

Airpeak S1+α 7 IIIによる光軸最適化撮影を用いた UAV 写真測量の精度検証実験

山口大学 ○神野有生・近 淳之介・Truc Ho Thanh
株式会社 GEO ソリューションズ 春名正基・藤井達士・栗田匡平

1. はじめに

UAV 写真測量では原理的に、撮影する写真の枚数を増やすほど精度は向上する一方で、撮影と解析に要する時間も増加する。そのため、撮影枚数を抑えつつ精度を確保できる「効率的」な撮影方法（本稿では、撮影する位置と向きを組み合わせた意）が必要とされている。ところが現状では、一様な平坦地を対象とする単純な場合についてすら、効率的な撮影方法が完成しているとは言えない。例えば広く用いられている斜め往復撮影は、

- コース前端で、対象領域外の領域が多く写る
- コース後端の直下領域を写す写真が少ない
- SfM において、隣接コースの画像との特徴点のマッチングが難しい場合がある[1]

という弱点をもつ。これらを克服するアプローチの1つに、各撮影位置でのカメラの光軸の向き（天底角と方位角）を工夫する方法（以下、光軸最適化撮影）が考えられる。

そこで本研究では、光軸最適化撮影に関する研究の事始めに、正方形の平坦地を対象領域とする最も単純な場合について、現地実験によって光軸最適化撮影の効率性を検討した。具体的には斜め往復撮影と、撮影枚数の等しい光軸最適化撮影を実施して、検証点誤差によって SfM の精度を比較した。本実験には国産の UAV (SONY Airpeak S1) とカメラ (SONY α 7 III) も使用した。

2. 実験の方法

- 対象領域：短い天然芝で被覆された 100 m 四方の領域 (図 1; 貝塚市立ドローン・クリケットフィールド内)
- 用いた機材：① DJI Phantom 4 RTK ② SONY Airpeak S1+α 7 III の 2 ケース
- 撮影方法：天底角 20° の斜め往復撮影と、3 種の光軸最適化撮影 A-C。撮影位置は 4 方法とも共通で、対地高度約 36 m に、鉛直下向きの平行

光軸撮影の場合の重複率が約 80%×60%となるように格子状に配置された計 90 点 (図 2)。ただしケース②では 1 点で撮影に失敗し 89 点。

- 光軸最適化撮影 A-C の設計：高田[2]による。対象領域内の各点が、視線の地表面への入射角 45° 以内（他画像とマッチングしやすい条件）で写る写真の枚数に関して、目的関数「1%値+5%値+25%値-0.01×標準偏差」を最大化するよう（対象領域内を満遍なく撮るよう）、光軸の天底角と方位角を局所探索により最適化。多数の初期解から出発してある時点で得た解のうち、CG を用いた SfM, MVS 実験で精度が良かったものを A-C として選定。
- 対空標識：図 1 に示す 10 点。ケース①では全て検証点として使用。ケース②では 4 隅の点をジオリファレンスに使用（バンドル調整は画像のみで実施）、他の 6 点は検証点として使用。
- 解析方法：Agisoft Metashape Professional 1.5.5 を標準的な設定で用い、SfM でカメラパラメータを得た後、各検証点を三角測量し、TS による地上測量結果との平面直角座標の差を検証点誤差として評価。ケース①では SfM に、各撮影位置の RTK-GNSS 測位結果を動員。

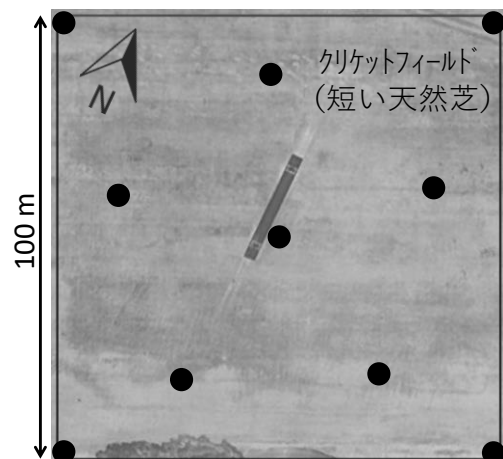


図 1. 対象領域（黒枠）と対空標識（●印）

3. 実験の結果

表 1 と表 2 に、ケース別の検証点誤差の評価結果を示す。ケースによらず、検証点誤差の RMS は斜め往復撮影では 0.1 m を超えた一方、光軸最適化撮影 A-C では 0.04m 未満であった。前者の主な成分は、絶対値が 0.1 m を超える鉛直バイアス（検証点誤差の鉛直成分の平均）であった。例えばケース①では、斜め往復撮影の場合の焦点距離 f の推定値が、A-C の場合の推定値の平均より 0.32%大きく、これは $0.32 \times 36 \text{ m} = 0.12 \text{ m}$ の対地距離の過大評価を生じるものである。ケース①のジオリファレンスは撮影位置に基づくため、これは -0.124 m の鉛直バイアスと整合し、 f の誤推定が鉛直バイアスの主要因と目される。ただし、斜め往復撮影では放射方向歪みの推定結果も A-C の場合と差異があり、これに対応して検証点誤差の鉛直成分にもドーム状の空間分布（中心の対空標識で -0.085 m、4 隅で -0.138 ~ -0.167 m と、中心ほど高く推定）が認められた。以上のような本実験での天底角 20° の斜め往復撮影の検証点誤差は、[1] の実験例などと比べても大きく、結果として新しい撮影方法 A-C の優位性が強調されたともいえる。

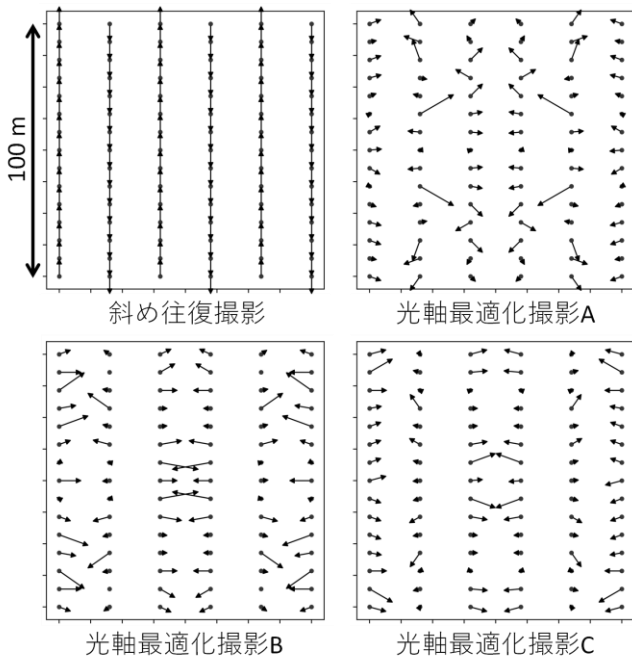


図 2. 各撮影方法を説明する平面図。格子状の点・は撮影位置，そこから伸びる矢印の向きは光軸の方位角，矢印の長さは光軸の天底角（最短のものが 5° ，最長のものが 45° ）を示す。

4. おわりに

本実験で試した 3 種の光軸最適化撮影が、枚数の等しい斜め往復撮影より優れた精度を与えたことにより、撮影枚数を増やさずとも各撮影位置での光軸の向きを工夫することで SfM の精度を改善する余地があることが確認された。

表 1. 検証点誤差の全検証点に関する統計量 [m]
(ケース① : DJI Phantom 4 RTK)

撮影方法	統計量の種類	南北成分	東西成分	鉛直成分	3軸合成
斜め往復撮影	平均	-0.004	-0.012	-0.124	0.125
	標準偏差	0.040	0.030	0.026	0.056
A	RMS	0.040	0.032	0.127	0.137
	平均	-0.002	-0.009	-0.010	0.014
B	標準偏差	0.011	0.008	0.016	0.021
	RMS	0.011	0.012	0.019	0.025
C	平均	0.000	-0.007	-0.019	0.020
	標準偏差	0.007	0.004	0.009	0.012
	RMS	0.007	0.008	0.021	0.023
	平均	0.000	-0.008	-0.009	0.012
	標準偏差	0.010	0.004	0.009	0.014
	RMS	0.010	0.009	0.013	0.018

表 2. 検証点誤差の全検証点に関する統計量 [m]
(ケース② : SONY Airpeak S1 + α 7 III)

撮影方法	統計量の種類	南北成分	東西成分	鉛直成分	3軸合成
斜め往復撮影	平均	-0.004	0.000	0.102	0.102
	標準偏差	0.005	0.006	0.016	0.018
A	RMS	0.007	0.006	0.103	0.103
	平均	-0.010	-0.004	0.033	0.035
B	標準偏差	0.009	0.007	0.009	0.015
	RMS	0.014	0.008	0.035	0.038
C	平均	-0.003	-0.002	-0.007	0.007
	標準偏差	0.003	0.005	0.017	0.018
	RMS	0.004	0.005	0.019	0.020
	平均	-0.003	-0.002	0.023	0.023
	標準偏差	0.003	0.003	0.009	0.009
	RMS	0.004	0.003	0.024	0.025

参考文献

- [1] 神野有生, 松岡祐仁, 高田雅也, 2021, 斜め往復 UAV 撮影に基づく標定点レス SfM における撮影方法・解析設定の影響, 日本写真測量学会 令和 3 年度年次学術講演会発表論文集, pp.49 - 52..
- [2] 高田雅也, 撮影方法の工夫による UAV 写真測量の高精度化に関する研究, 山口大学大学院創成科学研究科修士論文, 2022.