

ハイパースペクトル衛星画像による植生域での熱水変質帯の抽出精度向上

権守 宏明*・久保 大樹*・小池 克明*

Improvement of Detection accuracy of Hydrothermal alteration zones in Vegetation areas using Hyperspectral satellite imagery

Hiroaki Gonnokami*, Taiki Kubo* and Katsuaki Koike *

*京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 Department of Urban Management, Graduate School of Engineering, Kyoto University, Katsura C1-2, Kyoto 615-8540, Japan. E-mail: gonnokami.hiroaki.65w@st.kyoto-u.ac.jp

キーワード：リモートセンシング，ハイパースペクトル衛星画像，アンミキシング，地熱兆候地，Wayang Windu

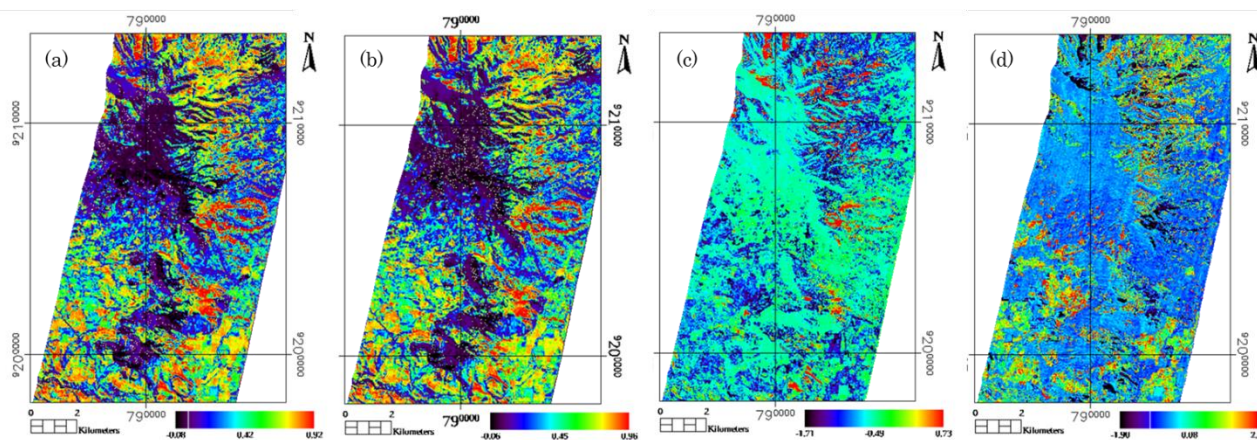
Key words: Remote sensing, Hyperspectral satellite imagery, Unmixing, Geothermal manifestations, Wayang Windu

1. はじめに

温泉や噴気などの地熱兆候が確認される地熱資源有望地においては、深度 2, 3 km までに位置する地熱貯留層から上昇する熱水や蒸気によって岩石の変質が生じるため、衛星リモートセンシングによる熱水変質鉱物の分布推定が有効となる。しかしながら、光学センサによる広域調査では、植生に覆われた地表物質の反射スペクトルを観測することが困難となる。また、植生の少ない領域においても、解析に用いる衛星画像の画素中に、複数の地表物質の情報が混在するため、目的とする変質鉱物の情報を取り出すための、Spectral unmixing 手法が必要となる。波長分解能が高く、より多くの情報を取り扱う

ことのできるハイパースペクトルデータの利用は、この観点においても有効であると考えられる。

そこで本研究では、明瞭な地熱兆候地が確認されており、大規模な地熱発電所が稼働しているインドネシア西ジャワ州の Wayang Windu 地区を対象として、唯一のハイパースペクトルセンサ衛星画像である Hyperion データによる解析を行った。特に植生が厚い地域での熱水変質帯の抽出精度を向上させることを目的に、スペクトル分離法を適用した。地熱兆候地抽出の際には、変質鉱物の分光反射特性を利用し、ハイパースペクトルデータに有効な手法である Linear Spectral Unmixing (LSU)、および SAM (Spectral Angle Mapper) という画像処理法を適用した。



第 1 図 LSU による端成分鉱物の重み係数分布。重み係数の対象と設定した端成分は(a)噴気帯で採取した変質鉱物の現地サンプル：端成分は現地の植生と変質鉱物の 2 種類、(b)kaolinite: 端成分は aspen (植生)と kaolinite の 2 種類、(c)kaolinite: 端成分は aspen, alunite, calcite, illite, kaolinite, andesite, sulfur, bare soil(土壌を示すピクセルのスペクトル)の 8 種類、および(d)alunite: 端成分は aspen, alunite, calcite, illite, kaolinite, andesite, sulfur, bare soil の 8 種類。

2. LSU による熱水変質帯の抽出結果

解析データとして、対象領域において雲量が最も少ない2012年6月25日撮影のHyperion衛星画像を用い、前処理を施して信頼性の高い157バンドを地表面反射率へ変換した後、LSUを適用した。LSUとは、画像の各画素における反射率が、その画素内に存在する物質の反射率の線形結合であると仮定し、各画素に含まれる各物質の存在量の値を重み係数として求める方法である。一般に、観測スペクトル ρ_j (i : バンド番号) は、複数の端成分 i の反射スペクトル ρ_{ij} を用いて次式で表される(島田, 2007)。

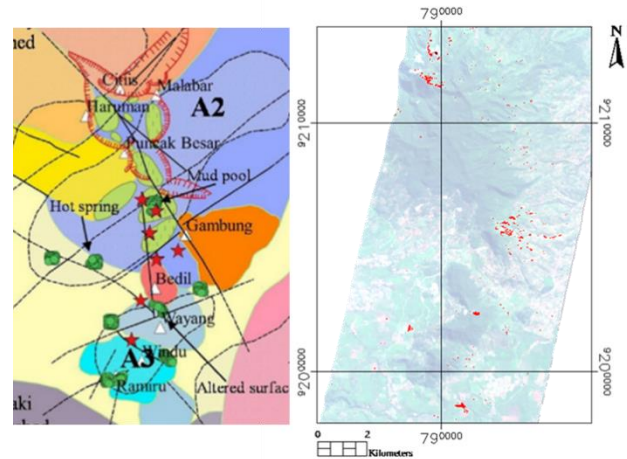
$$\rho_j = \sum_i (x_i \cdot \rho_{ij}) + R_j$$

ここで、 x_i は各端成分の重み係数、 R_j は残差である。LSUは物質間での相互作用がないと仮定しており、複数の物質の散乱が重なり非線形的になる場合を考慮した手法よりは不正確となるが、多くの環境において良好な結果が得られると報告されている(Boardman *et al.*, 1994)。

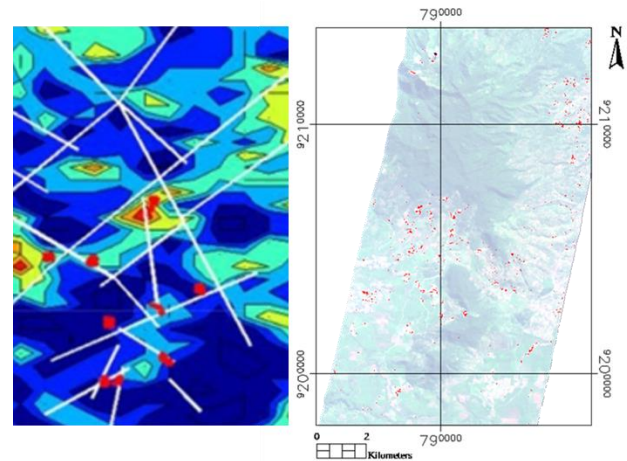
LSUにより求めた4種類の重み係数の分布を第1図に示す。教師データには、USGSのスペクトルライブラリに加え、分光放射計(ASD FieldSpec 4)で測定した現地土壤サンプルの反射スペクトルを用いた。第1図に示す測定結果から、現地試料とスペクトルライブラリの重み係数の分布は類似しており、本解析の教師データとしてスペクトルライブラリを用いることの妥当性が示された。また、アンミキシングに用いる端成分を増やすと、重み係数の大きい領域の分布は局所的になった。さらに、Wayang Windu地区における熱水変質帯の抽出にはkaoliniteの重み係数に注目すべきことがわかる。第2図で、端成分8でのkaoliniteの重み係数上位0.5%に着色した箇所と、Wayang Windu地区の地質分布図(Saepuloha *et al.*, 2018)を比較する。左図の緑点は地熱兆候地を示すが、重み上位部と数ヶ所が対応していることがわかる。また、対象領域北部の抽出地点は赤い線で囲まれた領域、すなわち火山性陥没地形であるカルデラに対応し、変質鉱物が分布している可能性は高い領域である。東部の抽出地点は断層の交点付近に位置しており、地熱流体の噴出によって変質鉱物が生成されていることが考えられる。よって、LSUによる推定結果には、一定の信頼性があると言える。

3. SAM による熱水変質帯の抽出結果

前処理を終えたHyperionデータに対し、観測スペクトルと教師データとの類似度を測るSAMの適用を試みた。SAMは2つのスペクトルをバンド数に等しい次元を持つ空間内のベクトルとして扱い、類似度としてスペクトル角を算出する。Hyperionデータとkaoliniteのスペクトル角の下位0.5%の画素に着色した箇所と、Saepuloha *et al.* (2018)によるリニアメント密度分布図を第3図で比較する。左図の赤点は既知の地熱兆候地、白線は断層、背景はリニアメント密度を示す。SAMによる熱水変質帯の抽出地点はLSUの結果と比較して広範囲に分布しているが、その多くは既知の地熱兆候地や断層付近、リニアメント密集地に対応する。よって、変質鉱物分布域を妥当に抽出できたと言える。



第2図 LSUによる熱水変質帯の抽出地点(重み係数の上位0.5%部分)(右)と地質分布図(左)の比較



第3図 SAMによる熱水変質帯の抽出地点(スペクトル角の下位0.5%部分)(右)とリニアメント密度(左)の比較

4. まとめ

地熱地域におけるハイパースペクトル画像を用いた変質鉱物抽出精度の向上を目的に、2つのSpectral unmixing手法を適用した。抽出された熱水変質帯の抽出地点の多くは、既知の地熱兆候地や地形の急変部と対応し、地熱資源探査の広域概査におけるハイパースペクトルセンサ画像解析の有効性が示された。今後の課題としては、他の既知の地熱兆候地を抽出するために、スペクトル分離において端成分を適切に設定すること、およびWayang Windu地区以外の地熱サイトも対象とし、本手法の有効性を確かめることなどがあげられる。

文献

- Boardman J. W. and Kruse, F. A. (1994) Automated spectral analysis: A geologic example using AVIRIS data, north Grapevine Mountains, Nevada: in Proceedings, Tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, MI, pp. 1-407 - 1-418.
- Saepuloh, A., Haeruddin, H., Heriawan, M.N., Kubo, T., Koike, K. and Malik, D. (2018) Application of lineament density extracted from dual orbit of synthetic aperture radar (SAR) images to detecting fluids paths in the Wayang Windu geothermal field (West Java, Indonesia), *Geothermics*, vol. 72, pp. 145-155.
- 島田 沢彦 (2007) リモートセンシングによる解析, 自然環境解析のためのリモートセンシング・GISハンドブック. 古今書院, pp. 8-27.