HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Study on dispersion of lead-zinc-bearing mine wastes by considering local weather conditions and waste properties in the Kabwe mine, Zambia [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	中村, 晋作
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14891号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/85403
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Shinsaku_Nakamura_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

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　中村　晋作

審査担当者　主　査　教　授　五十嵐 敏文
副　査　教　授　佐藤 努
副　査　准教授　伊藤 真由美

学位論文題名

Study on dispersion of lead-zinc-bearing mine wastes by considering local weather conditions and waste properties in the Kabwe mine, Zambia
(ザンビア国カブウェにおける気象条件および鉱滓性状を考慮した鉛・亜鉛系鉱山廃棄物飛散に関する研究)

ザンビアにおいて鉱山は重要な産業である。鉛 (Pb)、亜鉛 (Zn)、コバルト、銅は 1902 年から 1994 年の間にザンビア国カブウェで採掘され、精錬された。これらの活動による鉱滓は集積場に放置され、重金属汚染源として環境や人々の健康に大きな影響を及ぼしている。重金属汚染の影響や被害は分析、評価されているが、カブウェの地域的気象要因による重金属の飛散および沈積のメカニズムは十分に評価されていない。そこで本研究では、風やその他の気象条件による重金属飛散のメカニズムを解明するために、飛散シミュレーションモデルを構築し、カブウェ鉱山に適用した。さらに、カブウェにおける重金属汚染に対する影響を明らかにするため、気象データや土壌中の水分分布など環境要因を評価した。

第 1 章では、カブウェにおける採掘活動の背景や重金属汚染の現状、子どもや幼児の健康への影響についての文献調査をとおして、重金属の飛散および沈積のメカニズムを分析する重要性、方法、研究地点について記述した。

第 2 章では、鉱滓に含まれる Pb の飛散量を評価するモデルを開発し、カブウェにおける土壌の Pb 汚染の状況を再現した。2019 年の現地気象データを収集し飛散シミュレーションに適用した。風速にあわせて 3 つのシミュレーションモデル (plume model、weak puff model、no puff model) を採用した。カブウェ鉱山からの Pb 飛散量は、ISF-スラグ集積場を煙源の束と仮定し計算した。その結果、乾季においては風向と風速に大きな影響を受けることが明らかになった。一方で雨季においてはこれらの影響をあまり受けないことがわかった。これは、雨季には地表の水分量が多いことから、煙源から舞い上がる鉱滓量 (煙源強度) が低かったためである。このことは、Pb 飛散のパターンが季節によって異なることを示唆した。さらに、鉱山周辺に沈積した鉱滓による土壌の Pb 汚染の傾向は、鉱山周辺の表土をサンプリングし、分析して得られた Pb 含有量と一致した。これらの結果は、土壌の Pb 汚染が主に集積場からの微細な鉱滓の飛散により生じていることを示唆している。

第 3 章では、第 2 章の結果をもとにカブウェ地域の気象要因が重金属汚染のメカニズムに及ぼす影響を評価した。カブウェの天候は年間をとおして穏やかであるが、雨季と乾季では日射量、湿度、気温に大きな差があった。風速と日射量の相関は反比例しており、シミュレーションによって算出された飛散量および沈積量に影響を及ぼした。強風は、煙源からより近い距離にある表土への

Pb を含む鉱滓の飛散量に大きな影響を与えた。しかし、強風と弱風は、煙源から一定以上の距離にある表土への Pb を含む鉱滓の飛散量には影響を与えなかった。風向は、Pb を含む鉱滓の飛散量と沈積する地点に大きな影響を与えた。これらの結果は、風速や風向だけでなく、複雑に関係する気象要因が Pb を含む鉱滓の飛散とそれによる土壌汚染に影響を与えていることを示唆している。

第 4 章では、年間をとおして鉱山内に見られる Zn リーチング残渣の集積場における土壌水分量の状況や Zn を含む鉱滓の飛散への影響を評価するため、Pb を含む Zn リーチング残渣の飛散シミュレーションを行った。シミュレーションには、2019 年に収集したカブウェの気象条件のもとで改良型正規化差分水指数 (modified normalized difference water index、MNDWI) を用いてリーチング残渣からの飛散量を分析した。MNDWI には 2019 年に観測された欧州の光学衛星 (Sentinel-2) データを用いた。この指数は、煙源の土壌水分量を評価し、リーチング残渣飛散量を推定するために必要なパラメータのひとつである。冠水は、風を媒体とするリーチング残渣飛散にとって効果的な阻害因子である。風速と風向は、MNDWI が負の値を示したとき重金属飛散量に大きな影響を与えた。Pb や Zn の飛散の要因となりうる環境条件を評価することは、リーチング残渣飛散に対する効果的な対策と土壌汚染の修復を提案する上で重要である。

第 5 章では、本研究の結果を要約するとともに、結果の活用法を提案した。

以上、これを要するに、著者はカブウェ鉱山周辺の Pb による土壌汚染に対して、その原因を鉱滓集積場からの鉱滓の飛散であることを現地の気象データを用いた飛散シミュレーションによって定量的に評価した。この成果は、効率的な対策の立案に資するとともに、環境資源工学に対して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。