



Title	The extent of pollution and bioaccessibility of lead and zinc from a legacy mine in Kabwe, Zambia, and immobilization of toxic elements by half-burnt dolomite [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	MUFALO, Walubita
Citation	北海道大学. 博士(工学) 甲第15193号
Issue Date	2022-09-26
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/87206">http://hdl.handle.net/2115/87206</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
Type	theses (doctoral - abstract and summary of review)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	MUFALO_Walubita_review.pdf (審査の要旨)



[Instructions for use](#)

## 学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博士(工学)	氏名	MUFALO Walubita
審査担当者	主査 准教授 原田 周作		
	副査 教授 佐藤 努		
	副査 教授 廣吉 直樹		
	副査 客員教授 五十嵐 敏文		

## 学位論文題名

The extent of pollution and bioaccessibility of lead and zinc from a legacy mine in Kabwe, Zambia, and immobilization of toxic elements by half-burnt dolomite

(ザンビアカブウェ鉱山の鉛、亜鉛による汚染、バイオアクセシビリティと半焼成ドロマイイトによる不溶化)

カブエはザンビア中部に位置し、かつて鉛 (Pb)、亜鉛 (Zn) の鉱山があった。しかし、1994 年に鉱石の枯渇によりその採取を終了した。過去の鉱山の操業によって、鉱山内にはスラグ、鉱滓、廃石などの副生成物が放置され、それが周辺環境の汚染を進行させている。これらの副生成物には、Pb、Zn のような有害元素を含む。特に、子供は呼吸を通しての摂取や経口摂取により Pb 中毒に陥りやすい。そのため、Pb などの中毒源、周辺地域の汚染の程度、汚染物質の摂取経路、汚染修復技術を理解することは不可欠である。とりわけ鉱滓は鉱山内の広い地域に分布していること、鉱山周辺のグラウンドは土地利用に変化がないことから、鉱滓およびグラウンド表土に注目し、汚染の特徴を評価した。すなわち、Pb、Zn に関して、鉱山周辺グラウンドの汚染の程度、溶出濃度、形態、生物吸収性について粒径を考慮しつつ、鉱滓と比較し評価した。本研究は、従来報告されている血液中 Pb 濃度と鉱滓およびグラウンドに含まれる生物吸収性の Pb、Zn との関係性を明らかにする上で意義がある。さらに、半焼成ドロマイイトによる鉱滓中の Pb、Zn の溶出濃度を低減するための対策を評価する。本論文は 5 章から構成される。

第 1 章では、カブエにおける Pb 汚染に関してレビューし、本研究の必要性、目的を記述した。

第 2 章では、鉱山周辺のグラウンドの Pb、Zn の汚染の程度を調査した。カブエ鉱山の鉱滓などは、カブエ市の周辺土壌、粉塵の汚染源であり、これまでの十分な管理がなされていない鉱山活動に起因している。その結果、Pb、Zn のような汚染物質は、鉱山周辺に拡散している。鉱山活動に起因する土壌汚染を評価するために、鉱山周辺グラウンド 8 か所で表層土壌を採取し、Pb、Zn の汚染の程度、化学的な分配、溶出特性を評価した。Pb、Zn の汚染の程度は、従来の指標でも深刻な汚染に分類され、その中で、Pb の 89% まで、Zn の 69% までは、イオン交換性、弱酸溶解性、酸化・還元性の形態となり、地球化学的易動性が高かった。また、対象土壌の中で 5 試料の Pb 溶出濃度はザンビアの飲料水基準を超過するとともに、鉱山からの距離とともに Pb、Zn の濃度は低下することがわかった。

第 3 章では、鉱滓中の Pb、Zn の逐次抽出試験を粒径別を実施するとともに、種々の溶液を用いた溶出試験を実施した。肺から吸収される成分を評価するために、3 種類の溶液を用い、粒径 30  $\mu\text{m}$  以下の鉱滓に対して溶出試験を実施した。その結果、人工リソゾーム溶液に対してのみ Pb、Zn が溶出し、それ以外の溶液では溶出しなかった。Pb、Zn が溶出した溶液では、鉱滓中の 2.9% の Pb が、表層

土壤中では 37% の Pb が生物吸収性を示した。一方、胃から吸収される成分を評価するために、塩酸抽出試験を実施した。その結果、Pb、Zn とも肺から吸収されるよりも高い割合となった。この塩酸抽出成分は、逐次抽出試験結果と比較すると、イオン交換態、炭酸塩態、鉄・マンガ酸化物態の合計量と一致したことから、これらの成分が血中 Pb 濃度に寄与することが推定された。なお、逐次抽出試験の結果は、鉱滓の粒径依存性は認められなかった。以上の結果から、血中 Pb 濃度に寄与する経路は、粉塵の呼吸による摂取よりも経口摂取の寄与が高いと考えられる。

第 4 章では、鉱滓からの Pb、Zn 濃度を低減するため、カラム試験およびパイロットスケール盛土試験（パイロット試験）を通して半焼成ドロマイトを用いた対策を検討した。カラム試験では、鉱滓に 1、5、10% の比率で半焼成ドロマイトを加え、パイロット試験では鉱滓に 10% の比率で半焼成ドロマイトを加えた。鉱滓の特性を測定するとともに、逐次抽出試験、溶出水に対して PHREEQC による解析を実施し、Pb、Zn の溶出濃度低減機構を評価した。鉱滓からの Pb、Zn の溶出は、おもにイオン交換態と炭酸塩態に起因した。XRD 解析結果からは鉱滓中には Pb、Zn 硫化物は検出されなかったが、SEM-EDS 観察結果からは Pb、Zn が硫化鉱物とともに存在することが明らかにされた。このことから、Pb、Zn の溶出は溶解性の 2 次鉱物に起因するといえる。鉱滓への半焼成ドロマイトの添加によって、溶出水 pH が上昇し、Pb、Zn 溶出濃度が低下した。カラム試験、パイロット試験とも半焼成ドロマイトの 10% の添加によって十分濃度が低下することも確認した。飽和指数解析、SEM-EDS 観察によって、半焼成ドロマイトの添加によって、Pb、Zn が沈殿、共沈、吸着などの反応を通して不溶化されたと考えられる。この方法は、鉱山からの Pb、Zn のような有害元素の溶出に対して、効果的、経済的で長期的な安定性を有するといえる。

第 5 章では、本研究の結論を記述した。この結論は、カブエにおける Pb、Zn の溶出性、地球化学的分配、生物吸収性に関して有益な知見であり、長期的な環境修復技術の構築は今後も必要であると考えられる。

以上、これを要するに、著者は、カブエ鉱山周辺の Pb による土壤汚染に対して、表土の汚染の程度と生物吸収性を汚染源である鉱滓の特徴を踏まえ評価するとともに、溶出濃度を低減するために、現地の母岩であり容易に入手できるドロマイトを用いた対策の有効性を具体的に提示した。この成果は、環境資源工学に寄与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）の資格あるものと認める。