

## 1. 研究の目的

我が国における河川は河況係数が3桁となるような河川がほとんどであり、洪水時には平水時とは全く異なる流況を呈する。そのため、河川の適切な整備のためには、洪水発生時の流況を正確にかつ広範囲に把握しておくことが重要となる。しかしながら、現在は水位観測や浮子流量観測に代表されるようにある断面における観測が主体であるため、平面的な流況は平面二次元解析などで推定しているに過ぎず、解析結果の観測データによる検証はほとんど行われていないのが現状である。河岸からの映像で流れ場を画像計測する方法は発達してきたが<sup>1)</sup>、1点で把握できる河道区間には限界がある。そこで今回注目したのが、過去に災害現場を撮影したヘリビデオ画像や無人飛行機(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)による撮影ビデオの利用である。これらの映像に共通するのは、たとえホバリングをしていてもエンジンや風の影響で常時画像にブレが生じている点である。本研究では、このように背景が時々刻々変化する画像のブレを自動的に連続補正するアルゴリズムを考案し、河川流画像計測手法である STIV(Space-Time Image Velocimetry)<sup>2)</sup>をブレ補正画像に適用して、広範囲に渡る表面流速分布が得られる Aerial STIV を開発した。

## 2. ブレ補正手法

Aerial STIV では河川を被写体としたブレを含む動画の全ての連続フレームを用いる。本研究では、少なくとも数十秒間はホバリングをしており、撮影範囲が大幅には変化しない動画を想定している。ブレ補正の基本的考え方は、対象動画の最初のフレーム(リファレンス画像と呼ぶ)の背景(河川以外の地上部分など)が、それ以後のフレーム画像に含まれるものと一致するようにフレーム画像をわずかず射影変形させる点にある。本研究ではこのことを実現するために、いわゆる知的画像処理と呼ばれる SIFT 法<sup>3)</sup>や RIPOC 法<sup>4)</sup>の長所を組み合わせたアルゴリズムを考案し、上述の画像のマッチングに必要な画像のブレ量(変位や回転)の推定を、数百枚の連続フレームに対して自動修正できるようにした。以下では、各手法の概要について簡単に説明する。

SIFT<sup>3)</sup>は大きく分けて画像における特徴点を抽出する段階(detection)と特徴点の特徴量を記述する段階(description)がある。ブレ補正ではリファレンス画像、フレーム画像双方でこの処理を行う。そして似た特徴量をもつ各画像の特徴点2点を1組とし、対応付ける。6組以上の対応付けがなされれば射影変換が可能である。Detection はスケールとキーポイント検出とキーポイントのローカライズ、description はオリエンテーションの算出と特徴量の記述からなるがここでは詳しい解説を避ける。詳細は参考文献を参照されたい。SIFT は自然地形を被写体としたような局所的に似たような部分が画像中に散在している場合、誤った特徴点の対応付けがなされて失敗に至る場合が多い欠点を持つ。

RIPOC<sup>4)</sup>はフーリエ変換の位相成分に注目して2枚の画像の平行移動量を算出する POC を発展させたものである。RIPOC ではリファレンス画像、フレーム画像双方の極座標変換画像を作成し回転量、拡大率を平行移動量に変換して算出することで、両画像間の平行移動量、回転量、拡大率を計算することができる。しかし、これらの情報により画像を相似変換させることは可能であるが、射影変換ができないという実用上の欠点がある。そこで、本研究ではまず RIPOC によりリファレンス画像とフレーム画像間の平行移動量、回転量、拡大率を概算し、SIFT による対応付けを行う際に、この概算値から大きく外れる対応付けを除外することで信頼度の高い対応付けを残すこととした。これにより自然地形に対する頑健性の高いブレ補正を実現した。ただし、河川流水部分はマスキングし、解析に影響しないように工夫した。

### 3. 魚野川根小屋橋地点における観測結果

ここでは今回開発した Aerial STIV を、新潟県魚野川根小屋橋地点での融雪出水観測時に撮影した UAV からの映像に適用した結果を示す。この観測は、水工学委員会流量観測技術高度化小委員会と土木研究所を中心とした共同観測の一環として実施されたものである。使用したのはプロ仕様の高性能マルチコプター（ルーチェサーチ社、直径 85cm、高さ 45cm、重量 3.8kg）で、機体下に取り付けたデジタル一眼カメラでハイビジョン動画撮影を行った。本機は上空においても非常に安定なホバリング飛行を実現できたが、それでも画像のブレは生じた。撮影は約 150m の水面幅の両岸堤防が同時に画角に入るように、撮影高度を約 250m に設定した。得られた画像の解像度は約 17cm/pixel であった。一回の飛行時間は約 15 分で、バッテリーを交換しながら主に根小屋橋の上流の河道区間を順次カバーするようにホバリング撮影（数分間）を繰り返した。STIV における解析は検査線を水面域に多数配置（横断方向 30 測線、縦断方向 10 断面程度）して行った。ある検査線における時空間画像 (STI, 300 フレームから構成) を図-1 に示す。STI 上の縦縞は水面に生じていた定在波、右斜めのパターンはその定在波面上を通過する微細な波紋の移流状況を示している。斜めパターンの勾配からその検査線上を流れる流速の平均値がわかる。図-1 の斜めパターンが安定していることから、ブレ補正が良好に行われたことがわかる。

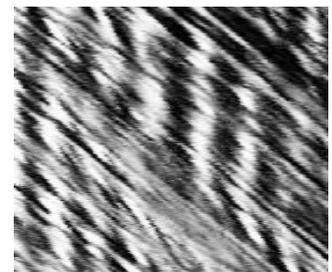


図-1 STI の例：横 23.4m、縦 10sec

数回のホバリング撮影で得られた各検査線上の流速を平面的に合成してコンタープロットしたのが図-2 である。流れが左岸寄りに集中している流況や、橋の左岸上流の水制が流速低減域を生成させている様子がよくわかる。得られたデータを定量的に評価するために、当日、同時に行っていた ADCP と河岸からの STIV の各結果をある測線のデータと比較したのが図-3 である。流速が低くなる浅い部分を除けば、各手法による結果は良好に一致している。ADCP による結果のブレは、水表面から 25cm の点のデータであることが要因と考えられる。

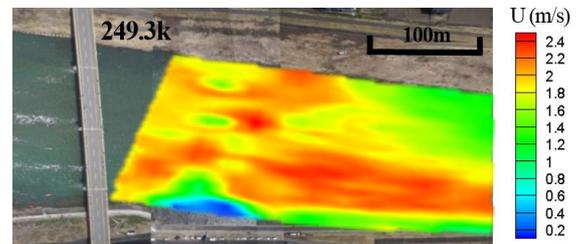


図-2 主流速の平面分布（流れは右から左）

### 4. 結論

UAV からの撮影動画に含まれるブレを高精度に補正するアルゴリズムを開発し、実河川の洪水流に適用した結果、約 300m 区間の表面流速分布を良好に得ることができた。今後は、ホバリングではなく移動撮影しながらの動画や、報道機関等のヘリで撮影された動画の解析を進める予定である。

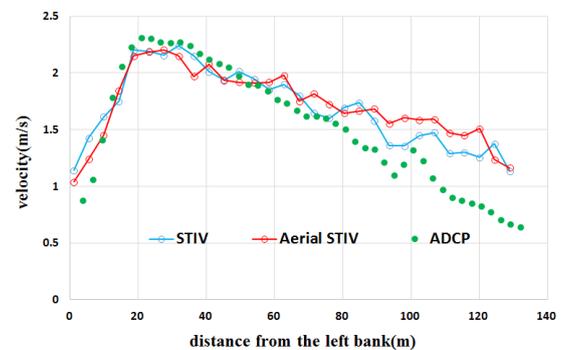


図-3 Aerial STIV と他手法の比較

### 5. 謝辞

本観測では、ICHARM やルーチェサーチ社をはじめとする多くの方々の協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

### 6. 参考文献

- 1) 藤田ら:複数アングルの画像計測とラジコンボート搭載型 ADCP による融雪洪水流の空間計測,土木学会論文集 B1(水工学), Vol.70, No.4, I\_613-I\_618, 2014.
- 2) Fujita, et al: Development of a non-intrusive and efficient flow monitoring technique: The space time image velocimetry (STIV), International Journal of River Basin Management, Vol.5, No.2, pp.105-114, 2007.
- 3) Lowe, D.G : Distinctive image features from scale-invariant key points, Proc. of Int. Journal of Computer Vision (IJCV), Vol.60, No.2, pp.91-110, 2004.
- 4) Takita, K., Aoki, T., Sasaki, Y., Higuchi, T. and Kobayashi, K.: High-accuracy subpixel image registration based on phase-only correlation, IEICE Trans. Fundamentals, vol. E86-A, no. 8, pp. 1925-1934, 2003.