

未整備の人工林を対象とした SfM を用いた単木の簡易抽出

1180161 宮本 直哉

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

未整備の人工林を対象に、空撮 SfM と地上 SfM を行い、それぞれ取得した点群データを用いて単木の抽出を試みた。空撮点群データを用いた単木抽出では、樹頂点の検出と樹冠のポリゴン作成を行った。地上点群データを用いた単木抽出では、ボクセルの Z 方向の連続性に着目することで幹の検出を行った。結果、空撮 SfM からは約 50%、地上 SfM からは約 70% が単木として抽出された。さらに地上 SfM の際、明度を一定に保ちながら撮影を行う必要があることが判明した。

Key Words: SfM 撮影方法 単木抽出

1. はじめに

現在、本研究室では、LiDAR (Light Detection And Ranging) を用いて、林床部での日射量推定や、葉面積指数 (LAI) 推定手法の開発を行っている。LiDAR は、計測対象物にレーザー光を照射し、その反射光を計測することにより、広範囲にわたって点群データを取得することができる。

近年、LiDAR と同様に点群データを取得することができる、SfM (Structure from Motion) という手法が注目されている。SfM は、動画や写真からカメラ撮影位置を推定し、対象物の 3 次元形状を復元する技術である。

本研究室の杉野¹⁾が作成した、高知大学演習林の、地上型 LiDAR を用いて取得した点群データと、空撮 SfM を用いて取得した点群データを用いて、それぞれ単木の抽出を行った(図-1)。また、ある領域内(20m × 30m) について、トータルステーションを用いて測量した、実際の単木数と抽出単木数の比較を表-1 に示す。結果から、演習林のような整備された人工林では、地上型 LiDAR が非常に有効であることが分かる。空撮 SfM を用いて抽出した単木についても、抽出率 80%を超える結果となった。

高い抽出率を見せた地上型 LiDAR だが、高価であり、測量に多くの時間を要するため、高頻度の運用は困難である。また、未整備の人工林のように、見通しの悪い範囲を対象とした運用には不向きである。空撮 SfM についても、活用例の多くは、整備されている人工林を対象としたものである。

そこで本研究では、未整備の人工林を対象に、SfM

を用いた簡易的な単木抽出手法の構築を試みる。空撮 SfM と地上 SfM を行い、それぞれ取得した点群データから単木を抽出していく。

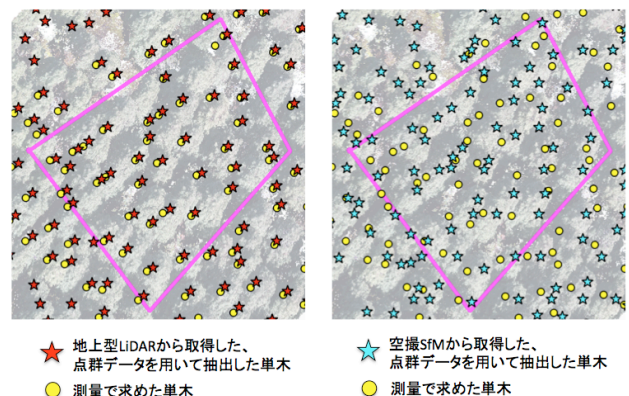


図-1 地上型 LiDAR・空撮 SfM を用いて抽出した単木

表-1 抽出結果

	抽出した単木 (本)	測量で求めた単木 (本)	抽出率 (%)
地上型LiDAR	38	38	100.0
空撮SfM	32	38	84.2

2. 研究対象地

研究対象地は高知県香美市土佐山田町中後入地区の金峯神社の周辺である。図-2 の整備されていない人工林(10m×15m)を対象領域として設定した。

検証用データとして、対象領域内の単木の本数と幹の位置を、レーザー距離計 (Leica DISTO S910) を用いた前方交会法により求めた。このときレーザ

一の照準を，目視による幹の中心部としたため，幹の位置の測量結果には大きな誤差が含まれていると考えた．よって本研究では，単木位置は考慮せず，本数のみを比較対象とした．

また，領域内の5本の樹木に，地上 SfM の幾何変換時に用いる基準点（反射板）を貼り付けた．



図-2 研究対象地

3. 空撮 SfM を用いた単木抽出

(1) データ取得

本研究室の藤原²⁾は，UAV による空撮 SfM を行い，中後入地区の点群データを作成した．これを用いて分解能が 20cm の DSM (Digital Surface Model) モザイク画像を作成した．

(2) 局所最大フィルタ法による単木の抽出

局所最大フィルタ法は，様々な文献³⁾⁴⁾で利用されている手法である．この手法には樹高データが必要となるため，DSM から DEM (Digital Elevation Model) を差し引くことで，DCHM (Digital Canopy Height Model) (樹高) 画像を作成した (DEM は国土地理院より 5m メッシュのものを取得した)．この画像に対して奇数サイズのグリッドを設定し，中心のグリッドの画素値が周囲の画素値よりも高かった場合に，樹頂点 (=単木) として抽出した (図-3)．今回の研究では 7×7, 9×9, 11×11 の 3 種類のグリッドサイズを比較し検討を行った．それぞれの抽出点と DSM-DEM 画像を目視で比較し，9×9 のグリッドサイズが最適であると判断した．

抽出した単木を図-4 に示す．測量により求めた実際の単木も同図に示す (樹冠を構成しないと考えられる，立ち枯れした木・低木などは除外した)．また，

それぞれの数の比較を表-2 に示す．

局所最大フィルタ法で抽出した単木数は，実際の単木数の半分程度であった．

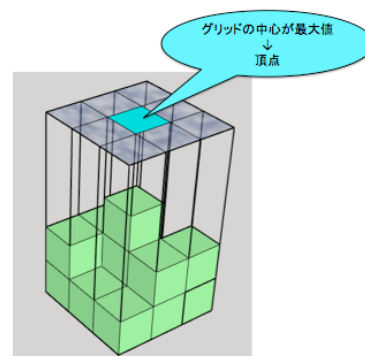


図-3 局所最大フィルタ法

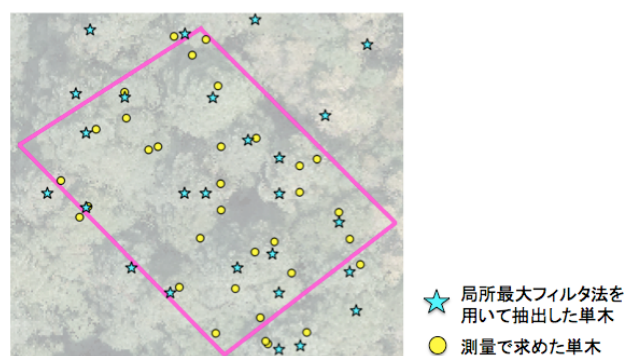


図-4 局所最大フィルタ法で抽出した単木

表-2 抽出結果

抽出した単木 (本)	測量で求めた単木 (本)	抽出率 (%)
14	27	51.9

(3) 樹冠のポリゴン作成による単木の抽出

局所最大フィルタ法による単木抽出法は，グリッドサイズに大きく左右される．グリッドサイズを小さくことで，抽出点こそ増えるが，樹頂点以外の点を抽出する可能性が増える．ノイズに対する脆弱性が，この手法の欠点である．そこで，樹頂点ではなく，樹冠からの単木抽出を試みた．

樹冠における頂点が一つであると仮定する．「樹冠表面の高さは外側に向かうほど低くなる」という特徴を利用し，樹冠のポリゴンを作成した．まず，DSM のすべての画素に対して，その傾斜方位を計算した．傾斜方位とは傾斜が最大の下り方向のことである．次に，DSM と同じサイズで値が全て 1 のグリッドを用意し，対応する傾斜方位へ 1 を移動させた．DSM

の値の大きいところが0，小さいところが1以上で表された．この処理を繰り返し，樹冠内の高い部分だけを抽出した．最終的に，値が0のグリッドの集合体は，樹冠の頂点を含むポリゴン (=単木) を意味する．今回は10回の繰り返し処理を行った．(図-5)

抽出した単木を図-6に示す(収縮・分離後の樹冠を白で表現した)．測量により求めた実際の単木も同図に示す(図-4と同様に，樹冠を構成しないと考えられる，立ち枯れた木・低木などは除外した)．また，それぞれの数の比較を表-3に示す．

樹冠をある程度分離することには成功したが，抽出数は局所最大フィルタ法と同じく，実際の単木数の半分程度となった．このことから，空撮 SfM から作成した点群データでは，樹冠同士の重なりが大きい複数の樹木が，一つの樹木として表現される場合があると考えられる．

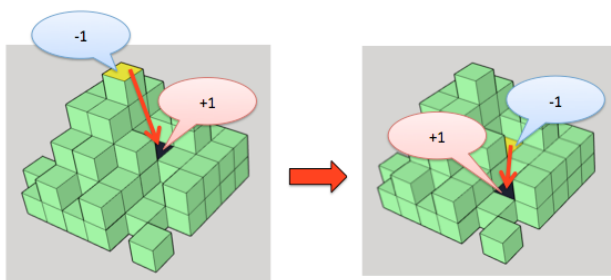


図-5 ポリゴン作成課程

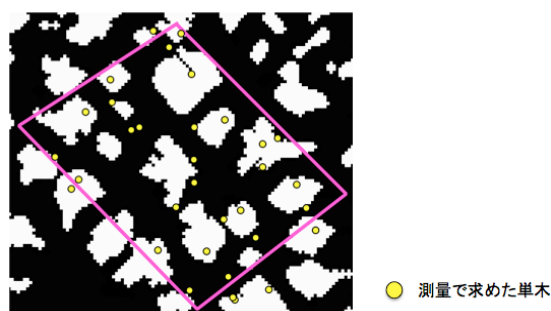


図-6 作成したポリゴン

表-3 抽出結果

抽出した単木 (本)	測量で求めた単木 (本)	抽出率 (%)
15	27	55.6

4. 地上 SfM を用いた単木抽出

(1) 撮影方法

地上 SfM を行う上で最も重要となるポイントは，動画や写真の撮影方法である．最良の撮影方法を自身で探索しなくてはならない．

図-7 は SfM 解析ソフトウェア“PhotoScan”が解析可能であった動画と，不可能であった動画の明度を比較したグラフである(縦軸が明度，横軸がコマ割り後の写真番号を示している)．明度は動画の RGB 値を HSV (色相・彩度・明度) 値に変換した時の V であり，0～255 の値をとる．

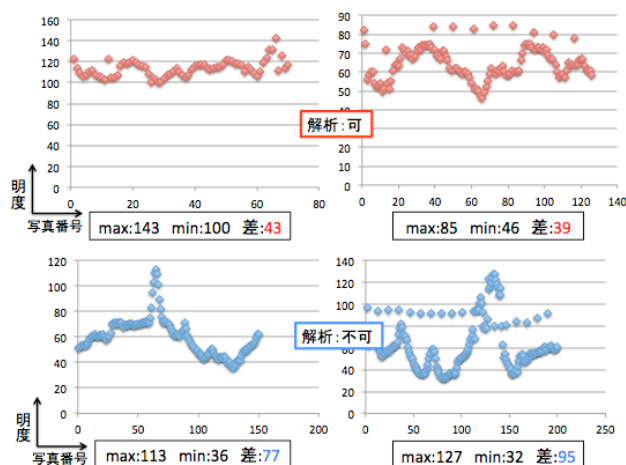


図-7 明度による解析の可・不可

解析が可能であった動画はいずれも最大明度と最小明度の差が小さい．PhotoScan が行う解析では，明度そのものの大小ではなく，バラツキの大小が重要となることがわかる．つまり，一定の明度を保ったまま撮影を行う必要がある．本研究の対象領域は屋外であり，晴天時には日向と日陰が混在しているため明度を一定に保つことは難しい．よって曇天時が撮影に適していると言える．

また，解析に使用する写真の中に，PhotoScan が“前後の写真との関連性がない”と判断したものが存在した場合，解析時に正しい点群データを取得することができない．撮影を重ねるうちに，この現象は，カメラの手振れやオーバーラップ率の不足，写真の明暗が元となり起こることが分かった．本研究では，手振れを防止するためにシャッタースピードを 1/200 に固定した．また，動画のコマ割り間隔を 2 枚/秒に設定することで，80%以上の高いオーバーラップ率を維持した．

(2) データ取得

カメラを用いて地上から動画を撮影し、林内の点群データの取得を行った。今回使用したカメラの詳細を表-4に示す。対象領域内のある2地点に立ち、自身が回転することで、それぞれの地点ごとの全方位の動画を撮影した。撮影した動画を静止面にコマ割りし、それぞれの地点ごとに PhotoScan を用いて点群データを取得した後、5つの基準点を用いて合成・幾何変換することで最終的な林内の点群データとした（点群数：4,865,037）。幾何変換時の平均二乗誤差を表-5に示す。

表-4 カメラ詳細

本体	SONY α7
有効画素数	2430万画素
レンズ名	LAOWA
焦点距離	15mm
口径比	1:4

表-5 平均二乗誤差

RMSE _x (m)	RMSE _y (m)	RMSE _z (m)
0.047	0.040	0.013

(3) 単木の抽出

作成した点群データの RGB 値を HSV 値に変換した後、葉に相当する部分の点群を除去した。残った幹と地面の点群をボクセル化し、ボクセルデータを作成した（ボクセルサイズ=20cm）。また、ボクセル内には平均で 75 点の点群が存在した。

X-Y 平面において、Z 方向のボクセルが 10 個以上存在する箇所を樹木の幹として抜き出し、画像化した。この画像に局所最大フィルタ法（グリッドサイズ=9×9）を適用し、最終的な単木位置を抽出した。抽出した単木位置を図-8に示す。また、それぞれの数の比較を表-6に示す。

動画撮影時にカメラの死角となった単木が抽出されず、抽出率は約 70%となった。

実際には単木が存在しないにも関わらず、単木として抽出されている地点がある。これは、点群データのノイズが原因であると考えられる。

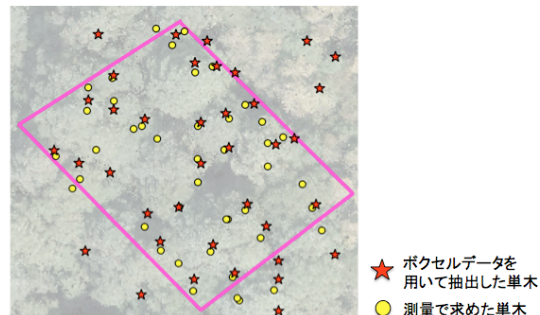


図-8 ボクセルデータから抽出した単木

表-6 抽出結果

抽出した単木 (本)	測量で求めた単木 (本)	抽出率 (%)
26	37	70.3

5. 考察

整備されていない人工林では、空撮 SfM よりも地上 SfM を用いた方が、単木抽出率が高くなるという結果が得られた。空撮 SfM は、個々の樹木を完全に表現することが難しいと考えられる。したがって、単木の抽出には地上 SfM が有効であると言える。なお撮影時には、今回判明したように、気象条件や時間を考慮し、明度を一定に保つことが重要である。

本研究では、地上 SfM を用いた単木の抽出率は約 70%であったが、撮影箇所を増やし死角を減らす、ボクセルデータ作成時のボクセル内の点群数を考慮する（点群数の少ないボクセルはノイズとして除去する）、などの改良を行うことで、抽出率は上昇すると考えられる。

参考文献

- 1) 杉野佑樹, SfM と LiDAR を用いた三次元ボクセルモデルの構築, 高知工科大学, 高木研究室, 2015 年度学士論文
- 2) 藤原匠, ボクセルモデルを用いた林床部における日射量推定, 平成 28 年度日本写真測量学会秋季学術講演会, p43-46
- 3) 和田哲馬・市川昌弘・松岡真如, 航空写真を用いた単木の自動抽出に関する研究, 平成 25 年度日本写真測量学会秋季学術講演会, p57-60
- 4) UAV 計測による高知工科大学周辺の樹木抽出, 兼子瞭介, 高知工科大学, 高木研究室, 2014 年度学士論文
- 5) 高木方隆: 国土を測る技術の基礎