

3次元データの取得・活用による地図情報整備に関する検討 -UAV撮影の高精度化・効率化等を図る技術-

実施期間	令和元年度
基本図情報部地図情報技術開発室	片山 理佐子 笹川 啓 関口 泰徳 茶谷 隆行 澤 可那子

1. はじめに

近年、無人航空機(以下「UAV」という.)で撮影した空中写真を用いた3次元形状復元技術(SfM/MVS (Structure from Motion/Multi-View Stereo) 技術. 以下「SfM」という.)による写真測量が注目を集めている。国土院では2016年にUAVを公共測量等で使用できるように「UAVを用いた公共測量マニュアル(案)」(以下「マニュアル」という.)を作成した。しかし、精度確保のため多くの標定点の現地測量が必要とされることから、その省力化が求められている。

UAVによる空中写真を用いた3次元点群作成において、鉛直写真に加えて斜め写真を標定に用いると3次元モデルの位置精度が改善されるという報告がある。そこで本報告では、3次元測量の高精度化・効率化を目指し、標準的に実施される鉛直直下方向の撮影(以下「鉛直直下撮影」という.)に加え、斜め方向の撮影(以下「斜め方向撮影」という.)を組み合わせる等の手法により、マニュアルに規定される「位置精度0.05m以内」を確保したうえで、一定程度の面積に対する標定点数を最小化するための最適なUAV撮影手法を検討した。なお、本検討は研究開発基本計画での課題「写真測量の鉛直精度の向上に関する研究開発」に該当し、「測量の生産性を向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」の一環として実施したものである。

2. 検証方法

2.1 鉛直直下及び斜め方向の写真撮影

2.1.1 対象フィールド

人工被覆や橋梁等の構造物を含む「加藤学園御殿場キャンパス」(静岡県御殿場市. 以下「御殿場サイト」という.)及び主に農地を含む「Dream Drone Flying Field」(千葉県君津市. 以下「君津サイト」という.)にて、約200m×200mのサイトを選定した(図-1)。

2.1.2 撮影方法

検証として、各サイトにおいて、鉛直直下撮影(高度37m, OL80%SL60%)及び斜め方向撮影(高度37m, OL60%SL30%, カメラの傾き60・75度)を行った。UAVによる撮影では、機体のGNSS測位情報を取得されることから、GNSS単独測位の「DJI Phantom 4 Pro」及びRTK測位を行う「DJI Phantom 4 RTK」(D-RTK2方式)の2機種を用いた。各撮影で得た枚数を表-1に示す。

なお、斜め方向撮影におけるカメラの傾きは、地面に平行な方向を0度、鉛直直下を90度として表現している。

2.1.3 標定及び検証点設置

マニュアルに従い、GNSS測量(スタティック法)により2級相当の基準点を数点設置(御殿場サイト3点, 君津サイト2点)(図-1)し、トータルステーションを用いて基準点から標定点及び検証点の座標を計測した。

2.2 SfM ソフトウェアによる解析

最適な斜め方向撮影の方法を明らかにするため、表-2 に示すように鉛直直下撮影と斜め方向撮影の組み合わせや標定点の配置数を変更し、SfM ソフトウェアを用いて解析を行い、解析結果（3次元モデル）の検証点位置と現地測量から得られた座標値との誤差を比較・検証した。また、マニュアル精度を確保しつつどこまで標定点配置の省力化が可能かを検討した。なお、使用した SfM ソフトウェアは「Pix4Dmapper (Ver4.4.12)」である。また、解析に用いた写真の枚数を表-1 に示す。



図-1 撮影範囲、標定点及び検証点配置図（左図：御殿場サイト 右図：君津サイト）

表-1 鉛直直下撮影及び斜め方向撮影における撮影枚数及び SfM 解析での使用枚数

	鉛直直下撮影	斜め方向撮影
	撮影枚数及び SfM 解析使用枚数	撮影枚数及び SfM 解析使用枚数
御殿場サイト	224 枚	129 枚
君津サイト	268 枚	170 枚

3. 精度検証結果と考察

3.1 Phantom 4 Pro 解析

Phantom 4 Pro で撮影した鉛直直下写真や斜め方向写真を用いて精度検証を行った結果を表-3 に示す。まずマニュアルどおり標定点 9 点を用いて鉛直直下写真のみで解析した結果、君津サイトでは高さ方向の残差が位置精度の制限を超えた検証点があった。

そこで鉛直直下写真の他、斜め方向写真を追加して SfM 解析を行った。その結果、斜め方向写真を追加することにより高さ残差が位置精度内に収束し、鉛直直下写真のみ使用した場合より残差が小さい傾向が確認された。

斜め方向写真を鉛直直下写真に加えた場合において、SfM 解析の際に標定点を低減させ、位置精度

表-2 解析内容

解析	撮影方法	鉛直直下撮影 ラップ率		標定点
		OL	SL	
解析 1	鉛直直下のみ	80%	60%	マニュアルどおり 9 点
解析 2	鉛直直下 斜め方向			9・5・4・3・2・1・0 点

内に収まるかを確認した。御殿場サイト、君津サイトのいずれにおいても、標定点4点で解析を行った際は位置精度を満たしたものの、標定点を3点に減らした結果、高さ方向の残差が位置精度の制限を超えている。このことから、今回の撮影範囲においてマニュアルの指定では標定点数9点のところ、斜め方向写真を加えることにより、4点まで低減可能であることがわかった。

表-3 Phantom4Pro 標定点数ごとの残差 (単位：m)

赤字下線：位置精度 0.05m 以内に収まらない残差

		御殿場サイト				君津サイト			
		鉛直 のみ	鉛直+斜め (斜め写真使用枚数: 129 枚)			鉛直 のみ	鉛直+斜め (斜め写真使用枚数: 170 枚)		
			GCP9	GCP9	GCP4		GCP3	GCP9	GCP9
dx	最大 (絶対値)	0.0130	0.0092	0.0156	0.0362	0.0140	0.0114	0.0097	0.0214
	標準偏差	0.0042	0.0038	0.0043	0.0112	0.0074	0.0051	0.0047	0.0051
dy	最大 (絶対値)	0.0184	0.0128	0.0165	0.0350	0.0208	0.0209	0.0212	0.0261
	標準偏差	0.0078	0.0043	0.0057	0.0084	0.0053	0.0060	0.0067	0.0086
dxy	最大	0.0208	0.0130	0.0177	<u>0.0504</u>	0.0211	0.0210	0.0213	0.0338
	標準偏差	0.0044	0.0030	0.0035	0.0089	0.0042	0.0034	0.0037	0.0061
dh	最大 (絶対値)	0.0500	0.0336	0.0404	<u>0.2931</u>	<u>0.1302</u>	0.0264	0.0388	<u>0.6472</u>
	標準偏差	0.0158	0.0119	0.0180	0.1138	0.0227	0.0108	0.0176	0.2619

3.2 Phantom4RTK 解析

Phantom 4 RTK についての精度検証結果を表-4 に示す。鉛直直下写真のみ（標定点9点）で処理を行った結果、全ての残差が位置精度内となった。

次に鉛直直下写真について、標定点数を減らして SfM 解析を行い、位置精度内に収まるかを確認したところ、標定点9点で解析した場合よりも残差が大きくなるものの、標定点を1点まで減らしても位置精度を満たした。しかし、標定点を0点として解析処理を行なうと位置精度内に収まらず、特に高さ残差は数十 cm 程度となった。

そこで鉛直直下写真のみ（標定点0点）に対して、Phantom 4 Pro 解析に効果のあった斜め方向写真を加えて解析した。その結果、残差が収束し位置精度 0.05m 以内に収まった。

4. まとめ

UAV による空中写真を用いた 3 次元点群作成における高精度化・効率化を目的として最適な撮影手法を検討し、斜め方向写真追加の有効性が明らかになった。

単独測位機種については、鉛直直下写真に斜め方向写真を加えると標定点の低減ができた。RTK 機種では、SfM 解析を鉛直直下写真のみで行うと標定点を1点まで低減可能であり、さらに斜め方向写真を加えることで標定点を使用せずに位置精度 0.05m を満たすことがわかった。一方で、今回の検討で用いた斜め方向写真の枚数は御殿場サイトで 129 枚、君津サイトで 170 枚と多い。このため、より

効率的な撮影手法を確立するために、斜め方向写真の枚数及び必要標定点数を最小化した上で精度を維持できる最適撮影手法を明らかにしていきたい。

表-4 Phantom4RTK 標定点数ごとの残差 (単位 : m)

赤字下線 : 位置精度 0.05m 以内に収まらない残差

		御殿場サイト				君津サイト			
		鉛直写真のみ			鉛直+斜め (斜め写真使用 枚数:129 枚)	鉛直写真のみ			鉛直+斜め (斜め写真使用 枚数:170 枚)
		GCP9	GCP1	GCP0	GCP0	GCP9	GCP1	GCP0	GCP0
dx	最大 (絶対値)	0.0223	0.0370	<u>0.0550</u>	0.0420	0.0106	0.0140	0.0190	0.0160
	標準偏差	0.0085	0.0114	0.0141	0.0111	0.0039	0.0051	0.0044	0.0047
dy	最大 (絶対値)	0.0136	0.0170	0.0170	0.0230	0.0118	0.0130	0.0190	0.0190
	標準偏差	0.0049	0.0064	0.0069	0.0054	0.0045	0.0036	0.0043	0.0043
dxy	最大 (絶対値)	0.0246	0.0389	<u>0.0570</u>	0.0420	0.0125	0.0178	0.0255	0.0190
	標準偏差	0.0038	0.0079	0.0134	0.0080	0.0029	0.0035	0.0041	0.0043
dh	最大 (絶対値)	0.0373	0.0350	<u>0.5570</u>	0.0480	0.0268	0.0190	<u>0.3390</u>	0.0370
	標準偏差	0.0107	0.0126	0.0603	0.0117	0.0069	0.0080	0.0078	0.0079

参考文献

神野有生, 八田滉平, 福元和真, 田村尚也, 宮崎真弘, 米原千絵, 浦川貴季, 清水隆博, 炭田英俊 (2019) : UAV 写真測量の SfM における斜め撮影の効率的配置, 標定点の省略可能性, 水の影響と対策に関する検討, 日本写真測量学会令和元年度年次学術講演会発表論文集, 5-8.

神野有生, 宮崎真弘, 八田滉平, 福元和真 (2018) : UAV 写真測量の SfM における斜め撮影の導入に関する基礎的シミュレーション, 日本写真測量学会平成 30 年度秋季学術講演会発表論文集, 31-32.

澤可那子, 阪上雅之, 菅井秀翔, 野口真弓, 笹川啓 (2019) : SfM/MVS 技術を用いた写真測量における斜め撮影追加の有効性検証, 日本写真測量学会令和元年度年次学術講演会発表論文集, 1-4.