

氏名（本籍）	Brian Bino Sinaice（ブライアン ビノ シナイシ）（ボツワナ）
専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	国博甲第14号
学位授与の日付	令和4年9月29日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	国際資源学研究科・資源学専攻
学位論文題目（英文）	人工知能とスペクトルイメージング法を用いた岩石識別システムの開発に関する研究 (Study on the Development of a Rock Identification System Using Artificial Intelligence and Spectral Imaging)
論文審査委員	(主査) 教授 安達 毅 (副査) 教授 今井 忠男 (副査) 教授 柴山 敦 (副査) 北海道大学教授 川村 洋平

## 論文内容の要旨

本研究の目的は、ハイパースペクトル画像と1次元深層学習畳み込みニューラルネットワーク(1D DL CNN)という人工知能の2つの技術を組み合わせて岩石を分類することである。岩石を分類するために、ハイパースペクトルカメラで撮影した画像データを、撮影した各画像ピクセルが電磁スペクトルにどのように反応するかという観点から定量化し、特定の岩石のハイパースペクトルを取得している。その後1次元CNN(ディープラーニング)技術を適用することで、最小限の誤差で分類処理を実行することができることを証明した。この処理により、時間、計算、データ保存のコストがかかることが明らかになったため、近傍成分分析(NCA)、機械学習(ML)を岩石分類のための複合システムとして統合することによってこれらのコストを掛けずに岩石分類を行う方法を開発するに至っている。NCAは、最も判別性の高い特徴バンドをハイライトするに至り、204バンドのハイパースペクトルから5バンドのマルチスペクトルへの縮小に成功した。これらのバンドに基づき、MLを適用して岩石を識別・分類することで、計算コストを削減し、平均91.2%の最適化されたML分類精度を達成している。さらにこの技術を活用して鉱山現場におけるドローンを活用した遠隔地でのデータ収集の可能性を検討している。ここでは、無人航空機(UAV)に搭載した6バンドのマルチスペクトルカメラとSAM(Spectral Angle Mapping)、そしてAIを組み合わせたシステムを提案している。6つのマルチスペクトルバンドを有するドローン映像と開発した人工知能技術により磁鉄鉱砂の濃集を探索可能としている。

本内容を全5章合計約100ページの博士論文にまとめている。博士論文は審査のために審査会の2週間前に審査員に手渡されている。十分なLiterature Reviewにより本研究の意義と新規性および有用性を論じていると判断された。鉱業博物館貯蔵の岩石データ、安藤ハザマ開発現場の

岩石データ、さらにはケーススタディとしての山形の漂砂鉱床砂鉄データを収集し、最先端の人工知能技術を当分野に導入した。その結果、世界的にみても例のない岩石種や鉱物の自動判定システムを最終的に提案している。結論として、本研究は鉱業の様々な側面で AI ベースのスペクトル画像法を採用することが、堅牢で将来性のある岩石や鉱物の分類業務を継続するために必要であることを強調している。そして、データ駆動型の分類手法は、持続可能で、簡単に最適化でき、再現性があり、客観的な出力が得られるため、提案したシステムは現在および将来の産業アプリケーションで実行可能と判断され、この点に本論文の高い有用性が認められた。

これらの内容の裏付けとして、3編の雑誌論文（筆頭のみカウント）が採録されている。よって論文審査の結果は合格とする。

## 論文審査結果の要旨

本学位審査委員会は、令和4年7月25日（月）14時30分から15時45分にかけて、国際資源学部1号館 S310号教室で論文公聴会開催した。安達毅 審査委員会主査、今井忠男 審査委員、柴山敦 審査委員、川村洋平 審査委員（Zoom参加）の出席のもと、論文の関連事項に関する詳細な質疑応答ならびに口頭による学力確認が行われた。

特に、博士論文で述べられていた岩石種や鉱物の自動判定システムのデザインに関して

- (1) Plutonic Rock に比べて Volcanic Rock の判定精度が低い傾向になる点をどのように考えるのか
- (2) そもそもハイパースペクトルを岩石や鉱物判定に活用しようとした背景はどのようなものか
- (3) 鉱物判定においてミネラルの成分等どのようなファクターに最も影響を受けるのか？
- (4) ハイパースペクトルの撮影時間に相応の時間を掛けているが、今後の実用化に向けての短縮化戦略はあるのか
- (5) Machine Learning と Deep Learning の違いは何か、そしてその違いが判定結果に及ぼす影響はどのようなものか
- (6) 近傍成分分析（NCA）による次元削減方法の基本概念
- (7) 当該提案システムの即時社会実装は可能か

などの質問・コメントが出されたが、申請者からは学術的考察にもとづいた明確な回答が示された。

よって公聴会の後に開催した学位審査委員会は、Brian Bino Sinaice（ブライアン ビノ シナイシ）氏が最終試験に合格し、博士（工学）として十分な資格があるものと判断した。