

Tensor Voting とハフ変換を用いた地形特徴量によるリニアメントの抽出

根本 達也*・中村 公亮*・サムブッタ ダル*・ベンカテッシュ ラガワン*

Lineament Extraction Based on Topographic Features Using Tensor Voting and Hough Transform

Tatsuya NEMOTO*, Kosuke NAKAMURA*, Sambuddha DHAR* and Venkatesh RAGHAVAN*

* 大阪公立大学大学院理学研究科 Graduate school of Science, Osaka Metropolitan University, 3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585, Japan. E-mail: tnmoto@omu.ac.jp

キーワード：リニアメント, 数値標高モデル, ハフ変換, Tensor Voting, Geomorphon
Key words: Lineament, Digital Elevation Model, Hough transform, Tensor Voting, Geomorphon

1. はじめに

リニアメントは、地質構造の弱線部を反映した線状地形であり、谷地形や山麓地形として地表に形成される。リニアメントは、活断層の予察的調査や原子力発電所の建設の指標に用いられており、地質災害評価などにおいて重要な調査基準である(原子力土木委員会地盤部会・地質・地盤の調査・試験法標準化分科会, 1985)。

Raghavan *et al.* (1995) は、リニアメント抽出のために、衛星画像や DEM (Digital Elevation Model) から作成した陰影図を用い、反射強度の変化量に基づいて線素を追跡する Segment Tracing and Rotation Transformation (START) を開発した。しかし、本手法では反射強度が光の照射方位に依存するため、閾値の設定が照射条件の影響を受けるという課題がある。また、中村ほか (2025) は、DEM から得られる地形特徴量を抽出し、Tensor Voting によって線構造の強度を算出した後、ハフ変換により統合することでリニアメントの抽出を試みた。しかし、この手法には、地形特徴量の算出過程で地形発達の方位情報が失われるという課題がある。本研究では、DEM を用いて、地形発達の方位情報を保持したまま谷地形および山麓地形を抽出し、Tensor Voting, ハフ変換, 主成分分析を統合することで、構造的連続性を客観的に評価するリニアメント抽出手法を開発した。

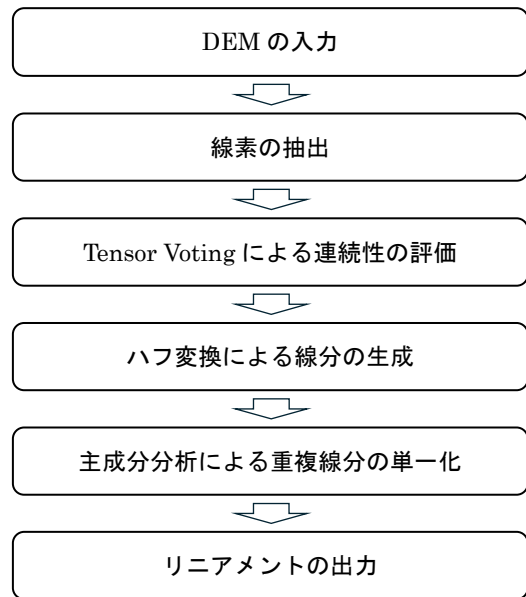
2. 手法

リニアメントとして判読される地形特徴は、主に谷、山麓、傾斜変換部、鞍部の4種類に分類される(三箇・荒川, 2005)。本研究では、とくに広域的な連続性が顕著に現れやすい谷地形および山麓地形を対象として抽出を行った。リニアメントを構成する谷地形は、山間部において谷が直線状に連続する地形であり、山麓地形は山地と平野の境界が直線状に連続する地形である。これらは地下の断層や地質構造の影響を受けやすく、地質構造解析において重要な指標となる。

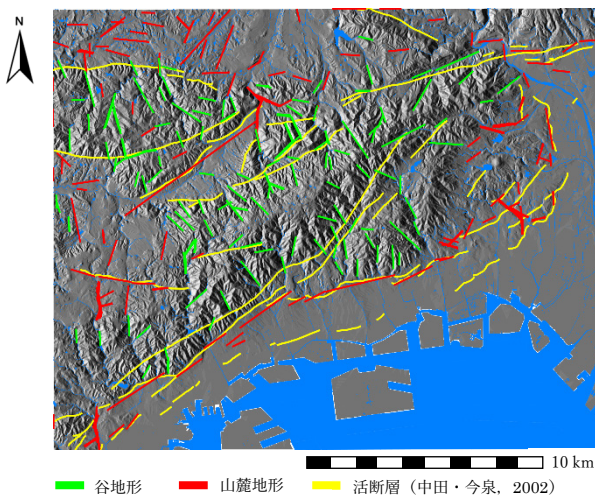
本研究では、地形分類手法である Geomorphon (Jasiewicz and Stepinski, 2013) に基づいて、谷地形および山麓地形の線素を抽出した。しかし、Geomorphon では、線対称・点対称の地形や、回転によって同じ形状となる地形が一つの

カテゴリとして分類されるため、地形発達の方位情報が保持されないという課題がある。また、そこで本研究では、谷地形と山麓地形に対応する地形パターンを独自に定義し、それらの地形が発達する方向を区別して線素を抽出した。これにより、地形発達の方向情報を保持した線素を抽出できる。

抽出した線素に対して Tensor Voting を適用し、線構造の連続性を幾何学的に評価した。Tensor Voting は、画像や点群データ中に存在する線構造の連続性を近傍点間の幾何学的関係に基づいて推定する手法であり、ノイズを含むデータから連続した構造を抽出する目的で用いられる。その後、ハフ変換を用いて線素を連結し、線分を生成した。さらに、重複する線分群については主成分分析を適用し、単一の線分へと統合した。処理の流れを第1図に示す。



第1図 リニアメント抽出までの流れ。



第2図 本手法によるリニアメントの抽出結果.

本研究では、DEM からリニアメントを自動抽出するために、既存の Python ライブラリを組み合わせるプログラムを開発した。解析環境にはクラウドベースの計算プラットフォームである Google Colab (Python3.12) を用いた。地理空間データの入出力および座標管理には Rasterio、画像処理および幾何学的特徴の抽出には OpenCV、統計解析の実装には Scikit-learn を用いた。これらのライブラリを用いることで、データの読み込みからリニアメントの出力までを一貫して実行可能な処理環境を構築した。

3. リニアメントの抽出

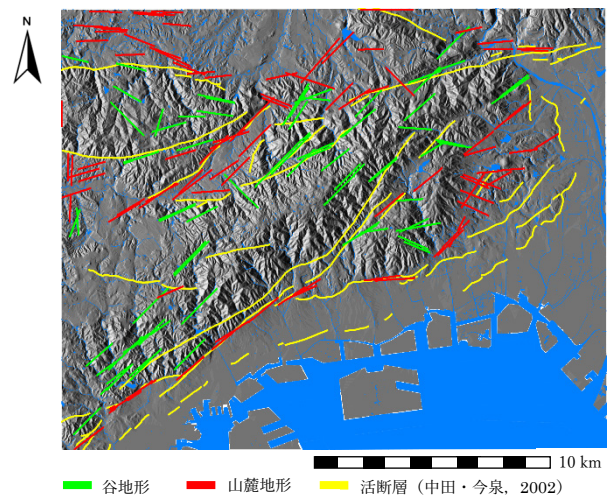
兵庫県南部の六甲山およびその周辺地域を対象として、基盤地図情報（数値標高モデル）10 m メッシュからリニアメントを抽出した。本地域では、六甲-淡路構造線に伴う北東-南西方向の活断層が卓越している。また、南北方向に明瞭な谷地形が発達しており、本手法によるリニアメント抽出結果の検証に適している。

解析の前に、DEM に含まれる微細な凹凸地形やノイズを除去することを目的とした前処理を行った。具体的には、11×11 格子のウィンドウサイズのガウシアンフィルタを用いて、標高値に対して畳み込み演算を適用した。この平滑化処理により、解析に不要な微地形由来のノイズを低減し、広域的な線状構造の連続性を捉えやすくした。

リニアメント抽出までの各処理では、複数のパラメータを設定する必要がある。線素の抽出では、地形パターンを探索する範囲を決定するために探索半径を設定する。また、平坦面と傾斜面を区分するために、傾斜角度の閾値を設定する。Tensor Voting による連続性評価では、線構造の連続性を判定するために線構造強度の閾値を設定する。さらに、ハフ変換による線分の生成では、極端に短い線分を除外するために最小線分長を設定する。これらのパラメータの設定は、抽出されるリニアメントの形状や連続性に大きく影響するため、適切な値の選定が重要である。

抽出結果の一例を第2図に示す。抽出されたリニアメントを中田・今泉 (2002) による活断層と比較したところ、諏訪山断層をはじめとする既知の断層位置と概ね一致することが確認された。また、山地内に発達する線状の谷地形についても、連続性を持ったリニアメントとして抽出された。

第3図に中村ほか (2025) による抽出結果を示す。本研究



第3図 中村ほか (2025) によるリニアメントの抽出結果.

の結果と比較すると、本手法では視認可能な谷地形がより明瞭かつ連続的に抽出されている。これは、地形の方位情報を保持したことで、同一の方向情報をもつ線素が連続的に連結されたためであると考えられる。

4. おわりに

本研究では、Geomorphon に基づき、地形発達の方向情報を保持した状態で線素を抽出する手法を構築した。さらに、Tensor Voting、ハフ変換、主成分分析を統合することで、方位情報を保持した線素からリニアメントを抽出する手法を開発した。本手法の特徴は、地形特徴の方位情報を保持したまま線状構造を抽出できることである。既知の活断層と比較した結果、抽出結果との間に一定の対応関係が確認された。活断層調査や地質構造解析の自動化・客観化に寄与するものと考えられる。

一方で、各処理におけるパラメータの設定には、依然として主観的な判断が含まれている。とくに、各処理における閾値の設定は抽出結果に大きく影響するため、客観的な最適化手法の導入が必要である。今後の課題としては、機械学習を用いたパラメータの自動最適化や、異なる地形条件への適用性の検証が挙げられる。

文 献

- Gill, A. (1976) *Applied algebra for the computer sciences*. Prentice-Hall, Inc., 524p.
- 原子力土木委員会地盤部会・地質・地盤の調査・試験法標準化分科会 (1985) 原子力発電所地質・地盤の調査・試験法。土木学会論文集, vol.358, no.3-3, pp.11-26.
- 中田高・今泉俊文 (2002) 活断層デジタルマップ。東京大学出版会, 60p.
- 中村公亮・根本達也・ベンカテッシュ ラガワン (2025) Tensor Voting を用いた DEM に基づく地形特徴からのリニアメントの自動抽出。情報地質講演要旨集, pp.65-66.
- Raghavan, V., Masumoto, S., Koike, K. and Nagano, S. (1995) Automatic lineament extraction from digital images using a segment tracing and rotation transformation approach. *Computers & Geosciences*, vol.21, no.4, pp.555-591.
- 三箇智二・荒川泰 (2005) 地形特徴によるリニアメント認識。情報地質, vol.16, no.2, pp.128-131.