

(3) LP 計測密度と判別可能な地物のサイズ等の 諸条件に関する基礎的な考察

今西 将文¹・西山 哲²・中村 公一³

¹学生会員 株式会社ウエスコ (〒700-0033 岡山市北区島田本町 2-5-35)

E-mail: m-imanishi@wesco.co.jp

²正会員 岡山大学大学院 環境生命科学研究科 (〒700-8530 岡山市北区津島中 3-1-1)

E-mail: nishiyama.satoshi@okayama-u.ac.jp

³正会員 鳥取大学大学院 工学研究科 (〒680-8550 鳥取市湖山町南 4 丁目 101)

E-mail: nak_x@tottori-u.ac.jp

近年、著しい普及の兆しを見せる LP データを元に、空間フィルタリングの手法による微地形の可視化表現とその成果を現地踏査資料に活用しようとする試みが多く見られる。

本論では、グリッドサイズ 0.5m の上でモデル化される模擬地物の傾斜量とウェーブレット解析によって表現される凹凸度を合成した微地形強調図の感度を確認したところ、凡そ勾配 60° までの単斜面上で、大きさ 1m・比高差 0.3m 程度より大きな地物は比較的判別しやすいことが示された。

また、グラウンドデータの存否をカーネル密度関数で表現することでスケーラブルかつ視認性の高い表現ができ、グリッドデータの実質的な部分解像度の判断と微地形強調図のクオリティーチェックに役立つ。

Key Words: airborne LiDAR, slope gradation map, ground data density, kernel density distribution

1. はじめに

LP データを空間フィルターで可視化すると、微細な地形的特徴を強調することが可能であり（以降、微地形強調図と呼ぶ）、変状地形の抽出などの「面的な把握」に向いている¹⁾²⁾³⁾。一方、道路防災点検を意識したフィールド検証を主体とした既往報告⁴⁾でも、「ピンポイント的な把握」に対して一定の有用性が示されている。

本論は、フィルターの基本性能に関して一般化した理解を深めるため、グリッドサイズ、斜面勾配、対象物のサイズ、突起高さとの関係や、その他、グリッドデータ作成の基となるグラウンドデータの存否についての表現方法に関して、模擬地形を交えて基礎的な考察を行う。

2. グリッドデータによる地表・地物のモデル化

地上型レーザースキャナーによって、地物の形状を型取るように記録する場合とは異なり、航空レーザで計測された LP データはグリッド化された形態で扱われることが多い。図-1 のように、地上の転石を模した場合、単位グリッド以下の転石は、赤波線のようにモデル化さ

れ、転石が成す仰角は式(1a)で表される。また、青波線のように、両端のグリッド同士の比高差で、その中間位置における傾斜量を表現すると式(1b)～(1d)のようになる。

各式はいずれも斜面勾配 θ_{slp} に依存しており、これにより、同じ転石であっても存在する場の勾配によって見掛けの仰角 θ や傾斜量 Grd 変ることが分かる。図-2 に、グリッドサイズが 0.5m の時、転石の突起高さが 0.1～2m の間で変化した場合と、グリッドサイズが 1.0m・突起高さが 1.0m とした場合における、仰角 θ や傾斜量 Grd の違いを示す。

$$\theta_{a-1} = \tan^{-1} \frac{Z_a + \Delta Z - Z_{a-1}}{x_a - (x_a - \Delta x)} = \tan^{-1} \frac{\Delta Z + \Delta x \cdot \tan \theta_{slp}}{\Delta x} \quad (1a)$$

$$\begin{aligned} Grd_{a-1} &= \tan^{-1} \frac{Z_a + \Delta Z - (Z_a - 2\Delta x \cdot \tan \theta_{slp})}{2\Delta x} \\ &= \tan^{-1} \frac{\Delta Z + 2\Delta x \cdot \tan \theta_{slp}}{2\Delta x} \end{aligned} \quad (1b)$$

$$\begin{aligned} Grd_a &= \tan^{-1} \frac{Z_a + \Delta x \cdot \tan \theta_{slp} - (Z_a - \Delta x \cdot \tan \theta_{slp})}{2\Delta x} \\ &= \tan^{-1} (\tan \theta_{slp}) = \theta_{slp} \end{aligned} \quad (1c)$$

$$\begin{aligned} Grd_{a+1} &= \tan^{-1} \frac{Z_a + 2\Delta x \cdot \tan \theta_{slp} - (Z_a + \Delta Z)}{2\Delta x} \\ &= \tan^{-1} \frac{2\Delta x \cdot \tan \theta_{slp} - \Delta Z}{2\Delta x} \end{aligned} \quad (1d)$$

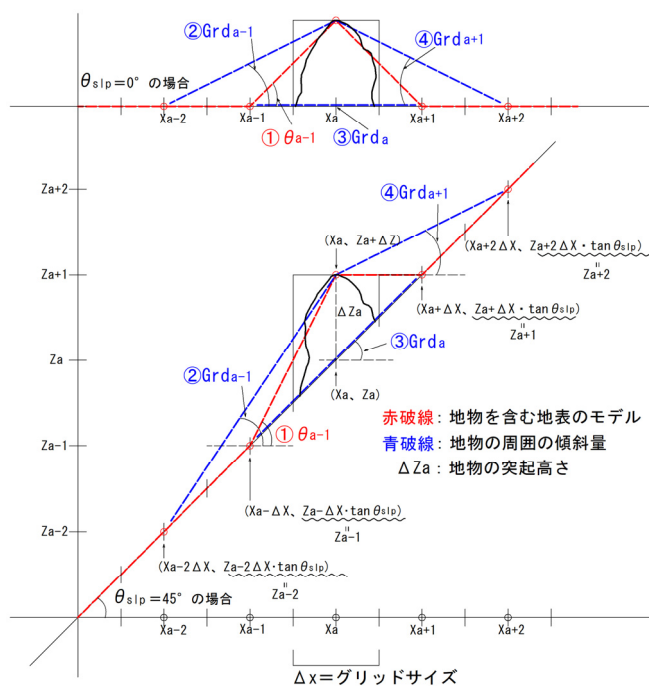


図-1 グリッド上でモデル化される最小単位の地物

図-2 によれば、転石前面の傾斜量②Grd_{a-1}は転石の仰角①θ_{a-1}よりも緩く表現される。突起高さが小さい程、傾斜量②Grd_{a-1}と斜面勾配θ_{slp}との差が無くなるので転石が目立たなくなることが分かる。③傾斜量Grd_aは、転石の突起高さによらずθ_{slp}となることから、転石が存在する斜面の勾配を表すことになる。転石背面の傾斜量④Grd_{a+1}は、突起高さに応じて大きく、斜面勾配が起きてくると一旦、水平に向かって小さくなった後に再び大きくなって斜面勾配θ_{slp}へと近づく。グリッドサイズを2倍にすると、突起高さも2倍となった場合に同等な条件でモデル化される。

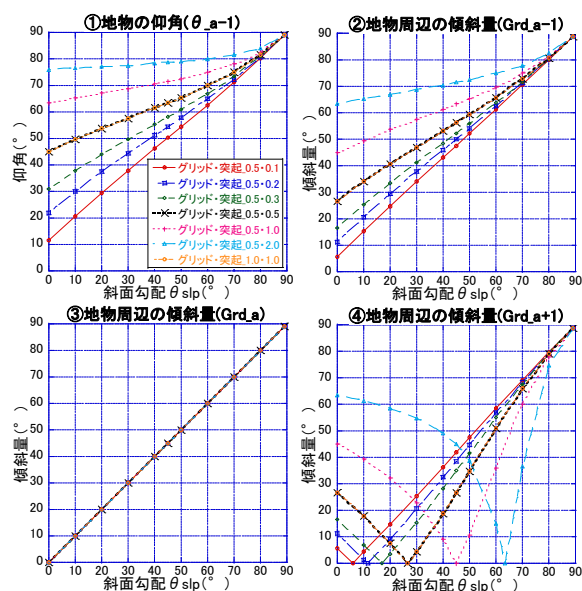


図-2 地物の仰角と周囲の傾斜量（斜面勾配やグリッドサイズや突起高さへ依存する）

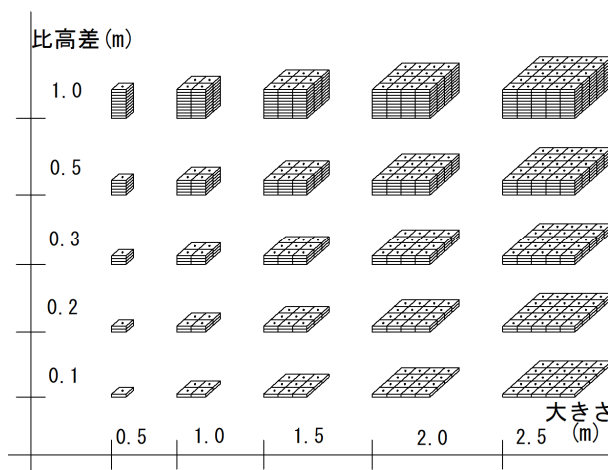


図-3 模擬地物（特定のグリッドに比高差を付与）

3. 空間フィルターによる可視化の効果

3次元グリッドデータを可視化する方法として、様々な種類の空間フィルターが存在する。ここでは、図-3に示すような模擬的な地物を想定し、傾斜量図¹⁾とウェーブレット解析図²⁾を適用して、フィルターの基本性能を確かめる。テストデータは、斜面上に大きさ0.5m～

2.5mの転石を想定し、0.5mグリッドに対して比高差を0.1～1.0mとし、勾配0～89°に応じた標高値をゲタとして加えた。フィルターを適用した結果を図-4に示す。傾斜量図（図-4・上）では、フィルターの特性上、最小1×1グリッドの元データは3×3グリッドの計算結果と

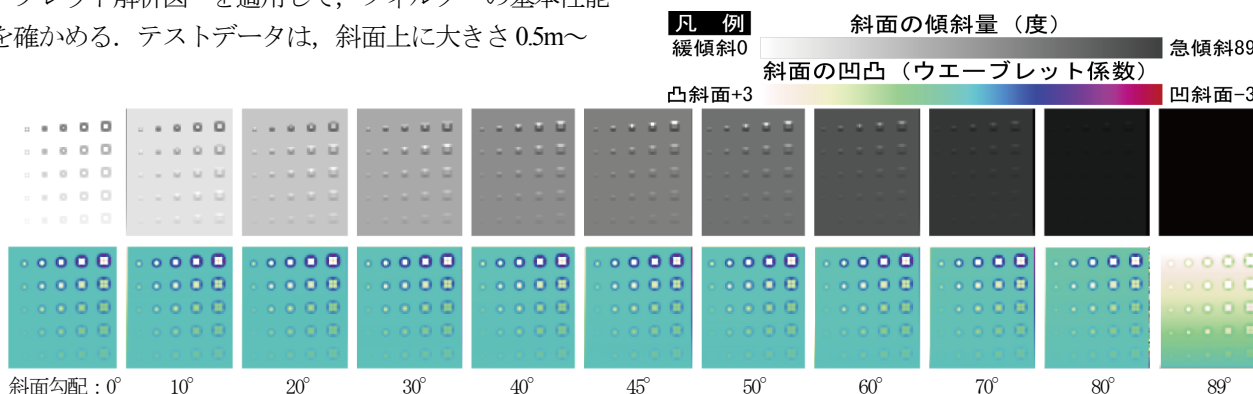


図-4 傾斜量図（上）とウェーブレット解析図（下）

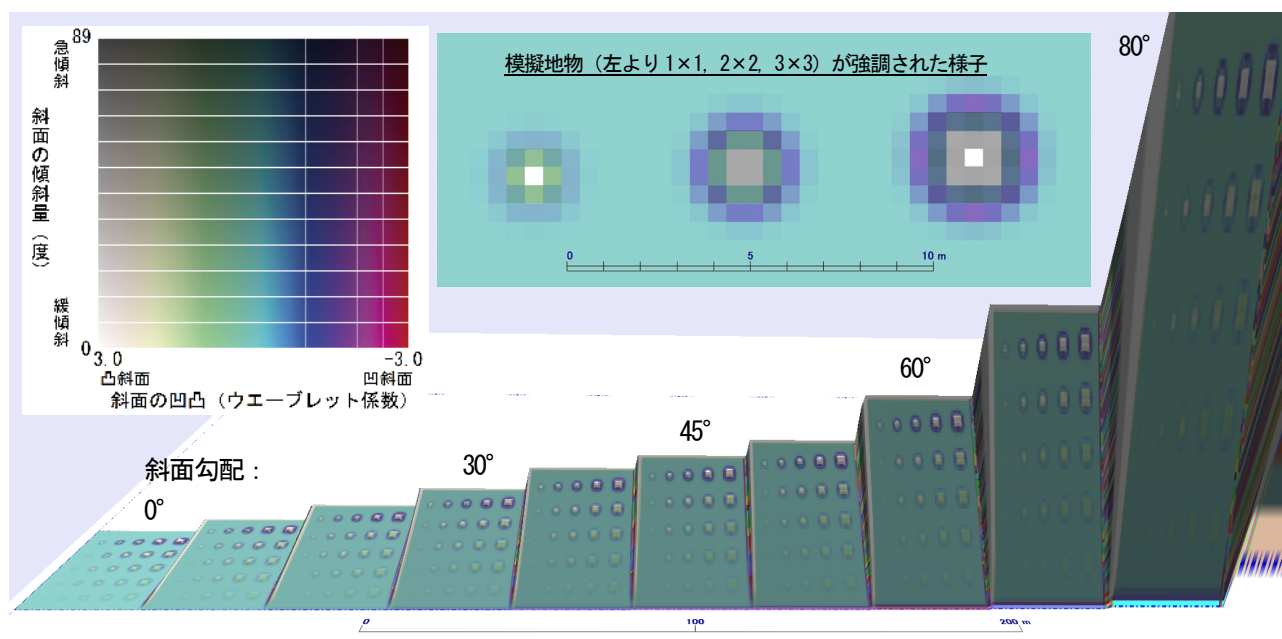


図-5 3D微地形強調図（傾斜量図とウェーブレット解析図の乗算合成図+標高データ）

表-1 模擬地物の微地形強調図上での見掛けサイズ

模擬地物の大きさ					
大きさ(m)	0.5	1	1.5	2	2.5
ピクセルサイズ	1×1	2×2	3×3	4×	5×5
↓					
微地形強調図上で視認される見掛けの大きさ					
大きさ(m)	2.5	3	3.5	4	4.5
ピクセルサイズ	5×5	6×6	7×7	8×8	9×9

なり、前節で述べた特徴が一通り現れている。斜面勾配が 60° 程度になると地物周辺の傾斜量もこれに近くなるので、地物は個別に判別し難くなるのが分かる。

ウェーブレット解析図（図-4・下）では、1×1グリッドの元データは9×9グリッドの計算結果となる。

マザーウェーブレットに用いた上に凸型形状のメキシカンハット関数との相関の強弱が表れるので、地物の突起高が高い場合や、地物の縁端と地表が凹型形状を成す場が逆相関の部分として良く強調されている。また、斜面の勾配変化にも比較的影響を受けにくいことが分かる。

傾斜量図とウェーブレット解析図を乗算合成することでさらに視認性が高まる。見掛け上、模擬地物の元の大きさに対して、縦横に+4ピクセル（0.5mグリッドで2m）分の範囲が強調されて見える。

これに標高データを反映して図-5の通り、3D微地形強調図を作成すると、斜面勾配が 60° 程度までは、大きさが 1m・比高差が 0.3m 程度以上の模擬地物が比較的良く判別できるが、斜面勾配がさらに大きくなると急傾斜を成した斜面そのものと地物を個別に判別し難くなる。

4. グリッドデータの部分解像度の実態と表現法

(1) グラウンドデータの補足度合いの一例

図-6(a)は0.5mグリッドのメッシュデータより作成された微地形強調図の一例である。一見、帯状の谷地形や微細な窪地、荒地状のテクスチャーや尾根谷・急崖など微地形的な要素が詳細に認識される。

LP計測を実施した現場は図-6(b)に示すように植生の繁茂した山地であり、樹冠の隙間を縫って地表に到達した反射記録を選びすぐることで図-6(c)に示すようなグラウンドデータを得る。これらは粗密でランダムに分布することから、グラウンドデータを頂点とするTINを発生させて内挿補間した後、任意のメッシュ間隔に切り分けてグリッドデータを生成する図-6(d)。ただし、データ取得点間隔はLP計測前に予め、生成しようとするメッシュ間隔四方に1点以上になるよう設計されているものの、LP測量から一連の作業過程を経て出来上がったデータは、図-6(e)に例示するように全てのメッシュがグラウンドデータを内包しているわけではない。

このような観点から改めて図-6(a)の微地形強調図を眺めると、図-6(c)や図-6(e)の上でグラウンドデータの捕捉率が低い箇所は現地地形の実態を捉えきれておらず、不自然な幾何形状のテクスチャーが目立っている。

(2) 捕捉密度を分かり易く表現する工夫

グラウンドデータの捕捉状況を可視化するには、広域な領域に数多く分布する微細な点群を表現する必要がある。視認性を確保しつつデバイス上で軽快に表示できる工夫が望まれる。単純な方法は、図-6(c)や図-6(e)のように、対象点のシンボル表示やTINによる結線、該当メッ

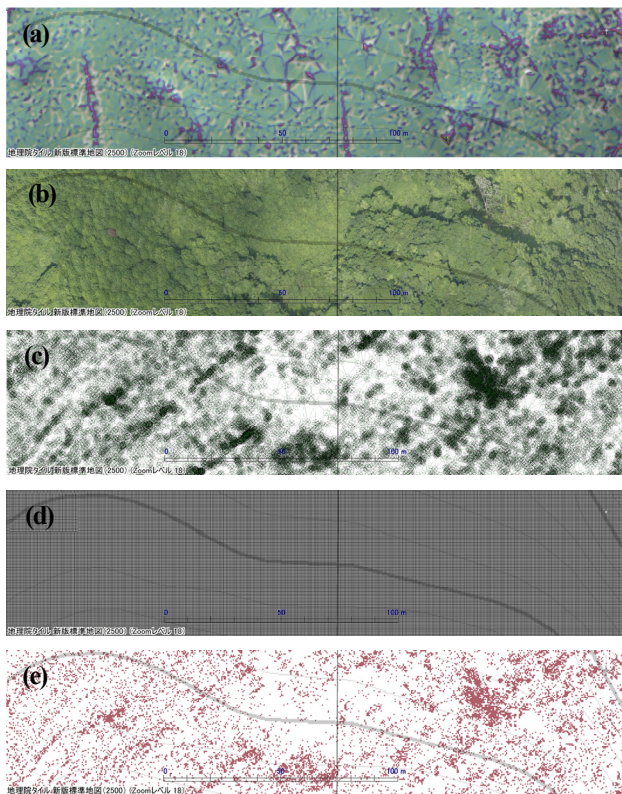


図-6 LP 計測の一例 (a)微地形強調図, (b)オルソ写真, (c)グラウンドデータ位置とそれを頂点とするTIN, (d)TINより内挿補間された0.5mメッシュデータ, (e)グラウンドデータを内包するメッシュ)

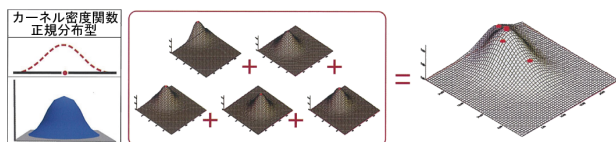


図-7 カーネル密度関数を適用した空間的広がり表現⁶⁾

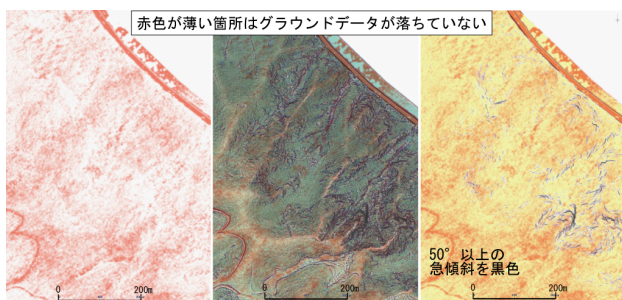


図-8 左より、グラウンド包含メッシュのカーネル密度分布、微地形強調図にオーバーレイ、傾斜量図にオーバーレイ

メッシュの着色があるが、縮尺レベルによっては難がある。

ここに、点データの空間的な集まりを可視化する手法の一つであるカーネル密度関数を適用する方法を提案する。図-7に示す通り、任意の点を中心に正規分布型の空間的な広がりを生じさせ、バンド幅で規定した範囲内のすべての点の空間的広がりを足し合わせた分布図を作

成することで⁶⁾、図-8のような視認性の高いスケラブルなビットマップ画像が生成できる。これを、微地形強調図や傾斜量図などにオーバーレイすれば、同時かつ容易に元データの分布密度も判断できる。

5. まとめ

0.5mメッシュの起伏の無い単斜面上では大きさ0.5～2.5mの模擬地物は、微地形強調図上で縦横に+2m(4ピクセル分)の範囲が見掛け上強調され、大きさ1m・比高差0.3m程度より大きいと比較的判別しやすいが、斜面勾配が60°程度より大きくなると、急崖と区別し難い。

自然斜面上の転石そのものを逐一探索するには、転石サイズ、グラウンドの捕捉漏れ、背後の地形形状との区別といった要因から難しいが、それを生み出す場となる急崖箇所の抽出には向いている³⁾⁴⁾。

LPデータは、グリッド形式で提供されることが多く、同じ図幅の中でも実質的な解像度に部分的な差があため、元となるグラウンドデータの存否を、視認性の良いかたちで付加することや、フィルター性能の例示機能をGPS付モバイル機器等に同時に実装できれば、防災点検や落石調査の際に意識的な確認を要する箇所の重み付けやスクリーニングに役立ち、見落しの低減が期待できる。

より身近となりつつあるLPデータだが、効果的に活用するためには、計測密度を高めるのみによらず、実態がどれだけ捕捉できているか、どんな条件で、何が、どのように、どこまで見えるのか、を分かり易く明示することが重要である。

参考文献

- 1) 神谷泉, 田中耕平, 長谷川裕之, 黒木貴一, 早田靖博, 小田切聡子, 政春尋志: 傾斜量図の作成とその応用, 情報地質 Vol.10 No.2, pp.76-79, 1999.
- 2) 独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム: 土木研究所資料, 地すべり地における航空レーザ測量データ解析マニュアル(案), pp.11-12, 2009.
- 3) 宮下征士, 今西将文, 宮田真考, 西山哲: レーザデータを使用した微地形強調図による落石発生源抽出の検証, 土木学会論文集 F3 (土木情報学) Vol.73 No.2, pp. I_92-I_108, 2017.
- 4) 崎田晃基, 西山哲, 宮下征士, 吉川慶: 落石対策事業効率化のための微地形強調図による落石発生源抽出の研究, 土木学会中国支部第70回研究発表会予稿集 (平成30年度), pp.519-522, 2018.
- 5) 国土交通省国土地理院: 国土地理院技術資料A 1-No.310, 航空レーザ測量による数値標高モデル (DEM) 作成マニュアル (案), p.9, 2009.
- 6) ICPSR: CrimeStat III, <https://www.icpsr.umich.edu/CrimeStat/files/CrimeStatChapter.8.pdf>, (accessed 2019.5.1).