

国有林における無人航空機の計測的活用

中部森林管理局 飛騨森林管理署 三谷 果穂
本間 丈瑠

要旨

無人航空機（ドローン）で撮影した空撮画像からオルソ画像及び 3D モデルを作成し、これらを用いてドローンの計測手段としての活用可能性を検証しました。①単木の座標指定 ②樹冠占有面積の測定 ③樹高の測定 について検討したところ、特に②樹冠占有面積の測定についてはドローンの計測精度が高いということが分かりました。今後検証を深めることで、多様な森林づくりや施業の低コスト化に資するものと考えます。

はじめに

林業でのドローンの利用は国有林において多く、災害時の状況把握や資料用画像の撮影などに使用されています。しかし、ドローンの研究が進んでいる中で、これらの利用は視覚的なものに留まっており、国有林としては林業におけるドローンの活用やその実証を率先して進める必要があります。

今回は、国有林で現在保有している資材と実行体制によるドローンの計測的活用の可能性を検証しました。

1. オルソ画像・3D モデルの作成

ドローンには Phantom4 Pro (DJI 社、写真 1) を用い、iPad アプリ GO4 及び GS Pro (共に DJI 社) により、自動飛行で撮影を行いました (表 1)。オペレーターの総飛行時間は、いずれも航空法において目視外飛行等の許可の目安となっている 10 時間未満です。

撮影した画像から、解析ソフト PhotoScan Professional 版 (Agisoft 社) によってオルソ画像及び 3D モデルを作成し、検証に供しました。



写真 1 Phantom4 Pro
(DJI 社 HP より)

表 1 主な設定・自動算出項目

撮影地		水洞谷国有林	彦谷国有林	ウレ山国有林		
検証		(1)・(2)	(1)	(3)		
自動算出・設定	高度	80-150m	70m	50m	70m	120m
	オーバーラップ率	90%	90%	90%	90%	90%
	航路上航路間	60%	70%	75%	75%	75%
	区域面積	2.5ha	3.9ha	0.4ha	0.4ha	0.4ha

2. 検証

(1) 単木の座標指定

林野庁では多様な森林づくりのため、伐採箇所において有用広葉樹等を母樹として残すことにより、低コストな天然更新を促進しています。オルソ画像上の置情報を基に、保残木を地理座標によって指定することが可能であるかを検証しました。

① GIS ソフト上の位置情報

座標が既知の測点 1、2 上に上空から見えるマーカーを設置し、これらが写るようにオルソ画像を作成しました(図 1)。オルソ画像を PhotoScan、国有林 GIS 及び GyoroView でそれぞれ読み込み、ソフト上のマーカーの座標を PhotoScan 上の座標や実測値と比較しました。実測値については、基準点の地域座標の国有林境界測量成果を世界測地系平面直角座標 7 系に再計算した上で、測点 1 については開放測量で、測点 2 については後方交会法で測量を行いました。なお、国有林 GIS については世界測地系の座標表示で 1/10 秒まで、GyoroView では 1/100 秒までとなり、表示の限界による誤差が生じることに注意が必要です(国有林 GIS では南北 3.08m、東西 2.50m、GyoroView では南北 0.308m、東西 0.250m)。

結果、どのソフトにおいても実測値との誤差が 1~4m ありました(図 2)。

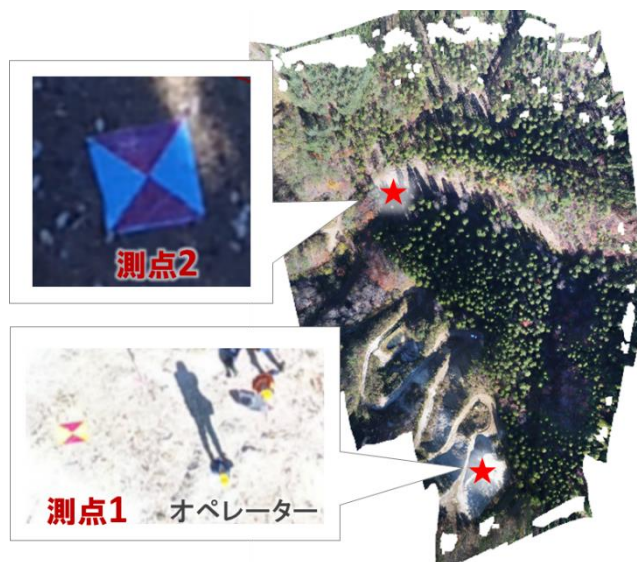


図 1 マーカー位置

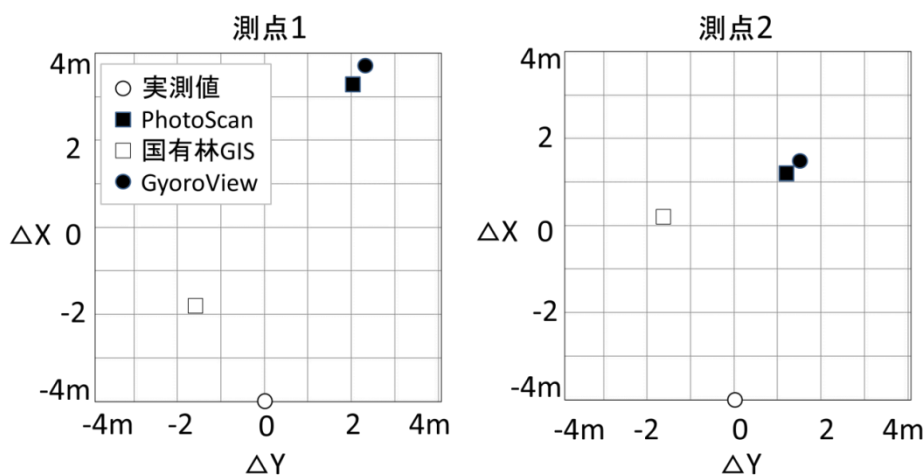


図 2 各 GIS ソフトでの位置座標比較

② オルソ画像の位置情報補正

次に、座標が既知の測点 1～9 上に上空から見えるマーカーを設置し、これらが写るようにオルソ画像を作成しました。このうち 4 点について、PhotoScan で座標を入力し、オルソ画像の位置情報の補正を行いました。残りの 5 点について、補正前後の座標を実測値と比較しました。

結果、補正前は 2m 前後あった誤差が、補正によって 5～12cm に縮まりました（図 3）。

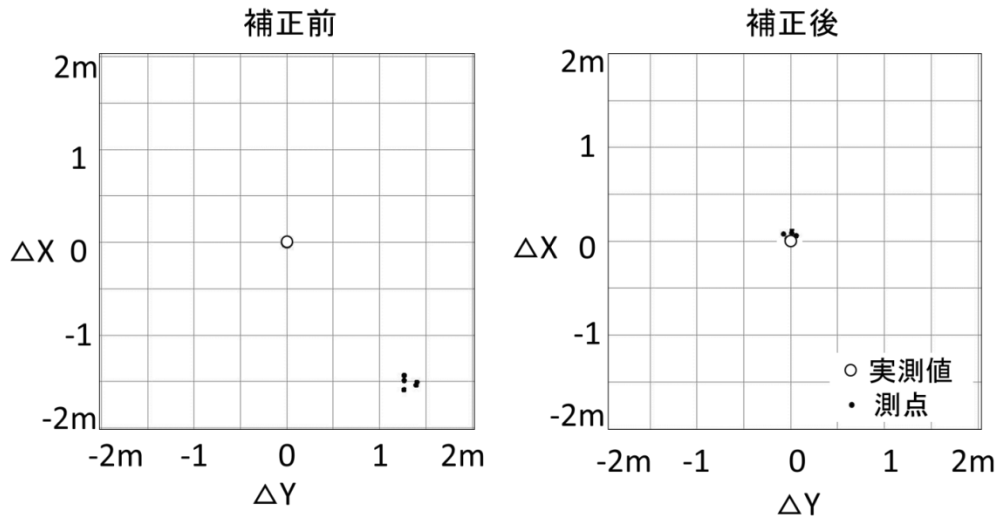


図 3 補正前後の位置座標比較

1 より、ドローンで作成したオルソ画像の位置情報には数 m の誤差があり、GIS ソフトで読み込むことでさらに誤差が生じることが分かりました。そして 2 より、補正によってオルソ画像の位置情報の誤差を数 cm から十数 cm 程度にまで縮減できることも分かりました。

実際に現場では、受信環境の悪い林内で携帯用 GPS 機器を用いて指定木を探すこととなり、誤差が 10m 以上出ることが推測されます。指定時の誤差を抑えることができて、追跡時の誤差を考慮すると、現時点では座標のみでの指定は困難と考えられます。ただし、精度の高い位置情報を持つオルソ画像の作成が可能であることが分かったため、保残木の指定以外への活用が期待されます。

（２）樹冠占有面積の測定

有用広葉樹を保残した場合、保残木の樹冠占有面積を植栽区域から控除することによって、施業の低コスト化を図ることができます。そこで、オルソ画像や 3D モデルを用いて樹冠占有面積を測定することが可能であるかを検証しました。

① マーカー面積の比較

検証（１）で使用したマーカー 2 点の面積について、3D モデルを読み込んだ PhotoScan、オルソ画像を読み込んだ国有林 GIS 及び GyoroView で測定を行い、実測値と比較しました。

表 2 マーカー面積比較

(㎡)	実測値	ドローン計測		
		PhotoScan	国有林 GIS	GyoroView
測点 1	0.260000	0.268581 (103%)	0.300000 (115%)	0.400000 (153%)
2	3.240000	3.167000 (98%)	3.100000 (98%)	3.200000 (99%)

結果は、PhotoScan、国有林 GIS、GyoroView の順で実測値に近い値となりました（表 2）。また、国有林 GIS については ha 表示で小数点以下第 5 位までが表示の限界であったため、㎡表示では小数点以下第 1 位までの測定精度となりました（図 4 上）。GyoroView については、測定したい図形を描画する際に頂点を置くポイントが南北 0.2m×東西 0.8m のメッシュ上に限られていたため、正確にマーカー面積を測定することができませんでした（図 4 下）。

② 樹冠面積の比較

1 本の樹木（スギ）について樹冠面積を、同様に PhotoScan 等で測定し、加えて樹冠投影図や OWL（(株) アドイン研究所、(株) 森林再生システム、写真 2）を使用し、ドローン以外の測定方法との比較を行いました。樹冠投影図は枝先から幹までの距離を 8 方向から測定して作成し、CAD で面積を算出しました。OWL は赤外線レーザーによる森林三次元計測システムであり、測定した樹高と胸高直径のデータを用いて統計的に樹冠面積を算出することができます。

樹冠面積の測定については基準となる実測値がないため、マーカー面積の比較において実測値に最も近い PhotoScan の計測結果を仮に真値としました。その結果、国有林 GIS での測定結果は PhotoScan の結果に近似する値となりました。また、樹冠投影図や OWL の結果は、PhotoScan の結果からは大きく外れた値となりました。

以上の結果より、樹冠占有面積の測定に関してドローンの利用可能性は高いと言えます。中でも PhotoScan の精度は高く、国有林 GIS での測定も現場での精度としては十分と考えられます。今後は、精度の要求基準や測定条件の設定のため検証を深める必要があります。

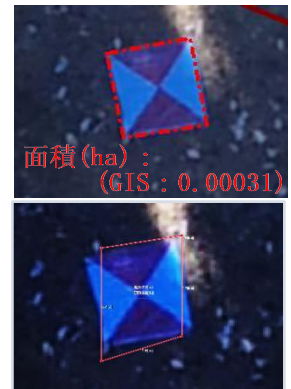


図 4 表示上・計測上の限界

(上) 国有林 GIS

(下) GyoroView

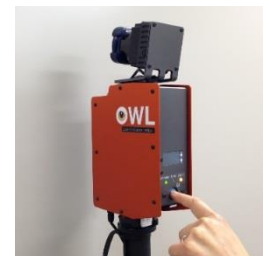
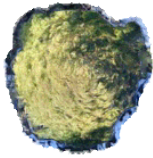
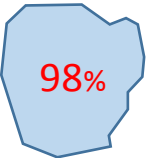
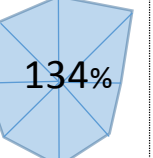
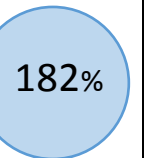


写真 2 OWL

(アドイン研究所 HP より)

表 3 樹冠占有面積比較

		ドローン計測			樹冠 投影図	OWL
		PhotoScan	国有林 GIS	GyoroView		
面積(m ²)	—	17.69	17.40	16.20	23.69	32.15
樹冠形状						

(3) 樹高の測定

国有林では、樹高の測定は主に目視で行っており、その精度は経験に依るところが大きいのが現状です。機械的に樹高を測定することができれば、主観を排除し、より正確な収穫調査を行うことが期待できます。そこで、ドローンを用いた樹高の計測が可能であるかを検証しました。

この検証では高度 50m、70m、120m で撮影を行い、3 つの 3D モデルを作成しました。それぞれのモデルにおいて、7 本の樹木（スギ）について PhotoScan で樹高を測定しました。トランシットでの計測結果を真値として、他にバーテックス、OWL での計測結果との比較を行いました。

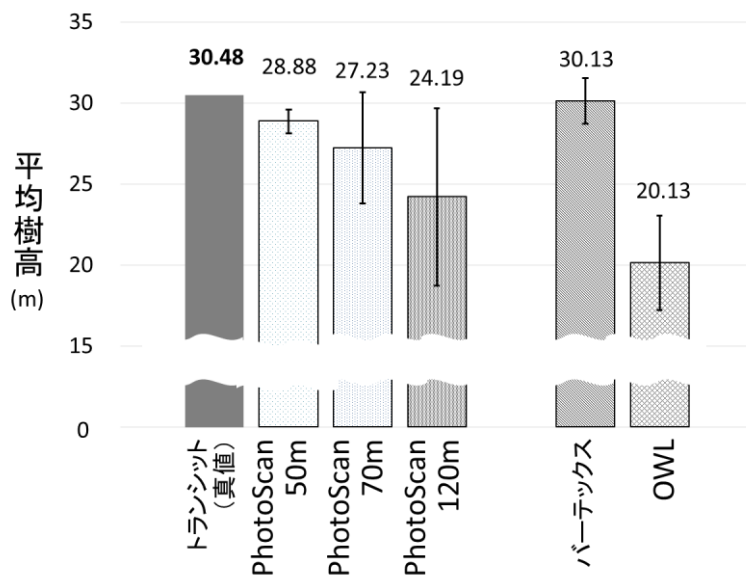


図 5 樹高比較

結果を見ると、7 本の平均樹高は約 30m ですが、PhotoScan の測定ではどれもそれより低い値となりました（図 5）。エラーバーは標準偏差を示していますが、高度が低いほど誤差のばらつきが小さいことも分かりました。平均樹高と標準偏差のどちらの点においても、高度の低いほうが計測精度は高いと言えます。

また、バーテックスでの計測は今回の比較においては最も真値に近い結果となり、一方 OWL は最も真値から外れた結果となりました。OWL のレーザーの届く範囲が 20m 前後までだったことが原因ではないかと推測しています。

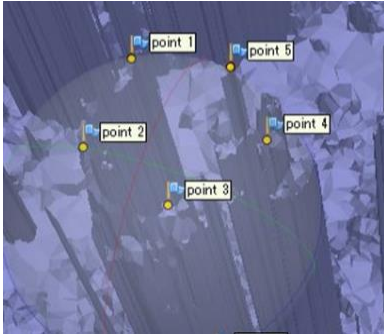


写真 3 円筒状に表示された木

高度は低いほうが測定精度が高いと分かった反面、低高度で撮影を行うには条件があることも分かりました。高度 50m で航路間オーバーラップ率を 60%へ下げて撮影を行ったところ、3D モデル上の梢端部が欠け、樹木が円筒状に表示されました（写真 3）。低高度で 3D モデルを適切に構築するためにはオーバーラップ率を高く設定する必要があると考えられます。今後は高度とオーバーラップ率の関係究明と適切化による計測精度の向上を検証したいと考えています。

おわりに

表 4 検証結果まとめ

目的	1. 単木の座標指定	2. 樹冠占有面積測定	3. 樹高測定
結果	補正により実測値との誤差はわずか	ドローンを用いた計測は精度が高い	実際より低く、高度が低いほど精度が高い
考察	追跡時の誤差を考慮すると、利用は困難	面積の測定への利用可能性が高い	精度を安定できれば利用可能性あり
課題	高精度位置情報を持つオルソ画像の活用	試行を通した課題の洗い出し	測定条件の最適化による精度向上

以上、まとめると表 4 のようになります。3 つの検証の中で、特に樹冠占有面積の測定についてはドローンの利用可能性が高いという結果になりました。今後検証を深めることができれば、実務にもつながるのではと考えています。

今回の検証を通して、精度の点で課題があるものの、現時点で保有の資材を用いて、経験の浅いオペレーターでも各種の森林計測を行うことが、方法としては可能であると分かりました。今後は、計測精度の向上と併せて、国有林野事業でドローンを使うためにどこまでの精度を求めるのか、基準の設定が必要になると考えます。

最後に、本研究にご協力いただきました、一般財団法人 日本森林林業振興会 名古屋支部 業務部長代理 影山成生様、森林調査部主任 片野康二様、中部森林管理局 中信森林管理署 総括地域林政調整官 谷澤恭子様、中部森林管理局 技術普及課 企画係長 志水俊幸様、特定非営利活動法人 農林業経営支援センター 事務局長 廣田智行様、FOREST MEDIA WORKS(株) CEO Planning Producer 檜崎達也様、Planning Designer 桜木摩耶様に心より感謝を申し上げます。

参考文献

・加治佐剛・鎌田侑成・寺岡行雄（2017）UAV を用いた SfM による単木 3D モデリングー画像オーバーラップ率が 3D モデルの精度に与える影響ー。九州森林研究 No.70 : p157-159