

# 時空間画像の縞模様角度の調整を目的とした時間方向の伸張処理に関する検討

新潟大学大学院自然科学研究科 学生会員 ○大原 由暉  
新潟大学災害・復興科学研究所 正会員 安田 浩保

## 1 はじめに

著者らの研究グループでは、実河川や河口部において天候や時間帯に対して安定した数キロメートルの広範囲観測を目的として、地上マイクロ波レーダーの有効性を示している<sup>1)</sup>。このようなレーダにより洪水時や冬季風浪などの人為による作業が困難な環境においてさえ反射強度の動画を確実に得られる。その動画の画像解析により表面流速を推定でき、観測事実に基づく現象解明の期待できる。しかし、レーダーによる反射強度動画は、画像解析における流速測定の見点からは低品質である。そのため、二次元の流速分布を求める PIV ではなく一次元ではあるが低品質な画像から流速を算定する STIV<sup>2)</sup> が有効である。

STIV では、流速を算定する際に時空間画像の縞模様の角度  $\theta$  における  $\tan \theta$  を用いる。そのため、動画の空間分解能と時間分解能、対象とする流れの流速の関係により  $\theta$  の値が 90 度に近づくにつれ  $\theta$  の値が変化した場合にも結果の流速が大きく変化する問題がある。これを解決するには、STIV を適用する動画の空間分解能を低くするか時間分解能を高くする必要があり、後者は一種の超解像のため適切な補間が求められる。従来 STIV が適用されているカメラで撮影した動画は、地上画素寸法が数 cm で水面の波紋や漂流物に対して十分な解像度なため、空間分解能を低くしても大きな問題は生じない。そのため、 $\tan \theta$  の問題を容易に回避できるため、時間分解能の調整はされていない。

一方、レーダーで得られる反射強度動画は、空間分解能が数 m、時間分解能が 1.25 秒かつ対象としている流速が数 m/s のため、 $\theta$  の値が 90 度に近くなり、前述の問題が顕著となる。したがって、 $\theta$  を調整する必要があるが、そもそも空間分解能が対象である水の流れに対して十分とは言えず、この場合はサンプリング定理の見点から流速の測定そのものが困難となる。この時、 $\theta$  を調整するには時間分解能を高くしなければならないが、カメラ動画ではその必要がないため、この検討の先行例はない。

本研究では、反射強度動画のようなカメラ動画と異なり空間分解能を低下させるのが困難な場合の対応として、縞模様の角度  $\theta$  の調整を目的とした時空間画像への処理を試

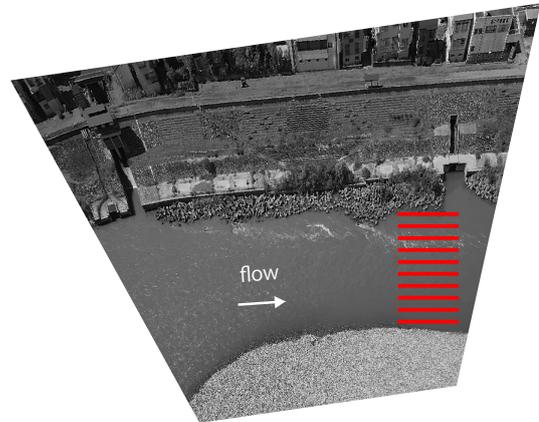


図-1 オルソ画像と検査測線

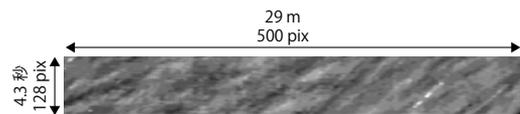


図-2 時間方向へ伸張処理を行う時空間画像

みる。具体的には、時空間画像の単位画素あたりの時間を小さくするために時間方向への引き伸ばしを行い、適切な補間をする。その後、元の時空間画像と時間方向への伸張処理を行った時空間画像から得られた流速の横断分布を比較することで、伸張処理の妥当性を確かめる。上記は、結果の比較が容易な UAV で撮影した動画を用いて行う。

## 2 対象とする時空間画像

本研究では、信濃川小千谷水位観測所付近で撮影した動画により得られた時空間画像へ時間方向の伸張処理を行う。

図-1 は、撮影した動画のオルソ画像で、単写真標定で用いられる共線条件式<sup>3)</sup>により射影変換を行った。赤線は、時空間画像を作成する検査測線を示している。

図-2 は、設定した検査測線から得られた時空間画像のうち 1 つを示したもので、本研究ではこの時空間画像に対して処理を行う。縦軸が時間方向、横軸が空間方向を示していて、ここから縦軸方向へ伸張処理を実施する。

## 3 時間方向への伸張による画素の欠損と補間

図-2 における時間 (縦軸) 方向へ対する斜め縞模様の角度を小さくすることを目的として、時空間画像の伸張処理を行う。このとき、伸張により生じた元々存在しない時刻

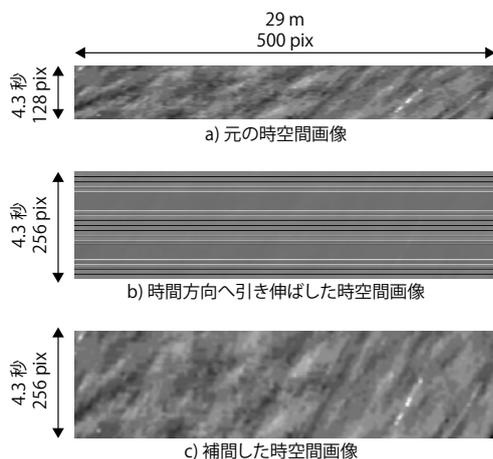


図-3 a) 元の時空間画像, b) 時間方向へ2倍に引き伸ばした時空間画像, c) 補間した時空間画像

の画素については適切に補間する必要がある。その補間により得られた時空間画像と元の時空間画像を比較する。

図-3は、a) 元の時空間画像、b) 時間方向へ元の2倍に引き伸ばした時空間画像を示したものである。a)には、時空間画像特有の斜めの縞模様が確認できるが、時間方向へ引き伸ばしたb)については目視では斜めの縞模様は確認できず、補間前の画素による横方向への模様が見られる。

この画素の補間には、全変動の最小化による手法を採用する。時空間画像における縞模様角度 $\theta$ の算定方法として、大まかには時間方向と空間方向への画素の微分値を積分した結果を用いているため、テクスチャのエッジが重要となる。また、本手法は高波数のノイズに弱いことが知られている<sup>4)</sup>。そのため、エッジを保存しながらの滑らかな補間が可能<sup>5)</sup>な本手法を用いる。

図-3のc)は、b)をa)と乖離しないように上記の手法により補間した結果を示している。c)にはa)と同様の斜め縞模様が確認でき、時空間画像として適切に補間されていることが定性的にわかる。また、本研究の目的である時間方向へ対する角度を小さくすることも達成されていることが確認できる。

#### 4 推定した流速横断分布の比較

前章で得られた時空間画像a)の伸張処理結果であるc)は、時空間画像としては定性的に問題ないと言える結果であった。しかし、最終的には流速を適切に算定可能なことが求められる。ここでは、時空間画像a)とc)から $\theta$ を算定し流速を求め、その横断分布を比較することで時間方向へ伸張処理した時空間画像の妥当性を調べる。

図-4は、時空間画像a)とc)から得られた流速の横断分布を示したものである。縦軸が流速、横軸が左岸からの

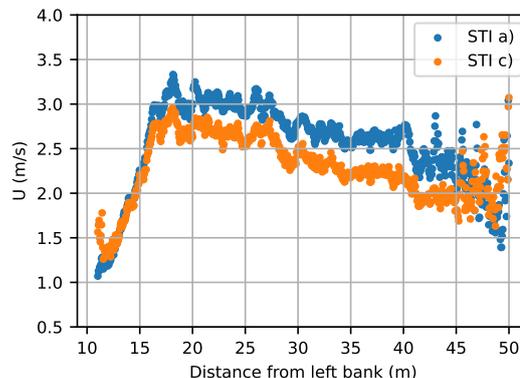


図-4 元の時空間画像と引き伸ばした時空間画像から得られた流速の横断分布

距離、青点でa)から得られた流速、橙点でc)から得られた流速を示している。

それぞれ横断方向へ同じ変化をしていることと、時空間画像c)から得られた流速は、a)から得られた流速と比較して小さいことが確認できる。そもそも時間方向への伸張処理は、縞模様の角度を調整することで過剰に大きくなる流速の値を小さくすることを目的としているため、この違いは妥当なものといえる。流速の横断分布形状がほぼ同一なことを踏まえると、時間方向への伸張処理を施した時空間画像による流速測定は可能であると考えられる。

#### 5 終わりに

本研究では、時空間画像における縞模様の角度を調整することを目的として時間方向への伸張処理とそれに伴う画素の補間、得られた流速の比較を行った。その結果、時間方向へ伸張処理をした時空間画像から得られた流速の横断分布は元の時空間画像から得られる流速と概ね一致することがわかった。よって、空間分解能が十分ではないレーダーから得られた反射強度動画のような条件においてもSTIVにより流速が測定できる可能性が示唆された。ただし、流速が若干小さく算定されることに注意する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 大原由暉, 茂木大知, 早坂圭司, 村松正吾, 安田浩保, 地上マイクロ波レーダーのエコーデータ処理による洪水流量の推定, 河川技術論文集, 第29巻, 2023年6月
- 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) Tsubaki, R.: On the Texture Angle Detection Used in Space-Time Image Velocimetry (STIV), *Water Resour. Res.*, 53, 10908-10914, 2017.
- 5) Strong, D. and Chan, T.: Edge-preserving and scale-dependent properties of total variation regularization. *Inverse Probl.* 19 (6), S165-S187., 2003.
- 6) Steven, D. and Stephen, B. CVXPY: A Python-embedded modeling language for convex optimization, *Journal of Machine Learning Research*,