

UAV と SfM 技術を活用した森林情報の取得および推定に関する一考察

亀山翔平¹・杉浦克明²・野嶋健太郎¹・園原和夏²

1 日本大学大学院生物資源科学研究科

2 日本大学生物資源科学部

要旨：本研究では、神奈川県秦野市のスギ人工林内に設置した2か所の調査地において UAV と SfM 技術を用いた森林情報の推定と推定結果に与える影響について検討した。UAV は P4 Multispectral を活用し、飛行高度 150m、オーバーラップ 95%、サイドラップ 90%での撮影を行った。空撮画像は Pix4Dmapper による SfM 処理と Global Mapper や ArcGIS による画像解析から樹高と樹冠面積が推定された。その結果、どちらの調査地においてもすべての樹頂点は抽出されなかった。また、樹高の推定値は実測値と比較して過小であった。推定結果への要因として、飛行条件、SfM 処理や画像解析、調査地の環境要因による影響が考えられた。しかし、どの要因が最も大きな影響を与えたのかを明らかにすることはできなかった。そのため、異なる条件下において繰り返しの試験を行い、推定結果に与える影響を明らかにする必要があると考える。

キーワード：UAV, SfM, 樹高, 樹冠面積

A Study on Acquisition and Estimation of Forest Information Using UAV and SfM Technology

Shohei KAMEYAMA¹, Katsuaki SUGIURA², Kentaro NOJIMA¹, and Waka SONOHARA²

1 Graduate school of Bioresource Sciences, Nihon University, 1866 Kameino, Fujisawa 252-0880, Japan

2 College of Bioresource Sciences, Nihon University, 1866 Kameino, Fujisawa 252-0880, Japan

Abstract: This study aimed to acquire forest information using UAV surveys and SfM technology and to compare the results with the measured values at two survey sites in a *Cryptomeria japonica* (Sugi) plantation in Hadano City, Kanagawa Prefecture. The UAV used was the P4 Multispectral, and the flight conditions included a flight altitude of 150 m, 95% overlap, and 90% side overlap. Estimates from aerial images were calculated via SfM processing using the Pix4Dmapper, and image analysis using the Global Mapper and ArcGIS. Our study showed that no tree vertices were detected at either survey site. Additionally, the estimated tree height values were remarkably small compared to the measured values. The sources of error were determined as flight conditions, SfM processing and image analysis, and the environmental conditions at the survey sites. However, identity of the source that had the most significant impact could not be ascertained. Therefore, it is necessary to conduct repeated tests under different conditions to elucidate their effects on the error.

Key-word: unmanned aerial vehicle (UAV), structure from motion (SfM), tree height, crown area

I はじめに

近年、UAV と SfM 技術は様々な分野で活用がされている。UAV の利点として低コスト、高解像度のデータの取得、高頻度の撮影が可能などなどが挙げられる(6)。森林における適応事例については、①計測値の推定、②樹種の分類、③森林火災の測定やモニタリングなどに分類されている(10)。また、UAV と SfM 技術の活用には、飛行高度や写真の重複率などの飛行条件(4)、風や光などの気象条件(11)、Pix4Dmapper (以下: Pix4D) や PhotoScan などのソフトウェアや SfM 処理のパラメータ

(2) によって点群数やオルソ画像などに影響を与えることが明らかとなっている。この他に、森林での活用には樹種や立木密度などの対象林分の条件による影響も考えられる。そのため、様々な飛行条件や SfM ソフトウェア、樹種などによる検証を行い、いかなる条件下でも森林情報の取得が可能なのか検討する必要がある。

そこで、本研究は、神奈川県秦野市内の傾斜地であるスギ人工林において、調査地周辺に GCP が設置できず、林分密度が高いなど UAV と SfM 技術を活用した森林情報の推定には厳しい条件下にある林分に2か所の調査地

を設定し、UAV と SfM 技術を活用した森林情報の取得を試み、毎木調査の結果との比較を行った。そこから、UAV と SfM 技術を活用した推定値の比較および推定結果に与えた影響について検討を行った。

II 材料と方法

1. 調査地概要 調査地は神奈川県秦野市内のスギ人工林内の2か所に設定した(図-1)。UAV の空撮と同時期に毎木調査を実施した。計測項目は、立木本数と樹高であり、樹高の計測には Vertex IV を活用した。調査地の概要は表-1 に示す通りである。また、GCP は、調査地の測点上に設置することが好ましいとされている(8)。しかし、調査地内や周辺には UAV の空撮画像に標示されるように GCP の設置が困難であった。そのため、GCP は調査地から離れてはいるが、確実に撮影でき、GPS の信号を受信しやすい林外の4か所に設置した(図-1)。

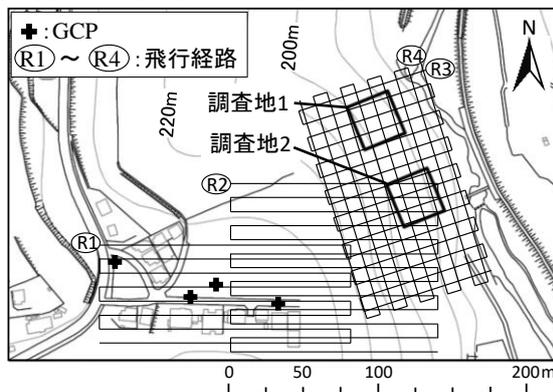


図-1. 調査地と飛行経路

Fig.1 Location of survey site and flight route

表-1. 調査地概要

	調査地1	調査地2
調査地	神奈川県秦野市内の人工林	
樹種・林齢	スギ 68年生	
面積	0.09ha (30m×30m)	
傾斜	17~20°	
対象木本数(本)	83	96
平均樹高(m)	21.8	23.8
林分密度(本/ha)	920	1060
収量比数	0.79	0.87
本数間伐率(%)	37	—

2. UAV と飛行条件 本研究に使用した UAV は DJI 社製の P4 Multispectral であり、カメラは P4 Multispectral に標準搭載されているものとした。カメラのセンサーは 1/2.9 インチ CMOS、有効画素数は 2.08MP、焦点距離は 5.74mm (35mm 換算 : 40mm) である(1)。また、飛行

条件の設定や UAV の離着陸の操作には DJI 社製の DJI GS PRO アプリケーションを使用した。

UAV の飛行条件は飛行高度 150m (地上解像度 7.9cm/Pix)、オーバーラップ 95%、サイドラップ 90%、飛行速度 2.5m/s、撮影モードは等時間間隔とし、撮影間隔は 2.5 秒とした。飛行条件を DJI GS PRO に設定し、自動飛行による画像撮影を行った。飛行経路と本数は図-1 の通りである。また、調査地の上空域の飛行は、飛行経路がグリッド状になるように設定した(図-1 の R3 と R4)。UAV 飛行は、2020 年 8 月 20 日 11~13 時に行い、飛行時の天候は晴れ、風速は 2~5 m/s であった。

3. 空撮画像の SfM 処理と画像解析 空撮画像の SfM 処理および画像解析による樹高と樹冠面積の推定には、Pix4D 社製の Pix4D、Blue Marble Geographics 社製の Global Mapper と ESRI 社製の ArcGIS を活用した。Global Mapper および ArcGIS による画像の解析方法は、UAV 立木調査マニュアル(8)を参考にした。

UAV により撮影された空撮画像は Pix4D で SfM 処理し、点群データとオルソ画像の出力を行った。Pix4D における処理は①初期処理(基準点・画像のスケール:フル)、②点群およびメッシュ(画像のスケール:1/2、点密度:最適、マッチの最小数:3)、③DSM とオルソモザイクの順に行われた。また、SfM 処理に使用した PC のスペックは windows 10 Home、メモリが 32.0GB、CPU が Intel core i7-7700HQ である。

SfM 処理により出力されたデータは Global Mapper により座標系の変更と、画像ファイルへの変換を行い、ArcGIS での解析に必要な DCSM と DEM データを作成した。DCSM は Pix4D で出力した点群データ、DEM は国土地理院の基盤情報ダウンロードサービスからダウンロードした 5m メッシュの DEM をもとに作成した。作成した DCSM と DEM データは ArcGIS で読み込み、そのデータをラスタ演算することで DCHM データを作成した。次にフォーカル統計の機能を用いて、樹頂点の抽出とノイズの除去を行った。抽出された樹頂点データとオルソ画像を重ねて表示させたときに一つの樹木に複数の樹頂点が抽出された場合やギャップに抽出された場合においては目視で判読し、手動による除去を行った。最後にこれまでに解析した DCHM データと樹頂点データを Watershed 法で解析し、樹冠面積の推定を行った。

III 結果と考察

1. 樹頂点の抽出本数の比較 樹頂点が抽出された樹木の本数は、調査地 1 が 67 本(抽出率 81%)、調査地 2 が 69 本(同 72%)となり、間伐により成立本数の少な

い調査地1の方がより多くの樹頂点が抽出されていた。どちらの調査地でも未抽出となった樹頂点に特徴は見られなかった。しかし、高密度な林分であるために樹頂点が付近の樹木の樹冠に埋もれたり、隠れたりすることで未抽出になったと考える。

2. UAVによる樹高および樹冠面積の推定値の比較
各調査地における樹高の推定値は10m以下と12~14mに推定された本数で大きく異なった(図-2)。樹高の推定値の平均は、調査地1が13.0m、調査地2が12.1mであり、調査地で1mの差が見られた。また、樹高の推定値と実測値の平均値の差は、調査地1が8.8m、調査地2が11.7mであった。(図-3)。そのため、調査地における推定値の平均の差は小さいが、どちらの調査地でも実測値の平均とは10m程度の差があるため、実測値に近い樹高の推定を行うことはできなかった。また、どちらの調査地においても UAVによる樹高の推定値と実測値の分布の形状は同じであるが、推定値は推定値と実測値の平均の差の分だけ過小に分布(左に移動)している傾向が見られた(図-3)。

樹冠面積は、各調査地における大きな違いは見られない(図-2)。しかし、樹冠面積の推定値の平均は調査地1が9.2㎡、調査地2が7.0㎡であり、調査地において約2.2㎡の差が見られた。どちらの調査地においても高密度な林分であるが、間伐を実施した調査地1においては林分密度が低くなり、樹冠の重なりが減少したため、高い値

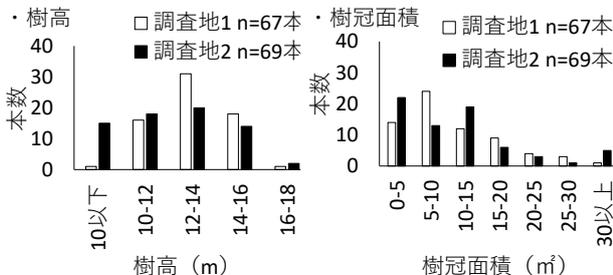


図-2. 調査地における UAVによる推定値の比較

Fig.2 Comparison of estimated values at survey sites

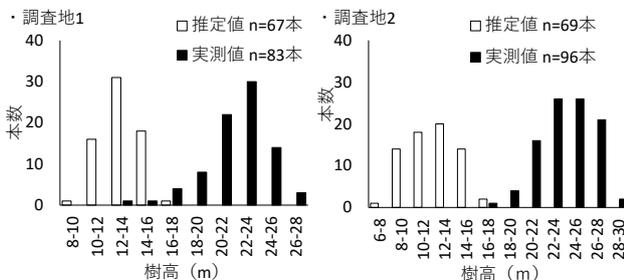


図-3. 樹高の推定値と実測値との比較

Fig.3 Comparison of estimated values and measured values of tree height

の推定値となったと考える。そのため、樹冠面積の推定は対象とする林分の密度に影響を受けると考える。

3. UAVによる推定に影響を与えた要因の検討 これまでの結果から、どちらの調査地でも未抽出の対象木があり、推定値と実測値の差も大きかった。しかし、GCP付近のDSMとDEMの差は1m以内であり(図-4)、地表面の値として妥当であるため、GCPの座標の設定に問題はないと考える。さらに、調査地の周辺では調査地内の樹高の平均値と同程度である18m以上の推定値の樹木も確認された(図-4)。そのため、ラスタ演算が実行された範囲の一部には妥当な数値の地点も見られ、すべての範囲における推定に誤差があったわけではない。

そこで、調査地において樹頂点の抽出や推定値に影響を与えたと考えられる要因について追加の検証や考察を行った。要因としては、①飛行条件、②SfM処理や画像解析、③調査地の環境要因による影響が想定された。

まず、①の飛行条件の影響について、Pix4Dのマニュアル(7)では、森林を対象とした空撮画像の撮影には飛行高度を高く設定することが推奨されている。本研究ではマニュアルの通り、飛行高度を高く設定したため、画像の解像度が高い値(画像の解像度の値が高いほど解像度は悪くなる)となった。そのため、生成画像の解像度も悪くなり、樹頂点が未抽出になった可能性も考えられる。また、空撮画像の重複率はPix4Dの推奨値よりも高く設定されている。撮影された空撮画像を確認しても風や光によるノイズは見られなかった。そのため、SfM処理においてはマニュアルのような高い高度での飛行が推奨されるが、推定値を得る場合には、画像の解像度を考慮した設定が必要であると考えられた。

次に、②のSfM処理や画像解析について、本研究ではPix4DとGlobal Mapper, ArcGISを活用した。SfM処理は

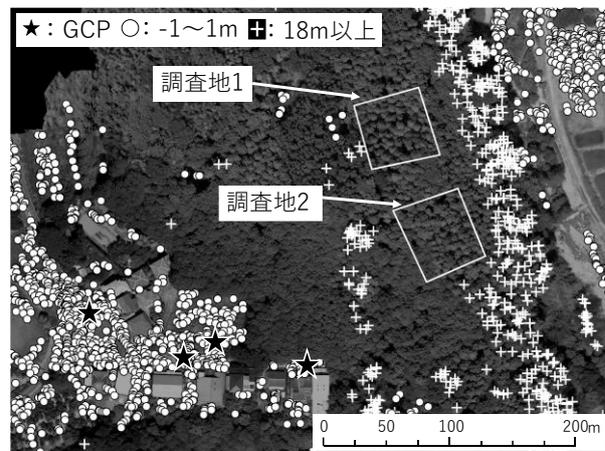


図-4. ラスタ演算により推定された高さの分布図

Fig.4 Distribution map of estimated height by raster operations

使用するソフトウェアや処理のパラメータによって高密度点群数が異なることが指摘されている(2)。そこで、Pix4Dの処理のパラメータを変更して処理したが、実測値に近い推定はされなかった。また、SfM処理が可能であるPhotoScanで推定を行い、Pix4Dの推定値との比較を行ったが、樹頂点の抽出や樹高と樹冠面積の推定値に大きな差は見られなかった。また、ハードウェアは推奨されているスペック以上のPCが活用されている。そのため、SfMソフトウェアや処理パラメータ、ハードウェアによる影響は考えにくい。また、画像解析は、林野庁のUAV立木調査マニュアル(8)に従っており、解析手法の誤りがあるとは考えにくい。しかし、画像解析におけるパラメータはマニュアル(8)を参考にしているため、パラメータの検証は不十分である。また、画像処理においてもパラメータの設定が必要であるが、その方法はソフトウェアによって異なる。そのため、本研究の結果ではSfM処理や画像解析の影響は見られなかったが、繰り返し試験によるソフトウェアの検討も必要であろう。

最後に③の調査地の環境要因による影響について検討した。調査地の特徴として、高密度な林分や傾斜地、調査地から離れた場所にGCPの設置を行ったことが挙げられる。まず、高密度な林分であるため、樹頂点の未抽出や樹冠面積の推定値が過小になることが考える。また、GCPは調査地周辺の影響により調査地付近や傾斜地、調査地を挟みこむような設置が行えなかった。そのため、傾斜地における補正が不十分となった可能性もあるが、GCP付近のラスタ演算の結果からGCPの座標の設定に問題はなかったと考える。また、GCPは数を増やすと精度にプラスの効果を与えるが、数を増やすには時間と労力を必要とする(9)。さらに、林内ではGPSの信号を受信することが困難であるため、GCPを設置せず、撮影された空撮画像に付加された位置情報を活用した樹高の推定が行われているが(3, 4, 5)、推定精度は低位であった(4, 5)。そのため、高精度の推定には、GCPの設置が必須であるが、森林でのGCPの設置は林内や周辺環境などの様々な影響を大きく受けるため、設置場所や個数に関する検討が必要であろう。

IV まとめ

本研究では、UAVを活用した森林情報の推定と推定結果に与えた影響について検討した。その結果、どちらの調査地でも全ての樹頂点を抽出することができなかった。また、樹高の推定値は実測値と比較して精度の高い推定ができなかった。その要因として、飛行条件、SfM処理や画像解析、調査地の環境要因による影響が想定された。

しかし、どの要因による影響が大きいのか明らかにすることはできなかったため、今後も、異なる条件下において繰り返し試験を行い、推定結果に与える影響について検討する必要がある。また、正確な推定を行うための飛行条件や解析手法に関する検討も必要だろう。

引用文献

- (1) DJI (2020) P4Multispectral ユーザーマニュアル V1.0. https://dl.djicdn.com/downloads/p4-multispectral/20200311/P4_Multispectral_User_Manual_v1.0_JP.pdf (2020年10月20日参照)
- (2) Fraser BT, Congalton RG (2018) Issues in Unmanned Aerial Systems (UAS) Data Collection of Complex Forest Environments. *Remote Sens* 10 (6) 908: 21pp
- (3) Iizuka K, Yonehara T, Itoh M, Kosugi Y (2018) Estimating Tree Height and Diameter at Breast Height (DBH) from Digital Surface Models and Orthophotos Obtained with an Unmanned Aerial System for a Japanese Cypress (*Chamaecyparis obtusa*). *Forest* 10 (1) 13: 14pp
- (4) Kameyama S, Sugiura K (2020) Estimating Tree Height and Volume Using Unmanned Aerial Vehicle Photography and SfM Technology, with Verification of Result Accuracy. *Drones* 4 (2): 21pp
- (5) 小林裕之 (2019) UAVによるスギ林の自動空撮と立木本数および樹高の計測. *中部森林研究* 67 : 57-60
- (6) 小花和宏之・早川裕弼・ゴメスクリストファー (2014) UAV空撮とSfMを用いたアクセス困難地の3Dモデリング. *地形* 35 (3) : 283-294
- (7) Pix4D (2017) Pix4Dmapper 4.1 USER MANUAL. <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/204272989-Offline-Getting-Started-and-Manual-pdf> (2020年10月20日参照)
- (8) 林野庁 (2019) UAV立木調査マニュアル. https://www.rinya.maff.go.jp/j/gyoumu/gijutu/attach/pdf/syuu_kaku_kourituka-2.pdf (2020年10月20日参照)
- (9) Tomaščík J, Mokroš M, Surový P, Grznárová A, Merganič J (2019) UAV RTK/PPK method-An optimal solution for mapping inaccessible forested areas? *Remote Sens* 11 (6) 721: 19pp
- (10) Torresan C, Berton A, Carotenuto F, Di Gennaro SF, Gioli B, Matese A, Miglietta F, Vagnoli C, Zaldei, A, Wallace L (2017) Forestry applications of UAVs in Europe: A review. *Int. J. Remote Sens* 38: 2427-2447
- (11) Zhang Y, Wu H, Yang W (2019) Forests Growth Monitoring Based on Tree Canopy 3D Reconstruction Using UAV Aerial Photogrammetry. *Forests* 10 (12) 1052. 16pp