

# 市販ソフトを用いた画像解析技術による 河川流量算出に関する検討

STUDY ABOUT THE CALCULATION OF RIVER FLOW DISCHARGE  
BY IMAGE ANALYSIS METHOD USING THE MARKETED SOFTWARE

本永良樹<sup>1</sup>・山本泰督<sup>2</sup>・栗城稔<sup>3</sup>

Yoshiki MOTONAGA, Taisuke YAMAMOTO and Minoru KURIKI

<sup>1</sup>正会員 博 (工) (一財) 河川情報センター 河川情報研究所 (〒102-8474 東京都千代田麹町1-3)

<sup>2</sup>非会員 (一財) 河川情報センター 河川情報研究所 (同上)

<sup>3</sup>正会員 工学修士 (一財) 河川情報センター 河川情報研究所 (同上)

It has become easy to conduct the image analysis method about water surface velocity of river flow recently for good analysis software was marketed. The authors conducted the sensitivity analysis about river flow discharge calculated by STIV, one of the image analysis methods, using the released software, changing the number, length of inspection line and the movie time. As the result, the conditions to gain the analytical water discharge value by STIV which was close to the measured value by ADCP were shown. In addition, it was shown that it was difficult to apply the present STIV technique to the low water discharge measurement at small rivers.

**Key Words :** Image analysis method, STIV, marketed software, water discharge, sensitivity analysis

## 1. はじめに

我が国の高水時の流量観測は主に浮子測法が採用されてきた。出水時にピーク到達時間が早く、また流速が速く、流木等の流下物が多い我が国の河川において河川縦断方向に多数の地点で流量観測を実施する上で、使用する機材(棒浮子)が安価であり、技術的に容易でかつ比較的 safely に実施できる浮子測法は適した方法であった。また浮子測法は流量を算出する原理が直感的に理解しやすいことも長年にわたり主な手法として利用され続けている理由の一つであると思われる。一方で浮子測法については、これまでもいくつかの課題が挙げられてきた。投下した浮子が真っ直ぐに流れないあるいは滞留する場面がある、浮子の更正係数の適切さ、などの観測精度面の課題も重要であるが、より重要なのは、最も大切なピーク時の流量が計測できない場合がある、という観測態勢面での課題であると本稿の著者らは考える。ピーク流量が計測できない理由として、出水のピークに観測員の出勤が間に合わなかった、水位が上がり過ぎて危険な状況になったため観測員が現場から退避せざるをえなかった、あるいは現場に近づけなかったなどがある。近

年では出水の外力が増大し、河道内に設置した観測機器が破損してピーク流量が求められない事例もある。

ピーク流量の欠測への対応策として固定設置型流速計を用いた自動流量観測システムについて研究が進められている。これに関して、(独)土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター (ICHARM) は流量観測の高度化に関するマニュアル<sup>1)</sup>を作成しており、その中で橋上操作艇搭載型 ADCP による流量観測を主たる方法とし、その主たる方法において欠測が生じた場合のデータ補完用として固定設置型流速計を用いた自動流量観測を並行して補助的に実施することを述べている。この自動流量観測システムの内容や実際の構築に向けて試行されてきた取組については本永<sup>2)</sup>がまとめたものがある。このシステムにおいて使用する固定設置型流速計としては、超音波流速計<sup>3)</sup>、H-ADCP<sup>4)</sup>、固定設置型の電波流速計<sup>5)</sup>などが挙げられる。自動流量観測システムはリアルタイムで流量を計測できるものであり、完成すれば浮子測法およびそれを基にして作成される HQ 曲線を用いた流量算出システムにとって替わる可能性も持っているが、固定設置型流速計として挙げられた機器に技術的な検討の余地が残されており、また各機器が高価なこともあって、我が国の観測所全体からみるとごく一部にて試行的

に実施されているのが現状である。現在も研究が重ねられており、今後十分実用に資するものになると推測されるが、ピーク流量の欠測という問題の逼迫性を考慮すると別途の対応が必要である。この課題に対して、流量観測地点における出水中の河川流れをビデオカメラで撮影し続け、浮子による観測が実施できなかった場合については撮影動画に対して後から画像解析を施し流量を算出して補完する手法が最も現実的であると本稿の著者らは考える。ビデオカメラとしては既設のCCTVカメラを利用することが島本ら<sup>6)</sup>により既に試みられている。同手法の有効性が明確に示されれば専用のCCTVカメラを設置することが考えられてもよい。画像解析技術については実河川において利用できるLSPIV<sup>7)</sup>、STIV<sup>8)-13)</sup>などの手法が開発されてきた。このような画像解析技術は、従来PC上で画像データを処理する高度な技術が必要であったため専門知識を持った一部の人にしか実施できなかったが、最近では河川流れを対象とした画像解析のソフトウェアが市販され、誰でも比較的容易に実施できるようになってきたため、今後河川管理において広く普及することが予想される。本稿においては画像解析技術による流量観測の普及に向けて、上述した市販の解析ソフトを利用した画像解析による流量観測を実際に行い、その過程において有益と思われた知見をまとめるものである。なお、同解析ソフトは撮影される画像に対してリアルタイムで流量を算出する段階には現時点では至っていないが、これが実現すればCCTVカメラを固定設置型流速計として用い、安全かつ確実な自動流量観測システムが構築される可能性があり、今後の発展に期待したい。

## 2. 研究の内容

先述したとおり画像解析についてはいくつかの技術が既に開発されている。これらはいずれも堤防天端上や橋梁上などからビデオカメラにより撮影した斜め画像に対し、真上から見たような画像に変換する幾何補正を最初に実施する。これにより画像内での物理長さを求めることができる。画像解析処理を実施する動画は天端上にビデオカメラを設置し、川を横から撮影することが良いとされる。幾何補正のために撮影画像内に三次元の物理座標  $(X, Y, Z)$  が予め測定された複数の標定点が必要である。藤田ら<sup>13)</sup>によれば、標定点はビデオカメラ手前側の岸上に3点以上、対岸上に3点以上あることが必要である。画像内に映る標定点の画面上の二次元のCRT座標  $(x, y)$  と測定した物理座標を連立する式を作成し、これを用いて撮影画像に幾何補正を施す(図-1)。

幾何補正した画像に対して画像解析を行い、表面流速分布を測定する。画像解析は河川表面の濃淡や波紋、流下物などをトレーサとして撮影した動画上で追いかけることが基本となる。これにより測定した河川表面流速に

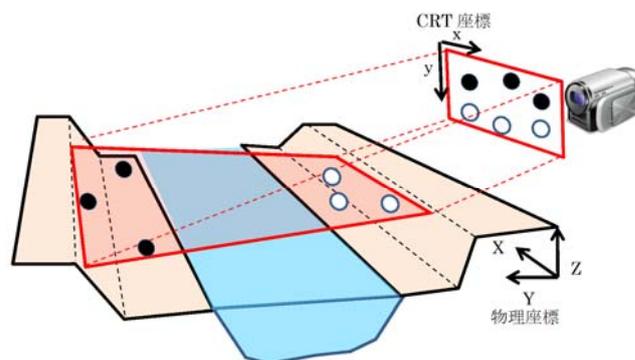


図-1 幾何補正イメージ



写真-2 魚野川におけるビデオ動画(静止画)

更正係数を乗じて断面平均流速を求め、河積に乗ずることと断面通過流量を求める。画像解析技術として、本稿ではSTIV (Space Time Image Velocimetry) を利用する。同手法の概要は、画像内の河川流れに沿って設置した検査線上における輝度の分布を時間軸方向に積み重ねることで、波紋等の移動による検査線上の輝度分布の変動を示すSTI画像を作成し、そのSTI画像内の模様の変換から検査線上の流速を算出する、というものである(STIVの詳細については、開発者である藤田ら<sup>8)-13)</sup>の一連の文献を参照)。STIVに関しては2014年に株式会社ビーシステムから同技術を用いた画像解析ソフト『KUSTIV』が発売された。この市販ソフトを用いることにより、ビデオカメラによる河川流れの撮影動画に対して、STIVを実施することが誰にでも容易になっており、今後実河川の管理等における実用が広がることが期待される。

STIVによる画像解析を実施する際、河川横断方向に複数の検査線を設置するが、この本数の設置は解析者に任されている。またSTI画像は横軸が検査線長さ、縦軸が動画時間であり、STIVによる河川表面流速の解析に当たり、検査線の物理長さや動画時間も解析者の判断で設定しなければならない。これらの条件の設定については河川流量の算出に当たり今後画像解析技術が普及するに伴い課題となることと思われるが、これまでに詳細に検討されたことはなかった。前述した市販の解析ソフトを用いれば、これらの項目についての設定条件を変更してSTIV解析を繰り返すことが容易にできる。そこで本

稿においては、検査線本数と物理長さ、そして動画時間の設定を変化させてSTIV解析を施し、その結果計算される断面通過流量に生じる誤差について感度分析を実施した。誤差は同時時間帯に同地点にて実施した橋上操作艇搭載型ADCP横断観測により得られた断面通過流量との相対誤差として求めた。解析対象とする動画は2014年4月25日に信濃川水系魚野川に架かる根小屋橋（堀之内水位流量観測所における浮子投下地点）の直下流において、左岸天端上から川を横断方向に撮影したものである（図-2参照）。撮影時、魚野川は融雪出水期であり水面幅は約140mであった。同画像に対し流れに沿った検査線を横断方向に複数本設定し、STIV解析により各検査線の河川表面流速を求めた。各検査線が受け持つ区分断面を設定し、それぞれの区分断面において得られた河川表面流速に補正係数0.85を乗じて断面平均流速へ変換した。区分断面の断面積はADCP横断観測結果から作成した河床高横断方向分布図を基に水位に応じて計算した（図-3参照）。ADCP横断観測は複数回実施したが、観測期間中現地の断面形状は安定していたことが確認された。区分断面毎に断面平均流速と断面積を乗じて通過流量を求め、これを横断方向に積分して断面通過流量を求めた。

KU-STIVを用いてSTI画像から河川表面流速を算出するに当たっては輝度勾配テンソル法<sup>8)</sup>を用い、必要となるパラメータについては表-1に示す値（KU-STIVにおけるデフォルト値）を用いた。検査線数、検査線長さ、動画時間に関する感度分析はそれぞれ次のように実施した。

### (1) 検査線数

撮影時の川幅（約140m）に対し標準法にて定められている15本を上限として検査線数を設定した。STIVの特徴として任意に検査線の設定ができることから測線数が同川幅に対して緊急法で定める5本以下の場合には河道断面形状に基づき適当と思われる位置に検査線を設定している。5本以上の場合には検査線を横断方向に等間隔で配置している。検査線数に関する感度分析を実施した際、検査線の長さは15.96m、動画時間は30秒とした。

### (2) 検査線長さ

堤防天端上から横断方向に河川流れを撮影した場合、得られる斜め画像を真上から見たような画像に幾何補正すると当然カメラ手前側が最も縮むように補正される。幾何補正画像上のこの部分にどの程度の河川表面が収まっているかによって設定できる検査線の最大長さが決まる（図-4）。そのためカメラの設置位置や撮影アングルには注意を要する。今回魚野川を撮影した画像では、カメラ手前側のこの部分に設定できる検査線長さは21.51mであった。これを最長として検査線長さを設定した。検査線長さに関する感度分析を実施した際、検査線の本数は15本で横断方向に等間隔で設置している。動画時間は30秒とした。検査長さに関する各ケースについて

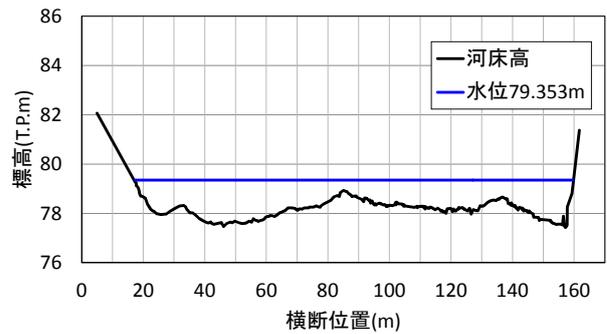


図-3 河床高横断方向分布（魚野川堀之内地点）  
ADCPにより計測。水位は動画撮影時のものである。

表-1 輝度勾配テンソル法 各パラメータの設定値

項目	設定値
テンプレート設定	MX : 30
	LX : 10
	MT : 30
	LT : 10
角度ヒストグラム	CT : 0%
	範囲 : 70%

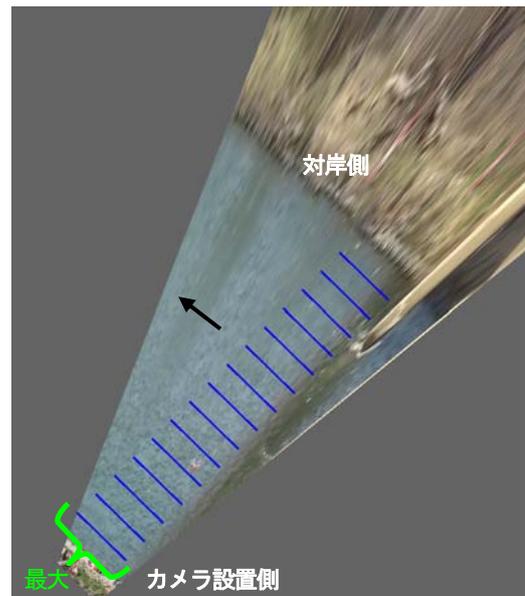


図-4 実際の幾何補正画像と検査線例

カメラ手前側の最も撮影範囲が狭い部分の河川流下距離よりも検査線を長く設定することはできない。

検査線の横断位置を河道内で任意に動かし、それによって同じ検査線長さでもどの程度解析流量結果にばらつきが生じるかについても調べた。

### (3) 動画時間

今回解析に使用したKU-STIVでは、動画時間が長過ぎると解析に極度に時間を要する。KU-STIVの販売元である株式会社ビーシステムのホームページ<sup>14)</sup>では動画時

間は30秒程度とされている。これを上限として動画時間を設定した。将来的なりアルタイムでの利用を見据えて動画時間は最小で1secとした。撮影した動画ファイル内の解析に必要な時間部分を切り取る機能はKU-STIVに含まれている。

### 3. 研究結果と考察

STIV解析により求まる断面通過流量について、同時時間帯に同じ現場にて実施したADCP観測流量との相対誤差を求めた。この相対誤差に対して、検査線数、検査線長さ、動画時間に関して感度分析を実施した。その結果は以下の通りである。

#### (1) 検査線数

図-5は検査線本数とSTIV解析流量のADCP観測流量に対する相対誤差との関係図である。検査線数は1~15本の間で設定しているが、全てにおいてADCP観測流量との相対誤差が10%以内に収まっている。ADCP観測流量を真値と仮定した場合、10%の誤差はISO技術基準で示されている浮子の観測程度<sup>15)</sup>と同等である。緊急法以下の検査線本数でも相対誤差が10%以内に収まっているが、これは図-3に示した通り、観測を実施した魚野川堀之内地点では水深が比較的一様であることに起因すると考えられる。検査線本数を変えた時のSTIVによる解析流量はADCP観測流量よりも少なく算出される傾向が見られるが、これについては今後の検討課題としたい。

#### (2) 検査線長さ

図-6は検査線長さとして、それぞれの検査線長さにおけるSTIV解析流量のADCP観測流量に対する相対誤差との関係図である。検査線長さに関する全てのケースにおいて検査線は横断方向に等間隔で設置し、その位置を横断方向に数パターン移動させている。図-6から分かるように、検査線を長くするほどADCP観測流量との相対誤差は小さくなり、検査線位置を横断方向に移動させたことによるばらつきも小さくなっている。これは検査線を長くすることによって、輝度勾配テンソル法により求まるSTI画像上の模様角度がより平均化されるためと考えられる。ADCP観測流量を真値と仮定した場合、図-6からは検査線長さを15m以上に設定すれば誤差の少ない流量が求まることがわかる。検査線長さを変えた時のSTIVによる解析流量はADCP観測流量よりも少なく算出される傾向が見られるが、これについては今後の検討課題としたい。

#### (3) 動画時間

図-7は動画時間として、それぞれの動画時間におけるSTIV解析流量のADCP観測流量に対する相対誤差との関係

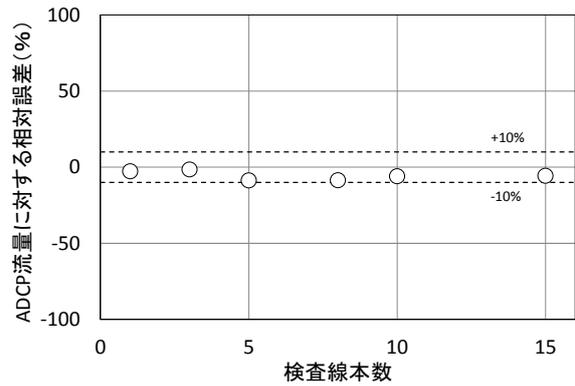


図-5 検査線本数とADCP流量に対する相対誤差の関係

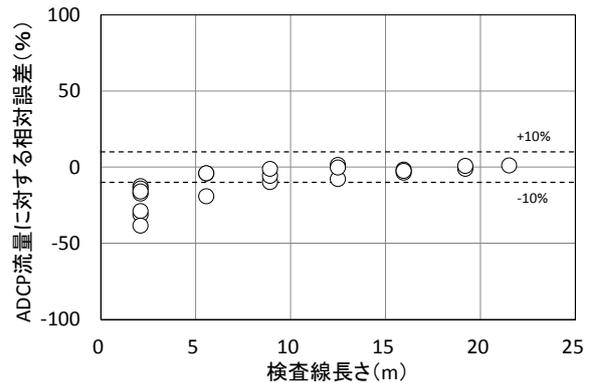


図-6 検査線長さとして、それぞれの検査線長さにおけるSTIV解析流量のADCP観測流量に対する相対誤差との関係

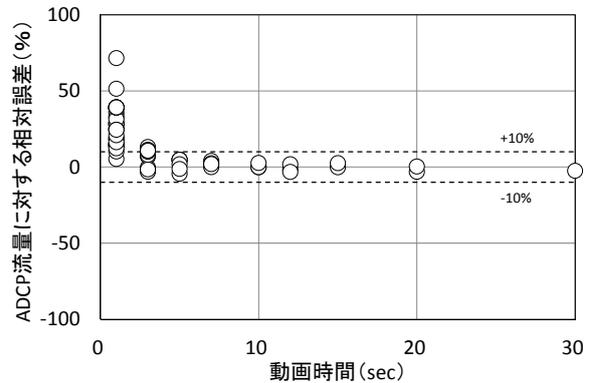


図-7 動画時間として、それぞれの動画時間におけるSTIV解析流量のADCP観測流量に対する相対誤差との関係

図-7より動画時間を短くすると相対誤差が大きくなることをわかる。縦軸の設定上、図には収まっていないが動画時間1secの場合、最大で相対誤差が200%以上になるケースも見られた。これは明らかにノイズであると考えられる。動画時間が10秒程度より長くなると、相対誤差が小さくなることをわかる。これらの結果は各解析の際に作成されるSTI画像の時間軸の長さに関与していると考えられる。図-8に示すように、動画時間が短い場合は輝度勾配テンソル法により算出される勾配のサンプル数が極端に少なくなる場合があり、その少ない勾配の中か

らヒストグラムを用いた代表流速を算出しているためであると考えられる。

#### 4. STIV解析の失敗例

本稿では出水時を対象とした画像解析による流量算出を主な対象として検討したが、著者らは将来的に画像解析技術を用いたリアルタイムでの自動流量観測を目指している。そのため、低水時を対象としたSTIV解析による流量観測も別途試みているので、ここで報告する。低水流観の対象としたのは多摩川水系野川である。野川は田園都市線二子玉川駅付近にて多摩川に合流する小河川であり、画像撮影時の水面幅は約30mであった。撮影時には現地における水深は約20cmと浅く、撮影現地の直上流に架かる橋上からADCPによる観測を実施したところ流速は30cm/s程度と極めて遅かった。図-9に撮影画像を示すが、撮影時の現場では微風による小さなさざ波が発生しているのみで、濃淡や波紋などは見られなかった。画像内に映っている6点の標定点およびビデオカメラの物理座標は、ビデオカメラ設置地点の近くに適当な原点(0, 0, 0)を設定し、そこを基準として3次元座標(X, Y, Z)を求めた。原理上当然のことであるが、この物理座標を用いても図-10に示すように幾何補正が実施できた。業務として実施する場合には標定点位置の再現性が求められるため国土地理院が設置した基準点などから座標を測る必要があるが、簡易的に画像解析を実施する場合はこのような座標設定で十分である。幾何補正を実施した動画上において、河道内の横断中心部に流れ方向に沿って検査線を設定し、その検査線について作成したSTIV画像を図-11に示すが、このように明確な模様の勾配は見られなかった。さざ波によるぼんやりとした模様は見られるが、これに対して輝度勾配テンソル法により表面流速を求めると-2m/sというADCPによる観測値と極端にかけ離れたデータが算出された。このように野川程度の小河川では低水時におけるSTIVによる流量観測は、現時点では難しいことが判明した。今後は様々な規模の河川にて低水時のSTIVによる流量観測を試み、どの程度のスケールの河川であれば画像解析による連続した自動流量観測が可能か検討したい。

#### 5. まとめ

本稿では市販の画像解析ソフト『KU-STIV』を用いて融雪出水期の魚野川および低水時の野川を対象として設定条件を様々に変えたSTIV解析を実施し、その結果により断面通過流量を求めることを試みた。今回、得られた知見を以下にまとめる。

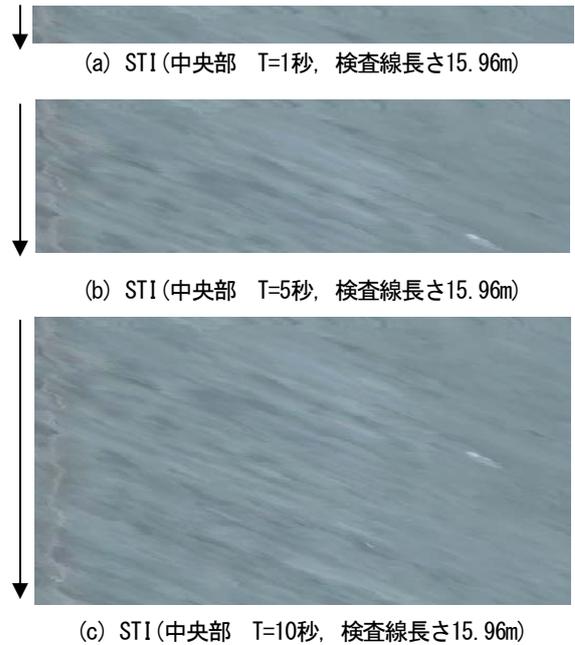


図-8 各動画時間におけるSTI画像例



図-9 ビデオ画像（低水時の野川）

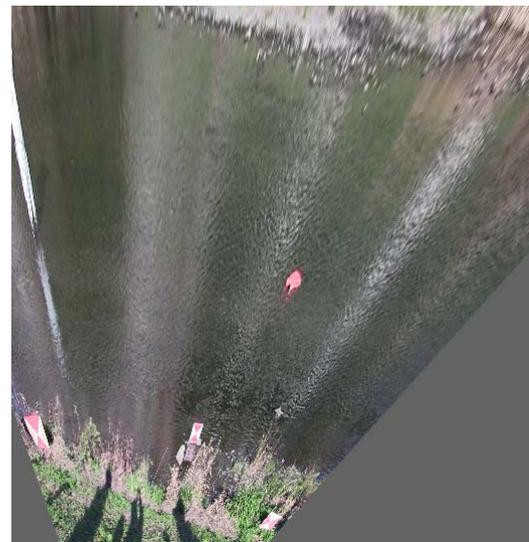


図-10 図-9に対する幾何補正画像

1) 市販の画像解析ソフト『KU-STIV』を用いることで、同一の動画時間で検査線の本数や長さを変える、あるいは同一の検査線本数または長さで動画時間を変える、など条件設定を変更した解析を繰り返し実施することが容

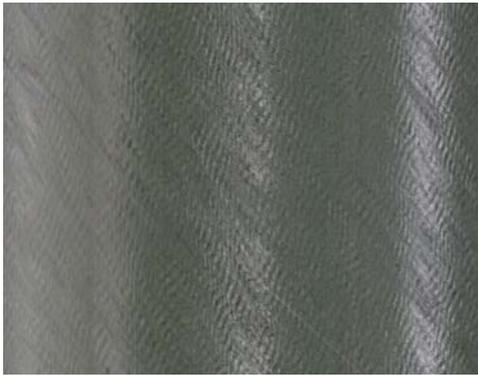


図-11 低水時野川におけるSTIV画像例

易であることが示せた。

- 2) 融雪出水時の魚野川においては、緊急法で定められる以上の検査線を設定すれば解析流量が精度よく求まる。
- 3) 融雪出水時の魚野川においては、検査線長さを15m程度以上に設定すれば解析流量が精度よく求まる。またこの検査線長さであれば、検査線の横断位置がある程度移動しても最終的に得られる流量値に大きなばらつきは見られない。
- 4) 動画時間に関しては、10秒程度以上あれば解析流量が精度よく求まる。短くし過ぎると極端なノイズが含まれることが多くなる。
- 5) 多摩川水系野川程度の小河川ではSTIVによる低水流量の解析は難しいことを示した。

本稿における検討によって市販ソフト『KU-STIV』を用いたSTIV解析による河川流量算出の有効性が確認できた。この結果より、現況の浮子測法において欠測が生じた場合でも、既設のCCTVカメラなどで河川流れを撮影しておけば、洪水後に画像解析により欠測データを補完できることが示せた。今後は他河川または出水の規模や特徴の異なる様々な洪水を対象としたSTIV解析を実施し、より多くの知見を積み重ねていきたい。

**謝辞：**STIV解析により河川流量を算出するに当たり、神戸大学 藤田一郎教授から有益なご助言をいただいた。魚野川のビデオ撮影は土木学会流量観測高度化研究小委員会が主催する魚野川合同流量観測ワークショップの一環として実施した。魚野川のSTIV解析流量との比較に用いたADCPデータは同小委員会から提供されたものである。ここに記して感謝の意を表す。

#### 参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター編：流量観測高度化マニュアル（高水流量観測編），Ver1.0，土木研究所，2014。  
[http://www.icharm.pwri.go.jp/ryokan/manual\\_1.0.pdf](http://www.icharm.pwri.go.jp/ryokan/manual_1.0.pdf)
- 2) 本永良樹：固定設置型流速計を用いた自動流量観測システムの構築，国土館大学審査学位論文，2014。

- 3) 木下武雄：超音波により連続的に観測された洪水・潮汐等の流量変化の不定流としての挙動，国立防災科学技術センター研究報告，第27号，pp.1-11，1982。
- 4) 岡田将治，森彰彦，海野修司，昆敏之，山田正：鶴見川感潮域におけるH-ADCPを用いた流量観測，河川技術論文集，第11巻，pp.245-248，2005。
- 5) 山口高志，新里邦生：電波式流速計による洪水流量観測，土木学会論文集，No.497/II-28，pp.41-50，1994。
- 6) 島本重寿，藤田一郎，萬矢敦啓，柏田仁，浜田憲一郎，山崎裕介：画像処理型流速測定法を用いた流量観測技術の実用化に向けた検討，河川技術論文集，第20巻，pp.37-42，2014。
- 7) 野村昌生，綾史郎，武藤裕則，藤田一郎：淀川水系におけるLSPIVの利用に関する研究-ITV画像の利用を目指して-，河川技術論文集，第8巻，pp.471-476，2002。
- 8) 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。
- 9) 藤田一郎，安藤敬済，堤志帆，岡部健士：STIVによる劣悪な撮影条件での河川洪水流速，水工学論文集，第53巻，pp.1003-1008，2009。
- 10) 原浩気，藤田一郎：時空間画像を用いた河川表面流解析における二次元高速フーリエ変換の適用，水工学論文集，第54巻，pp.1105-1110，2010。
- 11) 藤田一郎，原浩気，萬矢敦啓：河川モニタリング動画を用いた非接触型流量計測法の精度検証と準リアルタイム計測システムの構築，土木学会論文集B1（水工学），Vol.67，No.4，pp.1177-1182，2011。
- 12) 藤田一郎，小坂純史，萬矢敦啓，本永良樹：遠赤外線カメラを用いた融雪洪水の昼夜間表面流画像計測，土木学会論文集B1（水工学），Vo.69，No.4，pp.703-708，2013。
- 13) 藤田一郎，北田真則，霜野充，橘田隆史，萬矢敦啓，本永良樹：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，pp.613-618，2014。
- 14) 株式会社ビーシステム KU-STIV紹介のHP：  
[http://www.be-system.co.jp/navi\\_soft/soft\\_kustiv/kustiv.htm](http://www.be-system.co.jp/navi_soft/soft_kustiv/kustiv.htm)
- 15) 中尾忠彦：河川流量観測の国際基準，河川流量観測の新時代，第3巻，pp.1-7，2012。
- 16) 山本泰督，本永良樹，栗城稔：KU-STIVを用いた流量観測の検証，平成26年度河川情報シンポジウム講演集，一般財団法人河川情報センター，pp.8-1-8-6，2014。

(2015. 2. 13受付)