

地熱域でのDEM リニアメントに基づく推定亀裂系と地下温度分布との関連性

久保大樹*・高橋貫太*・柏谷公希*・小池克明*・櫻井繁樹**

Relationship of the fracture system estimated from DEM lineaments and subsurface temperature distribution in a geothermal area

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

*京都大学大学院工学研究科都市社会学専攻 Department of Urban Management,
Graduate School of Engineering, Kyoto University, Katsura C1-2-225, Kyoto 615-8540, Japan.
E-mail: kubo.taiki.3n@kyoto-u.ac.jp (Kubo)

**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：亀裂系，地熱域，リニアメント，空間モデリング，地形解析

Key words : Fracture system, Geothermal area, Lineament, Spatial modeling, Topographic analysis

1. はじめに

地熱発電は再生可能な新エネルギーとして開発が進められているが、開発コストが高いという課題を抱えている。地熱地域の探査・開発においては、熱水や蒸気のパスとなる亀裂や断層などの亀裂系の位置と空間分布を把握することが重要となる。高透水性の亀裂系の分布を地形的特徴や地表地熱兆候から推定できれば、資源量の評価精度の向上と開発コストの大幅な低減に貢献することが期待できる。

このような背景のもと、本研究では地形データを用いた亀裂系把握の試みとして、DEM(数値標高モデル)からリニアメントを抽出し、これと試錐データとの比較により、両者の関連性の検討を行った。リニアメントとは地形に現れる直線的な模様を意味し、断層や連続性の良い節理など、地表下の岩体の不連続構造と関連する可能性が高い。ケーススタディとして岩手県安比地域を選んだ。本地域は平成12年度より3年間にわたり、NEDOによる地熱促進開発調査として物理探査やボーリング調査が実施され、その結果が報告書にまとめられていることが選定の理由である。

2. DEM リニアメントの抽出

2.1 多方位陰影図の作成

国土地理院提供の10mメッシュDEMデータから多方位陰影図を作成し、これに画像解析手法である線素追跡アルゴリズム(Segment Tracing Algorithm, 以下STA)を適用することでリニアメントを抽出した。これはMasoud and Koike(2011)と同じ手法である。多方位陰影図は、以下のステップで作成される。

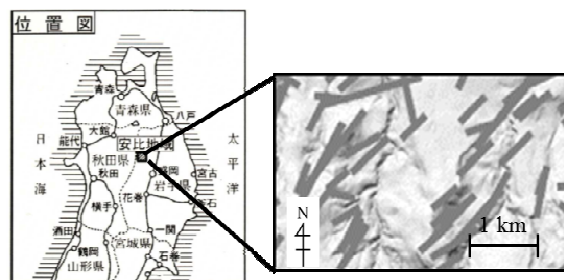
- 1: 各格子点における地表面の法線ベクトルの算出
- 2: 異なる方位角(α)・俯角(β)を持つ複数の光源ベクトルの設定
- 3: 地表面の法線ベクトルと光源ベクトルから算出される各格子点の反射強度 R の積算

多方位陰影図は、DEMデータそのものよりも地形の起伏や傾斜の変化を強調したデータセットとなる。リニアメントと判断できる地形の直線的構造は、地表の起伏や傾斜の変化部が連続することによって形成されるため、多方位陰影図を用いることで、より精度の高いリニアメント抽出が可能となる。

光源ベクトルの方位角・俯角は、対象地域の谷地形が明瞭に現れることを基準とし、 $\alpha=30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$ (W方向から反時計回り)、 $\beta=15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ と設定した。

2.2 線素追跡アルゴリズム(STA)によるリニアメント抽出

多方位陰影図にSTAを適用し、リニアメントの抽出を行った。解析領域は安比地域を中心とする20×20kmの範囲である。STAの各計算ステップにおいて、近接する線素間の角度の許容範囲などの連結条件が必要となるが、これらは明らかに地形の起伏と関連しない線分が生じないことを基準として求めた。安比地域に限定して抽出されたリニアメントの分布を第1図に表す。北西部と南東部に分かれて分布しており、NE-SW方向が最も卓越することがわかる。安比地域で実施されている重力探査結果と比較すると、南東部のリニアメントは高密度領域と低密度領域の境界に位置している。以上から、抽出されたリニアメントが地下深部まで連続する地質境界である可能性が示唆される。



第1図 安比地域の位置(H15安比資源評価(第4次)報告書より)と周辺で抽出されたリニアメント分布

3. 試錐データを用いた地熱系の空間分布モデル

3.1 温度分布モデル

安比地域では物理検層や温度検層を伴う計 6 本のボーリング調査が実施され、地質や温度のデータが取得されている。温度は 5 本のボーリング孔において 10 m 間隔で計測された。このデータセットをもとにして、安比地域内の 2 km(N-S)×1.5km(E-W)×2.2 km(深度)の範囲(以下、モデル化領域)で、逆距離加重法により温度分布モデルを作成した。安比地域は南部に熱源が存在すると推定されており、これと調和して、モデル化領域も南東側深部が 200℃を超える高温領域、北部が比較的低温の領域となっていることが確かめられた(第 2 図)。

3.2 透水性亀裂分布モデル

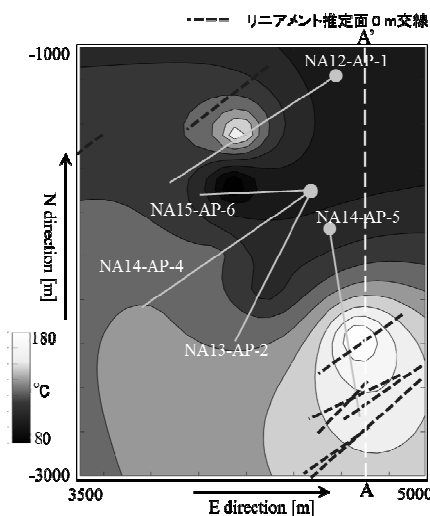
2本のボーリング孔の一部区間において、FMI(Formation MicroImager)検層により透水性亀裂の観測が行われている。検出された亀裂本数は 169 本で、そのうち NE-SW 走向で SE 側に緩く傾斜する亀裂が最も卓越する。FMI 検層による亀裂抽出は傾斜ボーリングの一部のみで行われており、特に傾斜方向について強いバイアスを受けている可能性が考えられるが、走向については第 1 図に示した安比地域周辺で抽出されたリニアメントの傾向に対応しており、明確な卓越方向を有する広域的な亀裂系の存在が推測できる。

4. 各種モデルの重ね合わせによる地熱系の考察

推定されたリニアメント、温度、透水性亀裂の空間分布を重ね合わせて比較することにより、対象地域の地熱系の考察を行った。

第 2 図は、モデル化領域の標高 0 m での地温コンター図をリニアメント分布に重ねたものである。図より、南東側の高温領域とリニアメントの集中帯がよく対応していることがわかる。なお、STA によって抽出されたリニアメントは、その走向とリニアメントが通過するグリッドの地表面法線ベクトルを用いて傾斜方向を算出することが可能であり、第 2 図に示す交線は抽出されたリニアメントを傾斜方向に延長することで求めている。

次に、透水性亀裂との関連を検査するため、第 2 図の A-A'鉛直断面において、地温コンター図にリニアメントと透水性亀裂の交線を重ねた(第 3 図)。透水性亀裂の交線は、FMI 検層データでの座標と方位・傾斜をもとに、亀裂面の大きさを延長させたことによる。図より、リニアメン



第 2 図 標高 0 m での地温コンターとリニアメント交線、および対象地域で実施されたボーリングの投影図

ト交線は等温線を貫くように伸びているのに対し、透水性亀裂は高温-低温領域の境界に沿うように交差していることがわかる。この特徴は、モデル化領域の 3 次元等温面とリニアメント面を重ね合わせたモデルにおいてより明瞭に示され(第 4 図)、リニアメント集中部において、等温面が浅部に上昇するような温度分布となっていることがわかる。

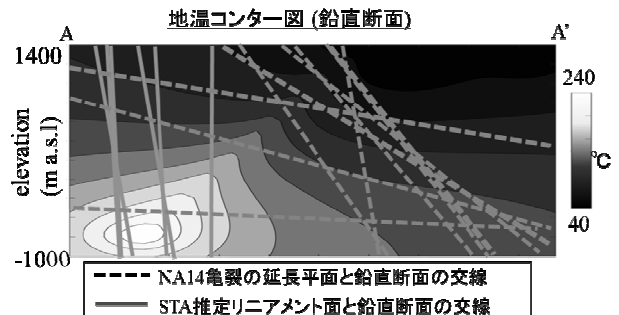
以上の結果から、安比地域においては、リニアメントとして地表に現れる高傾斜の亀裂系が深部から浅部への地熱流体の流動経路として機能している可能性が考えられる。また、モデル化領域は北側に緩く傾斜する地形であり透水性亀裂の傾斜方向はこれに調和的である。したがって、亀裂面は天水の下降流経路となっており、これによって周辺の温度が下げられることで、高温-低温領域が明瞭に区分されていると推測される。

5. まとめ

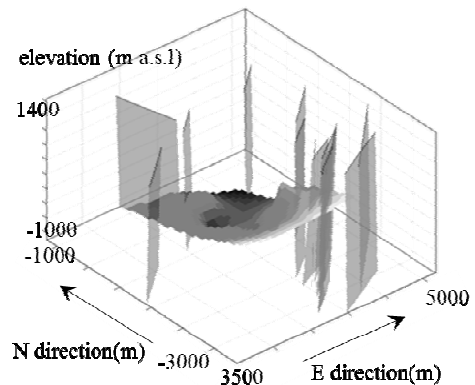
岩手県安比地域を対象とし、DEM の多方位陰影図を用いてリニアメント抽出を行った。また、試錐データをもとに温度と透水性亀裂の空間分布モデルを作成し、これらを重ね合わせることで、地温分布と亀裂系の関連性を検討し、対象地域の地熱系の考察を行った。これにより、対象地域では高傾斜のリニアメントが地熱流体の上昇パスに対応し、透水性亀裂が地下水流動経路となって周辺の温度を低下させることにより、高温-低温領域が明瞭に区分されていることが示唆された。

文献

Masoud, A., 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, no. 6, pp. 818-832.



第 3 図 断面図上での地温コンターと推定リニアメント交線、および透水性亀裂交線の重ね合わせ(第 2 図の A-A'断面)



第 4 図 100℃等温面と推定リニアメント面の重ね合わせ