



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	環境調和型鉱山操業におけるハイパースペクトルイメージングと機械学習を用いた重金属鉱物検出に関する研究〔論文内容及び審査の要旨〕
Author(s)	岡田, 夏男
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16354号
Issue Date	2025-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/95071
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Natsuo_Okada_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 岡田 夏男

学 位 論 文 題 名

環境調和型鉱山操業におけるハイパースペクトルイメージングと機械学習を用いた重金属鉱物検出
に関する研究

(Study on Detection of Heavy Metal Minerals Using Hyperspectral Imaging and Machine Learning in
Environmentally Harmonized Mining Operations)

現代社会においては、脱炭素社会の実現に向け金属資源の安定的な供給が欠かせない。しかし、持続可能な資源開発への取り組みは未だ不十分で、深刻な環境問題が発生している。本論文では、ハイパースペクトルイメージングおよび機械学習を活用した重金属鉱物検出に関する研究を行った。重金属鉱物は、鉱業活動の結果排出される物質で人体及び周辺環境に悪影響を及ぼすことで知られている。それを人間の目の数十倍という高い波長分解能を持つハイパースペクトルデータを用いることによって検出する。ハイパースペクトルデータはその複雑なデータ構造により、データ処理・解析には高度な機械学習アルゴリズムの適用が必要不可欠である。しかしながら、重金属鉱物を検出するための解析手法は確立されておらず、また、検出フローは最適化されていない。本研究では、(i) 重金属類を検出するハイパースペクトルイメージングベースの AI モデルの開発及び (ii) 検出フローを最適化するアプリケーション・プロトコルの開発を行った。提案された手法は、鉱業活動によって生じる重金属汚染地域のモニタリングに貢献し、環境調和型鉱山操業を強力に先導する。

本論文は下記に示される章によって構成される。

第 1 章では、本研究の背景について、特にハイパースペクトルイメージングを用いた鉱害モニタリングについての概要が述べられ本論文の重要性を強調した。また、先行文献調査を通じて、関連する研究動向と課題が整理した。

第 2 章では、ハイパースペクトルデータの解析に適した機械学習手法についての考察が加えられている。ハイパースペクトルデータは高い識別性能を持つことが実証されているものの、そのデータ構造は複雑であり、データ処理・解析には機械学習が不可欠である。本章では、10 種類の機械学習モデル (CNN、ツリー、判別、ロジスティック回帰、ナイーブベイズ、SVM、KNN、アンサンブル、浅層ニューラルネットワーク、カーネル近似) を使い、4 つの代表的なデータセット (Indian Pines, Salinas, Pavia University, Botswana) を対象に分類性能を比較した。

第 3 章では、ハイパースペクトルデータ解析を支援するユーザフレンドリな解析アプリ「AI Powered Intelligence Spectrum Analyzer (APiS)」を紹介する。ハイパースペクトルデータは数百のスペクトル波長を含み、鉱物種を特定する強力なツールである一方、データの複雑性が一般ユーザにとって扱いにくい課題となっている。この問題を解決するため、コーディング不要のインタラクティブな解析環境として APiS を開発した。APiS はデータの可視化、学習データ生成、高度な機械学習分析、モデル評価を可能とする直感的なインターフェースを備え多様なユーザが容易に利用できる環境を提供する。

第 4 章では、鉱物種を同定するためのアルゴリズムについて述べる。深層学習を活用すること

で、ハイパースペクトルデータから各鉱物に固有のスペクトルパターンを抽出・解析し、非破壊で迅速な鉱物種の同定を実現する。本章では、提案手法により従来の RGB 画像解析で 30 パーセントだった識別精度を、ハイパースペクトルデータ解析によって 90 パーセント以上に向上させた結果を示す。

第 5 章では、AI の判定根拠の可視化及び次元削減手法の提案を行った。ケーススタディとして鉱物中の重金属品位推定を扱った。低品位鉱物に含まれるヒ素 (As) は環境汚染リスクを伴うため、非破壊的かつ高精度な検出技術が求められる。本章では、深層学習とハイパースペクトルイメージングを組み合わせたシステムを提案し、近傍成分分析 (NCA) による次元削減、また CNN の逆解析による判定根拠の可視化手法が新たに示された。

第 6 章では、リモートセンシングデータを解析するためのプロトコルを提案した。人工衛星やドローンによる異高度データの統合により、従来のスペクトルデータでは困難だった高解像度スペクトルマップの生成を実現した。本プロトコルは画像レジストレーション技術を活用し、より精確な土地汚染モニタリングを可能にするものである。

第 7 章では、本研究の成果と意義を総括した。本研究では、ハイパースペクトルイメージングおよび機械学習を組み合わせ、重金属鉱物の検出を行い、また、検出フローを最適化した。本提案のアプリケーション・プロトコルは、鉱業活動に起因する重金属汚染地域のモニタリングを支援し、持続可能で環境調和型の鉱山操業を先進的に牽引する役割を果たす。