

HISUI ハイパースペクトルデータの検証と熱水・鉱物資源探査への適用

久保 大樹*・岸本 将英*・福田 直也*・小池 克明*

Validation of HISUI hyperspectral data for application to hydrothermal and mineral resource exploration

Taiki Kubo*, Masahide Kishimoto*, Naoya Fukuta* 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 C1-2-214, Kyoto 615-8540, Japan.
E-mail: kubo.taiki.3n@kyoto-u.ac.jp (Kubo)

キーワード: 地熱資源, リモートセンシング, 衛星画像解析, スペクトル分離, 植生指数

Key words: Geothermal resource, Remote sensing, Satellite imagery, Spectral unmixing, Vegetation index

1. はじめに

2019年12月に米軍ケープカナベラル基地より打ち上げられた国産ハイパースペクトルセンサである HISUI (Hyperspectral Imager SUite)は、ISS (国際宇宙ステーション)の日本実験棟「きぼう」に搭載され、2020年9月より画像の取得が開始された。マルチスペクトルセンサである ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)の後継として開発されており、エネルギー資源・鉱物資源探査への利用が期待されている。しかし、現時点での適用例は少なく、解析フローも確立されていないため、ユーザーが独自にデータの前処理や検証を行っている段階にある。また、Yamamoto et al. (2024)は、スペクトルデータの不安定性について報告しており、継続的な検証が必要であると述べている。本発表では、国内外での熱水・鉱物資源探査への適用例の紹介と、その過程におけるデータの前処理と検証結果について報告する。

2. HISUI データと前処理

HISUI は、VNIR (近赤外域: 0.4-0.97 μm)に 58 バンド、SWIR (短波長赤外域: 0.9-2.5 μm)に 127 バンドの観測波長帯を持つハイパースペクトルセンサであり(立川ほか, 2012)、経済産業省と JSS (宇宙システム開発利用推進機構)により共同開発・運用されている。空間分解能は、衛星軌道方向に 31 m、直交方向に 20 m で、観測幅は 20 km である。観測画像は、さくらインターネットが開発・運営する衛星データプラットフォーム「Tellus」を通じて 2022 年 10 月より無償提供(要会員登録)されており、随時シーンの追加がなされている。ただし、2024 年 3 月より一時的に提供が停止されている(2024 年 6 月 6 日現在)。

提供されているデータ形式は、放射量補正・幾何補正・オルソ補正処理済みのレベル 1G プロダクト(GeoTIFF フォーマット)となっている(JSS, 2022)。したがって、反射スペクトルを用いた衛星画像解析のためには、放射輝度変換と大気補正を適用する必要がある。ハイパースペクトル画像に対するこれらの補正は、代表的な衛星画像解析ソフトウェアである ENVI (NV5 Geospatial Solutions Inc.)の機能を利用することができるが、HISUI に対応したパッケージは提供されていないため、各バンドの波長域や Data Gain の値などをプロダクトデータを参考に手入力する必要がある。第 1 図は、

カオリナイトが分布するセルでの補正前後の反射スペクトルの例である。青線で示される USGS (アメリカ地質調査所)のスペクトルライブラリから取得したカオリナイトのスペクトルと比較すると、補正により実際のスペクトルに近づいていることがわかる。解析に当たっては、不良バンドの除去や MNF (Minimum noise fraction)処理により、特に大気中の水蒸気の影響を受けやすい 1.4 μm や 1.9 μm 前後の波長帯を取り除くことが望ましい。

3. 解析事例

3.1 アメリカ・Cuprite 周辺

リモートセンシングの検証用エリアとして広く活用されているアメリカ・ネバダ州の Cuprite(第 2 図)の解析を実施した。HISUI 画像は、2021 年 10 月 1 日撮影の 1 シーンから、10 km \times 10 km の範囲を切り出して使用した。前処理として、前述した放射輝度変換、大気補正、MNF 処理を行った上で、ノイズの影響の小さい 2.1-2.5 μm の範囲から 33 バンドを抽出して解析を行った。ここでは鉱物分布推定を行うため、スペクトルデータに対して自然対数変換と連続体除去(natural Log and Continuum Removed: LCR 処理)を適用して吸収波長帯を強調し、非負制約をかけた線形分離法によって端成分抽出を行った。端成分は、対象地域で確認されている白雲母やカオリナイトなど、6 種 12 成分を使用した。第 3 図は、航空機観測と現地踏査で得られている解析対象範囲の詳細な鉱物分布図と HISUI 画像の解析で得られた鉱物分布推定結果の比較である。白雲母や明礬石については実際の分布と整合的な推定結果が得られているが、カオリナイトはほとんど検出がされていない。この原因については、カオリナイトのスペクトル形状が明礬石と類似しており、より広域に分布する明礬石の影響がより強く表れたためと考えられる。

3.2 日本・秋田県湯沢市周辺

地熱資源探査への応用として、秋田県湯沢市周辺での植生リモートセンシング解析を行った。湯沢市周辺は、第 4 図に示すように、川原毛地獄などの大規模な地熱兆候地が点在し、上の岱地熱発電所や山葵沢地熱発電所が稼働している活発な地熱地域である。また NEDO による詳細調査も実施されており、複数の調査井が掘削されている。2022 年 8

月 28 日撮影の HISUI 画像 1 シーンに、放射輝度変換・大気補正・不良バンド除去の前処理を行った上で解析を行った。衛星画像を用いた地熱資源探査では、主に地表の熱水変質鉱物を検出の対象とするが、湯沢地域は山岳部に位置し、そのほとんどが植生に覆われているため、直接地表の情報を得ることができない。そのため、植生ストレス指標を用いることで、地熱の影響の評価を行った。植生がストレスを受けた際に生じる短波長赤外線域(2.2 μm 周辺)の反射率増加と、レッドエッジ(0.7-0.75 μm での急激な反射率の上昇)の長波長側へのシフトを評価する指標である VIBS(Vegetation Index considering Blue shift and Software infrared: 権守, 2019)を補正済みの HISUI データに適用し、その分布を明らかにした。解析対象地域の VIBS の分布から、断層が集中する南側の値が高く、北部の値が相対的に低いことがわかる。主要な地熱兆候地は南部に集中しており、現地の地熱系と整合的であると言える。

4. まとめと今後の課題

2022 年よりデータの提供が開始された国産ハイパースペクトルセンサである HISUI データの前処理についての検討を行った。ライブラリデータとの比較により、従来のハイパースペクトルデータと同様のフローを用いることで適切に前処理が可能なが確かめられたため、資源探査への適用を行った。Cuprite Hills での端成分抽出による鉱物分布推定と湯沢市周辺での植生ストレス指数による地熱ポテンシャル評価は、現地の状況と整合的な妥当性のある結果が得られた。今後は、解析手法の検証や新たな地域での解析、物理探査など他の調査手法との比較を継続して行う予定である。

謝辞: 本発表の成果は、JSPS 科研費若手研究(22K14105)の助成による。

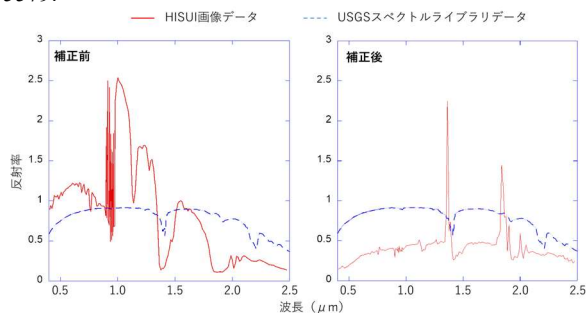
文献

Hede.... Remote Sensing of Environment....

一般財団法人 宇宙システム開発利用促進機構(JSS) (2022) HISUI レベル1 プロダクトフォーマット説明書 version 1.0, https://gportal.jaxa.jp/gpr/assets/mng_upload/GCOM-C/SGLI_Level1_Product_Format_Description_jp.pdf (2024/6/4 閲覧)

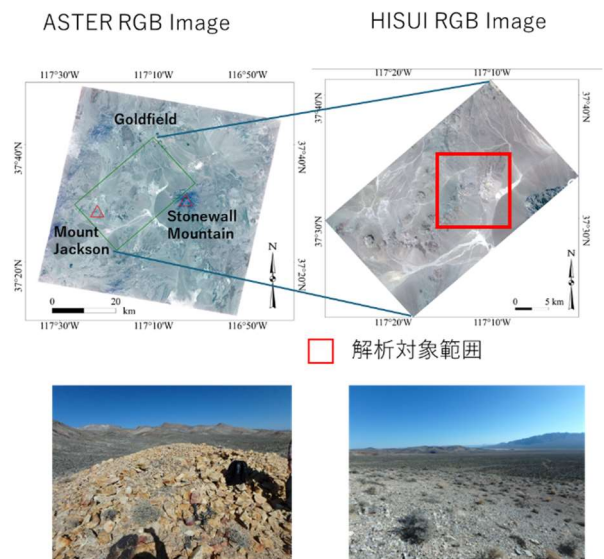
立川哲史・鹿志村修・谷井 純・岩崎 晃・松永恒雄・土田 聡・山本浩万 (2012) HISUI の概要と将来展望, 日本リモートセンシング学会誌, vol. 32, pp. 280-286.

Yamamoto, S., Tsuchida, S., Urai, M., Mizuochi, H., Matsuoka, M., and Iwao, K. (2024) Analysis of long-term variation in spectral smile of HISUI Using atmospheric absorption bands, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 17, pp. 5565-5579.

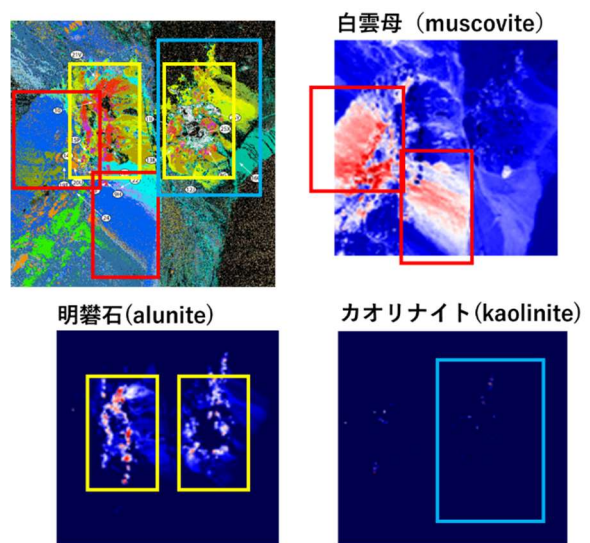


第 1 図 カオリナイト分布域での補正前後のスペクトルの比較と、USGS スペクトルライブラリから取得したデータの重ね合わせ。

権守宏明(2019)ハイパースペクトル衛星画像を用いた高植生被覆域における地熱兆候地抽出法の開発, 京都大学大学院工学研究科修士論文。



第 2 図 Cuprite の位置と解析範囲(上段), および現地の風景(下段, 2017 年 10 月の調査による)。



第 3 図 Cuprite の詳細鉱物分布図 (左上) および HISUI 画像解析による鉱物分布推定結果。



第 4 図 秋田県湯沢市周辺の HISUI 画像取得範囲 (左) と現地の地熱兆候点の様子 (右上: 川原毛地獄, 右下: NEDO 調査井からの噴気)。