

数値標高モデルデータを用いた地上及び地下開度計算高精度化手法の開発
 Development of a method for calculating overground-openness and
 underground-openness with high precision based on the digital elevation model data

安藤智大[†], 坂本浩顕[†], 佐村俊和[†], 多田村克己[†]
 Tomohiro Andoh, Hiroaki Sakamoto, Toshikazu Samura, Katsumi Tadamura

1. はじめに

我が国では、山地のふもとを開発した宅地が少なくなく、最近頻発する豪雨による土砂災害で甚大な被害が発生している。自然災害による人的被害を低減するためには、その自然災害発生正しい予測とそれに基づく確かな避難情報の発信が重要である。ここで、降雨による土壌含水率および河川への流入量を推定するためには、降雨後の雨水の振る舞いを推測する必要がある。このためには、局所的な地面の傾斜情報だけでなく、尾根や谷という地形特徴も必要となる。これに対して、数値標高モデル(DEM)データを利用して地上および地下開度を計算し、それらを組み合わせる尾根谷度を求めてグレースケールで可視化する手法[1]が提案された。また、尾根谷度と斜度を組み合わせた赤色立体地図を生成する手法[2]も提案されている。これらの手法はいずれも地上及び地下開度を基本とするものであるが、計算対象とするDEMメッシュの要素(セル)を中心とする8方位の標高のサンプリングによりこの開度を求めており、最近のDEMメッシュの精度向上に対応できていない。具体的には、国土地理院発行の5mメッシュDEMデータ[3]を用い、それぞれのサンプリング方向に100mの範囲を解析領域として設定した場合、全体の約10%程度のセルしか開度計算に利用していない。そこで本稿では、この問題を解決するための、CG技法の利用によりDEM精度を反映した開度計算を実現可能とする手法を提案する。

2. 基本的な考え方

提案手法では、空間は地中と空中のいずれかであるとし、図1に示すように開度計算点Pにおける鉛直上向き方向 V を法線ベクトルとする水平面を置き、水平面を底面にした天頂側の半球 S_z と天底側の半球 S_n を用いて、点Pから距離Lの範囲における地上開度および地下開度を以下のように定義する。

地上開度：点Pから見た S_z における距離Lの範囲内の空中(地中でない部分)の占める比率

地下開度：点Pから見た S_n における距離Lの範囲内の地中(空中でない部分)の占める比率

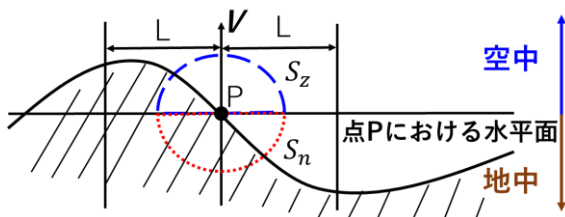


図1 地上開度および地下開度の定義

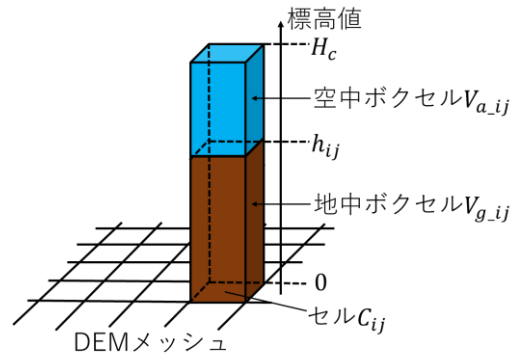


図2 DEMメッシュセルと開度計算に利用するボクセルとの関係

そして、具体的な開度計算は、空間を図2に示すDEMメッシュを基本とする地中ボクセルと空中ボクセルで分割し、コンピュータグラフィックス(CG)分野でラジオシティ計算を行う際に用いられるヘミキューブ法[4]を用いて、 S_z と S_n それぞれにおけるボクセルの占有状況を求める。

提案手法では、開度計算点PをDEMセルの中心に置く。

3. 開度計算

前章で述べた考え方にに基づき提案手法では、開度計算を以下の手順により実現する。

- (1) DEMメッシュデータに基づく地中および空中ボクセルの生成
- (2) 開度計算用ヘミキューブの各面へのボクセル描画
- (3) 開度計算

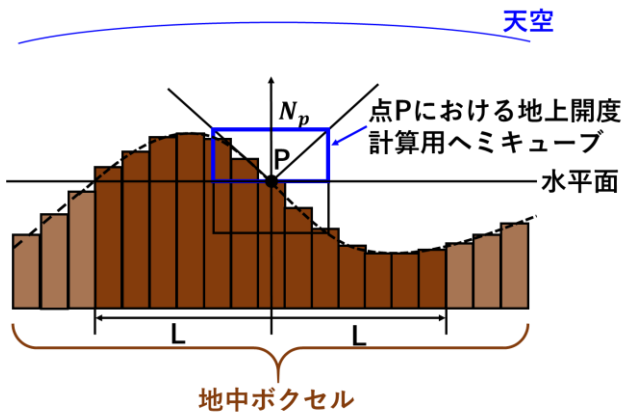
3.1 地中および空中ボクセルの生成

DEMデータから得られる標高情報をもとに、地上開度および地下開度計算に利用するボクセルを作成する。図2の例では、DEMメッシュの要素 (i,j) に対応するセルを C_{ij} とし、その要素の標高値 h_{ij} とする。

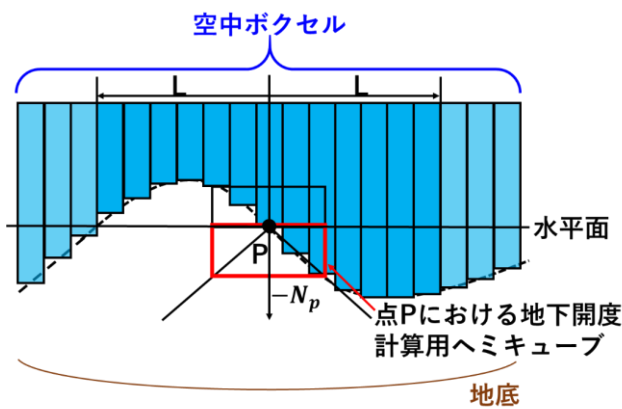
地上開度計算用に用いる地中ボクセル $V_{g,ij}$ の場合、極座標で与えられる C_{ij} の4頂点において、地球中心からの距離を標高0メートルに対応する距離にした点をボクセル底面の頂点とし、セル C_{ij} の中心点の法線ベクトル N_{ij} 方向にそのセルの標高分だけ底面の頂点をそれぞれ移動した点をボクセル上面の頂点とする。

地下開度計算用に用いる空中ボクセル $V_{a,ij}$ は、地中ボクセルの上面の4頂点を同じく上面の4頂点とし、上面の4頂点をベクトル N_{ij} 方向に $(H_c - h_{ij})$ だけそれぞれ移動した点をボクセルの底面の頂点とする。ここで H_c は、計算対象領域に含まれるDEM標高の最大値よりも大きな値であり、本稿では4000mとする。

[†] 山口大学 Yamaguchi University



(a) 地上開度計算に関連する図形



(b) 地下開度計算に関連する図形

図3 ヘミキューブ法を用いた開度計算

3.2 開度計算用ヘミキューブ各面へのボクセル描画

図3は、提案手法における地上開度および地下開度計算に関連する開度計算用ヘミキューブと描画するボクセルとの関係を示したものである。図3(a)に示すように、地上開度計算点Pにおける地上開度計算用ヘミキューブの上面の向きは、その点の鉛直天頂方向 N_p とし、底面以外の面をスクリーンとみなして3.1節で生成したボクセルを描画する。上面は全面、側面はすべて水平面よりも上半分を次節で述べる開度計算対象とする。そして、それぞれの面の描画は、まず点Pから無限遠の距離にある天空を背景とし、点Pから標高0mのDEMメッシュ上で距離Lの範囲にある地中ボクセルのみを描画する。同様に、地下開度も図3(b)に示すように点Pから $-N_p$ の方向にヘミキューブの上面を置き、スクリーンには地底を背景として空中ボクセルを描画する。

3.3 開度の計算

開度計算用ヘミキューブの各面に対応させたスクリーンに対して地中もしくは空中ボクセルを描画した結果から開度を計算する。

具体的には、スクリーン中の画素は、ボクセルが描画されている画素か背景の画素かのいずれかである。2章の定義から、このうち背景色を持つ画素数を調べる。

ヘミキューブ構成面（上面および水平面より上（地上開度）もしくは下（地下開度）の側面）すべてに含まれる背景色画素数を求めると、提案手法では、次式により開度を計算する。

$$\text{開度} = \frac{\sum \text{開度計算用ヘミキューブ構成面 (背景色画素)}}{\text{開度計算ヘミキューブ総画素数}}$$

ここで、開度計算ヘミキューブのスクリーンが $M \times M$ 画素の場合、総画素数は $M^2 + 4 \times \frac{1}{2} M^2$ より、 $3M^2$ である。

4. 適用例

提案手法を実装して開度計算を行い、その結果を8bitのグレースケール画像として可視化した。

図4は、国土地理院提供の5mメッシュのDEMデータを使用し、山梨県南アルプス市二兎山付近を計算対象とし、開度計算範囲Lを100mとして開度計算を行った際の、DEMメッシュ番号5338-30-88に対応する領域を抽出して表示したものである。

図4(a)に示す地上開度図では、尾根線が白く谷線は黒くなっている。図4(b)に示す地下開度図では、逆に尾根線が黒く、谷線が白くなっていることが確認できる。このように、2つの開度図を比較すると、尾根と谷の部分は概ね反転した明度になっている。

5. おわりに

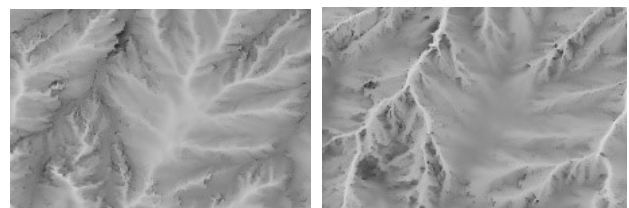
本稿では、CG技法を利用した地上および地下開度の計算手法を提案した。提案手法により、DEMメッシュの高精度化に見合う精度を持つ開度情報を得ることが可能になる。今後の課題として、提案手法により得られた開度に基づき推測した尾根や谷と、3Dプリンタで生成した地形を用いて得られる尾根や谷との比較による評価が挙げられる。

謝辞

本研究はJSPS科研費19K22029の助成を受けた。

参考文献

- [1] 横山 隆三, 白沢 道生, 菊池 祐, 開度による地形特徴の表示, 写真測量とリモートセンシング, 38巻, 4号, pp.26-34, 1999.
- [2] アジア航測, 立体画像作成装置及び立体画像作成プログラム, 特許第4272146号, 2009.
- [3] 国土地理院, 基盤地図情報(数値標高モデル)で提供しているデータについて, <https://fgd.gsi.go.jp/otherdata/spec/DEMgaiyo.pdf>, (2020.6.15アクセス).
- [4] M. F. Cohen, D. P. Greenberg, The Hemi-Cube: A Radio-sity Solution for Complex Environments, Proceedings of SIGGRAPH '85, pp.31-40, 1985.



(a) 地上開度図

(b) 地下開度図

図4 適用例