

審査委員会報告書

[課程博士用]

報告番号	甲 第 号	授与年月日	令和 年 月 日
学位記番号	第 号	研究科名	環境共生学 研究科
学位 (専攻分野)	博 士 (環境共生学)	専攻名	専 攻
ふりがな 氏 名	ういりー ちゃーや ぬぐらは Willy Cahya Nugraha	生年月日	1982年 6月 22日生
		国 籍	インドネシア共和国 (外国人のみ)
論 文 課 題	「Contamination of Ciujung Watershed due to Mercury : Ecological Risk Assessment, Source and Mitigation (水銀による Ciujung 流域の汚染：生態学的リスク評価、発生源および軽減に関して)		
主論文の冊数	3 冊		
審 査 委 員 会 委 員		(職 名)	(氏 名)
	主査	教 授	石橋 康弘
	副査	教 授	小林 淳
	副査	名誉教授	有菌 幸司
審査の結果の要旨	別 紙 1		
最終試験の結果の要旨	別 紙 2		
審査委員会の意見	審査の結果、博士 (環境共生学) の学位を授与できると認める。		

【注】 1 報告番号は、事務局 (学生課) において記入する。

2 学位記番号は、授与年月日は、研究科教育会議の審議後に研究科において記入する。

3 国籍は、外国人のみ記入する。

論文審査の結果の要旨

申請者氏名 Willy Cahya Nugraha

堆積物は河川におけるすべての金属の主要な吸収源であるため、水域生態系の重金属汚染指標として重要である。重金属濃度のレベルが自然または許容範囲を超えると、食物連鎖を介して人間の健康に悪影響を与える可能性がある。ジャカルタ市に隣接する州の1つであるバンテン州にの最大河川の1つである Ciujung 流域は、衛生と農業の用途で重要な資源である。重金属汚染による Ciujung の水質の悪化により、住民からの地方自治体への抗議が毎年高まっている。河川に直接排出され、沈下、溶解によって汚染物質が流出し、その後下流において堆積物となるような産業活動からの排水の不適切な処理は、Ciujung 流域の根本的な汚染原因の1つである。本論文は Ciujung 流域の堆積物中の As、Cd、Cr、Hg、および Pb の汚染状態を環境水質汚染評価手法により評価し、堆積物または固体サンプル中の Hg の低減・除去方法の確立を目的としたものである。

第1章では、序論と文献レビューについて示した。第2章、第3章、および第4章は、Ciujung 流域の堆積物中の重金属 (As、Cd、Cr、Hg、および Pb) の生態学的リスク評価、Hg 源の特定、および固体サンプル中の Hg 除去の方法開発について、それぞれ水銀の予防または緩和の一部として示した。最後の章は結論とした。

第2章では、支流を含む上流から下流への 11 のサイトから採取された堆積物サンプルの水銀を含む重金属を測定した結果を示した。堆積物の平均金属濃度は、 $Pb > Cr > As > Cd > Hg$ の順序であった。乾燥重量による平均 As、Cd、Cr、Hg、および Pb 濃度は、それぞれ $1.68 \pm 0.63 \text{ mg kg}^{-1}$ 、 $0.80 \pm 0.88 \text{ mg kg}^{-1}$ 、 $4.12 \pm 0.88 \text{ mg kg}^{-1}$ 、 $0.61 \pm 0.25 \text{ mg kg}^{-1}$ および $19.80 \pm 7.51 \text{ mg kg}^{-1}$ であった。環境リスクは、地球蓄積指数 (Igeo)、濃縮係数 (EF)、潜在的な生態学的リスク指数 (PERI)、および生物学的影響によって評価された。Ciujung 流域では、As、Cr、または Pb の深刻な汚染は見られなかったが、Hg および Cd の深刻な汚染が見られた。S1 サイトを除くすべてのサンプリングサイトにおいて、Hg (Cd ではなく) の濃度は SQGV および TEL/ERL に従って確立された許容限度よりも高かった。Hg の PERI 値は、S1 サイトを除くすべてのサンプリングサイトで 160 より大きかった。人力小規模金採掘 (ASGM) に由来する水銀は、非常に高い生態学的リスクをもたらしていた。本研究は、Ciujung 流域の堆積物表層における現在の重金属汚染状況を正確かつ包括的に描写した。調査結果は、規制当局が効果的な管理措置を策定および制定し、Ciujung 流域の住民の間で Hg 汚染についての意識を高めるのに役立つ可能性があることが示された。

第3章では、Ciujung 流域の Hg が ASGM 活動による不適切な排水処理が下流域で深刻な問題を引き起こしていたため、Ciujung 流域の Hg 汚染源を調査した。本研究では、炭素 ($\delta^{13}C$) と窒素 ($\delta^{15}N$) の安定同位体を測定することにより、Ciujung 流域の堆積物の汚染における ASGM によって生成された Hg の寄与を調べた。雨季の支流を含む 11 のサンプリングサイトから表層堆積物が収集された。その結果、ほぼすべてのサンプリングサイトの総 Hg 濃度 (THg) は $0.02 \sim 0.91 \text{ mg kg}^{-1} \text{ d.w.}$ の範囲であり、底質の濃度限界を超えていた。水銀と全有機炭素、全窒素、粒子状有機リンの間には強い相関関係が見られた。 $\delta^{15}N$ は、堆積物中の水銀が同じ点源に由来することを明らかにした。C / N と $\delta^{13}C$ の比率に基づいて、底質中の有機物は土壌有機物として特定された。有機物の $\delta^{13}C$ と $\delta^{15}N$ を用いたベイズ混合モデルは、Ciujung 流域の支流である Cisimeut 川と Ciberang 川がこれらの支流の上流域での違法

な ASGM 活動による主流の Hg 汚染に寄与していることが示唆された。それらの相対的な寄与は 23.8% から 61.0% の範囲であった。生物学的効果は、ほとんどのサンプリングサイトの Hg 濃度が ERM および PEL 値を超え、S1 (上流) を除くほぼサンプリングサイトの Hg のリスク指数 (RQ) が 0.1 から 1 の間であったことから、Ciujung 流域の堆積物中の Hg 汚染が中程度であり、底生生物への潜在的な影響が大きいことが示された。

第 4 章では、著者らは、酸抽出に基づいて、Hg を含む堆積物中の Hg を除去するための新しい手法を開発した。この方法では、攪拌と超音波照射の組み合わせにより、臭化水素酸 15~48% を使用して、堆積物または固体サンプル中の Hg を効率良く除去できた。この方法は、高水銀濃度 (Hg: 132 mg kg⁻¹) の CRM ERM CC580 (河口堆積物) と低水銀濃度 (Hg = 0.52 mg kg⁻¹) の CRM NMIJ 7302-a (海底堆積物) を測定することによって検証された。ボルテックスと超音波処理時間の高効率性は、それぞれ 5 分と 6 分で得られ、回収率は 101.14% であった。全体として、堆積物サンプル中の Hg の抽出性は 21 分以内に達成できた。この結果は、攪拌と超音波照射の組み合わせを使用することにより、他の研究よりも良好な結果であった。また、この方法は、土壌や魚などのさまざまな環境マトリックスにも適用できることが示唆された。

論文審査委員会では、本論文はインドネシアの Ciujung 流域の堆積物中の重金属 (As, Cd, Cr, Hg、および Pb) の生態学的リスク評価と Hg 排出源の特定を行い、Ciujung 流域の堆積物中の Hg 汚染が中程度であり、底生生物への潜在的な影響が大きいことを明らかにし、堆積物からの水銀除去が必要であるため、固体サンプル中の Hg 除去の方法について新しい技術を確立した。これらの成果は水銀による汚染状況の調査とその環境影響評価に関する研究分野への貢献と水銀汚染物質からの水銀の除去(回収)技術への貢献が高いと考えられるので、博士(環境共生学)の学位に値するものと認めた。

主 査 熊本県立大学・教授 石橋 康弘

最 終 試 験 の 結 果 の 要 旨

申請者氏名 Willy Cahya Nugraha

成 績 ・ 合 格

審査委員一同は、令和4年8月2日、本論文申請者に対し論文の内容および関連事項について試験を行った結果、博士（環境共生学）の学位を受けるに必要な学識を有する者と認め、合格と判定した。

主査 熊本県立大学・教授 石橋 康弘



副査 熊本県立大学・教授 小林 淳



副査 熊本県立大学・名誉教授 有菌 幸司

