UAV-SfM 手法を用いた高解像度な河道測量技術の開発

山口大学大学院　准教授　正会員　○赤松　良久
山口大学大学院　助教　正会員　神野　有生
山口大学大学院　学生会員　掛波　優作
山口大学大学院　非会員　I GD Yudha Partama
山口大学大学院　特命助教　正会員　乾　隆帝

1. 緒論

河道地形は河川管理に不可欠な基盤情報であるが、労力・コストの大きい従来の地上測量では、モニタリングの時空間解像度に限界がある．一方で Woodget et al. (2015) [1]は，ドローンによる河道の空撮画像に SfM（自動化された写真測量）を適用し，水面屈折により浅く見える冠水部については事後に簡易的な補正を施すことで，河道全体の標高分布を推定する技術を提案した．この技術は，安価・簡便かつ cm オーダーの解像度を有するため，従来に比べ圧倒的な頻度・密度の地形把握を実現し得る画期性を持つが，未だ検証例が少なく，特に国内では皆無である．

そこで本研究では，UAV-SfM 手法を国内の河道で初めて，冠水部分については水面屈折を考慮して適用し，精確さを検証するとともに，誤差特性の解明を試みた．

2. 方法

2.1　現地調査

検証サイトは，佐波川の，河口からの距離が約 8.5km に位置する約 250m の区間とした．**図-1** に，検証サイトの空中写真（オルソ画像）を示す．

まず，空中写真撮影とほぼ同期した測量（同期測量）として，2016 年 1 月 5 日に，**図-1** に示すように縦横断方向に約 15m ピッチで，底面高の RTK-GPS 測量を行った．機器としては Trimble R4 GNSS（ニコン・トリンブル）を用いた．

次に，2016 年 1 月 6 日に，対象区間において陸上対空標識の設置と測量，およびドローンによる空中写真撮影を行った．対空標識は右岸に 2 個，左岸に 5 個の計 7 個設置した．空中写真撮影は，高度約 25m からほぼ鉛直下向きに，約 5～10m ピッチで行い，270 枚の画像を得た．

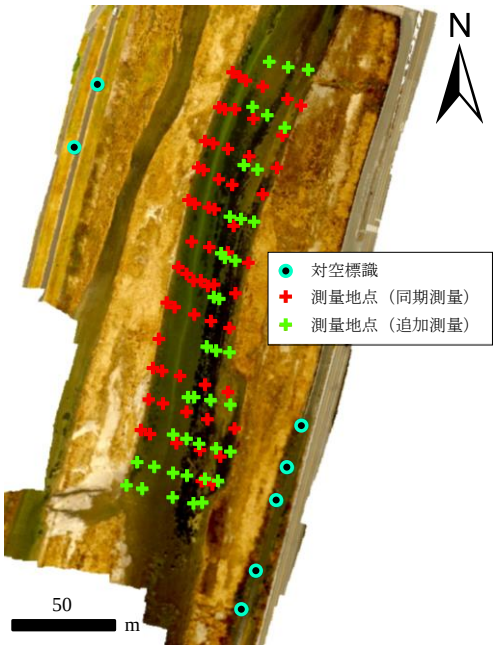

図-1　検証サイトのオルソ画像と測量地点

2.2　デジタル標高モデルの作成

現地調査で得られた空中写真と対空標識の測量結果を元に，デジタル標高モデルを作成した．ソフトウェアとして，通常の SfM の画像処理には PhotoScan (Agisoft)，その後の処理には ArcGIS10.2 (ESRI) を用いた．空間補間には，3 次多項式による 2 次元補間を用いた．

本研究では，撮影位置によらない簡易的な補正方法として，補正係数を水の空気に対する相対屈折率 (1.34) とする方法 [1]を用いた．すなわち，見かけの水深に相対屈折率を乗じて，真の水深を推定した．

3. 結果と考察

図-2 に UAV-SfM 手法で得られた，冠水部分ついての水面屈折補正後のデジタル標高モデルを示す．これらの図より，堤防から水面下に至る河道地形が詳細に表現されている様子が観察できる．なお，この河川区

キーワード　UAV，SfM，河道測量，佐波川
連絡先　〒755-8611　山口県宇部市常盤台 2-16-1　山口大学工学部社会建設工学科　TEL0836-85-9342

間は逆勾配であり，下流側で標高が高くなっているのは誤りではない．

写真測量で得られる水面下の標高は原理的に表面高（底質の表面すなわち上面の標高；底面高と差があるのは，底質が植生のときのみ）であるが，河川測量では底面高（河床高；植生の場合，植生の基部の砂泥の標高）が求められる．そこで，写真測量で得られた標高を底面高とみなしたときの精度を把握するため，**図-3** に，同期測量における RTK-GPS 測量値と，写真測量による水面屈折補正前後の標高推定値の散布図を示す．この場合の底面高の推定誤差（写真測量による推定値－RTK-GPS による実測値）の統計量は，平均が -0.068 m（わずかな過小評価傾向），RMS が 0.165 m であった．推定値を実測値で説明する単回帰直線の決定係数は 0.93 と大きく，写真測量の結果を底面高とみなしても，全体的には良好な精度となった．一方で，測量地点のうち，推定誤差が最も大きい 2 点（0.351 m, 0.333 m）は，写真の目視判読からオオカナダモの分布域にあった．当該領域では実際に数十 cm 厚のオオカナダモが確認されており，写真測量がオオカナダモの表面高を推定することにより，結果を底面高として扱った場合には大幅な過大評価となることが示唆される．

水面屈折補正の効果を例示するため，**図-4** に，**図-2** に示した断面 C（後述の河道方向位置に依存するバイアスが小さい断面）における，同期測量における標高の測量値と，水面屈折補正前後の推定値の分布を示す．この図からも，水面屈折補正が正しく機能していることが明らかである．

4. 結論

UAV-SfM 手法を用いた河道測量技術を国内で初めて，冠水部分について水面での光の屈折を考慮して適用し，精度を検証した．その結果，水面屈折の補正は，見かけの水深に屈折率を乗じる単純な方法でも，主要な誤差要因にはならならず，正しく機能することが明らかとなった．

参考文献

1) Woodget, A.S, Carbonneau, P.E, Visser, F. and Maddock, I.P.: Quantifying submerged fluvial topography using hyperspatial resolution UAS imagery and structure from motion photogrammetry, *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol.40, pp.47-64, 2015.

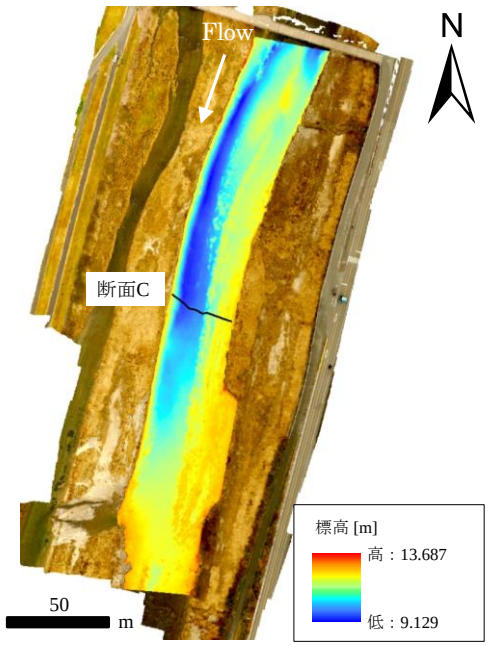

図-2 写真測量から得られたデジタル標高モデル

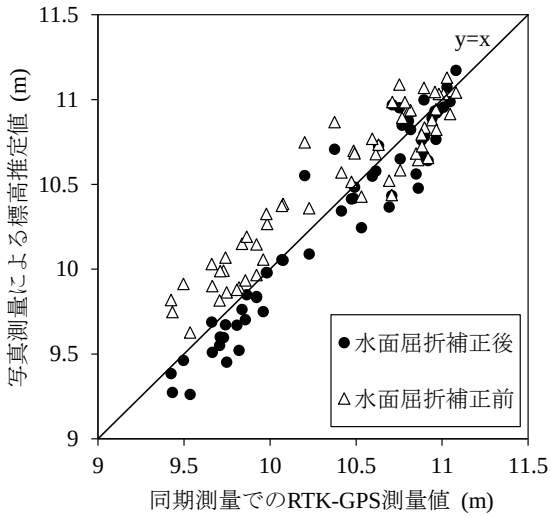

図-3 同期測量における RTK-GPS 測量値と，写真測量による水面屈折補正前後の標高推定値の関係

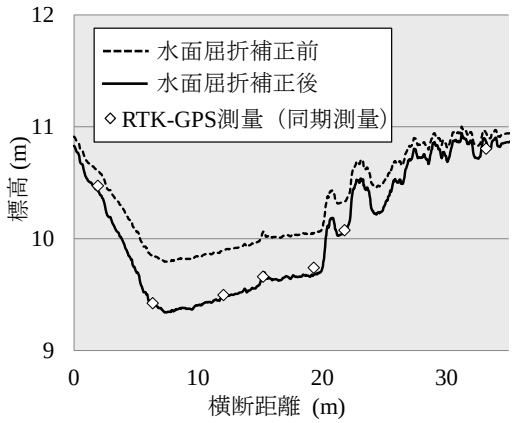

図-4 断面 C における，水面屈折補正前後の標高の推定値と，RTK-GPS による測量値の分布