

UAV単独測位による撮影位置と地上基準点を組み合わせた3次元計測精度検証

村木 広和・安原 裕貴（国際航業株式会社）

1. 背景

近年、「ドローン」は、我々のような測量業界では、非常に優れたプラットフォームの1つとして位置づけ安全に利用したいと考えている。弊社では、ドローンとは呼ばず、無人航空機（UAV: Unmanned aerial vehicle）又は、UAV と称して客先に提案し利用している。特に、緊急災害対応では、その有用性を広く社会でも認識されて来ている。今後は、この UAV を用いて撮影された複数の写真から3次元点群の生成や、DSM、オルソ画像の作成が広く用いられている。また、これら複数の写真から XYZ の3次元位置情報のデータ（以下、3次元点群データ）を生成する「SfM (Structure from motion) 技術」に関しても、その特徴を整理し利用環境を理解する必要があるが、UAV による定量的な精度検証はそう多くはない。

そこで、今回は GNSS の軌跡情報に着目し、GNSS および地上基準点から算出した2種類の軌跡情報から3次元点群データの定量的な精度検証を実施したので報告する。

2. 実験内容

UAV の最大の特徴は、事前に作成した飛行計画通りに自律航法機能を用いて飛行し、定められた空間位置において撮影を行うものであ

る。そこで、単独測位法による空間位置（GNSS で観測された X, Y, Z のみ利用）を既知点とした解析空中三角測量（以後：空三）を行い、予め VRS により観測した地上基準点と比較した。一方、上記の単独測位の空間位置と VRS にて測量した地上基準点とを組み合わせて空三を行い、どの程度が調整計算されたかを検証した。使用機器は、表1に示す。実験フィールドは、国土交通省近畿地方整備局近畿技術事務所内の交通バリアフリー比較体験コースである。また、比較検証データは、任意断面の変化点や地形形状を実測にて取得した DSM データとした。

3. 検証方法

UAV の撮影高度は、地面から 120m に設定し飛行を行った。カメラの実焦点距離は、17mm 固定焦点レンズを用いた。地上分解能は 21mm となる。撮影枚数は、75 枚撮影を行った。撮影コースは、4 コースをクロス方式とした。

3.1 空中三角測量手法の精度検証

(1) GNSS 単独測位手法から算出した軌跡情報

UAV に搭載されている単独測位 GNSS を用いて、撮影位置を求め、各撮影位置を基準点として空三を行い写真の位置と傾

表1 使用機器

	機 器	内 容	備 考
UAV 機体	UAV 機体	MD4-1000 (Microdrones 社)	自律航法機能あり
	GNSS 装置	AMY-5M (u-blox 社)	観測精度：2.5m (単独測位)
	カメラ	OLYMPUS M E-P1 (オリンパス社)	
地上測量	GNSS 装置	VRS 対応機器 (トリンプル社)	
ソフト	SfM ソフト	Pix4D Mapper Ver2.0 (Pix4D 社)	

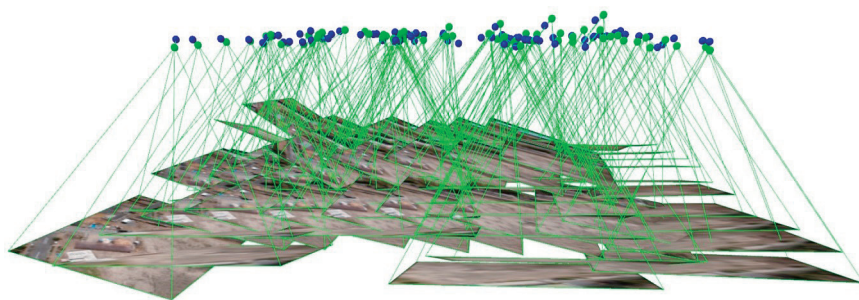


図1 単独測位撮影位置のみの解析結果（青色丸が撮影位置、緑色丸が解析調整後の撮影位置）

きを求めた。その標定諸元から地上基準点座標を算出し、VRSで観測した地上基準点座標値と差を求めた。

- ①単独測位による撮影位置 75 点を既知点として空三を行い、地上基準点を観測しその標準偏差値を求めた。標準偏差 X 方向 = 1.310m、標準偏差 Y 方向 = 0.803m、標準偏差 Z 方向 = 4.422m
- ②この結果から、単独測位の UAV 用の航法 GPS では、想定された高さ方向において 4m ~ 5m 程度の範囲で誤差があることを確認できた。一般的な UAV をもちいて撮影を行うのであれば、撮影高度の安全率を考えるとあまり低い高度を飛行させるのは避けたほうが良いと言える。

(2) UAV の単独測位と地上基準点から算出した軌跡情報

UAV の撮影位置情報と地上基準点を組み合わせて、空三を行い、得られた標

定諸元を元に地上基準点座標を算出し、VRSで観測した地上基準点座標値と差を求める。

- ①単独測位による撮影位置 75 点+地上基準点 5 点を既知点として空三を行い、地上基準点を観測しその標準偏差値を求めた。標準偏差 X 方向 = 0.0063m、標準偏差 Y 方向 = 0.00493m、標準偏差 Z 方向 = 0.0087m
- ②この結果から、地上基準点を入れ込んで空三を行う事で、絶対精度として 1cm 以下の計測精度を確保する事が確認できた。このように、120m 程度の高度から市販品であるデジタルカメラを用いてもセルフキャリブレーション付きバンドル調整法を組み込んだ SfM であれば高精度の 3 次元計測が可能であると言える。

3.2 三次元点群データの精度検証

上述の空中三角測量を用いて、SfM ソフトウェアにより三次元点群データを作成し、対象地区

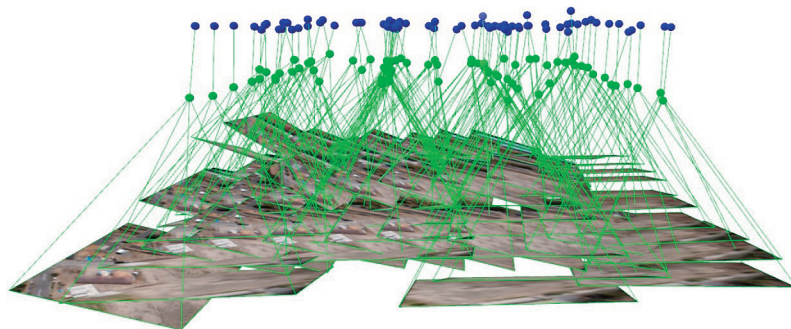


図2 単独測位撮影位置 + 地上基準点 (5 点) を組合せた解析結果（青色丸が撮影位置、緑色丸が解析調整後の撮影位置）

のバリアフリー比較体験コース内における照合データとの精度検証を行った。照合データは、GNSSのVRS方式で観測した横断測量と地形測量の2種類である。

(1) 横断測量を想定した高さの精度検証

バリアフリー比較体験コース内で、横断測量点をVRSで観測を行い6点の変化点の高さを観測した(図3参照)。VRSによる実測値と前述の2種類の空三(①単独測位法と②単独+地上基準点)で得られた横断測量点の結果を比較し表に纏めた(表2参照)。UAVの単独測位による撮影位置を既知として、空三を行い横断測量点6点の高さを計測した結果、高さの標準偏差Z方向=4.499mとなった(表2参照)。単独測位に地上基準点5点を既知点として追加した空三を行い、同様に横断測量点6点の高さを計測した結果、標準偏差Z方向=0.044mとなった(表2参照)。

この結果から、単独測位と地上基準点による空三による高さ方向の残差は、今回の実験では、画像の地上分解能(120m

の高さによる) 21mmの2倍程度となる高い精度が確認できた。

(2) 地形測量を想定した平面と高さの精度検証

バリアフリー比較体験コース内で、地形測量点をVRSで観測を行い8点の変化点の平面と高さを観測した(図4参照)。VRSによる実測値と2種類の空三(①単独測位法と②単独+地上基準点)で得られた実測点の結果を比較し表に纏めた(表3、4参照)。

UAVの単独測位による撮影位置を既知として、空三を行い地形測量点8点の平面と高さを計測した結果、標準偏差X方向=1.15m、Y方向=0.658m、Z方向=4.392m(表3参照)となり、水平ベクトル($\sqrt{x^2+y^2}$)で1.3mを示した。



図3 横断測量の計測ポイント



図4 地物計測ポイント

表2 図3の横断測量ポイント計測精度表

単位: m

測点名	VRS 観測標高値	①単独測位による調整計算		②単独測位+基準点による調整計算	
		標高値	VRS との差分Δ Z	標高値	VRS との差分Δ Z
101	42.262	47.00	4.738	42.330	0.068
103	42.442	47.12	4.678	42.470	0.028
104	42.559	47.07	4.511	42.570	0.011
105	42.489	46.82	4.331	42.510	0.021
106	43.087	47.39	4.303	43.120	0.033
108	42.932	47.35	4.418	43.000	0.068
		標準偏差	4.499		0.044
		平均値	4.496		0.038
		最大値	4.738		0.068

表3 図4の実測ポイント計測精度表(単独)

測測点名称	単独測位 残差		
	ΔX	ΔY	ΔZ
306	-1.0757	-0.779	4.523
307	-1.0732	-0.751	4.507
308	-1.0285	-0.727	4.568
309	-1.0380	-0.833	4.542
302	-1.2280	-0.577	4.263
303	-1.2118	-0.469	4.256
304	-1.2425	-0.570	4.202
305	-1.2716	-0.441	4.252
標準偏差	1.150	0.658	4.392
平均値	-1.146	-0.643	4.389
最大値	-1.028	-0.441	4.568

また、単独測位に地上基準点5点を既知点とした空三を行い、同様に照合した結果、標準偏差 X 方向 = 0.025m、Y 方向 = 0.061m、Z 方向 = 0.032m (表4参照) となり、水平ベクトルでは 0.066m と 10cm 以下を示した。

4. 結論

現在、運用されている殆どの UAV は、GNSS (GPS, GLANOSS) を利用した単独測位と電子ジャイロや方位磁石を用いて姿勢を制御しながら飛行を行っている。この GNSS 単独測位と SfM 技術による組み合わせは、災害発生時の緊急対応や人の立ち入ることができない場所で利用されることが期待されており、今回の実験では単独測位による空三で、平面で約 1.3m を、高さで約 4.3m の参考精度を確認できた。また、GNSS 単独測位に地上基準点を与えることで、cm オーダの高精度な地形情報が得られること

表4 図4の実測ポイント計測精度表(単独 + 基準点)

点名称	単独測位調整 + 基準点 残差		
	ΔX	ΔY	ΔZ
306	0.024	-0.099	0.023
307	-0.013	-0.041	0.047
308	0.002	0.013	0.038
309	0.022	-0.053	0.032
302	0.012	-0.017	0.043
303	-0.052	0.081	0.026
304	0.007	-0.090	0.002
305	0.028	0.009	0.022
標準偏差	0.025	0.061	0.032
平均値	0.004	-0.025	0.029
最大値	0.028	0.081	0.047

も確認できた。よって、UAV による空三手法は、調査の要求精度に応じて選択する必要がある。特に、災害時などの緊急撮影の場合は、まずは単独測位を利用した概算成果を算出し、その後の利用に応じて地上基準点を指針 (写真で判読可能な地物に GNSS で位置情報を付与) することも効果的である。

一方、UAV の運航面については、単独測位の高さ方向が $\pm 5m$ 程度ほど変化することや最近の事故事例にある電波障害を勘案すると、安全運航を確保するには最低撮影高度をその 10 倍の 50m 以上が必要ではないかと考察される。今回は、測量的な観点から撮影高度を 120m として、地上分解能が 21mm という高分解能な画像が得られているので、安全面を考慮した 100m 程度の高度による精度面、効率面について UAV の運用方法を整理したいと考えている。