

UAV から得られた外部標定要素による射影変換と画像解析による流速推定の試行

新潟大学大学院自然科学研究科 学生会員 ○大原 由暉
新潟大学工学部工学科 非会員 村松 正吾
新潟大学理学部理学科 非会員 早坂 圭司
新潟大学災害・復興科学研究所 正会員 安田 浩保

1 はじめに

合理的な河道計画の立案や更新のため、洪水のたびに流量の観測が実施される。特に近年では記録を更新する洪水が頻発し、以前に増して流量観測の重要性が高まっている。しかし、一般的な流量観測手法である浮子や ADCP では水面への接触を必要とため、流失の危険性が高く確実な流量観測が困難である。これに対し、カメラで撮影した水面の動画の画像解析により表面流速を測定する LSPIV¹⁾ や STIV²⁾ などの水面に対する非接触の流量観測が行われる。この手法は、水面への接触を必要とする手法と比較し簡便性や安全性、経済性に優れていることがメリットとして挙げられる。しかし、大河川に対しては、川幅すべてを画角に収めるため斜めに撮影する必要があり、射影変換によって無歪みのオルソ画像を作成する必要がある。LSPIV や STIV では既知点を用いることで画像の射影変換を行うが、少なくとも 4 点既知点が必要であり、洪水時の標定点の設置と測量は安全性の観点から現実的ではない。

近年、低価格化や高性能化により、画像解析の動画撮影に UAV が頻用される。現状、既知点による射影変換が行われるが、センサーなどの発展により、射影変換に必要なパラメータを UAV のみで高精度に取得できつつある。UAV 単独でパラメータの取得ができれば、画像解析による確実な流量観測の実施が可能となる。本研究では、まず、従来の既知点を利用した射影変換と UAV から得られる外部標定要素を用いた射影変換を実施する。その後、PIV によってそれぞれ流速を測定し、比較と検討を行った。

2 射影変換の手法

本研究では、単写真標定で用いられる共線条件式³⁾により画像の射影変換を行った。

2.1 既知点を用いた手法

河川の水面を平面と仮定することで、次に示す 2 次の共線条件式による射影変換が可能となる。

$$X = \frac{b_1x + b_2y + b_3}{b_7x + b_8y + 1}, Y = \frac{b_4x + b_5y + b_6}{b_7x + b_8y + 1} \quad (1)$$

ここで、 (X, Y) は対象物の地上座標、 (x, y) は対応する写真像の写真座標、 $b_{i=1,8}$ は未知の定数である。

2.2 投影中心座標とカメラの傾きを用いた手法

3 次の共線条件式は、次式のように変形できる。

$$\begin{aligned} x &= -c \frac{a_{11}(X - X_0) + a_{12}(Y - Y_0) + a_{13}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} \\ y &= -c \frac{a_{21}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{23}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 (X, Y, Z) は対象物の地上座標、 (X_0, Y_0, Z_0) は投影中心の地上座標、 c は焦点距離、 (x, y) は対応する写真像の写真座標、 a_{ij} は (ω, ϕ, κ) で表される回転行列の要素である。これらはすべて未知数であるが、UAV は GPS やセンサーによって、カメラの三次元座標 (X_0, Y_0, Z_0) とカメラの向き (ω, ϕ, κ) の未知数すべてを単独で取得できる。

3 種々の条件

UAV による動画の撮影は 2022 年 10 月 1 日 11 時に行い、天気は晴れであった。近傍の水位観測所で測定された水位は 42.30 m で、平常状態であった。

使用した機材について、UAV は DJI 社の Matrice300RTK、カメラは同社の Zenmuse P1 (焦点距離 35 mm) を用いた。本研究の目的は、より簡便な流量観測の検討のため、GPS についてはネットワーク型 RTK など高精度の測位手法を用いず UAV による単独測位とした。

射影変換の手法の違いによる流速への影響を検討するため、PIV の条件はそれぞれ同一とし、検索窓は 50 pix、オーバーラップは 10 pix、10 フレーム間隔で実施した。

4 画像の射影変換と PIV による流速の比較

4.1 既知点を用いた射影変換と流速の測定結果

動画の撮影範囲内において、標定点を 10 点設置し、ネットワーク型 RTK によって座標を測定した。式 (1) における未知数 $b_{i=1,8}$ は、10 点の座標をすべて用いて最小二乗法により決定した。射影変換に伴う画素の補間は、近傍 16 点の画素を用いる共 3 次内挿法を用いた。

図-1 に、オルソ画像と PIV を適用した結果を示す。流路中央で流速が大きく、側岸へ向かうにつれて流速が小さくなる傾向が確認できる。また、左岸側の水制付近では、流れが乱れている様子が見て取れる。

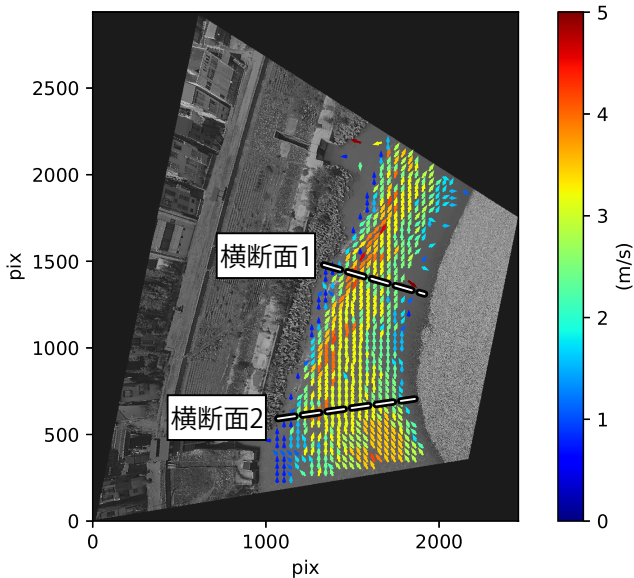


図-1 標定点によるオルソ画像と PIV の結果

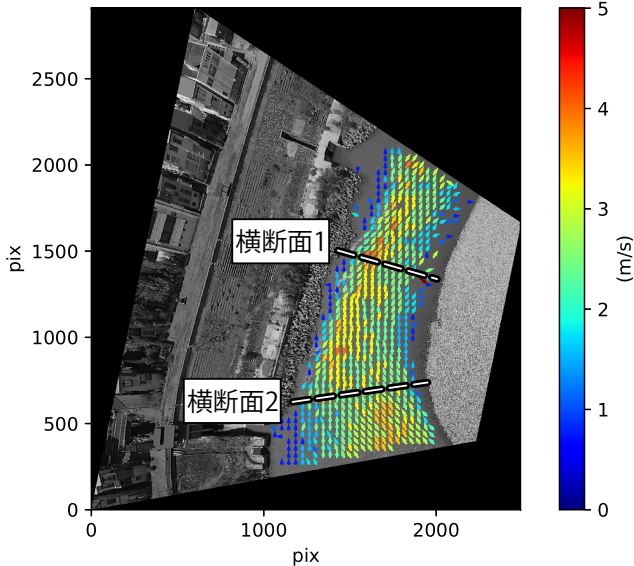


図-2 UAV で得た外部標定要素によるオルソ画像と PIV の結果

4.2 UAV を用いた射影変換と流速の測定結果

本手法で用いる式 (2) では、対象の平面からカメラまでの高さが必要となる。これは、GPS で測定された UAV の高度と近傍の水位計で測定された水位の差として算定した。射影変換に伴う画素の補間は、簡便な流量観測手法の検討という目的に合致するものとして、Python のグラフ描画ライブラリである Matplotlib⁴⁾ で出力した画像を用いた。

図-2 に、オルソ画像と PIV を適用した結果を示す。標定点による手法と比較し、全体的に流速の値が小さいことを確認できる。流れの向きや水制付近の様子などには大きな違いは見られなかった。

4.3 横断面における流速の比較

PIV の結果について定量的な評価を行うため、横断面における流速を比較する。図-3、図-4 は、図-1、図-2 において破線で示した横断面 1、横断面 2 の流速分布を示した

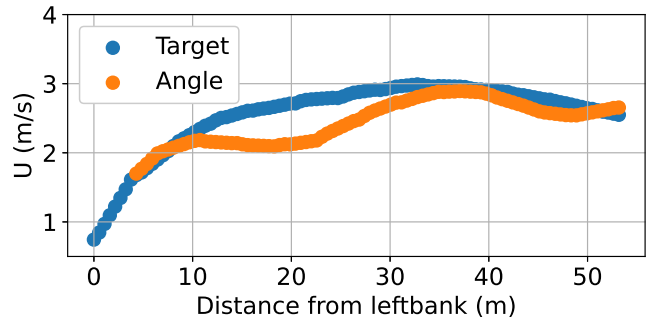


図-3 横断面 1 における流速の比較

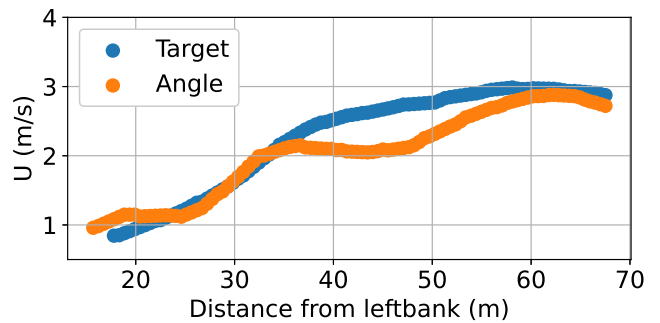


図-4 横断面 2 における流速の比較

ものである。縦軸が流速、横軸が左岸から右岸に向かった距離、青色で既知点による射影変換、橙色で UAV による射影変換で得られた流速を示している。

両者を比較すると、全体的に概ね流速の値は一致している。しかし、既知点による射影変換の結果では左岸側から右岸側に向かって流速がなめらかに増加しているのに対し、UAV による射影変換の結果では流速が横断方向に波打って増加していることが確認できる。本研究において PIV の結果に違いをもたらすのは、射影変換手法の違いとその後の分解能が低下した画素の補間手法の違いの 2 つである。検査領域と探査領域の画素値の相互相関係数を計算する PIV の原理から、射影変換手法に加え画素の補間手法の違いが結果に影響していると考えられる。

5 終わりに

本研究では、簡便な流量観測手法の検討のため、UAV のみで取得可能な外部標定要素を用いた射影変換と PIV を適用し、一般的な手法との比較を行った。その結果、流速の値としてはおおむね妥当な結果が得られた。しかし、画素の補間手法の違いに由来すると考えられる流速の不自然な分布が確認され、さらなる検討が必要である。

参考文献

- 1) 藤田一郎, 河村三郎: ビデオ画像解析による河川表面流計測の試み, 水工学論文集, 第 38 巻, pp.733-738, 1994.
- 2) 藤田一郎, 椿涼太: 時空間画像を利用した河川表面波紋の移流速度計測, 河川技術論文集, 第 9 巻, pp.55-60, 2003.
- 3) 日本写真測量学会編: 写真による三次元測定, 共立出版, 1983
- 4) <https://matplotlib.org/>