

UAV を用いた写真測量における誤差発生特性の分析

熊本大学 工学部 学生会員 松田 将昌, 竹園 一騎
正会員 柿本 竜治, 吉永 徹, 上田 誠, 友田 祐一

1. はじめに

近年 UAV(無人航空機:Unmanned Aerial Vehicle)を用いた空撮写真と多視点ステレオ写真測(SfM:Structure from Motion)技術を組み合わせた測量方法が注目されている. 従来のものに比べ簡便かつ低コストで測量できる. また機動性が高く危険地域などにおいても安全に測量を行うことができることから¹⁾今後の活躍が期待されている.

SfM ソフトウェアにより作成される DEM (数値標高モデル:Digital Elevation Model) データの精度は測量対象地の地形的特徴, オーバーラップ率 (重複率) やカメラスペックなどの撮影環境, 地上基準点 (GCP:Ground Control Point) の配置, 数などの多くの設定の影響を受ける.¹⁾実際に測量を実施するとき撮影環境は所有している機材のスペックや UAV の操縦者の技術から適切な設定を選択すればよいが, GCP の設定には正しい座標の入手のために測量の費用と労力が必要になる. GCP の設定は UAV 写真測量のコストに影響を与え, 適切な GCP の設定を見つけることで測量にかかるコストを抑えることができる重要な要素である. しかしこれまでに撮影高度やオーバーラップ率に着目した研究は多くあるが GCP の数や配置に着目した研究はまだ少ない. 本研究では GCP の数や配置に着目し分析を行い UAV-SfM 写真測量の精度の検証, コスト面と精度を考慮した測量方法の提案を目的とする.

2. 研究概要

空撮は熊本県上益城郡益城町大字砥川の木山川付近で実施する (図-1). 撮影範囲は縦約 500m 横 500m. 撮影高度は 50m と 100m で撮影する. 形式は動画で撮映し, その動画から Adobe Premiere Elements を使用して写真に切り出してからモデルを作成する. 搭載カメラの仕様は最大サイズ:4000×3000, 画角:水平 62° 垂直 94°, 画質:4K(4096×2160p) のものを使用する.

SfM ソフトウェアを用いてモデルを作成する際の GCP または検証点の座標として GPS 測量の測量データを用いる. 測量箇所は 15 点を設定した. (図-1)

使用する SfM ソフトウェアは Agisoft 社の PhotoScan Professional Edition を用いる. 写真のオーバーラップ率 (重複率) はおおむね 80% 程度で統一し, 写真の枚数は 50m の高度で 928 枚, 100m の高度で 279 枚を使用した. 撮影に用いたカメラのレンズによる歪みの軽減のため PhotoScan 付属の Agisoft Lens を用いてカメラの歪み校正パラメータを求め, モデル作成時に歪みの校正を行った.

精度評価については GCP の座標にも用いた GPS 測量の結果の座標 P(m) を簡易的に真値として扱い, モデル上の推定座標 p (m) との差分を誤差として扱う. (座標系: JGD2000 II). また全体の精度の指標として平均二乗誤差 (RMSE:Roots Mean Squared Error) を求める¹⁾. 式は以下を用いた.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_{ij}^2}{n}} \quad (e_{ij} = p_{ij} - P_{ij})$$

n: 検証点の総数 p: 推定座標 P: 真値 i: 検証点(A-O) j: 軸方向(x,y,z)

3. モデリング

PhotoScan の処理フローはカメラのアラインメント (写真位置推定), 高密度点群の構築, メッシュ構築, テクスチャ構築の手順を踏むことで DEM, オルソフォトの出力が可能になる.

高度 100m の撮影した写真で作成したモデルから出力したオルソフォトを図-1 に示す. オルソフォトとは標高データを用いてレンズと対象物の距離の違いにより生じる歪みをなくし, 位置データを与えたものである²⁾. 検証点 J が写真上で障害物と重なり, 正確な位置が確認できなかったため点 J を除いた他の 14 点を有効な点とする.

4. 精度評価

GCP の数と配置による精度, 誤差への影響をみるために GCP を四隅 (点 ABCD) に設定したもの (モデル 1), 内側 (点 LMNO) に設定したもの (モデル 2), 点 ABCDEFIKM に設定したもの (モデル 3) を作成. 検証点毎の誤差 e(m) を表-1, 各モデルの RMSE を表-2 に示す.



図-1 益城町砥川のオルソフォト

表-1 検証点毎の誤差 e(m)

モデル1	ex	ey	ez	モデル2	ex	ey	ez	モデル3	ex	ey	ez
A	-0.043	0.0048	-0.014	A	0.2686	-0.077	0.0482	A	0.0138	0.0064	0.0046
B	0.0043	0.1183	0.032	B	0.1307	0.3121	0.2226	B	-0.004	0.1865	0.0525
C	0.1565	-0.074	-0.025	C	-0.079	-0.13	-0.06	C	0.0609	-0.093	-0.03
D	-0.108	-0.056	0.0115	D	-0.114	-0.431	-0.169	D	-0.124	-0.151	0.0055
E	-0.175	0.0437	-0.022	E	-0.078	-0.193	-0.097	E	-0.169	-0.009	-0.018
F	-0.085	-0.057	0.0474	F	0.1467	-0.028	0.1602	F	-0.056	-0.029	0.0666
G	-0.013	0.1342	-0.077	G	0.1949	0.2138	0.061	G	0.0073	0.175	-0.057
H	0.1724	0.031	0.0586	H	0.1699	0.1395	0.1713	H	0.1328	0.069	0.0704
I	0.0542	-0.01	0.0105	I	-0.067	0.0149	0.0481	I	-0.014	-0.001	0.0138
K	0.3438	0.1489	0.1126	K	0.2035	-0.041	0.0166	K	0.2815	0.0972	0.1074
L	-0.211	0.1168	0.1123	L	-0.15	0.0414	0.1266	L	-0.223	0.1072	0.12
M	0.0344	-0.032	-0.168	M	0.0927	-0.057	-0.123	M	0.0184	-0.028	-0.158
N	0.0228	0.2207	0.0859	N	-0.07	0.1535	0.0738	N	-0.033	0.2055	0.0872
O	0.2052	0.0073	-0.011	O	0.1293	-0.135	-0.065	O	0.1582	-0.028	-0.012

表-2 軸成分毎の RMSE (m)

RSME	x方向	y方向	z方向	$\sqrt{(x^2+y^2+z^2)}$
モデル1	0.148	0.087	0.073	0.186
モデル2	0.136	0.18	0.114	0.253
モデル3	0.127	0.103	0.071	0.178

3方向を合成した RMSE はモデル 1 が 0.186(m)モデル 2 は 0.253(m)モデル 3 は 0.178(m)となった. モデル 3 の RMSE が一番小さく, GCP が多いほど精度が高くなる事が分かる. また, モデル 1 とモデル 2 は同じ GCP 数でも 0.067(m)の差が生じた. このことから GCP の配置による精度への影響は大きい事が分かる. モデル 1 とモデル 2 の検証点 14 点のそれぞれの誤差の大きさ(3方向の合成距離)の分布を図-2, 図-3 に示す. 縦軸横軸は平面直角座標系における検証点の x,y 座標 (m)である. 図-2 と図-3 を比較すると, 中央付近はモデル 2 の誤差の方が小さくなっているが外側の誤差が大きく全体としてはモデル 1 の精度の方が高くなっている. よって GCP は対象地の範囲で近接させて設置するのではなく広範囲に設置したほうが良い事が分かる.

国土交通省国土地理院の UAV を用いた公共測量マニュアル案 (2017 年 3 月) ³⁾によると, 地図情報レベル(1/250 縮尺の地形図の作成に相当する精度)は検証点の誤差が標準偏差で水平に 0.12m, 高さ 0.25m 以内の誤差となっている. 今回得られた精度はこれに近く, このレベルを参考にこれから精度検証が必要である.

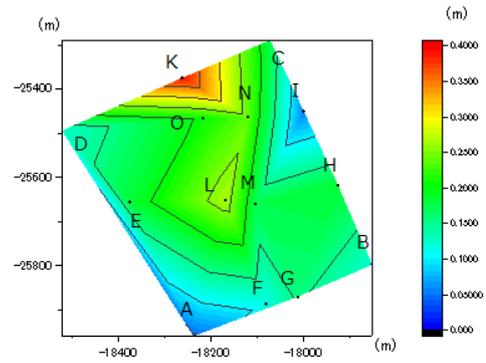


図-2 GCP:点 ABCD のモデル誤差分布(m)

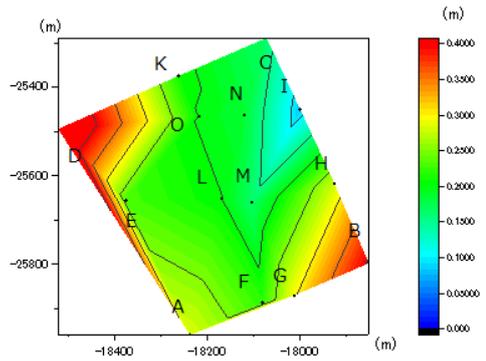


図-3 GCP:点 LMNO のモデルの誤差分布(m)

5. まとめ

GCP の数や配置の設定は UAV-SfM 写真測量のコストに直結する要因である. 今回の検証のように同じ GCP の数でも異なる精度になるということは実際の測量の場合, 無駄が生じる可能性があることを表している. GCP 数が多ければ精度が高くなるからといってもコストを考慮するとやみくもに増やすことはできない. 最小限のコストでより精度の高い測量を行うことが求められる.

今回は GCP を 4 点設置した配置の違うモデルと GCP を 9 点に追加したモデルの比較を行った. さらに GCP の設定による補正の原理や計算方法を考慮に入れながら GCP の配置や数を変え, また撮影高度の違いや地形により生じる誤差の特徴も追加しながら適切な設定の提案を模索する.

参考文献

- 1) UAV による空中写真測量技術を用いた河川形状測量における精度検証: 東河内沢本川における事例(2017 上治雄介 山川陽祐)
- 2) UAV-SfM 手法と地上レーザー測量により得られた DSM の比較 (2014 小花和宏之 早川祐次 斎藤仁 ゴメスクリストファー)
- 3) 国交省国土地理院 HP (2017) <http://www.gsi.go.jp/>