

ローコスト GNSS-UAV 観測システムの構築と設定パラメータに関する分析

八戸工業高等専門学校 学生会員 ○山田 俊輔
八戸工業高等専門学校 正会員 小屋畑 勝太
八戸工業高等専門学校 正会員 藤原 広和

1. はじめに

近年, 迅速かつ簡便に地形を計測する技術として, UAV 写真測量が急速に普及している. この測量技術は, UAV と SfM ソフトウェアによって空撮から地形推定まで地形計測の自動化を可能とするが, 対空標識の設置には未だ人間の手作業が必要とされる. 最近では, この課題を解決する UAV に GNSS 受信機を実装させた GNSS-UAV 写真測量が活用されている. しかし, 標定点の削減が精度に与える影響を分析した報告は少ない. GNSS-UAV 写真測量の適正な利用に向けて, その運用方法や精度を分析した事例を蓄積していくことが望まれる.

佐々木 (2020) らは安価で高性能な小型 GNSS モジュール (u-blox F9P) の精度を分析し, 一般の測量用 GNSS 受信機と同等の精度であることが確認された¹⁾. 本研究では GNSS 受信機として F9P を UAV に実装して GNSS-UAV 観測システムを構築する. そして, 本システムの観測精度を検証し, 適切な設定条件やパラメータについて分析することを目的とした.

2. 研究方法

2.1 GNSS-UAV 観測システムの構築

GNSS 受信機 (M5F9P) とアンテナ (ANN-MB) 取り付けるためのコネクタを 3D プリンタで作製し, UAV (DJI Phantom4pro) へ実装した (図 1). M5F9P には測位データを保存でき, 後処理キネマティック (PPK) により, 高精度な測位座標値を取得できる. 本研究では PPK 測位座標値と UAV 空撮画像から PPK 座標値付き空撮画像を生成する計算プログラムを作成した (図 2). まず, Base と Rover (UAV) の GNSS-Raw データをオープンソース RTKLIB を使用して PPK 座標値を計算する. 一方, UAV 空撮画像に格納されているメタデータから撮影時刻 (Exif: DateTimeOriginal) を読み込み, 撮影時刻における PPK

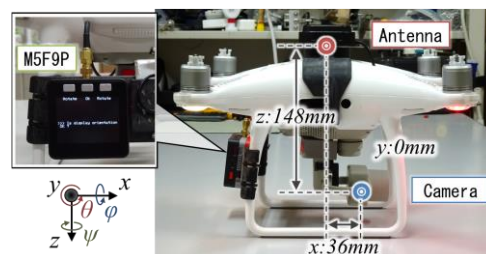


図 1 M5F9P の実装 (UAV: Phantom4pro)

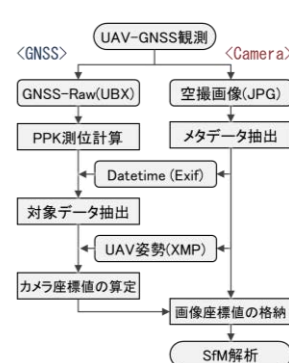


図 2 PPK 座標値付き画像生成プログラムのフロー



図 3 観測対象地 (GCP6)

座標値を抽出する. さらに, メタデータから UAV の姿勢 (XMP:FlightAngles) を読み込み, カメラ座標値を算定する. 実際には, アンテナとカメラの位置関係 (図 1) と UAV の姿勢 (ヨー ψ , ピッチ θ , ロール ϕ) を回転行列に適用してカメラ座標値を求める. なお, 撮影時刻における PPK 座標値が欠損した場合, 前後のデータから内挿補完する仕組みを導入した. そして, Metashape (Agisoft) により SfM 解析を実行する.

2.2 観測精度の評価

八戸高専グラウンドを観測対象地とし, 既知座標値を与える標定点 (GCP, Ground control point) と推定座標値の精度を検証する検証点を配置した (図 3). 飛行条件は地上画素寸法 $R=30\text{mm}$, オーバーラップ $OL=90, 80, 70\%$, サイドラップ $SL=70, 60, 50\%$ を組み合わせた 9 条件を対象とした. 精度の評価は, 検証点のマーカー誤差を評価指標として結果を分析した.

キーワード: GNSS, UAV 写真測量, 標定点

連絡先: 〒039-1192 青森県八戸市田面木字上野平 16-1

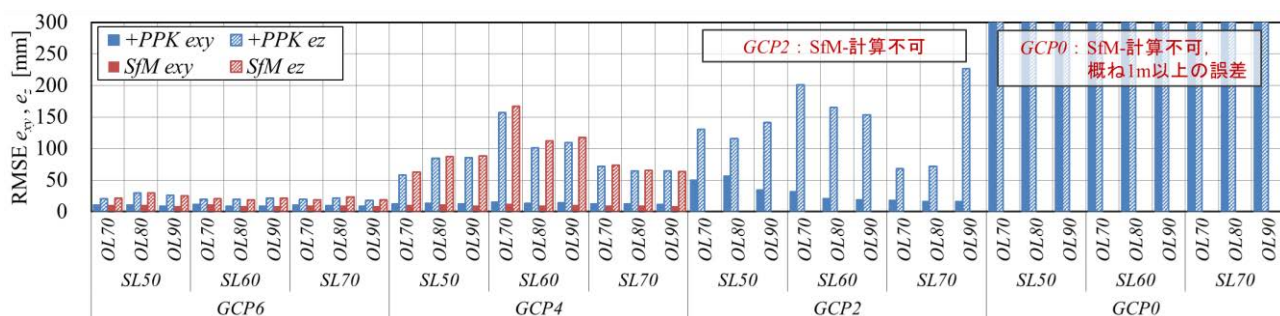


図4 PPK 座標値付き空撮画像導入による平面誤差と高さ誤差の変化

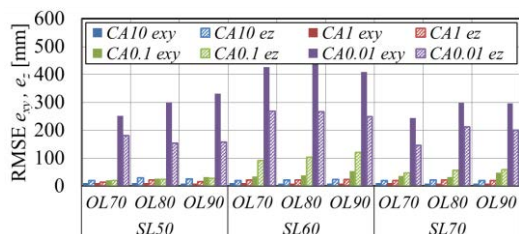


図5 カメラ精度による高さ誤差の変化

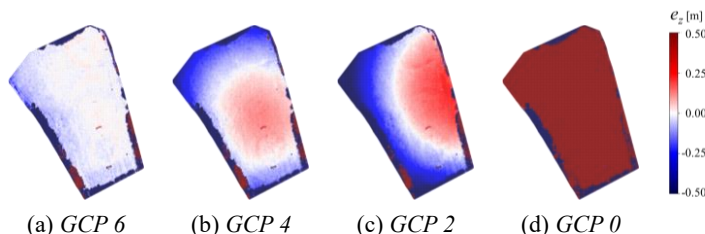


図6 標定点の配置による高さ誤差の分布

3. 結果および考察

3.1 GNSS 測位パラメータに関する分析

本システムでは、空撮画像の撮影時刻と GNSS 測位時刻を同期させ、座標値を格納する。そのため、測位データはより高いサンプリングレート (Rate) が必要になる。そこで、通信速度 (Baudrate) を調整してデータを分析した結果、「Baudrate:460.8k/Rate:4Hz」に設定することで欠損データが少ない良好な結果が得られた。しかし、実際の UAV 観測では、部分的に Fix 解が得られない不具合が確認された。原因として、電圧の不安定化、アンテナ向きの変化が考えられる。

3.2 PPK 座標値の導入による効果

本システムによって、PPK 座標値付き空撮画像を適用した結果 (+PPK) と従来の SfM 写真測量の結果 (SfM) を比較した。また、適用する標定点の数 (GCP) を変化させ、平面誤差 e_{xy} と高さ誤差 e_z の RMSE を整理した結果を図 4 に示す。SfM は GCP2 と GCP0 で計算不可となった。一方、+PPK では問題なく結果が得られたが、GCP0 で誤差が増大した。結果として、+PPK と SfM の精度に有意な差は確認できなかった。SfM 解析において、マーカー座標値に比べ、カメラ座標値に対する計算上の重みが低く設定されているためであると考えられる。そこで、Metashape の「カメラ精度 (CA: 計算上の重み)」の設定値を変化させて再計算した。CA を高めると精度が悪化する結果になり、CA の調整によって改善することはなかった。

3.3 空間的な誤差分布と GCP 削減の可能性

空間的な誤差分布を分析するために、地上型レーザースキャナ (TLS) を用いて対象地形の DEM を作成した。そして、各計算結果から得られる DEM について、TLS の DEM との差 (高さ誤差 e_z) を整理した結果を図 6 に示す。GCP6 では良好に地形推定ができていたが、標定点の数を削減すると誤差が大きくなる結果が確認された。GCP4 や GCP2 では、中央部が高く外周部が低く推定されており、地形全体が湾曲化していると推察される。標定点の削減により、カメラパラメータを十分に調整できず、推定地形の湾曲化が生じ、著しく精度が悪化したと考えられる。

4. まとめ

UAV (Phantom4pro) に GNSS モジュール (M5F9P) を実装して、GNSS-UAV 観測システムを構築した。設定パラメータの最適化において未だ改良の余地が残されるが、ローコストで PPK-UAV 観測を可能とするシステムを提案することができた。実際に SfM 写真測量を実施した結果、空撮画像へ PPK 座標値を導入した効果は確認できなかった。また、標定点を削減すると、精度低下が確認された。UAV 写真測量に GNSS を導入した場合も、要求精度に応じて適切に標定点を配置することが重要であることが示唆された。

参考文献
1) 佐々木駿, 小屋畑勝太, 藤原広和: 小型 GNSS モジュール ZED-F9P を用いた RTK 測量の精度評価, 土木学会東北支部技術研究発表会概要集 CD-ROM, II-48, 2020.