

石川県のスギ人工林における UAV を用いた林分材積の推定

－2017 年版材積推定モデルの検証－

矢田豊（石川県農林研）、木村一也（石川県森連）、渥美幸大（石川県農林研）、青木充広（コマツスマートコンストラクション推進本部）、山路佳奈（石川県森連）、川崎萌子（石川県農林研）、白井教男（コマツ建機マーケティング本部）・三谷典夫（コマツ粟津工場）

石川県内のスギ人工林分 8ヶ所で UAV にて空撮画像を取得し、SfM により生成した 3 次元点群データを使用して単木材積の推定を試みた。単木材積は、林分密度管理理論の関係式により推定した。各調査地に設けた 0.05ha の円形プロット 2~5 点の材積計測値と比較したところ、RMSE : 0.1~0.7m³程度の推定精度が得られ、また樹高の計測精度が十分向上した場合には、同 0.1~0.5m³程度の精度が得られる可能性が示された。

キーワード：UAV、樹高、材積、SfM、密度管理図

I はじめに

伐期を迎えた人工林が増加する中、収益や労働力の不足等により生産量が上がらないことが、全国的な課題となっている。高収益を上げるために事前の資源量把握が必要不可欠であり、その効率的な実施のため、(株)小松製作所(コマツ)が建設現場用測量システムとして実用化している、小型無人航空機(UAV)による 3 次元測量システム(3)を応用した針葉樹人工林の材積推定手法を構築・検討したので、報告する。

II 方法

1. 調査地

調査地の概要を表-1 に示す。金沢市竹又の調査区(27 年生)以外は約 50~90 年生だった。津幡町瓜生の調査地は過去の冠雪害による折損木が多く、立木密度が低かった。

2. UAV を用いた材積推定

UAV により連續撮影した写真(林冠表面解像度 1~2cm)から SfM により 3 次元点群データを生成し、樹頂点の 3 次元座標を局所最大値フィルター法(4)により推定した。樹高(H)を、各樹頂点の標高と国土地理院の数値標高モデル(5m または 10m メッシュ、航空レーザ測量値)補間値の差分から推定した。樹頂点の平面座標からボロノイ多角形を生成し、その面積を各個体の樹冠投影面積の近似値とした。なお、林冠が明らかに疎開していた瓜生については、ボロノイ多角形(a)と同じ面積の円(b)を生成し、a と b の交差図形の面積を樹冠投影面積の近似値として扱った。これらの樹冠投影面積近似値の逆数を対象個体における立木密度(N)と考え、密度管理理論の関係式(1)により、単木材積(V)を推定することとした。

$$\log V = 2.10947 \log H - 0.49901 \log N - 1.51866$$

表-1. 調査地概要

調査地	UAV 調査年月	所有形態	調査面積(ha)	標高(m)	林齡(年)	立木密度(本/ha)	円プロット数(箇所)	平均DBH(cm)	平均樹高(m)
志賀町居	2016.6	私有林	1.5	110	52	820	4	32.1	21.6
白山市桑島	" .8	県有林	1.2	860	77	1,065	3	33.2	21.3
小松市遊泉寺	" .9	私有林	12.0	190	48~70	488	4	38.8	26.6
金沢市竹又	" .10	市営林	1.7	150	27	1,024	5	27.4	17.7
津幡町瓜生	2017.4	生産森組有林	1.4	220	57~64	396	5	36.1	20.0
能登町宇出津	" .6	森林組合有林	2.0	150	57~89	520	4	52.3	28.0
志賀町上棚	" .6	生産森組有林	0.9	70	62~66	1,050	2	30.7	22.3
小松市松岡	" .8	森林組合有林	1.8	280	66~71	550	4	39.5	23.6

YADA Yutaka*(Ishikawa Agric.For.Res.Cent.), KIMURA Kazuya(Ishikawa Pref.Fed.For.Own.Co-op.Assoc.), ATSUMI Kota(Ishikawa Agric.For.Res.Cent.), AOKI Mitsuhiro(KOMATSU), YAMAJI Kana(Ishikawa Pref.Fed.For.Own.Co-op.Assoc.), KAWASAKI Moeko(Ishikawa Agric.For.Res.Cent.), SHIRAI Norio, MITANI Norio(KOMATSU)

Estimation of stand volume using UAV in Ishikawa prefecture's Sugi plantation forest

-Validation of 2017 version volume estimation model-

e-mail:yada@pref.ishikawa.lg.jp

また、より精度の高い推定式を得る目的で、下記地上調査による単木材積計測値との残差平方和を最小にする定数の組み合わせを、MS-Excel のソルバー機能 (GRG 法) により求めた。

3. 地上計測

上記手法による単木材積の推定値の精度を検証するため、各調査地において面積 0.05ha の円プロット 2 ~5ヶ所を設け、各立木の DBH、樹高、相対位置等を計測した。DBH の計測には輪尺を用い(大径木では巻尺による周囲長計測値を円周率で除して計算)、樹高と立木の円プロット中心からの相対位置の計測には Laser Technology 社製 TruPulse360° を用いた。樹高は、2 人で異なる方向から 2 回ずつ計 4 回計測し、平均値を求めた。また 4 回の計測値の範囲が 1m を超える場合は再測し、正確を期した。材積は 2 变数材積式(2)により計算した。円プロット中心の経緯度を、Garmin 社製 GNSS 受信機 OREGON450TC の平均化機能を使用して、誤差表示が 1~2m になるまで測位して求め、上記各立木の相対位置を経緯度値に換算し、UAV による樹頂点検出個体と照合した。

II 結果および考察

白山市桑島と能登町宇出津は 3 次元点群データの生成に不備があったため、検証対象から除外した。各調査地における検証対象木本数は、61~120 本となった。

各調査地における、樹高の地上計測値に対する UAV 計測値の RMSE は、町居：1.5m、遊泉寺：4.4m、竹又：1.4m、瓜生：2.2m、上棚：2.7m、松岡：3.7m、全体：2.7m となった。

単木材積の UAV 計測値と地上計測値の関係を図-1 に示す(検証①a)。上述のように、UAV による樹高の計測誤差が比較的大きく、このことが材積の推定精度に影響している可能性が高いため、UAV による樹高計測値の精度が地上計測と同等程度に向上した場合を想定し、材積計算に用いる樹高値に地上計測値を充て、材積を試算した(検証②a)。これらの推定値と、定数を最適化した場合の推定値(検証①b および検証②b)から、調査地毎の単木材積の平均値を求め、地上計測値の平均値と比較した結果等を表-2 に示す。検証①

では RMSE : 0.1~0.7m³、検証②では同 0.1~0.5m³となり、検証②の林分ごとの平均値では、低密度であった瓜生を除き 10%以内の誤差となった。密度管理論関係式を使用することで、新たな調査林分・地域においてその都度地上調査を実施せずとも、林分の平均値では実用レベルの推定値を得られる可能性が示唆された。

謝辞

本調査にご理解・ご協力をいただいた調査対象林分の所有者・管理者および関係各位、並びに調査実施にご協力いただいたコマツ関係ご担当各位に、厚く御礼申し上げる。

引用文献

- (1) 林野庁 (1979) 人工林林分密度管理図の作成について 裏東北・北陸地方 スギ. 20pp
- (2) 林野庁計画課 (1970) 立木幹材積表-西日本編-. 319pp
- (3) 四家千佳史ら (2015) 建機メーカーが描く ICT 建機施工を中心とした建設現場の未来(「スマートコンストラクション」の導入). コマツ技報 61 (168) 2-6
- (4) Van-Sinh N et.al. (2013) Simplification of 3D Point Clouds sampled from Elevation Surfaces. 21st International Conference on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision. 60-69

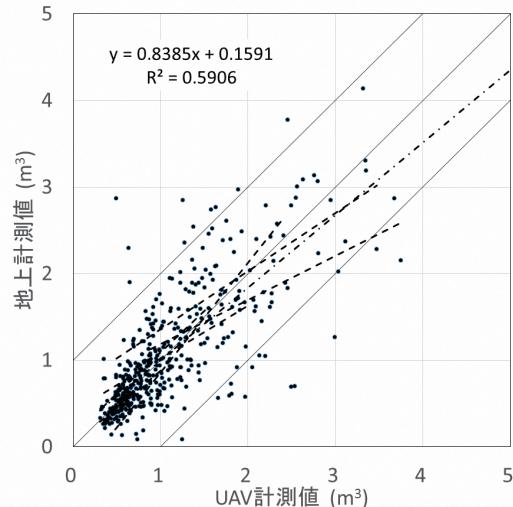


図-1. 単木材積の UAV 計測値と地上計測値

実線 : $y=x$ および $y=x \pm 1$

一点鎖線 : 全体の回帰直線

破線 : 各調査地の回帰直線

表-2. 各調査地の材積 (m³) 平均値等

地上計測	UAV 計測の樹高を使用(検証①)				地上計測の樹高を使用(検証②)				
	既定の定数(検証①a)		最適化定数(検証①b)		既定の定数(検証②a)		最適化定数(検証②b)		
	推定値	誤差	RMSE	推定値	誤差	RMSE	推定値	誤差	RMSE
町居	0.87	1.06 (-18%)	0.33	1.06 (-17%)	0.37	0.92 (-5%)	0.29	0.93 (-6%)	0.30
遊泉寺	1.83	1.63 (-12%)	0.69	1.52 (-20%)	0.69	1.88 (3%)	0.50	2.00 (9%)	0.51
竹又	0.49	0.55 (-11%)	0.12	0.60 (-18%)	0.15	0.50 (1%)	0.10	0.49 (0%)	0.09
瓜生	0.91	0.81 (-13%)	0.30	0.83 (-10%)	0.29	0.77 (-18%)	0.29	0.76 (-20%)	0.24
上棚	1.00	0.95 (-5%)	0.47	0.98 (-1%)	0.45	0.93 (-7%)	0.33	1.04 (4%)	0.28
松岡	1.51	1.71 (-12%)	0.67	1.60 (5%)	0.60	1.46 (-3%)	0.50	1.46 (-4%)	0.38
全体	1.04	1.04 (1%)	0.45	1.03 (0%)	0.43	1.01 (-3%)	0.34	1.04 (0%)	0.31