

UAV オルソ画像を活用した標本調査による林分材積の推定^{*1}室木直樹^{*2}・野村祐紀^{*3}

室木直樹・野村祐紀：UAV オルソ画像を活用した標本調査による林分材積の推定 九州森林研究 72：129－131，2019 UAV (Unmanned Aerial Vehicle) で撮影した空撮画像をオルソ画像に加工し、図上から立木本数の計測を試みた。また、毎木調査のデータから N 本 (100 本単位) の単木データを無作為抽出する過程を 100 回繰り返し、サンプリングの誤差分布を確かめた。以上のことから、一般的な主伐期にある林分であれば、立木本数は 95 % 以上が推定できること、単木材積の分布にバラつきが無ければ、全体本数の 2～3 割程度の標本調査を行えば十分な材積を推定できることが示唆された。

キーワード：UAV，オルソ画像，森林調査，サンプリング，低コスト

I. はじめに

我が国では、戦後造成されてきた人工林が約 1,000 万 ha に及び、その半数以上が 10 齢級以上の主伐期を迎えるなど、森林資源を循環利用することが大きな課題となっている (林野庁, 2016)。また、国産材の素材生産量は平成 14 (2002) 年以降増加傾向にあり、平成 28 (2016) 年には 2,066 万 m³、中でも九州地域は、その約 4 分の 1 (499 万 m³) を占めるなど全国唯一の生産量を誇っている (林野庁, 2018)。

一方で、林業従事者は長期的な減少傾向にあり、従事者の高齢化率は全産業の 13 % を上回る 25 % (林野庁, 2018) であるなど、近年の素材生産量の増加傾向を鑑みても慢性的な人材不足にあると言える。他方、山元立木価格は昭和 55 (1980) 年をピークに下落したまま、近年は横ばいで推移しており、長期にわたる林業経営を行うためには、生産性の更なる向上とともに、育林経費の低コスト化や木材の販売収入の拡大が重要な課題となっている (林野庁, 2018)。

以上のことから、素材生産の前段階として行われる森林資源量把握のための森林調査 (以下、収穫調査) についても、人材不足や林業経営全般の低コスト化に対応すべく、簡素化や低コスト化の検討は喫急の課題である。そこで、正確な材積を把握するために行われてきたが、多大な労力・コストを要してしまう毎木調査を、森林・林業分野でも近年普及が進みつつある UAV (加治佐・寺岡, 2017) を活用して簡素化・低コスト化できないか検討することとした。中でも、導入経費が比較的安価で現場レベルに浸透しやすいカメラ付き UAV の活用に着目し、① UAV で撮影した空撮画像をオルソ画像に加工し、その画像から立木本数を計測する、② 現地調査は毎木調査ではなく部分的な調査にとどめ、オルソ画像で計測した立木本数との本数比 (本数拡大) で材積を推定する、という UAV と標本 (サンプリング) 調査の組合せ調査法の導入可能性について検証することとした。そこで本稿では、オルソ画像から立木本数を計測した結果 (精度や所要時間) を示す

とともに、標本調査を実施する際に推定精度を担保する上で必要となる標本数の目安について考察し、UAV を活用した標本調査による林分材積の推定が実用できるのか検証したので報告する。

II. 方法

1. UAV による空撮

平成 30 年 2 月から 3 月にかけて 4 箇所の試験地において空撮を実施した。各試験地は、宮崎森林管理署管内の国有林 (試験地 1～3：宮崎市，試験地 4：小林市) であり、試験地の概要は表-1 の通りである。UAV 本体は、DJI 社の Phantom 4 pro を使用し、アプリには、同社の自動飛行アプリ DJI GS pro を用いて、一定距離間隔を開けながら静止画像を連続撮影した。撮影時の設定はフォア・サイドともにオーバーラップ率を 80 %、飛行高度は現地の傾斜等を踏まえ、地表から 100～150 m、カメラの角度は -90° (真下向き) に固定し、撮影を行った。

表-1. 試験地の概要

試験地	林小班名	樹種	林齢	面積 (ha)	立木密度 (本/ha)
1	鰐頭77ら	スギ	68	1.42	630
2	鰐頭80い	スギ	61	2.86	845
3	鰐頭80ろ	スギ	62	2.02	1,107
4	夏木2030い1	スギ	52	0.73	1,441

2. オルソ画像の作成

オルソ画像の作成には、Agisoft 社の PhotoScan Professional 1.4 を使用した。空撮時に対空標識は設けておらず、各々の画像が持つ位置座標のみで合成を行った。合成時における各処理工程の設定は表-2、画像処理に使用した PC の性能は表-3 の通りである。

*1 Muroki, N., and Nomura, Y.: Estimating a stand volume from sampling survey using UAV ortho-photo.

*2 九州森林管理局宮崎森林管理署 Miyazaki district forest office, Miyazaki, 880-0844, Japan

*3 東北森林管理局米代西部森林管理署 Yoneshiroiseibu district forest office, Akita, 016-0815, Japan

表-2. 各処理工程の設定

処理工程	設定
アライメント	
精度	中 (5段階中3)
キーポイント制限	40,000点 (初期設定)
タイポイント制限	4,000点 (初期設定)
高密度クラウド構築	
品質	低 (5段階中2)
深度フィルタ	弱 (4段階中3)
メッシュ構築	中 (3段階中2)
テクスチャ構築	標準
出力解像度 (cm/pixel)	5

表-3. PC の性能

項目	性能
プロセッサ	intel® core™ i7-6700
CPU	3.4 GHz
メモリ (RAM)	16 GB

3. オルソ画像からの本数の計測

オルソ画像から主な造林樹種であるスギの本数を計測した。ヒノキ等その他の造林樹種や混交する広葉樹については計測の対象外とした。計測は、現場レベルでの使用を想定し、GIS 上で樹頂点と思われるところを目視判読し、ポイントデータ (シェープファイル) を打点し、そのポイントデータの数を数えるという手動計測を採用した (図-1 a, 1 b)。GIS ソフトは、QGIS 2.18 を使用した。

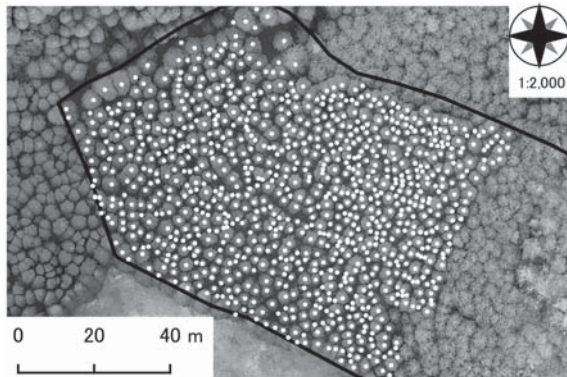


図-1 a. 解析のイメージ (試験地 4)

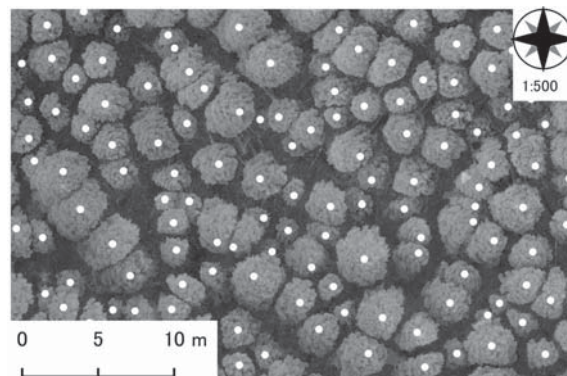


図-1 b. 試験地 4 の拡大図 (白点が打点)

4. 現地調査

比較検証を行うため、4箇所全ての試験地において毎木調査を行い、立木本数、胸高直径及び樹高を計測し、林分材積を算出した。胸高直径については、全ての立木で計測したが、樹高については、標準地 (面積比 5%) を設置し、その中の立木のみ計測し、その他の立木の樹高は樹高曲線法で推定した。現地調査は空撮に先立ち、平成 29 (2017) 年 7 月から 11 月に行った。

5. 標本数の目安の算出

毎木調査を標本調査に代替するためには、標本調査で正確な林分材積が推定されることを担保しなければならない。そこで、標本調査に求められる推定水準を、毎木調査で求められる林分材積に対して、全てのサンプリングにおいて誤差 10% 以内、かつ、90% 以上のサンプリングで誤差 5% 以内に収まることとし、この条件を満たす標本数 (以下、必要推定水準) を算出することとした。

具体的には、現地調査 (毎木調査) データから N 本の単木データを無作為抽出し、それらから求めた平均単木材積に全体本数を掛け、林分全体の材積を推定するという過程を 100 回繰り返した。その後、毎木調査で求めた林分材積との誤差を求め、その誤差分布が必要推定水準を満足するかどうかを確認した。無作為抽出する本数 N は、100 本単位とし、必要推定水準を満たすまで 100 本ずつ増やした。無作為抽出は、Microsoft 社の Excel 2010 を使用した。

Ⅲ. 結果と考察

1. 立木本数の推定率

現地調査の立木本数 (実本数) とオルソ画像から計測した立木本数 (推定本数)、推定率 (推定本数 ÷ 実本数) 及び 1,000 本あたりの判読時間を表-4 に示す。推定率は立木密度の増加に伴い減少する傾向がみられた。しかしながら、一般的な主伐時期の立木本数 (例えば、1,000 本/ha 未満) であれば、95% 以上の立木を計測できる可能性が考えられた。1,000 本あたりの判読時間は 30 分程度であり、立木密度に依らなかった。

表-4. 判読結果

試験地	実本数 (本)	推定本数 (本)	推定率 (%)	立木密度 (本/ha)	1,000本あたりの判読時間 (分)
1	895	895	100.0	630	28
2	2,417	2,343	96.9	845	24
3	2,236	2,148	96.1	1,107	30
4	1,052	981	93.3	1,441	21

2. 必要推定水準を満たす標本数の目安

必要推定水準を満たした場合の標本数、実本数に対する本数比率、各試験地の平均単木材積、標準偏差等を表-5 に示す。また、各試験地の単木材積別の頻度分布を図-2 に示す。単木材積のバラつきが小さいほど本数比率は少なく済む傾向にあった (表-

5)。試験地4のように大小さまざまな個体が混在するなど、分布にバラつきがある(図-2)箇所であれば、実本数の2~3割程度の標本数で必要十分な材積を推定することができると考えられた(表-5)。また、必要推定水準を満足した場合、90%以上のサンプリングは誤差5%以内に収まっていることも確認された(表-5)。

表-5. 標本数の目安

試験地	立木密度 (本/ha)	必要な 標本数 (本)	本数 比率 (%)	平均単木 材積± 標準偏差 (m ³ /本)	誤差5% 以内の 割合(%)
3	1,107	300	13.4	0.91±0.47	94
2	845	500	20.7	0.91±0.58	94
1	630	300	33.5	1.28±0.66	98
4	1,441	500	47.5	0.84±0.67	93

*本数比率の順で並べ替えてあることに留意

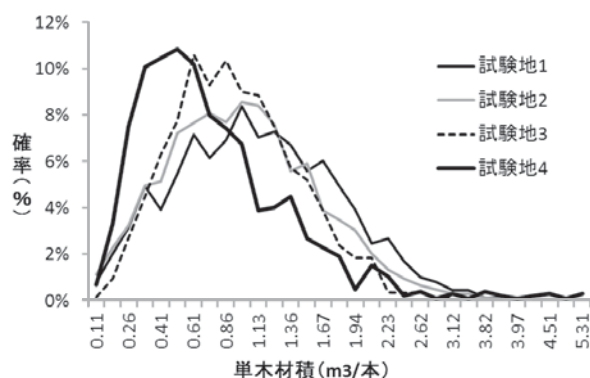


図-2. 各試験地の単木材積の頻度分布

3. 立木本数を推定するまでに要する総時間

空撮に要した時間を図-3, オルソ画像の作成に要した時間を表-6に示す。空撮に要した時間は、面積に応じて多くかかるものの概ね10~15分程度(図-3), 画像の作成に要した時間は20分程度であった(表-6)。以上のことより、判読時間を加えても、haあたり1時間程度で立木本数を推定することができると考えられる。

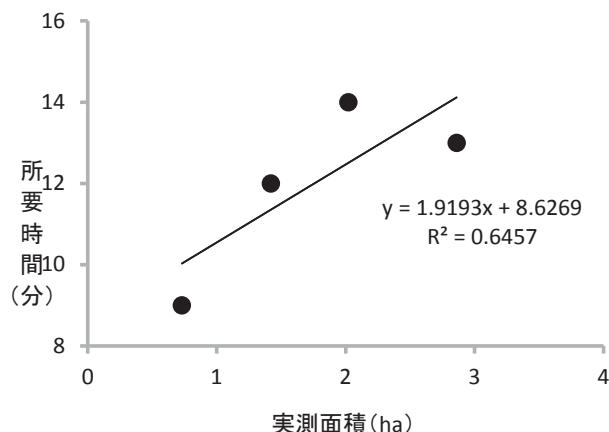


図-3. 空撮に要した時間

表-6. オルソ画像の作成に要した時間

試験地	処理枚数(枚)	処理時間(分)	面積(ha)
1	65	12	1.42
2	74	18	2.86
3	80	25	2.02
4	68	24	0.73

IV. まとめ

一般的な主伐期の林分を対象とした場合、UAVの空撮画像から作成したオルソ画像で、立木本数をほぼ正確に計測できることが確かめられた。また、単木材積の分布に極端なバラつきがなければ、2~3割程度の標本調査でほぼ正確な材積を推定することも可能であることを確かめられた。さらに、立木本数を計測するために必要な時間もhaあたり1時間程度であり、haあたり15~20時間程度を要する現地調査(当森林管理署の実績; 室木、私信)に比べて圧倒的に少なく済むことも確かめられた。

本稿の条件では、推定本数・標本材積ともに5%程度の誤差を含むものから、林分材積としては、最悪のケースとして10%程度の推定誤差を持ち得る場合も想定される。しかしながら、10%程度の誤差は許容範囲であり、それ以上に収穫調査経費を低減できるのであれば差し支えないと考えている。以上のことより、UAVの活用と標本調査の組合せで、毎木調査による収穫調査を代替し、収穫調査にかかるコストや労力を削減できると考える。

今後は、立木本数を自動で計測する局所最大値フィルタ法(村上・橋本, 2012)の応用により、本数計測の簡素化の検証を進めるほか、試験地を増やし立木本数の推定率を正確に把握するとともに、数え漏れや二股木の重複計測の発生傾向についても検証を加え、同手法による収穫調査の導入に向けデータの蓄積を進めたい。

また、空撮時の天候や日射の入り方がオルソ画像の画質に影響を与えること、特に、日射が強い日時に撮影した画像では、影部分が濃くなり下層木の判読に難を呈したことなどから、撮影方法についても検証を加えたい。

引用文献

- 加治佐・寺岡(2017)九州森林研究70:175-176
 村上・高橋(2012)新大農研報65(1):49-55
 林野庁(2016)森林・林業基本計画
 林野庁(2018)平成29年度版森林・林業白書
 (2018年10月1日受付;2018年12月19日受理)