

STIV法とトレイルカメラによる 低コスト流速観測手法

LOW COST FLOW VELOCITY OBSERVATION METHOD WITH STIV METHOD AND TRAIL CAMERA

土田宏一¹・藤田一郎²・芳賀聖一³・亀岡雅史³・河上将尊³

Koichi TSUCHIDA, Ichiro FUJITA, Seiichi HAGA

Masashi KAMEOKA, Masataka KAWAKAMI

¹正会員 (株) 福田水文センター (〒001-0024 札幌市北区北24条西15丁目)

²正会員 学術博 (工) 神戸大学大学院教授 工学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

³非会員 (株) 福田水文センター (〒001-0024 札幌市北区北24条西15丁目)

Small and medium rivers have characteristics that are susceptible to localized and extreme precipitation. Therefore, the hydrologic data is important for river management of small and medium rivers. However, there are some problems which the shortage of financial resources for river management and chronic shortage of observer at the flood condition. In this study, the authors developed an unmanned river flow velocity measurement system using the space-time image velocimetry(STIV) on small and medium rivers using a low cost trail camera used for monitoring animals and plants. In addition, this camera could be taken a shot all day because it had the function that near-infrared image. Measurement results in four different rivers were within $\pm 10\%$ error compared with the approval flow meter. This method is an effective method for river management of small and medium rivers.

Key Words : small and medium rivers, low cost, trail camera, near-infrared image, error rate, STIV

1. はじめに

我が国では河川の増水による水災害が毎年発生している。昨年は北海道と岩手県で、一昨年は茨城県において大きな水災害が発生した。図-1に1986-2015年までの法河川を対象とした年毎の河川種類別被害額¹⁾を示す。また、図-2に河川延長²⁾の割合と合わせて、それら被害額の総額を割合で示す。なお被害額は平成17年価格を基準としている。河川の水災害の被害額は、年による増減は見られるが、概ね平均3,000億円/年程度で推移している。人口と資産が集中する一級河川の直轄区間での被害額は、河川延長に占める割合が7%に対し総被害額に占める割合が27%と河川延長に比べ被害額の割合が大きくなっている。しかし、残りの河川長の93%を占めるそれ以外の河川の被害額は、総被害額の73%を占め、一級河川の直轄区間の被害額の3倍弱に達している。

今後も発生が予見される水災害に適応するためには、水災害の予測と影響評価を行う必要がある。予測と影響評価の高精度化の為に、高頻度・高密度に降水量、河川水位、河川流量等の水文観測値の取得が重要となる。

現在、河川の水文観測は、国土調査法に基づき実施さ

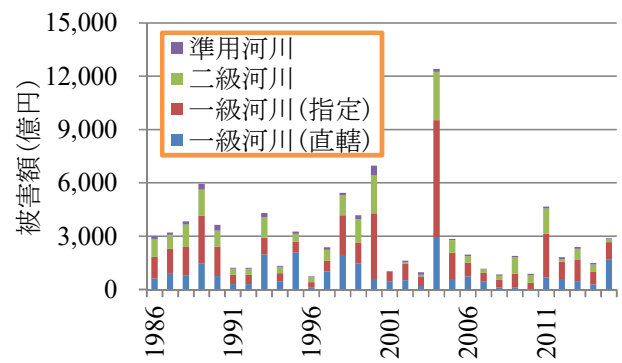


図-1 河川種類別被害額の推移

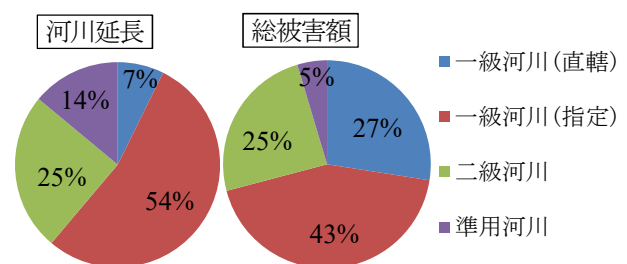


図-2 河川延長(左)と過去30年間の総被害額(右)の割合

れている。河川砂防技術基準 調査編³⁾によると、降水量と河川水位は自記観測機器により取得され、その観測値は時系列情報となっている。流量値は、有人流量観測結果を基に河川水位と流量の相関を求め、その相関式と時系列の河川水位値から時系列の流量値を算出している。なお、有人流量観測の計測頻度は、一観測所当たり基本的に年36回の観測と、増水時の水位変化に合わせて観測を適宜行うこととなっている。

一級河川の直轄区間は、国の機関が水文観測を実施しており、予測と影響評価に必要な水文情報が蓄積されている。しかし、一級河川の直轄区間以外の河川は水文情報が乏しい現状にある。我が国の河川延長の93%を占める、それら一級河川の直轄区間以外の河川は、主に流域上流部や支川など中小河川である。中小河川は流況流路の変化が大きく、また時間当たりの水位変化も早い特徴がある。その挙動を把握する為には、高頻度の水文観測値が重要であるが、中小河川特有の急激な流況流路の変化や財源上の問題、観測員の不足等が高頻度の観測値の取得を困難なものにしている。⁴⁾

そこで筆者らは、中小河川の水文情報のうち高頻度の観測値取得とコスト面に課題のある有人流量観測の流速値の取得に着目し、高頻度で確実に、かつ省力で観測する手法として、動画像の連続取得とSTIV(Space Time Image Velocimetry)法⁵⁾の組み合わせによる後処理型流速解析を用いた。

本研究では、4河川を対象に動画像の連続取得とその解析を行った。流速解析結果は、回転式流速計の測定結果との比較により有効性を評価し、また増水時の水位ハイドロに合わせた流速解析も行った。さらに、現行の観測手法と観測の確実性、コスト面の比較を行った。

2. 動画像を用いた流速解析

(1)本研究の課題

本研究の課題は、一級河川の直轄区間に比べ流路延長が長く、流況流路の変化の激しい中小河川において高頻度で確実にかつ省力で流速観測値を得ること、観測の低コスト化を図ることにある。

そこで流況流路の変化に対応するため、非接触式で横断方向に高密度に解析値が得られる動画像による流速解析手法を採用した。



図-3 トレイルカメラ(SP108-J リアルHD)

取得した動画像は、一次資料として保存が可能であり、解析後の検証資料としても活用可能である。また様々な解析に対しての基礎資料ともなる。

実河川での動画像による流速解析手法には、LSPIV法とSTIV法がある。本研究では、撮影環境が時々刻々変化する野外で長期にわたる動画像の撮影を想定している。取得した動画像の中には、夜間や降水時など不鮮明な動画像も含まれる。このことからLSPIV法に比べ、不鮮明な動画像からでも流れの主流方向の流速解析が可能なSTIV法を採用した。⁶⁾

観測機材は、市場に多く流通する機材を採用し低コスト化を図った。採用した観測機材は、一般的には野外で動植物の監視に用いられるトレイルカメラ(図-3)である。トレイルカメラは、1台数万円程度と他の流速観測機材に比べ安価である。また野外観測を目的にしていることから、風雨に対して堅牢な構造になっている。

さらにトレイルカメラのタイムラプス機能による一定時間間隔の自動動画像撮影機能を用いて高頻度観測を行い、確実にかつ省力で観測値の取得を図った。

(2)動画像を用いた流速解析手法の概要

STIV法とは、河岸又は橋上などから取得した河面の動画像を真上から見た画像に幾何補正し、画像上に配した検査線を時間的に積み重ね、横軸に距離、縦軸に時間を持つ時空間画像を作成する。そして作成された時空間画像に生じた斜め方向の輝度勾配(距離/時間)を解析することで、検査線上の流速を得る手法である。(図-4)

解析ソフトは、KU-STIV⁷⁾を使用した。

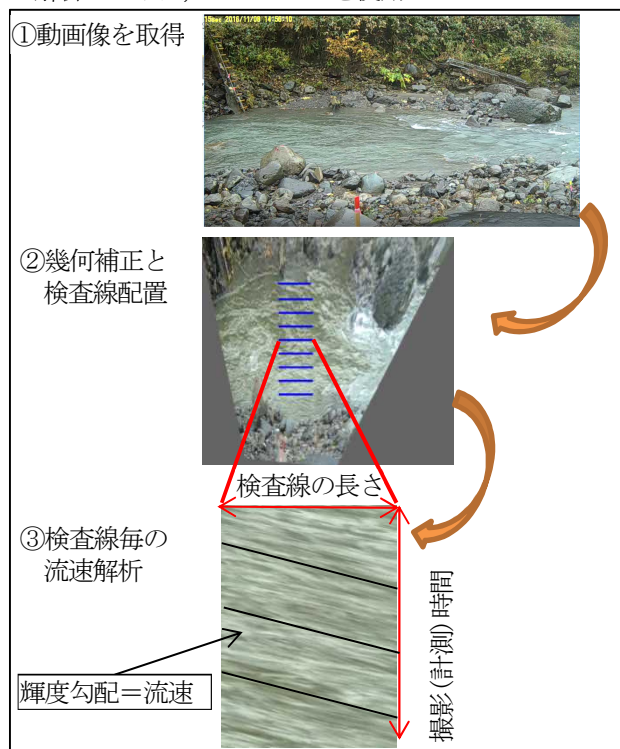


図-4 STIV解析概要

3. 観測条件

(1)観測対象箇所の現地状況

本研究の観測箇所は、光竜水位観測所(北海道恵庭市石狩川水系)、覚生川水位局(覚生川)(北海道苫小牧市覚生川水系)、美利河別水位観測所(北海道今金町 後志利別川水系)、田麦俣水位観測所(山形県鶴岡市 赤川水系)の4箇所である。これら観測所は、月に1回又は2回の頻度で有人流量観測を定期的実施している。それら観測結果に基づく現地状況を表-1に示す。

(2)動画像による観測状況

各観測箇所での観測実施状況を表-2に示す。動画撮影は、トレイルカメラを各観測所の流量観測断面を画角に捉えるように設置した。なお光竜では、幅広い流速の出現幅と比較するため、流量観測断面のほかにトレイルカメラから20mの離れた断面で回転式流速計を用いた流速測定を実施した。各観測所の平面図と現地写真及び観測断面の横断面図を図-5に示す。

流量観測断面は、光竜が低水時に複列の流路を形成し、増水時に単列の流路となる。覚生川、美利河別、田麦俣は、単列の流路である。また光竜と覚生川は、小規模の増水でも断面変化を生じやすい観測箇所である。

表-1 現地状況

観測所名	光竜	覚生川	美利河別	田麦俣
水面勾配(1/)	47~78	67~149	255~455	27~30
レイノルズ数(10^5)	0.48~4.80	0.49~1.70	0.30~14.00	0.84~2.50
河床構成	砂礫	砂礫	泥岩	礫
流量観測データ数	14	7	22	7

表-2 動画像による観測実施状況

箇所名 項目	光竜	覚生川	美利河別	田麦俣
撮影期間	H28.7.14 ~ H28.10.28	H28.8.18 ~ H28.11.18	H28.7.16 ~ H28.8.1 H28.8.25 ~ H28.9.5	H28.10.14 ~ H28.11.16
撮影時間(秒間)	15	30	15	15
撮影間隔(分間隔)	10	10	10	30
夜間動画像データ有無	無	有	有	有
動画解像度	横1280pi×縦720pi			
フレームレート(FPS)	30			

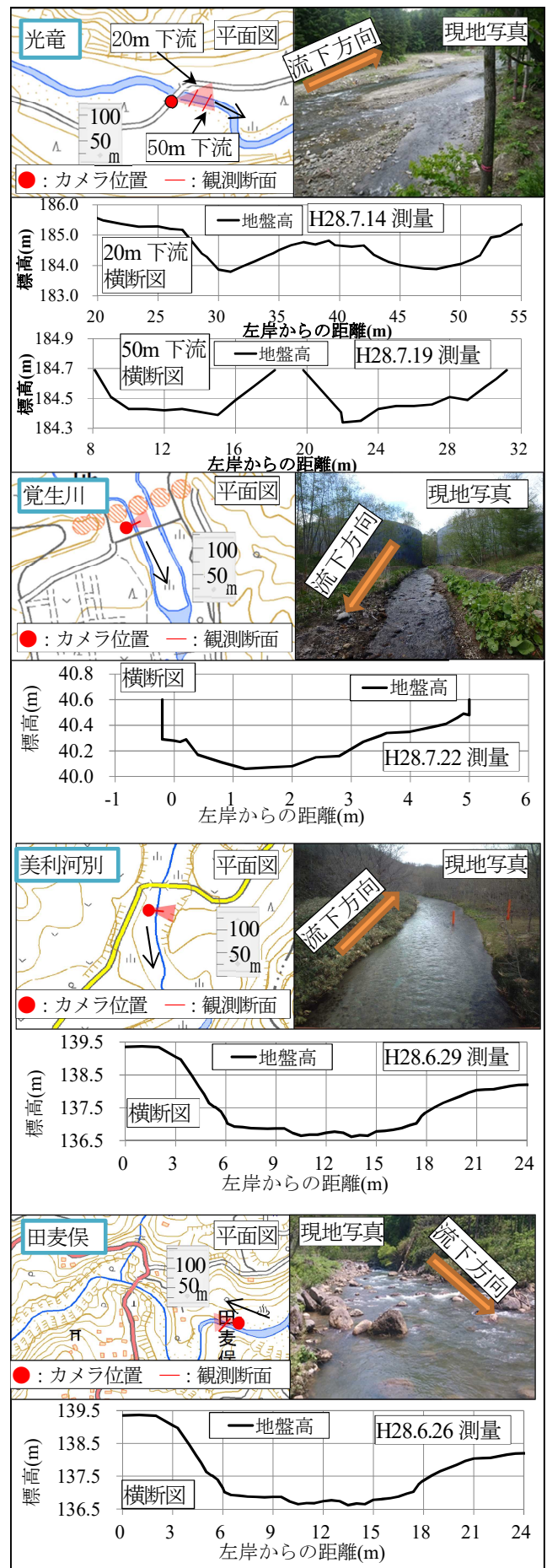


図-5 平面図と現地写真及び観測断面の横断面図

4. 観測結果

(1) 回転式流速計との比較結果

動画像による流速解析結果と回転式流速計との比較結果を図-6に示す。またトレイルカメラからの距離による流速解析結果の系統的な差異を比較するため、トレイルカメラと解析箇所との距離を色分けした比較結果を図-7に示す。

なお計測値は、以下を条件としている。

- 回転式流速計による計測値は、表面の流速計測値とする。また測機は、全て流速計試験成績書を取得したものを使用する。
- 流速値の比較は、ほぼ同時刻の同一箇所で行う。
- 動画像による流速解析結果は、風による影響は考慮せず解析値をそのまま使用する。また輝度勾配は、人の判断による解析とする。
- 回転式流速計の計測値を真値とする。

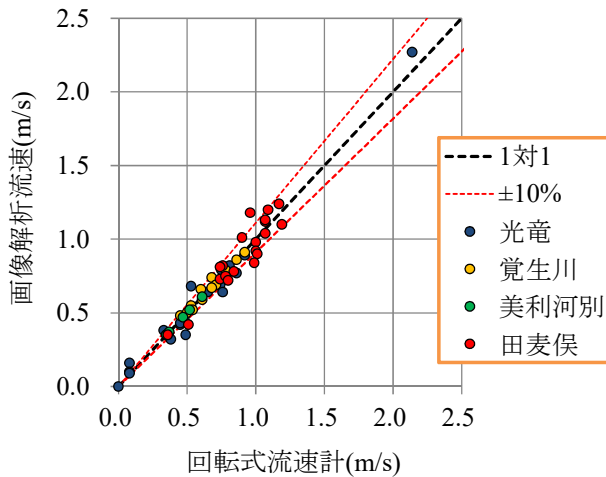


図-6 動画像による流速解析値と回転式流速計との比較結果（箇所別）

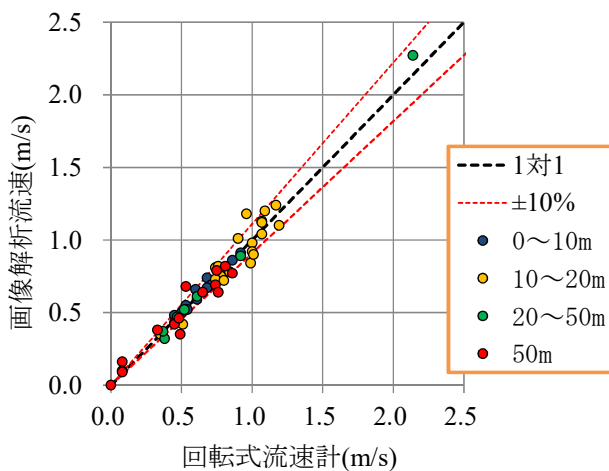


図-7 動画像による流速解析値と回転式流速計との比較結果（距離別）

比較の結果、動画像による流速解析結果は真値に対して概ね10%の較差であった。トレイルカメラと流速解析箇所の距離が50m離れた場合の解析値にややバラツキが見られるが、距離による系統的な差異は見られない。

よって、本研究の計測条件を満たす範囲でトレイルカメラを用いた動画像による流速解析値は、従来法である回転式流速計の計測値に対して、概ね±10%の範囲で有効値を取得できる。

(2) 増水時の水位ハイドロに合わせた観測

本研究では、美利河別と田麦俣において水位ハイドロに合わせた動画像を連続取得した。

美利河別で取得した連続動画の取得状況を図-8に示し、田麦俣での取得状況を図-9に示す。また夜間動画像の画質を向上させるため、両観測所には照明(IRB-W 850nm)を追加設置している。（図-10）

なおトレイルカメラと自記水位計の内部時計は、全て日本標準時に同調していると仮定する。

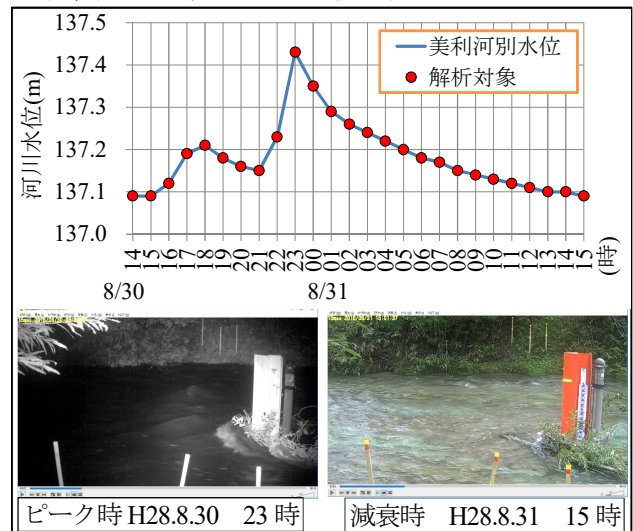


図-8 増水時の取得状況(美利河別)

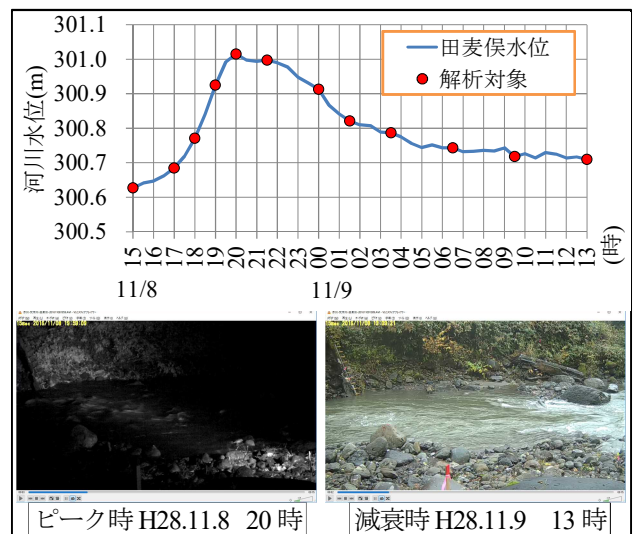


図-9 増水時の取得状況(田麦俣)

二つの増水は、いずれも夜間にピーク水位が発生している。このような状況下は、有人流量観測を安全性の観点から見合わせていた時間帯である。トレイルカメラは、この状況下で高頻度に動画像を連続取得した。

連続取得した動画像から出現水位に合わせて動画像を選択(図-8と図-9の赤丸)し、流速解析を実施した。

なお解析値は、以下を条件としている。

- 流速解析結果は、風による影響は考慮せず解析値をそのまま使用する。また輝度勾配は、人の判断による解析とする。
- 横断方向の解像度は、1m間隔とする。
- 平均流速は、横断方向に1m間隔で得られた流速解析結果の平均値とする。

流速解析は、河川水位と増水中から減水中にかけて反時計回りを描く結果であった。(図-11、図-12)

また動画像は、夜間動画像を含むものであったが、解析可能な輝度勾配が得られた。(図-13)

よって、本研究の観測条件下において、昼夜間を通して高頻度に流速解析可能な動画像を取得可能であり、取得した動画像は、横断方向に高密度に解析することが可能である。

(3)本手法と現行の流量観測手法の比較

本手法は、昼夜間を通して高頻度に流速を取得することが可能である。特に有人流量観測が困難な急激な流況の変化や増水時又は夜間に有効である。しかし、本手法での計測項目は、流速である。有人流量観測は、流速値に加えて断面情報を同時に取得し流量値を算出している。本手法から流量値を算出するためには、断面情報を取得し、その断面は取得後に時間変化していないとの仮定が必要となる。この点において本手法の流量値の精度は有人流量観測に比べ低いものとなる。また記録媒体の上限値から、10分間隔で15秒間動画像を取得し続けた場合、およそ14日間で記録媒体の上限に達する。上書き保存も機能として選択可能ではあるが、1か月間の連続観測を実施するためには、撮影間隔又は撮影時間を調整する必要がある。

本手法に用いた機材の消費電力は、10分間隔で15秒間動画像撮影を条件とした場合、トレイルカメラが3.24Wh/日、可視赤外線投光器が3.00Wh/日である。各機材に12V20Ah以上の容量をもつ鉛バッテリーを用いることで1か月間の連続観測が可能である。また機材費(H29.3現在)は、トレイルカメラが3.0万円、可視赤外線投光機が1.3万円である。両機とも乾電池又は鉛バッテリーで動作可能であり、それら資機材を合わせても6.0万円程度である。さらに現場設置が容易であり設置費も低コストに抑えることができる。(図-14)

一次資料として利活用可能な動画像を高頻度に取得できる機材としては、現行の有人流量観測に用いる観測機材やその他の自記流速計等に比べ低コストである。

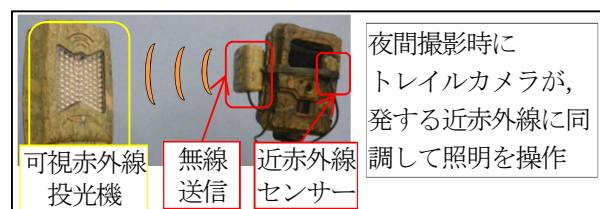


図-10 追加照明設備(左:IRB-W-850nm 可視赤外線投光機)

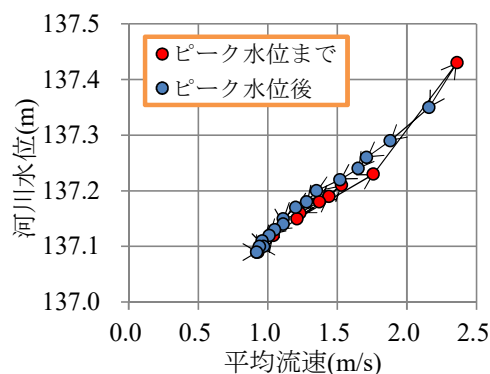


図-11 美利河別 水位-流速相關図

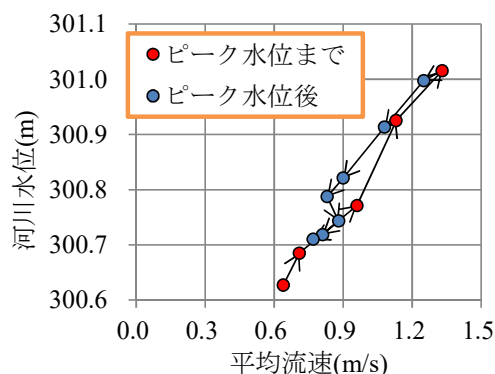


図-12 田麦俣 水位-流速相關図

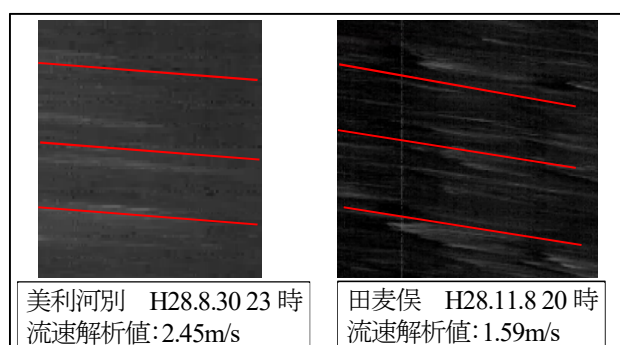


図-13 ピーク水位時の輝度勾配

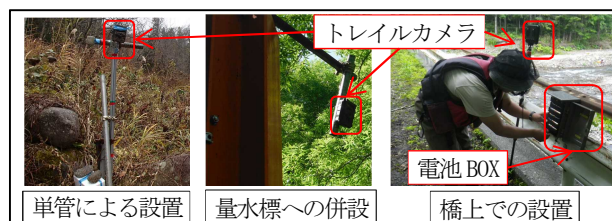


図-14 トレイルカメラ設置例

5. まとめ

本研究により以下の結論を得た。

- 1) 本研究の計測条件を満たす範囲でトレイルカメラを用いた動画像による流速解析値は、従来法である回転式流速計の計測値に対して、概ね±10%の較差で有効値を取得できる。
- 2) 本研究の観測条件下において、昼夜間を通して高頻度に流速解析可能な動画像を取得可能であり、取得した動画像は、横断方向に高密度に解析することが可能である。
- 3) 本手法は、有人流量観測が困難な急激な流況の変化、増水時及び夜間に有効である。
- 4) 本研究で用いた観測機材は、設置コストも含めても現行の観測機器に比べて低コストである。

6. 研究成果の応用と課題

解析により得られた流速値による主な利活用方法は、流量値の算出である。本研究で得られた美利河別の流速値を基に流量値を算出し、有人流量観測結果を基にした水位流量相関図と比較した。(図-15)

なお、流量値の算出は、以下を条件としている。

- 有人流量観測結果は、平成28年5月～11月までの観測結果である。
- 解析により得られた流速値は、風による影響は考慮しない。また流速補正係数も考慮せず、解析値そのままの値を使用する。
- 断面は、平成28年6月29日測量成果を使用し、測量以後断面は変化していないものとする。
- 流量の算出方法は、区分求積法とする。

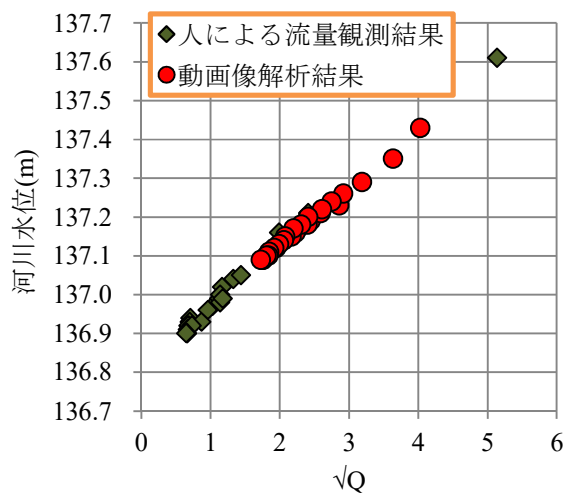


図-15 美利河別H- $\sqrt{Q}$ 図

流量比較結果は、有人流量観測と比較して概ね同様の水位流量相関関係が得られた。

また本手法は、夜間撮影時に近赤外線照明を照射し、画質を確保している。近赤外線は、人の目には知覚しにくい波長域である。この特性から可視波長による照明を使用した場合に比べて、人家と近接している都市河川でも夜間に高頻度観測を円滑に実施することが可能である。

しかし、動画像から流速値を得る解析費は、現在のところ有人流量観測にかかるコストと同程度である。このため取得した動画像全てを解析しようとした場合、コストが嵩む結果となる。現状においてコストを抑えるためには、取得した動画像を一次資料として保存しつつ、出現した河川水位に合わせて必要な動画像のみを解析する方法が適している。今後の課題は、この解析費を低減するための手法の確立である。

謝辞：本研究は、国土交通省北海道開発局札幌開発建設部漁川ダム管理支所、国土交通省北海道開発局室蘭開発建設部治水課、国土交通省北海道開発局函館開発建設部、国土交通省東北地方整備局月山ダム管理所からご提供いただいた貴重な資料をもとに行われている。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局 平成27年版水災統計，平成23年版水害統計，平成18年版水害統計
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局 統計調査結果
HP: http://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/
- 3) 河川砂防技術基準 調査編 平成26年4月
- 4) 安田浩安・五十嵐拓実・安田晃昭・中土紘作：中小河川における河道内脆弱点の水理学的推定の試行，河川技術論文集，第22巻，pp.327-332，2016。
- 5) 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。
- 6) 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。
- 7) KU-STIV ver1.4.3.2 株式会社 ビーシステム
- 8) 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。

(2017. 4. 3受付)