

## 地熱地区における DEM データを用いたリニアメント抽出と 断裂系モデリング

高橋 貫太\*・久保 大樹\*・柏谷 公希\*・多田 洋平\*・小池 克明\*・櫻井 繁樹\*\*

### Lineament Extraction and Fracture System Modeling Using DEM Data in Geothermal Area

Kanta Takahashi\*, Taiki Kubo\*, Koki Kashiwaya\*, Yohei Tada\*,  
Katsuaki Koike\* and Shigeki Sakurai\*\*

\*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: takahashi.kanta.53c@st.kyoto-u.ac.jp (Takahashi)

\*\*京都大学大学院総合生存学館 Graduate School of Advanced Integrated Studies in Human  
Survivability, Kyoto University, 1 Yoshidanakaadachicho Kyoto University Higashi-Ichijo Bldg,  
Kyoto 606-8501, Japan.

キーワード：リニアメント解析，自動抽出アルゴリズム，多方位陰影 DEM，平滑化処理，  
地熱地区

Key words：Lineament analysis, Automatic extraction algorithm, Multi-shaded DEM,  
Smoothing processing, Geothermal area

#### 1. はじめに

地球温暖化ガスの排出量の大幅削減，および再生可能エネルギー資源への依存増加のために，世界的に地熱発電へのニーズが急速に高まっており，新規の発電所も建設されている．一方で，地熱発電は開発リスクが高いという課題を抱えている（経済産業省，2014）．地熱開発では，地熱貯留層内に存在する熱水の通路となる透水性亀裂（熱水パス）の位置と空間分布との把握が重要となる．しかしながら，現状の調査では多くの 2,000 メートル級ボーリングが必要となり，開発コストを高騰させている．この透水性亀裂の位置を地表における地熱兆候から抽出し，空間分布形態を推定することができれば，資源量の評価精度向上と開発コストの大幅な低下に貢献できる．

そこで本研究では，地形データからリニアメントを抽出し，これに基づく推定断裂分布と，地熱地区で得られた地温分布をはじめとする地質情報との相互関連性を検討した．リニアメントとは，空中写真や衛星画像に現れる直線的な地形的特徴である．リニアメントは，熱水流動に影響を与える地質的脆弱性と関連すると同時に，データの取得が容易であるため，広域調査への応用に好適である．

#### 2. 対象とした地熱地区

本研究では，岩手県安比地区とインドネシアの Wayang Windu 地区を解析の対象に選んだ．両地区ともに噴気や温泉など明瞭な地熱兆候が認められる．安比地区は，地熱有望サイトとして平成 12 年より 3 年間にわたり，新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）により地熱促進開発調査が行われ，試錐調査で得られた地下の高透水性亀裂のデータや地温データ，物理探査データが利用できる（有木ほか，2006）．また，Wayang Windu 地区にはインドネシアにおけ

る最大級の地熱発電所が稼働しており，さらなる開発を目指して断層の分布やラドンガスの測定データなどが取得されている．このように，地熱開発に関する地表と地下のデータが存在する両地区においてリニアメントを抽出することで，推定されたリニアメントと地熱地域の地質特性との関連性を検証する．

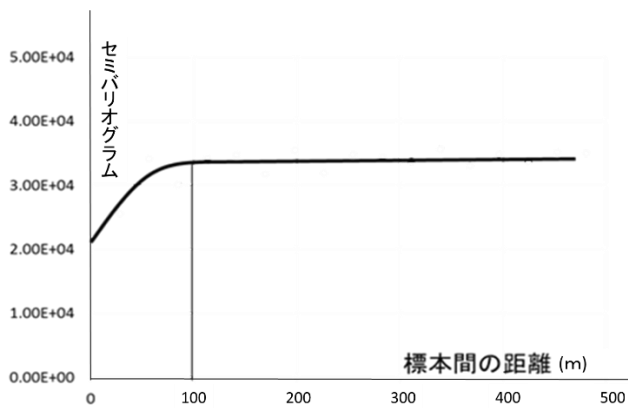
#### 3. 解析手法

本研究では，10m 間隔（安比地区）と 30m 間隔（Wayang Windu 地区）の Digital Elevation Model (DEM) データから反射強度を算出した多方位陰影図，および線索追跡アルゴリズム（Segment Tracing Algorithm: STA）をリニアメント抽出に用いた．多方位陰影図によって，航空写真や衛星画像に現れる天候や太陽の照射方向の影響を取り除くことができる．さらに，距離の遠近と方位の類似性により複数のリニアメントをグループ化し，これと DEM データとのベクトル解析によってリニアメント面（推定断裂面に相当）の走向・傾斜を算出すると同時に（Koike *et al.*, 1998），得られたリニアメント面分布と温度検層データの補間による地温分布，および推定断層分布との関連性を評価した．

##### 3.1 地形の平滑化処理

これまでの STA には，局所的な地形変化を伴わない大きな構造に対応するリニアメントが抽出されないという問題があった．このことを改善するために，本研究では DEM データの平滑化処理を適用した．まず DEM データのセミバリオグラムを作成し，標高値の相関性が存在する最長の距離（レンジ）を特定する．作成したセミバリオグラムに基づいて平滑化の範囲を定め，範囲内の平均標高値を用いて谷埋めを行う．その後，多方位陰影図を作成する．安比地区における DEM データのセミバリオグラム（第 1 図）からは，

距離 100m まで標高値に空間的な相関性が見出されることから、100m 四方の範囲を平滑化の対象とした。平滑化前後のリニアメント面画像を比較すると、細かな谷地形が埋められ、直線状と識別しやすい形状に変化していることがわかる (第 2 図)。



第 1 図 安比地区の標高値のセミバリオグラム

#### 4. 結果と考察

安比地区における平滑化処理前後でのリニアメント面と、標高 0m の地温分布とを重ね合わせて比較すると (第 3 図)、平滑化処理後のリニアメント面は、地下高温部や温度勾配が急な地域を通ることがわかる。さらに、平滑化処理後のリニアメント面の方が、地表面で確認される地熱兆候地と、位置的に整合していることもわかった。

次に、Wayang Windu 地区に対しては、平滑化処理前後のリニアメントと透水性断層分布とを比較した (第 4 図)。平滑化処理によって、透水性亀裂と重なるリニアメントが増加したことがわかる。また、平滑化処理後のリニアメント面の方が、地表地熱兆候地付近を通ることが確かめられた。

以上のように、DEM データを粗視化して得られたリニアメントが、従来よりも地熱兆候との対応が向上した要因として、以下が考えられる。地熱地帯に存在し、熱水のパスとなる亀裂 (断層も含む) は、少なくとも地下深度数 km の高温帯に繋がっている必要がある。このような連続性の良好な亀裂は必然的に水平方向にも長く、結果として大規模なリニアメントとして現出する。大規模リニアメントの周辺は局所的な地形変化を伴うため、この変化を重視する自動抽出アルゴリズムでは一本の直線として判定されにくい。

DEM の平滑化処理によって、主要な地形構造を強調することでリニアメントの連続性が向上したと考えられる。

#### 5. まとめ

対象地域における DEM データのセミバリオグラムによる相関距離を利用し、DEM データを平滑化することで、大規模リニアメントの抽出精度が向上した。こうして得られたリニアメントは、平滑化前よりも地熱兆候と対応することが見出された。よって、本手法は地熱貯留層周辺の断裂系モデリング、断裂系の特徴抽出、および断裂を主なパスとする熱水の流動解析に適用できる。

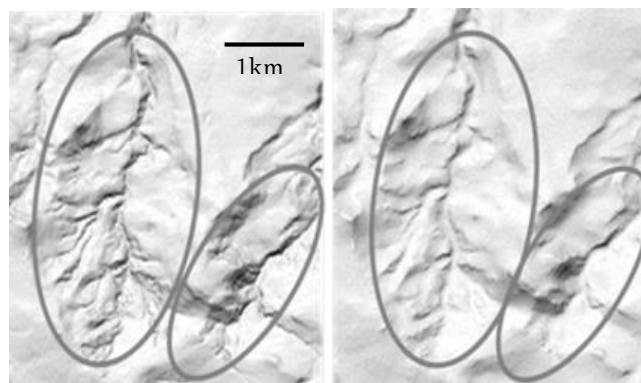
#### 文 献

経済産業省 (2014) エネルギー白書 2014 第 3 部 3 章 自立かつ環境調和的なエネルギー供給構造の実現。pp.244-249.

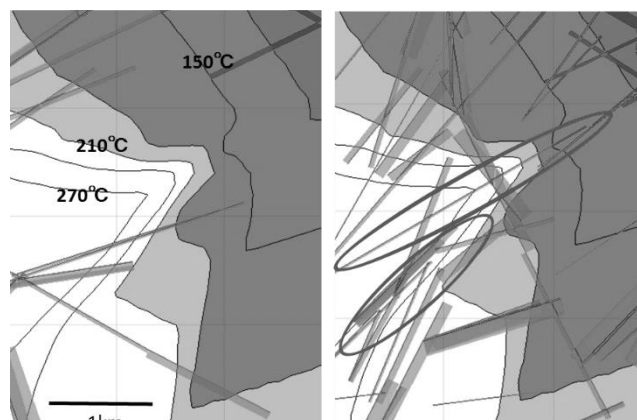
有木和春・加藤久遠・北尾浩治・熊谷直人・高橋洋・工藤悟志・阿部泰行 (2006) 地熱開発促進調査安比地域の資源評

価概要. 日本地熱学会誌, vol.28, no.1, pp.3-18.

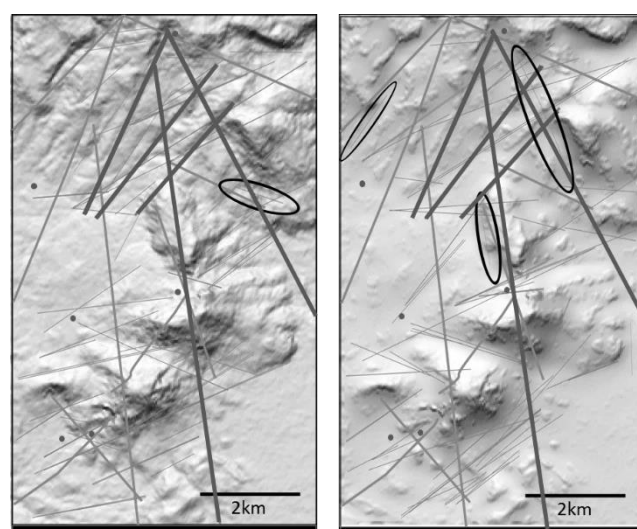
Koike, K., Nagano, S. and Kawaba, K. (1998) Construction and analysis of interpreted fracture planes through combination of satellite-image derived lineaments and Digital Elevation Model data. *Computers & Geosciences*, vol.24, no.6, pp.573-583.



第 2 図 安比地区における平滑化処理前 (左図) と後 (右図) の多方位陰影図の比較



第 3 図 安比地区での平滑化処理前 (左図) と後 (右図) によるリニアメント面と標高 0m での地温分布との重ね合わせ



第 4 図 Wayang Windu 地区での平滑化処理前 (左図) と後 (右図) によるリニアメント (細線) と透水性断層分布 (太線) の重ね合わせ (楕円は整合箇所を表す)