

「研究テーマ名」

CCTV や UAV を用いた河川表面流計測における波動成分除去フィルターの開発

神戸大学大学院工学研究科

藤田 一郎

1 研究の背景と目的

近年、気候変化の影響により国内外で洪水災害が頻発している。洪水対策のためには降雨というインプットに対するアウトプットである流量把握が重要であり、申請者は従来手法の浮子法を十分に補完する画像解析手法 (STIV : Space-Time Image Velocimetry) を提案してきている。この手法は解析ソフトウェア (KU-STIV) として一部商品化され、実務においても本格的な導入が検討されるに至っている。ただし、洪水流観測の現場利用においては水面変動の影響が著しく、現在のままの解析手順では無視できない誤差が発生するケースも発生し、計測の完全自動化に支障を来たすことがわかってきた。河川表面に現れるテクスチャーを追跡する本解析手法における誤差要因の大半は、波動による水面変動の影響が卓越するためであることから、波動成分の影響を効率的に分離・除去できれば、CCTV を用いた流量観測のリアルタイム計測や UAV による計測の精度を格段に高めることが可能となる。本研究では、画像の時空間特性を波数周波数スペクトルにより把握し、波動成分を排除できる画像フィルターを開発することを主たる目的とする。

2 研究方法・研究内容

本研究では、第1のステップとしてこれまでに研究室で取り扱ってきた河川表面流のビデオ画像を、STIV 解析の途中で生成される検査線に対する時空間画像 (STI) の特徴別に分類した。ここに検査線とは流れ方向に想定したある長さを有する線分のことであり、STI は検査線上の輝度分布を時間軸方向に積み重ねて生成されるものである。検査線を設定した例を図-1 に示す。これは魚野川の融雪洪水のビデオ画像で流れ方向に25本の検査線を設定したものであるが、水面の凹凸パターンが輝度分布の変化として現れており、検査線上輝度分布の時間変化を時空間画像 (STI) の形式で表すことができる。STIV の実河川流計測の適用において課題となるのが悪条件下、すなわち、荒天時や降雨時あるいは夜間における計測である。このような条件下で撮影されたビデオ画像から得られる STI には様々なノイズに加えて水面で発生する分散波の影響が含まれているため、ここではまず STI に現れるパターンの分類を行った。そこで本研究では、時空間画像上に現れるパターンを便宜的に10通りに分類した。すなわち、1)Normal, 2)Shadow, 3)Light, 4)Wavy, 5)Standing Wave, 6)Whitecap, 7)Random, 8)Obstacle, 9)Noise, 9) Vague である。分類した STI の例を図-2 に示す。

これらは様々な河川で取得された STI で、オリジナルの画像サイズ (横軸: 検査線長さに対応する画素数, 縦軸: 計測時間に対する画素数) は個々に異なるが、ここでは比較を容易にするために同じサイズに変形している。従って、ここでは得られる流速値そのものではなく、STI 上に現れるパターン勾配に対する検出性能について調べる。図中の赤の斜線については後述する。

図-2 に示した各々の特徴は各パターンにつけた名称で類推できるが、例えば、Light は夜間の街灯の光が検査線の一部分にかかる場合、Wavy は大規模なボイル渦などが通過する場合、Standing Wave は定在波が生じている場合、Obstacle は検査線の一部に植生などの一部にかかる場合、Noise は遠赤外線カメラ利用時に河川表面以外の電子ノイズが混在する場合、Vague は深い霧の発生などでパターンが不鮮明な場合である。昼間で撮影条件が良好な場合には、Normal に示すような一様なテクスチャーが得られるが、撮影場所の

条件によってはここに示したような様々な STI が得られる。重要なのは Vague と Noise を除いたケースでは目視でテクスチャーの勾配を確認でき、自動解析では異常値となってもマニュアル解析では概ね良好な結果を出せる点である。従って、自動解析においても目視で確認できるパターン勾配を検出できるような工夫が必要となってくる。本研究で考案したのは STI を二次元フーリエ変換し、得られた波数・周波数空間において流れの成分を示

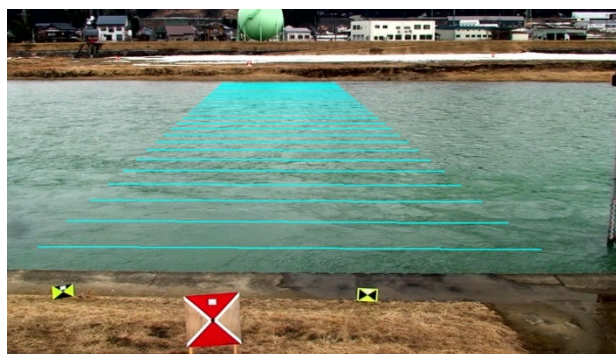


図-1 STIV における検査線の設定状況

す部分を除いてマスキングし、マスクされた変換画像を逆変換するという手順である。

図-2に示すような STI はその斜め方向のパターン勾配の平均が表面流速を示している。このようなパターンが得られるのは水面に様々な流れの影響で微細な凹凸が生じているからであり、実河川計測ではこれらの凹凸のパターンが表面流速で流下すると想定している。この仮定は、高精度の計測装置（例えば ADCP）との同時計測による比較でも十分に成

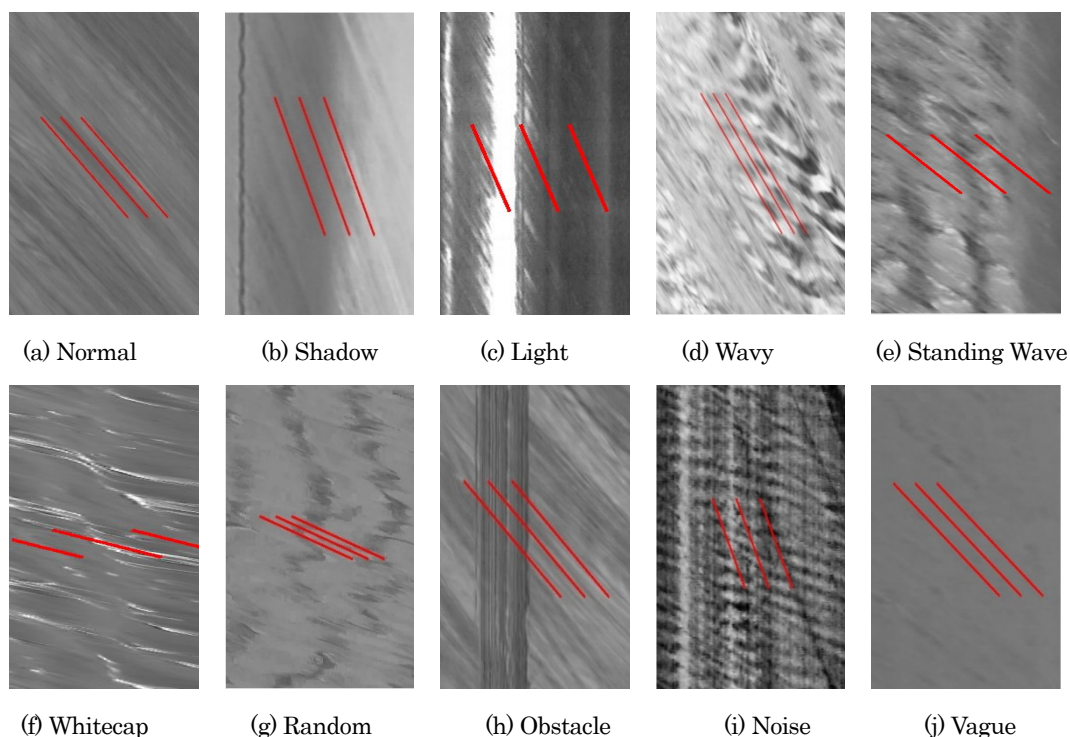


図-2 撮影条件等による STI の分類（縦軸：下向きに時間，横軸：検査線長さ）；赤の斜線は図-4 と同じもの。

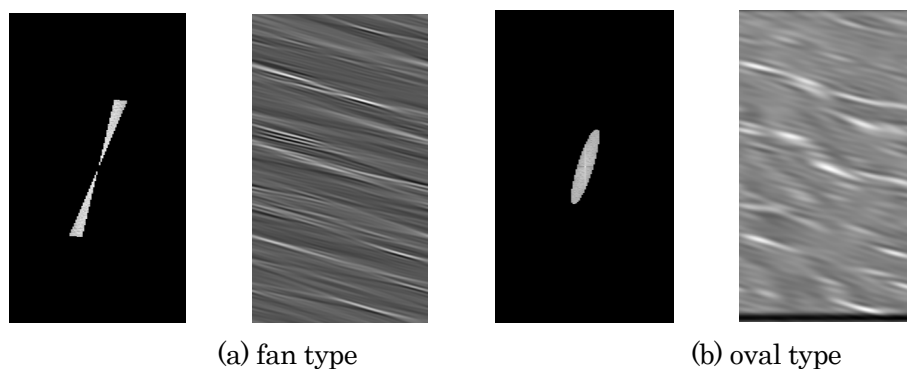


図-3 Whitecap の STI に対するマスクングと逆変換後の STI

立することが経験的にわかっているが、実際の河川の状況では水面に発生する重力波の影響で平均流よりも遅いか速い速度に対応するパターンが得られる。実験室レベルの詳細な計測では、波数周波数スペクトルに平均流と重力波の影響によるパターンが明確に得られており、平均流に対応するのは二つの重力波のパターンに挟まれた部分であることが知られている。そこで、本研究では斜め方向に有意なパターンを選択的に抽出し、その部分を除く領域の影響を排除するフィルターを考えた。一例として、Whitecap のケースに適用した結果を図-3に示した。マスクとしては、fan-type と oval-type を考えたが、前者の

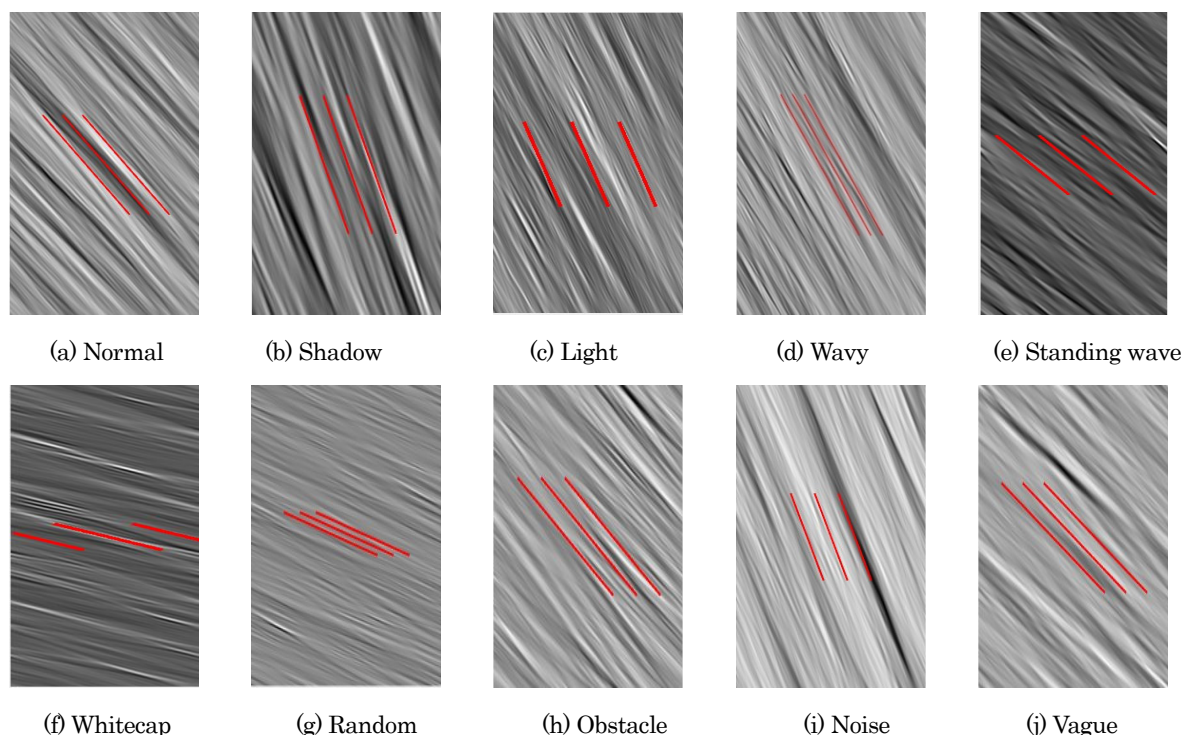
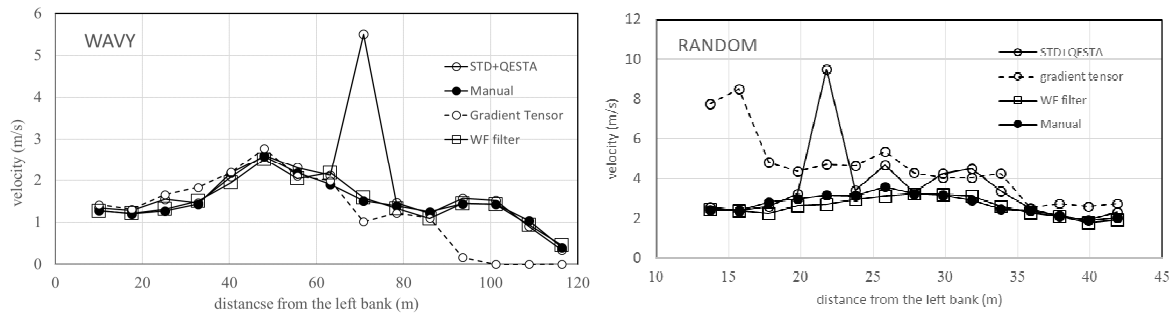


図-4 各 STI (図-1) に対するフィルター適用後の STI と STIV の結果 (縦軸：下向きに時間, 横軸：検査線長さ)

方がノイズ除去の性能が高いことがわかったため、以降はこのマスクを使う。このマスクの傾きと広がりにはオリジナルの画像において斜め方向の輝度が高い部分を選択的に自動抽出できるようにした。

3 研究成果

以上の手法を用いて、図-2に示した STI を修正した結果を図-4に示す。ほとんどのケー



(a) Wavy が卓越するケース

(b) Random が卓越するケース

図-5 横断流速分布の比較

すで、一様なテクスチャーが得られていることがわかる。このレベルの STI になれば、STIV の手法にかかわらず、精度の高い結果が求まる。今回取り上げた例の中で最もパターン勾配の識別が難しいのは複数のパターンが混在している Noise のケースであるが、明らかに電子的なノイズがあるために、このような場合でも移流成分の抽出は可能となる。図-4には、輝度勾配テンソル法で求めた平均勾配を赤線で示したが、図-2に記入していた赤線はこれを複製したものであり、目視でも確認できるテクスチャーの勾配が良好に求まっていることがわかる。すなわち、悪条件下の STI に対しても、従来なら目視で求めていた勾配を合理的に求めることが可能となった点が重要である。

以上、本研究で開発した波数周波数フィルターの効果をさらにチェックするために、実河川洪水時の横断流速分布を比較する。Wavy と Random のテクスチャーが卓越していた場合の結果を図-5に示す。オリジナル STI を用いた輝度勾配テンソル法、マニュアル、標準化フィルター適用後の QESTA、および波数周波数 (WF) フィルターを用いた場合の結果を比較した。開発フィルターは従来法が破綻するようなケースにおいても、注意深くパターン勾配を識別して求めたマニュアルと同等の結果を出していることがわかる。

本研究では、ここで示した以外に、中波赤外線カメラを用いた河川表面流の観測も行っている。場所は木津川の御幸橋で夕方から夜間にかけて橋上から下流側を撮影した画像を図-6に示す。図中の紋様は河川表面の温度分布に対応するものであり、流れ方向に移流することを確認できる。中波赤外線カメラでは 0.05 度程度の温度分解能があるためにこのような河川表面の乱流場を示すパターンが得られており、目視では全く視認できないものである。洪水時に発生する乱流起因のパターンを追跡するのが STIV の基本であるが、このように外力に依存しない温度分布のテクスチャーが得られれば、低流速にも対応可能となる。

4 生活や産業への貢献および波及効果

本研究で考案した画像フィルターは、降雨が激しい場合や夜間などの荒天時においてもビデオ画像から河川表面流速を計測できる可能性を示すものである。流量観測の無人化や省力化が重要な課題となっている現在、STIV ソフトウェアへ機能搭載すれば、従来以上に安定で信頼性の高い計測システムを構築することが可能となり、大きな波及効果が期待できる。



図-6 中波赤外線カメラによる撮影画像