

## 論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

氏 名 田中 壮一郎

論 文 題 目 深層学習による分光反射スペクトルからの変質鉱物  
同定

(Identification of Alteration Minerals from  
Reflectance Spectra Using a Deep Learning Method)

### 論文審査担当者

主 査 名古屋大学大学院環境学研究科 教授 山口 靖

副 査 名古屋大学大学院環境学研究科 教授 高野雅夫

副 査 産業技術総合研究所地質情報研究部門

主任研究員 山本浩万

## 論文審査の結果の要旨

## 別紙 1 - 2

本研究は、深層学習を用いて分光反射スペクトルデータから変質鉱物同定を自動的に行う方法の開発とその有効性の検討を目的としている。変質鉱物は短波長赤外域に特徴的な吸収ピークを持ち、金属鉱床探査等において重要な指標となる。しかし、近年普及が進んでいる安価な分光器では、波長校正後も波長方向の誤差が数 nm 程度ある場合が認められ、鉱物の誤同定の要因になっている。また目視で同定する場合は、鉱物の反射スペクトルに関する専門知識が必要である。深層学習は人間の脳神経回路をモデルにした多層構造アルゴリズムで、自ら学習しデータに潜む特徴量を自動的に抽出できるため、波長方向の誤差問題の軽減及び吸収スペクトルからの特徴抽出は、深層学習に任せることが可能である。

本研究では、熱水性鉱床探査の指標となる変質鉱物など 24 種類を同定対象とし、分光反射スペクトルをそのまま用いる場合と、包絡線処理を適用したものをを用いる場合の 2 ケースを検討した。深層学習のアルゴリズムとしては、多層パーセプトロン (MLP) と畳み込みニューラルネットワーク (CNN) の 2 種類を検討した。同定結果の検証には交差検証法を用いた。検証は 5 回行い、適合率と再現率の調和平均である  $f$  値及び正答率の平均値で評価した。

MLP については、層構造の異なる 3 タイプについて検討した結果、層数が増えるに従って過学習の傾向を示し、最も薄い 4 層の場合に過学習を起こさずに安定して変質鉱物同定ができた。また包絡線処理は 0.4~1.4%の  $f$  値の上昇に貢献し、過学習抑制にも貢献していることが分かった。さらに層構造の検討を行ったところ、Small 層よりも薄い 3 層の MLP が変質鉱物自動同定に最適であった。CNN については、分光反射率を連続する 1 次元データ群として扱う場合と 2 次元画像として扱う場合を比較した結果、後者のほうが有意に高い  $f$  値を示した。また包絡線処理によって  $f$  値は上昇した。しかし、いずれの CNN でも過学習が起き、エポック後半で損失関数が不規則に変動したため、変質鉱物同定のためのモデル化は困難であった。

現場での変質鉱物同定においては、分光反射スペクトルの波長校正や鉱物同定アルゴリズムの複雑さ等の問題点が、大きな障壁となっていた。深層学習は、特徴量抽出自体も自動化してしまう方法で、従来の変質鉱物同定の方法に比べて特徴量抽出の際の恣意性が大幅に軽減され、結果的に目的とする鉱物同定精度を向上させることができる。本研究は、反射スペクトルからの変質鉱物同定に深層学習を初めて適用し、高い鉱物同定率を与える方法を具体的に示すことにより、この方法が実用的に使える用途を初めて示したものである。学習用データの取得・整備、この問題に適した深層学習手法の検討、新たな処理手法の付加、及び得られた結果の検証まで全て一貫して行った点が本研究の特長であり、分光反射スペクトルデータの処理に関する研究及び金属鉱床探査等の実利用に大きく貢献するものである。よって、本論文の提出者 田中壮一郎君は、博士 (理学) の学位を授与される資格があるものと判定した。