

# UAV を用いた SfM による単木3D モデリング —画像オーバーラップ率が3D モデルの精度に与える影響—<sup>\*1</sup>

加治佐剛<sup>\*2</sup>・鎌田侑成<sup>\*3</sup>・寺岡行雄<sup>\*2</sup>

寺岡行雄・鎌田侑成・加治佐剛：UAV を用いた SfM による林分 3D モデリング—画像オーバーラップ率が 3D モデルの精度に与える影響— 九州森林研究 70：157 - 159, 2017 本研究では UAV で撮影された樹冠上部と樹冠下部の画像を用いて樹木の 3D モデル化を行い、画像のオーバーラップ率の違い (60%, 70%, 85%) による 3D モデルの精度を検証した。画像のオーバーラップ率が 70% および 85% においては 3D モデル化できたが、オーバーラップ率が 60% では 3D モデル化できなかった。3D モデル化できた 85% と 70% での胸高直径および樹高の計測はいずれも過大計測の傾向が見られた。調査地によっては胸高直径の計測誤差はオーバーラップ率に関わらず、RMSE が 4.0 cm である場合や、オーバーラップ率が低くなることで計測誤差が大きくなる場合が見られた。今回の結果からは 3D モデルを行うにはオーバーラップ率が 85% は必要だと考えられた。

キーワード：UAV, SfM, 単木計測, スギ

## I. はじめに

森林の有する多面的機能の発揮、林業の持続的かつ健全な発展を行う上で森林内の構造を計測することは重要である。

近年、空中写真を取得する手段の一つとして汎用性が高い UAV (Unmanned Aerial Vehicle) の利用が期待されている。従来、主流とされてきた有人航空機と比べて UAV は低空からの撮影が可能で高解像度な画像を取得できる。また、他のリモートセンシング技術と比べて安価でデータの取得から処理までを研究者が一人で実施できるため作業効率が高く、高頻度の観測が可能である (小花和ら, 2014)。

画像処理においても技術が進歩しており、SfM (Structure from Motion) という複数視点から撮影した画像を用いて 3D モデルを取得する手法が普及している。森林計測への適用事例として北林ら (2015) が樹冠下部を撮影した画像から SfM を用いて点群データを取得し、立木本数と胸高直径を計測している。その際の胸高直径の計測では RMSE (平均二乗誤差) が 0.7 cm となり、2.0 cm 括約の林分調査と同程度の計測が行える可能性を示した。

しかしながら、林分調査では胸高直径だけでなく樹高についても一定の精度で計測、推定できることが望ましい。樹冠上部と樹冠下部それぞれの利用と併せて、両者を統合した活用についてはほとんど行われていない。

SfM の活用にあたっては重なりのある複数視点からの画像を用いて 3D モデルを生成するため、画像のオーバーラップ率は 65% 以上必要であるとされている (内山ら, 2014)。しかし、森林を対象にオーバーラップ率の検証は行われていない。

そこで、本研究では樹冠上部と樹冠下部の画像を用いて樹木の 3D モデル化を行い、画像のオーバーラップ率による 3D モデルの精度を検証した。

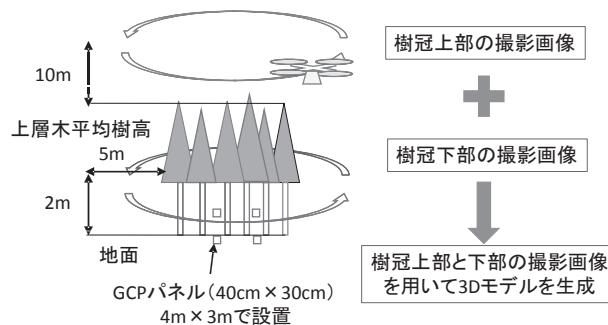


図-1. Phantom 3 による樹冠上部, 下部の撮影

## II. 方法

調査地は高隈演習林の 2 カ所のスギ林である。調査地 1 ではスギ 19 本 (平均 DBH 33.0 cm, 平均樹高 12.3 m), 調査地 2 ではスギ 19 本 (平均 DBH 34.6 cm, 平均樹高 16.7 m) を対象とした。両調査地とも下層植生は低く、地形はほぼ水平であった。林分内の全立木において胸高位置 (1.2 m) の周囲にテープを巻き、現地調査と 3D モデルの DBH 計測位置を統一した。

UAV には Phantom 3 Professional (DJI, 中国) を用いた。カメラ性能は 1240 万画素, 画角は 94°, 焦点距離は 20 mm (30 mm フォーマット相当) である。撮影高度は樹冠上部を上層木平均樹高から 10 m 上空で垂直と斜め下方向 45° で撮影し、樹冠下部を地上から 2 m, 対象林との距離およそ 5 m の位置で撮影した (図-1)。対象林分を一周するようによそ 1 秒 1 枚の間隔で撮影した。画像のオーバーラップ率は約 85% である。撮影の際には、林分内に GCP (Ground Control Point) としてパネル (45 cm x 30 cm) を 4 枚, 4 m x 3 m の長方形の角に設置した。

<sup>\*1</sup> Teraoka, Y., Kamata, Y. and Kajisa, T.: 3D modelling of forest stand structure by SfM (Structure from Motion) technique using UAV aerial photos: Effect of overlap ratio of aerial photos to calculating accuracy of DBH and tree height.

<sup>\*2</sup> 鹿児島大学農学部 Fac. Agric., Kagoshima Univ., Korimoto, Kagoshima 890-0065, Japan.

<sup>\*3</sup> 日本製紙株式会社 Nippon Paper Industries, Co., Ltd., Chiyoda-ku, Tokyo 101-0062, Japan.

SfMによる3Dモデルの生成にはPhotoScan (Agisoft, ロシア)を用いた。3Dモデル内での距離情報はGCP間の距離を基準とした。3Dモデル生成可能なオーバーラップ率を検証するため、3段階のオーバーラップ率になるように画像を間引いて3Dモデルを生成した。全画像を使用した3Dモデル(オーバーラップ率約85%),画像を2分の1に間引いた3Dモデル(オーバーラップ率約70%),画像を4分の1に間引いた3Dモデル(オーバーラップ率約60%)を生成した。SfMによる3Dモデル生成時には複数画像間における同一点としてリンク点を生成する。リンク点の数は3Dモデルの生成に影響すると考えられるため、オーバーラップ率、リンク点数、3Dモデル生成の可否の関係を検討した。

3Dモデルの生成には65%以上の画像のオーバーラップ率が必要とされるが、今回、樹冠上部と樹冠下部の合成に必要な撮影ができなかった。そのため、本研究では樹冠上部と樹冠下部のそれぞれで3Dモデルを生成し、GCPを基準に両者を合成した。

生成した3DモデルにおけるDBHの計測は胸高に設置したテープ部分の点群データ(約500点)を抽出し、点群の座標を元に式(1)で円に近似してDBHを算出した。

$$\begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i y_i & \sum x_i \\ \sum x_i y_i & \sum y_i^2 & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum y_i & \sum 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} -\sum (x_i^2 + x_i y_i^2) \\ -\sum (x_i^2 y_i + y_i^3) \\ -\sum (x_i^2 + y_i^2) \end{pmatrix} \dots (1)$$

$X_i, Y_i$ : 座標値

3Dモデルにおける樹高の計測では立木の梢端と根元部分を目視で判読して距離を計測した。

現地調査では直径巻尺を用いてDBHを0.1cm単位で計測し、パーテックスを用いて樹高を0.1m単位で計測した。それぞれの3DモデルでDBHと樹高を計測し、現地調査による測定値を真値とし、誤差をRMSEで評価した。

### Ⅲ. 結果と考察

林分全体の3Dモデルはオーバーラップ率約85%、オーバーラップ率約70%の画像で生成できたが、オーバーラップ率約60%の画像では生成できなかった。オーバーラップ率約60%の画像では樹冠下部で3Dモデルの生成ができず、樹冠上部の3Dモデルは樹冠部の点群が多く欠けており、梢端の確認ができなかった。3Dモデルを生成できたオーバーラップ率約85%とオーバーラップ率約70%の3DモデルにおいてDBHと樹高の計測をした結果を図-2と図-3に示す。また、計測値の誤差をRMSEによって評価し、表-1, 2に示す。

3Dモデルによる計測値は現地調査の計測値と比べて過大となる傾向が見られた(図-2, 3)。オーバーラップ率約85%の3Dモデルでは調査地に関わらずDBHのRMSEがおおよそ4.0cmとなった。SfMを用いたDBH計測を行っている北林ら(2015)の研究結果と比べて誤差が大きくなった。これは、使用カメラやGCPの設置などの撮影条件が異なるためだと考えられる。

オーバーラップ率約70%の3Dモデルでは調査地2で3.8cmとオーバーラップ率約85%とほぼ同じ値であるのに対して、調査地1ではRMSEが4.9cmと高くなった。調査地1における

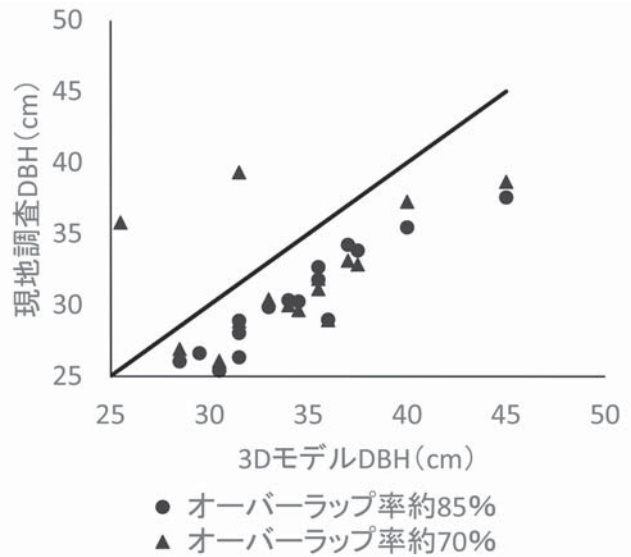


図-2. 調査地1の胸高直径計測結果

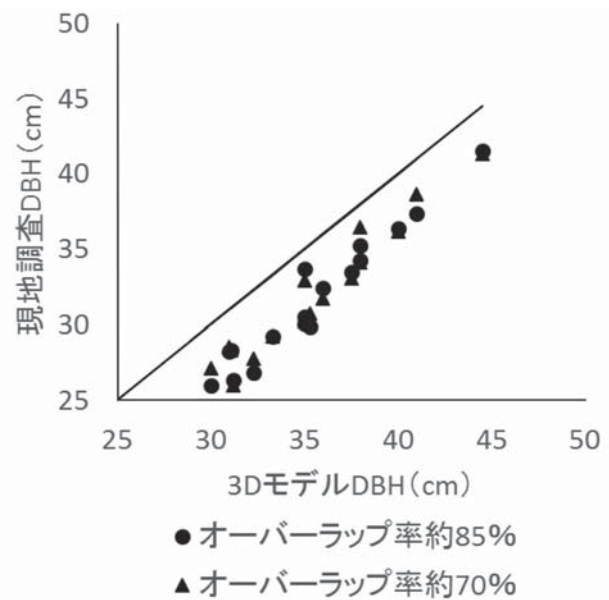


図-3. 調査地2の胸高直径計測結果

表-1. 3Dモデルの胸高直径計測誤差 (RMSE)

調査地	オーバーラップ率約85% (cm)	オーバーラップ率約70% (cm)
1	4.1	4.9
2	3.9	3.8

表-2. 3Dモデルの樹高計測誤差 (RMSE)

調査地	オーバーラップ率約85% (m)	オーバーラップ率約70% (m)
1	0.4	0.4
2	0.7	0.6

表-3. 画像1枚あたりのリンク点数

オーバーラップ率	調査地1	調査地2
約60%	168	389
約70%	482	550
約85%	758	864

オーバーラップ率約70%の3Dモデルでは3DモデルにおけるDBH計測時に抽出した点群が一部欠けていたため、誤差が大きくなり生じたと考えられる。

樹高の計測はオーバーラップ率約70%以上で立木の梢端が確認でき、樹高の計測が可能であることがわかった。RMSEは調査地1で0.4m、調査地2でおよそ0.7mとなった(表-2)。

3Dモデルの生成におけるオーバーラップ率とリンク点数(表-3)は相関が高く、3Dモデルの生成に大きな影響を与えていると考えられたが、図-2, 3の計測結果からリンク点数と3Dモデルの計測精度とは深く関係してないと考えられる。

#### IV. おわりに

単木の3Dモデルの生成にはオーバーラップ率約70%以上の画像が必要であり、3Dモデルで計測を行う場合はオーバーラップ率約85%の画像が必要となることが明らかになった。

画像撮影の効率化を図るために今後、様々な環境条件下でのオーバーラップ率の検証が必要であると考えられる。

#### 謝辞

本研究は、「革新的技術開発・緊急展開事業」(うち地域戦略プロジェクト)「ICTを活用した木材SCMシステムの構築」(研究代表者:仁多見俊夫(東京大学))の一部として実施したものです。

#### 引用文献

- 北林拓ほか(2015)平成27年度日本写真測量学会秋季講演会集.  
 小花和宏之ほか(2014)写測とリモセン 53:67-74.  
 内山庄一郎ほか(2014)防災科学技術研究所研究報告 81:37-60.  
 (2016年12月6日受付;2017年2月3日受理)