

## 小型無人航空機 (UAV) を用いた単木抽出の試み

国土防災技術株式会社 ○ 藤原美波  
戎 剛史  
山田知瑛里

### 論文要旨

近年、建設業界においては、i-Construction や CIM といった取り組みをはじめとして、三次元データの利活用が進んでいる。その中で、小型無人航空機 (UAV : Unmanned Arial Vehicle) による空中写真測量が注目されている。森林調査では、一般的に、樹木の本数は毎木調査によって数えられるが、本研究では、UAV で取得した DSM を用いて、単木の自動抽出の妥当性についての的中率、カバー率を指標として検討した。複数のグリッドサイズとウィンドウサイズを用いた場合、グリッドサイズとウィンドウサイズの積が 30~50cm の場合を最適な条件として概ね精度よく単木を抽出することができた。

キーワード : UAV, SfM, MVS, 三次元データ, 森林管理

### まえがき

近年、建設業界においては、i-Construction や CIM といった取り組みをはじめとして、三次元データの利活用が進んでいる。その中で、小型無人航空機 (UAV : Unmanned Arial Vehicle) による空中写真測量が注目されている。

一方、森林分野においても i-Construction や CIM と同様に三次元データを利用する事例が多くあり、労力の軽減や生産性の向上が期待されている。森林管理における三次元データの活用に関する研究は、航空レーザー測量データを中心に以前から行われており、樹高や樹木本数の推定に有効であることが示されている<sup>1)</sup>。

航空レーザー測量データの解像度は 50cm~1m 程度であることが多いが、UAV による空中写真測量では、さらに解像度の高い数 cm 程度の DSM (Digital Surface Model) を取得することができる。よって、航空レーザー測量データと同様に、樹高や樹木本数の推定に適用できると考え、UAV で取得した DSM から樹頂点を抽出し、樹木の本数を算出することを試みた。

本研究では、UAV で取得した DSM の解析による樹木本数の自動抽出手法の妥当性についての検証結果を報告する。

### 1. 検討対象地

検討対象地は、中部地方にある山林で、約 10ha のヒノキを主体とする森林である (図 1)。樹高約 20m, 平均勾配は 23.3 度, 林齢は 52~53 年, 林分密度は約 800 本/ha である。平成 28 年 8 月に皆伐されており、UAV による空撮は、伐採前の平成 28 年 7 月と伐採後の 11 月に実施した。

### 2. 検討方法

樹木本数の自動抽出は、UAV 空撮により取得した DSM を解析することにより樹頂点を抽出した。また、皆伐後の切り株の数を正解とした上で、指標を用いて手法の妥当性を検証した。

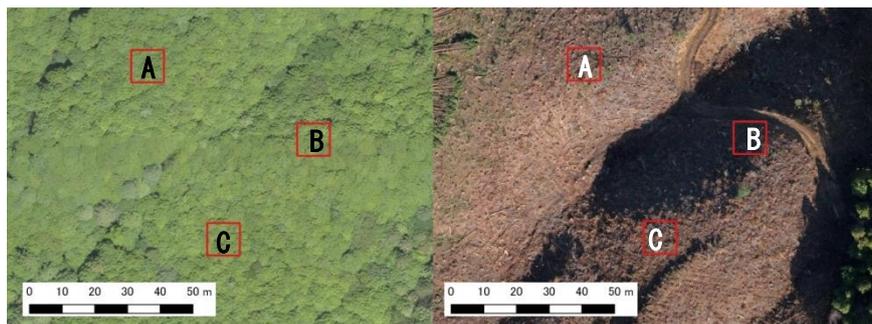


図 1 検討対象地 (左 : 伐採前, 右 : 伐採後)

### 1) UAVによる空撮

空撮には(株)アミューズワンセルフ製 $\alpha$ UAVを使用した(図2)。また,UAVに搭載のカメラは有効画素数1600万画素のPanasonic製DMC-GX7であり,焦点距離14mmのレンズを装着している。

三次元モデルの作成にはAgisoft社製PhotoScanを使用した。PhotoScanでの画像処理では,SfM(Structure from Motion)により写真の撮影位置を推定し,特徴点を抽出した。さらに,特徴点をもとにMVS(Multi View Stereo)によって三次元情報を持った高密度点群を作成した。DSMは,PhotoScan上で高密度点群を処理することで作成した。



図2  $\alpha$ UAV概観

### 2) 単木の抽出方法

樹頂点の抽出には地上開度を用いた(図3)。地上開度は着目する標本地点から距離 $L$ の範囲内で見える空の広さを角度で表しており<sup>2)</sup>,0度~180度の値をとる。樹木の頂点は周囲から高く突き出す凸形状であり,上空を見たとき周りをさえぎるものは何もないため,地上開度180度となる地点を樹頂点として抽出した(図4)。

樹木の本数および正解数は,伐採前後のオルソ画像を用いて算出した。まず,伐採後に作成したオルソ画像から,林小班全域で10m×10mの標準地(図1中の赤枠)を3箇所設けて,範囲内の切り株の位置をGIS上でプロットし,正しい樹木の位置とした。次に,樹頂点の抽出結果を切り株の位置がプロットされたGIS上に表示し,切り株の位置と同じ樹木と思われる点を目視で判定して,正解した地点を数えた。

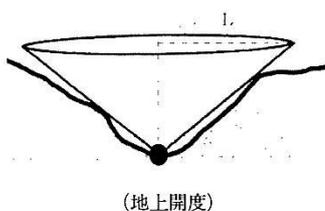


図3 着目する標本地点(●印)における地上開度  
(横山ら(1999)による)

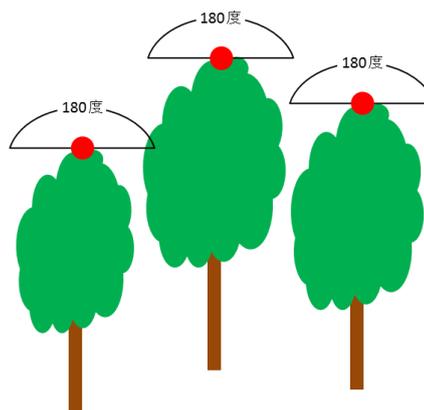


図4 樹頂点(●印)における地上開度の仮定

### 3) グリッドサイズとウィンドウサイズ

樹頂点の抽出にあたっては,複数のグリッドサイズとウィンドウサイズで検討を行った。UAVによる簡易空中写真測量では,高解像度のDSMを取得することができ,地形の凹凸なども詳細に把握することが可能である<sup>3)</sup>。ただし,解像度の高いDSMは微細な凹凸を表現することができるが,データ量が大きくなり広域の解析が困難となる場合がある。また,地上開度の算出を行う際の標本地点からの距離 $L$ (以下,ウィンドウサイズとする)についても,ウィンドウサイズが小さい場合は大きいスケールでの凹凸を把握することはできないことから<sup>4)</sup>,適切なウィンドウサイズを設定する必要がある<sup>5)</sup>。しかし,樹頂点の抽出に用いるための適切なグリッドサイズとウィンドウサイズについては十分に分かっていない。そこで,本研究ではグリッドサイズとウィンドウサイズを複数設定して,樹頂点を抽出することとした。

本研究で作成した森林の三次元モデルの最大解像度は8cmであった。樹頂点の抽出に使用したDSMのグリッドサイズは8cm,10cm,20cm,30cm,40cm,50cm,1mの7種とし,ウィンドウサイズは1,3,5の5種類とした。8cm~40cmについては,より詳細に検討するためにウィンドウサイズ2と4を追加した。

### 4) 抽出結果の評価方法

抽出結果について,単木の抽出率,的中率,カバー率の3つの指標を用いて評価した(図5)。「抽出率」は,実際の単木数(切り株本数)に対する,抽出本数の割合であるが,抽出率が100%の場合でも抽出位置が正しいとは限らない。そこで,抽出数に対する正解数を「的中率」,切り株数に対する正解数を「カバー率」とし,両者が共に高い値を示す場合に抽出手法の精度が高いと評価した。

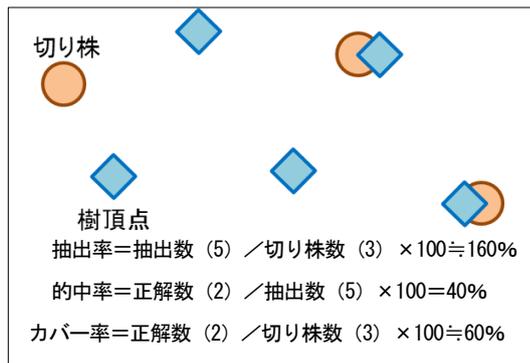


図 5 抽出率・的中率・カバー率の算出例

### 3. 検討結果

地上開度の解析結果を図 6 に示す。図 6 の上段はグリッドサイズ 8cm, 下段はグリッドサイズ 40cm の解析結果である。黒から白のカラーチャートで表示し、地上開度が大きいほど白く表現している。グリッドサイズ 8cm では、樹冠の細かい凹凸が開度によって表現された。一方、グリッドサイズ 40cm では、樹冠の細かい凹凸が表現されず、樹冠形状が分からなくなった。また、同じグリッドサイズでもウィンドウサイズが大きいほど、開度が小さい箇所が線状につながって見え、大局的な形状を表現できた。

標準地 C における樹頂点の抽出結果を図 7 に示す。また、抽出された樹木本数を表 1 に示す。基図は伐採前の DSM から作成したオルソ画像と傾斜図である。標準地 A, B, C の樹木の本数(切り株の本数)は合計で 43 であった。図 7 の左図は、グリッドサイズ 8cm, ウィンドウサイズ 1 のときの抽出結果である。抽出した樹頂点は、完全には一致していないものの、切り株の位置に近く、ほぼ 1m 以内であった。また、樹木以外の場所にも樹頂点が多く抽出さ

れた。一方、右図のグリッドサイズ 50cm, ウィンドウサイズ 5 において、樹頂点は多く抽出されなかった。抽出した樹頂点は完全には一致していないものの、切り株の位置に近く、ほぼ 1m 以内であった。そこで、伐採前オルソ画像において概ね樹冠の中心を捉えている樹頂点を正解とした。

グリッドサイズおよびウィンドウサイズと抽出率の関係を図 8 に示す。抽出率について見ると、同じグリッドサイズではウィンドウサイズが小さいほど抽出率が高かった。グリッドサイズ 8cm と 10cm では、抽出率が 100% を超えた。一方、1m の場合には、地上開度 180 度の地点が出現せず、樹頂点を抽出することができなかった。また、同じウィンドウサイズではグリッドサイズが小さいほど抽出率が高かった。グリッドサイズ 10cm でウィンドウサイズ 5 の場合と、グリッドサイズ 30cm でウィンドウサイズ 1 の場合とで、抽出率はほぼ同じであった。

グリッドサイズおよびウィンドウサイズと的中率の関係を図 9 に示す。的中率について見ると、同じグリッドサイズではウィンドウサイズが大きいほどの的中率が高かった。また、同じウィンドウサイズではグリッドサイズが大きいほどの的中率が高かった。グリッドサイズが 20cm 以上でウィンドウサイズが 3 以上の場合、的中率が 90% 以上であった。

グリッドサイズおよびウィンドウサイズとカバー率の関係を図 10 に示す。カバー率について見ると、抽出率とほぼ同じ傾向にあり、グリッドサイズが小さいほどカバー率が高く、ウィンドウサイズが小さい場合でもカバー率が高かった。グリッドサイズ 8cm~20cm でカバー率がおおむね 80% より高くなる傾向にあった。

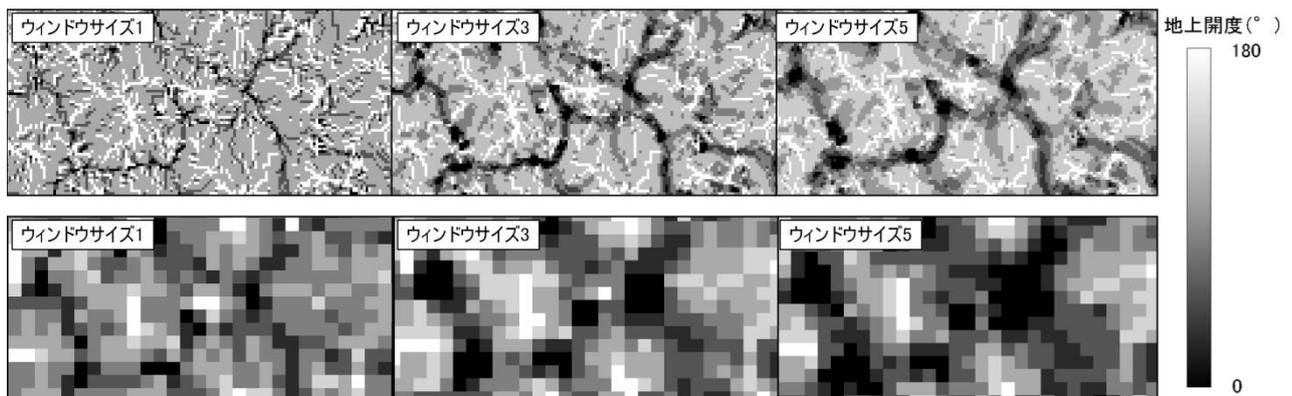


図 6 地上開度の抽出結果 (上段: グリッドサイズ 8cm, 下段: グリッドサイズ 40cm)

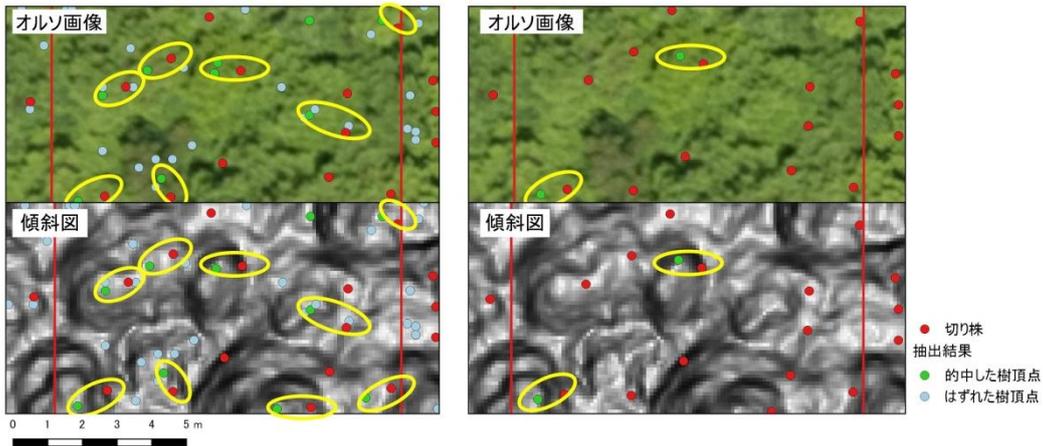


図 7 標準地Cの抽出結果 (左: グリッドサイズ 8cm, ウィンドウサイズ 1, 右: グリッドサイズ 50cm, ウィンドウサイズ 5)

表 1 検討結果一覧表

樹頂点本数					
グリッドサイズ	ウィンドウサイズ				
	1	2	3	4	5
8cm	115	88	68	55	49
10cm	106	75	56	47	42
20cm	53	38	29	24	21
30cm	43	30	20	14	10
40cm	31	22	14	8	7
50cm	25		9		4
1m	0		0		0

的中本数					
グリッドサイズ	ウィンドウサイズ				
	1	2	3	4	5
8cm	39	39	36	35	35
10cm	40	38	35	34	31
20cm	34	30	26	22	20
30cm	33	26	19	13	9
40cm	26	21	13	8	7
50cm	23		9		4
1m	0		0		0

抽出率					
グリッドサイズ	ウィンドウサイズ				
	1	2	3	4	5
8cm	267%	205%	158%	128%	114%
10cm	247%	174%	130%	109%	98%
20cm	123%	88%	67%	56%	49%
30cm	100%	70%	47%	33%	23%
40cm	72%	51%	33%	19%	16%
50cm	58%		21%		9%
1m	0%		0%		0%

的中率					
グリッドサイズ	ウィンドウサイズ				
	1	2	3	4	5
8cm	34%	44%	53%	64%	71%
10cm	38%	51%	63%	72%	74%
20cm	64%	79%	90%	92%	95%
30cm	77%	87%	95%	93%	90%
40cm	84%	95%	93%	100%	100%
50cm	92%		100%		100%
1m	0%		0%		0%

カバー率					
グリッドサイズ	ウィンドウサイズ				
	1	2	3	4	5
8cm	91%	91%	84%	81%	81%
10cm	93%	88%	81%	79%	72%
20cm	79%	70%	60%	51%	47%
30cm	77%	60%	44%	30%	21%
40cm	60%	49%	30%	19%	16%
50cm	53%		21%		9%
1m	0%		0%		0%

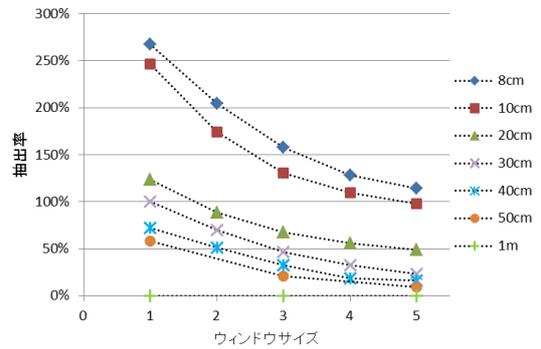


図 8 グリッドサイズとウィンドウサイズによる抽出率の変化

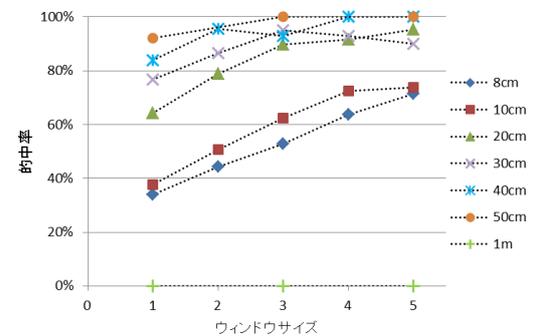


図 9 グリッドサイズとウィンドウサイズによる的中率の変化

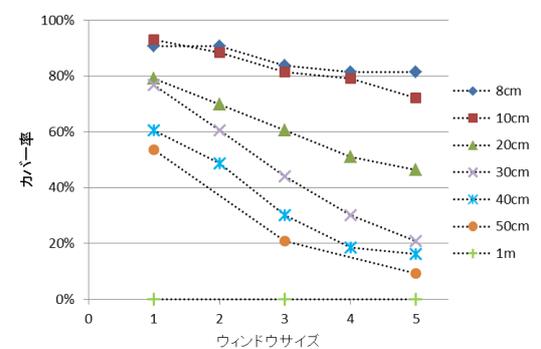


図 10 グリッドサイズとウィンドウサイズによるカバー率の変化

#### 4. 考察

抽出した樹頂点は、切り株の位置と 1m 程度ずれている箇所があった。これは、伐採前と伐採後の UAV の計測誤差に加えて、樹木の傾倒や根曲がりが原因であると考えられる。対象地は 23.3 度の斜面となっているため、樹高約 20m ではわずかな樹木の傾倒により切り株と樹頂点が 1~2m ほどずれる可能性がある。

小さいグリッドサイズによる解析では、細かい凹凸を検出することができるため、樹木の葉や枝による凹凸まで樹頂点として抽出され、抽出率が高くなったと考えられる。また、そのような点を過剰に抽出したことにより、カバー率が高いものの、正解率が低く、結果的中率は低くなったと考えられる。すなわち、空振りが多くなることを示している。一方、グリッドサイズ 1m の場合では、ウィンドウサイズを変えても樹頂点を抽出できなかったことから、グリッドサイズは、隣接する樹木の樹頂点を跨がないサイズが望ましい。

ウィンドウサイズは計算範囲であり、ウィンドウサイズを大きくすると上記の葉や枝による誤検出を減らすことができ、その結果、的中率が増加したと考えられる。しかし、カバー率が低下することは、見逃しが多くなったことを示している。

検討パターンの的中率とカバー率の関係を図 11 に示す。いずれの組み合わせにおいても 100%に近い組み合わせは

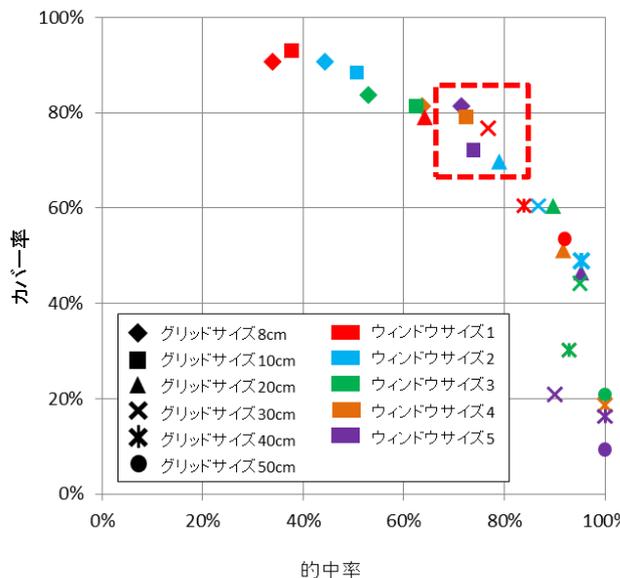


図 11 グリッドサイズとウィンドウサイズによる的中率とカバー率の変化

なかったが、グリッドサイズ 30cm でウィンドウサイズ 1 の時に、的中率とカバー率がともに 77%であり、検討した中では最的中率とカバー率となった。また、的中率・カバー率が高い組み合わせは、グリッドサイズとウィンドウサイズの積が 30~50cm の場合に高くなる傾向にあった(図 12)。よって、地上開度を利用した単木の抽出手法について、このような解析条件の場合に、ある程度の精度が期待できると言える。

#### 5. あとがき

本研究では、UAV で取得した DSM を用いて、単木の自動抽出の妥当性について検討した。複数のグリッドサイズとウィンドウサイズを用いた場合、的中率、カバー率は、グリッドサイズとウィンドウサイズの積が 30~50cm の場合を最適な条件として概ね精度よく単木を抽出することができる。今後の課題として、的中率とカバー率が向上に向けた手法の改良が挙げられる。例えば、樹頂点以外の小さな葉や枝の凹凸を排除するため、予め DSM にメディアンフィルタなどをかけて平滑化しておくことが考えられる。また、森林の樹種や施業状況、林齢などによる抽出精度の変化についても検討する必要がある。

最後に原稿執筆にあたり、多くの関係者にご指導とご協力等を頂いた。感謝申し上げます。

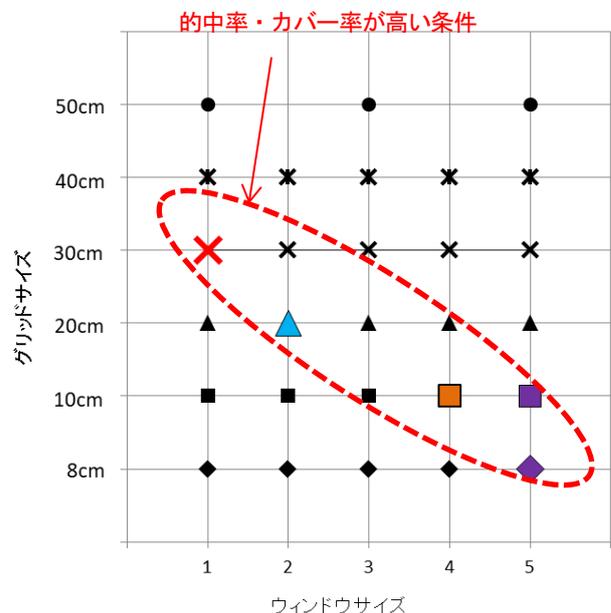


図 12 グリッドサイズとウィンドウサイズによる的中率とカバー率の組み合わせ

参考文献

- 1) 松英恵吾・伊藤拓弥・内藤健司:航空機 LiDAR による森林資源量推定—密度の異なるスギ・ヒノキの林分パラメータ推定—, 写真測量とリモートセンシング Vol.45 .No.1, 一般社団法人日本写真測量学会, 2006, pp4~13
- 2) 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 Vol.38 No.4, 一般社団法人日本写真測量学会, 1999, pp26-34
- 3) 小花和宏之・早川裕弐・齊藤 仁・ゴメス クリストファー: UAV-SfM 手法と地上レーザー測量により得られた DSM の比較, 写真測量とリモートセンシング Vol.53 No.2, 一般社団法人日本写真測量学会, 2014, pp67-74
- 4) 田中靖・大森博雄:山地の地形計測のための DEM の解像度に関する一検討, 写真測量とリモートセンシング Vol.44 No.1, 一般社団法人日本写真測量学会, 2005, pp26~35
- 5) 岩橋純子・神谷泉・山岸宏光: LiDAR DEM を用いた表層崩壊のアセスメントに適する勾配と凹凸度の計算範囲の推定