

新潟大学災害・復興科学研究所
共同研究報告書

酸性河川流域の重金属類の分布特性と豪雨時の曝露リスク評価

研究代表者氏名 川辺 能成¹⁾
研究分担者氏名 斎藤 健志²⁾
研究分担者氏名 渡部 直喜³⁾

1) 早稲田大学・創造理工学部 2) 産業技術総合研究所・地質調査総合センター
3) 新潟大学災害・復興科学研究所

研究要旨

本研究では、福島県内の酸性河川を対象に、自然浄化機構と有害物質の移動特性、および人の健康リスクを総合的に評価した。酸性河川では、流下に伴い pH が上昇して中性に近づくとともに、重金属濃度が低下する傾向が確認された。これは、支流流入や降雨による希釈効果に加え、周辺表層土壌や河川堆積物との化学反応によるものと考えられる。河川水および堆積物からの溶出試験の結果、重金属濃度は流下に伴い低下したが、鉄やアルミニウムについては堆積物中の含有量に顕著な減少は認められなかった。一方、ヒ素は鉄との共沈により上流域で一定程度除去される傾向が示された。リスク評価の結果、表層土壌に由来するヒ素曝露は暫定耐容週間摂取量 (PTWI) を下回り、健康リスクは低いと評価された。しかし、洪水時に河川水や堆積物が周辺環境へ拡散する影響を考慮すると、最上流域では地下水飲用を主な曝露経路として PTWI を上回る可能性が示され、特に井戸水利用において注意が必要である。

A. 研究目的

わが国には酸性河川が多く存在し、一部では中和処理が実施されているものの、未処理の河川も多く残されている。これらの河川水や河川堆積物にはヒ素や鉛などの有害な重金属類が含まれており、豪雨や洪水時には周辺の農地や住宅地へ拡散し、人の健康や農作物への影響が懸念される。一方、酸性河川では流下に伴い pH が上昇し、重金属濃度が低下する自然浄化作用が働くことが知られているが、その実態やリスク低減効果については十分に解明されていない。そこで本研究では、酸性河川を対象とした広域的な現地調査を実施し、河川流下に伴う pH 変化および重金属類濃度の挙動を明らかにする。さらに、河川水から河川堆積物および周辺表層土壌への移行特性を評価するとともに、曝露評価モデルを用いたリスク評価により、豪雨時を想定した周辺住民の健康リスクを定量的に評価することを目的とする。

B. 研究方法

本研究では、福島県猪苗代町の長瀬川、酸川および硫黄川を対象に、現地調査を実施した。硫黄川を起点とし猪苗代湖までの流下に沿って 12 地点を設定し、河川水、河川堆積物および周辺表層土壌を計 32 地点で採取した (図 1)。試料採取は支流合流後の地点を基本とし、水試料は河川中央部から採取して空気混入を避けて密封し、冷蔵保存した。河川堆積物および表層土壌はステンレス製器具を用いて採取し、冷蔵保存後に乾燥および 2 mm ふるい分けを行った。水試料は 0.45 μm フィルターでろ過後、硝酸を添加して保存した。堆積物および土壌については、環境省告示第 18 号に準拠した水溶出試験および第 19 号に準拠した塩酸溶出試験を実施した。得られた検液中の重金属濃度は、ICP-MS および ICP-OES により定量し、各媒体における重金属の分布および移行挙動を評価した。



図1 試料採取地点（国土地理院地図 Vector で作成）

C. 研究結果

本研究では、河川水、河川堆積物および周辺表層土壌中の重金属濃度を測定した。その結果、河川水中の重金属濃度は全体として上流（S1）が高く、流下に伴い減少する傾向が認められた。特に鉄およびアルミニウムは高濃度で検出され、ヒ素および亜鉛についても上流部で環境基準を超過する地点が確認された。一方で、S3以降の下流域ではヒ素濃度は大きく低下し、ほとんどの地点で1 ppb未満となった。支流の重金属濃度は本流上流部と比較して低く、合流による希釈効果が示唆された。

河川堆積物の水溶出試験では、河川水中濃度と同様に上流で溶出量が大きく、下流に向かって減少する傾向が認められた。ただしヒ素の溶出量は数 ppb程度と低く、環境基準を超過する試料は確認されなかった。塩酸溶出試験による含有量では、鉄およびアルミニウムは必ずしも上流で高い値を示さず、むしろ中流から下流域で増加する傾向がみられた。

周辺表層土壌については、重金属濃度や溶出量に明確な流下傾向は認められず、地点ごとのばらつきが大きかった。いずれの試料においても環境基準を超過する値は確認されなかった。

pHは最上流で約2.3と強い酸性を示したが、流下に伴い上昇し、下流では約3.8まで増加した。

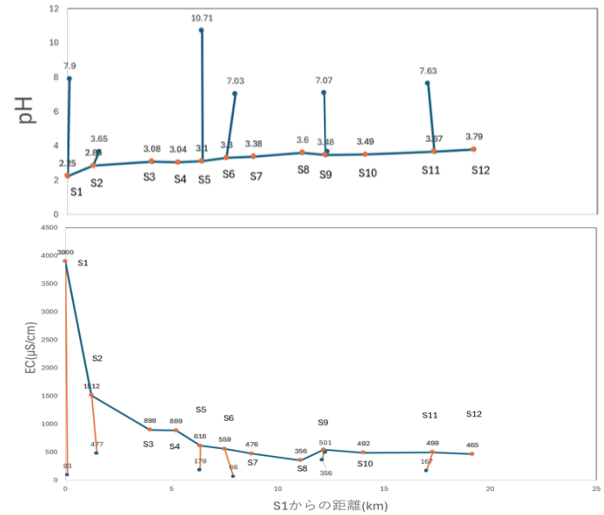


図2 河川流下に伴う pH および EC の変化

また電気伝導度（EC）は上流で高く、流下とともに低下した。これらの結果より、河川流下に伴う水質の改善傾向が確認された（図2）。

ヒ素に関するリスク評価では、周辺表層土壌を対象とした場合、全曝露量は暫定耐容週間摂取量（PTWI）を下回り、健康リスクは低いと評価された。一方、洪水時を想定した場合には最上流部においてPTWIを超過する可能性が示された。

D. 考察

河川水中の重金属濃度が流下に伴い減少した主な要因として、支流流入による希釈効果が挙げられる。本研究対象流域では、支流の重金属濃度およびECが本流上流部と比較して著しく低く、合流により濃度が低減したと考えられる。また、pHの上昇も重要な要因であり、鉄やアルミニウムは中性付近で水酸化物として沈殿しやすくなる。このため、溶存態としての濃度が低下した可能性が高い。さらにヒ素については、鉄酸化物への共沈作用により除去されたと考えられ、上流部での急激な濃度低下を説明できる。

一方で、河川堆積物の含有量が下流に向かって増加した点は、溶存態から固相への移行を示唆している。流下に伴うpH上昇により金属が沈殿し、それが堆積物として蓄積することで含有量が増加したと考えられる。また、流速の低下により微細粒子が下流域に沈降しやすくなることも影響している可能性がある。さらに鉄については、堆積物中で還元環境が形成されることで硫化鉄として固定化され、溶出性が低下した可能性がある。

これにより、含有量は増加する一方で水溶出量は減少するという結果が得られたと解釈できる。

アルミニウムについても同様の傾向がみられたが、アルミニウム酸化物は不動態化しやすく、溶解度が低いため、より顕著に溶出量の低下が生じたと考えられる。一方で、特定地点における濃度変動は、温泉水や人工起源のアルカリ水の流入など局所的要因の影響を受けた可能性がある。

周辺表層土壌において明確な傾向が見られなかった理由としては、土壌種の違いが大きく影響していると考えられる。黒ボク土、褐色森林土、灰色低地土などはそれぞれ鉱物組成や吸着特性が異なり、重金属の保持・溶出挙動が異なる。このため、河川からの影響よりも土壌固有の性質が支配的であった可能性が高い。

リスク評価の結果から、平常時における周辺住民への健康影響は小さいと考えられる。一方で、洪水時には上流部においてリスクが増大する可能性が示された。特に地下水摂取が主要な曝露経路となる点は重要である。ただし、実際には土壌中での吸着や希釈により地下水中濃度は低下する可能性が高い。

E. 結論

本研究では、福島県猪苗代町の酸性河川を対象に、河川水、河川堆積物および周辺表層土壌中の重金属分布と移行挙動を調査した。その結果、河川水中の重金属濃度は上流で高く、流下に伴い低減する傾向が確認され、支流流入による希釈やpH上昇に伴う沈殿反応などの自然浄化作用が寄与していることが示唆された。特にヒ素は鉄との共沈により上流域で低減する傾向が認められた。一方で、河川堆積物中の鉄およびアルミニウムは流下に伴う明確な減少は見られず、溶存態から固相への移行および蓄積が進行している可能性が示された。今後は、採取地点の高密度化や季節変動の把握に加え、土壌特性の違いを考慮した評価を行うことで、重金属の移行挙動についてより詳細な理解を進めていく必要がある。

F. 研究発表

1. 論文発表 (掲載誌名・巻号・頁・発行年を記入し、
掲載論文あるいはPDFファイルを別紙で1部提出)

1) Takeshi Saito and Naoki Watanabe (2025):
Water geochemistry and quantitative

estimation of its potential sources in 15 representative rivers, Sado Island, Niigata Prefecture, Japan. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 25, <https://doi.org/10.1144/geochem2024-025>.

2. 学会発表 (学会名・発表年月・開催地なども記入)

- 1) 蓮尾 裕紀、原 淳子、川辺 能成 (2025): 機械学習を用いた自然由来重金属による土壌汚染の評価. 資源・素材学会(2025)札幌, 札幌市市, 2025年9月.

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む)

1. 特許取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし