

ハイパースペクトル画像を用いた 植生リモートセンシングによる地熱資源有望域の推定

福田直也*・岸本将英*・久保大樹*・小池克明*

Estimation of high-potential geothermal resource zones by remote sensing of vegetation using hyperspectral imagery

Naoya Fukuta*, Kishimoto Masahide*, 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 C1-2-225, Kyoto 615-8540, Japan. E-mail: fukuta.naoya.27n@st.kyoto-u.ac.jp

キーワード：断層，地熱資源，HISUI，リモートセンシング，植生指数

Key words: Fault, Geothermal resource, HISUI, Remote sensing, Vegetation index

1. 研究の目的

日本は地熱資源に富む地域であるが、その発電への利用はまだ少ない。世界的に地熱資源開発の障壁となっているのがボーリング調査のコストとである。ボーリング調査は価格コストが大きく（甘露寺，2010）、綿密な計画を要するために時間的コストも増大する。またボーリング調査自体の環境への影響も考慮する必要がある。さらに、地熱地域は火山などの山岳部に多く位置していることも地熱開発をより困難なものにしている。そこで本研究では、比較的lowコストかつ広域的な解析が可能な衛星リモートセンシングによって地熱有望域を推定することを目的とした。しかしながら山岳地形に位置する地熱地域の多くは植生に覆われており、衛星画像から土壌を直接解析することは困難である。そのため、地熱貯留層で発生し断層を通して地表に移動する熱水や蒸気・火山性ガスが植生に及ぼす影響に注目する。衛星画像としてハイパースペクトルセンサ HISUI (Hyperspectral Imager Suite) によって取得された画像を対象とし、地熱地域の植生指数を求め、その分布と既存の地熱調査資料との組み合わせにより本手法の妥当性・有効性を検証した。

2. 解析データと手法

2.1 解析データ

HISUI の特徴は波長分解能と空間分解能の高さである。HISUI はバンド数が 185 あり波長分解能が高くハイパースペクトルセンサに分類される。さらに HISUI の空間分解能は 20 m×31 m であり他のハイパースペクトルセンサと比較して高い空間分解能を持っている。対象地域は秋田県湯沢地域(第 1 図)である。秋田県湯沢地域には温泉が複数存在し地熱発電所が稼働する地熱資源に富む地域である。解析には 2022 年 8 月 28 日撮影の HISUI 画像データを用いた。

2.2 HISUI 画像の前処理

前処理として、まずオープンソース GIS ソフトウェアである SAGAGIS を用いて地形補正を行い、その後 ENVI (NV5 Geospatial Solutions Inc.) によって放射校正・植生域の抽出・大気補正・ノイズ除去を行った。植生域の抽出には植生の活性度を表す指標である次式の NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) を用いた。

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}} \quad (1)$$

ここで、 ρ_{NIR} は近赤外域における反射率、 ρ_{red} は赤の反射率を表しており、レッドエッジと呼ばれ植物のスペクトルに典型的な波長 700~750 nm における反射率の急激な増大を利

用し植生を表している。今回の解析では ρ_{NIR} にバンド 41 (805 nm)を、 ρ_{red} にバンド 31 (805 nm)を当てはめた。

2.3 VIBS を用いた解析

植生に影響が現れる地熱の兆候を解析する指標として VIBS (Vegetation Index considering Blue shift and Shortwave infrared) (権守, 2019)を用いた。VIBS は植生ストレスを評価することができる指標であり、次式で表される。

$$\left(\frac{\rho_{2274} - \rho_{671}}{\rho_{2274} + \rho_{671}} - m_1\right) / \sigma_1 + \left(\frac{\Delta\rho_{707} - \Delta\rho_{737}}{\Delta\rho_{707} + \Delta\rho_{737}} - m_2\right) / \sigma_2 \quad (2)$$

ここで、 ρ_x は波長 x nm の反射率、 m_1 と σ_1 は $(\rho_{2274} - \rho_{671}) / (\rho_{2274} + \rho_{671})$ の平均値と標準偏差、 m_2 と σ_2 は $(\rho_{707} - \rho_{737}) / (\rho_{707} + \rho_{737})$ の平均値と標準偏差を表す。 ρ_{2274} 、 ρ_{671} は HISUI のバンド 152, バンド 28 の値が該当する。 $\Delta\rho_{707}$ 、 $\Delta\rho_{737}$ には各波長の前後 2 バンドであるバンド 31(705 nm)、32(715 nm)、34(735 nm)、35(745 nm)を用いて一次微分を求めた。

3. 結果と考察

秋田県湯沢地域の断層(NEDO, 1985)と地温 100 °Cに達する深度(NEDO, 1990)を用いて考察する。地第 2 図は VIBS と断層の重ね合わせである。赤色の地点は VIBS の値が高く、青色の地点は VIBS の値が低い。黄色の線は断層を表しており、VIBS の値が高い地域が断層に沿うように存在していることが特徴的である。この要因として、深部で発生した熱水やガスが断層を通して地表近くまで上昇したこと、あるいは断層による地形の変化が植生の生育に影響を与えたことなどが考えられる。第 3 図は VIBS と地温 100 °Cに達する深度を重ね合わせた図である。北部から南部にかけて高温域が広がっていることに調和して、VIBS の値も北部から南部にかけて増加していることがわかる。これは、高温域が浅いほど地上の植物にストレスが加わっているためであると考えられる。以上の結果から、秋田県湯沢地区の南部が地熱有望域であると考えられる。

4. まとめと今後の計画

地熱貯留層で発生した熱水や蒸気・火山性ガスが断層を通して地上の植物に影響を与えていると考えられ、VIBS の値が高い秋田県湯沢地区南部が地熱有望域である。VIBS を用いた衛星リモートセンシング解析は地熱系の推定に有効であり、地熱開発における広域調査に活用できる可能性が見出された。今後は HISUI 画像の解析精度を向上させるとともに、

植物にストレスを与えた場合の反射スペクトルの変化を実験的に求める予定である。

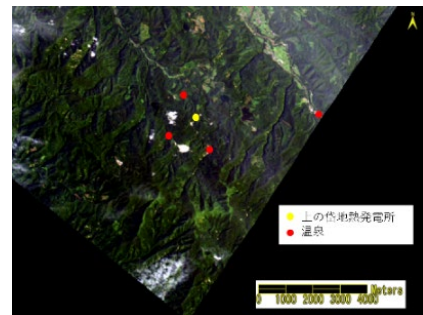
文献

甘露寺泰雄 (2010) 温泉(深井戸)ボーリングデータ公開の課題. 地質ニュース 667 号, pp. 39-48.

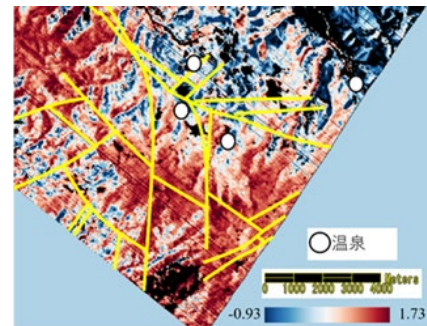
権守宏明 (2019) ハイパースペクトル衛星画像を用いた高植生被覆域における地熱兆候地抽出法の開発, 京都大学大学院工学研究科修士論文.

NEDO 新エネルギー総合開発機構 (1985)地熱開発促進調査報告書 No.7 湯沢雄勝地域, pp. 773-774.

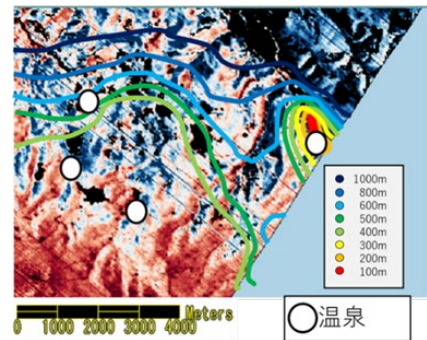
NEDO 新エネルギー総合開発機構 (1990)地熱開発促進調査報告書 No.20)皆瀬地域, pp.1243-1244.



第 1 図 対象地域 (秋田県湯沢地区) の HISUI 画像。



第 2 図 VIBS と断層 (黄線) の重ね合わせ。



第 3 図 VIBS と地温 100 °C に達する深度の重ね合わせ。