

論文の内容の要旨

論文題目 リモートセンシング・データのスペクトル情報に基づく岩石・
鉱物の識別に関する研究

氏 名 岡田 和也

金属鉱床の探査において重要な指標となる各種の変質鉱物の多くは、可視～熱赤外域の反射、放射スペクトルにおいて顕著な特徴を示す。航空機や人工衛星によるリモートセンシング・データによって、これらの変質鉱物を識別し、変質の有無およびその分帯構造を把握することができれば、資源探査にとって極めて重要な指針を得ることができる。特に近年、 $0.4\sim 2.5\mu\text{m}$ の波長域を 20nm 以下という非常に高いスペクトル分解能で連続したスペクトルとして観測する航空機搭載型センサが商用化されており、金属鉱床探査への適用が期待されている。本研究では、可視域から熱赤外域のリモートセンシング・データのスペクトル情報を用いて岩石・鉱物を識別する際に障害となる下記の問題について検討し、各種の金属鉱床地域を対象に本技術の金属鉱床探査への適用性を検証した。さらに、最近のセンサの開発動向を踏まえ、将来のリモートセンシング・センサに求められる仕様について検討した。

- 問題 1. 航空機や人工衛星で観測される可視域～短波長赤外域 ($0.4\sim 3.0\mu\text{m}$) の radiance は、光源である太陽の照度の波長による変化、大気による吸収・散乱、地形の変化に起因する地表面からの反射強度の変化の影響等を受けており、室内における岩石・鉱物の反射率測定結果とは大きく異なるスペクトルを示す。地表に分布する物質の反射率を推定するためには、これらの影響を除去する必要がある。
- 問題 2. 航空機や人工衛星で観測される熱赤外域 ($8\sim 14\mu\text{m}$) の radiance は、地表面からの放射の波長による変化、大気による吸収・散乱、地表面の温度等の影響を受けており、地表に分布する物質の放射率を推定するためには、これらの影響を除去する必要がある。
- 問題 3. 高スペクトル分解能のセンサは、低分解能のセンサに比較して、一般に観測チャンネル当りの入射エネルギーが少ないため、各種のノイズの影響を受けやすい。地表に分布する物質の

反射率に起因する信号成分の変動量は、radiance の変動全体の数パーセントと僅少である。したがって、地表の反射率の情報を抽出するには、radiance に含まれる各種のノイズを効果的に除去する必要がある。

- 問題 4. 対象とするデータ内に植生が混在すると、植生と鉱物のスペクトルの特徴が重なり合い、分類、判別処理が阻害される場合が多い。地表に分布する物質の反射率を推定するためには、混在する植生のスペクトルの影響を除去する必要がある。

本研究の結果を以下にまとめる。

1. 金属鉱床の探査において重要な指標となる各種の変質鉱物は、可視域から熱赤外域において特異な吸収スペクトルを示す。それらのスペクトルの特徴は、高スペクトル分解能のセンサによって識別することが可能である。しかし、人工衛星や航空機で取得されるラディアンس・データにおいて、データ変動の大半を占めるのは、空間的な次元では地表面の傾斜等による影響(可視～短波長赤外域においては陰影、熱赤外域では日照の違いによる温度差)であり、スペクトル的次元では大気による吸収・散乱の影響である。地表に分布する物質のスペクトル特性に起因する信号成分は、ラディアンスの変動全体のせいぜい数パーセントに過ぎない。
2. 人工衛星や航空機で取得されるラディアンス・データから大気、地形の影響を除去して、地表に分布する物質のスペクトル特性に起因する信号成分を抽出するために、各種の手法を適用し、以下の結果を得た。
 - (a) マルチ・スペクトル・データは一般にバンド間の相関が高く、近接するバンドを組合せてフォールス・カラー画像を合成すると、色相、彩度に乏しい画像になってしまうが、HLS Contrast Stretch を適用することにより彩度を強調することができる。これにより、地表に分布する物質のスペクトル特性の違いを色彩の差異として画像化することができ、特にデータ処理の初期段階においてデータ全体のスペクトル特性を簡便に把握するのに適している。また、HLS Contrast Stretch は、同等の効果をもつ Decorrelation Stretch よりも、処理速度、融通性、応用性において優れている。
 - (b) 衛星データのような低スペクトル分解能のリモートセンシング・データに含まれる乗法的なスペクトル情報の分離抽出には比演算が有効であり、加法的なスペクトル情報(異なる反射特性を有する物質の混在等)の分離抽出には Base Line 法が有効である。
 - (c) 航空機で取得した可視～短波長赤外域のラディアンスに含まれる大気および地形の影響を除去し、反射率に近い形に引き直してやる手法としては、植生が比較的少ない半乾燥地帯を対象とする場合は Logarithmic Residual が有効である。
 - (d) 熱赤外域の多バンド・スペクトル・データは一般に温度情報が支配的であり、岩石・鉱物の識別のためには地表に分布する物質の放射率に基づく信号を抽出する必要がある。航空機で取得した熱赤外域のラディアンスに含まれる大気および地表面の温度の影響を除去し、放射率に近い形に引き直してやる手法としては、Thermal Logarithmic Residual および α Emissivity が有効である。
3. リモートセンシングに用いるセンサは、センサの構成、機構により、それぞれのシステムに固有なノイズを生じる。リモートセンシング・データに含まれるスペクトル情報は、データ

全体の変動量のせいぜい数パーセントであり、その利用のためにはデータ中のノイズ成分を可能な限り低減する必要がある。ノイズを大別すると、空間的な周期性を有するものとそうでないものとに分けられる。周期性を有するノイズに対しては、2次元FFTによって空間周波数領域へ変換することにより、特定の空間周波数成分として識別、除去することが有効である。また、周期性をもたないノイズに対しては、MNF法のような多変量解析的な手法によって、バンド間の相関が低く自己相関も低いノイズ成分を分離する手法が有効である。

4. リモートセンシングに用いられる人工衛星や航空機用のセンサは、地上測定用のスペクトロメータに比較して観測バンド数は限られており、スペクトル分解能もそれほど高くない。スペクトル分解能が低くなるにつれて、鉱物の類似した吸収特徴が識別できなくなってくる。短波長赤外域におけるスペクトル分解能と鉱物識別能を評価した結果は以下の通りである。
 - (a) スペクトル分解能が 200nm 程度の場合 (例 : LANDSAT TM) は、変質鉱物は「Total Clay」として一括して識別できるが、個々の鉱物種の識別は不可能である。
 - (b) スペクトル分解能が 100nm 程度の場合 (例 : JERS-1) は、Al-OH 基を有する鉱物群と CO₃ 基または Mg-OH 基を有する鉱物群を区分して識別することができる。さらに、JERS-1 では、バンド 6、7、8 における応答の大小関係から明礬石とモンモリロナイトを区分することができる。
 - (c) スペクトル分解能が 50nm 程度の場合 (例 : ASTER) は、Al-OH 基を有する鉱物群を 2.16 μ m 帯で吸収を示す鉱物群と 2.2 μ m 帯で吸収を示す鉱物群に区分できる他、2.26 μ m 帯で吸収を示す硫酸塩鉱物、CO₃ 基または Mg-OH 基を有する鉱物群を識別することができる。
 - (d) スペクトル分解能が 16nm 程度の場合 (例 : GERAIS) は、個々の鉱物種をある程度識別することが可能になる。
 - (e) スペクトル分解能が 10nm 以下の場合 (例 : GERAS、AVIRIS) は、代表的な変質鉱物は全て識別可能となる。
 - (f) 将来、スペクトル分解能が携帯型スペクトロメータ並みの 2nm 程度になれば、粘土鉱物の層間物質の違いや、緑泥石の $\frac{Mg}{Mg+Fe}$ 比の違いを検出できる可能性がある。
5. LANDSAT TM データを用いた変質帯抽出では、各種変質鉱物が吸収を示すバンド 7 を分母に、顕著な吸収特徴が無く全体に反射輝度が高く安定しているバンド 5 を分子 (バックグラウンド) にした比画像を用いる。このとき、植生も $\frac{\text{バンド5}}{\text{バンド7}}$ の比が大きくなるので、対象とするデータに植生が混在すると変質帯抽出が阻害される。植生の影響を除去して変質帯を抽出する手法として DPCA 法を適用し、良好な結果を得た。
6. リモートセンシング・データを用いて変質帯の識別・分帯を行うことを前提に、資源探査を目的とした将来センサに望まれる仕様を検討した結果、次表の仕様を推奨する。

スペクトル分解能	
可視～近赤外域	10～50nm
短波長赤外域	2～10nm
熱赤外域	60nm 以下
観測波長域	
可視～近赤外域	0.5～0.87 μ m を連続測定
短波長赤外域	2.0～2.5 μ m を連続測定
熱赤外域	8.0～12.0 μ m を連続測定
地表分解能	
可視～近赤外域	5～10m
短波長赤外域	10～20m
熱赤外域	10～30m
Interband Registration および Line-to-line Registration	
0.1 ピクセル以内	
量子化ビット数	
8 ビット以上	