

UAV による航空測量に関する検討

和久津 龍太・加藤 誉之・大山 容一・小田 三千夫（国際航業株式会社）

1. 目的

近年、UAV の低価格化や操作の簡便性の向上に加え、Structure from Motion (SfM) ソフトウェアの普及に伴い、UAV を用いた測量・調査が注目されている¹⁾。そこで、本検討は UAV の航空測量への適用を目的として、SfM ソフトウェアによるバンドル調整計算と位置精度検証を行い、課題および撮影成果の利用性等を考察した。その他の事例として利根川河川敷（平坦地）、浅間山（山岳地）での成果についても報告する。



図1 江戸川河川敷 撮影箇所

2. 江戸川河川敷の計測手法

2.1 UAV 撮影諸元

江戸川河川敷における撮影諸元を表1、撮影概略箇所を図1に示す。撮影に使用したカメラは公益社団法人日本測量協会のカメラ検定を実施していないため、レンズディストーションなどの内部標定要素は SfM ソフトウェアによるセルフキャリブレーション値のみを使用した。なお、撮影画像には位置情報を付与するため、

表1 撮影諸元（江戸川河川敷）

フィールド名	江戸川河川敷
フィールド面積	300m × 250m
UAV 使用機体	enRoute 製
使用カメラ	SONY NEX-5R 焦点距離 16mm (35mm換算：24mm)
オーバーラップ率	80% 以上
サイドラップ率	80% 以上
地上解像度	約 3cm
撮影高度	約 100m
シャッター間隔	2 秒
撮影枚数	168 枚

機体搭載 GPS の位置情報を撮影日時で同期させた。同期させた位置情報は初期値として利用し、GPS データと撮影日時の同期ズレにともなう誤差に関しては検討を行わなかった。

また、撮影時には UAV を安全に運航できる環境下であることを確認の上、機体に搭載している GPS を用いた自動運航を主とし、離着陸はマニュアル操作とした。なお、この検証は国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所様のご協力をいただき、撮影時には同行していただいた。

2.2 GCP 観測および配点

航空測量手法を適用するために対空標識を撮影エリアに 11 点設置した（図2）。この検証は公共測量ではないため、GCP 観測はネットワーク型 RTK 法を採用し、位置精度は水平方向が 10cm 程度、高さ方向が 20cm 程度とした。なお、UAV の撮影と同時に観測を実施した。

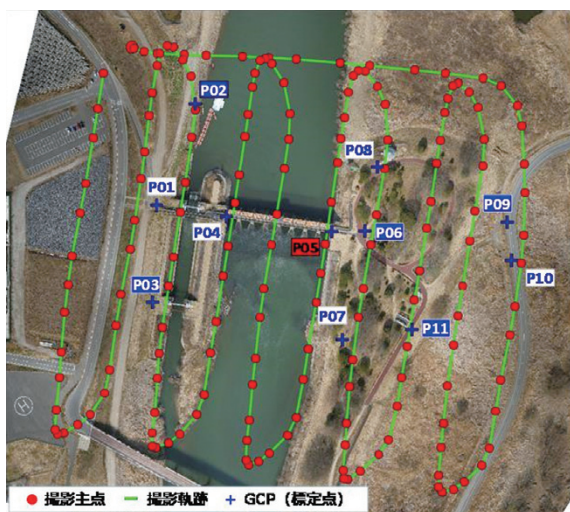


図2 撮影標定図とGCP 配点図 (11 点)

2.3 解析ソフト

本検討では SfM ソフトウェア「Pix4Dmapper」を用いて図3に示す手順で解析を行った。撮影画像登録時にはあらかじめ位置情報を付与したものを使用し、画像上の GCP 観測以外を自動処理（青枠箇所）にて実施した。また、Pix4Dmapper における設定は推奨設定を用い、レンズディストーションなどの内部標定要素はソフト内のセルフキャリブレーション機能により算出した結果を用いた。

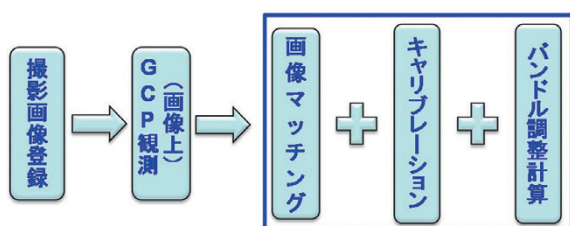


図3 Pix4Dmapper を用いた解析手順

3. GCP の位置精度検証

江戸川河川敷において、基準点として与える GCP 数を変更してバンドル調整計算を実施し、検証点（使用していない GCP）の位置精度の検証を行った。GCP 数のパターンは、エリア内で観測した全点・準則標準の5点（エリアの四隅と中心）・1点（中心の1点）・0点（撮影画像に付与された位置情報のみ）とした。なお、図2に各パターンで使用した GCP を5点の場合

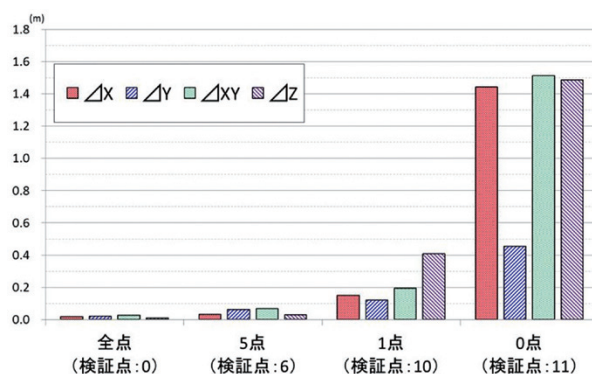


図4 GCP 点数の違いによる標準偏差

は青色背景、1点の場合は赤色背景で示した。ここで、図4に GCP 数の違いによる水平および高さ方向の検証点誤差（標準偏差）をまとめたグラフを示す。ただし、GCP 全点の場合は検証点がないため GCP 誤差とする。

GCP 全点および5点の場合、水平および高さ方向に関して標準偏差が 0.1m 以内という結果となった。一方、準則標準の5点よりも少ない事例として「1点」「0点」というケースも合わせて検討したが、GCP1 点・0点の両方に精度低下がみられた。特に GCP 0点の場合は標準偏差が約 1.5m となるのを確認した。このことから、UAV による撮影も GCP を均等に配点することにより、従来の航空測量手法と同様の成果が得られることがわかった。また、GCP を使用しないもしくは撮影エリアをカバーしきれない配点の場合は、位置精度に関して注意が必要といえる。

しかしながら、GCP1 点の標準偏差でも 10 センチオーダーであり、利用用途によっては撮影成果として採用が可能なレベルにあると推測される。たとえば、災害時の緊急撮影は、撮影および後処理の時間を少しでも削減する必要がある、また現地立ち入りも制限を受けることから、GCP の設定も著しく制約を受ける可能性がある。そのような場合でも、GCP が1点あれば 10 センチオーダーのオルソ画像が作成でき、現地災害状況を確認する程度の成果が得られ

ると考えられる。したがって、今後の UAV の利用性を考えるうえで貴重な結果であったといえる。ただし、撮影画像に対する位置情報は、位置精度や解析処理時間を考慮すると GCP 1 点の場合に限らず付与されていることが望ましいと言える。

4. 他フィールドでの検討

江戸川河川敷における検証の結果、GCP は撮影エリアに対し準則標準の 5 点、またはそれ以上の数を均等に配置するのが望ましいと確認できた。この結果を踏まえて、利根川河川敷（平坦地）および浅間山（山岳地）においても GCP 数を変更したバンドル調整計算を実施し、GCP の位置精度検証を行った。GCP 数の使用パターンは「全点・5 点・1 点・0 点」とし、江戸川河川敷と同様な結果となるかを検討した。

4.1 UAV 撮影諸元

利根川河川敷（平坦地）における撮影諸元を表 2、撮影概略箇所を図 5 に示す。使用カメラと撮影高度（約 50m）以外の基本的な撮影諸元は江戸川河川敷と同様とした。なお、この検証は一般財団法人国土技術研究センター様との合同研究である「最新計測機器をもちいたハイブリッド河川管理システムの構築」の成果を利用させていただいた。一方、浅間山（山岳地）における撮影諸元を表 3、撮影概略箇所を図

表 2 撮影諸元（利根川河川敷）

フィールド名	利根川河川敷
フィールド面積	500m × 200m
UAV 使用機体	enRoute 製
使用カメラ	SONY α 6000 焦点距離 16mm (35mm換算：24mm)
オーバーラップ率	80% 以上
サイドラップ率	80% 以上
地上解像度	約 1.5cm
撮影高度	約 50m
シャッター間隔	2 秒
撮影枚数	870 枚



図 5 利根川河川敷 撮影箇所

表 3 撮影諸元（浅間山）

フィールド名	浅間山
フィールド面積	1500m × 600m
UAV 使用機体	enRoute 製
使用カメラ	SONY NEX-5R 焦点距離 16mm (35mm換算：24mm)
オーバーラップ率	80% 以上
サイドラップ率	80% 以上
地上解像度	約 6cm
対地高度	約 200m
シャッター間隔	2 秒
撮影枚数	936 枚

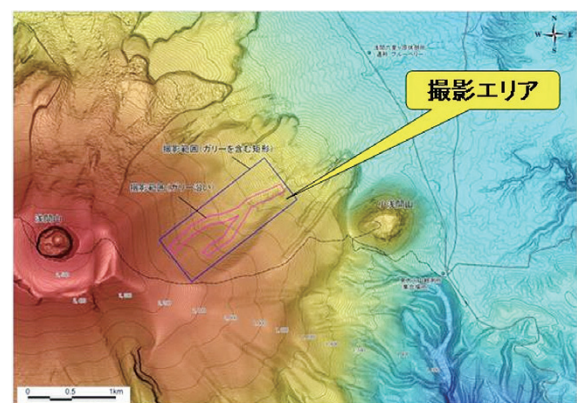


図 6 浅間山 撮影箇所

6 に示す。こちらも基本的な撮影諸元は江戸川河川敷と同様だが、撮影エリアが約 1500m × 600m の広範囲のため複数回のフライトで実施した。また、山岳地であることから撮影高度は一定ではなく、対地高度約 200m として撮影計画を立てた。この検証は東北大学様と株式会

社エンルート様との共同研究の成果を使用させていただいた。

4.2 GCP 配点および位置精度検証

各フィールドに対する GCP の配点は、撮影エリアを包括するように利根川河川敷は8点、浅間山は9点設置した。配点状況を図7に示す。また、GCP 数を変更してバンドル調整計算を実施する際の配点は、江戸川河川敷と同様に5点の場合は青色背景の点を使用し、1点の場合は赤色背景の点を使用した。ここで、図8に GCP 数の違いによる水平および高さ方向の検証点誤差（標準偏差）をまとめたグラフを示す。ただし、GCP 全点の場合は検証点がないため GCP 誤差とする。

図8より、平坦地である利根川河川敷は GCP 全点と5点で水平および高さ方向に関して江戸川河川敷と同様な結果が得られた。しかし、山岳地である浅間山は GCP 全点で江戸川河川敷と同様な結果が得られているものの、5点の場合は精度の低下が確認できた。これは、エリア内の標高差が著しいことから、使用している GCP 数では足りなかったと考えられる。これらのことから、平坦地での GCP 配置は全体を包括するようにエリア四隅と中心の5点とすることで位置精度が保たれると考えられる。また、

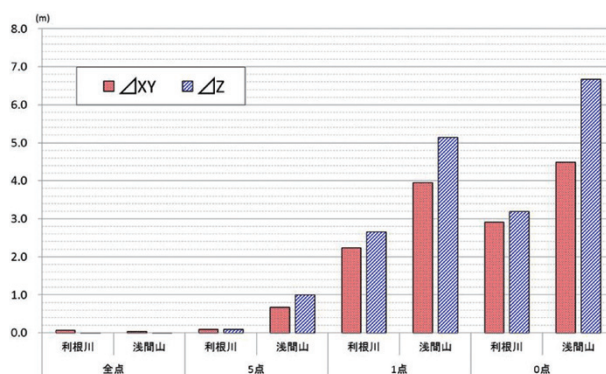


図8 GCP 数の違いによる標準偏差

山岳地は GCP が必要不可欠で、均等かつ平坦地より点数を増やすことで平坦地と同様な結果が得られるといえる。

いっぽう、GCP 1点の場合は平坦地と山岳地の両方のフィールドでメートルオーダーという結果が得られた。江戸川河川敷での「10センチオーダー」程の精度は出ていないものの、現況把握などの利用用途への適用が可能であると考えられる。

5. まとめ

本検討は、UAV 撮影における GCP 配点におけるバンドル調整計算の挙動について SfM ソフトウェアを用いて検証してきた。その結果、高精度な結果を得るには、UAV 撮影においても GCP が必要不可欠であることが確認できた。

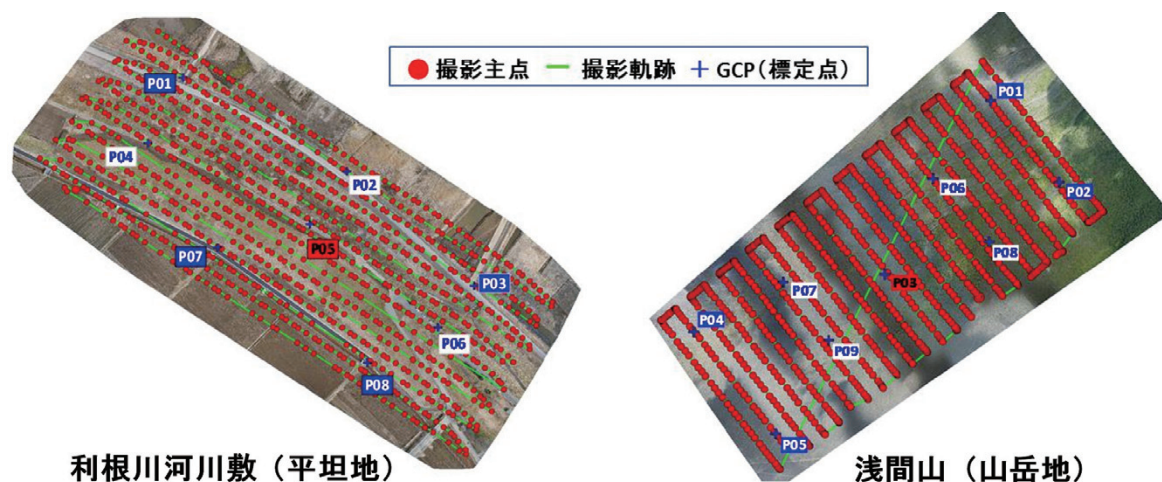


図7 撮影標定図と GCP 配点図

また、山岳地でも GCP を均等かつ平坦地より点数を増やすことで平坦地と同様の結果を得ることを確認した。しかし、災害撮影等の緊急性を要する撮影の場合においては GCP 1 点でも現地災害状況を確認できる成果が得られると考えられることから、利用の幅も広がるといえる。今後、GCP がなくても所定の精度を確保できるような撮影手法および解析技術が実現される可能性があると推測される。さらに、セルフキャリブレーションでも信頼できる精度が得られたことは新しい知見といえる。

今後の課題として、カメラキャリブレーションを実施しているカメラを使用した場合の精度や別の SfM ソフトウェアとの精度比較が考えられる。

6. 謝辞

本検討にあたり、撮影成果の使用を許可いただいた国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所様、一般財団法人国土技術研究センター様、東北大学様、株式会社エンルート様にこの場を借りて深く感謝する。

■参考文献

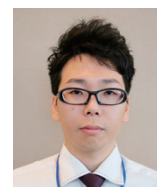
- 1) 早坂寿人 et al.: UAV による撮影画像を用いた三次元モデリングソフトウェアの精度検証、pp.1-4. 日本写真測量学会平成 27 年度年次学術講演会, 2015.5

■執筆者

和久津 龍太(わくつ りゅうた)

国際航業株式会社

ryuta_wakutsu@kk-grp.jp



(共著者)

加藤 誉之(かとう たかゆき)

国際航業株式会社

大山 容一(おおやま よういち)

国際航業株式会社

小田 三千夫(おだ みちお)

国際航業株式会社