

UAVを用いた写真測量による里山木の成長量解析

村井 亮介^{1*} 高木 方隆²

(受領日：2022年5月31日)

¹ 高知工科大学地域連携機構
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

² 高知工科大学システム工学群
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

* E-mail: murai.ryosuke@kochi-tech.ac.jp

要約：筆者らは2019年4月から本学の里山研究フィールドで、UAVを用いた植生観測を月に2~4回の頻度で行なっている。UAVによる植生観測は、空中から連続したデジタル写真を撮影することで、植生の三次元形状を復元することができる。これまでに3年分の観測データを取得できたため、観測対象エリアにて樹木成長量の指標となる樹頂点の高さの変化を解析してみた。解析には2019年から2022年まで隔年5月頃の観測データを用いた。樹木の標高データは観測機器やシーンによって誤差が含まれるため、解析の前処理として標高値の正規化を行った。成長量は2019年からの樹頂点標高値の変化により評価した。その結果、観測対象エリア内では、特にスギの植生の成長量が多く見られ、3年間で1m程度の成長が見られた。また常緑広葉樹や落葉広葉樹でも、0.4m以上の成長が見られた。

1. はじめに

筆者らは本学の里山研究フィールドで、2019年4月からUAV (Unmanned Aerial Vehicle / ドローン) を用いた植生観測を月に2~4回の頻度で行なっている。これまで累計141回 (2022年5月末現在) の観測データを取得してきた。そして着葉シーズンの観測データは3年分蓄積するまでに至った。これまでの研究では色情報を用いた植生の生物季節観測を研究テーマ^{1,2)}や、植物の生物物理的特徴の指標として用いられるBRF (Bidirectional Reflectance Function / 2方向性反射係数) に関する研究を行っている。

一方で植生の三次元形状の変化については取り扱っていないため、植生形状の時系列変化に着目した。本研究ではこれまでの観測データをもとに、植生の三年間の形状の変化として成長量を把握することを目的とした。また時系列三次元データを用いる上で、今後議論が必要となる課題等についても確認を行う。

本紀要は、観測データについての解説 (第2節)

表1. 使用する観測データ

観測日	中央時間	天候	使用カメラ
2019/05/31	16:03	Cloudy	Zenmuse X5S
2020/05/15	12:53	Cloudy	Zenmuse X5S
2021/05/22	12:17	Cloudy	Zenmuse X5S
2022/04/27	13:24	Cloudy	Zenmuse P1

観測データは曇天時に撮影した。中央時間は撮影開始時刻から終了時刻までの中央の時間を示している。使用カメラが2種類ありそれぞれ解析データを作成するプロセスが異なる。

を行った上で、成長量の解析データ作成手法 (第3節・第4節)、解析結果 (第5節) の順で構成した。

2. 観測データの仕様

本研究で使用した観測データを、表1に示す。各年度ごとに着葉時期の5月頃の曇天時の観測シーンを1シーンずつ選んだ。これ以外にも取得した観測データは本学里山工学のページで公開している³⁾。

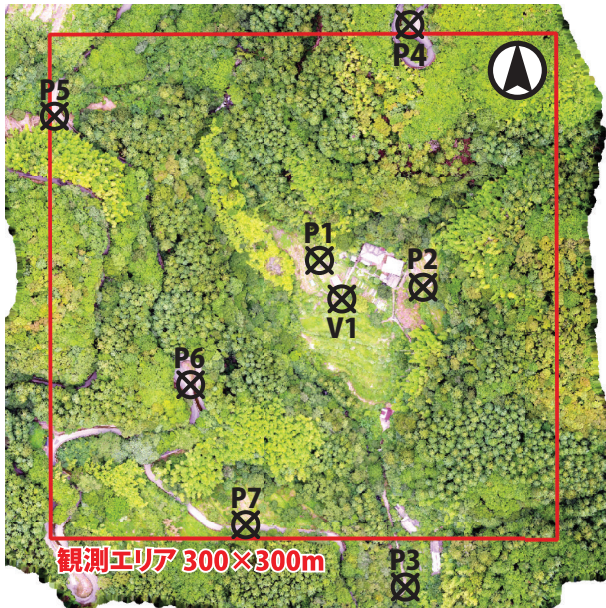


図1. 観測対象エリア

オルソ画像上が北、P1–P7は幾何補正に用いた評定点、V1は検証点を示す。赤枠で囲まれたエリアが、解析対象となる300m×300mの範囲を示す。

2.1 観測対象エリア

本研究では観測対象エリアとして、本学（香美キャンパス）から直線距離にして約3kmの位置する里山研究フィールド（33.64642°N, 133.71797°E）を用いた（図1）。UAV離発着はエリア中央の草地で行い、標高は126mである。地形環境は谷筋が2つあるため起伏に富んでいる。また周辺植生は人工林のスギやヒノキが多いが、落葉針葉樹、常緑広葉樹、落葉広葉樹、竹林や草地といった豊富な樹種が見られる。観測対象エリアには、撮影画像の位置を、XY平面上に重ね合わせることを目的として、幾何補正のための評定点をP1からP7まで7点設置している。さらに幾何補正結果を評価するための検証点を1点（V1）設置している。評定点や検証点の地上座標は、GNSS受信機（TOPCON社HiPerSR）を用いたスタティック測位により計測した。

2.2 撮影機材とカメラ設定

本紀要では2種類のUAV機体、2種類のUAVカメラを用いた（図2）。2019年度から2021年度の観測にはDJI社Inspire2を、2021年10月頃からは同社のMatrice300RTKを用いた。UAVに搭載するカメラの諸元と設定を表2に示す。UAVの撮影と操縦はメーカーが提供するオペレーションアプリによる自動飛行によって、それぞれInspire2は「DJI GO」、



図2. 左：Inspire2、右：Matrice300RTK

左上Inspire2は映像クリエイター向けの機体で、カメラはX5Sを搭載した。右上Matrice300RTKは産業用の機体で、写真測量用カメラP1を搭載した。

表2. カメラ諸元と設定

UAV	Inspire2	Matrice300
カメラ	Zenmuse X5S	ZENMUSE P1
解像度	3,956 × 5,280	8192 × 5460
レンズ	15 mm Lens	35 mm Lens
レンズ絞り	4.5	5.6
ISO	200	
シャッター速度	1/400~1/60 秒	
画像形式	JPEG	RAW
撮影枚数	約 220 枚	約 160 枚

Matrice300RTKは「DJI Pilot1」を用いた。撮影設定では、カメラを垂直下に向けた等距離間隔撮影を設定しており、Inspire2における撮影コース上のオーバーラップ率は90%、コース間のサイドラップ率は75%とした。Matrice300RTKは撮影コース上のオーバーラップ率は80%、コース間のサイドラップ率は65%に設定した。対地高度は、離発着地点で135m固定で設定した。その結果離発着地点における地上分解能は、Inspire2が約3cm、Matrice300RTKが約1.3cmであった。

3. 解析データの作成

次に観測データを基に、解析に用いる3次元デー

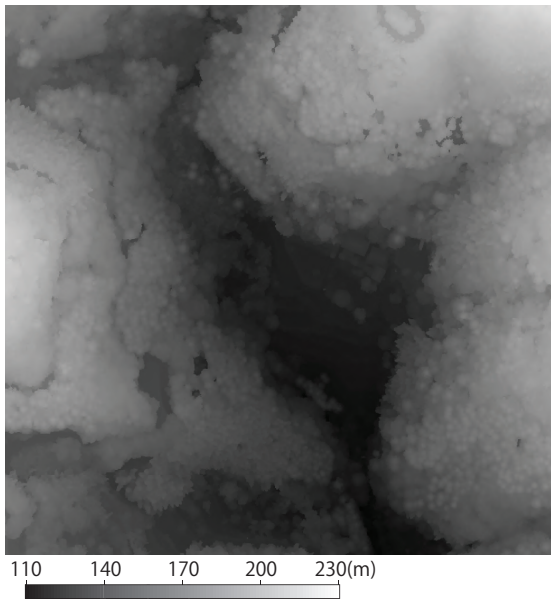


図3. 観測対象エリアのDSM

標高値が高いほど白く表現した。樹冠は地上より標高が高いため、地表よりも白い。

表3. 2022年DSMと各年DSMの比較

残差 (m)	2019	2020	2021
平均値	-0.186	-0.175	-0.213
標準偏差	0.073	0.079	0.132

2022年DSMから各年DSMを差し引いた残差の平均と標準偏差。2022年と比較して標高値がおよそ0.18m~0.21m低いことがわかった。

タを作成した。3次元データは、観測シーン毎に撮影された連続写真を用い、SfM (Structure from Motion / 三次元復元技術) 処理により取得した。SfM処理の際に、Matrice300はRTK (Real Time Kinematic) により、±1cm程度の高い精度で測位が行われているため、評定点を使わずに幾何補正ができるのに対して、Inspire2はGPS (Global Positioning System) の位置精度しか無いため、評定点を用いた幾何補正を行った。SfMから三次元データとして高密度点群データを作成し、次に点群データから解析に用いるDSM (Digital Surface Model / 数値表層モデル) を作成した (図3)。DSMは標高が高い地点ほど、pixelを白く表現した。DSMの標高値は、空間分解能20cmボクセル内に含まれる複数のポイントデータから最高標高値を持つポイントデータの標高値を採用した。観測対象エリアは標高値が最も低い後入川がおよそ110mとなっており、最標高値はおよそ230mの樹冠であった。

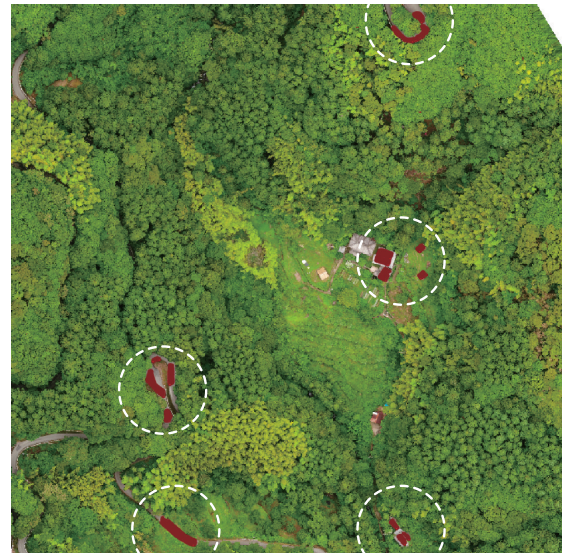


図4. 左: 標高値の正規化に用いる人工物の地点
白い点線で囲まれた赤色の点群が、正規化に用いる人工物の地点。約7500地点を目視で選定した。

4. 解析データの正規化

DSMの標高値は、Inspire2とMatrice300による計測値に差が生じるか確認した。まずDSMの精度が高いと考えられる2022年MatriceのDSMを基準として標高値の正規化を行った。正規化を行うためのサンプルデータを取得した地点を図4に示す。2022年DSMから各年毎のDSMを差し引いた残差の平均値と標準偏差を表3に示す。本研究では算出した残差の平均値をDSMの補正值とした。

5. 樹木成長量の解析

正規化後に各年のDSMを用いて樹木の成長量を解析した。図5は2022年から2019年のDSMを差し引くことで、成長量を算出した成長量マップである。成長量マップは緑が濃いほど成長量大きい。最も成長量大きい地点は、竹林やスギ林が多くみられる結果となった。しかし竹は幹が細く、観測シーン毎に樹頂点が定まらないために誤差を多く含んでいると考えられる。同様に特に落葉広葉樹の樹頂点は、針葉樹ほど明確ではなく、年度毎に異なる可能性もある。そこで各年の樹頂点を推定するために、まず2019年度のオルソ画像で樹頂点の画像座標を目視で確認し、画像座標を中心に5×5pixel範囲内における最高標高値を持つ地点を隔年毎に算出した。さらに樹頂点の標高値は、推定された樹頂点座標を中心とした3×3pixelの平均値を採用した。

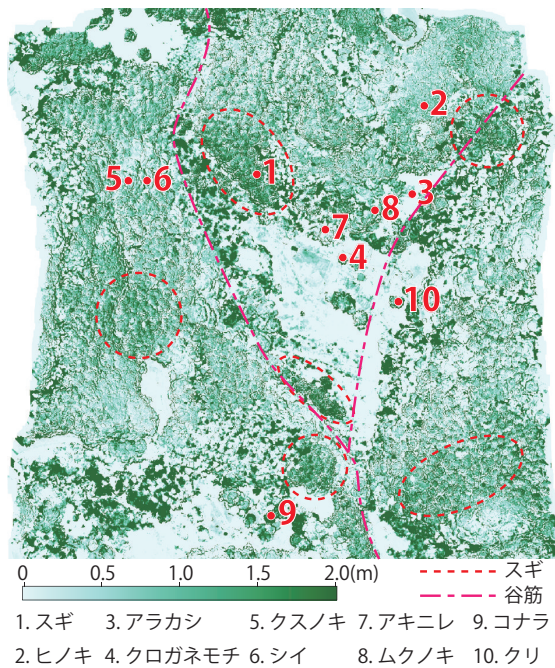


図 5. 2019 年 5 月からの成長量マップ

2022 年 DSM から 2019 年 DSM を差し引くことで、3 年間の成長量を算出した。緑色が濃いほど樹頂点の成長量大きいことを示している。赤い点線は最も成長量大きいスギの植林地である。マップ上の番号は図 6 で成長量をグラフにした樹種別解析地点を示している。

次に成長量マップ上の番号で示している樹種（単木）成長量グラフを樹種カテゴリ別に示す（図 6）。グラフは 2019 年からの、常緑針葉樹（スギ・ヒノキ）、常緑広葉樹（アラカシ・クロガネモチ・クスノキ・シイ）、落葉広葉樹（アキニレ・ムクノキ・コナラ・クリ）の樹頂点の成長量を示す。観測対象エリア内では、特にスギの植林の成長量が多く見られ、3 年間で 1m 程度の成長が見えられた。また常緑広葉樹や落葉広葉樹でも、0.4m 以上の成長が見られた。

6. おわりに

本研究では里山研究フィールドを対象に、樹木成長量の一指標として樹頂点高さの変化を解析した。解析は 2019 年から 2022 年まで隔年 5 月頃の観測データを用いて変化をグラフにした。その結果観測対象エリア内では、スギの成長量が多く見られた。また谷筋に成長量が多い植生の分布が見られたが、谷筋は成長の早い竹による影響も多く考察が難しい。今後は樹木の成長量の違いを考察する上で、樹高や樹幹胸高直径、葉密度やフェノロジーといった

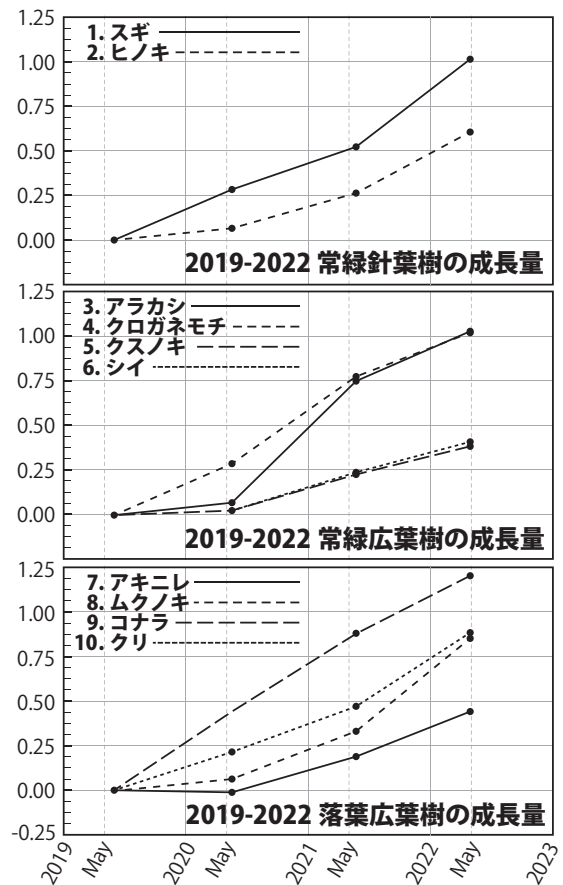


図 6. 常緑針葉樹の成長量

端末毎の植物データ、土壌や土地の傾斜、樹間や周辺植生といった樹木の生育環境データなど、成長量解析に関するデータが今後蓄積されることでより詳細な成長量解析が行えと考える。また、UAV-LiDAR や Handy-LiDAR による三次元データの取得により、詳細な成長量の解析手法の開発へ繋げたい。一方で計測機器の違いによる誤差も確認されたため、精度検証やキャリブレーションについても今後検討する必要があることがわかった。

文献

- 1) 村井亮介・高木方隆, “UAV 画像における植生観測のためのカゲ補正手法”, 写真測量とリモートセンシング, Vol. 59, No. 5, pp. 202–213, 2020.
- 2) 村井亮介・高木方隆, “UAV に搭載したデジタルカメラによる RGB 値を用いた植生のフェノロジー観測手法”, 応用測量論文集, Vol. 32, pp. 33–44, 2021.
- 3) 里山工学: UAV を用いた植生観測, <https://satoyama.kochi-tech.ac.jp/data/VegetationObservationUAV>, (2022 年 5 月 30 日確認) .

Growth Analysis of Satoyama Trees by Photogrammetry Using UAV

Ryosuke Murai^{1*} Masataka Takagi²

(Received: May 31st, 2022)

¹ Research Organization for Regional Alliances, Kochi University of Technology
185 Miyanokuchi, Tosayamada, Kami City, Kochi 782–8502, JAPAN

² School of Engineering, Kochi University of Technology
185 Miyanokuchi, Tosayamada, Kami City, Kochi 782–8502, JAPAN

* E-mail: murai.ryosuke@kochi-tech.ac.jp

Abstract: Since April 2019, the authors have been conducting vegetation observations using UAVs at The Satoyama Research Field of our university two to four times a month. Vegetation observation by UAV can restore the three-dimensional shape of vegetation by taking continuous digital photographs from the air. So far, observation data for 3 years have been obtained. The amount of growth of trees in the observation target area was calculated from the change in the height of the tree apex, which is an index. Observation data taken around May every other year from 2019 to 2022 was used for the analysis. Since the elevation data of trees contains errors depending on the observation equipment and scenes, the elevation values were normalized as preprocessing for analysis. The amount of tree growth was evaluated by the change in the elevation value of the tree apex from 2019. As a result, the growth of planted Japanese cedar was larger than that of other tree species in the observation target area with Japanese cedar growing about 1.0 m in 3 years. Evergreen broad-leaved trees and deciduous broad-leaved trees also showed growth of about 0.4 m or more.