

数値標高モデルを用いた特徴点抽出方法の検討

善積竜希・五島洋行・島川陽一・三上喜貴

Detection of Critical Points using Digital Elevation Model

Tatsuki YOSHIZUMI, Hiroyuki GOTO, Yoichi SHIMAKAWA and Yoshiki MIKAMI

Abstract: In this paper, we propose a method for detecting critical points on an interpolated terrain surface using digital elevation data. An effective method for detecting critical points on terrain surface is to construct an interpolated terrain surface model and search local minimums by the steepest descent or Newton method. However, in many cases, these surfaces would have a great deal of local minimums. Hence, we develop two filtering methods to extract essential points. The result of a numerical experiment indicates efficiency of the proposed method.

Keywords: 特徴点抽出 (critical points extraction), 地形分析 (terrain analysis), 数値標高地図 (digital elevation map)

1. はじめに

本研究では、水害発生時の被害予測への応用を念頭におき、地表面分析の一手法を提案する。近年、地球温暖化の影響により、局所的集中豪雨がしばしば日本中で発生している。この種の雨は、急激に大量の雨を降らせ、大きな災害を引き起こすことがある。しかし、前もって被害予測を行うことができれば、それらの雨による被害を減らすことができる。現在、日本においては、各地方自治体によってハザードマップが作成されているが、予算の制約によりハザードマップが作成されてない地域も存在する。また、ハザードマップの精度が必ずしも高いわけではなく、これも問題の1つである。例えば、辻本(2006)によると、2004年に新潟県三条市で発生した豪雨災害では、被害

予測に基づいて設置された避難所の多くが水没した。したがって、ハザードマップを用いた被害予測には、さらなる進歩が必要である。

そこで本研究では、滞水点になりえる地表面上の極小点を効率的に抽出する手法について検討する。なお、本研究では、抽出された極小点を特徴点と定義する。提案法は、主に以下の三つの項目からなる。

- 格子点上で与えられた標高値から任意の点における標高を求める補間曲面の生成
- 地表面上の極小点探索
- フィルタリングによる特徴点抽出

実験用データとして、国土地理院によって提供されている 50m×50m グリッドの数値標高地図を利用する。

2. 双スプライン補間

双スプラインは、二次元データの補間に用いられるスプライン関数であり、滑らかな曲面を生成することが可能である。

善積竜希 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1

長岡技術科学大学

Phone: 0258-46-6000

E-mail: s093372@stn.nagaokaut.ac.jp

$(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)$ の 4 点で表される矩形領域における双スプライン関数は、以下のように表現される。

$$\begin{aligned} z = f(x, y) &= \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} x^i y^j \\ &= a_{00} + a_{10}x + a_{20}x^2 + a_{30}x^3 \\ &\quad + a_{01}y + a_{11}xy + a_{21}x^2y + a_{31}x^3y \\ &\quad + a_{02}y^2 + a_{12}xy^2 + a_{22}x^2y^2 + a_{32}x^3y^2 \\ &\quad + a_{03}y^3 + a_{13}xy^3 + a_{23}x^2y^3 + a_{33}x^3y^3 \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $a_{00}, a_{01}, a_{10}, \dots, a_{33}$ は決定すべき係数である。

これらすべての係数を決定するためには、16 個の方程式が必要である。領域の四隅の座標において、 z の値が既知であることから、以下の四つの式が導かれる。

$$\begin{aligned} f(x_1, y_1) &= a_{00} \\ f(x_2, y_2) &= a_{00} + a_{10} + a_{20} + a_{30} \\ f(x_3, y_3) &= a_{00} + a_{01} + a_{02} + a_{03} \\ f(x_4, y_4) &= \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} \end{aligned} \quad (2)$$

残り 12 個の式は、 f_x, f_y, f_{xy} がメッシュ境界面上において連続であると仮定することで得られる。

$$\begin{aligned} f_x(x_1, y_1) &= a_{10} \\ f_x(x_2, y_2) &= a_{10} + 2a_{20} + 3a_{30} \\ f_x(x_3, y_3) &= a_{10} + a_{11} + a_{12} + a_{13} \\ f_x(x_4, y_4) &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=0}^3 i a_{ij} \\ f_y(x_1, y_1) &= a_{01} \\ f_y(x_2, y_2) &= a_{01} + a_{11} + a_{21} + a_{31} \\ f_y(x_3, y_3) &= a_{01} + 2a_{02} + 3a_{03} \\ f_y(x_4, y_4) &= \sum_{i=0}^3 \sum_{j=1}^3 j a_{ij} \\ f_{xy}(x_1, y_1) &= a_{11} \\ f_{xy}(x_2, y_2) &= a_{11} + 2a_{21} + 3a_{31} \\ f_{xy}(x_3, y_3) &= a_{11} + 2a_{12} + 3a_{13} \\ f_{xy}(x_4, y_4) &= \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 i j a_{ij} \end{aligned} \quad (3)$$

これら 16 個の連立方程式を解くことで、すべての係数を定めることができるため、式(1)によって領域内の任意の点における z の補間値が計算できる。

データセット $(x_i, y_j, z_{ij}), i = 1, 2, \dots, m; j =$

$1, 2, \dots, n$ に対する補間を行う場合は、以下の手順に従う。

- $y = y_j$ と固定し、データ点 $(x_i, z_{ij}), i = 1, 2, \dots, m$ を用いて、3 次スプラインで補間を行う。得られた 3 次スプラインを用いて f_x の値を計算する。これを $j = 1, 2, \dots, n$ について行う。
- $x = x_i$ と固定し、データ点 $(y_j, z_{ij}), j = 1, 2, \dots, n$ を用いて 3 次スプライン補間を行い、その後 f_y の値を計算する。これを $i = 1, 2, \dots, m$ について行う。
- 得られた f_x の値を用いて y 方向に対するスプライン補間を行う。得られた 3 次スプラインを用いることで f_{xy} の値を計算する。
- すべての単位矩形領域に対して、(1)から(3)の 16 個からなる方程式を解くことで係数を計算する。

3. 提案手法

3.1 SAA/WAA フィルタ

時系列解析に用いられる STA/LTA 法 (Ismael et al, 2011) を二次元に拡張した、SAA/WAA フィルタについて説明する。

準備として、SAA (小領域平均) と WAA (大領域平均) という二つの用語を定義する。SAA は、ある小さい領域における単位面積あたりの極小点の数である。また WAA は、より広い任意の領域における単位面積あたりの極小点の数である。小領域と大領域は、どちらも長方形もしくは正方形とし、SAA と WAA を以下のように表す。

$$SAA = \frac{n_{saa}}{x_{saa} \times y_{saa}} \quad (4)$$

$$WAA = \frac{n_{waa}}{x_{waa} \times y_{waa}}$$

ここで、 n_{saa} と n_{waa} は停留点の数であり、 $x_{saa}, x_{waa}, y_{saa}, y_{waa}$ は各領域の x 方向と y 方向の長さを表す。

SAA と WAA の比を用いたフィルタリングにおいては、特徴点抽出を行う領域を小領域とし、その小領域における SAA の値を計算する。次に、小領域を内部に含むように任意の大きさの大領域を設定し、WAA 値を計算する。その後 SAA/WAA 値を計算する。その値が 1 より大きいある閾値を超える場合、小領域にはその近傍と比較して停留点が多く集まっているということだから、その小領域をクリティカルであるみなし、その領域内の停留点を抽出する。このとき、各パラメータの値を適切に決定することが重要である。

3.2 Hessian フィルタ

停留点上の曲率の大きさによるフィルタリング手法を導入する。本研究では、このフィルタを Hessian フィルタと定義する。この手法は、画像処理分野においてしばしば用いられる、コーナー検出法（奥富ほか、2004）を応用したものである。

この手法では、停留点におけるヘッセ行列を計算し、その固有値 λ_1, λ_2 を求める。 λ_1, λ_2 が共に、ある正の閾値 c 以上であれば、その停留点は極小であり、近傍は凹地であるとみなす。上記の条件を満たさない場合、鞍点または極大点であるとみなして除外する。

3.3 特徴点抽出プロセス

まず双スプラインを用いて、特徴点抽出を行う領域の補間曲面を生成する。次に最急降下法やニュートン法を用いて補間曲面上の極小点を探査する。通常、多くの点が探査されるため、以下の手順でフィルタリングを施す。

- ① 特に多くの極小点が探査された場合のみ、 SAA/WAA フィルタを用いてフィルタリングを行う。
- ② Hessian フィルタを用いて、特徴点を抽出する。

4. 数値実験

本章では、数値実験によって手法の有用性を確

かめる。

前章で提案した特徴点抽出プロセスに基づいて、新潟県長岡市付近の特徴点抽出を試みる。使用した数値標高地図データの大きさは、 200×200 グリッド (= 10km × 10km) である。プログラムは GNU Octave version 3.6.1 で実装した。オリジナルの標高データをプロットしたものを図 1 に示す。また、補間曲面をプロットしたものを図 2 に示す。ここでは、補間の倍率は 3 である。極小点の探索には、Octave の最適化ソルバー `sqp` を用いる。探索初期点については、250m (= 5 グリッド) 間隔で与える。その結果、実験対象エリアから 231 個の極小点が探査された。すべての点の緯度と経度を算出して、地勢図に重ね合わせたものを図 3 に示す。

次にフィルタリングによる特徴点抽出を行う。今回のケースでは、あまり多くの極小点が検出されなかつたため、Hessian フィルタのみを適用する。閾値を $c = 0.1$ と設定した場合、41 個の特徴点が抽出された。特徴点を地勢図に重ね合わせたものを図 4 に示す。

図 3 と 4 より、フィルタリングによって市街地や田園地帯の極小点が取り除かれていると同時に、山間部の凹地であると考えられる場所が特徴点として抽出されている。

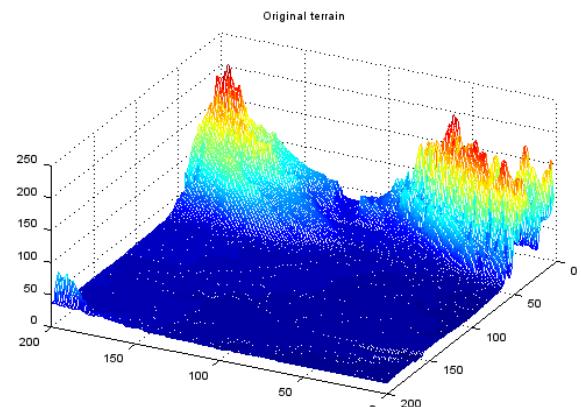


図-1 元の地表面

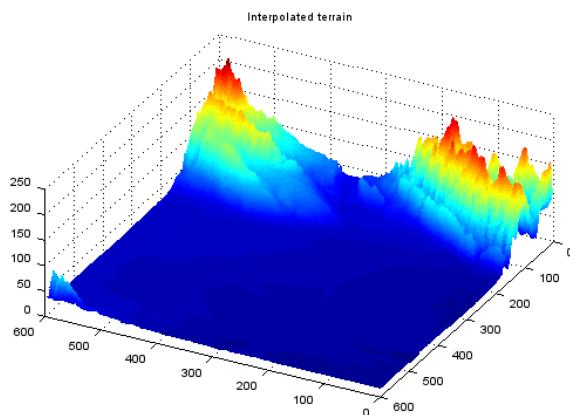


図-2 補間曲面（補間倍率3）

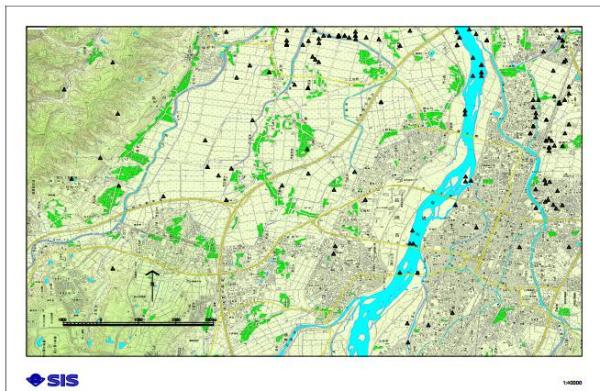


図-3 停留点探索によって検出された点

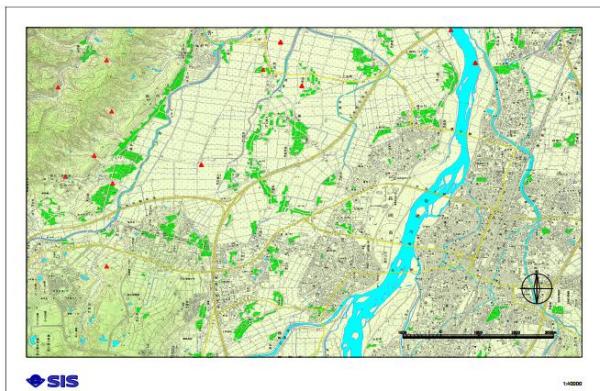


図-4 フィルタリングによって抽出された特徴点

5. おわりに

本研究では、数値標高データを用いて地表面上の特徴点を抽出する手法について検討した。極小点のフィルタリング手法として、STA/LTA 法を二

次元系に拡張した SAA/WAA フィルタと曲率の大きさを利用した Hessian フィルタを導入した。数値実験の結果、山間部の凹地であると考えられる場所が特徴点として抽出されることを確認した。今後の課題として、各フィルタリングにおける適切なパラメータ設定方法の詳細な検討が挙げられる。

参考文献

- Ismael, V.-R., Dave, B. and Mauricio, S., 2011. *Improvements in microseismic data processing using sparsity and non-linear inversion constraints.* CSEG Recorder, (2011), 24-28.
- Zhilin, L., Qing, Z. and Christopher, G., 2004. *Digital Terrain Modeling: Principles and methodology.* NY: CRC Press.
- 辻本哲郎 (2006) : 「豪雨・洪水災害の減災に向けて：ソフト対策とハード整備の一体化」，技報堂出版。
- 奥富正敏ほか (2004) : 「デジタル画像処理」，財団法人画像情報教育振興協会。