

# 後志利別川における画像解析による流量観測について —大規模出水に対応した流量観測の自動化・高度化—

函館開発建設部 今金河川事務所 ○澤谷 裕貴  
秋山 泰佑  
株式会社 福田水文センター 亀岡 雅史

各地で施設能力を上回る洪水が発生する中、高水流量観測は、観測員の安全を確保等のためやむを得ず浮子観測を中断しなければならない場合が発生している。そのような場合でも非接触型流速計測法により観測・補完できるよう水文観測規程が改定されている。本報告では、後志利別川で台風第18号の影響で大規模な出水が発生した際に画像解析により高水流量観測を実施したため、その有効性と課題について報告するものである。

キーワード：流量観測、画像解析、低コスト自動撮影

## 1. 後志利別川の概要

後志利別川は、瀬棚郡今金町の長万部岳を源流とし、今金町住吉において平野部に出て、今金町市街部でオチャラッペ川、利別目名川等を合わせ、せたな町において日本海に注ぐ、幹川流路延長80 km、流域面積720 km<sup>2</sup>の一級河川である。<sup>1)</sup>

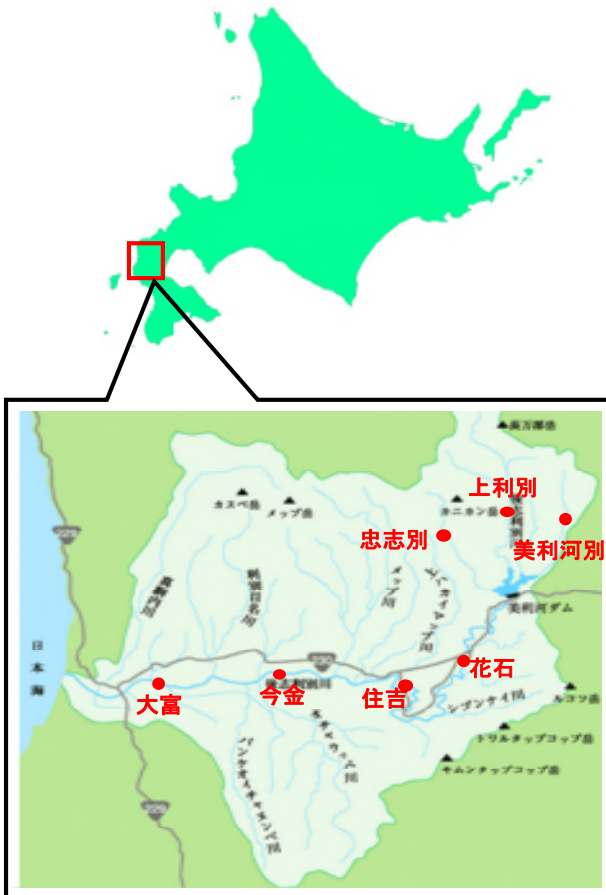


図-1 後志利別川流域と水位流量観測所

後志利別川は、源流から住吉付近の上流部は、溪谷から美利河ダムへ流入し、ダム下流は山間部を蛇行する山地溪流である。この間の河床勾配は約1/200～1/500と急峻である。

住吉付近から利別目名川合流点付近の中流域は、河床勾配が約1/500～1/1,400、利別目名川合流点付近から河口に至る下流部の河床勾配は、約1/1,400～1/3,000と穏やかな流れとなっている。

## 2. 後志利別川の流量観測における近年の問題点

河川計画や管理に必要な水文資料としては、降水量、河川水位及び河川流量が挙げられる。

この内、降水量と河川水位は自動観測が確立されているが、河川流量については、現在のところ人手による観測が主流（流速計、浮子）である。

現在、後志利別川流域には美利河ダム流入河川に3箇所、下流本川に4箇所の水位流量観測所が設置されており、ダムの流入量管理、下流域の水位流量の管理・監視を行っている。また、取得されたこれら観測値は水文資料として取りまとめられ、河川計画や維持管理に活用されている。<sup>2)</sup>

その一方、近年は当流域においても他の流域同様、比較的規模の大きな洪水が発生しており、当流域の急峻な地形条件も相まって、現地における流量観測の危険性や困難性が増している。本年度9月18日には当流域の観測史上2番目、美利河ダムでは既往最大規模の洪水が発生している。

出水等の状況によっては、以下に列記する理由により必要な流量観測ができず、河川管理に必要な流量資料が得られない場合がある。

### (1) 地形・気象特性

美利河ダム上流では、降雨に対する水位応答が極めて速い観測所が存在する。そのため、水位立ち上がり時やピーク水位時の観測に間に合わない場合がある。

### (2) 局所的豪雨の発生

近年は局所的豪雨（ゲリラ豪雨）が多発し、洪水ピーク発生時に現地観測が間に合わない場合がある。

### (3) 観測時における交通障害の発生

一定量以上の降水量により、観測所までの道路が通行止めとなる場合がある。また、山間部（林野内）においては降雨による落石、土砂崩れ（道道836号線等）、路肩崩落の危険性がある。

美利河ダム上流域の場合、道道999号線は累計雨量が80mmに達した段階で、防災を目的とした通行止め措置が取られている。

### (4) 計画を上回る豪雨

近年、計画を上回る豪雨による出水が全国各地で発生しており、平成28年8月の空知川では堤防が決壊し、国道橋（太平橋）も通行止めとなり、浮子観測が出来ない状況となった。<sup>3)</sup>



図-2 土砂崩れ・通行止め措置

## 3. 流量観測における課題対策としての画像解析

函館開発建設部では、上述の流量観測の困難性や空知川で発生した堤防決壊等の大規模な水害発生状況を踏まえ、従来法による流量観測が困難な状況下でも流量観測値の取得を可能とするため、今年度から画像解析による流量観測に着手した。

なお、昨年度は、美利河ダム上流に位置する美利河別観測所において画像解析の試験導入を行い、基礎的な観測条件等の確認調査を先行して行った。<sup>4)</sup>

### (1) 取組の目的と必要条件

画像解析への取組の目的と必要条件としては、以下の4点が挙げられる。

#### a) 安全の確保

上述のとおり、急流や急峻地形、水際付近や夜間観測

においては人的な事故発生リスクが高く、これらを回避する必要がある。

#### b) 複数の観測所への設置

観測箇所が複数・多数であることから、観測装置の導入には低コストであることが求められる。

#### c) 複数の観測所への同時対応

当流域においては、高水観測が多く観測所で同時に発生する確率が高く、人的な省力化を図ることが求められる。

#### d) 突発的な豪雨への対応

突発的な豪雨への対応において、準備・移動に限界があるため、短時間で高頻度なデータ取得が求められる。

## (2) 観測手法の選定

画像解析による観測方法としては、高頻度で確実に、かつ省力的に観測する手法として、画像の連続取得とSTIV(Space Time Image Velocimetry)法の組み合わせによる後処理型流速解析を用いた。<sup>5)</sup>

本手法は、洪水発生後の画像データ回収が必要となるものの、観測時は無人で対応することが可能であり、危険の多い場所やアクセスが困難な観測所において非常に有効な手法と考えられる。

流速解析結果は、取得した画像の解析精度のほか、同時観測した従来法の観測結果との比較により有効性を評価した。

## 4. 画像解析用機器の選定・設置・運用と解析

### (1) 撮影資機材

画像撮影に用いたカメラは図-3に示す「トレイルカメラ」で、自動撮影カメラ、センサーカメラ、野生動物カメラとも呼ばれている。動力源は内蔵する電池や外部バッテリーで、主に野生動物の行動調査等に用いられており、野外での仕様で、小型かつ取り扱い方法が簡便な機器である。

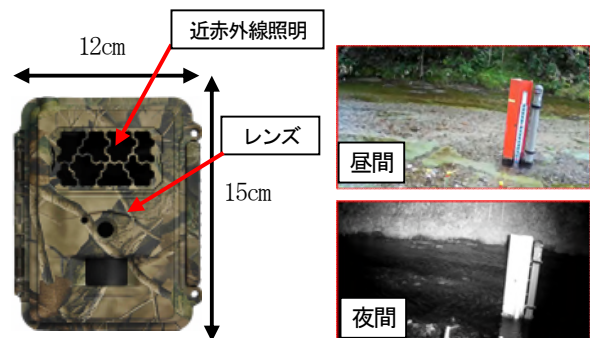


図-3 トレイルカメラの外観と美利河別の撮影画像

トレイルカメラの市場価格は約3万円と低価格であり、後述する増設照明やソーラーパネル、バッテリー等を含めても約15万円である。そのため、多数の観測所に設置する場合、コスト的に非常に有利である。

トレイルカメラは近赤外線カメラであり、夜間の撮影時はカメラに内蔵されている近赤外線照明が連動して点灯する。近赤外線は不可視領域の波長で、人には明滅が感知出来ないことから、撮影時に不要な不信感を持たれることがないことが利点である。

当流域7箇所を設置した照明については、カメラの設置位置や観測所の水面幅等を勘案して近赤外線照明を増設、または照射能力の高い機器へ換装しているが、夜間撮影時においても照明の明滅は視認できない。

## (2) 機材の設置方法

各観測所のトレイルカメラの設置高は、直近10年の最高水位を基に決定し、高水敷の水位測定柱(図4) 上端等に取り付けた。近赤外線照明は、撮影時間に連動して点灯する回路を取り付けている。これにより夜間の点灯時間が最小化され、省電力に寄与している。カメラ本体の電源も外部バッテリーから給電する仕組みにより、電池交換の頻度を大幅に減らしている。カメラや増設照明に使用するバッテリーは太陽光パネルを使用した充電が可能としており、観測装置一体は商用電源から完全に独立していることから、停電による欠測が回避できる。

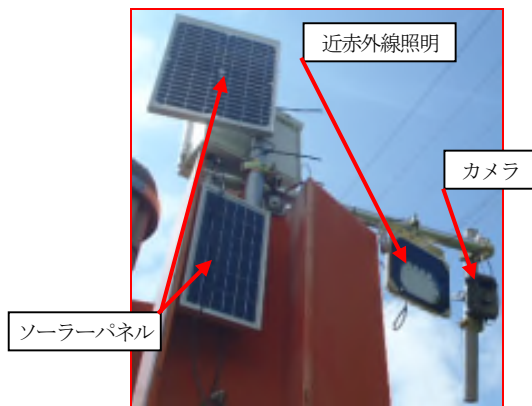


図4 観測装置の設置状況(例:花石)

## (3) 画像の取得間隔と解析手法

画像の取得間隔は10分とし、1回の撮影時間は15秒に設定した。これらの設定はトレイルカメラのタイムラプス機能で可能である。

これら取得画像のほか、ダム下流4箇所の観測所についてはCCTV画像も解析検証に用いた。

## (4) 取得画像の解析

取得した画像は、STIV法による解析で河川表面の流速を求めている。

STIV法とは、河岸又は橋上などから取得した河面の

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。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)を解析することで流速を得る手法である(図5)。

画像内の幾何補正量は、予め現地で配置・測定した標定点の3次元座標と画像内に映りこむ標定点との相関より求められる。

解析ソフトは、市販のソフトウェアであるKU-STIV<sup>®</sup>を使用した。

なお、流速解析における条件として、現地の風による影響は考慮しない。解析流速の校正係数は国土交通省による「非接触型流速計測手法の手引き(試行版)」に定められている「0.85」とした。また、解析画面の輝度勾配は人の判断による解析とした。

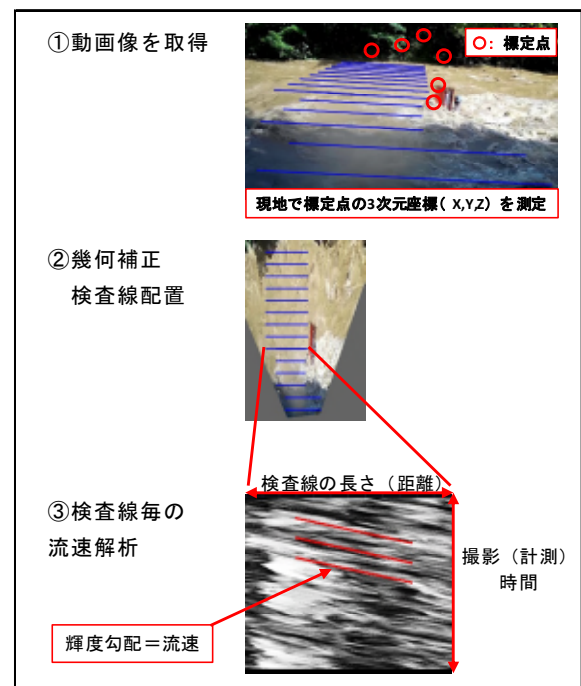


図5 STIV解析の概要(例:上利別)

## 5. 画像解析による流量観測結果の評価

### (1) 出現頻度の高い水位帯の観測結果

以下の表-1は、美利河ダム上流の3観測所について、平成29年8月22日に発生した例年発生する規模の出水時における従来法と画像解析による観測結果の比較である。

各観測所において、この時点では林道の通行が可能で、交通規制等も行われておらず、各観測方法を直接比較することが出来た。

観測と解析の結果、画像解析による流量観測は、従来法による観測結果に対して、美利河別は+4.5%、上利別が+0.6%と、従来法の観測結果を良好に再現していた。

ただし、忠志別については-17%とやや劣る結果を示

している。これは、当該観測所の観測断面が中洲を挟む2流線形状を呈しており、カメラ設置位置から遠くなる右岸の解析精度が良くないことが考えられ、今後、観測位置の変更を検討する必要がある。

表-1 例年発生する規模の出水

観測所名	水位 (m)		観測流量 (m <sup>3</sup> /sec)			割合 (%)
	平水位 (H28)	観測時	従来法①		②	
			流速計	浮子		
美利河別	136.96	137.28	6.66	6.96	104.5%	
上利別	196.29	196.63	22.12	22.26	100.6%	
忠志別	239.63	239.84	13.20	10.96	83.0%	

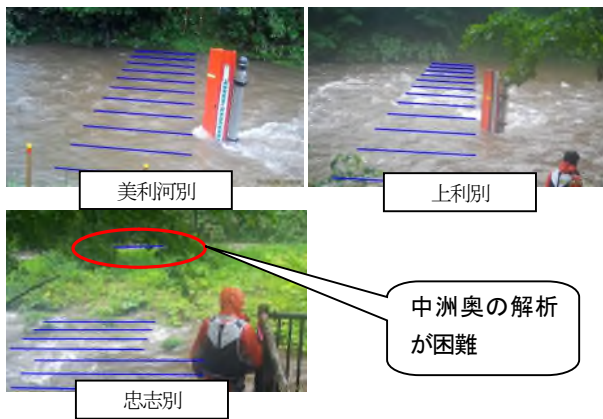
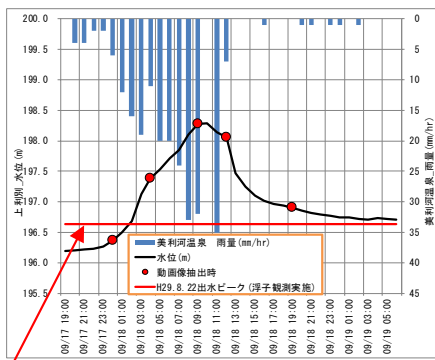


図-6 H29.8.22の観測状況 (美利河別・上利別・忠志別)

(2) 台風第18号による大規模洪水の観測結果

平成29年9月18日に発生した美利河ダムでは既往最大、下流河川では観測開始以来2番目の洪水を含めた状況 (例：上利別) を図-7に示す。



林道通行止めのための人による観測の限界 (8/22の観測値)

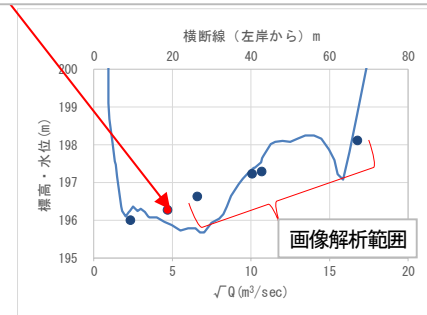


図-7 H29.9.18のハイドロ観測状況 (例：上利別)

上利別での画像解析の結果は、平成28年水位流量曲線の外挿延長上に位置している。しかしながら、美利河別は流木により、忠志別は中洲の影響により、曲線式外挿上からの想定とは異なる結果であった。ただし、現状では人手による観測が不可能な状況においても、観測結果プロット値 ( $H-\sqrt{Q}$ ) の直線性により、一定の精度で無人観測ができることが示されている。

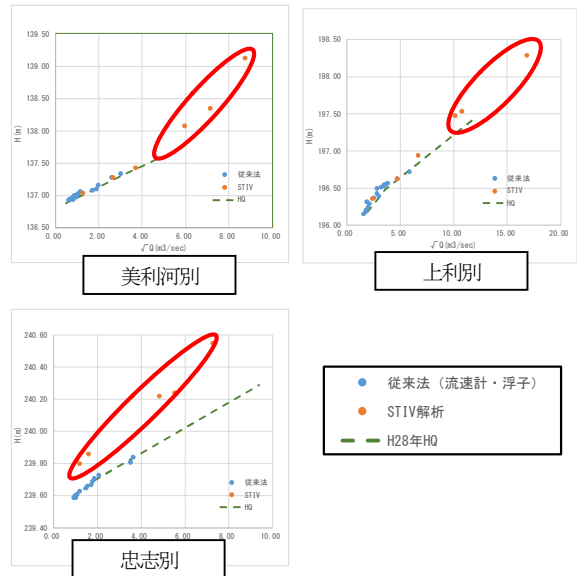


図-8 H29最大値の観測状況 (美利河別・上利別・忠志別)

現地の状況は下の図-9に示す通り、流木等の影響により観測中の水位が大きく異なっていた可能性がある。

しかし、流木堆積による堰上げや量水標 (H鋼) による跳水の状況も画像で捉えられており、今後、水位補正等を行うことが可能である。

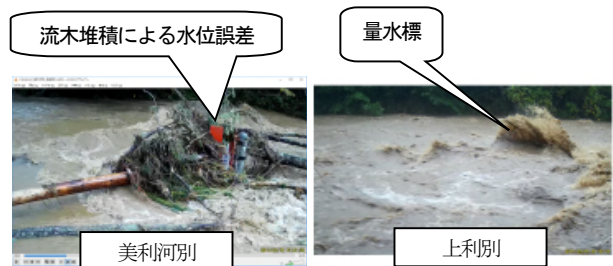


図-9 観測中の外乱要因 (例：流木・H鋼)

ダム下流の4観測 (大富は12月現在でデータ精査中) については、浮子観測と画像解析の重複観測を行った。

以下の図-10には、9/18洪水時の両手法の観測結果を示している。花石観測所と今金観測所はCCTV画像を利用した流速解析も併せて実施している。ここにおける観測結果について、従来法 (浮子法) と画像解析の観測較差は10~15%程度であった。

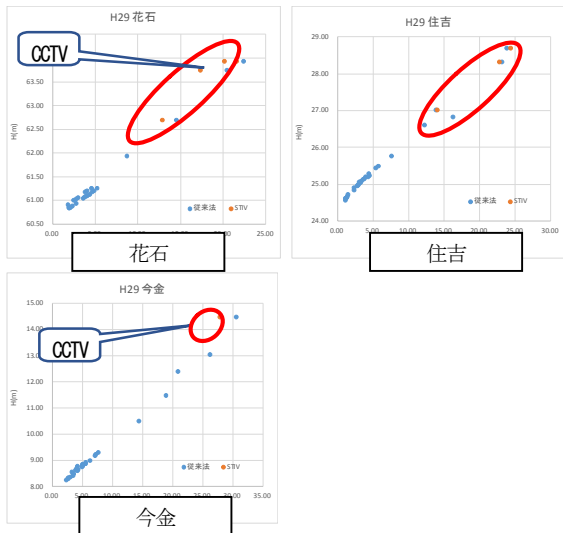


図-10 観測結果\_管理図 (花石・住吉・今金)

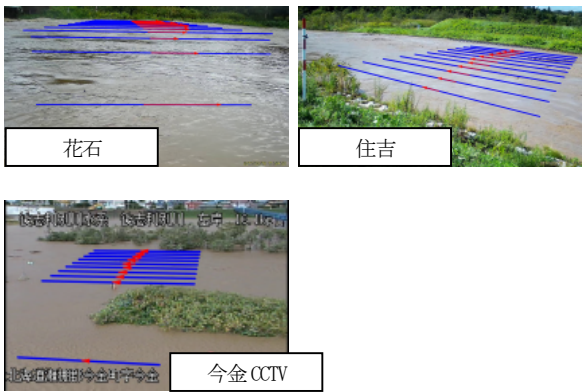


図-11 最高水位時の解析画面 (花石・住吉・今金)

花石の最高水位時の観測結果は、浮子法に対してトレイルカメラ画像解析は7%、CCTV画像は-17%である。ただし、水位上昇期のCCTVデータには20%以上の較差も発生している。

住吉の解析結果は、浮子法に対してトレイルカメラ画像解析流量は±5%程度に収まっており良好であった。

当観測所では、高水観測全5回の内、2回については強風によるカメラの転動（ズレ）が発生し、浮子観測時の画像が取得できなかった。

今金観測所の解析結果は、想定以上の水位上昇のため設置した施設が水没し、トレイルカメラの画像解析には至らなかった。ただし、撮影機器内のデータは回収できたので、設置位置の課題とした。

今金観測所の画像解析については最高水位時のCCTV画像記録をもとに流量算出を試みた。その結果、CCTV画像解析による算出流量は浮子法に対して約-17%であった。

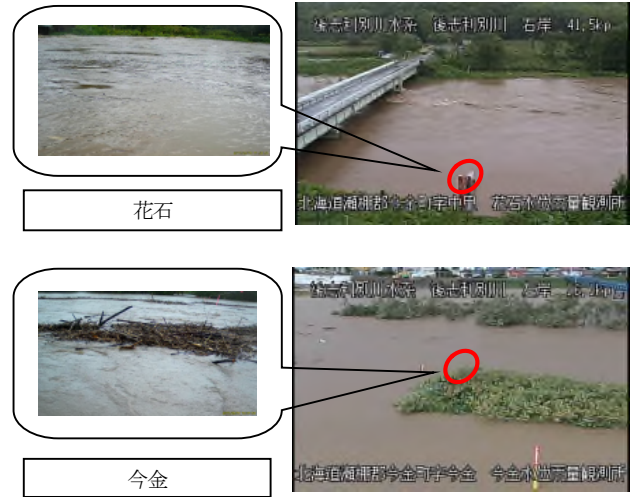


図-12 トレイルカメラとCCTVの画像比較 (花石、今金)

現時点におけるCCTV画像の解析については、カメラ取付位置は流水全体を俯瞰的に捉えられるものの、近年普及している小型ハイビジョンカメラに対してやや解像度が劣ること、運用設定により、夜間撮影時のレート低下（撮影コマ数秒）など問題がある。

較差発生の原因は、カメラの取付位置と解像度によるものと推察される。

## 6. 画像解析による流量観測の利点と課題

今回、トレイルカメラ使用による流量観測に取り組んだ結果、以下のような結果が得られた。

### (1) 導入により有利・有効と考えられる点

#### a) 洪水時の安全確保

通行が困難となり、従前では観測が出来なかった山地河川では無人で観測が可能である。今年度、美利河ダムでの既往最高値の出水状況においては、その有効性と観測値の取得が確認された。

#### b) 多くの観測所での配置

本調査の手法は、一般に流通している安価な装置を導入することにより、低コスト化を図ることが出来た。

導入した本装置は小型軽量であることから、様々な観測所の形態に合わせて設置することが可能である。

#### c) 多くの観測所での同時対応

観測資機材を固定設置したことにより、同時多発的な大規模出水時においても、確実なデータ取得が可能である。

#### d) 突発的な豪雨への対応

機器の簡便性により、普段観測を行わない場所についても即応的な観測が可能である。

画像の幾何補正で求められる現地標定は、撮影位置と地盤からの高さを出水後に計測することで流速再現が可能である。これらの利便性については、山岳河川や管理設備が遅れている中小河川への導入がより効果的と考えられる。

### (2) 取得画像と観測結果からみた取り組むべき課題

#### a) トレイルカメラの転動・水没

今回の一連の観測において、強風によるカメラの転動（ズレ）や水没が発生している。このため、設置架台の強度設計の見直しや設置位置の遠距離化と設置高度の変更が必要である。

#### b) 撮影画角の見直し

本調査の手法は、画像を解析することにより流速を得ており、画像の幾何条件や撮影条件が観測精度を大きく左右する。以下の図-13に示すように、上述の設置位置と合わせた施設設計の改善が必要である。また、CCTVを活用する場合、テロップによる見切れの防止や、監視作業により撮影角度やズームが変更された場合の対処方法を取り決めておく必要がある。

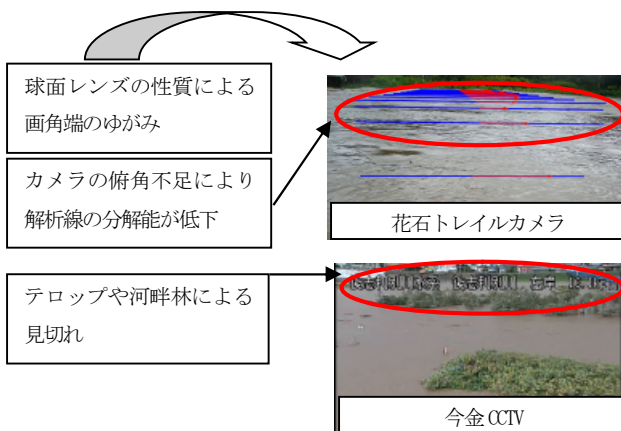


図-13 取得画像に見る課題（花石・今金）



図-14 川が綺麗すぎることによる課題（例：美利河別）

#### c) 観測所での水質による問題

図-14に示すとおり、観測所での水質によっては河床の紋様の映り込みにより解析が不可能な場合も確認された。

今回の報告においては高水時の観測が主体であるが、平常時観測での落葉等をトレーサーとした対応も今後実施する予定である。

#### d) 解析コストの問題

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観測費用と同程度である。現状においてコストを抑えるためには、取得した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画像のみを解析する方法が適している。

## 7. まとめ

今回、美利河ダムでは既往最大、下流河川では既往2番目の流量観測値を得ることができ、画像解析の有効性とカメラ設置位置等の課題が抽出できた。

今後、更に観測精度の面について分析を行うとともに、洪水時の河床変動の影響についても検討を進める予定である。また、河川横断面内の流速分布の推定手法であるDIEX法<sup>9)</sup>（力学的内外挿法：Dynamic Interpolation and EXtrapolation）を取り入れた流量解析も比較検証する予定である。

昨年の空知川のような大規模出水が発生した場合、河川計画の大幅な見直しが生じ、その際の流量観測値は、飛行機事故時のフライトレコーダーやボイスレコーダーに匹敵するほどの重要度<sup>9)</sup>と言われている。

画像解析による流量観測は、大規模出水時においても確実に流量観測が可能な観測手法として、また、平常時での観測も含めて今後も取り組む予定である。

#### 参考文献

- 1) 函館開発建設部：後志利別川水系河川整備計画
- 2) 河川砂防技術基準 調査編 平成 26 年 4 月
- 3) 北海道開発局 平成 28 年度 北海道開発技術研究発表会：平成 28 年台風 10 号空知川上流における画像処理型流量観測の適用性
- 4) 北海道開発局：後志利別川流量及び水質調査業務
- 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) 土田宏一・藤田一郎・芳賀聖一・亀岡雅史・河上将尊：STIV 法とトレイルカメラによる低コスト流速観測手法，河川技術論文集，第 23 巻，pp.233-238，2017.
- 7) KU-STIV ver1.4.3.2 株式会社 ビィーシステム
- 8) 北海道開発局 平成 27 年度 北海道開発技術研究発表会：画像処理型流量観測の適用性検討論文
- 9) 平成 24 年 7 月 土木学会九州北部豪雨災害調査団報告書，pp. 101