

学 位 論 文 題 名

Study on Dynamic State of Arsenic Compounds and Basin Water Management in Toyohira River System

（豊平川水系におけるヒ素化合物の動態と流域水管理に関する研究）

学位論文内容の要旨

近年、国内外の多くの地域でヒ素汚染が問題となり、環境中での動態解明や汚染対策のため調査・研究が行われている。本研究は、豊平川水系における安全な水資源の確保、そして水環境保全を念頭に、河川流下過程におけるヒ素の流出機構や質変化機構、並びにダム湖や豊平川扇状地でのヒ素蓄積機構について検討した。さらには、本研究で得られた知見をもとに、豊平川水系における流域水管理のあり方について論じた。河川においてヒ素は、低水時には希釈型、濃度一定型の流出パターンを、また出水時には洗い出し型の流出パターンを示し、これら流出機構の変化には、ヒ素の底泥への堆積とその洗い出しが関与し、出水時は、ヒ素のほとんどが懸濁態として流出することを明らかにした。また、河川、扇状地土壌でのヒ素の懸濁化、質変化には、化学反応のほか、生物作用が関与すること、マクロ的視点での動態変化には、ダム貯留等の流域環境、気象条件、そして流量変動が関与することを明らかにした。定山溪温泉からポイントソースとして供給されるヒ素は、扇状地の形成や流域での水循環など時間的・空間的移動を経て河川底質のみならず豊平川扇状地土壌、茨戸湖底泥にも広がり、潜在的な地質由来のノンポイントソースとして水域へ影響を与える。豊平川は札幌市の飲料水のほとんどを賄うなど、札幌市民の生活が本河川に依存する以上、温泉湧出水に起因する有害物質としてのヒ素の管理は、豊羽鉱山の選鉱廃水に含まれていたカドミウム以上に深刻であり、管理手法を検討する上で、ヒ素の動態解明は避けて通れない重要な検討課題である。豊平川の流域水管理においては、自然の摂理に従った水循環、ヒ素循環によって、豊平川扇状地が潜在的にヒ素汚染ポテンシャルの高い地域であることを念頭に、環境中でのヒ素の起源と動態を十分把握した上で、ヒ素汚染リスクの程度、水利用、土地利用状況に応じた保全、対策措置等を講じることが重要である。

第四章では、網下気室型ジグに圧力センサーを取り付け、廃プラスチック破碎物の実試料の圧力損失を実測し、圧力損失と高品位産物を得るための最適条件との関係を検討した。試料および実験装置は第二章で用いたものと同じであり、このジグの水室底部に圧力センサーを取り付けた。実験では、各試料について脈動条件を層厚 5cm、波高 10cm、台形波として、種々の上昇速度の脈動を与えながら、上昇流発生中における水室の圧力の変動を計測した。圧力計測と観察の結果から粒子層の流動化開始点が判断でき、その点は第二章で求めた高品位産物を得ることができる最適条件における上昇流速度と一致することを明らかにした。また、力の釣り合いの式と Ergun の式の 2 つの方法で圧力損失を予想し、その値から最適条件の予測を可能とした

第五章では、気泡を導入しながらジグ選別実験を行い、粒子の濡れ性の差と比重差を利用した、新しい選別法を開発した。試料として第三章と同じものを用い、第二章で用いた網下気室型ジグの網下

に気泡を発生させる機構を設置して、粒子層に気泡を所定量付与しながら種々の運転条件の下で選別試験をした。その結果、比重差が0のプラスチック混合物から99.9%の品位の上層産物、下層産物を回収できた。また比重差が0.11の混合物から99.9%品位の重比重粒子を上部産物に、軽比重粒子を下部産物としてそれぞれ回収できた。これらの結果は、より疎水性の強いプラスチック表面に気泡が選択的に付着することで、見かけ比重の差を大きくできることによるものであり、本選別法をハイブリッドジグ選別と命名した。

第六章では、ハイブリッドジグ選別における抑制剤(湿潤剤)添加とその効果について検討した。試料として第三章と同じものを用い、ビーカーに所定濃度の種々の抑制剤水溶液200mlとプラスチック試料50粒を入れ、マグネティックスターラで700rpm、2分間攪拌した。次に、ビーカーを減圧デシケーター内に入れて、アスピレーターで10分間減圧することで発生した気泡を表面に付着させ、液面に浮上してきたプラスチック粒子の個数から浮上試料量のフィード量に対する割合を算出し、これをプラスチック濡れ性評価の指標とした。多くのプラスチックで、抑制剤による表面に対する湿潤効果が認められた。次に、試料を純水で洗浄し、この操作を繰り返すことで洗浄効果を調べた。洗浄後、プラスチックの種類によって抑制剤の効果が増すものと、減少するものがあった。これらの結果から、プラスチック混合物の種類によっては、選別前にフィードに抑制剤を添加して条件付与することで、ハイブリッドジグ選別の選別効果をより高くできることを見出した。

第七章では、第六章までに得られた知見に基づき、ジグ選別の廃OA機器のプラスチックリサイクル・プラントとカーシュレッターダストリサイクル・プラントへ応用した結果について述べた。廃OA機器のプラスチックリサイクルウエスタンミシガン、パイロットプラント実証試験を行い、ポリスチレン、アクリロニトリルブタジエンスチレン、ポリエチレンテレフタレート各破砕物からなるフィードより、2槽式ジグを用いて、それぞれ99.8%、99.3%、98.6%の品位の産物を回収できた。カーシュレッターダストリサイクル・プラントでは、商業規模のプラントが建設され、現在試験運転、調整中であり、フィードを粗選別する粗粒粗選ジグについての選別結果を紹介した。

第八章は結論であり、本論文で得られた主な知見を総括した。

学位論文審査の要旨

主 査	助教授	橋	治 國
副 査	助教授	五十嵐	敏 文
副 査	教 授	山 下	俊 彦
副 査	教 授	泉	典 洋
副 査	教 授	高 橋	正 宏

学 位 論 文 題 名

Study on Dynamic State of Arsenic Compounds and Basin Water Management in Toyohira River System

(豊平川水系におけるヒ素化合物の動態と流域水管理に関する研究)

近年、水環境の環境汚染防止や制御に関する研究が盛んに行われている。しかし、その多くは人為有害汚染物質の環境基準の遵守や日常生活環境の保全を目的としており、自然汚濁物質による水資源の広範囲の汚染や保全の研究は未開拓の分野で、今後の発展が待たれている状況にある。

本論文は、このような現況にある水資源の自然汚濁物質による汚染制御について、札幌市を流れる豊平川で深刻な健康被害を引き起こすと考えられている温泉由来のヒ素に着目し、その動態を流れや地質との関係から解析し、流出形態がポイント型からノンポイント型に流下過程において変化すること、またヒ素濃度の簡易的予測手法を確立して流域レベルでの物質収支からヒ素の動態を定量的に評価するなど、水環境保全上のヒ素化合物の基礎的情報を明らかにし、水道水源や地下水としての水利用や水環境保全について有益な知見を得た。

審査においては、まず論文提出者が、査読付論文7編の執筆により、本専攻学位提出者としての資格のあることが確認された。またヒ素の健康被害や環境問題が現在世界的レベルで取り上げられていることから、本論文の課題が適切な内容であること、さらに札幌市の水道水源である豊平川は、ヒ素を多量に含む定山溪温泉の湧水流入によって、多くの問題を抱えていることから、早急に解決されねばならない時宜を得た課題であることが確認された。審査においては、論文提出者から論文の構成、論文各章の内容と自己評価、総合的な論文の自己評価の後、主査副査による質疑応答が行われた。

第一章ではヒ素の一般的特性、及び環境中の動態についてまとめ、これらに基づき豊平川水系における温泉排水・湧水に含まれるヒ素の実態調査と河川下流における動態調査を行い、その成果に基づくヒ素の広域的な環境影響と水管理手法の提案という研究目的を呈示し、二章以後の論文各章の構成をまとめた。副査からは妥当な内容と認められた。第二章では、研究対象とした豊平川の河川水質をヒ素を含む一般的重金属元素を中心に説明し、特にヒ素の動態と流出特性については第三章でまとめた。豊平川の汚染は上流域の旧豊羽鉱山排水と定山溪温泉湧水にあり、ヒ素については定山溪温泉湧水が最大の汚染源であることを明らかにした。また定山溪温泉の発生源では優占的な形

態である溶存態ヒ素は、流下過程で懸濁化して河床に堆積すること、出水時には底泥の巻き上げによって懸濁態ヒ素が優占的となりノンポイントソース型の流出を示すことを、年間調査、融雪期調査、降雨地調査によって、水質学的に、また統計的に明らかにした。副査から、降雨増水時の懸濁態ヒ素の流出時期についての質疑があったが、その詳細についてはさらなる調査やモデル化の必要性が話題となり、広く研究者の今後の検討課題とされた。第四章では豊平川流下過程におけるヒ素流出負荷量の変化と収支からヒ素の質的变化と動態評価についてマクロ的検討を行った。溶存態ヒ素の動態が温泉湧出水量の変化、懸濁態ヒ素は流況に左右されること、またこれらがダム湖での沈積及び流れによる剥離と密接に関連することを明らかにした。本章ではヒ素流出負荷量算出に際し、溶存態ヒ素を塩化物イオン、懸濁態ヒ素を濁度から予測する手法を提案したが、上水場などでの実務的価値のある知見として評価された。流況、すなわち流量からの予測についての質疑があったが、物理的環境の新たな解析が必要のため、今後の追加検討課題として了解された。第五章では、豊平川下流域や下流域湖沼流入後の二次的な汚染について述べられたが、ヒ素の濃度や形態が土壌や底泥の組成、さらに底泥にあっては湖沼での循環と密接に関連することを明らかにし、下流域といえども環境基準レベルまで上昇する危険性を指摘した。第六章では第二から第五章の成果をもとに、水道水源としての水利用を中心に豊平川における利水及び環境保全上の適正な水管理手法のあり方について論じた。水利用あるいは環境保全のための豊平川扇状地を中心とした広域的なヒ素分布特性と動態について基礎的視点が明確に示され、副査からの異論はなかった。第七章は、研究の成果を総括した。本研究成果は、河川整備や河川環境保全のための基礎的研究としてヒ素汚染の実態をフィールド研究によって明らかにしたものであり、現実的問題としては水道を中心とした飲料水対策そして河川環境整備対策に大きな成果として応用されるものである。この知見の応用は我が国及び世界の水環境保全に対しても貢献大である。主査副査は、博士論文として十分な価値があるものとして評価し、審査を終了した。

これを要するに、著者は、温泉湧水から河川に混入したヒ素化合物の水質変化および流出特性を明らかにし、ヒ素化合物の動態解析からヒ素汚染河川の水管理手法についての新知見を得たものであり、水環境保全工学の発展に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。