

第II部門 三次元時空間体積を用いた河川表面流解析手法の開発

神戸大学工学部 学生員 ○辻 一成

神戸大学工学部 学生員 能登谷祐一

神戸大学大学院工学研究科 正会員 藤田一郎

1. はじめに

近年、実河川の流速計測手法として非接触型の画像解析手法が注目を集めている。その代表例が STIV(Space-Time Image Velocimetry)であるが、この手法では流向を予め推定した上で流速分布を求めているため、流向が複雑に変化する流れ場への適用は難しい。そこで、本研究ではSTIVの検査線概念をさらに一般化し、検査面を設定することにより、流速・流向を同時に解析することができる手法としてSTVV(Space-Time Volume Velocimetry)を開発した。以下ではCG画像を用いた計測精度の検証結果を示す。

2. STVVの概要

STVVは、STVの作成、自己相関関数の算出、対数球座標変換、方向軸相関値平均の4つで構成される。以下に、各過程について詳しく述べる。

(a) STVの作成

河川を撮影した画像上に検査面を設置し、検査面上の輝度値を時間軸上に積み重ねることで3次元データを抽出する。STVの一例を図1に示す。

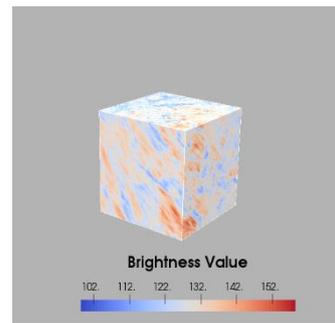


図-1 STV

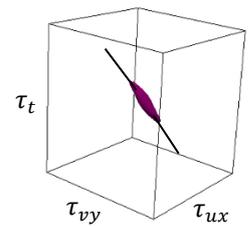


図-2 自己相関関数 acf=0.55

(b) 自己相関関数の算出

自己相関関数(acf; autocorrelation function)をSTVについて計算する。自己相関関数の例を図2に示す。R(0,0,0)を中心とするおよそ楕円体となる。その長軸の上面図における長軸方向が流向、側面図における長軸方向がそれぞれ画像縦方向、画像横方向の速度成分のパターン勾配となる。

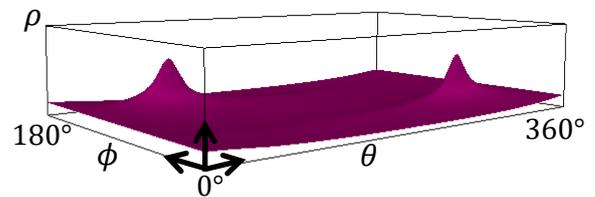


図-3 対数球座標変換

(c) 対数球座標変換

STV中心から放射状に延びる方向軸上の自己相関関数の平均を求め最大となる方向を長軸方向とする。しかし、この処理を直交座標系で処理するのは煩雑なため前処理として対数球座標変換を行う。対数をとるのは流速・流向算出における重要な情報が中心付近に存在するため中心付近に重みづけするためである。対数球座標変換の例を図3に示す。

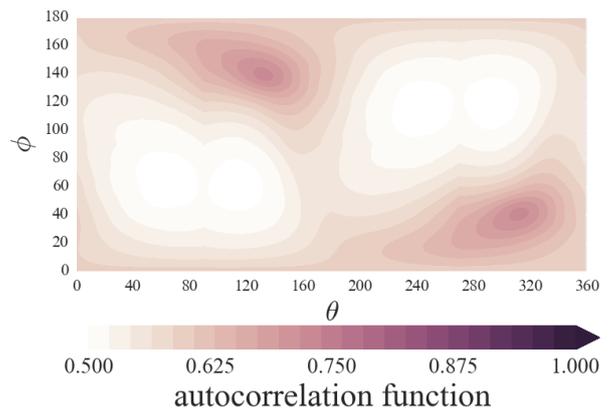


図-4 方向軸相関値平均

(d) 方向軸相関値平均

対数球座標変換により自己相関関数の方向軸平均を容易に算出することができる(図4)。方向軸相関値平均が最大となる時を自己相関関数の長軸方向であると判断でき、 θ, ϕ がそれぞれ流向、流速のパターン勾配となる。画像横方向、画像縦方向それぞれの流速 u, v は式(1)(2)によって求められる。なお、 k はフレームレートにピクセルサイズを乗じた値である。

$$u = k \cdot \tan\phi \cos\theta, \quad v = k \cdot \tan\phi \sin\theta \quad (1)(2)$$

Issei TSUJI, Ichiro FUJITA, Yuichi NOTOYA

ifujita@kobe-u.ac.jp

3. 検証概要

STVVにおけるパラメータには主にフレーム数と検査面サイズの2つがある。本研究では、CG画像(図-5)を作成しこの2つのパラメータ検証を行った。このCG画像は300フレームで10.8[deg]回転する3840×3840[pixel]の画像群を作成し、STVVを適用した。検査面は中心から1700[pixel]の円周上に48個設置し、理論値との流速、流向についての誤差を調べた。流速については流速相対誤差、流向については方向統計学で一般的に用いられる von Mises 分布における集中度パラメータから信頼係数90%で流向誤差を求めた。集中度パラメータは正規分布における逆分散と類似の意味を持つので、値が大きいほど誤差が小さいことを表す。流速相対誤差は式(3)、集中度パラメータは式(4)にて示される。

$$V = \sqrt{\sum_{i=1,2,\dots,N} \left(\frac{VV_i - VI_i}{VI_i} \times 100 \right)^2} \quad (3)$$

$$p(\theta|\theta_0, \kappa) = \frac{1}{2\pi I_0(\kappa)} \int_0^{2\pi} \exp\{\kappa \cos(\theta - \theta_0)\} \quad (4)$$

なお、式(3)において流速相対誤差平均を V 、検査面数を N 、STVV で算出された流速 VI 、理論値を VI とし、式(4)においては、 I_0 は0次の第1種変形ベッセル関数、 θ_0 は平均、 κ は集中度パラメータとした。

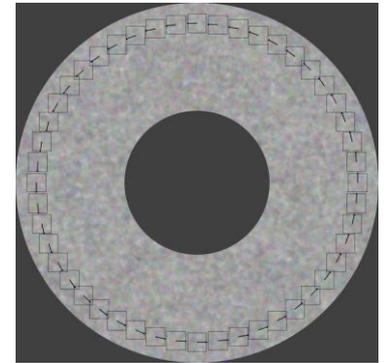


図-5 CG 画像

4. フレーム数についての検証

設定条件はフレーム数を10~300までの10刻み、検査面サイズは200×200[pixel]とした。流速相対誤差についての結果を図-6に示す。フレーム数が大きくなるにつれて理論値との誤差が減少することがわかり、それはフレームの2乗に反比例する結果となった。また、図-7に示すとおり、集中度パラメータから求めた信頼係数90%の流向誤差についても同様の結果となった。

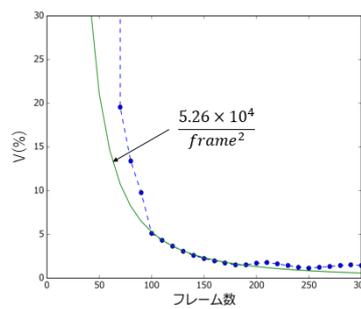


図-6 流速相対誤差

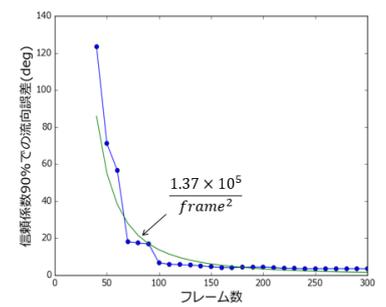


図-7 流向誤差

5. 検査面サイズについての検証

設定条件はフレーム数300、検査面サイズを10~200の5刻みとした。流速相対誤差についての結果を図-8に示す。検査面サイズが大きくなるにつれて理論値との誤差が減少することがわかり、それは検査面の一辺の4乗に反比例する結果となった。また、図-9に示すとおり、集中度パラメータから求めた信頼係数90%の流向誤差についても同様の結果となった。

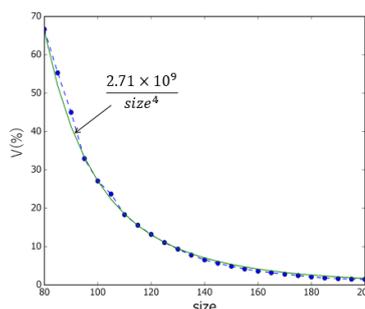


図-8 流速相対誤差

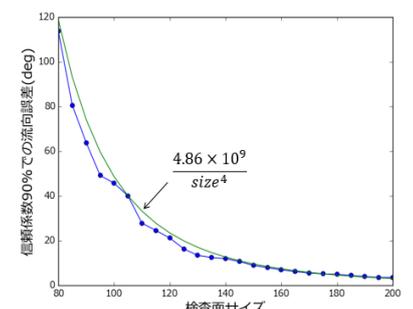


図-9 流向誤差

6. おわりに

本研究ではSTVVにおけるパラメータ検証を行い、パラメータによる精度への影響を明らかにした。流向、流速の誤差はフレーム数の2乗、検査面サイズの4乗に反比例し精度が高くなることを確認した。また、フレーム数が150以上の時、流速相対誤差2.2%、流向誤差5[deg]以下、検査面サイズ180×180[pixel]以上の時、流速相対誤差2.1%、流向誤差5.0[deg]になることが示せた。

参考文献

- 1) 能登谷祐一, 藤田一郎, 建口沙彩, 三次元時空間体積を用いた河川表面流ベクトルの計測手法 STVV の開発, 水工学論文集, 第61巻, 2017. (掲載予定)