

## ドローン写真からの標高推定における歪みについて

## —スギ幼齢林での事例—

粟屋善雄・荒木一穂（岐阜大）

ドローンを利用してスギ幼齢林を対象に複数と往復のコース設定で空中写真を撮影し、SfMで地表面高モデル(DSM)を作成してLiDARによるDSMと比較した。地上基準点(GCP)を用いてドローンDSMの傾きを評価したところ傾きは複数コースが大きく、GCPの選定の仕方(地面のみ、地面と樹頂)で差が生じた。往復コースは広範囲をカバーして崩壊地が含まれていたことから、露岩などの明瞭な地物がマッチングの精度を向上させたと考えられた。ドローンDSMの標高を補正した後、地盤高を引いて樹高を求めて地上調査による樹高と比較したところ、地面と樹頂のGCPで標高を補正した場合に精度が高かった。

キーワード：地表面高、樹冠高、傾き、SfM

## I はじめに

近年、人工林の高齢化が進んで標準伐期齢を過ぎた人工林が大半を占め、人工林の伐採が進んで再造林が課題になってきた(1)。林業の将来を考えると、再植林後の成長と成林の見通しを立てて、採算割れや更新不良を回避することが求められている。このため、現場で活用可能な情報をリモートセンシングや地理情報システムなどの技術を活用して作成することが期待されている(1)。その基礎技術として、ドローン空中写真を利用して苗木の成長をモニタリングし、立地評価に繋げることが考えられる。本研究ではドローン空中写真とStructure from Motion (SfM)(2)によって地表面高モデル(DSM)を作成して精度を検証することを目的とする。

## II 方法

## 1. 調査対象地

岐阜県高山市丹生川町駄吉の標高約1450mの北側斜面に位置するスギ人工林を対象にした。スギ林は2003年頃に植栽された大面積造林地の斜面上部に位置し、斜度は20~30°の部分が多く、平均約25°である。2018年10月に半径5mのプロットで毎木の樹高を測定した。

## 2. 撮影と解析方法

ドローン(Phantom-4 Pro, DJI, 中国)と制御ソフト(Litchi, VC Technology Ltd, USA)を利用して、2018年10月16日の12時19分から12時43分にかけて曇天下で撮影した(表-1)。DSMの作成にはSfMソフトのPhotoScan(AgiSoft, ロシア)を用い、写真のアライメント精度とクラウド密度のオプションをHighに設定してDSMを作成し、平面直角座標7系に投影

した。

表-1. 撮影仕様

	複数コース	往復コース
撮影高度	1511m	1535m
対地高度	40-30m(段撮)	50m
コース数	12本(各約57m)	2本(各約195m)
撮影速度	5.0km/h	5.0km/h
撮影頻度	2秒に1枚	2秒に1枚

予め2016年に撮影され、平面直角座標7系に投影されたLiDAR-DSMとオルソ空中写真を利用して、地上基準点(GCP)に基づいてドローンDSMの水平方向の座標をLiDAR-DSMに合わせた。この後、ドローンDSMの周辺部分を除く広い範囲でGCPを選定し、LiDAR-DSMを基準として(1)式で回帰分析を行い、標高差の推定式を調整した。

$$\Delta Z = Z_L - Z_D = aX + bY + c \quad (1)$$

ここで $\Delta Z$ :標高差,  $Z_L$ :LiDAR-DSMの標高,  $Z_D$ :ドローンDSMの標高,  $X$ :東西方向の距離,  $Y$ :南北方向の距離,  $a, b, c$ :回帰定数である。

次いで推定式を用いてドローンDSMの標高の傾きを評価した。また、推定式から求めた標高差でドローンDSMを補正し(補正済みDSM)、補正済みDSMからLiDARの地盤高モデルを引いて樹冠高モデル(DCHM)を作成した。さらに、毎木の樹高調査データを利用してDCHMの精度を評価した。

なお、GCPとして、成長が遅くてLiDAR-DSMと対比しやすい低くて鈍角な樹冠の樹頂、地面上の滑らかで広がりのある露岩、および広いギャップ中の明瞭な大きな落枝を利用した。また、地面と樹頂のGCPおよび地面のGCPのみの2セットでドローンDSMを

AWAYA Yoshio\*, ARAKI Kazuho

An evaluation of skew on elevation estimation from drone aerial photos - A case of juvenile sugi cedar stands -

awaya@green.gifu-u.ac.jp

補正した。最後に、複数と往復の補正済み DSM (DCHM) の差を2つの GCP セットについて算出して傾向を評価した。

### III 結果と考察

ドローン DSM の誤差は約 35m におよび GCP のセットで差が生じ、GCP の配置や精度の違いが影響したと推察された。傾きは複数コースのほうが往復コースより大きかった (表-2)。当初は複数コースのほうが往復コースより高精度の DSM を作成できると予想していたが、逆の結果になった。SfM は特徴点を自動で抽出して最小二乗法によって最適化を行う (2)。このため明瞭な特徴点の有無が最適化の精度を左右すると考えられる。複数コースでは南部の空き地に岩などの輪郭の明瞭な地物が存在するが他は樹木の樹冠で覆われる。往復コースでは西側に南北に長い崩壊地が存在し、露岩などが明瞭な地物であることから、複数箇所不明瞭な地物が存在したことで、最適化の誤差が小さくなったと考えられた。複数コースでは地面と樹頂の GCP セットは地面のセットより傾きが大きく評価された。

表-2. ドローン DSM の誤差と傾き

コース	複数		往復	
	GCPセット地面+樹頂	地面	地面+樹頂	地面
最大 (m)	-31.69	-31.84	-35.91	-35.00
最小 (m)	-35.63	-33.66	-36.60	-35.86
平均 (m)	-33.66	-32.75	-36.25	-35.43
レンジ (m)	3.94	1.83	0.69	0.87
傾き (度)	3.31	1.45	0.55	0.88

基準: LiDAR DSM (範囲: 東西45m、南北65m)

補正済み DSM から作成した DCHM の精度を 16 本の立木の樹高で評価した (図-1)。地上調査の樹高と DCHM から判読した樹高には非常に高い相関が認められ、コースと GCP セットの組合せごとに以下の関係式が得られた。

$$H' = -0.0171 + 0.794H \quad R^2 = 0.828 \quad (2)$$

$$H' = 0.982 + 0.800H \quad R^2 = 0.845 \quad (3)$$

$$H' = 0.111 + 0.794H \quad R^2 = 0.836 \quad (4)$$

$$H' = 0.558 + 0.856H \quad R^2 = 0.828 \quad (5)$$

ここで  $H'$  は DCHM の判読による樹高、 $H$  は地上測定による樹高である。(2)、(3)式は複数コース、(4)、(5)式は往復コース、(2)、(4)式は地面と樹頂の GCP セット、(3)、(5)式は地面の GCP セットに対する式である。回帰係数はいずれも有意である ( $p < 0.0001$ )。回帰式の切片をみると(2)式と(4)式で原点付近を通過し、回帰係数は樹高を約 20%過小に評価するが、LiDAR データによる報告 (3) などに合致した妥当な関係式で、両式は同等と考えられた。ただ、地上測定と LiDAR-DCHM

で求めた平均樹高はそれぞれ 7.9m と 5.3m で LiDAR による推定値は低く、観測時間差の 2 年間で樹木が成長して DSM の補正に影響したことが危惧された。

DCHM の差は複数コースと往復コースとも DCHM の場所によって変化し、地面の GCP セットでは北西側で複数コースの DCHM が高く、地面と樹頂の GCP セットでは逆に複数コースの DCHM が低くなった。この違いは GCP の配置と精度に由来すると考えられた。なお、複数コース中心部の約 70m 四方の範囲での DCHM の差は、樹冠の位置ズレの影響を考慮すると、前者で  $\pm 3m$  程度、後者で  $-5 \sim 0m$  程度だった。

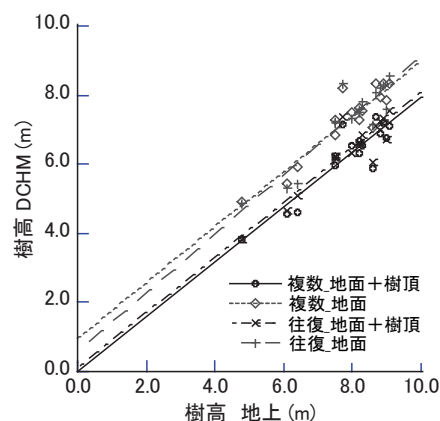


図-1. 地上測定と DCHM で推定した樹高の比較

### IV 結論

ドローン DSM の傾きは地表の被覆に影響されると考えられ、マッチングし易い露岩の多い往復コースで傾きが小さかった。本事例では樹高については地面と樹頂を GCP に利用したセットで妥当な推定結果となり、林地では地面の物体を GCP とした DSM の補正は困難であると判断された。LiDAR とドローンの観測年の隔たりによる樹木の成長の影響を避け、また、LiDAR データがない場合に備えて、今後は対空標識などを設置して DSM の精度向上を図る予定である。

### 謝辞

本研究は農水省戦略的プロジェクト研究推進委託事業「成長に優れた苗木を活用した施業モデルの開発 (18064868)」で実施し、岐阜県から LiDAR データとオルソ空中写真の提供を受けた。記してお礼申し上げる。

### 引用文献

- (1) 林野庁 (2017) 平成 28 年度 森林および林業の動向. 林野庁
- (2) 織田和夫 (2016) 解説: Structure from Motion (SfM) 第一回 SfM の概要とバンドル調整. 写真測量とリモートセンシング, 55:206-209
- (3) Næsset E (1997) Determination of mean tree height of forest stands using airborne laser scanner data. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 52:49-56