs at the time of higher flow rate. It should be separated for treatment.
P-3	Fe; Fluctuate Cu; High pH; Low & basically stable	No	Strong at low flow rate	Moderate at low flow rate	High flow rate some time happen may be caused by operational reason. It can be minimized by appropriate mining methods (back filling) and optimized operation.
P-11	Fe; High Cu; Low pH; Stable Low	No	Moderate	Weak	There is no dilution even at the time of heavy rain fall. Whole volume of waste dump dissolve metals responding to the rain fall. To prevent rain water infiltration into the waste dump by soil cover and water channels, for example.

表 2-2-3　P-2, P-3, P-11 の中和処理条件の設定

	Flow rate max. estm. L/min	Flow rate Ave. L/min	Ave. Cu mg/L	Ave. Fe mg/L
P-2	3,000	1,500	68.3	48.3
P-3	1,000	500	87.4	268.7
P-11	4,000	1500	40.7	528.6

表 2-2-3 はモニタリング結果をもとに検討の結果、中和処理条件を設定したものである。これは上述表 2-2-2 に示す対策を取る前の条件であり、将来対策が実施された後についてはその効果を確かめ、これらの条件を再検討する必要がある。

中和沈殿法

実験室における基礎試験により中和沈殿法により pH7 以上で廃水中の金属成分を除去可能であるとともに、鉄と銅は pH4 および pH7 以上にてそれぞれ分離濃集沈殿することが確認できた。また、鉄についてはモニタリングにより廃水中の鉄含有量については Fe^{2+} が比較的少なく pH4 において十分な除去が可能なことも確認できた。更にこの地域の廃水は銅および鉄の含有量が高いことが特徴であることから、銅および鉄を濃集して回収することができればある程度の収入が得られる可能性があることに着目した。

鉱山廃水の処理に用いられるプロセスはコストや信頼性の点から中和沈殿法が最も一般的である。さらにボール地域においては石灰岩を産するため中和剤として安価で利用可能である。しかし、中和により発生する沈殿物の処分や管理保管に費用を要する場合があり課題の一つとなっている。

一方、基礎試験による結果などから中和プロセスを二段階にすることにより銅と鉄の回収、資源化が可能となれば処理コストおよび中和沈殿物の処分コストの軽減に大きく寄与することになることが明らかとなったことから、二段階中和沈殿プロセスを考案し、その実証のため、現地における連続試験を実施するための試験装置を開発、設計製作し、現地に輸送した。

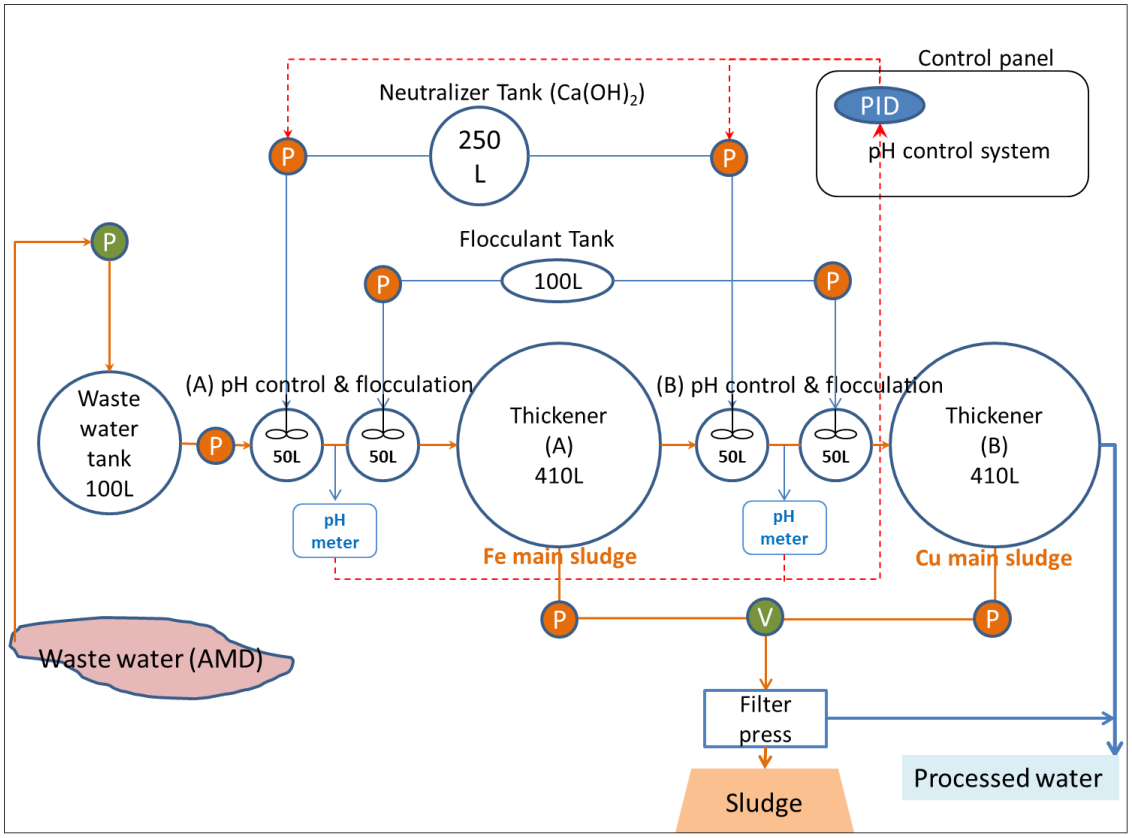


図 2-2-10　二段階中和プロセス現地連続中和試験装置のプロセスダイアグラム

試験装置は図 2-2-10 と図 2-2-11 に示すとおりのプロセスで以下の通り５つのユニットとコントロールパネルからなり、フィールドへの移送、設置が可能である。

1) Unit A: Waste Water Receiving pump (Diaphragm Pump), Waste Water Tank (100L), Waste Water Pump (Metering Pump)

2) Unit B: pH Control Tank (50L) with pH meters and Agitator (A, B), Flocculation Tank (50L) and Agitator (A, B), Thickener (415L) (A, B)

3) Unit C: Lime Slurry Tank (250L), Agitator, Lime Slurry Pump (Metering Pump) (A, B)

4) Unit D: Flocculation Tank (100L), Agitator, Lime Slurry Pump (Metering Pump) (A, B)

5) Unit E: Slurry Pump (Diaphragm Pump), Filter Press (Air compression 0.3 m^2, 3L), Reciprocating Compressor (370L/min)

pH は一段目および二段目の中和剤混合槽中にそれぞれ設置する pH メーターと中和剤(消石灰) ポンプとをコントロールパネルにて自動制御する PID (Proportional Integral Differential Controller) 制御方式とした。装置の処理能力は２～５L/min である。試験に用いる実廃水のサンプリングの様子を図 2-2-12 に示した。

図 2-2-11　試験装置の全容

図 2-2-12　試験に供する廃水のサンプリング（約２m^3）

表 2-2-4　現地連続中和試験による中和前（原廃水）と中和後の水質

Waste water	Al	Ca	Cu	Fe	Mg	Mn	S	Zn	Sr	Cr	Co	Ni	As	Se	Cd	Cs	Pb	pH
P-11	200.3	407.6	38.3	391.2	853.6	69.2	2191.0	14.0	0.8	<1.7	865.3	427.5	9.8	12.6	44.8	0.3	<2.1	2.84
P-3	328.5	435.1	187.1	506.6	313.6	20.5	1949.1	8.6	3.2	40.9	654.0	1530.7	290.1	43.5	87.6	0.4	3.7	2.67
P-2	71.0	529.7	75.1	0.3	226.2	16.8	936.7	3.5	1.1	<0.50	1121.1	280.1	3.3	27.0	21.6	<0.10	0.2	4.60
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	

After treated waste water	Al	Ca	Cu	Fe	Mg	Mn	S	Zn	Sr	Cr	Co	Ni	As	Se	Cd	Cs	Pb	pH
P-11	1.8	1311.7	0.3	0.0	894.3	29.4	2392.6	0.4	1.0	<1.7	134.1	79.1	<2.1	<4.5	12.0	0.3	<2.1	7
P-3	0.3	1366.4	0.3	0.2	261.9	11.4	1524.2	0.0	3.3	<1.7	42.6	91.5	<2.1	33.6	12.4	0.5	<2.1	7
P-2	0.2	631.5	0.2	0.1	209.8	5.8	798.9	<0.005	0.9	<0.50	100.5	49.2	<1.0	22.1	3.1	0.3	<0.10	7
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	

mg/L			Cu	Fe(Total)		Mn		Zn		Cr	Co	Ni	As	Se	Cd		Pb	pH
Effluent standard of Japan			3.0	10.0		10.0		2.0		200.0			0.1	0.1	0.03		0.1	5.8–8.6
Regulation of Serbia (Class IV)			< 1.0	< 2.0		< 1.0		< 5.0		250.0			< 0.1					6.5–8.5

表 2-2-4 に中和後の水質に示すとおり、処理による廃水浄化の目標である pH5.8-8.6、銅 3 ppm/鉄 10 ppm 以下を達成できることが確認できた。

中和前の銅、鉄、亜鉛、ヒ素、カドミウムの含有量はセルビアでの CategoryIV 基準を超えていたところ、中和処理により基準以下に除去することが可能であることが示された。また日本の排水基準に対しても十分達成が可能なことも示された。なお、マンガンについては実験室内の基礎試験において pH9 以上で除去可能なことが明らかとなっている。

表 2-2-5　中和澱物の分析結果

P-11 Sludge						
	Cu(%)	Fe(%)	Mn(%)	As(ppm)	Co(ppm)	Ni(ppm)
pH4.0 (3.8)	0.15	33.52	0.26	24.44	8.85	6.51
pH7.0 (7.0)	1.24	0.47	1.67	14.50	373.55	188.61
	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	As (μg/L)	Co(μg/L)	Ni(μg/L)
Start pH 2.84	38.3	391.2	69.2	9.8	865.3	427.5

P-3 Sludge						
	Cu(%)	Fe(%)	Mn(%)	As(ppm)	Co(ppm)	Ni(ppm)
pH4.0 (3.8)	0.41	22.43	0.01	131.26	12.57	64.99
pH7.0 (7.0)	3.89	3.55	0.44	5.97	186.38	377.49
	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	As (μg/L)	Co(μg/L)	Ni(μg/L)
Start pH 2.67	187.07	506.58	20.46	0.29	653.97	1530.70

P-2 Sludge						
	Cu(%)	Fe(%)	Mn(%)	As(ppm)	Co(ppm)	Ni(ppm)
pH 7.0	7.8	3	0.76	6.4	628.8	145.7
pH 11.0	0.54	0.38	1.1	13	235.3	71.5
	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	As (μg/L)	Co(μg/L)	Ni(μg/L)
Start pH4.6	75.11	0.26	16.77	3.30	1121.10	280.10

表 2-2-5 に各廃水の中和処理により得られた沈殿物の分析結果を示す。いずれも銅と鉄が良く分離されていることがわかる。目標である 80%以上の銅および鉄を回収できた。

含有量については、銅の含有量はばらつくものの 1.24%～7.8%であり、Bor 鉱山における平均的な鉱石品位の 0.4%程度に比べ十分高い品位で回収可能なことが示された。銅含有量のばらつきは廃水中のアルミニウムの含有量や他の金属元素の存在量比と関係するものと想定されているが十分な検討は今後の課題である。

一方、鉄については P-11 では 33.52%、P-3 では 22.43%であり、鉄としての産業利用はコストを考えると現状では困難な含有量と言わざるを得ない。セメントや製鉄業などの受け入れ可能か否かの検討を行ったもののポジティブな結果は得られなかった。鉄澱物中のヒ素の含有量が高いことも利用を妨げる要因であるが、日本においてはヒ素を除去した鉄澱物を二次処理することにより凝集剤の原料としている実例がある。また、鉄原料としての利用のほか、pH 調整後覆土材や坑内湧水防止のための坑内充填物などとして利用する方法も検討できる。

得られる鉄沈殿物の二次処理によりセルビアでの需要や利用が可能となるかどうかは今後の課題である。それまでの間は中和処理に伴う鉄澱物の堆積場を検討する必要がある。

以上の通り、本プロジェクトで開発した二段階中和プロセスは当初の想定通り、環境修復にかかる水質の浄化はいずれの廃水においても十分な汚染の除去が行われることが明らかとなるとともに、得られる沈殿物中に経済的な水準の銅の濃集が得られたことからこの銅の売却による収入が期待される結果となった。経済的な検討は研究題目３において行った。

研究題目２－３

③ 研究題目２－３の当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

吸着法の研究

H27 年度：吸着材マトリクスとして用いる天然高分子について、-COOH や-OH、-NH_2など多彩な官能基を有する 2 種のゼラチン（酸抽出：Type A およびアルカリ抽出：Type B）を用いてヒドロゲルの作製を行った。なお、ゼラチンはゾル-ゲル転移能をもつため、耐 pH 性および熱耐性を向上させるためグルタルアルデヒド(GA)による架橋を導入し、含浸法による架橋試験を併せて実施した（図 2-3-1）。作製した架橋ゼラチンヒドロゲルの膨潤率（単位マトリクス当たりの水分保持割合）を評価した結果、図 2-3-2 に示すとおり、GA 量の増加に伴い膨潤率は減少し、ヒドロゲルの架橋度制御が可能となる事を確認した(PDM 指標 2-3-1、2-3-2、2-3-3)。また、ゼラチン濃度が 100 mg/mL でも容易に作製する事が可能であり、総じて Type A ゼラチンの方が高い膨潤率を示した。0.1M 硫酸を用いた酸に対する耐性試験においてもヒドロゲルの分解はみられず（図 2-3-3)、安定に存在している事を確認した(PDM 指標 2-3-3)。

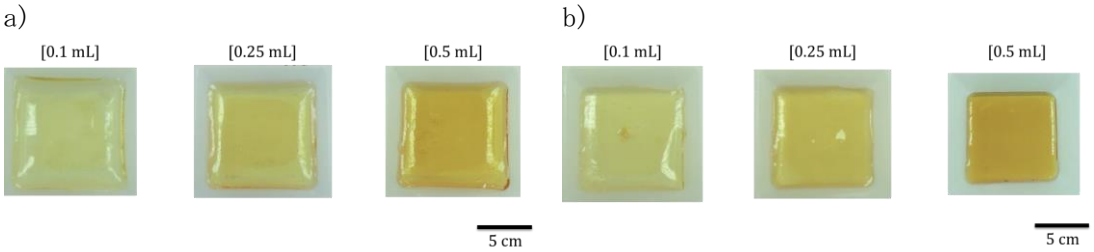


図 2-3-1　架橋処理後のゼラチンヒドロゲル　a)Type A ゼラチン　b)Type B ゼラチン

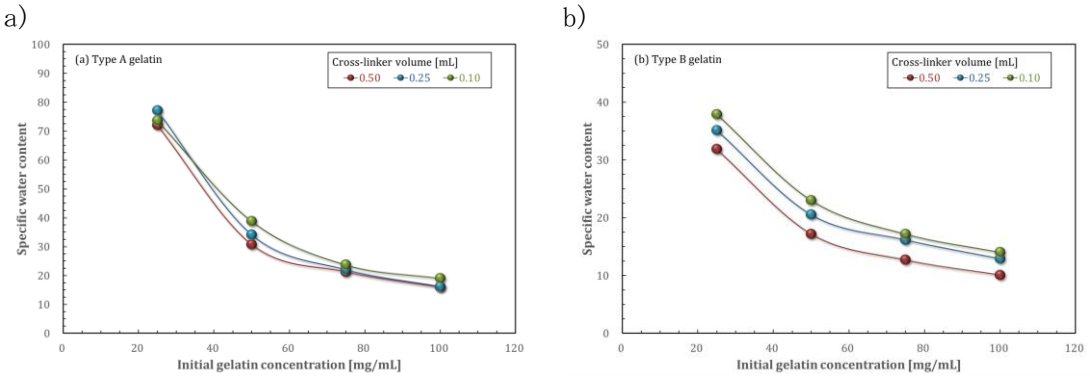


図 2-3-2　ゼラチンヒドロゲルの膨潤率変化　a)Type A ゼラチン　b)Type B ゼラチン

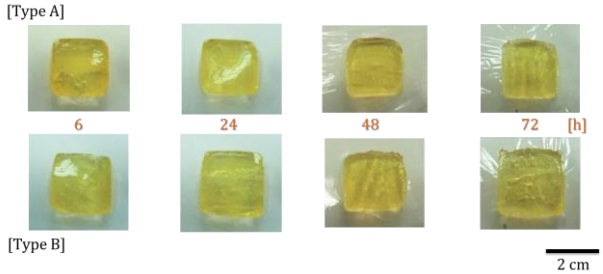


図 2-3-3　架橋ゼラチンヒドロゲルの酸耐性試験による変化

H28 年度：前年度の結果を基に作製した架橋ゼラチンヒドロゲルを用いて、金属吸着除去試験を実施した(PDM 指標 2-3-4、2-3-8、2-3-10)。実施に際して、現地セルビアでの実鉱山廃水などのサンプリングを行い(PDM 指標 2-3-6)、分析結果から得られた主たる溶存金属を対象として模擬廃水を作製して除去試験に供した。その結果、Type A ゼラチンに比べて Type B ゼラチンの方が高い除去率を示した（図 2-3-4)。また、除去率に対する pH の影響について検討したところ、pH が 3 以上において Type B ゼラチンヒドロゲルの除去率が向上する事を確認し（図 2-3-5)、これらの結果をフィードバックさせ、高収率のヒドロゲル吸着材作製への基礎データとして活用した(PDM 指標 2-3-4、2-3-10)。

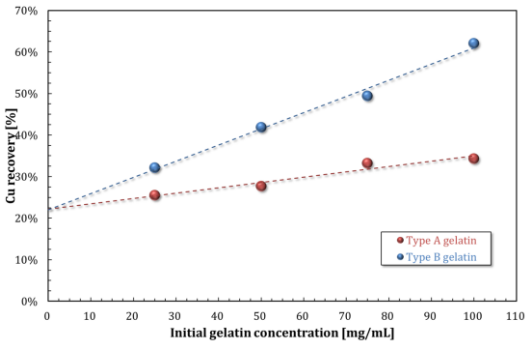


図 2-3-4　Cu 除去率とゼラチン濃度の関係

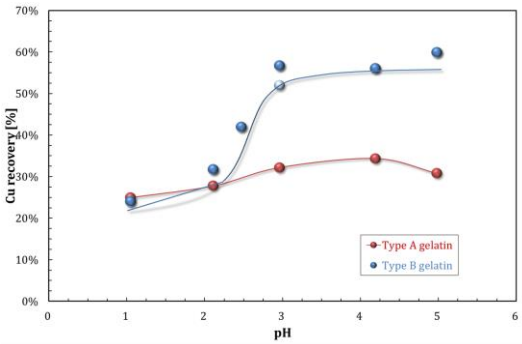


図 2-3-5　Cu 除去率に対する pH の影響

H29 年度：除去効率の向上に向けたヒドロゲル作製のため、金属吸着能の高い天然有機高分子として、種々の天然有機高分子を用いた金属吸着除去試験を実施した。なかでも、甲殻類の外殻・表皮由来のキトサンを用いた場合、pH 3 以上において 0.1g のキトサンが 2mM の Cu を含む溶液から 90%以上の Cu を除去する事を確認し（図 2-3-6、 2-3-7)、除去率は pH に依存する傾向にある事が判明した(PDM 指標 2-3-10)。また、pH が 4 における Cu の吸着等温線からラングミュア吸着と仮定すると、飽和吸着量が約 160 mg/g-chitosan と推定された（図 2-3-8)。さらに、Zn および Mn について同様の実験を行ったところ、pH 5 まででは、Cu が最も高い除去率を示し、Zn で約 60%、Mn はほとんど除去されず、金属による相違がみられた（図 2-3-9)。Cu と Mn を混合して作製した模擬溶液では、Cu だけを除去する事を確認した(PDM 指標 2-3-5)。

この結果を基に、キトサンをゼラチン溶液に混合して作製した架橋ヒドロゲルを用いて Cu 除去試験を行った（図 2-3-10)。結果は図 2-3-11 に示すとおりで、除去率が 90%以上にまで向上し、Cu 濃度は 10 mg/mL 程度まで減少した(PDM 指標 2-3-10)。

また、中和処理液の分析結果を行い、中和試験との組み合わせプロセスを想定した場合、Mn 除去に吸着法を適用する必要があること、そのための最適条件について硫酸イオンや Ca などの共存元素の影響や、組み合わせプロセスにおける吸着法の適用範囲は pH が 7 前後から 9 までの条件となる事など種々の検討課題を抽出し、次年度以降に向け中和法との連携プロセス構築のための知見を得た(PDM 指標 2-3-9)。

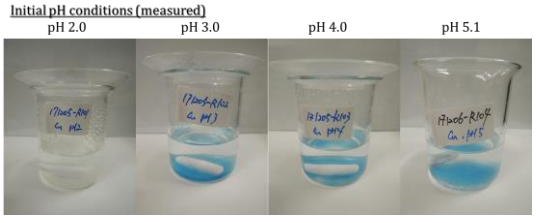


図 2-3-6　キトサンによる Cu の吸着除去

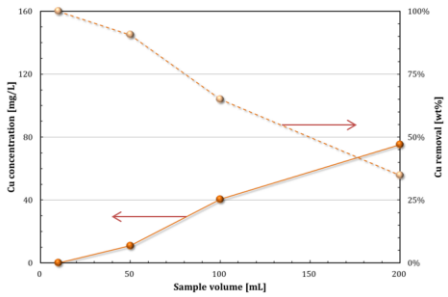


図 2-3-7　Cu の吸着除去と模擬廃水体積の関係

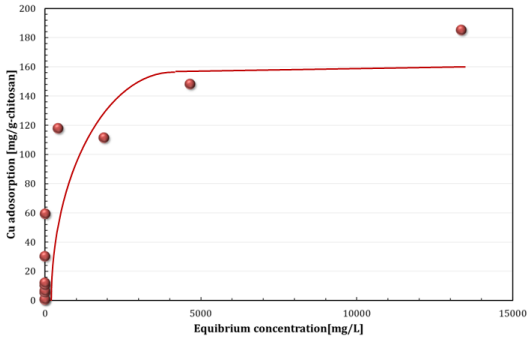


図 2-3-8　キトサンにおける Cu の吸着等温線

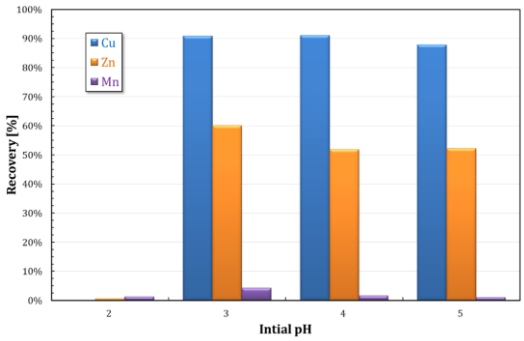


図 2-3-9　キトサンによる金属除去と pH の関係

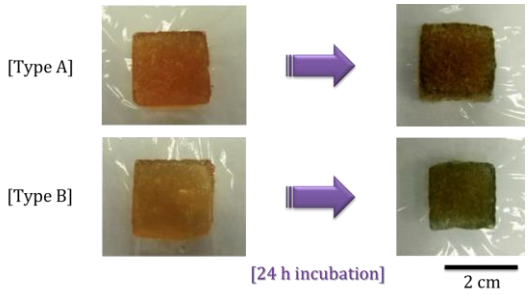


図 2-3-10　Cu 除去率とゼラチン濃度の関係

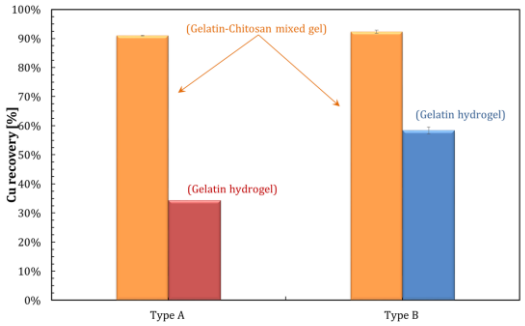


図 2-3-11　Cu 除去率に対する pH の影響

H30 年度：前年度に得られた知見より、中和沈殿法との連携プロセス構築のため、中和処理後の排水に残存する Mn を吸着法により除去するための条件について検討した。中和処理後の Mn 溶存量を考慮し、0.5 mM（約 30 mg/mL）の濃度に設定した Mn 模擬処理液を用いて吸着除去予備試験を実施したところ、pH 6 および 7.5 において、キトサン量の増加により Mn を吸着できる事を確認した（図 2-3-12）（PDM 指標 2-3-11）。

R1 年度：前年度に引き続き、中和処理後の排水に残存する Mn を吸着法により除去するための条件について検討した。Mn 濃度が 0.5 mM の模擬処理液に対して、キトサン以外にも数種の材料を用いて吸着除去試験を実施した結果、おがくずや非晶質シリカゲルを吸着材として用いた場合においても pH7～8 の範囲で Mn を良好に除去できる事を確認した(PDM 指標 2-3-11)。

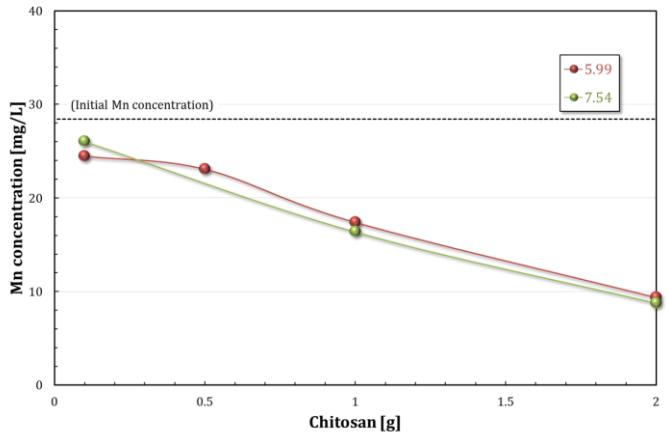


図 2-3-12　Mn 除去率に対するキトサン量の影響

以上の結果より、ゲル基材となるゼラチンと上記の材料を内包した混合ゲルを作製する事により、本研究課題の成果は当初目標である中和法と吸着法の組み合わせによる坑廃水中の金属除去プロセスでの AMD の無害化は達成される見通しである。

④ 研究題目２のカウンターパートへの技術移転の状況

鉱物処理および加圧浸出法の研究では、本研究期間内に実施した現地での実験指導および日本国内で行った短期研修により、確実な技術移転が実施できたと考えている。また、廃さいの無害化および金属回収の主要技術となる「加圧浸出装置（オートクレーブ）」を現地に導入し、直接指導を行ったほか、実験方法のマニュアル化を進めることで、セルビア側（カウンターパート）が主体となって実験を展開することが可能になった。特に本装置あるいは加圧浸出自体の研究が、セルビア国自体ではほとんど実施されていなかったと推察されることから、セルビア側研究者にとって先駆的な技術習得になったと考えられる。その他、浮遊選鉱、溶媒抽出、電解採取においても、それぞれが実施した実験結果について密接な情報交換を行い、実験結果を常時共有するなど、実験の円滑な進行や、セルビア側研究者の理解を深めるのに大いに役立ったと考えられる。また、得られた研究成果や関連する基礎技術、最新技術については、実施機関の一つである TF-Bor（ベオグラード大学ボール校）の学生やスタッフに向けミニ講義を行うなど、積極的に情報提供し、人材育成や学術交流といった面でも活用することができた。これらの成果や実績を中心に、着実に技術移転が進んだと考えられる。

中和沈殿法の研究において、セルビア側とは H28 年度当初（5～6 月）より研究打ち合わせを行い、実験方法の標準化や摺り合わせを行った。また、実廃水を用いた実験ではセルビア側が中心となり、十分な精度のある結果が得られたことから、基礎的な実験技術に関する技術移転は順調に進んだ。

さらに、室内実験結果や現地調査データ取得が遅滞なく進んだことにより、処理プロセスの開発や現地中和試験装置の仕様策定が順調に進んだ結果、その導入については PO で計画したスケジュールを前倒しで進めることができた。試験装置のセルビアへの輸送通関なども遅滞なく行われたことから H28 年度内に現地での試運転及びトレーニングによる技術移転も順調に進み、PO スケジュールでは H30 年度開始予定の現地連続試験が H29 年度から前倒しで実施可能となった。

現地試験装置の操作、運転などのトレーニングも H28 年度に実施できたことから H29 における連続試験は当初からセルビア側が主体となって試験装置の運転が行われており、H29 年度 2 回の試験によりその習熟度は向上している。

実廃水を用いた現地連続実験では H30 年度もセルビア側が中心となり実施した。その結果、十分な精度のある結果が得られており、H29 年度からはじめた実験により習熟度は向上している。また、H27 年度以来 4 カ年に亘る現地調査では、廃水の採取方法や分析方法などの技術移転も順調に進み、セルビア側単独での調査実施が可能となったこともあり、関連データの蓄積が進んだ。

吸着法では、H28 年度に実施した日本での短期研修ならびに現地セルビアでの吸着法に関する金属除去試験の技術指導を通して、セルビア側担当研究者らが円滑に実験を遂行できるよう技術移転を行った結果、H29 年度には、セルビア側担当研究者が主体となって吸着法に関する研究を遂行できる体制を構築した。以降、セルビア側において天然高分子を用いたヒドロゲル吸着材の作製や金属除去試験を実施することで、吸着法に関連したデータの蓄積が進み、日本側研究者らと連携した結果解析や課題抽出がより円滑に遂行できるようになった。

⑤ 研究題目２の当初計画では想定されていなかった新たな展開

中和処理法において、原計画では計画していなかったボール鉱山地域における定期的なモニタリングを継続的に実施した結果、河川や廃水の水質の経時変化が把握されるとともに、発生源の状況についての理解が進み、中和処理以前に必要となる対策方針や対象とする廃水の流量や水質変動をもとに、より精度の高い評価が可能となった。また、原計画で

は H30 年度開始予定の現地連続試験を H29 年度から前倒しで実施した結果、試験結果を受けた試験装置の改良なども可能となったことなどから、より精緻なデータを取得することができた。この現地連続試験の導入前倒しにより、吸着法においても組み合わせによる坑廃水中の金属除去プロセスの設計に関する確認試験も早期に検討を開始できることとなった。

⑥ 研究題目２の研究のねらい（参考）

鉱物処理と加圧浸出法では、ボール鉱山から排出された廃さい（選鉱尾鉱）を対象に浮選と加圧浸出（高温高圧浸出）および製錬学的手法によって尾鉱を無害化できる条件の最適化を行う。一方、廃さいに含まれる微量の銅を副次的に回収するため、無害化処理によって発生する溶液（浸出液）中の銅を対象に、溶媒抽出および電解採取によって金属銅としての回収を試み、廃さいに含まれる銅の 80%以上の回収を目的に研究を進める。

中和沈殿法の研究では坑廃水中の有用金属を回収すると同時に廃水の無害化（pH5.8-8.6、銅 3 ppm／鉄 10 ppm 以下）を計る。廃水は中和法により無害化し、その際発生する中和沈殿物中に濃縮される銅及び鉄を 80%以上利用可能な形で回収することを目指す。

実験室での基礎的な実験データを基に製作する小規模な実証プラント（現地連続試験装置）を用いた実験により、実導入に向けた信頼性の高い結果とともに経済性の評価にも有益なデータを得ることを目指す。

吸着法の研究ではレアメタル等の濃縮回収に適した耐酸性を有する天然高分子を原料とした吸着材の開発と対象金属に応じた濃縮回収を目的とし、80%以上の微量有用金属が回収可能となる最適条件の検討を行う。そして、中和沈殿法との組み合わせによる坑廃水など汚染水からの金属回収・無害化プロセスを構築する。

⑦ 研究題目２の研究実施方法（参考）

鉱物処理と加圧浸出法では、浮選および加圧浸出を中心に廃さい（選鉱尾鉱）の無害化と金属回収条件の最適化を実施し、溶媒抽出と電解採取法を組み合わせることで、廃さいに含まれる銅の回収条件を調査した。浮選、加圧浸出および溶媒抽出を組み合わせた工程では、これまでの期間で蓄積したデータをもとに各手法を連結することで、一連の無害化・金属回収プロセスの可能性を明らかにした。また、電解採取法を利用することで、金属銅として回収するための具体的条件の解明を進めている。一方、加圧浸出によって得られた残渣物（加圧浸出後の固定化物）については、鉄や銅の溶出性等を評価し、安定な鉄酸化鉱物相を有していることを確認するなど、化学的な評価・分析を行った。

中和沈殿法の有効性を確認するために、第一段階で、実験室で得られる基礎データをもとに浄化と金属回収をより効率的に行えるような処理条件を設定、第二段階として現地において実廃水を用いた確認と最適化のための実験データを得る。第三段階として、以上のデータに基づいた現地連続試験装置の概念設計、仕様の策定を経て、試験装置の製作、セルビアへの輸送、試運転を行った。第四段階として現地において現地連続試験装置を用いた実廃水処理による実証、廃水の浄化と沈殿物の生成と分析。最終的に、データの解析による目標達成の確認を行った。

以上と併行して、Bor 鉱山地域とその周辺の水系調査とモニタリングポイントの設定と定期的な水質水量等の分析、測定を基にした、廃水処理の対象となる廃水の特定、水質や流量の把握、発生源の状況確認と必要な対策の検討も実施した。

秋田大学グループでは、実験室での模擬坑廃水を用いた基礎的なデータ取得とセルビア側の基礎実験に必要な技術移転、現地連続中和試験装置の設計に必要な諸元等の基礎条件の検討と提示、現地連続試験における試験条件の検討と提示、得られた各種データの解析、シミュレーション手法の検討を主として分担。三井金属資源開発グループにおいては、秋

田大学から提供される基礎データを元にした現地連続試験装置の概念設計、仕様の策定、現地連続試験結果を考慮したコストの算定や実際の中和処理施設建設のコスト見積などを分担した。

吸着法では、廃水中からの金属除去として環境負荷の少ない天然高分子を原料としたヒドロゲル吸着材を新たに適用するため、まず吸着材マトリクスとして最適な天然高分子ヒドロゲルの作製方法について検討した後、現地セルビアで実際に産出する酸性鉱山廃水に含まれる溶存金属成分を対象とした模擬廃水を対象とした金属吸着除去試験を実施し、天然高分子の金属吸着能を評価するとともに、金属除去率に対する pH など種々の条件の影響について調査した。また、中和処理後の処理液における吸着除去条件の最適化に関する試験を実施し、中和法との組み合わせによる廃水の浄化プロセス構築可能性について調査した。

研究題目３：「環境評価修復システム研究」
秋田大学グループ A（リーダー：石山大三）
三井金属資源開発グループ B（リーダー：藤井　昇）

① 研究題目３の当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

H27 年度、環境負荷要因の評価に当たって、将来計画を含めた鉱業活動の実態把握が必要なことなど要因分析の重要性が明らかとなった。また、資源化コスト等の検討の基礎となる情報取得を開始することができた。（PDM 指標 3－1）

H28 年度においては、環境負荷要因の評価手法と金属回収・無害化との連携と補完関係についての基礎検討を行った。各研究分野の相互関係の進捗状況と課題の整理を目的として、環境評価分野と金属回収分野の進捗状況に併せた相互の連携とシステム化について課題を抽出し、システムフローやマテリアルバランスの基礎検討を開始した。（PDM 指標 3－1）

H29 年度も、環境負荷要因の評価手法と金属回収・無害化との連携と補完関係についての検討を行った。各研究分野の相互関係の進捗状況と課題の整理、相互の連携とシステム化について課題を抽出し、システムフローやマテリアルバランスの検討を行った。特に、システム構築の指標として重要となる廃水処理による水質環境の変化予測手法についての検討、環境修復のために適用すべき水質基準に関する基本情報の収集を開始した。（PDM 指標 3－3）さらにコスト評価として、中和法について、過年度に収集した各種コストデータをもとに廃水処理費用のコスト構造の概要が明らかとなった。（PDM 指標 3－2）

H30 年度は、環境負荷要因の評価手法と金属回収・無害化との連携と補完関係についての検討を行った。各研究分野の相互関係の進捗状況と課題の整理、相互の連携とシステム化について課題を抽出し、システムフローやマテリアルバランスの検討を行った。特に、システム構築の指標として重要となる廃水処理による水質環境の変化予測手法についての前年度までの検討を踏まえ、水質予測シミュレーションのプロトタイプを開発した。コスト評価として、中和沈殿法について、過年度に収集した各種コストデータ収集、分析の結果、投資コストと運転コストについての分析と評価を進めることができた。（PDM 指標 3－2）

最終年度には、研究成果のとりまとめとして水質予測シミュレーションや広域環境評価マニュアル、衛星画像解析マニュアル、廃さい処理マニュアル、廃水処理マニュアルなどの整備並びに政府上層部およびメディアへの成果発表会、環境問題をテーマにしたシンポジウムなどを行った。（PDM 指標 3－3、3－4、3－5、3－6）

以上の通り、全体計画に対しては環境修復と資源化プロセスの基礎的検討から資源化コストの検討まで予定通り年次目標を達成してきた。

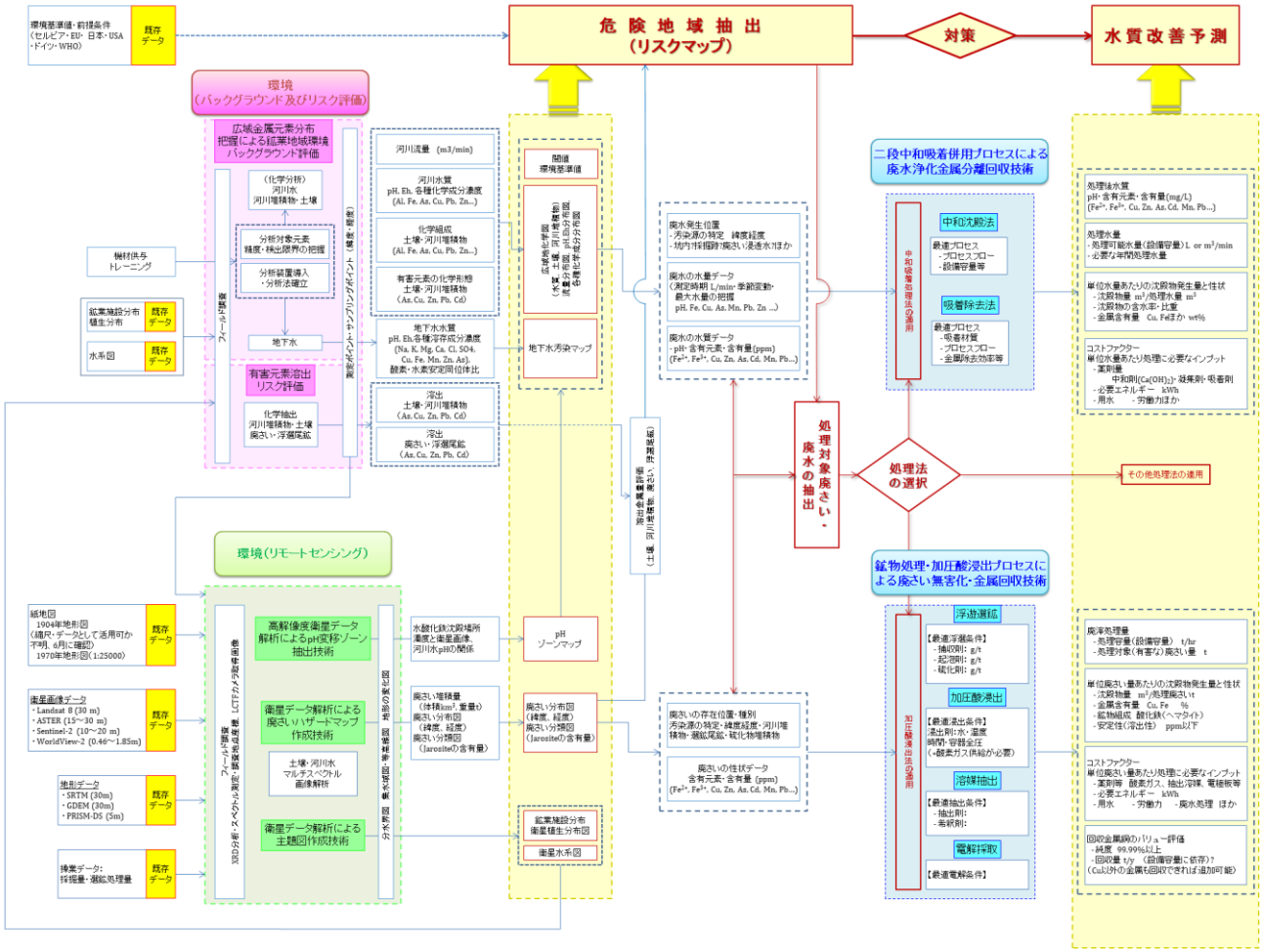


図 3-1　環境評価修復システムフロー

さらに上位目標としてはセルビア政府が社会実装に向けた取り組みを開始することが重要であるところ、全体研究成果について、鉱業エネルギー省及び環境保全省等の大臣等、政府上層部への働きかけを行ったことにより大きなインパクトを得ることができ、今後の具体的な環境修復の進展が期待される。

図 3-1 に示すとおり、環境評価修復システムは、環境影響評価分野においては「広域金属元素分布把握による鉱業地域環境バックグラウンド評価」と「有害元素溶出リスク評価」を行い、河川や地下水の汚染による危険地域の抽出を行うとともに、「衛星画像解析」においては、廃さい位置、体積、分類を行い、バックグランド評価において行う廃さいからの溶出リスク評価と組み合わせて、廃さいによる水質環境負荷予測を行った後に、環境影響評価の結果得られる危険地域の抽出と環境負荷予測をもとにして、環境負荷を軽減するための技術として水質汚染の軽減技術としての「中和吸着処理法」と廃さいによる環境負荷低減技術としての「鉱物処理・加圧酸浸出法」の適用による危険地域のリスクの軽減予測を行い、環境対策実施後の将来像を具体化するものである。さらにこれらの環境対策実施に必要な費用についての試算も可能とし、実施への道筋を示すことができるものである。

以上の通り、このシステムにより、環境影響評価の結果、環境修復が必要となる廃さい（廃石、廃土、浮遊選鉱尾鉱およびその他鉱業廃棄物）と廃水（鉱業施設からの排水、廃さい堆積場やダムからの浸透水およびその他の汚染水）が抽出された。

環境影響評価分野の１テーマとして、環境負荷物質としての影響が懸念される廃さい（浮選尾鉱）を対象に無害化処理と金属回収の可能性を調べた。この廃さいの多くには、酸性坑廃水の発生要因となる硫化鉱物（主に硫化鉄鉱 FeS_2）が含まれており、廃水や浸透水の酸性化と重金属の溶解を引き起こす恐れがある。また、廃さいには、微量だが有用な銅が含まれていることもわかっている。この硫化鉱物を主要成分とする廃さいを無害化（酸性坑廃水化防止の観点を含む）するために、浮遊選鉱および加圧浸出を用いて安定な酸化鉄鉱物相に転換することで安定化・無害化を図った。さらに加圧浸出工程で浸出液に溶解する銅については、湿式製錬学的手法である溶媒抽出・電解採取（SX-EW）を用いることで金属銅としての回収が可能か実験的解明を行った。その結果、加圧浸出では、通常の浸出工程に比べてコストはかかるものの、廃さいと水を混ぜるだけで効率的に硫化鉱物を分解できるとともに、浸出残渣については、比較的安定で鉄等の溶出性が極めて低い酸化鉄鉱物相に転換できることを明らかにした。この酸化鉄鉱物相を中心とする固定化により、本来、硫化鉱物がもつ環境影響が大幅に緩和され、廃さいの無害化と酸性坑廃水発生原因としてのポテンシャルは大きく低下したと考えられる。また、加圧浸出により得られた銅を含む溶液（浸出液）は、溶媒抽出および電解採取を行うことで、有用な金属として回収できる可能性を実験的に提示することができた。以上の通り、廃さいによる環境負荷と酸性坑廃水の発生防止、金属回収の両面の可能性を示した点が本研究の特徴だと考えている。

廃水、すなわち水質汚染については Bor 鉱山周辺地域と Majdenpek 鉱山を中心とした地域の水質汚染が著しく、その下流に向かって危険地域が広がっていることが明らかとなった。特に Bor 地域の汚染範囲は広く、より深刻であると認められた。従ってこの地域に対しての、中和沈殿法の適用を検討することとした。検討に当たっては、河川や廃水のモニタリング結果、現地連続中和試験結果、現地における人件費、材料費、エネルギーコストなどの情報、中和処理場の建設や運営の実績コスト、銅価格などの資源価格などをもとにした。

①－１　河川水質改善予測

河川のモニタリング結果と現地連続中和処理試験結果をもとに中和処理による河川水質の改善予測（シミュレーション）を行った。シミュレーションモデルは流量を設定し、河川の汚染負荷量の変化をモデル化したもので、研究題目２－２で示した、2018 年 9 月のデータをもとにした図 2-2-6 がモニタリング結果と改善予測を示すものの一例である。なお、このシミュレーションモデルには廃さいの無害化による環境負荷低減効果は組み込まれていない。

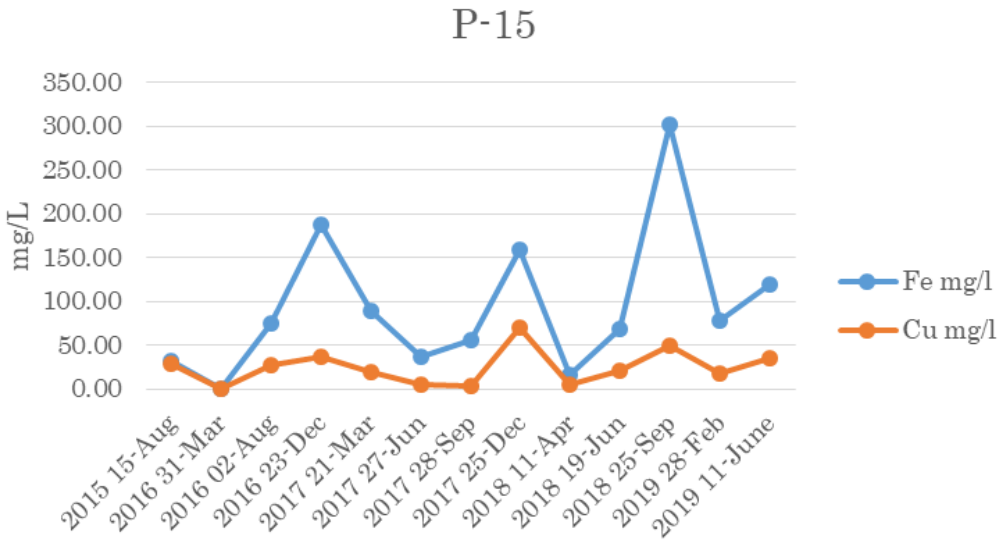


図 3-2 P-15 における Fe，Cu 濃度の推移

表 3-1　中和処理による河川水質の改善予測の一例

Ele-ment	Monitoring Point	Measured (mg/L)	If Treated（mg/L）				Target Category IV (mg/L)
			P-6-1	P-6-1 + P-2	P-6-1 + P-2 + P-3	P-6-1 + P-2 + P-3 + P-11	
Cu @ P-15	2018 Sep.	49.9	3.4	1.8	1.6	1.5	< 1.0
	2019 Feb.	18.0	3.2	2.6	1.8	1.8	
	2018 Apr.	6.0	0.8	0.7	0.3	0.2	
Fe @ P-15	2018 Sep.	302.5	21.2	18.7	17.1	14.9	< 2.0
	2019 Feb.	78.1	8.8	7.8	4.2	3.9	
	2018 Apr.	16.7	3.5	3.5	2.1	1.9	

表 3-1 はボール鉱山から約 20 km 下流地点での廃水の中和処理による河川水質の改善予測の一例である。河川水や廃水は日々変化があるためある時点での水質をベースにした予測をせざるを得ない。ここでは直近の 2018 年 9 月と 2019 年 2 月の分析データをもとにした。

研究課題２−２において述べたとおり、モニタリングポイントの P-6-1 は Bor 鉱山の冶金設備の廃水であり、その流量も比較的大量であることから、まず最初に操業中の鉱山側の責任として対応すべきとした。もしその対応が無ければ Bor 地域の水質環境の改善は不可能と言える。その前提で、P-2、 3、 11 の各ポイントにおいて中和処理が順次行われることになった場合、Bor 鉱山地域の末端の P-15 地点において、どのような改善が予測されるかを示したものが表 3-1 である。また、図 3-2 には P-15 地点における鉄及び銅濃度の推移を示した。これで明らかなように P-15 における河川中の銅、鉄の濃度は大きく変化する。水質の濃度の違いはその時点での廃水（原水）の水質により、その水質は天候や鉱山からの廃水の排出状況などにより大きく変動するものと考えられる。そのため、予測に当たっ

ては、直近で比較的高濃度といえる 2018 25-Sep.、中間的な濃度の 2019 28-Feb.、低濃度の 2018 Apr.の濃度レベルの異なる 3 つのケースについて検討した。

表 3-1 によると、P-15 における銅、鉄濃度は、いずれのケースにおいても P-6-1 の廃水のみが処理された場合でも、いずれの濃度も大幅に減少することがわかる。低濃度 2018Apr.の場合の銅濃度は P-6-1 の処理が行われるだけで CategoryIV を満足する可能性が示された。また、P-6-1 の処理の上に P-2、P-3、P-11 の順序で処理が行われるとそれぞれの効果が累積していくことがわかる。低濃度 2018Apr.の場合の鉄濃度は P-2 および P-3 の 2 カ所の処理ができれば CaterogyIV を満足する。銅については高濃度 2018Sep.および中濃度 2019Feb.の場合、鉄濃度については中濃度 2019Feb.の場合には 3 カ所とも処理をすれば CategoryIV をわずかに上回る程度にまで減少させることができる。しかし、鉄が高濃度 2018Sep.の場合については 3 カ所の廃水を全て処理しても未だ 15mg/L 程度が残存する。

この改善予測シミュレーションは負荷量をベースにしており、未だ pH 変化による水質改善が十分反映されていないため安全側ではあるものの精度が十分ではない。特に鉄については中和処理水の放流による河川の pH の上昇の影響を受け、より沈殿除去が進むと考えられ、この予想を上回る水質改善が期待される。pH の変化予測とその効果については今後の課題である。

上述の検討や図 2-2-6 に示されるようなシミュレーションを本プロジェクトの研究対象地域全域について行い、環境修復予測図を作成した。このシミュレーションの際には 2018 年 9 月のデータをもとに行った（図 3-3）。ボール鉱山とその下流域は酸性の河川水で特徴づけられ、マイデンペック鉱山周辺とその下流域のペック川の流域の河川水の pH は、5〜7 程度であり、両鉱山の下流に存在する河川水の pH 値が大きく異なることは既に 1-1-a で述べたとおりである。ペック川の河川水の pH が 5〜7 程度であることから、河川水中の Cu や Fe はある程度懸濁物態で存在していると考えられる。ペック川の河川水の Cu の予測値を推定する際には、懸濁物態で存在している Cu を沈殿槽（シックナー）でトラップして、溶存態の Cu が河川水に流出したと考えて行った。一方、ボール川については、[Case 1] 今回検討対象とした 3 地点での中和処理を行ない、これら 3 地点からの Cu の流出がなくなった場合、[Case 2] 今回検討対象とした 3 地点での中和処理と製錬所からの廃水について処理を行い、これら 4 地点からの Cu の流出がなくなった場合、[Case 3] 上記の項目 Case 2 に加え、現在採掘中のベリキクリベリ露天掘りからの Cu について廃水処理がなされ、中和処理を行う 3 地点、製錬所からの廃水、ベリキクリベリ露天掘りからの廃水の Cu 濃度がなくなった場合について予測図を作成した。

予測の結果によれば、ペック川の Cu 濃度は、対策前はセルビアの表層水の基準値の Class III であった分類が対策後には Class II 以下に改善されることが予想される（図 3-3-B, C, D）。ボール川、ベラ川、ティモック川が存在するボール鉱山地域においては、[Case 1] の場合には、ティモック川とベラ川合流点近傍に存在していたティモック川の Class IV の地域が Class III に改善され、ティモック川下流域まで広がっていた Class III の約 10 km ほど縮小すると予想される（図 3-3-B）。しかしながら、ボール鉱山からティモック川とベラ川合流点までのボール川、ベラ川の Cu 濃度は、10.5 ppm から 3.7 ppm に低下はしているものの、Class V (1000 ppb (=1 ppm))に分類され、ボール川、ベラ川の環境改善は十分ではないと予測される。[Case 2]の場合には、ティモック川とベラ川合流点近傍に存在していたティモック川の Class III の地域が Class II に改善され（図 3-3-C）、ティモック川の河川水が農業用水や飲料水等多岐の目的に使用できる可能性がある。この対策により、ボール鉱山から下流に流れるボール川の水質は、Class V から Class III に改善するが、現在採掘中のベリキクリベリ露天掘りからの廃水がベリキクリベリ川を経由してベラ川に合流するために、ティモック川とベラ川合流点までのベラ川の Cu 濃度は、3.7 ppm から 2.1 ppm に低下はしているものの、Class V (1000 ppb (=1 ppm))に分類され、3 地点での中和処理に加えて製錬所からの廃水を処理した場合でも、ボール川、ベラ川の環境改善は十分ではないと予測される。[Case 3]の場合には、ティモック川とベラ川合流点近傍に存在していたティモック川の水質は Class II に改善される（図 3-3-D）。また、ボール鉱山の下流に存在するボール川は、Class III に分類さ

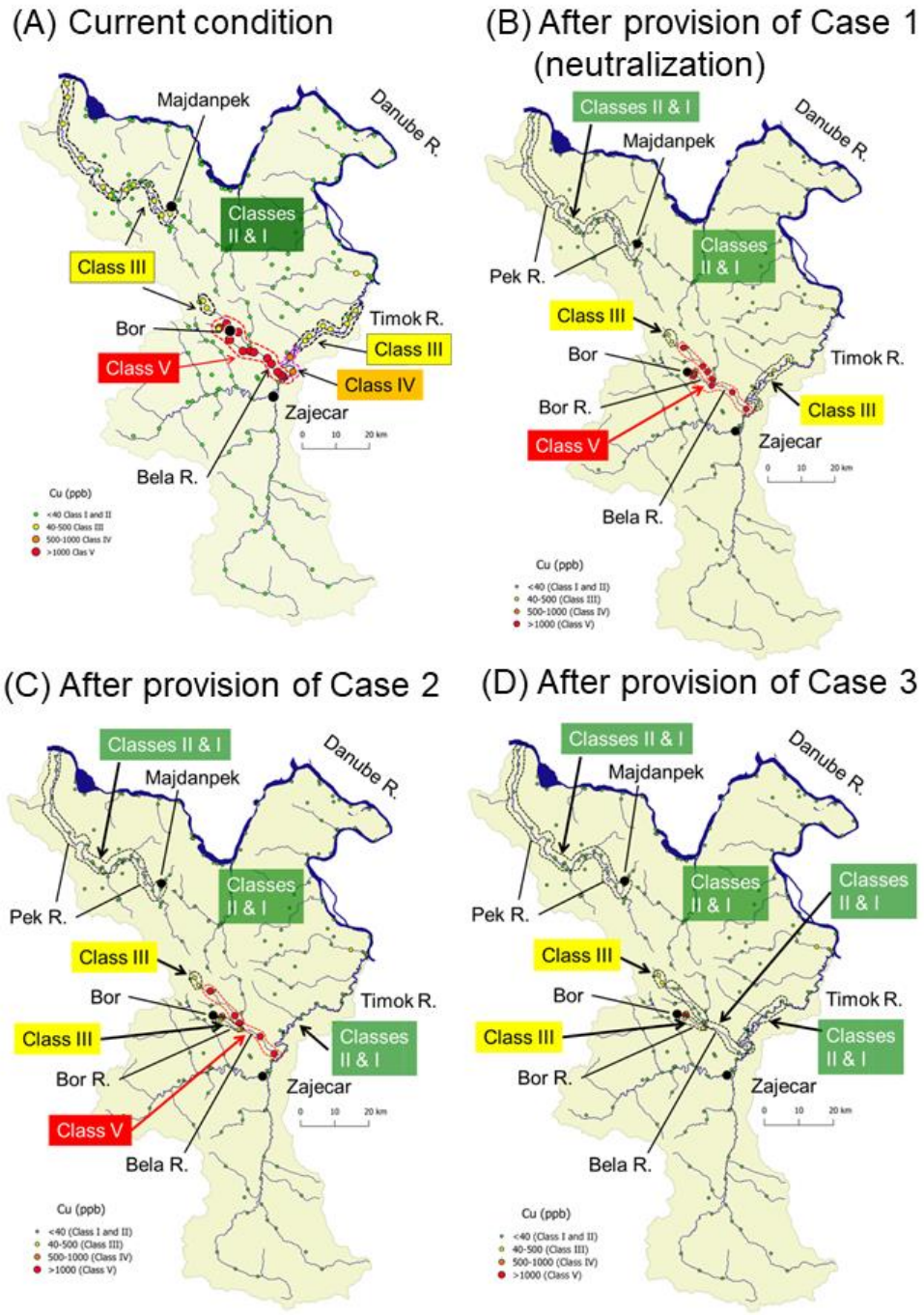


図 3-3 環境対策後のボーレーマイデンペック鉱山地域の河川水中 Cu 濃度予測図.
(A) 環境対策前の現状 (B) 3 地点での中和処理の対策を行った場合 (C) 3 地点での中和処理+製錬所からの廃水について対策を行った場合 (D) 3 地点での中和処理+製錬所からの廃水+ベリキクリベリ露天掘りからの廃水について対策を行った場合

れるが、ベリキクリベリ露天掘りからの廃水が流入するベリキクリベリ川の Cu 濃度は、Class II に以下に改善され、ボール川とベリキクリベリ川が合流してティモック川に流れ込むベラ川の水質も Cu 濃度が 0.03 ppm になると予測され、その水質は Class II に以下に改善

表 3-2　　中和沈殿法の適用に係る予備的コスト評価（試算）

Case 1	Plant capacity m^3/ton/min	Construction cost x 10^6 US$	Running cost x 10^6 US$/year	Cu income x 10^6 US$/year
Plant A (P-2)	3.0	17.5	0.24	0.29
Plant B (P-3)	1.0	7.5	0.08	0.12
Plant C (P-11)	4.0	21.8	0.24	0.17

Case 2	Plant capacity m^3/ton/min	Construction cost x 10^6 US$	Running cost x 10^6 US$/year	Cu income x 10^6 US$/year
Plant (Integrated) (P-2+P-3+P-11)	8.0	37.1	<0.55	0.59

されると予想される。このような予測に基づくと、あらかじめモニタリング地点を設置しておき、対策を段階的に行い、各段階において環境改善の状況をモニタリングにより把握し、次の段階の対策を最適化し進めることが効率的な対策につながり、対策にかかる時間も最小にすることができると考えられる。モニタリング地点等の試案は、本項目の提言の部分に示した。

また、廃さいと剥土から Cu 等の有害元素が溶出し、本地域の廃さい、剥土、河川の両岸に分布する堆積物の中では、廃さいや剥土からの影響が大きく、対策の優先順位としては、河川沿いに分布する小規模な廃さいよりも鉱山周辺に分布する廃さいと剥土への対策が優先さると考えられることについてはすでに 1-3-3 で述べた。廃さい等を加圧酸浸出法で有害元素を取り除き、残渣を安定化させる方法もあるが、汚染源として重要な廃さいと剥土について、整形、覆土植栽、水路の設置をこれらの対象物に対して行い、廃さいと剥土への降水の浸み込みを防止し、溶出する鉱山廃水の水量を減らす対策が考えられる。中和処理とともにこのようなの無害化の対策を立てて環境対策を行うことが重要である。

①－２　コスト分析

表 3-2 は中和沈殿法の適用に係る経済的な評価の試算を示した。想定される P-2、3、11 の各ポイントの廃水を中和処理する場合の必要な処理能力、建設コストと運転コスト、銅澱物売却による収入について概算したもので、Case１としてそれぞれの発生場所において処理をする場合、Case 2 として三か所の廃水を下流の適地一か所に導水し一つのプラントにより処理を行うとした場合を検討した。必要な中和処理能力としては過年度のモニタリングにより明らかとなった水量変動から異常な増水時の水量は除き、平時の最大限水量を設定した。また、運転コスト、建設コストについては過去の実績データを基にした算定式を設定、銅沈殿物の売却による収入については現状の銅価格と現地の銅製錬所における取引実態を考慮した算定式を設定した。

必要な処理能力として、Case 1 では、処理能力をそれぞれ P-2 において 3.0 m^3/ton/min、P-3 において 1.0 m^3/ton/min、P-11 において 4.0 m^3/ton/min が必要と算定した。Case 2 では、三か所の合計水量とし、8 m^3/ton/min の処理能力で試算した。建設コストは一か所に導水するためのパイプライン建設等のコストは見込んでいない。

試算の結果、表 3-2 に示す通り、Case 1 および Case 2 とも、運転コストと銅収入がほぼバランスすることとなり、建設コストを回収することは困難なものの、長期の運転が必要な廃水処理のためのコスト負荷軽減の可能性が示された。

また、ここに吸着法を組み合わせた資源化・無害化処理プロセスを考えると、吸着法で

図 3-4　選鉱尾鉱の無害化フローおよび加圧酸浸出法および SX-EW 法の適用に係るコスト分析試算結果

の対象となる Mn をわが国の排水基準（10 mg/L 以下）まで除去するのに必要されるコストは、吸着材としてキトサンを使用した場合で約 60 US$/$m^3$ と試算される。なお、吸着法のための処理工程施設導入に関する費用は、中和処理プラントに吸着処理プロセスを付随する事になるので、その増加分はそれほど大きいと考えられる。

ただし、研究課題２−２で指摘したとおり、中和沈殿法の適用に先だって発生源への対策が必要で、その対策のためのコスト、対策による減水、水質改善の効果による、建設コストや運転コストが削減できる一方、銅収入は減額となるため、今後発生源対策の効果などの検討も含め、改めて全体での評価が必要である。

以上の通り、環境評価修復システムのうち、中和法による廃水処理すなわち二段階中和プロセスによる廃水処理については経済的にもポジティブな結果を得ることができた。

加圧酸浸出法および SX-EW 法の適用に係るコスト評価についても検討がなされた。図 3-4 に選鉱尾鉱の無害化フローおよび加圧酸浸出法および SX-EW 法の適用に係るコスト評価の試算結果を示す。本コスト評価は、日本国内の鉱山系企業のコスト試算法を参考に推測したものである。今回は、セルビアボール地区の選鉱尾鉱（鉱量約 27 百万トン、銅品位 0.4%）を処理する場合に必要な設備容量と操業条件を考慮し、設備費と操業費を算出した。また、電気銅売却による収入については、想定される年間銅生産量と現在の銅価格を基に概算したものである。高温高圧浸出および SX-EW を組み合わせた場合、プロセス全体の銅回収率は 87%であり、当初目標としていた金属回収率（80%）を上回る成果を挙げている。本プロセスを実施する場合、大型のオートクレーブと溶媒抽出用ミキサーセトラー装置、電解用セルを調達する必要があり、それに伴う間接装置（タンクやポンプなど）を考慮すると設備費（イニシャルコスト）として 75 x 10^6 US$が必要である。操業費（ランニングコスト）には、人件費や電気代のほか、各種工程に必要な薬剤の費用などが含まれており、概算で年間約 1.8 x 10^6 US$/year 必要であると推定された。一方、収入としては生産された電気

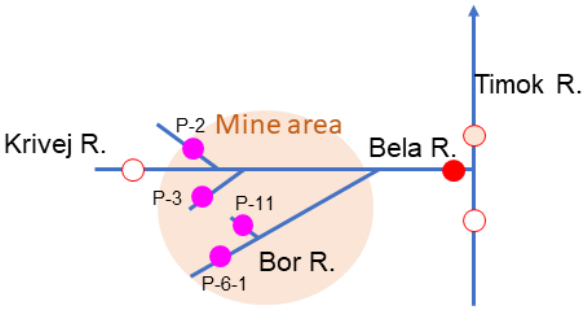


図 3-5　ボール鉱山地域からティモック川の対策廃水と河川水水質のモニタリングポイント

銅の売却費が想定されるが、本プロセスで生産できる電気銅は年間約 6,270 トンであるため、2019 年 11 月現在の銅価格（690,000 円/トン）を基に概算すると、37 x 10^6 US$/year の収入が見込める。本コスト評価には、選鉱尾鉱や電気銅の運搬コストや廃棄物処理に必要な費用等は計上されていないが、銅品位の比較的高い選鉱尾鉱等に対しては、比較的経済合理性のあるプロセスが構築できる可能性が示された。

中和処理においても加圧酸浸出法および SX-EW 法においても建設コストは高額になるがこれらの処理施設が建設できれば、継続して環境対策が実施できる可能性が得られた。特に、加圧酸浸出法によるコスト評価から、中和処理施設建設のコストを賄う可能が推定される。環境修復の観点からは、中和処理による廃水処理と加圧酸浸出による廃さい等の固体鉱業廃棄物処理を統合して一つの環境修復プロジェクトとして構成し、固体鉱業廃棄物の対策から得られる収益を、例えば中和処理施設の建設に充てるなどのことを行うことでボール地域の環境修復をポジティブに推進することができると思われる。また、加圧酸浸出法のより詳細なコスト評価を行うことでより低濃度の廃さいにも本手法が適用できるようであれば、環境修復を適用できる廃さいの範囲が広がるのでボール鉱山地域の環境修復実施範囲も拡大し、より質の高い環境修復が達成される可能性がある。

提言として以下５項目について R１年 10 月に開催された第４回省庁連絡会議において提案した。10 月から R2 年 1 月にかけて議論を行い、R2 年 2 月 13 日第 6 回省庁連絡会議（兼 JCC）で提言として提出された。提言は、JCC の MM として記載されセルビア政府両省庁に提出された。

1. Step-by-step approach
2. Continuous monitoring
3. Joint approach
4. Institutional approach
5. Development of human resources

項目１の「Step-by-step approach」については、（１）ティモック川の水質に関する暫定案として現在水質が Class IV ないし V である水質を主要汚染源の廃水に中和処理を行うことと鉱山施設と製錬所からの廃水に対策を行うことで、Class III に改善すること、そして最終的には Class II に改善すること、（２）ボール鉱山からティモック川に合流するベラ川の水質については暫定案として現在水質が Class V である水質を主要汚染源の廃水に中和処理を行うことと鉱山施設と製錬所からの廃水に対策を行うことで、Class IV に改善すること、そして最終的には廃さいと剥土について、整形、覆土植栽、水路の設置など行

図 3-6　鉱業エネルギー省と環境保全省への研究成果の説明（10/8)。左から鉱業エネルギー省のイワン ヤンコビッチ次官（SATREPS プロジェクトダイレクター)、ステビチャ デジャンスキー副大臣,アレクサンダー アンティッチ大臣，環境省 サビナ イバノビッチ（Head of EIA Department）

い、漏れ出る廃水量の最小化を行い、Class II に改善することを提言とした。

項目２の「Continuous monitoring」については、ボール鉱山地域からティモック川にかけて河川水水質のモニタリングポイント 4 か所、ボール鉱山近傍では中和処理や製錬所からの廃水対策の効果をモニタリングするポイントとして 4 か所を提言としてまとめた（図 3-5)。

項目３の「Joint approach」については、本研究プロジェクトの成果として、汚染源の種類が多岐にわたること、汚染物質が広域に分布すること、被汚染地域が広く分布すること、そして河川水に最も強い影響を与えている汚染源は、鉱山会社が操業で使う製錬所からの排水であることが明らかになり、これらの問題を解決するためには、鉱山会社、関連自治体、研究機関などによる共同の取り組みが重要であることを提言とした。

項目４の「Institutional approach」については、（１）項目３の取り組みを推進するために、合意形成とネットワーク構築のための調整機関の設置、（２）セルビア政府による鉱業活動に関連する環境問題解決のための基本計画の策定、（３）研究機関による継続的なモニタリング、研究活動、技術開発の実施が提言としてまとめられた。研究機関の活動母体としては MMI-Bor の中に設置された STREPS 研究グループの活動が期待される。

項目５の「Development of human resources」については、（１）本プロジェクトの活動で TF-Bor の中に設置された環境教育コースの継続と発展を進めること、（２）本プロジェクトにより環境影響評価と環境修復のために供与された装置や技術移転された技術が維持されそして発展されること、（３）TF-Bor の学生等若手人材に対して環境意識の醸成を図ることを提言として説明した。今回のコスト分析結果についてもセルビア側に R2 年 3 月に提出したマニュアルにまとめた。

② 研究題目３のカウンターパートへの技術移転の状況

本題目においてはカウンターパートと連携した研究の進め方が重要であった。当初は環境評価修復システムについての概念についてセルビア側との検討が行われ、課題の整理と情報共有が図られた。セルビア国内における各種コストや回収した金属の処分条件などもセルビア国内の状況把握はセルビア側による情報が基になっている。

一方、水質予測シミュレーションについては日本側が手法を検討し、プロトタイプを両者により検討、フィードバックすることにより精度を高めていく方法がとられた。これらのことを踏まえ、本題目で得られた成果を社会実装に進めるための方法についても検討された。その結果、本題目の成果を、両省庁間、ステークホルダー、自治体、地域住民が共有することが必要との結論に至り、研究統括組織である両省庁間での成果の共有と利用のための検討のために省庁間連絡会議の開催が考えられた。

このように、結果として研究全体のとりまとめとその後の展開に必要な考え方や手順などの技術移転が図られたものと考えている。

③ 研究題目３の当初計画では想定されていなかった新たな展開

H30 年度、セルビアの 2025 年を目標とした EU 加盟に向けて環境分野への取り組みが重要とされていたが、具体的なデータや環境修復手法は未整備、未開発の状況であることから、本研究プロジェクトで得られるデータや研究成果が当初の想定以上に重要であることが認識されるに至った。

当初の段階で農業環境省（現環境保全省）から地下水に対する環境影響の重要性が指摘されたため、これらの課題を各研究分野にフィードバックしつつ全体計画に反映していくこととしたが、Bor 川流域における地下水環境汚染の懸念があり、流域の村民から地下水分析結果（地元の井戸水の分析結果）の情報開示を求められたため関連データを開示した。

H30 年度に第一回省庁連絡会議を開催し、本プロジェクトで得られたデータや環境評価修復システムの研究成果を説明するとともに、H31 年 2 月のマネジメント研修において鉱業省の次官他を日本に招聘した際、本プロジェクトの重要性が改めて強く認識された。最終的な成果のとりまとめや提言を鉱業省大臣および首相まで説明するとともにメディアを活用し、成果を公表するなどして環境評価修復システムの社会適用を推進したいとの意向が示された。R 元年度 6 月に第二回省庁連絡会議を開催し、Output3 の内容を中心に両省庁に研究結果を説明するとともに、鉱業エネルギー省大臣、環境保全省大臣および首相まで説明するための打ち合わせを行った。

R1 年 10 月 8 日に鉱業エネルギー省会議室において、鉱業エネルギー省 : アレクサンダー アンティッチ大臣、ステビチャ デジャンスキー 副大臣、イワン ヤンコビッチ 次官 （プロジェクトダイレクター）ドラガナ 鉱山部長、ブカシン ブチェビッチ氏（地質・地下水担当）、環境保全省 : Sabina Ivanovic（Aleksandar Vesic 次官代理で出席）、MMI Bor ゾラン ステバノビッチ 氏、日本大使館 : 塩谷書記官、ドュシャン アルブティナ 氏（経済アナリスト）、JICA : 武市所長（プログラムオフィサー）、日比野次長、クセーニャ氏、高橋美保氏 （調整員）、秋田大学グループ : 石山・増田の参加者で、アレクサンダー アンティッチ大臣への SATREPS の研究成果報告を行った（図 3-6）。説明後、同大臣から、「今後、環境対策について データも含め 今回の結果をセルビア側でさらに検討したい。プロジェクトの成果を受けてそれを生かすためにも、 次のステップへ継続したい。そのためにも検討は短期間で行いたい。また、次の 2 年間でその次のステップの準備をしたい」との発言があった。このように、研究成果のとりまとめに際しては環境省や鉱山エネルギー省など関係省庁等との十分な意思疎通と協議が不可欠である。

また、上記会議において、研究カウンターパートである MMI-Bor から鉱業エネルギー省に対して、プロジェクト終了後の 2 年間にモニタリングの継続、データベースの整備、プ

ラントデザインのための準備、その後 3 年間にプラントデザイン、そしてその後政府の決定を受けて国際資金を利用し、社会実装に至る計画が説明された。特に、プロジェクト終了後の 2 年間については、約 2500 万円の予算額が提案された。このように、環境対策の継続については前向きの取り組みがなされ、環境対策が実施されることを期待している。

R2 年 2 月 13 日に鉱業エネルギー省会議室において、JCC 兼省庁間連絡会議を開催し、鉱業エネルギー省：ブカシン ブチェビッチ氏（イワン ヤンコビッチ 次官 （プロジェクトダイレクター）代理)、環境保全省：Sabina Ivanovic（Aleksandar Vesic 次官代理)、MMI Bor ゾラン ステバノビッチ 氏、JICA：クセーニャ氏、高橋美保氏 （調整員)、秋田大学グループ：石山・増田・高崎・川原谷・佐藤の参加者で、SATREPS プロジェクトからの提言（最終案）が説明され、両省庁に提出された。提言内容は、JCC の MM に記載された。

一方､H31 年に入り､以前国営であった鉱山(RTB-Bor)が中国企業に買収(中国側 63.5%、セルビア政府 36.5%）されたことは当初想定されていなかった事態であり、今後の動向に留意する必要がある。中国企業の鉱山拡張計画が実行に移されており、現状の 2 倍の生産量が計画されていることから、環境影響の変化（増幅）についても懸念材料である。最近現地の NPO が環境悪化について中国企業の責任を問う動きも報道されている。

さらに、カウンターパートである MMI-Bor が中国企業に買収されるかもしれないという報道もあり、注意を要する事態となっている。この件については R 元年度の JCC において懸念事項としてセルビア側に提示された。2019 年 10 月の段階では、MMI-Bor が中国企業に買収される可能性は高くはなく、買収についてはひとまず安定な状況になっていると判断された。

④ 研究題目３の研究のねらい（参考）

研究題目１および研究題目２を統合し、全体が一体となって機能するようなシステムを構築することが研究の狙いである。さらに、そのシステムが機能することによる環境修復予測を可能とすることとその実現性を判断するためのコストなどの経済的な考察が可能にすることを目指している。また、以上をマニュアル化することにより開発した技術全体の普及を図る。

⑤ 研究題目３の研究実施方法（参考）

机上検討が中心であるが、研究課題１および研究課題２の進捗と合わせて必要な情報を付加しつつ、相互の連携とシステム構築およびそのマニュアル化に向けた検討を進めた。また、セルビア側との連携による現地のニーズを把握するとともにデータを共有しつつ進めた。

Ⅱ．国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など（公開）

(1)プロジェクト全体

・プロジェクト全体の現状と課題、相手国側研究機関の状況と問題点、プロジェクト関連分野の現状と課題

プロジェクト全体として、日本側研究者とセルビア側研究者は、恒常的に情報や意見の交換を行う体制となり、研究はスムーズに推進されている。それぞれ国内での研究の推進とともにメールや相互直接訪問を通じて課題意識の共有や打ち合わせを継続的に行っている。

図 4-1　第一回・第二回省庁間連絡会議

図 4-2　ベオグラード大学 TF-Bor 校との若手環境人材育成講座

特にセルビア側研究者の日本での研修機会を最大限活用することによる環境意識や技術レベルの向上とともに、セルビア政府鉱業エネルギー省や環境保全省の次官を対象にしたマネジメントクラスの日本への招聘では、実際の現場視察、経営層との面談や法制度などの研修を通して日本における環境修復の実態や政策面の取り組みについて十分な理解が得られたことは研究プロジェクトのインパクトを高めることや持続性に対するセルビア側の認識を深めることができたと考えている。

研究のカウンターパートは、鉱業に関する環境分野においては全く経験が無いことから当初は環境調査をスムーズに実施することは難しい状況にあったが、本プロジェクトの活動を通じて、環境調査法やそれに係るデータ解析法等の技術移転を終え、独自で環境調査ができる体制が整った。このようなことを基礎にプロジェクト後半では、環境関連試料の分析依頼の増加、ドイツとの廃さい分布や量の調査、ルーマニアの大学との銅鉱山鉱業活動に伴う多国間にわたる水質汚染解決プログラムを共同で実施する等の進展が認められた。

図 4-3　ボール市高校生への環境修復についてのワークショップ

図 4-4　ザイチェル市環境 NGO 若手メンバーへの研究成果説明

廃水の無害化に関してはセルビア側の担当研究者の日本での研修が大きな効果を上げた。研修では日本の鉱害防止の現場、中和処理場をはじめ、発生源対策など様々な対策現場の見学と現場の担当者からの説明や質疑などを通して鉱山に関連する環境問題の多様性とその解決策を実地に学ぶことができた。特に中和処理場においては具体的な処理のプロセス

や発生する沈殿物の処理方法などセルビアの現状と比較しながら体験できたことは貴重な機会だったと推察される。また大学の実験室やフィールドなどでの分析やサンプリング方法などについて日本側の研究者の行う方法との整合性を確保することでデータの信頼性の保証ができたことはこの研修の重要な成果であった。

環境問題解決のためには教育を主とした継続的な人材育成が必要である。プロジェクト実施期間中には環境影響評価と無害化のための廃水処理や廃さいの処理について約 3 週間にわたるワークショップ形式と講義を組合せた形式の人材育成を TF-Bor、MMI-Bor と共同で行ってきた。ボール在住の学生にとっては、環境問題の現実を知る機会にもなり、学生の中には研究地域の環境の現実に衝撃を受ける学生も認められた。セルビアの若手人材に環境問題の重要性や研究プロジェクトの意義について理解してもらえたと考えている。本人材育成プログラムに参加した学生が､TF-Bor やMMI-Bor 職員として勤務する例も生じた。また、R1 年 10 月 11 日は MMI-Bor の研究メンバーにより、鉱山分野課程も持つ地元の工業高校の高校生を対象に鉱山活動による環境問題とその解決に関するワークショップが行われた。Bor では初めての試みであったが、校長、教員 2 名を含め、合計 16 名の参加者に対して、プロジェクトの概要説明、フィールドでの鉱山廃水の観察、MMI-Bor 研究所での中和実験による水質改善実験を行い、参加高校生にボール鉱山地域の現状と環境修復の可能性を説明した。本企画も好評で、今後も継続することについて高校側から希望が述べられ、研究所としても継続する方向で検討をすることとなった。

TF-Bor や MMI-Bor の組織としての活動に加え、本人材育成プログラムに参加した若手職員の協力も得て、この教育の取り組みが継続されることを期待している。

・各種課題を踏まえ、研究プロジェクトの妥当性・有効性・効率性・インパクト・持続性を高めるために実際に行った工夫

研究開始当初は環境影響評価や無害化のための金属回収技術の研究推進や技術移転を中心にして進めた。研究の進展に伴い、研究プロジェクトの妥当性・有効性・効率性・インパクト・持続性を高めることがセルビアでの環境対策に不可欠であるとの認識に至り、下記の取り組みを行った。

1）省庁間連絡会議の設置（1～2 回/年）
鉱業エネルギー省-環境保全省間の連絡会議である（図 4-1)。目的は、両省庁間での SATREPS の研究成果の共有、プロジェクト終了時に提案する提言についての意見交換などである。セルビア政府政策責任者による研究結果の共有と提言作成プロセスへの参画を通じて環境対策の提言への理解を深めてもらうことにより、環境政策推進の具体化と加速化を進めた。実際には、
a）SATREPS での研究成果の説明（環境影響評価、無害化のための金属回収法、環境修復システム構築（output 3））
b）鉱業活動に関連する環境問題についての現状についての意見交換
c）環境保全のためのモニタリングシステム構築に関わる議論
d）セルビア、日本、EU 等の鉱業活動に関わる環境政策や法的枠組みに関する意見交換と議論
e）大臣への研究結果の説明と今後の環境対策継続推進への理解
について取り組んだ。2018 年度から開始し、同年度に 2 回、2019 年度 10 月までに 2 回行い、2020 年 2 月にもう 1 回開催した。

2）セルビア政府両省の次官クラスの政策責任者の日本での研修
プロジェクト中期から後期にかけて、日本での鉱業活動に伴う環境対策事例の見学と日本の環境対策責任者や研究者との予算措置も含めた環境対策実施に関わる意見交換を行い、セルビア国での環境対策実施可能性への理解の促進を進めた。

3）MMI-Bor 内への環境影響評価チーム、衛星画像解析チーム、無害化研究チームの設

置（環境修復グループの設置）
実適用に向けた研究継続体制を整備すること継続的なモニタリング体制を整備することを進めた。

４）TF-Bor 内への環境人材育成講座の設置
環境教育と環境対策の人材育成の強化を図ることを目的に、秋田大学とベオグラード大学 TF-Bor 校の教員で実施しており、分野を環境影響評価のみならず無害化のための廃水処理・廃さい処理ついても拡充し進めた（図 4-2）。

５）ワークショップ、シンポジウムの開催、野外調査時の調査趣旨説明
環境対策の推進には、若手人材のみならず、地域住民、自治体関係者、ステークホルダー、NGO 関係者等、広く研究成果の認知度を高めることが重要であった。これらの方を対象にシンポジウム、ワークショップを 1 回/年程度実施した（図 4-3、図 4-4）。例えば、2019 年度 10 月にはボール市の高校生対象に同地域の環境問題とその解決に関するワークショップを行い、この地域の将来の将来を担う若手人材の育成と今後の環境人材育成継続のための仕組みづくりを行った。また、2020 年 2 月にはセルビア国ボール市で市民及び近隣地域住民や環境 NGO メンバーを対象にした SATREPS の研究成果の最終説明会の開催、ベオグラードのベオグラード大学においてセルビア国パンチェボ市で草の根技術支援事業を展開している兵庫県環境研究センターと大阪大学の研究グループと合同シンポジウムの開催を行った。その中で、セルビア国の環境研究関係者に適切な対策による環境改善の可能性を示し、大きなインパクトを与えた。特に、複数のグループによる合同シンポジウムは、強いインパクト与えることと日本のプレゼンスの向上には効果的であると考えられる。特に、野外調査時の調査趣旨説明活動では、地域住民と意見交換をする機会が多く、普段環境修復が困難であると考えている地域住民の関心を高めるには有効である。鉱山近傍の村からは、飲料水資源となる地下水分析結果のデータの開示依頼もあり、データの開示を行った。

・プロジェクトの自立発展性向上のために、今後相手国（研究機関・研究者）が取り組む必要のある事項

プロジェクトの終了後も自立的な活動が可能となるようにボール鉱山冶金研究所との協議を通じて環境修復分野の組織化を図ることとし、組織として環境修復分野のグループを立ち上げることができた。今後自主的な発展を期待したい。また、プロジェクトで得られた成果を鉱業エネルギー省、環境保全省へ省庁間連絡会議を通じて大臣へも説明してきている。特に、EU 加盟にあたり環境問題の解決は喫緊の課題であり、得られたデータを環境政策へ反映することを期待したい。

また、長期的な人材育成も視野に入れ、ベオグラード大学工学部ボール校との協議を通じて、同校に資源環境分野の特別講座を日本側と共同で開講することとした。これらの新たな取り組みを持続可能とするためにプロジェクトの残期間においては日本側の積極的な支援を行うものであるが、プロジェクト終了後においてはセルビア側の自主努力が不可欠である

・諸手続の遅延や実施に関する交渉の難航など、進捗の遅れた事例があれば、その内容、解決プロセス、結果

機材供与に関して、当初は不慣れのため VAT 免除や輸送手続き等で時間を要したものの、セルビア側と日本側で緊密な連携を取り、ほぼ予定通り計画を達成することができた。また、ボーリングに関して、鉱山エネルギー省の MMI-Bor に対する認可が遅れたものの、認可取得後はセルビア側の適切な現場管理等によって、計画通りのボーリング及びコアサンプルを得ることができた。

(2)研究題目１:「広域環境負荷評価研究」
秋田大学グループ　（リーダー：石山大三）
一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構グループ（リーダー：佐藤功）

・ 相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用

バックグラウンド解析、衛星画像解析についてはセルビア側研究機関にとっては新規研究分野で基礎的なことから応用的なことまで共同で調査・解析を行うことで技術移転を行った。研究開始当初は、観察や実験法のバックグラウンドからノウハウまで丁寧に説明を行った。また、調査の進行に伴う情報共有もスムーズにできるように配慮した。現在では、メール等で打ち合わせを行うことで、必要なデータの取得やデータの解釈が実行でき、モニタリング等の環境評価ができる状況にある。

・ 類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等

共同研究のカウンターパートと共に観測・実験を行い、その中でいつでも自由に意見交換できる環境をつくることが重要である。また、カウンターパート内部での情報共有もスムーズにできるようにすると、効率的に研究を進めることができる。

(3) 研究題目２:「金属回収・無害化研究」
秋田大学グループＡ（リーダー：柴山　敦）
三井金属資源開発グループＢ（リーダー：藤井　昇）

・ 相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用

鉱物処理と加圧酸浸出法、中和沈殿法、吸着法のいずれもセルビア側では新規の研究分野である。そのため、実験の目的や方法、技術などについて十分な理解と習熟が求められている。これらの問題を克服するため、日本側で行われた実際の方法や把握している実験の基礎データについて事前に十分な情報提供を行うとともに、今後セルビア側において実施予定の基礎試験を開始する際には、丁寧に技術移転を行うよう指導を行った。

・ 類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等

相手国側との十分な情報共有と丁寧な指導及び技術移転が重要である。

(4) 研究題目３:「環境評価修復システム研究」
秋田大学グループＣ（リーダー：石山大三）
三井金属資源開発グループＤ（リーダー：藤井　昇）

・ 相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用

環境分野と金属回収・無害化を統合するシステム構築という概念について、日本側及びセルビア側の理解に齟齬がないようにするために、十分な情報共有と協力関係が不可欠である。またセルビア側からのデータ提供も重要であり、セルビア側研究機関のみならず、関連する企業や政府機関などと連携していくことが求められている。また、事前、実施中、まとめの段階など適宜情報共有と連携が求められる。

・ 類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等

相手国側との十分な情報共有と丁寧な技術移転が重要である。特に分野が多岐に亘る場合は各分野同士の情報共有と成果の共有が全体のパフォーマンス向上につながると考える。

Ⅲ．社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

(1)成果展開事例

・環境保全に関わる啓蒙活動として、セルビアにおける野外調査時にプロジェクトの概要を説明したカラープリント資料を地域住民に配布し、プロジェクトの目的・期待される成果等を説明している。

・秋田県で行われた産学官連携イベントではポスター展示を行い、短期研修で訪れていた衛星画像分野のセルビア側研究員 5 名も参加し、地域の産学官関係者への啓蒙活動を行った。

・秋田大学教育文化学部附属中学校で SATREPS 事業、セルビア側での研究内容やセルビア国の説明を行った。中学生たちはセルビア国のことや、研究内容、JICA の取り組みを知って関心を示し、研究者を志望する生徒も見られた。

・国立大学 56 工学系学部ホームページにセルビアでの SATREPS 活動が紹介されており、本プロジェクトの研究内容が、秋田大学国際資源学部の資源開発に関わる環境への取り組みとして公開されている。

(2)社会実装に向けた取り組み

・セルビア政府高官を日本へ招聘し、日本の鉱山開発に伴う環境対策技術の紹介と現場視察を行い、環境対策の重要性と実現性について理解を得ることと社会実装への進め方などの協議。

- セルビア共和国鉱業エネルギー省でセルビア側の研究代表者（PD）鉱業エネルギー省事務次官をボール鉱山冶金研究所の所長、統括部長とともに日本に招聘（H28 年度）
- セルビア共和国環境保全省事務次官と鉱業エネルギー省鉱山部長を日本に招聘（H29 年度）
- セルビア共和国鉱業エネルギー省副大臣と事務次官を日本に招聘（H30 年度）
- セルビア共和国鉱業エネルギー省大臣へ SATREPS の研究成果を説明し、その成果の有効性と環境対策への継続性について前向きの回答を得た。（R1 年度）

・在東京セルビア大使館との連携および鉱業や環境に関連する情報提供と共有、セルビア側の意向聴取と社会実装への道筋に関する意見交換等セルビア国との協力関係強化。（H28 年度、H29 年度、H30 年度）

・最終的に社会実装へつながることも期待できるような環境保全や鉱業技術に関わる若手人材育成のための活動。

- 秋田大学とベオグラード大学ボール校の学生対象に環境影響評価を課題として野外実習（H28 年度、H29 年度）

- 秋田大学とベオグラード大学ボール校の学生対象に、廃さいや廃水の無害化のための研修コースも拡充設置し、環境影響評価や環境修復を課題として野外実習と実験実習を行った。(H30 年度、R1 年度)
- ボール市の高校生を対象に、廃水の現状説明と廃水の無害化のためのワークショップ MMI-Bor の研究者が実施し、若手人材の環境意識の向上を推進した。(R1 年度)

・社会実装のための道筋づくりのための省庁間の連絡会議設置
- セルビアの環境保全省と鉱業エネルギー省とプロジェクト終了後の社会実装に向けた取り組みについての協議と省庁間の連絡会議設置の提案を日本側から行った。(H29 年度)
- セルビア共和国環境保全省事務次官と鉱業エネルギー省鉱山部長招聘の際に省庁連絡会議の開催について具体的な打合せ（H29 年度）
- 第一回鉱業エネルギー省－環境保全省間連絡会議において、セルビア、ドイツ、EU、日本の環境基準値の比較、日本の鉱山対策の現状についての情報共有を行った（H30 年度、図 4-1）
- 第二回鉱業エネルギー省－環境保全省間連絡会議において、研究地域（ボール-マイデンペック地域）の現状についての情報共有を行った（H30 年度）
- 第三回鉱業エネルギー省－環境保全省間連絡会議において、社会実装を実現するために鉱業エネルギー大臣および環境保全大臣への説明並びにメディアプロモーションに関する進め方を協議（R1 年度、図 4-1）
- 第四回鉱業エネルギー省－環境保全省間連絡会議において、鉱業エネルギー大臣へ研究地域の環境に関する現状と SATREPS の研究成果を説明し、SATREPS の研究成果が重要なデータである旨の意見をいただいた（R1 年度）
- 第五回鉱業エネルギー省－環境保全省間連絡会議において、SATREPS プロジェクトからの提言案を両省庁に説明し、提言案について協議を行った（R1 年度）
- 第六回鉱業エネルギー省－環境保全省間連絡会議（兼 JCC）において、SATREPS プロジェクトからの提言最終案を両省庁に説明し、了承を得るとともに、JCC の MM に提言案の内容を盛り込むこととした（R1 年度）

・社会実装を目指したプロジェクト供与実験装置の利用
- セルビアとドイツとの廃さい分布や量の共同調査、ルーマニアの大学との銅鉱山鉱業活動に伴う多国間にわたる水質汚染解決プログラムにおいて、プロジェクト供与実験装置が利用されている。(H30 年度、R1 年度)

・社会実装を目指して地域の住民等への啓蒙と情報提供
- 環境 NGO（セルビアボール市、ザイチェル市）メンバーへの研究成果説明と意見交換（H29 年度、図 4-3）
- ボール市の地域放送番組に MMI-Bor 研究代表者であるゾラン統括部長と共に出演し、SATREPS の趣旨、研究成果について説明（H29 年度）
- 鉱山周辺集落での地下水調査について集落の代表者からデータ提供の要請があり、データを提供（H30 年度）
- ボール市で市民及び近隣地域住民や環境 NGO メンバーを対象にした SATREPS の研究成果の最終説明会の開催（R1 年度）
- ベオグラード大学において、セルビア国パンチェボ市で草の根技術支援事業を展開している兵庫県環境研究センターと大阪大学の研究グループと合同シンポジウムの開催（R1 年度）

Ⅳ．日本のプレゼンスの向上（公開）

・セルビア政府高官からの発言

鉱業エネルギー省でセルビア側の研究代表者（PD）Sinisa Tanackovic 氏（鉱業エネルギー省 Assistant Minister）および Aleksandar Vesic 氏（農業環境保全省 Assistant Minister）

- すでに有益な情報が本プロジェクトから迅速に得られており、さらに有益な研究成果が得られることを期待している（H27 年度）
- 実際の浮選尾鉱（鉱業廃棄物）によって得られた回収成績など、現在までに十分な成果が得られている。計画通りに進んでいる上、良好な結果で非常に満足している。特に、セルビアには、新規に開発を進めたい有望な鉱床の候補が幾つかあり、それらの開発、鉱物処理を検討する上で有用な技術である。今後、経済性評価などを進める必要はあるが、セルビア国内でも技術の蓄積、修得を進め、応用の可能性を考えたい。今後も有益な研究成果が得られることを多いに期待している（H28 年度）

鉱業エネルギー省で副大臣 Stevica Dedanski 氏およびセルビア側の研究代表者（PD）Ivan Jankovic 氏（鉱業エネルギー省 Assistant Minister）

- 鉱業分野における日本の環境対策は先進事例としてセルビアにおける環境政策の参考になる（H31 年度）

鉱業エネルギー省 Aleksandar Antic 大臣

- SATREPS5 年間の研究成果は有効なものであり、早急に環境対策への利用を考えたい。これらの検討を踏まえ将来の環境改善に向けて、次の 2 年間でどのようなことを行うのか早い時期に考えたい（R1 年度、図 3-6）

教育科学技術発展省 Mladen Sarcevic 大臣

- セルビアにとっては鉱業に関わる環境問題解決は大事な課題であり、SATREPS の研究成果は貴重な成果である。セルビア側からは今後の研究継続についての期待が示された（R1 年度（2020 年 1 月 31 日、東京、来日））

・在京セルビア大使館大使からの発言

- セルビアにおける環境修復は重要であり、本プロジェクトへ期待している（H30 年度、H31 年度）

・国際会議等における研究成果発表等

- ボール市で開催された国際学会 IOC（International October Conference）での研究成果発表。ルーマニア West University of Timisoara の Ostafe 教授からの問い合わせの打診を受け、研究概要の説明を実施（H28 年度）
- International Mine Water Association 2018, 2019（鉱山廃水分野では最も伝統があり最大規模の国際会議）における本プロジェクトの研究成果発表と意見交換によるプロジェクト活動周知（H29, R1 年度）
- Goldschmidt 2019（地球化学分野では伝統があり最大規模の国際会議）における本プロジェクトの研究成果発表と意見交換によるプロジェクト活動周知（H30 年度）
- ボール市で開催された国際学会 IOC（International October Conference）での研究成果発表（H30 年度）
- ボール市で開催された International SATREPS Confrenece での SATREPS 研究成果の説明と意見交換によるプロジェクト活動周知（H30 年度）
- ベオグラード大学において、セルビア国パンチェボ市で草の根技術支援事業を展開している兵庫県環境研究センターと大阪大学の研究グループと合同シンポジウムの開催によるプロジェクト研究成果の周知（R1 年度）

・地域住民等への情報提供

- 環境 NPO 活動の代表者との情報共有、現地テレビ番組へのプロジェクト代表の出演、現地の住民や有権者に対する講演会を実施。現地の住民に対する環境保全意識の啓蒙とともに本プロジェクトの成果紹介による現地における日本のプレゼンス向上を進めた。

- 鉱山周辺集落での地下水調査について集落の代表者からデータ提供の要請があり、データを提供。（H30 年度）
- ボール市で市民及び近隣地域住民や環境 NGO メンバーを対象にした SATREPS の研究成果の最終説明会での研究成果の提供（R1 年度）

V. 成果発表等
（1）論文発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）
①原著論文（相手国側研究チームとの共著）

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ－おわりのページ	DOIコード	国内誌/国際誌の別	発表済/in press/acceptedの別	特記事項（分野トップレベル雑誌への掲載など、特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。）
26	B. Han, B. Altansukh, K. Haga, Z. Stevanovic, J. Radojka, R. Marcovic, L. Avramovic, L. Obradovic, Y. Takasaki, N. Masuda, D. Ishiyama and A. Shibayama: Copper Upgrading and Recovery Process from Mine Tailing of Bor Region, Serbia Using Flotation. International Journal of the Society of Materials Engineering for Resources, 2014, 20, 2, 225-229.	ISSN 1347-9725	国際誌	発表済	
29	V. Gardić, R. Marković, N. Masuda, J. Sokolović, J. Petrović, S. Đorđievski, D. Božić, The study of leachability and toxicity of sludge after neutralizationof Srala and Robule AMD waste waters. Journal of Mining and Metallurgy, 2017, 53 A (1), p 17 – 29.		国際誌	発表済	
29	B. Han, B. Altansukh, K. Haga, Z. Stepvanovic, R. Jonovic, L. Avramovic, D. Urosevic, Y. Takasaki, N. Masuda, D. Ishiyama, A. Shibayama: Development of copper recovery process from flotation tailings by a combined method of high-pressure leaching-solvent extraction, Journal of Hazardous Materials, 2018, Vol. 352, p.192-203.	10.1016/j.jhazmat.2018.03.014	国際誌	発表済	廃棄物処理および環境分野トップレベルの雑誌 Impact Factor (IF) =6.065
29	Sachi, A. Wakasa, Daizo Ishiyama, Tomomi Takeda, Stefan Đorđievski,Kazuyo Hirose, Ljubiša Obradović, Vladan Marinković, Vojka Gardić,″Comparative Analysis of Waste Material Distribution between Remote Sensing Data and a Geochemical Map″,Proceedings 13th International Mine Water Association Congress,2017.07.2,pp.793-800		国際誌	発表済	
30	S. Đorđievski D. Ishiyama, Y. Ogawa, Z Stevanović, Mobility and natural attenuation of metals and arsenic in acidic waters of the drainage system of Timok River from Bor copper mines (Serbia) to Danube River, Environmental Science and Pollution Research, 25, 25005-25019.	doi: 10.1007/s11356-018-2541-x	国際誌	発表済	

論文数	5	件
うち国内誌	0	件
うち国際誌	5	件
公開すべきでない論文		件

②原著論文（上記①以外）

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ－おわりのページ	DOIコード	国内誌/国際誌の別	発表済/in press/acceptedの別	特記事項（分野トップレベル雑誌への掲載など、特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。）
27	R. Markovic, V. Gardic, L. Obradovic, Z. Stevanovic and S. Đorđievski: The application of natural zeolite for acid mine drainage purification. Materials Transaction, 2015, 56, 12, 1345-9678.		国際誌	出版済み	Publication for top journal in a particular research area-MMI
27	D. Urosevic: Recovery of copper from copper slag and copper slag flotation tailings by oxidative leaching. Physicochem. Probl. Miner. Process., 2015, 51, 1, 73-82.		国際誌	出版済み	Publication for top journal in a particular research area-MMI
27	K. Renata: Mass Concentrations and Indoor-Outdoor Relationships of PM in Selected Educational Buildings in Nis, Serbia. Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly, 2015, 21, 1/II, 149-158.		国際誌	出版済み	Publication for top journal in a particular research area-MMI
27	M. Antonijevic, M. Dimitrijevic, S. Alagic, S. Tosic and M. Nujkic: Assessment of the qualityof polluted areas based on the content of heavy metals in different organs of the grapevine (Vitisvinifera) cvTamjanika. Environmental Science and Pollution Research, 2015, 9, 22, 7155-7175.	10.1007/s11356-014-3933-1	国際誌	出版済み	Publication for top journal in a particular research area-TFB
27	M. Dimitrijevic, S. Milic, M. Nujkic, S. Alagic and S. Tosic: Heavy metal contamination oftopsoil and parts of peach-tree growing at different distances from a smelting complex. International Journal of Environmental Science and Technology, 2015, 1735-1472, 1-16.	10.1007/s13762-015-0905-z	国際誌	出版済み	Publication for top journal in a particular research area-TFB
27	M. Antonijevic and M. Petrovic: Copper Corrosion Inhibitors, A Review. International Journal of Electrochemical Science, 2015, 2, 10, 1027-1053.		国際誌	出版済み	Publication for top journal in a particular research area-TFBhttp://www.electrochemsci.org/papers/vol10/100201027.pdf-TFB
27	T. Kalinovic, S. Serbula, A. Radojevic, J. Kalinovic, M. Steharnik and J. Petrović: Elder, linden and pine biomonitoring ability of pollution emitted from the copper smelter and the tailings ponds. Geoderma, 2016, 262, 266-275.	http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.027	国際誌	出版済み	Publication for top journal in a particular research area-TFB/MMI
27	M. Nujkic, M. Dimitrijevic, S. Alagic, S. Tosic and J. Petrović: Impact of metallurgical activities on the content of trace elements in the spatial soil and plant parts of Rubus fruticosus. L. Environmental Science: Processes and Impact, 2016, 18, 350-360.	10.1039/c5em00646e	国際誌	出版済み	Publication for top journal in a particular research area-TFB/MMI

27	若狭 幸, 石山 大三, 松葉谷 治, 佐藤 比奈子, 申 基澈, 中野 孝教, 秋田県渋黒川-玉川水系における流入する酸性温泉水と河川水の混合過程についてのストロンチウムおよび硫黄同位体比ならびに溶存化学成分を用いた解明, 地球化学, 2015, 49, 1-9.		国内誌	出版済み	
28	L. Avramović, Z. Stevanović, M. Bugarin, R. Jonović, R. Marković, V. Gardić, M. Jonović, J. Đorđević: Characterization of Soil in the Coastal Area of the Bor River, Zaštita materijala, 2016, 57, 378-382.	10.5937/ZasMat1603378A	国内誌	出版済み	(M24) Scientific paper ISSN 0351-9465, E-ISSN 2466-2585 UDC:631.421/.425(497.11)
28	Đ or đ ievski S., Petrović J., Krstić V., Stevanović Z., Marković R., Jonović R., Avramović L. (2016) Comparative XRD and XRF analysis of selected mine waste samples from O š treljski Planir dump (Bor, Serbia). Recycling and sustainable development, 9, 21-27 (in Serbian, English abstract)		国内誌	出版済み	
28	若狭　幸:中学生に対するキャリア教育・進路指導の一環としての大学における地学研究成果の紹介の実践例. 秋田地学. 2017, 15-18.		国内誌	出版済み	
28	石山大三, 川原谷 浩, 佐藤比奈子, 早川祐美, Pham Ngoc, Can, 若狭 幸, 張建東, 世良耕一郎, 秋田県の河川堆積物のSとMn濃度の地球化学的特徴. NMCC共同利用研究成果報文集(2015), No. 22, 2016, 140-144.		国内誌	出版済み	
28	S. Nakamura, K. Hirose and T. Takeda: GIS Data Sharing System for International Research Projects, Geo-pollution Science, Medical Geology and Urban Geology		国内誌	accept	
29	B. Han, B. Altansukh, K. Haga,Y. Takasaki, A. Shibayama: Copper Recovery from Silicate-Containing Low-Grade Copper Ore Using Flotation Followed by High-Pressure Oxidative Leaching, Resources Processing, 2017, 64, 3-14		国内誌	出版済み	
29	B. Han, B. Altansukh, K. Haga,Y. Takasaki, A. Shibayama: Leaching and kinetic study on pressure oxidation of chalcopyrite in H2SO4 solution and the effect of pyrite on the chalcopyrite leaching, Journal of Sustainable Metallurgy, 2017, 3, 528-542		国際誌	出版済み	
29	Boradovic, L., Lekovski, R., Mikie, M. and Bogdanovic, D., Restration of degraded area by flotation tailings made by flood wave of Bor River, Environmental Engineering and Management Journal, 2017, 10, 2247-2254.		国際誌	出版済み	
29	Đorđievski, S., Sovrlić Z., Urošević T., Petrović J., Krstić V. (2017). Preventing decomposition of 2-mercaptobenzothiazole during gas chromatography analysis using programmable temperature vaporization injection. J. Serb. Chem. Soc., 82(10), 1147-1153.		国内誌	出版済み	

29	S. Đorđievski, Mineralogical characterization of efflorescent sulfate salts from the Bor River valley, Copper, 2017, 42(2), 1–8.		国内誌	出版済み	Publication for top journal in a particular research area
29	Y. Ogawa, D. Ishiyama, N. Shikazono, K. Suto, C. Inoue, N. Tsuchiya, B. Saini-Eidukat and S. A. Wood, Factors controlling the fractionation and seasonal mobility variations of Ga and In in systems impacted by acidic thermal waters: Effects of thermodynamics and bacterial activity. Aquatic Geochemistry, 2018, 24, 5–25.		国際誌	出版済み	
29	Q. M. Pham, D. Ishiyama, H. Sato, and Y. Ogawa, Vertical variation of lead content in sediment collected from man-made Tamagawa Dam lake in Akita Prefecture, Japan, 2018, Resource Geology (in press).		国際誌	出版済み	
29	Q. M. Pham, D. Ishiyama and K. Sera, Geochemistry of chemical species in river water of Shibukuro-Tama-Omono River System containing acidic thermal water and mine drainage water in Akita Prefecture, Japan. NMCC Annual Report, 2017, o. 23, 151–158.		国内誌	出版済み	
30	石黒卓哉・石山大三・世良耕一郎 (2018):PIXE分析に基づく田沢湖堆積物の地球化学的特徴. NMCC(仁科記念サイクロトロンセンター)共同利用研究成果報文集, No. 25 (accepted).		国内誌	accepted	
30	Y. Ogawa, D. Ishiyama, N. Shikazono, K. Iwane, T. Hoshino, M. Kajiwara, N. Tsuchiya, B. Saini-Eidukat, S.A. Wood, Fractionation of rare earth elements (REEs) and actinides (U and Th) originating from acid thermal water during artificial and natural neutralization processes of surface waters, Geochimica et Cosmochimica Acta, 249, 247–262.		国際誌	発表済	
30	A. Battsengel, A. Batnasan, A. Narankhuu, K. Haga, Y. Watanabe, A. Shibayama, Recovery of light and heavy rare earth elements from apatite of using sulphuric acid leaching, solvent extraction and precipitation, Hydrometallurgy, 2018, 179, 100–19	https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2018.05.024	国際誌	出版済み	
30	K. Haga, A. Batnasan, A. Shibayama, Volatilization of Arsenic and Antimony from Tennantite/Tetrahedrite Ore by Roasting Process, Materials Transaction, 2018, 59(8), 1396–1403.	10.2320/matertrans.M2017400	国際誌	出版済み	
30	Ogawa, Y., Ishiyama, D., Shikazono, N., Suto, K., Inoue, C., Tsuchiya, N., Saini-Eidukat, Wood, S. A. (2018): Factors Controlling the Fractionation and Seasonal Mobility Variations of Ga and In in Systems Impacted by Acidic Thermal Waters: Effects of Thermodynamics and Bacterial Activity. Aquat. Geochem., v. 24, 5–25.		国際誌	出版済み	

論文数	27	件
うち国内誌	11	件
うち国際誌	16	件
公開すべきでない論文	0	件

③その他の著作物（相手国側研究チームとの共著）（総説、書籍など）

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年		出版物の種類	発表済/in press/acceptedの別	特記事項
27	V. Gardic, J. Petrovic and L. Đurđevac-Ignjatović: Impact assessment of mine drainage water and municipal wastewater on the surface water in the vicinity of Bor. Hemijska industrija , 2015, 69(2), 165-174.		paper	出版済み	Publication in national journal -TFB, UDC: 504.75.054:634.11.7(497.11)
27	R. Kovacevic, T. Apostolovski and M. Steharnik: Analysis of particulare matter (PM10) in high school Bora Stankovic in Bor. Bakar, 2015, 1, 40, 63-74.		paper	出版済み	Publication for top journal in a particular research area-TFB
27	M. Dimitrijevic, S. Milic, S. Alagic, S. Tosic and M. Nujkic: The iron content in the apple and blackberry fruits that naturally grow near a copper smelter in Bor. Ecologica, 2015, 22, 79, 503-507.		paper	出版済み	Publication in national journal -TFB
27	S. Serbula, D. Zivkovic, A. Radojevic, T. Kalinovic: Emission of SO_2 and SO_4^{2-} from copper smelter and its influence on the level of total S in soil and moss in Bor and the surroundings. Hemijska industrija, 2015, 2217-7426 (Online), 69, 1, 51-58.		paper	出版済み	
27	N. Strbac, A. Mitovski, M. Sokic, D. Zivkovic, D. Manasijevic, L. Balanovic and M. Gorgievski: Options primenenie organic waste as adsorbent heavy metals. Ecologica, 2015, 22, 78, 200-204.		paper	出版済み	

著作物数 5 件
公開すべきでない著作物 件

④その他の著作物（上記③以外）（総説、書籍など）

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ－おわりのページ		出版物の種類	発表済/in press/acceptedの別	特記事項

著作物数 0 件
公開すべきでない著作物 件

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要（コース目的、対象、参加資格等）、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項
27	環境影響評価野外調査実地研修：環境影響評価野外調査準備を問題なく円滑に進めることを目的とした．対象は，ボール鉱山冶金研究所研究員，参加資格：SATREPSメンバー，研修実施数：1（セルビア国ボール市），修了者数：5名	環境影響評価野外調査準備マニュアル	初心者が加わっても環境影響評価野外調査準備を問題なく円滑に進めることができるようになった．
27	機器分析実地基礎研修：XRF，XRD，ICP-MS，イオンクロマトグラフィー等環境影響評価試料を適正精度で測定するための基礎技術の習得を目的とした．対象は，ボール鉱山冶金研究所研究員，参加資格：SATREPSメンバー，研修実施数：1（2か月間，秋田，東京，草津），修了者数：2名	XRF，ICP-MS試料調製マニュアル	XRF および ICP-MSに関わる基本的試料調製法が文書形式で具体化され，実験方法が定まり今後の実験方法定着への基礎的準備がなされた．
27	リモートセンシング・GIS基礎研修：リモートセンシングやGISに関する基礎知識の習得と基礎的な技術の習得を目的とした．対象はボール鉱山冶金研究所研究員，参加資格：SATREPSメンバー，研修実施数1（セルビア共和国ボール市），修了者数：5名	リモートセンシング・GIS基礎マニュアル	リモートセンシングとGISに関する基礎的知識や技術が身に付き，汚染拡散分析が円滑に進めることができるようになった。
27	リモートセンシング・GIS初級研修：リモートセンシングやGISに関する初歩的な技術の習得を目的とした．対象はボール鉱山冶金研究所研究員，参加資格：SATREPSメンバー，研修実施数1（秋田，東京），修了者数：5名	リモートセンシング・GIS初級マニュアル	リモートセンシングとGISに関する初歩的な技術が身に付き，汚染拡散分析が円滑に進めることができるようになった。
27	実験マニュアルの開発（中和法）：対象はセルビア側の中和法グループリーダー，1名	中和実験標準化マニュアル	特に2段階中和法のための実験を標準化したもの。日－セ間で実験方法を統一し，結果の比較が可能となった。
27	実験マニュアルの開発（中和法）：対象はセルビア側の中和法グループリーダー，1名	鉄分析法（フェナントロリン法）マニュアル	現地での廃水中の2価鉄の分析が可能となった。
27	実験マニュアルの開発（加圧酸浸出法）：対象はセルビア側の加圧酸浸出グループ2名	加圧酸浸出装置（オートクレーブ）を用いた実験方法に関する標準化マニュアル	現地での加圧酸浸出実験の実施が可能となり、円滑に実験が遂行できるようになった。
28	中和法現地試験装置トレーニング（目的：装置の組立，運転，解体の習得，対象：MMI-Bor職員），参加者数：15名	中和法現地試験装置マニュアル	中和法現地試験装置の組立，運転，解体，保管がセルビア側のみで可能となった．

V. 成果発表等

（2）学会発表【研究開始～現在の全期間】（公開）

①学会発表（相手国側研究チームと連名）（国際会議発表及び主要な国内学会発表）

年度	国内/国際の別	発表者（所属）、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演/口頭発表/ポスター発表の別
26	国内学会	佐藤比奈子，石山大三，川原谷浩，柴山敦，増田信行（秋田大学），Z. Stevanovic and L. Obradovic,（MMI-Bor）：セルビア国ボール鉱山地域の鉱山廃水と河川水の重金属分布．資源地質学会第64回年会講演会，東京，2014, June（講演要旨集，p. 47）	ポスター発表
26	国際学会	B. Han, B. Altansukh, K. Haga (Akita Univ.), Z. Stevanovic, J. Radojka, R. Marcovic, L. Avramovic, L. Obradovic (MMI-Bor), Y. Takasaki, N. Masuda, D. Ishiyama and A. Shibayama (Akita Univ.): The investigation of copper recovery process from nine tailing by flotation and high pressure leaching. International Mineral Processing Congress (IMPC2014), Santiago, Chile, 2014, Oct. (Electronic report, 11 pages).	口頭発表
27	国際学会	B. Han, B. Altansukh, K. Haga (Akita Univ.), Z. Stevanovic, D. Urosevic, L. Avramovic (MMI-Bor), Y. Takasaki, N. Masuda, D. Ishiyama and A. Shibayama (Akita Univ.): Copper recovery from Bor mine tailing by beaker and pressure oxidation leaching. International October Conference (IOC2015), Bor, Serbia, 2015, Oct. 2nd.	口頭発表
27	国際学会	R. Marcovic (MMI-Bor), N. Masuda and M. Bessho (Akita Univ.), L. Avramovic, V. Gardic, S. Stankovic and Z. Sovrlic (MMI-Bor): Neutrarization of artificial acid mine drainage with different Cu, Al and Fe ions content. International October Conference (IOC2015), Bor, Serbia, 2015, Oct. 2nd.	口頭発表
27	国内学会	佐藤比奈子，石山大三，川原谷浩，柴山敦，増田信行（秋田大学），Z. Stevanovic and L. Obradovic（MMI-Bor）：セルビア国ボール鉱山地域の鉱山廃水と河川水の重金属の分布．あきた産学官連携フォーラム2015，秋田，2015, Nov. 25th.	ポスター発表
27	国内学会	柴山敦，韓百歳，芳賀一寿，高崎康志，別所昌彦，増田信行，石山大三（秋田大学），L. Avramovic, R. Jonovic and Z. Srevanovic: 浮選および加圧酸浸出を用いた選鉱尾鉱からのCu回収プロセスの検討．あきた産学官連携フォーラム2015，秋田，2015, Nov. 25th.	ポスター発表
27	国内学会	若狭幸（秋田大学），S. Đorđievski (MMI-Bor, Akita Univ.), L. Obradović（MMI-Bor），石山大三（秋田大学）：セルビアボール地域における河川水の水質と地形の関係，第5回同位体環境学シンポジウム，京都，2015, Dec. 25th.	ポスター発表

28	国内学会	S. Đorđievski (MMI-Bor, Akita Univ.), S. Wakasa(秋田大学), V. Marinkovic (MMI-Bor), K. Hirose (JSS), L. Obradovic (MMI-Bor): Distribution of tailing minerals deduced from remote sensing data in Bor mining area, east Sebia. Japan Geoscience Union Meeting 2016, Makuhari, Japan, 2016, May 22nd-26th.	ポスター発表
28	国内学会	S. Đorđievski (MMI-Bor, Akita Univ.), D. Ishiyama, Y. Ogawa, S. Wakasa, H. Sato (Akita Univ.), L. Obradović, V. Gardić, V. Marinković, J. Petrović and Z. Stevanović (MMI-Bor): Environmental evaluation of Bor mining area (east Serbia) for sustainable resource development based on geochemical maps. 資源地質学会第66回年会, 2016, Jun. 22th-24th.	ポスター発表
28	国内学会	L. Avramović, R. Jonović, D. Urošević (MMI-Bor), A. Shibayama, K. Haga, B. Han (Akita Univ.), Z. Stevanović, J. Petrović and R. Pantović: Process for Concentration of Copper from Mine Tailing by Flotation. XXIV International Conference ECOLOGICAL TRUTH ECO-IST '16, Vrnjačka Banja, Serbia, 2016, Jun. 12th-15th. (334-340).	ポスター発表
28	国際学会	K. Haga, B. Han, B. Altansukh, Y. Takasaki, N. Masuda, D. Ishiyama, A. Shibayama (Akita Univ.), Z. Stevanovic, R. Jonovic, L. Avramovic, D. Urosevic (MMI-Bor): Recovery of copper from mine tailing by pressure oxidation leaching and solvent extraction. The 48th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 2016, Sep. 28th-Oct. 1st. 180-183	ポスター発表
28	国際学会	S. Wakasa (Akita Univ.), V. Marinkovic (MMI-Bor), T. Takeda (JSS), S. Đorđievski (Akita Univ.), S. Nakamura, K. Hirose (JSS): Distribution of tailing deposit around Bor mine deduced from satellite images. The 48th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 2016, Sep. 28th-Oct. 1st. 200-203	ポスター発表
28	国際学会	D. Ishiyama (Akita Univ.), L. Obradović, V. Marinković (MMI-Bor), S. Đorđievski (MMI-Bor, Akita Univ.), H. Sato (Akita Univ.), V. Gardić, J. Petrović (MMI-Bor), H. Kawaraya, Y. Ogawa, N. Masuda, A. Shibayama(Akita Univ.) and Z. Stevanović (MMI-Bor): Recent advance of environmental evaluation on mining activity based on combination of different types of geochemical maps: An example in Bor mining area, Serbia. The 48th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 2016, Sep. 28th-Oct. 1st. 204-207	口頭発表
28	国際学会	R. Marković, D. Božić, V. Marjanović, V. Gardić (MMI-Bor), N. Masuda, M. Bessho (Akita Univ.), B. Jugović (Akita Univ.): Acid mine drainage treatment through a two-step neutralization process with slaked lime. The 48th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 2016, Sep. 28th-Oct. 1st. (253-256).	ポスター発表

28	国内学会	R. Marković, V. Marjanović, D. Božić (MMI-Bor), N. Masuda (Akita Univ.), S. Stanković, Z. Stevanović and B. Jugović (MMI-Bor): Polyacrykamide flocculants for solid particles setting in neutralization process of mine water. The 48th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 2016, Sep. 28th-Oct. 1st. (249-252).	ポスター発表
28	国内学会	Z. Sovrlić, T. Urošević, R. Marković, T. Apostolovski Trujić, R. Kovačević (MMI-Bor), K. Haga, N. Masuda (Akita Univ.): Concentrations of anions and cations in the waste water in bor municipality in different weather conditions. The 48th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 2016, Sep. 28th-Oct. 1st. (347-350).	ポスター発表
28	国内学会	若狭幸，石山大三（秋田大学），L. Obradović， V. Marinkovic， V. Gardić（MMI-Bor）， S. Đorđievski，佐藤比奈子（秋田大学）：セルビア共和国東部の二つの鉱山を上流に持つ隣接する流域の地形特性と水質について．日本地形学連合秋季大会，東京，2016, Oct. 8th-9th.	ポスター発表
28	国際学会	R. Marković (MMI-Bor), M. Bessho (Akita Univ.), M. Dimitrijević (TF-Bor), D. Božić, Z. Stevanović (MMI-Bor), A. Shibayama (Akita Univ.) and S. Yokoo (Akita Univ.): Adsorption of copper ions using cross-linked gelatin hydrogels. XI International Symposium on Recycling Technologies and Sustainable Development 2016, Bor, Serbia, Nov. 2nd-4th. (30-35).	招待講演
28	国内学会	V. Gardić (MMI-Bor), Y. Ogawa (Akita Univ.), T. Apostolovski Trujić (MMI-Bor), D. Ishyama (Akita Univ.), Z. Stevanović, R. Marković, J. Petrović, S. Đorđievski and J. Sokolović (MMI-Bor): Application of sequential extraction procedure for detemination of extractable arsenic contents in river sediment.XI International Symposium on Recycling Technologies and sustainable Development, Bor, Serbia, 2016, Nov. 2nd-4th. (106-110).	口頭発表
28	国内学会	L. Avramović, R. Jonović, M. Bugarin (MMI-Bor), A. Shibayama, K. Haga, B. Han (Akita Univ.), R. Marković and M. Jovanović (MMI-Bor): Copper recovery process from the bor mine tailings by high pressure leaching, XI International Symposium on Recycling Technologies and sustainable Development, Bor, Serbia, 2016, Nov. 2nd-4th. (240-247).	口頭発表
28	国内学会	D. Urošević, L. Avramović, R. Jonović (MMI-Bor), A. Shibayama, K. Haga, B. Han (Akita Univ.), Z. Stevanović and J. Petrović (MMI-Bor): Testing the re-flotation process of tailings from the old bor flotation tailing dump. XI International Symposium on Recycling Technologies and Sustainable Development, Bor, Serbia, 2016, Nov. 2nd-4th. (184-190. ISBN 978-86-6305-051-8).	ポスター発表

28	国内学会	J. Petrović (MMI-Bor), D. Ishiyama (Akita Univ.), V. Gardić, M. Milivojević, R. Jonović and L. Avramović (MMI-Bor): Examples of gold practice ecoindustrial parks. XI International Symposium on Recycling Technologies and Sustainable Development, Bor, Serbia, 2016, Nov. 2nd-4th. (262-268. ISBN 978-86-6305-051-8).	口頭発表
28	国内学会	V. Gardić (MMI-Bor), Y. Ogawa (Akita Univ.), T. Apostolovski Trujić (MMI-Bor), D. Ishyama (Akita Univ.), Z. Stevanović, R. Marković, J. Petrović, S. Đorđievski and J. Sokolović (MMI-Bor): Application of sequential extraction procedure for determination of extractable arsenic contents in river sediment. XI International Symposium on Recycling Technologies and Sustainable Development, Bor, Serbia, 2016, Nov. 2nd-4th. (106-110. ISBN 978-86-6305-051-8).	口頭発表
28	国際学会	N. Masuda, D. Ishiyama, A. Shibayama, M. Bessho, K Haga, and S. Wakasa (Akita Univ.), Z. Stevanovic, L. Obradovic, L. Avramovic, and R. Marcovic (MMI-Bor): An international cooperative research project to solve environmental problems by integrating multiple disciplines in copper mining areas in Serbia. Copper 2016, Kobe, 2016, Nov. 15th.	口頭発表
28	国内学会	S. Nakamura (JSS), S. Stojanov (MMI-Bor), K. Hirose, T. Takeda (JSS), S. Wakasa (Akita Univ.) and V. Marinković (MMI-Bor): GIS Data Sharing System for Sustainable Resource Development in Bor, Serbia. The 26th Symposium on Geo-Environments and Geo-Technics, Tokyo, 2016, Nov. 25th-26th.	口頭発表
28	国際学会	J. Petrović, S. Đorđievski, D. Ishiyama, T. Urošević, M. Milivojević, Z. Sovrlić, M. Jovanović, Preliminary results of the geochemical mapping of eastern Serbia- examples of pH, Fe AND As. V International Congress "Engineering, Environment and Materials in Processing Industry", Bosnia and Herzegovina, 2017, Mar. 15th-17th. (p. 1659-1665)	ポスター発表
29	国際学会	V. Gardić, R. Marković, N. Masuda, R. Kovačević, Z. Stevanović, B. Jugović, M. Gvozdenović, Characterization of neutralisation sludge in a zero-waste-perspective". In 44th International Conference of the Slovak Society of Chemical Engineering, 2017, Jun. 22-26th, Demänovskádolina, Slovakia, (Po-We-4, 149.pdf), p. 621-624.	ポスター発表
29	国際学会	M. Bessho (Akita Univ.), R. Markovic (MMI-Bor), T. A. Trujic (MMI-Bor), D. Bozic (MMI-Bor), N. Masuda (Akita Univ.), Z. Stevanovic (MMI-Bor): Removal of Dissolved Metals from Acid Wastewater Using Organic Polymer hydrogels. 13th International Mine Water Association Congress, Lappeenranta, FINLAND, 2017, Jun 25th-30th	口頭発表

29	国際学会	S. A. Wakasa, D. Ishiyama (Akita Univ), T. Takeda (JSS), S. Dordievski (Akita Univ.), K. Hirose (JSS), L. Obradovic, V. Marinkovic, V. Gardic (MMI-Bor), Comparative analysis of waste material distribution between remote sensing data and geochemical map. 13th International Mine Water Association Congress, Lappeenranta, Finland, 2017, June. 25th-30th.	口頭発表
29	国際学会	N. Masuda (Akita Univ.), R. Markovic (MMI-Bor), M. Bessho (Akita Univ.), D. Bozic, Lj. Obradovic, V. Marinkovic (MMI-Bor), D. Ishiyama (Akita Univ.), Z. Stevanovic (MMI-Bor), A mew approach to recover dissolved metals in AMD by two-step pH control on the neutralization method. 13th International Mine Water Association Congress, Lappeenranta, Finland, 2017, June. 25th-30th.	ポスター発表
29	国内学会	S. Đorđievski, D. Ishiyama, Y., Ogawa, H., Sato, S. Wakasa, Lj. Obradović, V. Marinković, V. Gardić, J. Petrović and Z. Stevanović, Variation of chemical forms of metals in rivers from Bor mining area to Danube River. 資源地質学会, 東京, 2017, Jun. 21-23, 第67回年会講演会講演要旨集, p. 48.	口頭発表
29	国内学会	佐藤比奈子, S. Đorđievski, 石山大三, 川原谷　浩, 若狭　幸, Lj. Obradović, V. Marinković, V. Gardić, J. Petrović, and Z. Stevanović, セルビア国ボール鉱山地域の河川水と堆積物のバックグラウンド値と異常値の特徴, 資源地質学会, 東京, 2017, Jun. 21-23., 第67回年会講演会講演要旨集, p. 103.	ポスター発表
29	国際学会	M. Bessho (Akita Univ.), R. Markovic (MMI-Bor), T. A. Trujic (MMI-Bor), D. Bozic (MMI-Bor), N. Masuda (Akita Univ.), Z. Stevanovic (MMI-Bor): Recovery of Copper from Aqueous Solution Using Various Cross-linked Gelatin Hydrogels,The 49th International October Conference on Mining and Metallurgy, 2017, Oct 18th-21st	口頭発表
29	国内学会	V. Gardić, R. Marković, N. Masuda, J. Petrović, S. Đorđievski, J. Sokolović, D. Božić, Sludge leachability after lime neutralization of acid mine drainage from Saraka and Robule locations. XII International Symposium on Recycling Technologies and sustainable Development, Bor, Serbia, 2017, Sep. 13-15, p. 223-228.	口頭発表
29	国内学会	L. Avramović, R. Jonović, R. Marković, A. Shibayama, K. Haga, B. Han, D. Urošević, Separation of Copper and Iron Using LIX-984N by the Solvent Extraction. XII International Symposium on Recycling Technologies and sustainable Development, Bor, Serbia, 2017, Sep. 13-15, pp. 237-242.	口頭発表

29	国内学会	D. Božić, R. Marković, N. Masuda, V. Gardić, Z. Stevanović, Lj. Obradović, M. Bessho, Metal losses caused by Acid Mine Drainage. 49th IOC on Mining and Metallurgy, Bor Lake, Bor, Serbia, 2017, Oct. 18– 21th, p. 354–357.	ポスター発表
29	国内学会	若狭幸 (秋田大学), V. Marinković (MMI-Bor), 歴史的鉱山が環境や地形に与える影響について. 日本地形学連合秋季大会, 福岡, 2017, Dec. 2–3.	ポスター発表
30	国際学会	Daizo Ishiyama, Nobuyuki Masuda, Atsushi Shibayama, Zoran Stevanović, Ljubiša Obradović, Vladan Marinkovic, Radmila Markovic, Ljiljana Avramovic, Vojka Gardic (2018): An approach to find advanced methods for solution of problems related mining activities in Bor mining area, Serbia. Proceedings of 50th International October Conference on Mining and Metallurgy, 3–8, October 1, 2018, Bor, Serbia.	口頭発表
30	国際学会	Zoran Stevanovic, Daizo Ishiyama, Nobuyuki, masuda, Atsushi, Shibayama, Vladan Marinković, Radmila Markovic and Ljiljana Avramović (2018): Mining integrated sustainability. Proceedings of International SATREPS conference, Mining and Environment in Future, 7–14, October 1, 2018, Bor, Serbia.	口頭発表
30	国際学会	Daizo Ishiyama, Yasumasa Ogawa, Stefan Đorđievski, Nobuyuki Masuda, Atsushi Shibayama, Zoran Stevanović and Ljubiša Obradović (2018): Significance of integrated researches based on the environmental evaluation and metal recovery from mining waste materials with special reference to the role of environmental evaluation. Proceedings of International SATREPS conference, Mining and Environment in Future, 15–20, October 1, 2018, Bor, Serbia.	口頭発表
30	国際学会	Stefan Đorđievski, Daizo Ishiyama, Yasumasa Ogawa, Zoran Stevanović, Ljubiša Obradović, Milan Jovanović (2018): Fluvial transport of flotation tailings and chemically precipitated metals from Bor copper mines toward the Danube River. Proceedings of International SATREPS conference, Mining and Environment in Future, 21–26, October 1, 2018, Bor, Serbia.	口頭発表
30	国際学会	Sachi WAKASA, Kazuyo HIROSE, Vladan Marincović, Sasa Stojanov, Tomomi TAKEDA and Shinsaku NAKAMURA (2018): Remote sensing work in Bor mine area supported by SATREPS project. Proceedings of International SATREPS conference, Mining and Environment in Future, 27–32, October 1, 2018, Bor, Serbia.	口頭発表

30	国際学会	Vladan Marinković, Sachi Wakasa, Kazuyo Hirose, Tomomi Takeda and Shinsaku Nakamura (2018): Methods of creation of ortophoto images and precise 3D terrain models using unmanned aerial vehicles. Proceedings of International SATREPS conference, Mining and Environment in Future, 33-38, October 1, 2018, Bor, Serbia.	口頭発表
30	国際学会	Ljiljana Avramović, Radojka Jonović, Zoran Stevanović, Daniela Urošević, Silvana Dimitrijević, Atsushi Shibayama, Kazutoshi Haga, Yasushi Takasaki and Baisui Han (2018): Beaker leaching and high pressure leaching of flotation tailings. Proceedings of International SATREPS conference, Mining and Environment in Future, 39-44, October 1, 2018, Bor, Serbia.	口頭発表
30	国際学会	Yasushi Takasaki, Baisui Han, Labone Godirilwe, Kazutoshi Haga, Atsushi Shibayama, Ljiljana Avramovic, Radojka Jonovic, Zoran Stevanovic and Silvana Dimitrijevic (2018): Copper recovery from tailings by High pressure leaching-Solvent extraction-Electrowinning process. Proceedings of International SATREPS conference, Mining and Environment in Future, 45-50, October 1, 2018, Bor, Serbia.	口頭発表
30	国際学会	Radmila Markovic, Nobuyuki Masuda, Zoran Stevanovic, Masahiko Bessho, Dragana Bozic, Tatjana Apostolovski Trujic and Vojka Gardic (2018): Metals recovery from acid mine drainage by combination process of neutralization and adsorption methods. Proceedings of International SATREPS conference, Mining and Environment in Future, 51-56, October 1, 2018, Bor, Serbia.	口頭発表
30	国際学会	Dejan Tanikic, Nada Strbac, Grozdanka Bogdanovic and Milan Radovanovic (2018): SATREPS project activities at Technical Faculty in Bor in period 2014-2018. Proceedings of International SATREPS conference, Mining and Environment in Future, 57-62, October 1, 2018, Bor, Serbia.	口頭発表
30	国内学会	石山大三・増田信行・Z. Stevanovic・柴山敦・佐藤比奈子・川原谷浩・若狭幸(2018):セルビア国ボール鉱山地域での環境解析と金属回収のシステム化と環境修復への仕組み作り. 日本資源地質学会第68回年会講演会講演要旨集, P. 105, 東京大学, 6月27日～29日.	ポスター発表
30	国内学会	若狭幸, V. Marinković(2018):鉱山活動によって人工的に改変された地形の変化量の測定:セルビア共和国ボール鉱山の例. 日本地球惑星科学連合2018年大会, 幕張メッセ, 2018年5月	口頭発表

30	国内学会	若狭幸, V. Marinković（2018）:セルビアボール鉱山からの流出廃棄物が作る地形. 日本地形学連合2018年度秋季大会（防災科学研究所）2018年11月	口頭発表
30	国際学会	Jelena Petrović, Slađana Alagić, Mile Dimitrijević, Mile Bugarin,Mirjana Šteharnik, Marija Milivojević, ″The content of heavy metals in shoots of common reed differently sumerged in Lake Robule″, The 50th International October Conference on Mining and Merallurgy, Bor Lake, Serbia, 2018 September 30th–October 3nd, pp 367–370 (2018), Proceedings, https://ioc.irmbor.co.rs	ポスター発表
30	国際学会	Đorđievski S, Ishiyama D, Ogawa Y, Stevanović Z, Spatial Distribution and Mobility of Elements in River Water and River Bed Sediments from Eastern Serbia, Goldschmidt 2018, 623, August 16, 2018, Boston, USA.	ポスター発表
30	国際学会	Ogawa Y, Ishiyama D, Đorđievski S, Saini-Eidukat B, Wood S, Gammons C, The Fate of Heavy Metals in Acidic Rivers and Sedimentation Mechanism, Goldschmidt 2018, 1908, August 16, 2018, Boston, USA.	ポスター発表
R1	国内学会	D. Adamović(Akita Univ./MMI-Bor, Serbia), D. Ishiyama, H. Kawaraya, Y.Ogawa(Akita Univ.) Geochemical characteristics of groundwater along of Bor and Bela Rivers polluter by AMD from Bor mining area	ポスター発表
R1	国内学会	石山大三, 増田信行, Z. Stevanović(MMI-Bor), 柴山敦, 佐藤比奈子, 川原谷浩, 小川泰正, 広瀬和世(JSS), S. Đorđievski, V. Gardić(MMI-Bor) セルビア国ボール鉱山地域での環境修復のための環境解析と金属回収無害化技術のシステム化	ポスター発表
R1	国際学会	Dragana Bozić, Nobuyuki Masuda, Radmila Marković, Masahiko Bessho, Zoran Stevanović: How is the problem of acid mine drainage of the closed matsuo mine solved in japan, XIII International Mineral Processing and Recycling Conference (XIII MPRC), 08–10 May 2019, in Belgrade, Proceedings 530–534, (2019), Editors: Grozdanka Bogdanović, Milan Trumić	ポスター発表
R1	国際学会	Nobuyuki Masuda, Radmila Marković, Dragana Bozić, Masahiko Bessho, Toshio Inoue, Koji Hoshino, Daizo Ishiyama, Zoran Stevanović, 'Experiment Results of Metal Recovery by a Two- Step Neutralization Process on AMD from a Copper Mine in Serbia', IMWA 2019, Rerm Russia, 15–19 July, 2019	口頭発表

R1	国際学会	Masahiko Bessho, Radmila Marković, Tatjana Apostolovski Trujić, Nobuyuki Masuda, Dragana Bozić, Zoran Stevanović, 'Recovery of Metals from Acid MineDrainage Using Organic Polymer', IMWA 2019, Rerm Russia, 155-160 July, 2019	ポスター発表
R1	国内学会	別所 昌彦、石山 大三、柴山 敦、増田 信行、Zoran Stevanović, 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～セルビアにおける SATREPSプロジェクト～　資源・素材 2019秋季大会（京都）、京都大学、2019年9月	口頭発表

招待講演	1	件
口頭発表	30	件
ポスター発表	28	件

②学会発表（上記①以外）（国際会議発表及び主要な国内学会発表）

年度	国内/ 国際の別	発表者（所属）、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
26	国内学会	別所昌彦（秋田大学）：天然高分子化合物より調製された架橋ハイドロゲルに関する研究事例について．日本化学会東北支部講演会，秋田大学，2014，Dec.19th.	招待講演
26	国内学会	石山大三（秋田大学）：環境解析と高度金属回収による持続可能な資源開発の研究（SATREPS国際共同研究）．秋田大学国際資源学教育研究センター第9回国際シンポジウム，東京，2015，Mar. 4th.	招待講演
26	国際学会	A. Shibayama, B. Altansukh and K. Haga (Akita Univ.): Investigation of copper recovery from low-grade silicate-copper ore by flotation and leaching. International Mineral Processing Congress (IMPC2014), Santiago, Chile, 2014, Oct.	口頭発表
26	国内学会	韓百歳，バトナサン　アルタンスック，芳賀一寿，柴山敦（秋田大学）：浮選による低品位銅鉱石からの銅回収条件の検討．資源・素材2014，熊本，2014，Sep. 15th-17th.	口頭発表
27	国際学会	M. Mikić, M. Ljubojev, D. Kržanović, I. Jovanović and D. Urošević (MMI-Bor): Overview of zone monitoring of flotation tailing dump Veliki Krivelj, Serbia. 24th INTERNATIONALMINING CONGRESS OF TURKEY, Antalya, Turkey, 2015, Apr. 14th-17th, (Proceedings, 1486-1491).	ポスター発表
27	国際学会	N. Strbac, A. Mitovski, M. Sokic, D. Zivkovic, D. Manasijevic, L. Balanovic and M. Gorgievski (MMI-Bor): The possibilities for organic waste use as heavy metals adsorbent. International Scientific Conference on the Environment and Adaptation of Industry to Climate Change, Beograd, Serbia, 2015, Apr. 22th-24th, (Book of Abstracts, 178).	ポスター発表
27	国内学会	若狭幸（秋田大学）：セルビア国ボール鉱山周辺の地形解析―環境負荷評価へ向けての基礎的研究―．日本惑星科学連合2015年大会，幕張メッセ，2015，May 24th-28th.	ポスター発表
27	国際学会	V. Gardic, R. Markovic and L. Obradovic (MMI-Bor): Immobilization of toxic metals from mining waste. 42nd international conference of SSCHE, Slovak Society of Chemical Engineering, Institute of Chemical and Environmental Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava, Tatranské Matliare, Slovakia, 2015, May. 25th-29th, (Proceedings, 910-913).	ポスター発表

27	国際学会	R. Markovic, V. Gardic, L. Obradovic, Z. Stevanovic and S. Djordjievski (MMI-Bor): Purification of acid mine drainage using natural zeolite. 42nd International Conference of SSCHE, Slovak Society of Chemical Engineering, Institute of Chemical and Environmental Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava, Tatranské Matliare, Slovakia, 2015, May 25th-29th, (Proceedings, 576-580).	ポスター発表
27	国際学会	M. Gorgievski, N. Strbac, D. Bozic and V. Stankovic (MMI-Bor): The adsorption of Cu^{2+} and Ni^{2+} ions from synthetic solutions using low cost biosorbent wheat straw. XXIII International Conference "Ecological Truth" ECO-IST, Kopaonik, Serbia, 2015, Jun. 17th-20th, (Proceedings, 343-348).	口頭発表
27	国際学会	M. Antonijevic, S. Milic, M. Petrovic, M. Radovanovic, A. Stamenkovic and Z. Tasic (MMI-Bor): Influence ofpotassium sorbate on electrochemical behavior of copper in sulfuric acid medium. XXIII International Conference Ecological Truth, Eco-Ist'15, 2015, Belgrade, serbia, Jun.17th-20th, (Proceedings, 233-239).	口頭発表
27	国際学会	M. Antonijevic, G. Bogdanovic, S. Velizar, A. Dejan, M. Dragan and M. Darko (MMI-Bor): Acid leaching of copper from mining waste dump. XVI Balcan Mineral Processing Congres, Mining Institute Belgrade, Academy of Engineering Science of Serbia, 2015, Belgrade, Serbia, Jun.17th-19th, (Proceedings, 895-900).	口頭発表
27	国際学会	G. Bogdanovic, M. Antonijevic (MMI-Bor): Acid leaching of copper from Mining-Waste Dump. XVI Balkan Mineral Processing Congress, Belgrade, Serbia, 2015, Jun.17th-Jun.19th, (Proceedings, 895-900).	口頭発表
27	国内学会	韓百歳，バトナサン アルタンスック，芳賀一寿，高崎康志，柴山敦(秋田大学)：Effect of pyrite on the copper leaching from chalcopyrite by pressure oxidation leaching. 日本素材物生学会 平成27年度 (第25回) 年会，秋田，2015, Jun. 25th.	口頭発表
27	国際学会	D. Ishiyama, H. Kawaraya, H. Sato, S. Wakasa (Akita Univ.), K. Shin and T. Nakano (地球研): New approach of geochemical maps based onchemical composition s of river waterand sediments. International October Conference (IOC2015), Bor, Serbia, 2015, Oct. 2nd	招待講演
27	国際学会	N. Masuda: Sustainable development-experience of Japanese mining industry. International October Conference (IOC2015), Bor, Serbia, 2015, Oct. 2nd.	口頭発表
27	国際学会	V. Gardic, R. Jonovic, R. Markovic and L. Obradovic (MMI-Bor): Sampling and analysis plan of soil in the Bor river coastal area. The 47th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 2015, Oct. 4th-6th, (Proceedings, 435-438).	ポスター発表

27	国際学会	L. Avramovic, R. Jonovic, M. Bugarin and V. Gardic (MMI-Bor): Physico-chemical caracterization of soil contaminated by mine waste in the valley of Bor river. The 47th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 2015, Oct. 4th-6th, (Proceedings, 449-454).	ポスター発表
27	国際学会	L. Avramovic, R. Jonovic, M. Bugarin, and R. Markovic (MMI-Bor): SX-EW treatment of solution obtained after acid leaching, RTB Bor flotation tailing. MME SEE, Metallurgical and Materials Engineering Congress of Sout-East Europe, Serbia, 2015, Jun.3rd-6th, (Proceedings, 327-333).	ポスター発表
27	国際学会	S. Đorđievski, J. Petrovic, V. Krstic, R. Markovic, Z. Stevanovic, V. Gardic, M. Milivojevic (MMI-Bor): Mineralogical and chemical characterization of waste rock sample from "Ostreljski Planir" Bor. The 47th International October Conference on Mining and Metallurgy, 2015, Bor, Serbia, Oct. 4th-6th, (Proceedings, 63-66).	ポスター発表
27	国際学会	R. Jonovic, Z. Stevanovic, L. Avramovic, R. Kovacevic and J. Petrovic (MMI-Bor): The influence of polluted environmental of the Bor region on the quality of plants. The 47th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 2015, Oct. 4th-6th, (Proceedings, 455-458).	ポスター発表
27	国際学会	M. Mikić, M. Maksimović, M. Jovanović and D. Kržanović (MMI-Bor): Review of impact on the enviroment of the open pit mine south district-Majdanpek. The 47th International october conference on mining and metallurgy, Bor, Serbia, 2015, Oct.4th-6th, (Proceedings, 83-86).	ポスター発表
27	国際学会	D. Bozic, N. Srbac, M. Gorgievski and V. Stankovic (MMI-Bor): Adsorption of copper and nickel ions onto beech sawdust as an adsorbent. 47th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 2015, Oct. 4th-6th, (Proceedings, 379-382).	口頭発表
27	国際学会	G. Bogdanovic, V. Stankovic, D. Antic and D. Milicevic (MMI-Bor): Out-of-balance copper ores leaching – a case study for the ore deposit Kraku Bugaresku. The 47th International October Conference on Mining and Metallurgy, Mining and Metallurgy Institute Bor, Bor, Serbia, 2015, Oct. 4th-6th, (Proceedings, 141-148).	口頭発表

27	国際学会	R. Kovacevic and T. Apostolovski Trujic (MMI-Bor): The assessment of PM levels in the town library in Bor, Serbia. The 5th International WeBIOPATR Workshop & Conference Particulate Matter: Research and Management WeBIOPATR2015 Abstracts of Keynote Invited Lectures and Contributed Papers, Belgrade, Serbia, 2015, Oct.14th-16th, (Book of Abstract, 72).	ポスター発表
27	国際学会	R. Kovacevic and T. Apostolovski Trujic (MMI-Bor): The influence of human activities on PM levels in the apartments in Bor, Serbia. The 5th International WeBIOPATR Workshop & Conference Particulate Matter: Research and Management WeBIOPATR2015 Abstracts of Keynote Invited Lectures and Contributed Papers, Belgrade, Serbia, 2015, Oct.14th-16th, (Book of Abstract, 70).	ポスター発表
27	国際学会	R. Kovacevic (MMI-Bor): Assessment of public health risk associated with atmospheric exposure to particulate matter in the vicinity of RTB BOR copper smelter complex. The 5th International WeBIOPATR Workshop&Conference Particulate Matter: Research and Management WeBIOPATR2015 Abstracts of Keynote Invited Lectures and Contributed Papers, Belgrade, Serbia, 2015, Oct.14th-16th, (Book of Abstract, 29).	ポスター発表
27	国際学会	R. Kovacevic (MMI-Bor): PM levels and I/O ratios of PM in the school located in the Niš City Center, Serbia. COST Action TD1105 EuNetAir, Air Quality Monitoring and Calibration: Horizons in Sensing Technologies, Methods and Modelling, 2nd EuNetAir Air Quality Joint-Exercise Intercomparison, Belgrade, Serbia, 2015, Oct. 13th-14th, Booklet of Abstracts.	口頭発表
27	国際学会	M. Antonijevic, G. Bogdanovic, D. Antic and V. Stankovic (MMI-Bor): Kinetic and isotherm models for copper ions adsorption onto anthracite waste coal. X International Symposium on Recycling Technologies and Sustainable Development, University of Belgrade, Technical Faculty in Bor, Bor, Serbia, 2015, Nov.4th-7th, (Proceedings, 250-257).	口頭発表
27	国際学会	D. Zvkovic, M. Gorgievski, S. Serbula and N. Strbac, M. Sokic (MMI-Bor): Bibliometric analysis of recent achievements in waste waters treatment using biosorbents. 5th International Scientific Conference on Environmental and Material Flow Management, EMFM2015, Zenica, Bosnia and Herzegovina, 2015, Nov. 5th-7th, (Proceedings, 70-74).	ポスター発表
27	国際学会	M. Gorgievski, D. Bozic, V. Stankovic, N. Strbac and D. Zivkovic (MMI-Bor): Utilisation of wheat straw as biosorbent for the removal of Cu^{2+} and Pb^{2+} ions from synthetic solutions. X International Symposium on Recycling Technologies and Sustainable Development, Bor, Serbia, 2015, Nov. 4th-7th, (Proceedings, 74-79).	口頭発表

27	国際学会	M. Gorgievski, D. Bozic and D. Zivkovic (MMI-Bor): Analysis of Adsorption of Cu^{2+} and Pb^{2+} ions from synthetic solutions using wheat straw as an adsorbent. X International Symposium On Recycling Technologies And Sustainable Development, Bor, Serbia, Hotel "ALBO", 2015, Nov.4th-7th, (Proceedings, 71-74).	口頭発表
27	国内学会	石山大三, 川原谷浩, 佐藤祐美, 佐藤比奈子, 張建東, Pham Ngoc Can(秋田大学):秋田県の河川水の化学組成と同位体比の特徴. あきた産学官連携フォーラム2015, 秋田, 2015, Nov.25th.	ポスター発表
27	国内学会	韓百歳, バトナサン アルタンスック, 芳賀一寿, 高崎康志, 柴山敦(秋田大学): Copper recovery from mine tailing by a combined method of froth flotation and pressure oxidation leaching. 秋田大学大学院工学資源学研究科産学官連携推進協議会, 秋田大学大学院博士課程教育リーディングプログラム, 秋田大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー 合同フォーラム, 秋田, 2016, Feb. 19th.	ポスター発表
27	国内学会	Z. Stevanovic (MMI-Bor): Mining wastes in scope of RTB-Bor. 秋田大学大学院工学資源学研究科産学官連携推進協議会, 秋田大学大学院博士課程教育リーディングプログラム, 秋田大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー 合同フォーラム, 秋田, 2016, Feb. 19th.	口頭発表
27	国内学会	D. Milovanovic (Univ. Belgrade): Geology and mineral resources of Eastern Serbia. 秋田大学大学院工学資源学研究科産学官連携推進協議会, 秋田大学大学院博士課程教育リーディングプログラム, 秋田大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー 合同フォーラム, 秋田, 2016, Feb. 19th.	口頭発表
27	国内学会	D. Ishiyama (秋田大学): Research to Sustainable Resources Development: Approach from Environment Analysis and Advanced Metal Recovery. 秋田大学大学院工学資源学研究科産学官連携推進協議会, 秋田大学大学院博士課程教育リーディングプログラム, 秋田大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー 合同フォーラム, 秋田, 2016, Feb.19th.	口頭発表
27	国内学会	G. Bogdanovic (TF-Bor, Univ. Belgrade): Presentation at activities of Technical faculty in Bor. Workshop of Serbian SATREPS group. 秋田大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー, 2016, Feb. 19th.	口頭発表
28	国際学会	N. Masuda (Akita Univ.): Regal provisions and technologies applied to the environment issues on mining in japan. The 48th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 2016, Sep. 29th. 7-10	招待講演

28	国際学会	M. Bessho (Akita Univ.): Recovery of silica supersaturated in geothermal water by natural organic polymer. The 48th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 2016, Sep.28th–Oct.1st. 228–231	口頭発表
28	国際学会	S. Đorđievski, M. Milivojević, J. Đorđević, J. Petrović, R. Jonović, L. Avramović and R. Marković (MMI–Bor): Heavy metals and arsenic in soil, weat and corn from municipality of Bor, Serbia. The 48th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 2016, Sep.28th–Oct.1st. (323–326).	ポスター発表
28	国際学会	T. Urošević, Z. Sovrlić, N. Petrović, I. Svrkota, R. Marković, M. Milivojević and J. Petrović (MMI–Bor): Citrus fruits peels as biosorbent for sorption heavy metals, copper and zinc. The 48th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia, 2016, Sep.28th–Oct.1st. (331–334).	ポスター発表
28	国際学会	D. Mrdenovic, M. Miletic–Svircev (TF–Bor, Belgrade Univ.), T. Ishiguro, S. Uchiya, K. Koizumi, C. Shimizu, K. Yoshino, S. Ishida, K. Echigoya, H. Sato, K. Jin (Akita Univ.), D. Marilovic and M. Boskovic (TF–Bor, Univ. Belgrade): Characterization of water streams in Bor mining area. Abstract of 3rd International Student conference on Technical Science, Bor, Serbia, 2016, Sep. 28th–Oct. 1st., 3. (Mentors: D. Ishiyama (Akita Univ.) and G. Bogdanovic (TF–Bor, Univ. Belgrade)).	口頭発表
28	国際学会	D. Marilovic, M. Boskovic, D. Mrdenovic, M. Miletic–Svircev (TF–Bor, Univ. Belgrade), T. Ishiguro, S. Uchiya, K. Koizumi, C. Shimizu, K. Yoshino, S. Ishida, K. Echigoya, H. Sato, K. Jin (Akita Univ.): The impact of mining activities on the quality of river in Bor mining area. Abstract of 3rd International Student conference on Technical Science, Bor, Serbia, 2016, Sep. 28th–Oct. 1st., 4. (Mentors: D. Ishiyama (Akita Univ.) and G. Bogdanovic (TF–Bor, Univ. Belgrade)).	口頭発表
28	国際学会	B. Han, B. Altansukh, K. Haga, Y. Takasaki and A. Shibayama (Akita Univ.): Copper recovery from low–grade copper ore using a combination process of flotation and high–pressure leaching. International Mineral Processing Conference 2016 (IMPC Mongolia 2016), Mongolia, 2016, Oct.20th–21th.	口頭発表
28	国際学会	B. Han, B. Altansukh, K. Haga, Y. Takasaki and A. Shibayama (Akita Univ.): The copper recovery from mine tailings using flotation and high–pressure leaching. 5th international doctoral symposium. Sapporo, Japan, 2016, Nov. 9th–11th.	口頭発表

28	国際学会	K. Haga and S. Wakasa (Akita Univ.): Introduction of current research related environmental analysis and metal recovery in AkitaUniversity. 5th international doctoral symposium,Sapporo, Japan, 2016, Nov. 9th–11th.	招待講演
28	国内学会	若狭　幸(秋田大学):夢と情熱の充実研究者ライフ！？若手研究者へのキャリアパスミニシンポジウム, 弘前大学, 2017, Jan. 20th.	招待講演
28	国内学会	石山大三(秋田大学):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. 秋田大学・京都大学SATREPS, 資源素材学会探査工学部門委員会・陸海資源探査委員会合同ワークショップ, 京都大学, 2017, Mar. 3rd.	招待講演
28	国内学会	若狭幸(秋田大学):鉱山地域における地形学的研究例. 秋田大学・京都大学SATREPS, 資源素材学会探査工学部門委員会・陸海資源探査委員会合同ワークショップ, 京都大学, 2017, Mar. 3rd.	招待講演
28	国内学会	広瀬和世(JSS):リモートセンシングによる鉱山廃さいの抽出技術. 秋田大学・京都大学SATREPS, 資源素材学会探査工学部門委員会・陸海資源探査委員会合同ワークショップ, 京都大学, 2017, Mar. 3rd.	招待講演
28	国際学会	M. Milivojević, Z. Sovrlić, D. Đorđević, N. Krstić, T. Urošević, J. Petrović, M. Jovanović, S. Đorđievski, V. Grdić. Impact assessment of mine drainage water and municipal waste water on the surface water in the vicinity of Bor. V International Congress “Engineering, Environment and Materials in Processing Industry“, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 2017 Mar. 15th–17th, p 897–903.	ポスター発表
28	国際学会	M. Milivojević, Z. Sovrlić, D. Đorđević, N. Krstić, T. Urošević, J. Petrović, M. Jovanović, S. Đorđievski, Optimization method (XRD) determining makro elements in samples of river sediments. V International Congress “Engineering, Environment and Materials in Processing Industry“ Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 2017, Mar. 15th–17th, p 508–516.	ポスター発表
28	国際学会	J. Petrović, M. Milivojević, Z. Sovrlić, T. Urošević, I. Svrkota, M. Jovanović, S. Đorđievski, Analysis of powdery samples with X–ray diffraction. V International Congress “Engineering, Environment and Materials in Processing Industry“ Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 2017, Mar. 15th–17th, p 499–507.	ポスター発表

28	国内学会	若狭　幸(秋田大学), 広瀬和世(JSS), 石山大三(秋田大学):セルビア共和国東部ボール鉱山周辺の地表面物質分類. 資源素材学会2017年春季大会, 千葉工業大学, 2017, Mar. 27-29th.	口頭発表
29	国際学会	M. Bessho (Akita Univ) Recovery of metals from mine wastewater by adsorption method: Scientific meeting at Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy, University of Belgrade 2017, May. 19th.	招待講演
29	国際学会	Q. M. Pham, D. Ishiyama (Akita Univ), Y. Ogawa (Akita Univ) and M. Fukuyama, Transport and speciation of trace metals in Tama-Omono River System in Akita Prefecture, Japan. Goldschmidt Conference, Paris, France,13-18 August, 2017, Theme 08f, 2081.	ポスター発表
30	国内学会	石黒卓哉・石山大三(2018):秋田県田沢湖の堆積物の岩相と地球科学的特徴. 日本資源地質学会第68回年会講演会講演要旨集, P. 104, 東京大学, 6月27日～29日.	口頭発表
30	国内学会	石山大三・内谷繁央・佐藤比奈子・千葉仁・松葉谷治(2018):秋田県玉川温泉大噴泉の温泉水の硫黄およびSr同位体比の特徴. 日本資源地質学会第68回年会講演会講演要旨集, P. 104, 東京大学, 6月27日～29日.	口頭発表
30	国際学会	Đorđievski S, Ishiyama D, Ogawa Y (Akita Univ), Stevanović Z (MMI-Bor) (2018): Spatial distribution and mobility of elements in river water and river bed sediments from eastern Serbia. Goldschmidt 2018, Boston, Abstract	ポスター発表
30	国際学会	Ogawa Y, Ishiyama D, Đorđievski S (Akita Univ), Saini-Eidukat B, Wood S (NDSU), Gammons C (Montana Tech): The Fate of Heavy Metals in Acidic Rivers and Sedimentation Mechanism. Goldschmidt 2018, Boston, Abstract	ポスター発表
R1	国内学会	O. Osenyeng, Y. Ogawa(Akita Univ.), S Wakasa (Hirosaki Univ.), K. Hirose(JSS) (2019): Risk assessment of heavy metals release and acidic formation by mine waste material in Bor mining area, Serbia 日本資源地質学会第98回年会講演会講演要旨集, P-14, 東京大学, 6月26日～28日.	ポスター発表
R1	国内学会	小川泰正, 石山大三(秋田大), S. Đorđievski, J. Petrović, M. Milivojević(MMI-Bor)(2019): 草津酸性温泉由来の有害元素の白砂川, 吾妻川硫化過程における地球科学的挙動 日本資源地質学会第69回年会講演会講演要旨集, P-48, 東京大学, 6月26日～28日.	ポスター発表

R1	国際学会	Y. Ogawa, D. Ishiyama (Akita Univ.), S. Đorđievski, J. Petrović, M. Milivojević(MMI-Bor): Effect of hydrous ferric and aluminum oxides for transport of As, Cd and Pb in the rivers acidicied by the Kusatsu thermal waters in Japan. Goldschmidt 2019, Baecelona, Abstract	ポスター発表
R1	国際学会	Nobuyuki Masuda, 'Sustainable Development – Experience of Japanese Industry and an International Cooperative Research Project in Serbia'. Seminar of Acid Mine Drainage, ITB Bandon Indonesia, 17-19 Septemver, 2019,	招待講演

招待講演	11 件
口頭発表	26 件
ポスター発表	28 件

V. 成果発表等

（3）特許出願【研究開始～現在の全期間】（公開）

①国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号（未登録は空欄）	登録日（未登録は空欄）	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する外国出願※
No.1													
No.2													
No.3													

国内特許出願数 件

公開すべきでない特許出願数 件

②外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号（未登録は空欄）	登録日（未登録は空欄）	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する国内出願※
No.1													
No.2													
No.3													

外国特許出願数 件

公開すべきでない特許出願数 件

V. 成果発表等
（4）受賞等【研究開始～現在の全期間】（公開）

①受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 （「○○の開発」など）	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 （選択）	特記事項
27	12月3日	平成27年度秋田大学優秀女性研究者	セルビアにおける研究その他	若狭　幸	秋田大学	2.主要部分が当課題研究の成果である	
28	10月21日	Best presentation award	Copper recovery from low-grade copper ore using a combination method of flotation and high pressure leaching.	B. Han, B. Altansukh, K. Haga, Y. Takasaki, A. Shibayama	IMPC-2016	2.主要部分が当課題研究の成果である	
28	10月25日	平成28年度「女性研究者支援コンソーシアムあきた賞」	セルビア共和国東部における銅鉱山による環境汚染の広域調査	若狭　幸	秋田県女性研究者支援ネット	1.当課題研究の成果である	

3 件

②マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係（選択）	特記事項
26	4月17日	鉄鋼新聞	科学技術振興機構14年度の国際技術協力課題　秋田大の鉱山開発など採択	P6	1.当課題研究の成果である	
26	5月7日	プレス発表	H26年度国際科学技術共同研究推進事業　地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)に秋田大学の研究が採択されました		1.当課題研究の成果である	
26	7月	秋田大学広報誌	SATREPSを通じての資源学国際研究交流	2頁目	1.当課題研究の成果である	
26	5月	秋田大学国際資源学教育研究センター報	SATREPSプロジェクト採択	P4	1.当課題研究の成果である	
26	2月	秋田大学国際資源学教育研究センター報	SATREPSプロジェクト採択	P3	1.当課題研究の成果である	
26	11月29日	Evening News, e-newspapaer	Traže bakar iz - svemira!		1.当課題研究の成果である	
26	11月30日	E-gate, e-newspaper	Traže bakar iz svemira - Japanski sateliti snimaju otpad iz rudnika između Bora i Majdanpeka		1.当課題研究の成果である	
26	1月1日	Stakeholder Engagement Management Consulting	Serbia mining: Japan Mindek to conduct full satellite search of copper in eastern Serbia		1.当課題研究の成果である	

27	6月4日	Press online, e-newspapar	Japanska pomoć za sanaciju rudarskog otpada u Boru		1.当課題研究の成果である	
27	12月4日	Media Center Bor, e-newspapaer	EKSKLUZIVNO: SVETSKI USPEH: Borski Institut i Japanci dobijaće bakar i gvožđe iz rudnič kog otpada i ostavljati čistu zemlju i zdravu vodu		1.当課題研究の成果である	
27	6月4日	Ministry of Mining and Energy, website	JICA NEW PROJECT – THE TERRITORY OF EASTERN SERBIAN		1.当課題研究の成果である	
27	11月27日	プレス発表	秋田大学教育文化学部附属中学校DOOR to a RESERCHER ～研究者との科学・技術対話～「セルビアでUAV空間環境解析！持続的な資源開発を可能に！！」を開催		2.主要部分が当課題研究の成果である	
28	11月15日	Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor	web presentation of MMI and Project E3	https://www.youtube.com/watch?v=85T4954CwBo	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
28	2017年2月21日	秋田魁新報	環境に配慮した鉱業を：現地研究者らセルビアの現状紹介		1.当課題研究の成果である	
29	2017年8月21日	Television Bor (Televizija Bor (TV Bor))	Bor地域でのSATREPSの研究意義と研究成果紹介	https://www.youtube.com/watch?v=bHov9Agyx8M&t=306s	1.当課題研究の成果である	
30	2019/1/15	プレス発表	セルビア共和国ボール鉱山地域における持続可能な資源開発へ向けたセルビア/日本パートナーシップによる取り組みに関する講演会を開催します		1.当課題研究の成果である	

16 件

V. 成果発表等

（5）ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始～現在の全期間】（公開）

①ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日	名称	場所 （開催国）	参加人数 （相手国からの招聘者数）	公開/ 非公開の別	概要
25	1月15日	第1回秋田大学グループ会議（非公	秋田大学	10名	非公開	SATREPS面接について
25	2月7日	第2回秋田大学グループ会議（非公	秋田大学	9名	非公開	SATREPS面接選考について
25	2月17日	第3回秋田大学グループ会議（非公	秋田大学	7名	非公開	SATREPS面接選考について
26	4月11日	第4回秋田大学グループ会議（非公	秋田大学	10名	非公開	SATREPS活動開始にあたって
26	4月16日	第5回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	10名	非公開	暫定研究計画書について
26	5月1日	第6回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	9名	非公開	JST会議報告及び今後の予定について
26	5月13日	第7回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	8名	非公開	RD準備について
26	6月16日	第8回秋田大学グループ会議（非公	秋田大学	10名	非公開	RD準備について
26	7月9日	グループ長会議（非公開）	MINDECO(東京)	4名	非公開	研究内容検討
26	7月11日	第9回秋田大学グループ会議（非公	秋田大学	10名	非公開	詳細調査準備
26	7月28日	第10回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	8名	非公開	セルビア側との協議内容について
26	8月28日	第11回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	7名	非公開	セルビア側との協議内容について
26	9月19日	JICA-秋田大学予算会議（非公開）	秋田大学	4名	非公開	機材供与についての勉強会
26	10月16日	第12回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	9名	非公開	JST事業
26	11月5日	グループ長会議（非公開）	J-spacesystem（東京）	4名	非公開	研究内容検討
26	11月10日	第13回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	7名	非公開	ODA予算について
26	11月18日	第14回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	9名	非公開	5年間の詳細な研究計画について
26	11月19日	グループ長会議（非公開）	MINDECO(東京)	4名	非公開	研究内容検討
26	11月27日	第15回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	8名	非公開	5年間の詳細な研究計画について

26	12月12日	Briefing session of Joint study at Akita University, Japan, 2nd Nov. – 29th Nov. 2015	MMI Bor, Serbia	30名	非公開	日本における短期研修について
26	12月17日	第16回秋田大学グループ会議(非公開)	秋田大学	9名	非公開	5年間の詳細な研究計画について
26	12月22日	Meeting for final reporting	秋田大学	10名	非公開	日本における短期研修について
26	1月13日	秋田大学予算会議(非公開)	秋田大学	4名	非公開	予算執行についての大学との協議
26	1月14日	第17回秋田大学グループ会議(非公開)	秋田大学	9名	非公開	ボーリング計画及び詳細な研究計画
26	2月5日	第18回秋田大学グループ会議(非公開)	秋田大学	8名	非公開	セルビア側への研究計画書提出について
26	2月9日	グループ長会議(非公開)	MINDECO(東京)	4名	非公開	研究内容検討
26	2月12日	セルビア国鉱業エネルギー省-秋田大学研究打ち合わせ会議	ベオグラード，セルビア	2名	非公開	Mirjana Filipovic副大臣と新任のセルビア側のSinisa Tanackovic研究代表者と研究打ち合わせを行った．その際に，有益な研究成果が得られることを期待される旨の発言があった．
26	月12－15日	MMI-Bor-秋田大学研究打ち合わせ会議	ボール市，セルビア	15名	非公開	SATREPS研究内容の詳細，機材調達，研修についての打ち合わせ
26	2月16日	秋田大学予算会議(非公開)	秋田大学	3名	非公開	予算執行についての大学事務との協議
26	2月23日	秋田大学予算会議(非公開)	秋田大学	5名	非公開	機材供与についての協議
26	2月23日	第19回秋田大学グループ会議(非公開)	秋田大学	7名	非公開	H26年度報告書およびセルビアとの協議内容の報告
27	4月8日	JICA-秋田大学予算会議(非公開)	秋田大学	10名	非公開	機材購入方法について (JICA山本氏，新保氏来秋)
27	4月9日	第1回秋田大学グループ会議(非公開)	秋田大学	10名	非公開	JICAとの契約内容確認 積算の内容確認 仕様委員会について
27	4月14日	秋田大学予算会議(非公開)	秋田大学	4名	非公開	JICA契約事務内部打合せ
27	4月16日	秋田大学予算会議(非公開)	秋田大学	4名	非公開	JICA契約事務内部打合せ

27	5月27日	JST打ち合わせ（非公開）	JST	4名	非公開	SATREPS進捗状況報告 研究打ち合わせ
27	5月27日	JICA打ち合わせ(非公開)	JICA	4名	非公開	SATREPS進捗状況報告 研究打ち合わせ
27	5月27日	J-SAPCE打ち合わせ（非公開）	J-SPACE	4名	非公開	SATREPS進捗状況報告 研究打ち合わせ
27	5月28日	第2回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	10名	非公開	仕様書の内容について 輸送納期の確認
27	6月2日	MINDECO打ち合わせ（非公開）	MINDECO（東京）	3名	非公開	SATREPS進捗状況報告 研究打ち合わせ
27	6月19日	第3回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	6名	非公開	6月セルビア訪問報告 8月出張について
27	7月15日	第4回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	11名	非公開	SATREPS進捗状況報告 報告書に関して
27	7月24日	MINDECO打ち合わせ（非公開）	MINDECO（東京）	5名	非公開	SATREPS進捗状況報告 研究打合せ
27	7月30日	第１回SATREPS全体会議（非公開）	秋田大学	11名	非公開	SATREPS全体概要の説明 報告書に関して
27	8月12日	Rgotina, Vrazogrnac	Serbia	3	公開	brochure
27	8月14日	Nikolicevo, Zvezdan, Zajecar	Serbia	30	公開	brochure
27	8月15日	Krivelj	Serbia	4	公開	brochure
27	8月17日	Slatina	Serbia	5	公開	brochure
27	8月18日	ミニシンポジウム	MMI-Bor（セルビア）	30名	公開	研究成果の発表会
27	8月19日	Cokonjar, Vrazogrnac	Serbia	10	公開	brochure
27	8月20日	Rudna Glava, Blizna	Serbia	5	公開	brochure
27	8月21日	Majdanpek	Serbia	20	公開	brochure
27	8月27日	Salas, Sikole, Trnjane, Popovica	Serbia	7	公開	brochure
27	8月28日	Metris, Brestovac, Sarkamen, Karbulovo	Serbia	8	公開	brochure
27	9月1日	Ostrelj, Mali Krivel, Veliki Krivel, Tanda, gornjane, Vlaole	Serbia	21	公開	brochure

27	9月2日	Grliste, Leskovac, Dobro Polje, Bukovo	Serbia	10	公開	brochure
27	9月3日	Boljevac	Serbia	3	公開	brochure
27	9月4日	Crnajka, Klokocevac	Serbia	10	公開	brochure
27	9月11日	Klokocevac	Serbia	6	公開	brochure
27	9月18日	Topolnica, Mosna, Golubinje, Tekija	Serbia	20	公開	brochure
27	9月19日	Donji Milanovac, Boljetin	Serbia	5	公開	brochure
27	9月24日	Karatas, Kladusnica, Kladovo, Mala Vrbica	Serbia	9	公開	brochure
27	9月25日	Rtkovo, Korbulovo, Milutinovac, Velesnica	Serbia	11	公開	brochure
27	9月25日	帰国報告会	秋田大学	12名	非公開	帰国報告会 JICA, JST
27	10月14日	Kobisnica, Srbovo, radujevac, Milosevo, Samarinovac	Serbia	6	公開	brochure
27	10月15日	Veljkovo, Kovilovo, Aleksandrovac, Rajac	Serbia	12	公開	brochure
27	10月20日	第5回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	9名	非公開	10月Bor出張報告 11月～短期受入研究員について
27	10月23日	Dobra, Brnjica, Golubac, Usje, Kusice, Veliko Gradiste	Serbia	23	公開	brochure
27	10月27日	Tamnic, Brusnik, Dusanovac, Prahovo, Ljubicevac	Serbia	16	公開	brochure
27	10月28日	Blagojev Kamen, Brodica, Voluja, Duboka, Neresnica	Serbia	12	公開	brochure
27	11月12日	第6回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	8名	非公開	JICA予算の費目間流用について，マネージメントクラスの招へいについて，中和試験装置の調達関係の日程
27	11月25日	あきた産学官連携フォーラム2015	秋田市アルベ拠点センター	130名	公開	秋田県の河川水の化学組成と同位体比の特徴
27	11月25日	あきた産学官連携フォーラム2015	秋田市アルベ拠点センター	130名	公開	セルビア国ボール鉱山地域の鉱山廃水と河川水の重金属の分布

27	11月25日	あきた産学官連携フォーラム2015	秋田市アルベ拠点センター	130名	公開	浮選と加圧酸浸出を用いた選鉱尾鉱からの金属回収
27	11月27日	セルビア短期研修員帰国前報告会	秋田大学	18名	非公開	金属回収分野の短期研修員2名が秋田での研修成果を報告
27	11月30日	【国民との科学・技術対話】Door to a Resercher	秋田大学教育文化学部附属中学校	中学1年生（141名），教職員（6名）	公開	セルビアでのSATREPSプロジェクトの概要の説明およびリモートセンシンググループの研究内容についてのアウトリーチ活動
27	12月1日	MINDECO打ち合わせ（非公開）	MINDECO（東京）	4名	非公開	SATREPS進捗状況報告 研究打合せ
27	12月17日	第7回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	10名	非公開	増田先生MINDECO訪問報告 各分野成果達成状況報告 JICA,JST予算に関して マネジメントクラス招へいに関して
27	12月22日	セルビア短期研修員帰国前報告会	秋田大学	13名	非公開	環境解析分野の短期研修員2名が日本での研修成果を報告
27	1月14日	第8回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	10名	非公開	27年度JST報告書について セルビアへの追加派遣について 来年度の研究計画
27	2月4日	第9回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	10名	非公開	JST，JICA報告書，JST計画書，JICA積算，マネージメントクラスの招聘，博士課程候補者について
27	2月10日	MMI-Bor-秋田大学研究打ち合わせ会議（非公開）	MMI-Bor（セルビア）	5名	非公開	来年度の短期研修について，供与機材の輸送について，新たに購入予定の物品について，今後の研究内容について
27	2月11日	TF-Bor-MMI-Bor-秋田大学研究打ち合わせ会議（非公開）	MMI-Bor（セルビア）	4名	非公開	日本でのマネージメントクラス招聘についての打ち合わせ
27	2月12日	現地ディーラー―秋田大学打ち合わせ（非公開）	MMI-belgrad	5名	非公開	27年度に購入した遠心分離器についての打ち合わせ

27	2月15日	秋田大学，JST会議（非公開）	JST	7名	非公開	研究主幹の中静先生，JST阿部様，高木様と来日しているマネージメントクラスを交えての顔合わせおよびSATREPSの今後の方針について
27	2月15日	秋田大学，JICA会議（非公開）	JICA	6名	非公開	JICA 鈴木参事役様，山本様と来日しているマネージメントクラスを交えての顔合わせおよびSATREPSの今後の方針について
27	2月15日	秋田大学，MINDECO，セルビア側テレビ会議（非公開）	MINDECO	7名	非公開	テレビ電話を用いてのセルビア側と来日しているマネージメントクラスを交えての顔合わせおよび28年度の方針について
27	2月16日	秋田大学国際資源学教育研究センター第10回国際シンポジウム Recent Advances in Resource science and Technology for sustainability（東京）	東京工業大学キャンパス・イノベーションセンター	50名	公開	セルビアでのSATREPSプロジェクトの概要の説明および同プロジェクトの研究内容についてのアウトリーチ活動
27	2月18日	秋田大学国際資源学教育研究センター第10回国際シンポジウム Recent Advances in Resource science and Technology for sustainability（秋田）	秋田大学	50名	公開	セルビアでのSATREPSプロジェクトの概要の説明および同プロジェクトの研究内容についてのアウトリーチ活動
27	2月24日	MINDECO打ち合わせ（非公開）	MINDECO	3名	非公開	中和処理現地実験プロセス検討
27	3月9日	MINDECO打ち合わせ（非公開）	MINDECO	3名	非公開	中和処理現地実験プロセス検討（第二回）
27	3月16日	第10回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	10名	非公開	JST，JICA報告書，JICA予算，中和実験装置，本邦研修，来年度出張計画について等
28	4月13日	H28年度第1回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	10名	非公開	JICA，JSTの報告書作成について，セルビア出張について，本邦研修について等
28	4月18日	MINDECO打ち合わせ（非公開）	MINDECO	3名	非公開	中和処理試験装置仕様検討
28	5月12日	H28年度第2回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	8	非公開	JCCの報告，出張計画，企画提案，研修，ボーリング計画について等

28	5月30日	セルビア短期研修員帰国前報告会	秋田大学	20	非公開	短期研修の成果を報告
28	5月31日	The colloquium with SATREPS-Leading program-Akita University	秋田大学	29	公開	Topic: Motivation for the PhD study and introducing the Mining and Matallurgy Institute Bor, Serbia as a scientific research Visiting guest lecturer: Dr Radmila Markovic, (MMI Bor, Serbia)
28	6月2日	JSS打ち合わせ	JSS(東京)	3	非公開	研究打ち合わせおよび今年度のセルビアにおける調査について
28	6月3日	秋田大学, MINDECO, MMI-Bor研究打ち合わせ（非公開）	MINDECO(東京)	10	非公開	研究打ち合わせおよび中和処理実験施設のトレーニングについて等
28	6月3日	JST打ち合わせ(非公開)	JST(東京)	10	非公開	セルビア人研修員の研究主幹への本邦研修の報告
28	6月3日	JICA打ち合わせ(非公開)	JICA(東京)	10	非公開	本邦研修の報告および今後の予定について
28	6月15日	H28年度第3回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	8	非公開	研究計画, 研究発表会, 企画提案, 今年度購入機材について
28	6月17日	Kucevo, Turija, Miljevic, Rakova Bara	Serbia	11	公開	brochure
28	6月23日	JST打ち合わせ(非公開)	JST(東京)	7	非公開	Presentation: Final reports about Environmental evaluation trining in Acita University, Output 1: in (JST), Tokio. Lecturer: Vojka Gardic, (MMI-Bor, Serbia)
28	6月28日	セルビア短期研修員帰国前報告会	秋田大学	20	非公開	短期研修の成果を報告
28	6月29日	日本グループ研究集会	秋田大学	12	非公開	これまでの研究成果の検証および今後の予定について

28	7月13日	H28年度第4回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	10	非公開	セルビア出張報告，渡航時の安全対策について，JST企画提案，中和実験装置について，ボーリング計画について等
28	8月4日	SATREPSプロジェクトの紹介とマイデンペック鉱山の見学	マイデンペック鉱山	6	非公開	マイデンペック鉱山の副所長にSATREPSの概要を説明，鉱山内の見学
28	9月13日	Golubinje, Donji Milanovac	Serbia	16	公開	brochure
28	9月14日	Boljetin	Serbia	3	公開	brochure
28	9月23日	中和処理試験装置工場打合せ	工場（北赤羽）	3	非公開	中和試験装置確認と輸送等打合せ
28	10月13日	中和処理試験装置試運転関係打合せ	MINDECO	3	非公開	試運転スケジュール，マニュアル等について
28	10月14日	Slatina, Rgotina, Vražogrnac	Serbia	6	公開	brochure
28	10月18日	H28年度第5回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	10	非公開	帰国報告会について，今後購入予定物品について，予算について，企画提案について等
28	10月25日	コンソーシアム秋田賞表彰式	秋田大学	15	公開	秋田県内の主要研究機関の長にセルビアでの研究内容を説明．特に秋田大学長が強く興味を示した．
28	10月27日	JST企画提案課題報告会	秋田大学	14	非公開	ザンビア，ボツワナから招聘した若手研究員の研修生かについての報告会
28	10月27日	E-cube2016帰国報告会	秋田大学	19	非公開	2016年度の大型の現地調査についての報告会
28	11月1日	Stubik, Jabukovac	Serbia	4	公開	brochure
28	11月2日	Jablanica, Krivi Vir	Serbia	4	公開	brochure
28	11月3日	Svrljig	Serbia	5	公開	brochure
28	11月9日	セルビア大使館打合せ	在東京セルビア大使館	4	非公開	セルビア大使館に対してプロジェクト説明および省庁からの招聘について打合せ

28	11月10日	北大SATREPSグループとの研究打ち合わせ（非公開）	北海道大学	4	非公開	マルチスペクトルイメージャについての打ち合わせ
28	11月21-23日	LCTF試験についての打ち合わせ	日鉄，熊本大学	2，4	非公開	マルチスペクトルイメージャについての打ち合わせ
28	12月13日	H28年度第6回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	10	非公開	マネージメントクラスの招聘について，予算・報告書について，博士課程学生について
28	1月10日	H28年度第7回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	10	非公開	マネージメントクラスの招聘について，予算・報告書について，博士課程学生について
28	1月23日	JST報告	JST(東京)	9	非公開	企画提案に関する報告等
28	1月17日	H29年度第1回MINDECO社内検討会（非公開）	MINDECO（東京）	3	非公開	H29年度研究計画社内打合せ
28	2月13日	H28年度第8回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	10	非公開	マネージメントクラスの招聘について，年次報告会について．次年度の計画と今年度の報告，3月末のセルビア人メンバーの招聘について
28	2月17日	JSS打ち合わせ	JSS(東京)	3	非公開	2017年度の研究およびセルビア共同現地調査等の打ち合わせ
28	2月20日	セルビアマネージメント招聘者と秋田大学学長との懇談	秋田大学	6	非公開	セルビアマネージメントクラス招聘者と秋田大学学長との研究意見交換
28	2月20日	公開講演会「環境に配慮した持続可能な資源開発へ～セルビア共和国ボール鉱山地域での取り組み～」の開催	秋田大学	30	公開	セルビア国の鉱業活動の現状と問題点の報告
28	2月23日	各研究グループ打ち合わせ（JSS，JICA，JST）	JSS，JICA，JST（東京）	7，6，10	非公開	持続可能な資源開発へ向けて，日本の環境保全についての現状の説明やSATREPSプロジェクトの説明など
28	2月23日	研究内容説明（JOGMEC）	JOGMEC（東京）	8	非公開	持続可能な資源開発へ向けて，日本の環境保全についての現状の説明やSATREPSプロジェクトの説明など

28	2月23日	セルビア大使館カクテルパーティ	セルビア大使館	17	非公開	持続可能な資源開発へ向けて，日本の環境保全についての現状やSATREPSプロジェクトなどをセルビア大使館の方々に説明
28	2月24日	MINDECO研究打ち合わせ	MINDECO（東京）	11	非公開	持続可能な資源開発へ向けて，日本の環境保全についての現状の説明やSATREPSプロジェクトの説明など
28	3月3日	秋田大学・京都大学SATREPS，資源素材学会探査工学部門委員会・陸海資源探査委員会合同ワークショップ	京都大学桂キャンパス	40	公開	鉱物・地熱資源探査，環境モニタリングのリモートセンシング国際共同プロジェクトについての意見交換会
28	3月7日	H28年度第9回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	10	非公開	JST中間評価報告書について，3月末セルビア人招へいについて，次年度の計画について
28	3月15日	MINDECO研究打ち合わせ	MINDECO（東京）	4	非公開	来年度の研究計画の打ち合わせ，および今年度の研究実施内容の説明など
28	3月24日	研究発表会	秋田大学	20	非公開	今年度の研究成果についてのセルビア人研究員との合同研究発表会
29	4月18日	H29年度第1回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	10	非公開	中間評価現地調査，中間報告査読結果，報告書作成，5月のセルビア出張予定などについて
29	4月25日	MINDECO研究打合せ	MINDECO本社	4	非公開	H29年度研究計画，出張計画等に関する打合せ
29	5月5日	中間評価のための現地調査	MMI-Bor（ボール，セルビア）	18	非公開	セルビア研究者からの研究成果報告と今後の研究方針について
29	5月5日	中間評価のための現地研究員ヒアリング	MMI-Bor（ボール，セルビア）	20	非公開	セルビア側研究員からSATREPSの研究結果の報告

29	5月16日	H29年度第2回MINDECO社内検討会（非公開）	MINDECO（東京）	3	非公開	セルビア出張の報告と今後の研究方針について
29	5月23日	H29年度第2回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	10	非公開	JCCおよびJST中間評価現地調査報告，JST中間評価について，今年度予算について
29	5月29日	H29年度第3回MINDECO社内検討会（非公開）	MINDECO（東京）	3	非公開	中和実験装置改善計画検討
29	6月5日	H29年度第4回MINDECO社内検討会（非公開）	MINDECO（東京）	3	非公開	中和実験装置改善計画検討
29	6月13日	H29年度第3回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	6	非公開	JST中間評価について，夏季の活動計画について，予算について
29	6月23日	H29年度第5回MINDECO社内検討会（非公開）	MINDECO（東京）	3	非公開	第1回中和現地試験計画打合せ
29	7月4日	MMI-Borとの研究打ち合わせ	MMI-Bor（ボール，セルビア）	3	非公開	プロジェクトの社会実装の方法について
29	7月6日	JICA理事現地視察	MMI-Bor（ボール，セルビア）	10	非公開	ボール鉱山の視察およびボールの環境についての報告
29	7月7日	現地NGO代表との会談	MMI-Bor（ボール，セルビア）	4	非公開	SATREPSによる調査結果を現地住民にどのように広めていくのかについて議論
29	7月13日	H29年度第4回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	5	非公開	7月セルビア調査報告，JST中間評価について，夏季のセルビアでの活動計画，予算について
29	7月20日	JSTによる中間評価	JST（東京）	20	非公開	セルビアSATREPSについての中間評価
29	7月31日	衛星画像グループによる研究打ち合わせ	JSS	4	非公開	セルビア人トレーニング（国内，セルビア），現地調査について，予算について

29	8月9日	H29年度第5回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	5	非公開	中間評価について，夏季活動計画について，帰国報告会について
29	3月15-28日	TF-Bor, 秋田大学, MMI-Bor共同研修	MMI-Bor（セルビア）	20	非公開	現地野外調査を通した学生研修，および研究員による講義，3機関メンバーによる協議
29	8月21日	Presentation of the project E3 (The society of young researchers Bor (=Društvo mladih istraživača Bor))	セルビアボール市	40	公開	セルビアボール市，ザイチェル市環境NGO若手メンバーへの研究成果説明と意見交換（https://www.youtube.com/watch?v=_3tOGGL3vBY&t=1598s）
29	9月7日	H29年度第6回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	8	非公開	夏季活動報告，社会実装について，予算について，日本でのトレーニングについて
29	9月22日	中静先生（研究主幹）との面談	総合地球環境学研究所（京都）	4	非公開	中間評価に対する今後の対応についての意見交換
29	10月4日	H29年度第7回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	7	非公開	社会実装について，帰国報告会について，予算について，トレーニングについて
29	10月11日	帰国報告会	秋田大学	19	非公開	研究の進捗状況について，中間評価への対応について，博士課程学生の人数変更について，マネージメントクラスの招聘について，セルビアでの学生研修について
29	10月12日	H29年度第6回MINDECO社内検討会（非公開）	MINDECO（東京）	3	非公開	第2回中和現地試験計画打合せ
29	11月16日	H29年度第8回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	7	非公開	10月Bor出張報告 11月～短期受入研究員について，社会実装について，マネージメントクラス招聘について

29	11月22日	JSS打ち合わせ	JST（東京）	2	非公開	JSS広瀬氏とのデータ共有についての検討
29	11月22日	JST加藤調査役，株本担当との協議	JST（東京）	3	非公開	JST加藤調査役，株本担当との社会実装への進捗報告，意見交換，協議
29	11月29日	あきた産学官連携フォーラム2017・秋田大学合同フォーラム・第4回産学官交流プラザ	秋田市民交流プラザアルヴェ	100名	公開	衛星画像解析グループのセルビアでの研究手法について一般の方向けに説明
29	12月11日	H29年度第9回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	10	非公開	年次報告会について，12月のセルビア行について，マネージメントクラス招聘について
29	12月22日	鉱業エネルギー省及び環境保全省事務次官級の方との面談	セルビアベオグラード，鉱業エネルギー省	6	非公開	鉱業エネルギー省　事務次官　Mr. Ivan Jankovic氏，Ms. Dragana Jelisavac Erdeljan氏（Head of Department of Mining）及び環境保全省　Mr. Zoran Veljkovic氏（Mr. Aleksandar Vesicさん（事務次官）の代理）への研究成果報告と省庁間連絡会議の提案
29	12月26日	H29年度第7回MINDECO社内検討会（非公開）	MINDECO（東京）	3	非公開	現地試験結果の解析検討
29	1月5日	JST年次報告会	JST（東京）	30	非公開	SATREPS社会実装進捗報告と意見交換
29	1月11日	H29年度第10回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	10	非公開	年次報告会の報告，12月のセルビア出張報告，マネージメントクラスの招聘，報告書の作成について
29	2月5日	H29年度第11回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	10	非公開	JST報告書について，研究のまとめ方について，マネージメントクラス招聘について
29	2月15日	H29年度第8回MINDECO社内検討会（非公開）	MINDECO（東京）	3	非公開	H29年度研究成果のとりまとめ方針等について

29	2月21日	第一回SATREPSワーキング会議	秋田大学	5	非公開	各分野の研究結果をどのようにまとめていくかについて議論
29	2月22日	衛星画像グループによる研究打ち合わせ	JSS	4	非公開	来年度の研究計画，調査結果のまとめ方について
29	2月22日	JST田中調査員との打ち合わせ	JST	3	非公開	マネージメントクラス招聘について，社会実装について
29	2月22日	JICA早山氏との打ち合わせ	JICA	3	非公開	マネージメントクラス招聘について，次期調整員について
29	3月5日	秋田大学“リーディングプログラム”，SATREPS“E-cube”，国際資源学教育研究センター合同シンポジウム・第1部 E-cube SATREPS公開セミナー「セルビア共和国ボール鉱山地域での持続可能な資源開発への取り組み」の開催	秋田大学	25	公開	セルビア国の鉱業活動の現状と問題点の報告
29	3月5日	セルビアマネージメント招聘者と秋田大学学長との懇談	秋田大学	4	非公開	セルビアマネージメントクラス招聘者と秋田大学学長との研究意見交換
29	3月7日	セルビアマネージメント招聘者と研究主幹，JST，秋田大学との協議	JST	10	非公開	SATREPSの紹介，今後の社会実装についての意見交換
29	3月9日	セルビアマネージメント招聘者とセルビア大使，一等書記官，大使館メンバー，秋田大学，MINDECOメンバーとの会談	セルビア大使館	7	非公開	SATREPSプロジェクトに対してセルビア大使館としても協力していきたいとの発言があった．セルビアの現状や調査研究についての報告に対して謝意があった．

29	3月9日	セルビアマネージメント招聘者と秋田大学，MINDECO，JICAとの協議	JICA	9	非公開	社会実装について，セルビアでの現状についてセルビア環境省の事務次官であるベシッチ氏から説明があった.
29	3月13日	H29年度第12回秋田大学グループ会議（非公開）	秋田大学	10	非公開	マネージメント招聘報告，JICA/JST報告書について，来年度の計画，IOC，シンポジウム開催について
29	3月13日	第二回SATREPSワーキング会議	秋田大学	6	非公開	環境修復システムを作成するために各分野の技術要素と入出力データを整理することを確認
29	3月27日	H29年度第9回MINDECO社内検討会（非公開）	MINDECO（東京）	3	非公開	
30	4月13日	H30年度第1回秋田大学グループ会議	秋田大学	10	非公開	JICAモニタリングシートについて，H30年度出張計画，予算について
30	4月13日	第3回SATREPSワーキング会議	秋田大学	6	非公開	2年後のSATREPSのまとめかたについて
30	4月18日	衛星画像グループによる研究打ち合わせ	JSS	2	非公開	データ解析について，今年度の予定について
30	5月16日	H30年度第2回秋田大学グループ会議	秋田大学	9	非公開	JST報告書，5月のセルビア訪問について
30	5月16日	第4回SATREPSワーキング会議	秋田大学	5	非公開	研究グループごとの関連について
30	5月30日	JICAバルカン事務所での打ち合わせ	セルビア国JICAバルカン事務所	5	非公開	セルビア省庁連絡会議の趣旨・概要説明と意見交換

30	5月30日	セルビ省庁間会議開催のための事前打ち合わせ会議及び第一回省庁間連絡会議	セルビア鉱業エネルギー省	8	非公開	セルビア省庁連絡会議事前打ち合わせ（会議趣旨説明）及び第一回省庁間連絡会議，鉱業エネルギー省：ヤンコビッチ次官，環境保全省：ベシッチ次官
30	6月13日	JSTとの研究打ち合わせ	JST	5	非公開	今後の研究の進め方とまとめ方について
30	6月14日	H30年度第3回秋田大学グループ会議	秋田大学	11	非公開	5月のセルビア訪問報告，予算について
30	6月14日	第5回SATREPSワーキング会議	秋田大学	8	非公開	システムフロー図の作成について
30	7月6日	H30年度第4回秋田大学グループ会議	秋田大学	11	非公開	6月セルビア訪問報告、提言へ向けての会議について
30	7月6日	研究成果発表会	秋田大学	10	非公開	各研究グループの研究内容の発表
30	7月27日	H30年度第5回秋田大学グループ会議	秋田大学	9	非公開	8月以降のセルビア出張計画、JCC方針、国際シンポジウム、帰国報告会について、地下水の研究成果発表、JCC内容の詳細、最終報告書について
30	8月8日	H30年度第１回MINDECO社内検討会（非公開）	MINDECO（東京）	4	非公開	H30第1回中和試験結果の解析，検討と第2回中和試験計画の検討
30	8月24日	第二回省庁間連絡会議	セルビア鉱業エネルギー省	9	非公開	日本の鉱業に関する環境対策の事例紹介，セルビアと他国のEU基準値の比較についての意見交換
30	8/17-28	ワークショップ	MMI-Bor	8	非公開	Practical training for students from Akita University and TF Bor-High Preassure Leaching of flotation tailing in Nitto Koastu autoclave Japanese production
30	9月5日	H30年度第6回秋田大学グループ会議	秋田大学	7	非公開	8月のセルビアでの活動報告、9月のセルビアからの研修員のスケジュール、今後の予算について、最終報告書について
30	9/17-18	国内研修	秋田大学	2	非公開	Neutralisation and adsorption process. Dragana Božić and Tamara Urošević

30	9月25日	京都大学小池研と研究情報交換会	京都大学	7	非公開	インドネシアSTREPSとの情報交換
30	10月1日	International SATREPS Conference Mining & Environment in Future	Bor, Serbia	30	公開	日本とセルビアの各プロジェクトチームからそれぞれの発表内容について一般向けのシンポジウムを開催
30	10月15日	H30年度第7回秋田大学グループ会議	秋田大学	10	非公開	マネージメントクラスの招聘について、帰国報告会について
30	11月1日	H30年度秋田大学グループ会議	秋田大学	3	非公開	帰国報告会準備など
30	11月5日	H30年度帰国報告会	秋田大学	17	非公開	E-cube Serbia SATREPSで今夏実施した大規模なセルビア渡航による成果を、参加メンバー間で共有し、結果について議論する。また、これまでの研究の成果を共有し、今後1年半弱の予定や目標を共有する。
30	12月7日	H30年度第8回秋田大学グループ会議	秋田大学	9	非公開	マネージメントクラス招聘について、提言の作成について
30	12月21日	H30年度第１回MINDECO社内検討会（非公開）	MINDECO（東京）	4	非公開	H30第2回中和試験結果の解析，検討と総合解析の検討
30	1月17日	H30年度第9回秋田大学グループ会議	秋田大学	9	非公開	マネージメントクラス招聘について、計画書・報告書作成スケジュールについて
30	1月28日	在東京セルビア大使館報告会	セルビア大使館（東京）	3	非公開	研究成果の報告と今後の進め方についての意見交換，マネジメントクラス招聘の打合せ
30	2月4日	国際シンポジウム：セルビア共和国ボール鉱山地域における持続可能な資源開発へ向けたセルビア/日本パートナーシップによる取り組み	秋田大学	21	公開	日本訪問中の鉱業エネルギー省副大臣および相手国の代表であるStevanovic氏等による公開講演会

30	2月4日	セルビアマネージメント招聘者（鉱業エネルギー省副大臣・次官）と秋田大学学長との懇談	秋田大学	7	非公開	セルビアマネージメントクラス招聘者と秋田大学学長との研究意見交換
30	2月4日	マネージメントクラスとの打ち合わせ会議	秋田大学	10	非公開	今後の省庁間連絡会議の内容や今後の計画についての協議
30	2月6日	セルビアマネージメント招聘者（鉱業エネルギー省副大臣・次官）と秋田大学，MINDECO，JICAとの協議	JICA	9	非公開	社会実装について，セルビアでの現状についてセルビア鉱業エネルギー省の副大臣デジャンスキー教授から説明があった.
30	2月6日	セルビアマネージメント招聘者（鉱業エネルギー省副大臣・次官）と秋田大学，MINDECO，JSTとの協議	JST	9	非公開	SATREPSの意義や有効性，今後の社会実装についての意見交換
30	2月6日	セルビアマネージメント招聘者（鉱業エネルギー省副大臣・次官）と秋田大学，MINDECO，JOGMECとの協議	JOGMEC	9	非公開	日本の鉱業活動における環境政策の方針・予算措置法の説明と意見交換
30	2月7日	在東京セルビア大使館報告会	セルビア大使館（東京）	5	非公開	セルビア鉱業省からの招聘結果の報告と研究成果の社会実装に向けた取り組みに関する意見交換
30	2月15日	H30年度第10回秋田大学グループ会議	秋田大学	14	非公開	JCC、省庁連絡会議について、来年度の計画
30	3月14日	H30年度第11回秋田大学グループ会議	秋田大学	9	非公開	省庁連絡会議、来年度の予定
31	4月10日	H31年度第1回秋田大学グループ会議	秋田大学	9	非公開	省庁連絡会議，JST最終評価，10月ワークショップについて
R1	5月22日	R1年度第2回秋田大学グループ会議	秋田大学	9	非公開	5月セルビア訪問報告，JCCおよび第二回省庁連絡会議，年間スケジュールについて

R1	6月13日	R1年度第3回秋田大学グループ会議	秋田大学	10	非公開	JCCおよび第二回省庁連絡会議，JST最終評価，年間スケジュールについて
R1	6月21日	第三回省庁間連絡会議	セルビア鉱業エネルギー省	12	非公開	ボール鉱山地域の環境の現状と中和処理等の環境対策への見通しについての意見交換
R1	7月22日	R1年度第4回秋田大学グループ会議	秋田大学	9	非公開	10月大臣説明会，ワークショップ，JST終了時報告書，セルビアでのシンポジウムについて
R1	7月26日	2019年度科学と開発をつなぐブリッジワークショップ	JICA市ヶ谷ビル国際会議場	111	公開	企業，開発コンサルタント，NGO，社団，財団等の皆様へのセルビアSATREPS研究成果報告と意見交換
R1	9月9日	R1年度第5回秋田大学グループ会議	秋田大学	7	非公開	10月大臣説明会，ワークショップ，JST終了時報告書，セルビアでのシンポジウムについて
R1	10月8日	第四回省庁間連絡会議（大臣への研究成果説明）	セルビア鉱業エネルギー省	15	非公開	鉱業エネルギー省アレクサンダー アンティッチ大臣へのSATREPS研究成果の説明と意見交換
R1	10月17日	第五回省庁間連絡会議	セルビア鉱業エネルギー省	14	非公開	ボール鉱山地域の環境対策に関する提言（案）についての意見交換
R1	11月6日	R1年度第6回秋田大学グループ会議	秋田大学	6	非公開	10月大臣説明会，ワークショップ，JST終了時報告書，セルビアでのシンポジウムについて
R1	12月12日	R1年度第7回秋田大学グループ会議	秋田大学	11	非公開	研究残余期間における研究計画、ベオグラードでのジョイントシンポジウム、最終評価会について
R1	1月17日	R1年度第8回秋田大学グループ会議	秋田大学	8	非公開	提言の提出形態、ボールでの最終成果発表会，ベオグラードでのジョイントシンポジウムについて

R1	1月31日	第一回日本セルビア科学技術協力合同委員会	外務省	25	非公開	SATREPSでの秋田大学とセルビアのボール鉱山冶金研究所の共同研究成果の説明
R1	2月13日	第六回省庁間連絡会議	セルビア鉱業エネルギー省	13	非公開	鉱業エネルギー省と環境保全省へのプロジェクトでまとめられた提言の説明と提出
R1	2月14日	セルビアボール市での最終成果発表会	ホテルアルボ（ボール，セルビア）	51	公開	ボール市民，ボール近郊住民へのSATREPS研究最終成果の説明
R1	2月21日	セルビアベオグラードでのパンチェボ市環境研究グループ（兵庫県環境研究センター+阪大）とのジョイントシンポジウムでの成果発表会	ベオグラード大学講堂（ベオグラード，セルビア）	73	公開	ベオグラード，パンチェボ，ボール市民対象のSATREPS研究成果と草の根技術協力による環境研究環境改善に成功事例の説明
R1	2月28日	R1年度第9回秋田大学グループ会議	秋田大学	7	非公開	SATREPSの取りまとめとSDGs2020への申請について
R1	3月27日	R1年度第9回秋田大学グループ会議	秋田大学	9	非公開	SATREPSの取りまとめについて

226 件

②合同調整委員会(JCC)開催記録（開催日、議題、出席人数、協議概要等）

年度	開催日	議題	出席人数	概要
26	6月4日	プロジェクトの内容についての説明	10名	2016年度SATREPS研究基本方針（PDM, PO）の確認
26	6月5-8日	2016年度の研究について	10名	ボーリング調査について，広域環境調査の試料採取地点について，夏季の合同調査について
26	8月18日	研究打ち合わせおよび今後の予定について	16名	ボーリング調査の進捗状況について，メンバーの追加と削除について，地域住民への情報の公開方法について，予算の実行状況について，留学生の派遣について
28	5月5日	合同調整委員会（JCC）	11名	日本側とセルビア側は第一年次の結果と第二年次の予定について合意した．調達に関して第一年次の結果と第二年次の計画について合意した．
29	5月4日	合同調整委員会（JCC）	22名	H28年度実施済み事項の確認とH29年度実施予定事項の確認
30	8月24日	合同調整委員会（JCC）	12名	プロジェクトの進捗状況、日本からの専門家派遣の状況、メンバーの追加、今後の社会実装への議論
R1	6月21日	合同調整委員会（JCC）	13名	プロジェクトの進捗状況、日本からの専門家派遣の状況、メンバーの追加、今後の社会実装への議論
R1	2月13日	合同調整委員会（JCC）	13名	鉱業エネルギー省と環境保全省へのプロジェクトでまとめられた提言の説明と提出

8 件

2. 研究の進捗

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～令和2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、ベオグラード大学ボール校

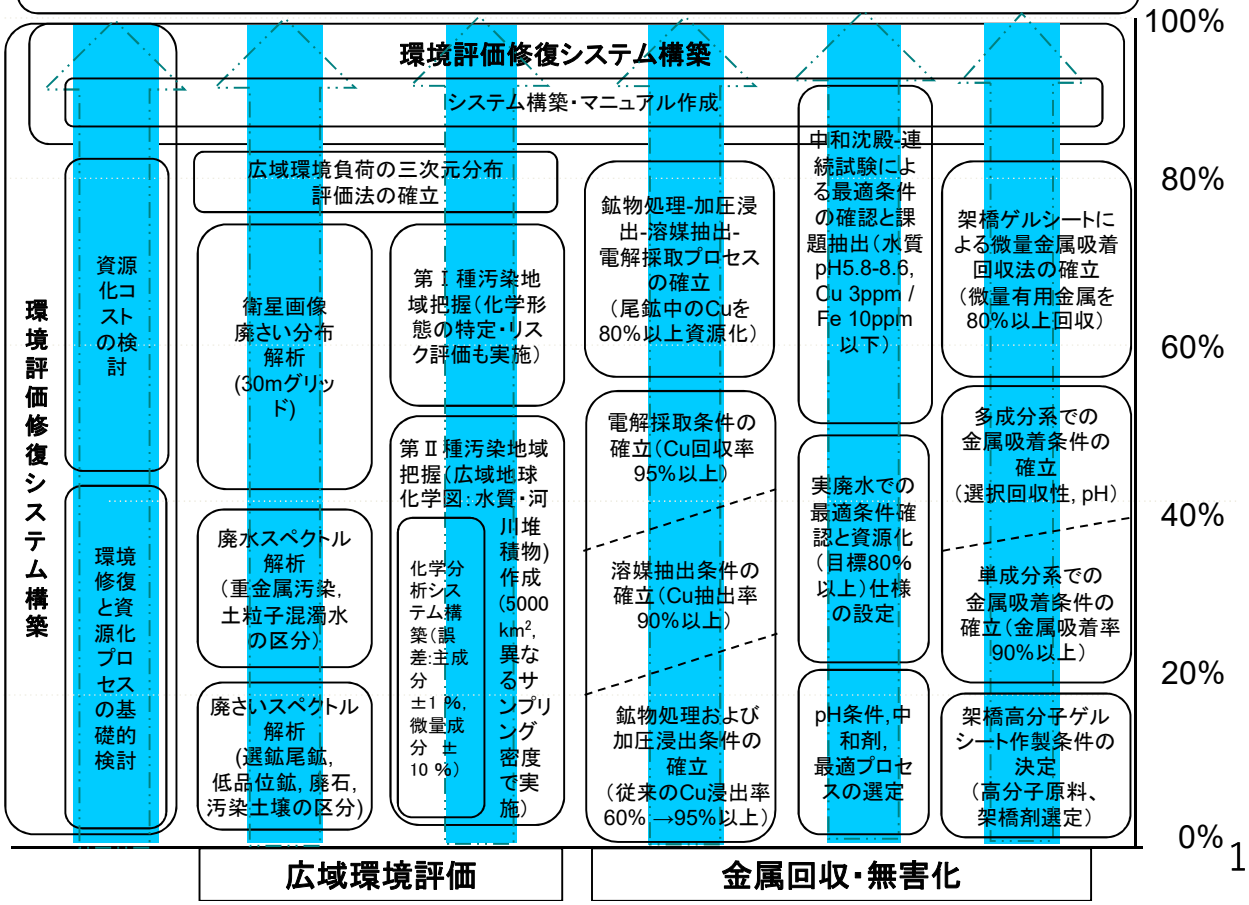
付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	・資源開発企業の技術優位性の向上 ・日本企業による環境修復技術の事業化
科学技術の発展	・環境評価技術の高度化 ・金属回収技術高度化と廃棄物の新たな資源化 ・次世代衛星センサーの実用化
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	・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 ・鉱山廃水中のレアメタルリサイクル技術 ・極低品位鉱床の開発技術
世界で活躍できる日本人人材の育成	・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）
技術及び人的ネットワークの構築	・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 ・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
成果物（提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど）	・環境評価修復システムマニュアル ・ハイパーセンサー利用技術マニュアル ・衛星と地表データの統合解析プログラム ・廃水，廃さい等からの金属回収，資源化技術論文等

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。