

案件名	鉱山廃さい堆積管理
派遣専門家	石山大三・柴山敦・高崎康志・増田信行・川原谷浩・佐藤比奈子
所属機関	秋田大学 大学院 工学資源学研究科・教授 秋田大学 大学院 工学資源学研究科・教授 秋田大学 国際資源学教育センター・准教授 秋田大学 国際資源学教育センター・准教授※ 秋田大学 大学院 工学資源学研究科・技術長 秋田大学 大学院 工学資源学研究科・技術専門職員
相手国研究機関	ボール鉱業・冶金研究所(The Institute for Mining and Metallurgy Bor)

※派遣時の役職

セルビア共和国 Bor 地区鉱業技術協力

(平成 23 年 8 月)

1. 背景

セルビア共和国ボール市周辺は、同国では斑岩銅鉱床を稼行対象にした重要な銅鉱山地域である。同地域の鉱山施設は建設から長期間が経過していること、また、政情が不安定な時期もあったこともあり、鉱山技術の開発と設備の更新に遅れが目立っている。同地域は、セルビア共和国の東部に位置し、この地域の東部には、ルーマニア、ブルガリアが位置する。ボール市周辺の鉱山および金属資源精製施設(選鉱・製錬施設等)、廃滓管理地から流出する重金属元素は、同市を流れる Bor 川および Krivelj 川から Timok 川を經由して Danube(ドナウ)川に流れ、ルーマニア、ブルガリアに汚染が拡大している可能性が考えられている。本研究では、河川水を対象にした多国間に広がる重金属や有害元素の環境調査法の確立、その環境汚染の予察的実態把握と環境汚染防止のための金属回収法の開発を目的として行うことになった。

2. 事業活動

(1) 重金属汚染等の把握を対象にした環境影響調査法の確立および環境汚染実態把握のための予察的調査の研究

環境評価の研究では、鉱山周辺や下流域の汚染危険度を評価するだけでなく、将来にわたり下流域に放出を防止すべき元素とそうでない元素を判別することができる。その研究結果は、将来の環境負荷低減も目指した選鉱・製錬プロセス構築の際に指針を与えることができる。

(2) 環境汚染防止も視野に入れた既存鉱石の金属回収効率の向上および金属回収処理が不十分な尾鉱からの金属再回収法開発の研究

金属回収の研究では、環境評価研究からフィードバックされるデータも考慮し、選鉱・製錬プロセスにおける金属回収効率を向上させることで下流域への流出重金属量の抑制が可能になり、環境汚染防止を進めることができる。

両研究のデータから、選鉱・製錬プロセスの最終的な廃棄物に含まれる有害元素の種類と濃度の把握が可能であり、最終廃棄物の管理処分の際の処分地の適正条件、環境管理法などについても指針を考えることができる。

3. これまでの活動内容

Mining and Metallurgy Institute Bor (MMI Bor と略記)の環境研究メンバーと共同で環境影響評価のための調査を 8 月 10 日から 8 月 26 日まで行った。日本・セルビア両国のメンバーが鉱山廃水・製錬所からの排水・河川水の試料採取地点について協議し、20 カ所の試料採取地点を決定した。実際の調査においては、JICA により供与された研究機材を利用し、各試料採取地点において、温度・pH・酸化還元電位・溶存酸素濃度の測定、河川水および河川堆積物の試料採取、最新の比色計を用いた現地での化学組成分析を共同で行った。比色計を用いた迅速化学分析については調査期間中に繰り返し測定を行い、測定法についてカウンターパートに習熟してもらうように努め、セルビア側に分析技術移転を行った。



共同野外調査

今年度の調査で得られた結果は次のとおりである。

- a) Bor 鉱山周辺での重金属汚染の原因となる要因は、製錬所からの排水と廃滓管理地から流出する鉱山廃水である。特に、夏期においては製錬所からの排水の影響が管理地から流出する鉱山廃水よりも大きい可能性がある。
- b) Bor 鉱山下流 25 km 地点の Bela Reka 川と Timok 川合流点においても河川水中の Cu 濃度は 10 ppm の濃度を示し、鉱山廃水の影響が下流域まで及んでいることが確認された。
- c) Bor 鉱山から河川に沿った約 50 km 下流地点の Timok 川およびその下流域では Cu 濃度は、0.15~0.1 ppm であり、Timok 川下流域では重金属元素濃度は、バックグラウンド値であることが確認された。2011 年 8 月においては、Bor 鉱山からの重金属元素の影響はドナウ川には及んでいないと考えられる。

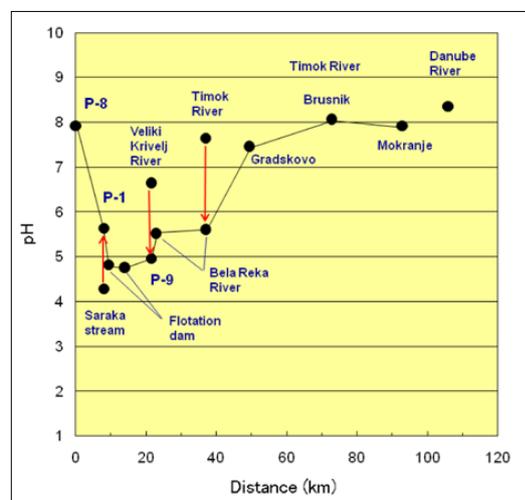


図 Bor 鉱山地域からドナウ川までの河川水の pH 変化

調査終了時には、現地調査で得られたデータの解析結果をまとめ、カウンターパートも含めた研究発表会を実施し、研究方法、解析結果、環境影響の現状について意見交換を行った。さらに、今後の研究方針について議論し、今後の環境対策のために下流域での高い重金属濃度の原因究明が必要であることを確認した。

浮選尾鉱(鉱業廃滓)堆積物からの金属回収に関する研究では、MMI Bor の研究者等と 8 月 10 日から 8 月 17 日にかけて共同試験を行った。日本・セルビアの担当者ミーティングにより、サンプリング数、実験条件および試験データの採取目標等の打ち合わせを協議した結果、次の通りに実施することを決定した。

- ① サンプル数は尾鉱堆積場を見て、現地で最終決定するが、概ね 3~4 カ所を選定しサンプリング(S1~S4)する。
- ② 尾鉱の浸出、溶媒抽出、電解採取など最適条件を厳密に探索するには数ヶ月程度の日数が必要である。そこで今回は、ビーカー試験を中心に代表的な条件を選定し、滞在期間中で基本試験を実施する。

【A:浸出試験】

基本条件:パルプ濃度 400g/L、pH=1(H₂SO₄) 400mL

調査条件:浸出温度 50℃または80℃、浸出時間 4hまたは3h、酸化剤投入の有無

【B:溶媒抽出試験】

基本条件:抽出剤LIX-984NおよびLIX-622Nの2種類、希釈剤 ケロシン (抽出剤濃度 5 mass %)、O/A比 = 1(正抽出)、10(逆抽出)

【C:電解採取試験】

基本条件:電解液500mL、液温50°C、銅濃度38.1g/L、鉄濃度0.055g/L、電流密度240A/m²、電極面積0.0078m² (電流1.90A)、アノードPb-3%Sb、カソード電気銅、電解時間2時間の条件にて電解

以上の条件をもとに、現地試験で得られた結果は次の通りである。

○サンプリングについて

今回サンプリングした試料(S1~S4)は銅品位が非常に低く(例えば0.025% Cu)、浸出率が極めて低いことが判明した。この結果を踏まえ、滞在中はMMI Borで以前サンプリングしたB1、B2、B3、B4(銅品位 0.39~0.58%)と呼ばれる試料を使い、各試験を実施することにした。

- A) 浸出率は45~69%と幅があったが、平均するとサンプルB3(銅品位0.39%)の浸出率が67~68%と高く、概ね良好な浸出率を得た。ちなみに浸出液中の銅濃度 1~1.2g/L、鉄濃度(概ね)3~5g/L、浸出後のpHは1.6前後に上昇する。
- B) 溶媒抽出では抽出剤LIX-984N、LIX-622Nを用い、4段抽出で各々98%、97.8%、3段逆抽出率で82.86%、78.94%が得られ良好な抽出結果となった。
- C) 2時間の電解実験の結果、電析銅4.5gを得た(電流効率99.8%)。

【試験総括】

現地で採取したサンプル 4 点(S1~S4)は銅品位が低く、MMI Bor 側で採取した旧サンプル(B1~B4)を使って浸出、溶媒抽出、電解採取の基礎試験を行った。その結果、これまで現地で行われた最良の結果とほぼ同等の値を得たので、順当な成果が得られたと判断している。強いて上げれば、浸出率の改善が必要であるが銅鉱石の形態に依存する可能性があるため、鉱物学的な評価を含め今後の検討が必要である。

調査最終日には現地で得た試験データをまとめ、関係者全員による研究発表会を実施し、回収結果と諸条件の確認、浸出率の改善策、回収プロセスの具体化や経済評価の必要性について意見交換を行った。さらに、今後の研究方針を議論し、来年はもう少し規模の大きな試験(溶媒抽出、電解採取)を考え、200L の電解採取試験などプロセス構築に備えた予備検討の必要性、試験方針の確認を行った。

また、金属回収にあたって前提となる尾鉱の量や銅品位分布、含有鉱物に関するデータが不十分であること、そのため次年度に向けたセルビア側による堆積場における高密度なボーリングが必要であることを確認した。

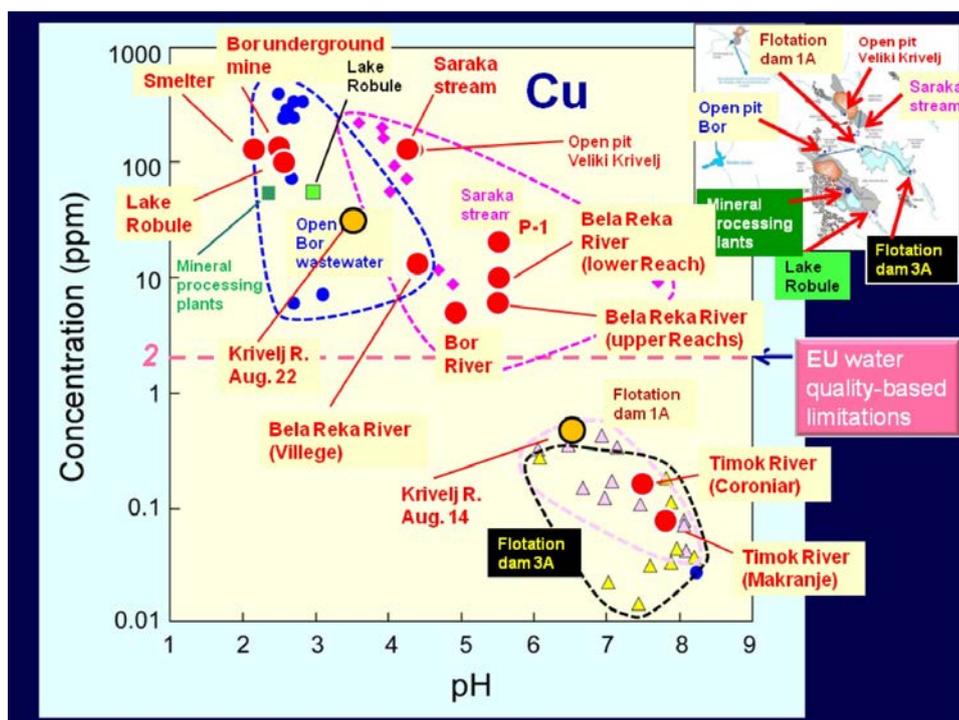


図 Bor 鉱山地域の鉱山廃水および Bela Reka 川、Timok 川河川水の銅含有量 pH の関係を示した

4. 所感

セルビアの技術者のレベルは高く、個々の実験操作は問題がない。これまでの社会システムの影響があり、研究所での分析作業は分業制を基本としたものであった。部門間での意見交換や部門を超えた連携を今後一層促進することで研究の活性化が期待される。また、基礎的な実験用具・装置の充実により、分析精度の向上や技術開発の発展が強く期待される。セルビアの共同研究者は、環境保全への意識は高く、その重要性・必要性については理解している。しかしながら、環境影響評価に用いるデータ解析については経験が浅く、今後その経験を積むことで適切な環境対策を展開できるようになると期待される。



研究結果検討会

同じく、金属回収試験に携わった MMI Bor 側スタッフの知識・技術レベルは高く、個々の試験や議論は十分に行える能力を備えている。試験環境として見れば多少古い施設ではあるが、一通り必要な器具・装置類がそろい、技術スタッフが献身的に試験に取り組むなど作業に向き合う姿勢は高く評価できる。ただし、金属回収テーマとしてプロジェクト全体の位置付け、コンセプト、回収対象となる金属(銅)量の計算や環境評価など、構想全体の明確化、技術と経済面を両立させた議論が必要であることを感じた。これら評価・検討を積み重ねることでプロジェクトの推進につながり、リサーチアウトカムズとして環境管理を含めた全体成果につながることを期待される。

金属回収試験に関する写真



1. サンプルング状況



2. サンプルング後の試料分割(調整)



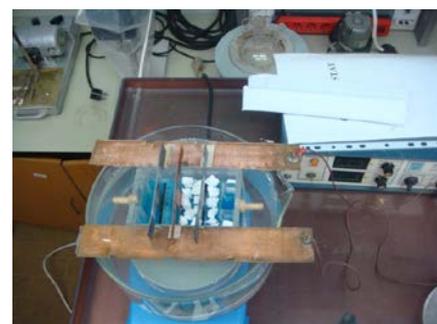
3. 試験状況1(浸出試験)



4. 試験状況 1(浸出試験)



5. 試験状況 2(溶媒抽出)



6. 試験状況 3(電解採取)

案件名	鉱山廃さい堆積管理
派遣専門家	石山大三・川原谷浩・佐藤比奈子
所属機関	秋田大学 大学院 工学資源学研究科・教授 秋田大学 大学院 工学資源学研究科・技術長 秋田大学 大学院 工学資源学研究科・技術専門職員
相手国研究機関	ボール鉱業・冶金研究所(The Institute for Mining and Metallurgy Bor)

セルビア共和国 Bor 地区鉱業技術協力

(平成 24 年 4 月 ～ 5 月)

1. 背景

セルビア共和国ボール市周辺は、同国では斑岩銅鉱床を稼行対象にした重要な銅鉱山地域である。同地域の鉱山施設は建設から長期間が経過していること、また、政情が不安定な時期もあったこともあり、鉱山技術の開発と設備の更新に遅れが目立っている。同地域は、セルビア共和国の東部に位置し、この地域の東部には、ルーマニア、ブルガリアが位置する。ボール市周辺の鉱山および金属資源精製施設(選鉱・製錬施設等)、廃滓管理地から流出する重金属元素は、同市を流れる Bor 川および Krivelj 川から Timok 川を経由して Danube(ドナウ)川に流れ、ルーマニア、ブルガリアに汚染が拡大している可能性が考えられている。本研究では、河川水を対象にした多国間に広がる重金属や有害元素の環境調査法の確立、その環境汚染の予察的実態把握と環境汚染防止のための金属回収法の開発を目的として行うことになった。

2. 事業活動

- 1) 重金属汚染等の把握を対象にした環境影響調査法の確立および環境汚染実態把握のための予察的調査の研究
環境評価の研究では、鉱山周辺や下流域の汚染危険度を評価するだけでなく、将来にわたり下流域に放出を防止すべき元素とそうでない元素を判別することができる。その研究結果は、将来の環境負荷低減も目指した選鉱・製錬プロセス構築の際に指針を与えることができる。
- 2) 環境汚染防止も視野に入れた既存鉱石の金属回収効率の向上および金属回収処理が不十分な尾鉱からの金属再回収法開発の研究
金属回収の研究では、環境評価研究からフィードバックされるデータも考慮し、選鉱・製錬プロセスにおける金属回収効率を向上させることで下流域への流出重金属量の抑制が可能になり、環境汚染防止を進めることができる。

両研究のデータから、選鉱・製錬プロセスの最終的な廃棄物に含まれる有害元素の種類と濃度の把握が可能であり、最終廃棄物の管理処分の際の処分地の適正条件、環境管理法などについても指針を考えることができる。



共同野外調査の様子 (※1)

3. これまでの活動内容

Mining and Metallurgy Institute Bor (MMI Bor と略記) の環境研究メンバーと共同で環境影響評価のための調査を 4 月 25 日から 5 月 8 日まで行った。今回は、昨年 8 月の共同調査、11 月のセルビア側調査に引き続く調査で、雪解け後の増水期の環境影響評価を行うことを目的として実施した。日本・セルビア両国のメンバーで協議し、鉱山廃水・製錬所からの排水・河川水の試料採取地点については、昨年の 20 カ所の試料採取地点に加えて、汚染廃水の影響が強い Bor 川近傍の地下水、さらにはそれから少し離れた集落の井戸水についても採取す

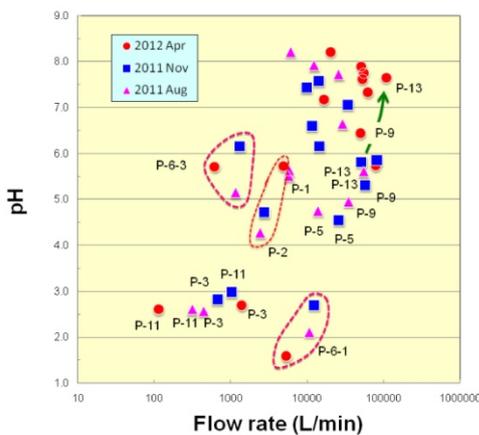


共同野外調査の様子(試料採取)

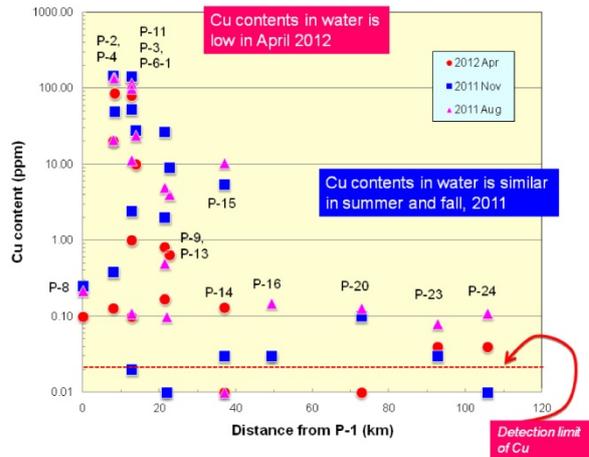
ることとした。実際の調査においては、昨年同様 JICA により供与された研究機材を利用し、各試料採取地点において、温度・pH・酸化還元電位・溶存酸素濃度の測定、河川水および河川堆積物の試料採取、最新の比色計を用いた化学組成分析を共同で行った。セルビア研究者も実験装置の取り扱いについては、すでに習熟しており、分析は能率的に実施された。比色計での測定の際には、実際の試料について比色計と MMI Bor の発光 ICP 分析装置による比較測定も行い、測定溶液の pH の調整が重要であることを確認した。

今年度の調査で得られた結果は次のとおりである。

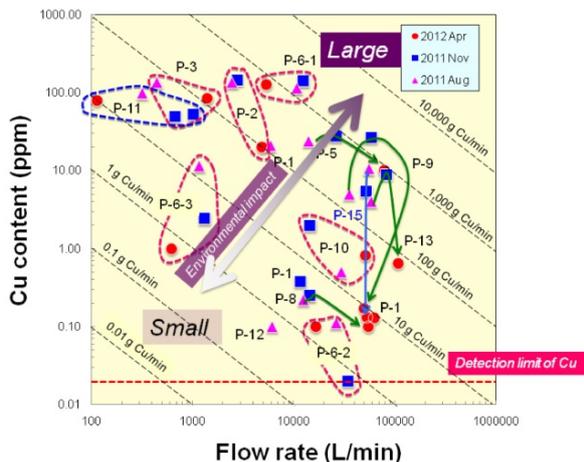
- a) 比色計で試料を測定する際には、pH を 4 程度に調整することが重要で、それより溶液が酸性の場合には、分析値が小さく測定されることを確認した。調整法としては、純水での希釈と NaOH 溶液の添加で行うことを、基礎実験を行い確認した。
- b) Bor 鉬山周辺での重金属汚染の原因となる要因は、雪解け後の春季においても製錬所からの廃水であった。春季は、夏季、秋季に比較して、河川の水量が多く、環境への影響は軽減されている。しかし、製錬所からの廃水の重金属濃度は季節による変化は小さく、本地域への環境負荷を軽減するためには本廃水の管理が重要であると考えられる。
- c) Bor 鉬山下流 25 km 地点の Bela 川と Timok 川合流点より若干上流の Bela 川流域では、その河川水中の Cu 濃度は約 0.1 ppm で、他の時期に比較すると濃度は低下したが、春季でも鉬山廃水の影響が下流域まで及んでいることが確認された。
- d) Bor 鉬山から河川に沿った約 50 km 下流地点の Timok 川およびその下流域では Cu 濃度は、0.1 ppm 以下であり、Timok 川下流域では重金属元素濃度は、バックグラウンド値であることが確認された。2012 年 4 月においても、Bor 鉬山からの重金属元素の影響はドナウ川には及んでいないと考えられる。



Bor 鉬山地域からドナウ川までの河川水の pH 変化



Bor 鉬山地域からドナウ川までの河川水の Cu 濃度変化



Bor 鉬山地域の鉬山廃水および Bela 川、Timok 川河川水の銅含有量と流量の関係を示した

調査終了時には、現地調査で得られたデータの解析結果をまとめ、カウンターパートも含めた研究発表会を実施し、研究方法、解析結果、環境影響の現状について意見交換を行った。さらに、今後の研究方針について議論し、今後の環境対策のために 7 月から 8 月に再度調査を実施し、重金属濃度の上昇の確認と下流域の鉱山廃さい分布地域での流量変化が小さいことについての原因究明を行うことを確認した。

4. 所感

セルビアの技術者のレベルは高く、基本的な実験操作には問題がない。今回の研究チームの共同研究者は、実験操作にさらに慣れてきており、分析精度の向上に強い意欲を持っていた。天秤等の基礎的な実験用具・装置の充実により、さらなる分析精度の向上や技術開発の発展が期待される。セルビアの共同研究者は、環境保全への意識は高く、鉱山周辺の住民が生活する地域の地下水の分析等にも関心があり、調査の重要性・必要性については理解している。環境影響評価に用いるデータ解析と考察についても、共同研究者が自ら行うようになると、経験の蓄積とともに適切な環境対策を展開できるようになると期待される。今回の調査期間では、時間的には野外での分析データ取得が主となったが、さらなる日本側専門家の滞在、あるいはセルビアの共同研究者の日本への短期、長期招聘ができれば、取得データ解析と考察のための能力育成が可能になるとと思われる。



研究結果検討会の様子

※1 セルビア政府環境鉱業空間省次官補 Zoran Teodorovic 氏(写真左側に立っている方)の視察も行われました。

案件名	鉱山廃さい堆積管理
派遣専門家	柴山敦・高崎康志・増田信行
所属機関	秋田大学 大学院 工学資源学研究科・教授 秋田大学 国際資源学教育センター・准教授 秋田大学 国際資源学教育センター・准教授※
相手国研究機関	ボール鉱業・冶金研究所(The Institute for Mining and Metallurgy Bor)

※派遣時の役職

セルビア共和国 Bor 地区鉱業技術協力

(平成 24 年 7 月)

背景

セルビア共和国ボール市周辺は、同国では斑岩銅鉱床を稼行対象にした重要な銅鉱山地域である。同地域の鉱山施設は建設から長期間が経過していること、また、政情が不安定な時期もあったこともあり、鉱山技術の開発と設備の更新に遅れが目立っている。同地域は、セルビア共和国の東部に位置し、この地域の東部には、ルーマニア、ブルガリアが位置する。ボール市周辺の鉱山および金属資源精製施設(選鉱・製錬施設等)、廃滓管理地から流出する重金属元素は、同市を流れる Bor 川および Krivelj 川から Timok 川を經由して Danube(ドナウ)川に流れ、ルーマニア、ブルガリアに汚染が拡大している可能性が考えられている。本研究では、河川水を対象にした多国間に広がる重金属や有害元素の環境調査法の確立、その環境汚染の予察的実態把握と環境汚染防止のための金属回収法の開発を目的として行うことになった。

事業活動

- (1) 重金属汚染等の把握を対象にした環境影響調査法の確立および環境汚染実態把握のための予察的調査の研究環境評価の研究では、鉱山周辺や下流域の汚染危険度を評価するだけでなく、将来にわたり下流域に放出を防止すべき元素とそうでない元素を判別することができる。その研究結果は、将来の環境負荷低減も目指した選鉱・製錬プロセス構築の際に指針を与えることができる。
- (2) 環境汚染防止も視野に入れた既存鉱石の金属回収効率の向上および金属回収処理が不十分な尾鉱からの金属再回収法開発の研究では、環境評価研究からフィードバックされるデータも考慮し、選鉱・製錬プロセスにおける金属回収効率を向上させることで下流域への流出重金属量の抑制が可能になり、環境汚染防止を進めることができる。両研究のデータから、選鉱・製錬プロセスの最終的な廃棄物に含まれる有害元素の種類と濃度の把握が可能であり、最終廃棄物の管理処分の際の処分地の適正条件、環境管理法などについても指針を考えることができる。

活動内容

7 月 16 日にベオグラードのセルビア環境・鉱山・空間計画省にて ZLATKO DRAGOSAVLJEVIC 副大臣、JELENA MILENKOVIC 研究開発部長と会合を行った(写真 1)。副大臣から、これまでの日本の協力に対する感謝の言葉とともに、Bor 鉱山における環境問題解決に対しての強い意欲と、本プロジェクトの研究開発に対し国として協力することを示された。日本側からは、昨年度の結果を受けて、日本でいくつかの研究を行ってきたことを Mining and Metallurgy Institute Bor(MMI Bor と略記)にて報告することなどを述べた。これら研究の基礎データは、今後のプロジェクト展開にも重要な意味を持つこと、また、鉱山廃さい堆積場管理における金属回収の経済性を考えるためには尾鉱全体の量や金属含有量の調査が必要となることなどを助言した。



写真 1 セルビア環境・鉱山・空間計画省にて

その後 Bor 市に移動し、7 月 20 日まで MMI Bor の金属回収研究メンバーと共同で尾鉱からの銅浸出率向上を目的とした研究を行った(写真 2)。なお、前回日本に持ち帰った尾鉱サンプルの X 線回折、電子顕微鏡観察ならびに浸出・溶媒抽出試験の報告も行った。具体的には、X 線回折を行った結果は、尾鉱中の銅鉱石含有量が少ないため X 線回折による同定は困難であった。そこで電子顕微鏡による観察を行ったところ、銅鉱石粒子は黄銅鉱、硫砒銅鉱ならびに硫化銅であることが考えられた。一般的に、硫酸を用いた浸出(常温付近)では黄銅鉱と硫砒銅鉱の溶解は容易ではない。実際に、浸出残渣を電子顕微鏡にて確認したところ、未溶解の銅鉱石粒子のほとんどは黄銅鉱か硫砒銅鉱であった。また、サンプルの断面観察により、脈石内部に銅鉱石粒子が含有されていることも確認された。浸出・溶媒抽出実験(確認実験)の結果は、昨年度 MMI Bor が行った結果とほぼ同じ結果が得られ、お互いのデータの信頼性が確認された。以上の結果を踏まえて、今年度の研究は尾鉱を再粉砕することで銅浸出率の向上を期待し実験を行った。さらに、7 月 18 日には日本側金属回収メンバーによる河川合流点ならびに尾鉱ダムの視察を行った。



写真 2 MMI Bor にて

7 月 20 日にはベオグラードへ移動し、JICA バルカンオフィスにて今回の活動報告と今後の方針等についてミーティングを行った(写真 3)。その後、セルビア環境・鉱山・空間計画省にて、JELENA MILENKOVIC 研究開発部長と ANA DAJOVIC 相談役にこれまでの活動内容を報告した。本報告会では MMIBor の Zoran 研究部長も同席し、研究所からの報告も行った(写真 4)。



写真 3 JICA バルカンオフィスにて



写真 4 セルビア環境・鉱山・空間計画省にて

今年度の研究調査で得られた結果は次のとおりである。

- a) 新規ボーリングサンプル(深さ 6m)を用いて硫酸浸出を行った。条件は昨年の結果を参考に pH は 1、温度は室温、50℃、80℃の 3 通りとし、浸出時間 4 時間、パルプ濃度 1:2.5(400g/L)とした。その結果、銅浸出率は室温、50℃、80℃の順に、55.3、62.1、59.4%と微粉砕してもさほど浸出率は向上しないことが明らかになった(写真 5)。なお、溶媒抽出試験の結果は昨年度とほぼ同様の結果が得られた。
- b) 前述したように浸出率の向上が得られなかったことから、焙焼したサンプルや浸出液に酸化剤を加えたサンプルなどいくつか条件を変えて実験を行うこととした。実験条件は、パルプ濃度を下げた(1:5、200g/L)浸出、640℃で焙焼(大気)したサンプルの浸出、酸化剤(Fe^{3+})を添加した浸出、オリジナルサンプルの浸出(再実験)、200℃で加熱したサンプルの浸出である。浸出試験の結果、尾鉱サンプルを 200℃で加熱した条件が最も良い浸出率を示すなど、全体的に結果に疑問を生じたため、セルビア側で再テストすること、および日本に同じサンプルを持ち帰り実験を行うこととした。
- c) 河川合流地点の視察では、選鉱場からの河川(写真 6)と尾鉱ダムからの河川合流点(写真 7)などを視察した。これまでの調査や写真からも明らかのように、排水対策の必要性が強く感じられた。尾鉱ダム(写真 8)を視察したところ尾鉱ダムの一部は、風によって尾鉱が飛散して多量に堆積しており(写真 9)、本研究調査とは別に何らかの対策も強く望まれた。



写真 5 浸出後ろ液の概観



写真 6 選鉱場からの河川



写真 7 選鉱場からの河川と尾鉱ダムからの河川合流点



写真 8 尾鉱ダム概観



写真 9 尾鉱ダムから尾鉱が飛散している地点概観

所感

セルビア環境・鉱山・空間計画省において副大臣と会合を行い、セルビア側の環境保全への意識は以前よりも高まっていることが強く感じられ、今後さらなる協力を行うことで両国の信頼がより増すことが期待される。日本側による確認実験によりセルビア側とほぼ同じデータが得られたことから、あらためてセルビア側の技術者のレベルは高く、個々の実験操作や分析技術などに問題がないことが確認された。なお、これまでも指摘されているが、例えばスターラー攪拌子が長年の使用によりかなりすり減っているなど、基礎的な実験用具・装置の充実が強く望まれた。また、セルビアの共同研究者を日本に招聘し、研究所にはない設備、例えば高解像度電子顕微鏡による試料観察等を行うことで分析技術や考察能力のさらなる向上が期待される。最後に、セルビア訪問では毎回多大な協力をいただき深く感謝申し上げます。

案件名	鉱山廃さい堆積管理
派遣専門家	増田信行・柴山敦・石山大三
所属機関	秋田大学 国際資源学教育センター・教授 秋田大学 大学院 工学資源学研究科・教授 秋田大学 大学院 工学資源学研究科・教授
相手国研究機関	ボール鉱業・冶金研究所(The Institute for Mining and Metallurgy Bor)

**セルビアボール鉱山地域の環境影響評価および廃滓の無害化・資源化に関わる
研究成果と今後の課題**

(平成 23 年 7 月～ 平成 25 年 6 月)

2011 年 7 月から 2013 年 6 月まで、セルビア国東部ボール斑岩銅鉱山から国際河川のドナウ川までの地域において、ボール地域からの鉱山廃水によるドナウ川の水質への影響評価、同鉱山周辺地域の環境影響評価、鉱山廃水等による環境負荷軽減のための廃滓の無害化・資源化法の開発、さらには環境影響評価と廃滓の無害化・資源化法を組み合わせた環境評価保全システム最適化の基礎研究を行った。研究プロジェクトのまとめとして、その研究成果を 2013 年 7 月 4 日にボール市市民ホールでワークショップとして一般に公開した(図 1、2、3)。その内容は次のとおりである。



図 1



図 2



図 3

ボール市市民ホールにおける一般への公開研究発表会

環境影響評価の研究では、採掘現場からの廃水や野外に放置されている廃滓からの廃水等数多く存在する鉱山廃水発生源(図 4、5)の中でも鉱物処理等を行う選鉱・製錬プラントからの廃水が最大の汚染源であることが明確になり、科学技術の応用により改善が可能であることが明らかになった。また、ドナウ川の水質への影響については、2011 年から 2013 年においては、ボール鉱山地域から河川水により重金属元素がドナウ川まで運搬され影響を与えていることは認められなかった。一方、ボール鉱山地域から下流 20km 程度までの地域では同鉱山地域からの河川水の重金属濃度(例えば、銅(Cu))は、環境基準値や日本の秋田県の河川水濃度の 100 倍から 1000 倍高い地点が存在したり(図 6)、河川堆積物の銅高濃度地域がドナウ川近傍まで分布すること(図 7)も示された。今後のドナウ川への影響を未然に防止するためにも、発生源での重金属の回収とボール鉱山地域下流域の環境対策は早急に実施されなければならないことが明らかになった。



図 4. 鉱山下流河岸の廃滓沈積と水質汚染



図 5. 鉱山周辺の廃滓堆積と高濃度汚染水

一方、鉱業廃滓として発生する選鉱尾鉱には有用金属として低品位ながら銅が残留している。セルビアボール地区には約 2、700 万トンの選鉱尾鉱が堆積していることから、選鉱尾鉱からの銅回収を目的に再資源化に関する研究を実施した。2011 年から共同研究を兼ねて現地を訪問したが、ボール鉱業冶金研究所ではピーカー試験による選鉱尾鉱の硫酸浸出、抽出剤を用いた銅の溶媒抽出、銅の電解採取試験などを行ってきたものの、第一工程となる銅の浸出率が約 60%に留まり、採取率の改善を果たすことができなかった。そこで 2012 年、新たに採取したサンプルを秋田に持ち帰り、秋田大学所有の高温高压反応装置(オートクレーブ)で加圧酸浸出法による銅の浸出性を調べた。その結果、銅の浸出率は 90%以上に達するなど、これまでボール研究所で実施した多くの浸出試験に比べ浸出成績が大幅に改善し、浮遊選鉱法と呼ばれる濃縮プロセスを組み合わせた多段回収法の可能性を見出すことができた(図 8、9)。ボール鉱業冶金研究所でその技術指導を行ったところ、同研究所の研究者も強い関心をもったことから今後の共同研究の重要テーマの一つに位置付ける方針とした。今回の技術はボール地区の選鉱尾鉱を対象としたテーマであるが、世界各地には古くから操業を続けてきた鉱山が多数あり、当該技術を利用することが期待される。また加圧酸浸出法は尾鉱や低品位鉱石でなく、レアメタル鉱石への応用が期待されるなど、資源回収技術の高度化を果たすためにも重要なテーマであることが示唆された。

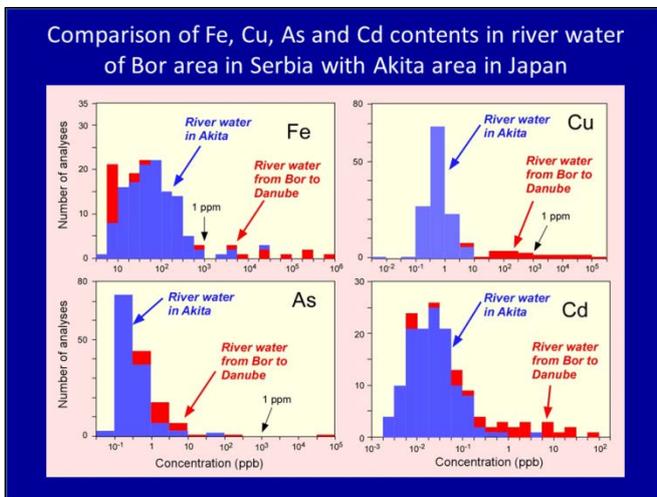


図 6. セルビアボール鉱山地域ードナウ川間の河川水と秋田県の河川水の Fe, Cu, As, Cd 含有量の比較

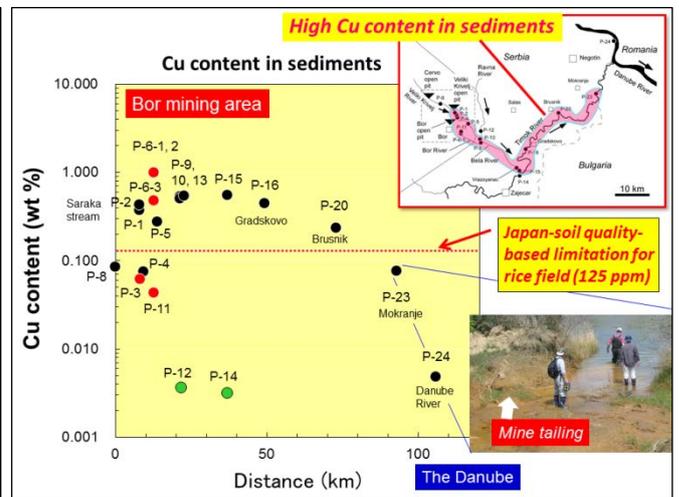


図 7. セルビアボール鉱山地域ードナウ川間の河川堆積物の Cu 含有量の変化

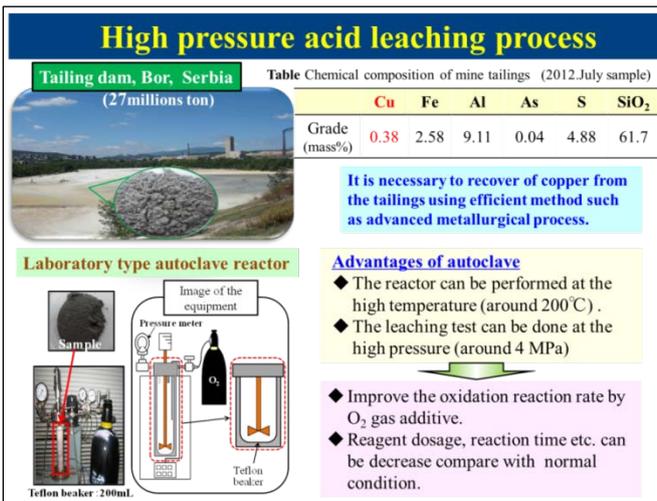


図 8. セルビアボール地区における選鉱尾鉱からの加圧酸浸出による金属回収の概要

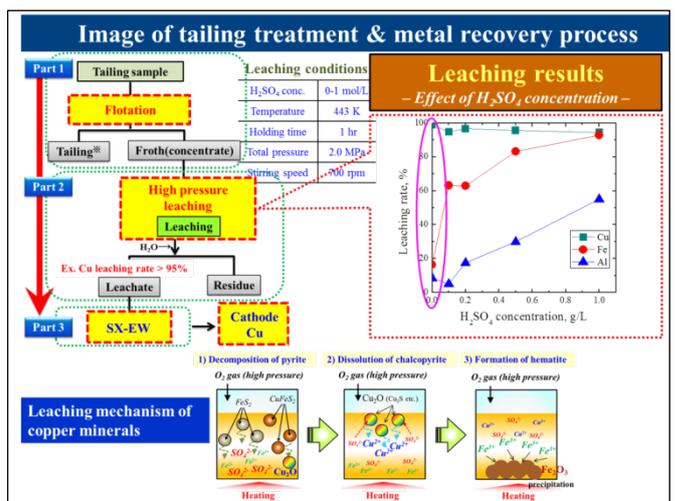


図 9. セルビアボール地区選鉱尾鉱からの銅回収と加圧酸浸出による浸出結果と考察

今回の研究プロジェクトの結果、鉱山からの銅、鉄、ヒ素、カドミウムなどのレアメタルを高濃度に含む廃水が河川を汚染していること(図 6)や鉱山からの廃棄物である廃滓や廃石が鉱山周辺のみならず河川沿いに広く拡散し、河川水の酸性化や金属汚染が進んでいることが判明した(図 4、5、7)。セルビア国東部にはこの他にも多くの鉱山があり、国際河川であるドナウ川の水質への影響を把握するためには、さらに広域的に調査する必要がある。具体的には地表での調査地域を複数の鉱山地域を対象とするように拡充し、地表データの充実を図るとともに、それらのデータとリモートセンシング技術を組み合わせ、廃滓分布解析技術や河川水の水質解析技術の開発と応用を推進し、リモートセンシング技術による短時間で広域地域の環境影響評価が達成できるシステムを構築する必要がある。

また、環境影響評価の結果に基づくと、鉱山下流の河川水中には年間総量で 800 トン近くの銅が流れ出ている計算になる。さらに多量に廃棄されている廃滓の一部では銅が 0.5% 程度含まれていてこれは世界の銅鉱山の平均品位に近いものである。これらの結果を総合し、廃滓・廃石や廃水から加圧抽出法(図 8、9)・中和沈殿法・吸着法を組み合わせたシステムを利用して金属分を回収すると同時に環境汚染を低減することが実現可能である。

リモートセンシング技術を利用し、広範な地域に拡散する廃滓の性状や分布量、廃水の水質や環境負荷などを明らかにする環境影響評価技術とともに回収率が高く微量金属の除去まで可能な高度な金属回収技術による廃滓や廃水の資源化・無害化が今後推進すべき研究課題であることが示された。本研究チームでは、今後このような研究課題に継続的に取り組むことにより Bor 鉱山周辺の環境問題の解決に資するとともに世界的な資源開発に伴う環境汚染の深刻化への対応や持続的な鉱山開発に貢献することを目指している。