

# 光学センサ画像の鉱物指数と DEM リニアメントによる地熱兆候地の抽出

加納陸生\*, 久保大樹\*, 小池克明\*

## Detection of geothermal manifestations through mineral indices of optical sensor imagery and Digital Elevation Model lineaments

Rikuo Kano\*, Taiki Kubo\*, 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 C1-2-215, Kyoto 615-8540, Japan. E-mail: koike.katsuaki.5x@kyoto-u.ac.jp

**キーワード:** 植生指標, 光学センサ衛星画像, 鉱物指数, リニアメント, Wayang Windu

**Key words:** Vegetation index, Optical sensor satellite image, Mineral index, Lineament, Wayang Windu

### 1. はじめに

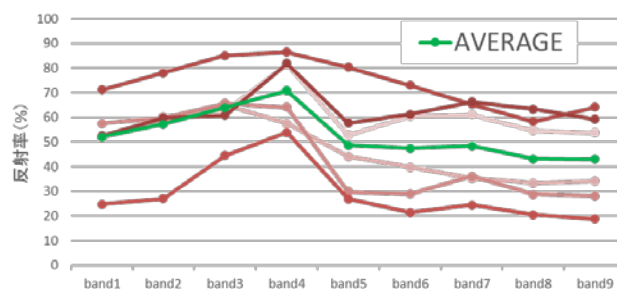
地熱資源探査における広域調査では、衛星画像から熱水変質鉱物の存在を強調する鉱物指数とリニアメント解析が用いられる。鉱物指数を用いた光学センサ画像単独の解析では、植生の被覆や岩石の風化の影響により地熱兆候地以外の場所まで検出されてしまう。一方、リニアメント解析では地表面に現れる断裂系を検出し、大規模断裂系や亀裂の交差が卓越している場所から透水性の高い場所を推定できるが、地熱兆候地の検出精度は低い。そこで本研究では、2つの解析を組み合わせることで地熱兆候地の検出精度を向上させることを目的とした。そのためにインドネシアのWayang Windu 地域をケーススタディの対象に選んだ。

### 2. 鉱物指標の改良

鉱物に特有な反射スペクトル、特に吸収波長帯に着目した指数(鉱物指数)によって、対象とする鉱物の分布を抽出することが広く行われている。単純な例としては、対象とする鉱物の吸収波長帯の値を分母に、反射波長帯の値を分子に置くことで、特有の反射吸収を強調することが可能となる。

本研究では、現地岩石試料の反射スペクトルの特徴を反映した鉱物指数を提案し、これを解析対象地域に適用することで、既存指数よりも熱水変質帯の抽出精度を向上させることを目指した。提案の必要性は3つある。1つ目は同じ鉱物でも地域によって化学組成は多少異なり、これに伴って反射スペクトルも異なると予想されるためである。2つ目は、各鉱物がどのような割合で分布しているかの既存情報がなく、3つ目はWayang Windu 地域一帯が主に安山岩によって構成されている(Maghsoudi *et al.*, 2018)ためである。第1図はWayang Windu 地区の熱水変質帯での岩石試料に対して、FieldSpec を用いて測定された反射スペクトルのデータである。元データから、ASTER バンドに対応する波長での反射率を選出している。対象地域の熱水変質帯で採取した岩石試料は、類似した反射スペクトルを示すことが確認できる。そこで、この反射スペクトルデータに基づいて適切な鉱物指数を作成し、これをASTER 画像に適用した。

鉱物指数とは、OH 基や水分子などによる反射率の吸収を強調する指数である。本研究では特に 2  $\mu\text{m}$  付近の短波長赤外域での反射率吸収に着目し、ASTER データの9バンドを使用した。

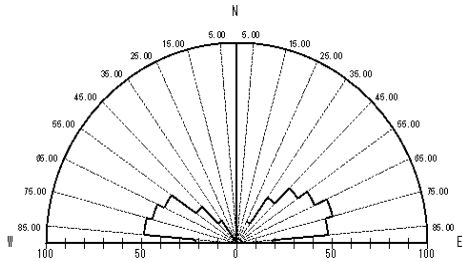


第1図 熱水変質帯の岩石試料に基づく反射スペクトル (ASTER バンドでの反射率に変換している)

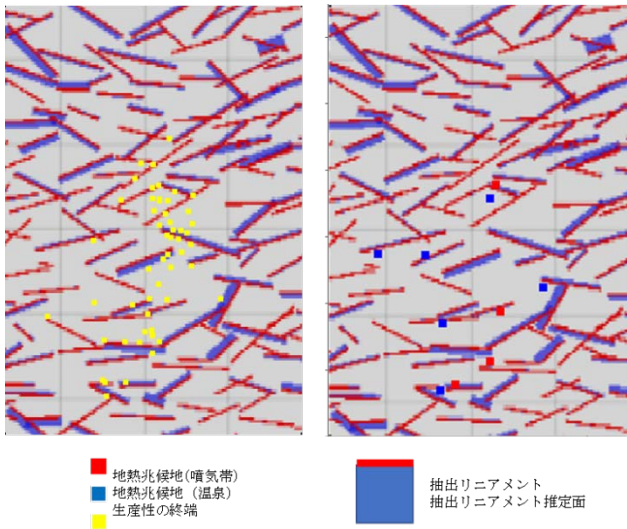
### 3. リニアメント解析

解像度 30 m の SRTM DEM データから線素追跡アルゴリズム (Segment Tracing Algorithm: STA, Masoud and Koike, 2011) によってリニアメントを抽出した。リニアメント解析では、種々の太陽照射方向の設定により地形の凹凸を強調した多方位陰影図を用い、陰影の急変部の連続性が線上に繋がるという線状構造を抽出した。方位が類似するとともに近接するリニアメントをグループ化し、実際の断層に対応するように連続性を向上させた。さらに、このグループの走向傾斜を算出し、ボーリング亀裂データの方角と比較することで手法の妥当性を検証した。リニアメントの方角分布を第2図に示す。

解析対象地域に存在する大規模断層の走向は N49°E, N54°W, N71°W であることが報告されている (Alzwar *et al.*, 1992)。まず、NW-SE 方向について比較すると、大規模断層とリニアメントの卓越方向は NW-SE 方向で対応しているものの、N54°W 方位の大規模断層周辺にある抽出リニアメントの方位は N80°W であり、整合していない。この方位の亀裂は、N54°W, N71°W 方位の大規模断層の影響により生成したものと推測される。これは、断層の周辺の亀裂は大規模断層が形成される際に生じるためである。また、リニアメントと地熱兆候地、および生産井の先端の位置関係を第3図に示すが、これより傾斜が急な推定断層面の近くに地熱兆候地、および生産井の先端が位置していることがわかる。



第2図 抽出リニアメントの方位分布(ローズダイアグラム)



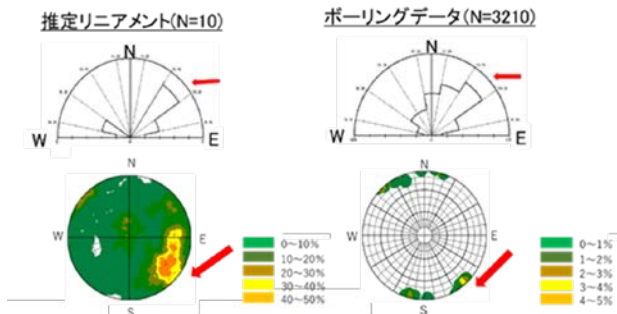
第3図 リニアメントに基づく推定断裂面と地熱兆候地, 生産井の先端との位置関係

4. リニアメントとボーリング亀裂の方向の比較

リニアメントからの推定断裂面の走向傾斜について評価する。そのために、Wellpad から掘削されたボーリングによる観測亀裂の走向傾斜データに注目した。Wellpad とは生産井が地表に現れる地点の集積場所である。第4図にはボーリング調査による亀裂データとリニアメントに基づく推定断裂面の方向分布の一例を表す。

第4図よりボーリング調査による亀裂データとリニアメントによる推定断裂面の方向分布を比較すると、走向に関して第一卓越方向は整合していることがわかる。シュミットネットによる極分布に関しては、極の頻度が最も集中している方向は概ね対応しており、傾斜方向(南側傾斜か北側傾斜か)も良く整合している。

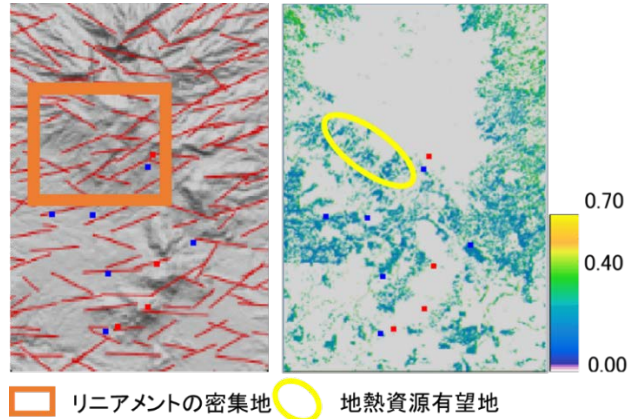
よって、リニアメントに基づく推定断裂面は実際の亀裂データと概ね対応し、リニアメント解析からでも地下の亀裂分布が推定できるといえる。



第4図 亀裂データとリニアメントに基づく方向分布の比較 (矢印は卓越方向を示す)

5. 鉱物指数とリニアメント解析結果の統合

先行研究ではリニアメントの密集している場所では透水性が高く、熱水の上昇で変質が生じやすくなると解釈されている (Saepuloh *et al.*, 2018). そこで、リニアメント分布と鉱物指数分布とを重ね合わせた結果、第5図に示すように、リニアメント密集地とその中で鉱物指数が高い箇所が地熱資源有望地であると考えられる。



第5図 リニアメント密集地(左図)と地熱有望地(右図). 右図で鉱物指数が高い箇所を緑と黄色で示す。

6. まとめ

鉱物指数を用いた衛星画像解析とリニアメント解析の組み合わせは、地熱兆候地を広域から検出するのに有効であることが確かめられた。

謝辞 ボーリングデータを提供していただいた Star Energy 社に深甚の謝意を表す。

文 献

Alzwar, M., Akbar, N., and Bachri, S.(1992) *Geological map of the Garut and Pameungpeuk quadrangle, Java*. Geol. Res. Dev. Centre, Bandung, Indonesia.

Maghsoudi, Y., Van Der Meer, F., Hecker, C., Perissin, D., and Saepuloh, A. (2018) Using PS-InSAR to detect surface deformation in geothermal areas of West Java in Indonesia. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation*, vol. 64, pp. 386-396.

Masoud, A.A. and Koike, K. (2011) Auto-detection and integration of tectonically significant lineaments from SRTM DEM and remotely-sensed geophysical data, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 66, pp. 818-832.

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.