

兵庫県河川監視カメラを活用したSTIV解析 による洪水流量観測の可能性について

On the possibility of flood flow rate observation by STIV analysis
utilizing Hyogo prefecture's river surveillance cameras

近者敦彦¹・松本敬之²・豊島靖²・村上悦生¹・沼田慎吾²・
平井克尚³・向和哉³・石田靖⁴・幾田正一郎⁴・藤田一郎⁵

Atsuhiko KONJA, Takayuki MATSUMOTO, Yasushi TOYOSHIMA, Essei MURAKAMI,
Shingo NUMATA, Naokatsu HIRAI, Kazuya MUKAI, Yasushi ISHIDA, Shoichiro IKUTA and
Ichiro FUJITA

¹正会員 三井共同建設コンサルタント株式会社 河川・下水道事業部 (〒552-0007 大阪市港区弁天1-2-1-1000)

²非会員 三井共同建設コンサルタント株式会社 河川・下水道事業部 (〒552-0007 大阪市港区弁天1-2-1-1000)

³非会員 兵庫県 県土整備部 土木局 河川整備課 維持防災班 (〒650-8567 神戸市中央区下山手通5-10-1)

⁴非会員 兵庫県 北播磨県民局 加東土木事務所 河川砂防課 (〒673-1431 加東市社字西柿1075-2)

⁵正会員 神戸大学大学院 工学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

This paper explores the possibility of utilizing the video feeds from the existing river surveillance cameras in Hyogo Prefecture for the purpose of estimating the flood flow rate by STIV(Space Time Image Velocimetry) method. Utilizing the IP and analogue camera video feeds at ten-minute interval for the STIV analysis, it was found that the estimated results achieved the correlation coefficient of around 0.8, and was deemed capable of producing a Height-Quantity Curve with an acceptable level of accuracy. It was noted that the image resolution from the analogue video feeds at 30 fps was higher than that by the IP camera video feeds at 5 fps. While the night-time STIV analysis is challenging, at spots where the surface ripple pattern were visible by the adjacent roadway illumination and other light sources, usable data could be obtained for the purpose. It is concluded that, by archiving video feeds taken during the flood events and improving the suitability of such feeds for STIV analysis, a sustainable implementation framework for river flow rate monitoring can be established at numerous locations within the prefecture.

Key Words : STIV, KU-STIV, surface flow velocimetry, Non-contact river flow rate measurement,
Kakogawa River

1. はじめに

これまでの高水流量観測は、浮子流量観測が一般的であるが、近年のゲリラ豪雨による急激な水位上昇等に対し、現場への到着遅延や橋梁水没の危険性等により、十分な流量観測ができないことがある。その課題に対し、これまでに、STIV (Space Time Image Velocimetry) 等の画像解析技術を取り入れた非接触型流量観測手法の研究が進められ¹⁾²⁾³⁾、解析方法の改良等もあり⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾、STIVの解析結果の妥当性が確認されている⁸⁾⁹⁾。

一方、兵庫県では河川監視を目的に、県内の兵庫県管理河川に134台の河川監視カメラ (アナログカメラ19台、

IPカメラ115台) の整備を行い、河川管理に役立てるとともに、インターネットで一般公開しているが、管理河川が多いことや洪水の発生時期の予測が困難なことから、十分な洪水流量観測体制は構築できていない。

このため、既設河川監視カメラ動画を有効活用したSTIVでの洪水流量観測の可能性を検討したものである。

2. STIV解析の概要

STIVとは、Space Time Image Velocimetryの略で、時空間画像(動画)による流速解析のことである。

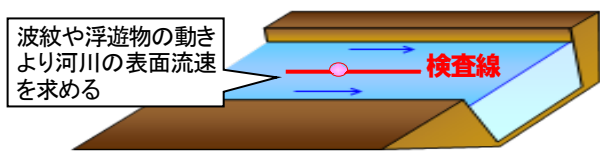


図-1 映像から見た検査線イメージ

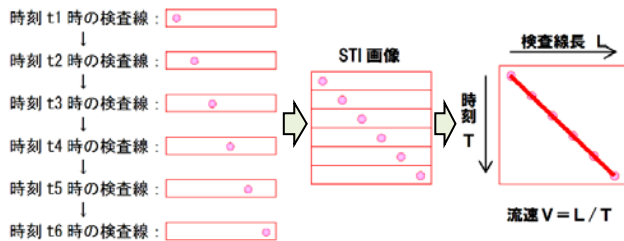


図-2 STIV 解析のイメージ

従来行われてきた浮子流量観測の課題は、洪水の都度、現地観測人員の確保が必要、洪水ピークを捉えることが困難であること等が挙げられるが、STIV流量観測は、洪水の撮影動画があれば、洪水後でも任意の時間の表面流速を求めることが可能で、浮子流量観測を代替することができる観測技術である。

STIV解析は、図-1に示すよう、ある流れの中で検査線を設け、検査線上の画像群（動画）の波紋や浮遊物の流れを解析する技術である。図-2の通り、検査線上において、検査線の長さとして流下した時間からSTI（Space Time Image）画像が作成でき、表面流速を算出することが可能となる。

3. 検討方法

加古川水系の既設カメラ設置箇所（図-3に示す5箇所）での表-1に示すカメラにおいて、2016年の最大洪水である2016年9月19日～20日の台風16号を対象として、検討を行った。KU-STIV¹⁰⁾を用いたSTIV解析により、10分ピッチでの各検査線の流速を算出し、この流速と観測水位・測量横断を元に、区分求積法により流量を算出する。算出した流量の精度は確認できないが、既往論文よりSTIV解析結果の妥当性は確認されており⁹⁾、本検討では、多くのSTIV解析が同等な結果を得ることができれば、既設カメラを活用した流量観測が実施可能と考えられるため、10分ピッチで得られるSTIV解析による流量と観測水位から相関を持ったH-Q式を作成することが可能かを確認することで、STIV解析による流量観測の可能性を確認するものである。

4. 得られた成果

(1) 既設ネットワークカメラの保存動画の活用

兵庫県河川の監視カメラの多くはIPカメラであり、

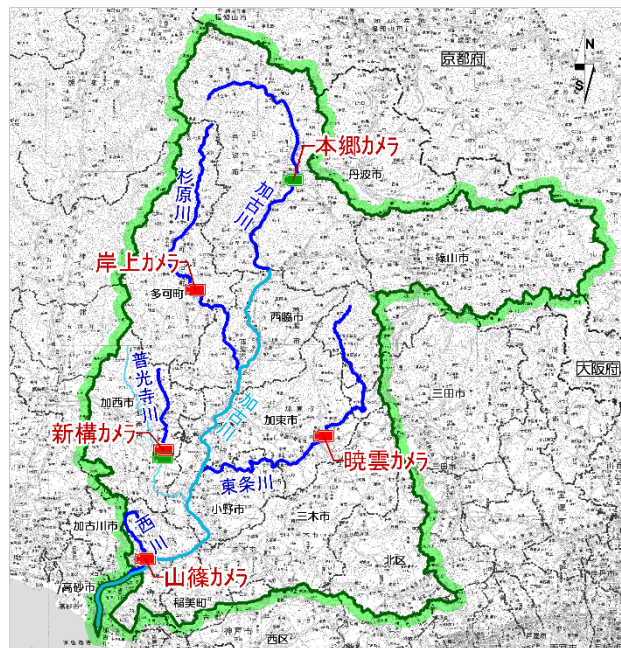


図-3 STIV 実施カメラ位置図

表-1 STIV 実施カメラ諸元

対象カメラ	伝送及び保存形式	カメラ～検査線	川幅
山篠IPカメラ	IPネットワーク、flv形式	約21m	約30m
山篠アナログカメラ	IPネットワーク、flv形式	約27m	約29m
岸上アナログカメラ	IPネットワーク、flv形式	約56m	約62m
新構IPカメラ	IPネットワーク、flv形式	約26m	約29m
新構アナログカメラ（新設）	今回設置現地DVR、pvf形式		
本郷アナログカメラ	今回設置現地DVR、pvf形式	約68m	約99m

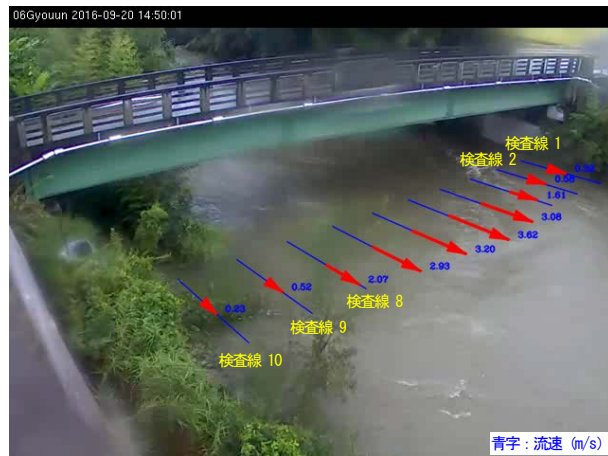


図-4 山篠 STIV 解析結果（2016/9/20 14:50）

データ保存はIPネットワークを介して2日程度となっている。このため、今後の利活用を考え、IPネットワークを介して保存される既設IPカメラ3箇所及びアナログカメラ1箇所によるSTIV解析結果を検討した。

a) 山篠IPカメラ

山篠IPカメラのピーク付近のSTIV解析結果を図-4に示すが、検討対象の9/19と9/20の台風16号洪水は、2016年最大洪水となるが、山篠では5m程度の河道高に対してピークで3.3m程度の水深の洪水であった。

保存動画フレームレート自体は5fps程度と低画質だが、

表-2 暁雲 IP カメラの STI 画像(2016/9/20 14:50)

検査線	右岸 ← → 左岸						
	8	7	6	5	4	3	2
ヒストグラム平均化STI画像(暁雲)							

紙面の都合上、検査線1と9と10は割愛 (縦: 動画15秒, 横: 検査線長10m)

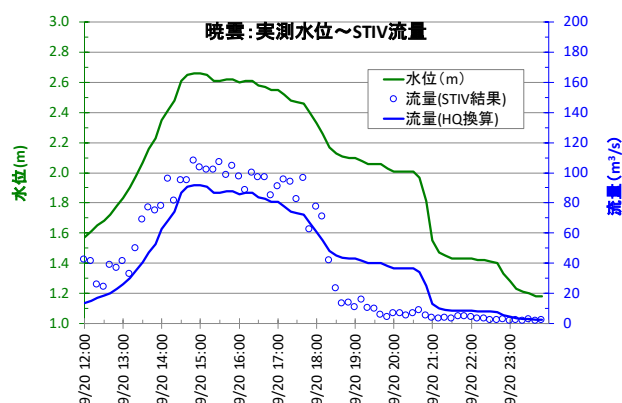


図-5 水位・流量 (暁雲)

表-2に示すように、STI画像に斜めの水面波紋縞パターンが確認できた。

10分ピッチとサンプル数が多くなることから、STIV解析流量にばらつきがあるものの、9/19と9/20の洪水でのSTIV解析流量と観測水位の相関係数は0.84と高く、一定の精度のH-Q式： $Q=29.177(H-0.886)^2$ が作成できた。図-5に示されるよう、10分ピッチでのSTIV解析結果の流量(青丸)にはばらつきがあるものの、作成したH-Q式で観測水位より換算した流量(青線)は概ねSTIV解析流量(青丸)を踏襲するものとなっている。

b) 山篠IPカメラ

山篠IPカメラのピーク付近のSTIV解析結果は、図-6に示すが、検討対象の9/19と9/20の台風16号洪水は、2016年最大洪水となるが、山篠では5m程度の河道高に対してピークで2.3m程度の水深の洪水であった。

保存動画フレームレートは5fps程度と低画質であり、確認できたSTI画像の斜めの水面波紋縞パターンは部分的であった(表-3の検査線9の右側や検査線6の左側、検査線3の下側等)。図-7に示されるよう、10分ピッチでのSTIV解析流量(青丸)にばらつきがあり、9/19と9/20洪水で作成したH-Q式： $Q=11.182(H-0.947)^2$ で観測水位より換算した流量(青線)は比較的整合性が低いものの、STIV解析流量と観測水位の相関係数は0.77となる。



図-6 STIV 解析結果 (2016/9/20 12:40)

表-3 山篠 IP カメラの STI 画像 (2016/9/20 12:40)

検査線	右岸 ← → 左岸							
	9	8	7	6	5	4	3	2
ヒストグラム平均化STI画像(山篠)								

紙面の都合上、検査線1と10は割愛 (縦: 動画15秒, 横: 検査線長10m)

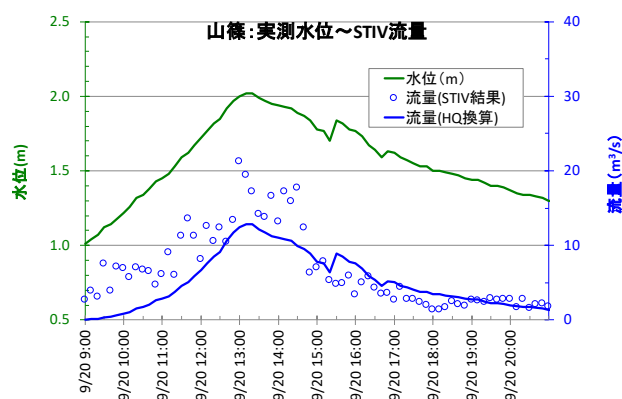


図-7 水位・流量 (山篠)

その他、新構カメラについても山篠カメラ同様、STI画像の斜めの水面波紋縞パターンは不明瞭ではあるものの、かろうじてSTIV解析を行うことができた。

なお、岸上カメラは、保存時の動画録画時間が自動的に変化するため、解析は困難であったが、伝送・圧縮方の変更により、STIV解析は可能だと考えられる。

これらの既設ネットワークカメラのSTIV解析結果より、兵庫県が所有するIPカメラを活用したSTIV解析は、昼間で見通しがよい等の一定の条件が整い、水面波紋が確認できれば、有効であると判断できる。



図-8 設置カメラ(新構)

表-4 既設 IP カメラと新設アナログカメラの画像の違い

	IPカメラ(ネットワーク保存動画)	アナログカメラ(現地保存動画)
撮影動画		
部分拡大		

(1) IPカメラとアナログカメラの比較

既設IPカメラ(ネットワークカメラ)と比較するため、新構において、図-8のように同画角で現地にアナログカメラ及びDVRを設置し、両カメラでの比較を行った。

表-4に示す通り、昼間の洪水でもIPカメラでは確認できない水面波紋がアナログカメラ動画では確認できた。また、表-5に示す通り、STI画像においてもアナログカメラ動画では斜めの水面波紋縞パターンは明瞭となった。

両カメラのフレームレートを確認すると、IPカメラは5fpsと低画質であるのに対して、アナログカメラは30fpsが担保できていることが主要因であると考えられる。

図-9に示されるよう、10分ピッチでのSTIV解析流量(青丸)にばらつきがあるものの、9/20の降雨のSTIV解析流量と観測水位の相関係数は0.83と高く、一定の精度を持ったH-Q式： $Q=60.370(H-0.515)^2$ が作成できた。作成したH-Q式で観測水位より換算した流量(青線)は概ねSTIV解析流量(青丸)を踏襲するものとなっている。

(2) 昼間と夜間の比較

昼夜間の比較として、夜間まで洪水による水位上昇が継続した本郷アナログカメラでの現地DVRでの保存動画での比較を行う。

表-5 IP カメラとアナログカメラの STI 画像比較 (2016/9/20 13:20)

検査線	右岸 ← → 左岸							
	9	8	7	6	5	4	3	2
既設IPカメラ ヒストグラム平均化STI画像								
新設アナログカメラ								

紙面の都合上、検査線1と10は割愛 (縦：動画15秒、横：検査線長10m)

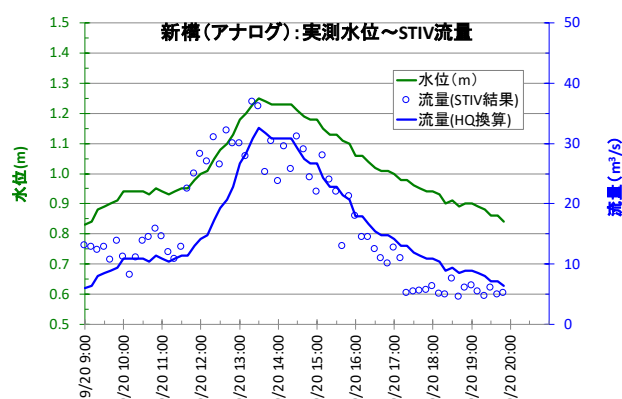


図-9 水位・流量(新構アナログカメラ)

表-6 本郷アナログカメラにおける昼夜間での撮影画像の比較

昼間(2016/9/20 16:00)	夜間(2016/9/20 19:00)
加古川(本郷)	加古川(本郷)

本郷アナログカメラの動画保存は、現地に設置したDVRで実施したため、フレームレートは30fpsを担保している。表-6に昼夜間での撮影動画を示す。

表-7 本郷アナログカメラにおける昼夜間でのSTI画像の比較

検査線	左岸 ← → 右岸									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
昼間 ヒストグラム平均化STI画像										
夜間 ヒストグラム平均化STI画像(本郷)										

紙面の都合上、検査線1と10は割愛（縦：動画15秒、横：検査線長10m）

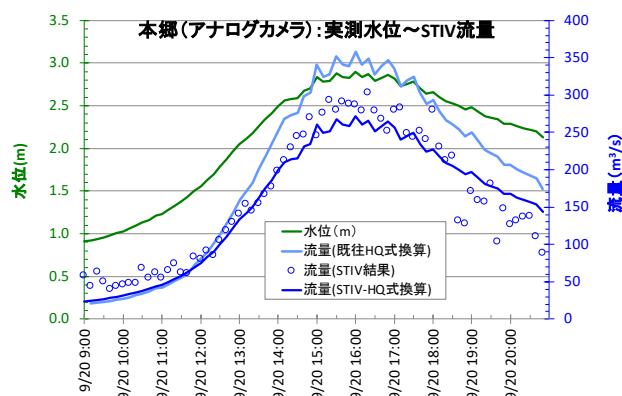


図-10 水位・流量（本郷）

表-7に示す通り、昼間はSTI画像の水面波紋の斜めの水面波紋縞パターンが確認できた。夜間の解析は困難であったが、道路照明等で波紋が確認できる箇所（表-7夜間STI画像 検査線5等：赤ハッチング）もあり、部分的に解析が可能であった。

図-10に示されるよう、10分ピッチでのSTIV解析流量（青丸）にばらつきがあるものの、9/20の降雨のSTIV解析流量と観測水位の相関係数は0.91と相関が高く、一定の精度を持ったH-Q式： $Q=33.914(H-0.069)^2$ が作成できた。作成したH-Q式で観測水位より換算した流量（青線）は概ねSTIV解析流量（青丸）を踏襲している。また、流出計算と実績水位から作成された既往H-Q式（ $H \leq 1.5\text{m} : Q=40(H-0.20)^2$, $H > 1.5\text{m} : Q=55(H-0.35)^2$ ）による



図-11 山篠 IP カメラでの雨滴・橋脚・橋梁の影の影響

表-8 暁雲 IP カメラでの雨滴・樹木の影響

斜め画像(図-4の再掲)	検査線(の抜粋)	
	検査線8	検査線3

(2016/9/20 14:50)

観測水位の換算流量（水色線）と比較するとSTIV解析流量はやや小さめの結果ではあるものの概ね同等の結果となった。

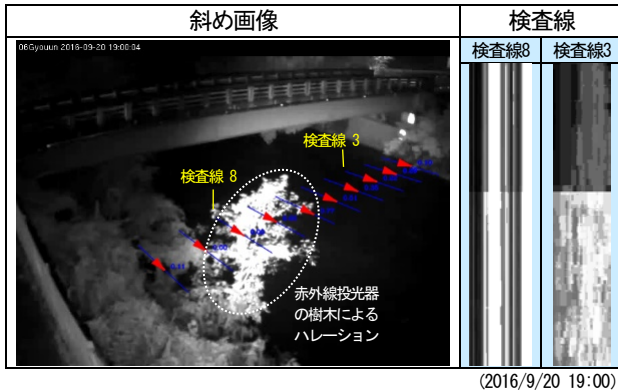
5. 課題

既設カメラは河川監視を主目的としているが、STIV解析に既設カメラを活用するにあたっての今後の検討課題も確認することができた。

左右岸に横断する検査線が設置できることが望ましいが、例えば図-11のように、山篠カメラでの画角では、右岸（図の左側）における検査線において上下流に設置できる位置が決まる（上流は橋梁、下流は撮影範囲外）ため、中央部では若干橋脚部分に重なったり、時間帯によっては、橋梁の下で影になり、流速が確認しづらい場合がある。また、雨粒が河川カメラに付着すると、変換データが水滴で滲み流速が判定しにくい状態になる。暁雲カメラでは、カメラと水面の間を遮る樹木により水面の確認が困難であった（表-8の検査線8等）。また、カメラに付く雨滴により画像がぼやけることもあった。

カメラと水面の間を遮る樹木では、夜間の赤外線投光器によるハレーションの発生により、昼間よりも確認が

表-9 暁雲 IP カメラでのハレーション



困難となることもある（表-9）。

また、本検討においては、既設カメラを用いたSTIV解析により流量観測の実施可能性について確認したもので、解析結果の精度を確認したものではない。このため、解析結果の精度についても検討していくことが望まれる。

6. 結論

対象とした洪水は2016年の最大洪水で、断面の平均流速のピークが 2m/s程度、河川毎にピーク流量が 20～300m³/s程度の規模である。10分ピッチで実施した解析は流量にばらつきがあるものの、サンプル数が多くなることからSTIV解析流量と観測水位の相関係数は0.8程度と一定の精度を持ったH-Q式の作成が可能であった。

兵庫県が所有する134台の河川監視カメラのうち、115台がIPカメラ（ネットワークカメラ）となる。今回の検討でこれら既設カメラを活用したSTIV解析の可能性を検討したところ、IPカメラであってもSTI画像に水面波紋の斜めの水面波紋縞パターンを確認することができたことから、一定の条件が整えば、現行施設であってもSTIV解析は可能であることを確認した。

IPカメラ（ネットワークカメラ）は、デジタルデータとして容量を軽減させる圧縮にメリットがあるが、フレームレートが5fpsと小さいため、30fpsを担保したアナログカメラでの動画が有効であった。このため、洪水時にはフレームレートを担保した動画を確保する運用が重要だと考えられる。

また、昼間の明るい状態でSTIV解析を行うことが可能であっても、夜間となると照明の位置が影響してくるため、これら周辺環境に配慮する必要がある。

洪水時の動画データの保存並びによりSTIVに適した動画となるよう工夫していくことで、県内の多くの地点で継続的な流量観測体制の構築が可能だと考えられる。

今後は出水時に録画データの効率的な保存方法を検討する等、運用方法を検討する必要がある。

また、STIV解析により洪水流量データの蓄積することで、洪水記録の整理や流出計算の定数検証等に活用す

ることもできる。

主な考察は以下のとおりである。

○STIV解析の可能性

- ・既設の IP カメラ（ネットワークカメラ）を活用した STIV 解析は一定の条件が整えば可能であると確認した。
- ・既設アナログカメラは現地に DVR（録画装置）を設置すれば、STIV 解析は可能である。
- ・明るい時間帯（昼間）の解析は水面が見やすい位置であれば有効である。
- ・夜間は水面波紋を見えにくく、解析精度は低くなる。但し、照明や赤外線カメラの新設によっては対応が可能と考えられる。^{11),12)}
- ・カメラに付く水滴によっては、画像がぼやけてしまい、水面波紋を捉えることができない場合がある。

参考文献

- 1) 藤田 一郎・河村 三郎：ビデオ画像解析による河川表面流計測の試み，水工学論文集，第38巻，pp.733-738，1994.
- 2) 藤田 一郎：実河川を対象とした画像計測技術，土木学会水工学委員会・海岸工学委員会，水工学シリーズ0.3-A-2，2003.
- 3) 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, I_1177-I_1182, 2011.
- 4) 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.
- 5) 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計測，水工学論文集，第53巻，pp.1003-1008，2009.
- 6) 原浩気・藤田 一郎：実河川の流れ計測における STIV法の改良について，可視化情報学会誌，Vol.29, Suppl.No.1, pp.369-370，2009.
- 7) 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.
- 8) 藤田 一郎：非接触型流速計測法を用いた実河川流の計測と問題点，ながれ，第26巻，pp.5-12，2007.
- 9) 岩見 洋一・萬矢 敦啓・本永 良樹・藤田 一郎：非接触型流速計による河川の流量観測，河川流量観測の新時代，第4巻，pp.29-38，2014.
- 10) KU-STIV ver1.4.3 株式会社 ビーシステム
- 11) 藤田 一郎：河川流速・流量の画像計測における遠赤外線カメラの活用，ながれ，第32巻，pp.347-352，2013.
- 12) 藤田 一郎・小阪 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) Vol.69, No.4, I_703-I_708, 2013.

(2017. 4. 3受付)