

報 文

UAV と SfM を用いた森林計測における位置精度の検証*1

小川みゆき*2・太田徹志*3・溝上展也*4・吉田茂二郎*4

小川みゆき・太田徹志・溝上展也・吉田茂二郎：UAV と SfM を用いた森林計測における位置精度の検証 九州森林研究 70：145－147，2017 森林現況の把握は、持続可能な森林管理において重要である。近年では、安価で空中写真撮影が可能な無人航空機（UAV）と SfM 技術の登場により、空中写真を用いた 3 次元モデルの作成が容易となっている。そこで本研究では、UAV から撮影した空中写真と地上調査による林分構造推定モデルの開発を目的とし、今回はその前段階として位置精度の検証を行った。まず、SfM ソフトウェアを用いて、GCP を用いて位置補正した 3 次元モデルと位置補正していない 3 次元モデルの 2 種類を作成した。次に、両者の位置精度を水平誤差と垂直誤差の観点から比較した。その結果、位置補正を行うことで補正前よりも平均で水平誤差が 6.23 m、垂直誤差が 28.87 m 軽減された。しかし、補正を行った後でも垂直誤差が 11.89 m あり、このままでは林分構造推定モデルを作成することが難しいといえた。

キーワード：UAV、SfM、DSM、位置精度

I. はじめに

森林現況の把握は持続可能な森林管理において重要である。広域の森林現況を把握する手段としてリモートセンシングがあり、従来から空中写真などが利用されてきた。近年では、航空機 LiDAR、高分解能衛星データ、デジタル空中写真などの新たな技術が登場し、これらの森林管理への応用が国内外で議論されている（White *et al.*, 2016）。その中でも、異なる方向から撮影した複数枚の写真から対象物の 3 次元構造を復元する SfM（Structure from Motion）技術の開発により（Snavely *et al.*, 2008）、デジタル空中写真から作成した 3 次元モデルの活用に注目が集まっている（Ota *et al.*, 2015）。さらには、小型無人航空機（以下、UAV：Unmanned Aerial Vehicle）の登場により、誰でも安価に空中写真を撮影できる状況が整いつつあり、UAV と SfM を組み合わせた手法が期待されている。

UAV は従来の有人航空機による写真撮影よりも低高度で写真撮影を行うことから、より詳細な森林の情報を得られることも考えられるが、その精度は明らかにされてない。そこで本研究では、UAV から撮影した空中写真と SfM を用いて林分構造推定モデルを開発することを目的とし、今回はその前処理として位置精度の検証を行った。

II. 調査地と方法

1. 地上調査と UAV 空撮

本研究の対象地は、大分市大字沢田外に位置する大分県の長期育成循環施業モデル団地である。本モデル団地の総面積は約 150 ha であり、その約 8 割をスギ・ヒノキ人工林が占める。今

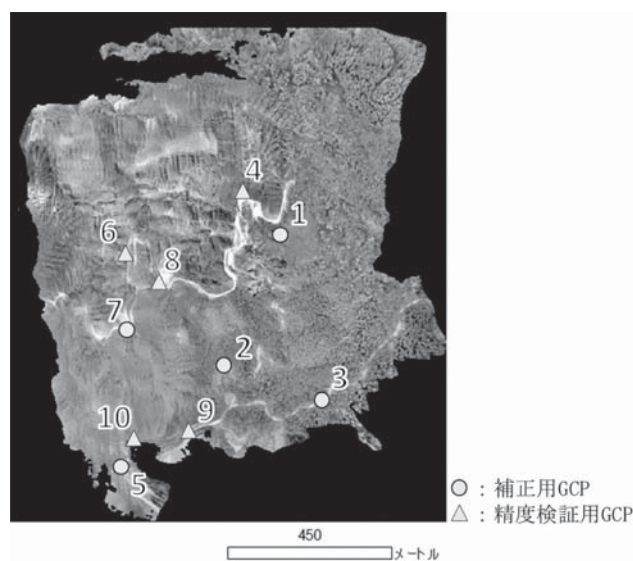


図-1. 対象地

回は本モデル団地内の約 110 ha を対象に検証を行った。

2016 年 9 月から 10 月にかけて長期育成循環施業モデル団地を対象に UAV による空中写真の撮影を行った。使用した機体は Phantom 4 (DJI 社) であり、マニュアル操作により撮影した。撮影時の詳細を表-1 に示す。

UAV で撮影を行った対象地内に、位置精度の検証に使用するための対空標識をできる限り場所と標高が分散するように 10 ヶ所設置し、その中心の位置座標をディファレンシャル GPS (MobileMapper 120, GEOSURF 社) を用いて計測した (図-1)。なお、GPS の座標については、同社の MobileMapper Office を用いた後処理解析により位置座標の補正を行った後に使用した。

*1 Ogawa, M., Ota, T., Mizoue, N. and Yoshida, S.: Evaluation of positional accuracy using Unmanned Aerial Vehicle with Structure from Motion approach.

*2 九州大学大学院生物資源環境科学府 Grad. Sch. Agric., Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581, Japan.

*3 九州大学大学院持続可能な社会のための決断科学センター Inst. Dec. Sci., Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581, Japan.

*4 九州大学大学院農学研究院 Fac. Agric., Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581, Japan.

表-1. 撮影時の設定

撮影高度 (m)	70-120
飛行速度 (m/s)	2-4
撮影間隔 (s)	5
撮影範囲 (ha)	約110
フライト数	24
撮影枚数	6327
オーバーラップ率 (%)	約80

2. SfM を用いた 3次元モデルの作成

3次元モデルの作成には、Photoscan Professional (Agisoft 社) を用いた。本ソフトウェアでは、SfM 技術により半自動的に3次元モデルを作成することができる。本ソフトウェアでの処理は大きく分けて、写真の位置合わせ (以下、Align Photos)、高密度ポイントクラウドの生成 (以下、Build Dense Cloud)、メッシュ生成 (以下、Build Mesh) の3つの工程からなり、最終的に植生など地物表面の物体の高さを含んだときの標高データである数値表層モデル (以下、DSM) とオルソフォトが完成する。今回は、Photoscan Professional を用いて GCP (Ground Control Point) による位置補正なしで作成した場合と、Align Photos の際に GCP による位置補正を行った場合の2種類を作成した。GCP には、10ヵ所設置した対空標識のうち5ヵ所を利用し、残りの5ヵ所を精度評価に利用した。なお、今回の Photoscan Professional での処理では、補正の有無に関わらず、Align Photos、Build Dense Cloud、Build Mesh いずれの過程についても、処理の Quality を「Low」に設定した。また、解析に使用した PC のスペックは CPU が Intel (R) Core (TM) i7-3820 であり、メモリは 32.0 GB である。

3. 位置精度の検証

作成したオルソフォト内の対空標識の位置と GPS で測定した対空標識の座標を比較し、水平誤差と垂直誤差の観点から位置精度の検証を行った。GPS で測定した対空標識の水平座標と、オルソフォトに写っている対空標識の水平座標から両者の水平距離を計測して、これを水平誤差と定義した。また、オルソフォトにおける対空標識の水平座標をもとに DSM 上での対空標識の位置を特定し、DSM から対空標識の高さを求めた。GPS で測定した対空標識の標高から、DSM での対空標識の高さを差し引き、こ

れを垂直誤差と定義した。誤差の計測は、位置補正をしていない場合と位置補正を行った場合のそれぞれで行った。なお、測定のオーダーは 0.01 m とし、計測には ArcGIS (ESRI 社) を用いた。

誤差の程度を評価するために、精度評価用の5点の対空標識の誤差から誤差の最大値、最小値、平均値、標準偏差を求めた。また、作成した DSM およびオルソフォトの、水平方向や垂直方向へのずれや傾きの傾向を把握するために、10点全ての対空標識の水平および垂直誤差から誤差の空間分布を把握した。

III. 結果

すべての対空標識の水平・垂直誤差を表-2に、精度評価用の対空標識の誤差の集計値を表-3に示す。水平誤差では、補正前よりも補正後の方が平均で 6.23 m 誤差が小さくなった。最大誤差は補正前、補正後ともに対空標識 ID の6番で、それぞれ 14.07 m、3.75 m であった。最小誤差については補正前、補正後ともに対空標識 ID の9番でそれぞれ 2.13 m、1.77 m であった。標高が低いところに設置した6番で誤差が大きく、標高の高いところに設置した9番で誤差が小さいという結果になった。

垂直誤差では、補正前よりも補正後の方が平均で 28.87 m 誤差が小さくなり、補正前の最大誤差は対空標識 ID 6番の 44.21 m、補正後の最大誤差は対空標識 ID 10番の 11.89 m であった。また、補正前の最小誤差は対空標識 ID 9番の 22.90 m、補正後の最小誤差は対空標識 ID 8番で 0.15 m であった。補正前の最大、最小誤差は平均水平誤差と同様に6番、9番という結果になった。

誤差の空間分布を確認すると、位置補正後では北側に位置する対空標識 1, 4, 6番で正の垂直誤差が大きく、中心に位置する対空標識 8番で垂直誤差が最も小さくなった。また、南西側に位置する対空標識 5, 7, 9, 10番で負の垂直誤差が大きくなった。

IV. 考察

位置補正をしていない場合、水平誤差は平均で 8.87 m、垂直誤差は平均で 36.99 m あった。つまり、九州におけるスギ・ヒノキ壮齢林の樹高を越える垂直誤差を含むといえる。このことから、Photoscan Professional で位置補正することなく3次元モデルを作成しても林分構造推定を行えないことが示唆された。また、位置補正を行わない場合、水平誤差、垂直誤差ともに対空標

表-2. 対空標識の水平・垂直誤差

対空標識 ID	GPS で測定した標高 (m)	水平誤差 (m)			垂直誤差 (m)			
		補正なし	補正あり	誤差の差	補正なし	補正あり	誤差の差	
位置補正用の対空標識	1	681.08	4.70	3.34	1.36	29.29	10.11	19.17
	2	715.53	2.58	0.99	1.59	-24.50	-3.36	21.14
	3	730.15	11.93	8.13	3.80	-60.53	-2.50	58.03
	5	732.35	4.58	1.23	3.35	32.90	-19.46	13.43
	7	583.14	11.93	1.77	10.16	34.98	-7.67	27.31
精度評価用の対空標識	4	632.51	8.50	2.25	6.25	44.08	11.78	32.30
	6	583.59	14.07	3.75	10.32	44.21	5.96	38.25
	8	586.68	12.28	3.22	9.06	35.13	-0.15	34.98
	9	734.74	2.13	1.77	0.36	22.90	-10.84	12.05
10	731.62	7.38	2.23	5.15	38.65	-11.89	26.76	

表-3. 誤差の集計値

	水平誤差 (m)		垂直誤差 (m)	
	補正なし	補正あり	補正なし	補正あり
平均誤差	8.87	2.64	36.99	8.13
最大誤差	14.07	3.75	44.21	11.89
最小誤差	2.13	1.77	22.90	0.15
標準偏差	4.65	0.81	8.76	5.08

識 ID の 6 番で誤差が最も大きく、9 番で誤差が最も小さくなった。この要因として、6 番の標高が 583.59 m と精度検証に用いた 5 つの対空標識の中で最も低い点が考えられる。標高が低いことで、飛行する UAV との距離が遠くなり、空中写真の地上分解能が粗くなった可能性がある。このことから、撮影範囲の標高に応じて、UAV の高度を適切に変更することが望ましいと考えられる。

位置補正を行った場合、補正前よりも水平誤差が 6.23 m、垂直誤差が 28.87 m、平均で小さくなった。しかし、補正を行った後も平均垂直誤差が 11.89 m あり、このままでは林分構造推定モデルを作成することが難しいといえる。また、位置補正を行った場合の垂直誤差は、北側で正の誤差が大きく、南西側で負の誤差が大きくなった。このことから、補正した DSM が対空標識の ID 8 番を中心に、実際の地面よりも北側が上に、南西側が下に傾いて作成されていることが示唆された。

今回は、設置した 10 点の対空標識のうち 5 点のみを GCP とし

て利用して位置補正を行った。今後は、GCP のポイント数を増やし、どの程度誤差が軽減されるか検証が必要である。また、今回は Photoscan で解析を行う際の処理の Quality を 5 段階中 2 番目に低い「Low」に設定したが、この Quality を上げることで誤差がどの程度軽減されるのか検証を進める必要がある。

V. 結論

今回の研究では、UAV から撮影した空中写真から SfM 技術を用いてオルソフォトと DSM を作成し、これらの位置精度の検証を行った。位置補正を行うことで、水平誤差、垂直誤差ともに誤差が軽減された。しかし、補正を行ったとしても垂直誤差がいまだに大きく、林分構造推定モデルを作成するためには誤差のさらなる軽減に取り組む必要がある。

謝辞

本研究は、大分県長期育成循環施業推進事業の一環として実施した。

引用文献

- Ota T *et al.* (2015) *Forests* 6: 3882-3898.
 Snaveley N *et al.* (2008) *Int J Comput Vision* 80: 189-210.
 White J C *et al.* (2016) *Can J Remote Sens* 42: 619-641.
 (2016 年 11 月 18 日受付; 2016 年 12 月 29 日受理)