

# 水文観測における省力化・安定化に向けた取り組み

笛田俊治・萬矢敦啓・工藤 俊

## 1. はじめに

IoT時代の本格的な到来を迎える中で、国土交通省では、ICT、ビッグデータ、AI等を活用し、事業等の生産性向上等に努め、1億総活躍や地方創生、さらには観光立国の推進や国際競争力の向上に貢献していくとしている。河川分野、特に水文観測の分野においても、社会資本整備審議会「水災害分野における気候変動適応策のあり方について」において、「洪水時の河道内の水理現象や堤防等施設の挙動を的確に把握できるよう観測機器の改良や配備の充実、ICTの活用を図るべきである」と指摘されている<sup>1)</sup>。

昭和41年に定められた「水文観測業務規程」は幾度かの改定を経て現在に至っているが、第1条でその目的を「総合的な河川計画の立案、河川工事の実施、河川の適正な維持、河川環境の整備及び保全その他の河川の管理に必要な水文統計資料の整備を図り、あわせて観測成果を公開すること」としている。これからの水文観測は、総合的な「河川計画」の立案に必要な「統計資料の整備」を引き続き実施するとともに、危機管理対応を含む「河川管理」の高度化に向けて、現在の観測体制の高密度化、縦断化を図り、「時間的・空間的に連続したモニタリング」を可能とし、「リアルタイム」で判断支援に資する情報（俯瞰情報）を提供していく必要がある。

水文観測のうち、河川管理上特に重要な降水量・水位・流量のなかで、降水量については、土木技術資料Vol.58、No.7の小特集で紹介したように、レーダ雨量計の整備・高精度化が順次進められており、流域を面的かつ時間的に連続してモニタリングし、リアルタイムで活用することが可能となっている。

本稿では、これらのデータを最大限活用するとともに、水位・流量のモニタリングにおいてもこれらと親和性の高いデータを取得できる体制を構

築することにより、河川管理の生産性向上を図る取り組みについて報告する。

## 2. これからの河川管理

今後の河川管理の方向性については、国土交通省水管理・国土保全局が実施する「革新的河川管理プロジェクト」<sup>2)</sup>や、流域水管理研究所と土木学会現場問題研究会が共同で検討を実施してきた「これからの河川管理システム検討会」（代表理事：虫明功臣東京大学名誉教授）<sup>3)</sup>等において示されている。

ここでは、これらで示された方向性のうち、水文観測に係る部分についていくつか紹介する。

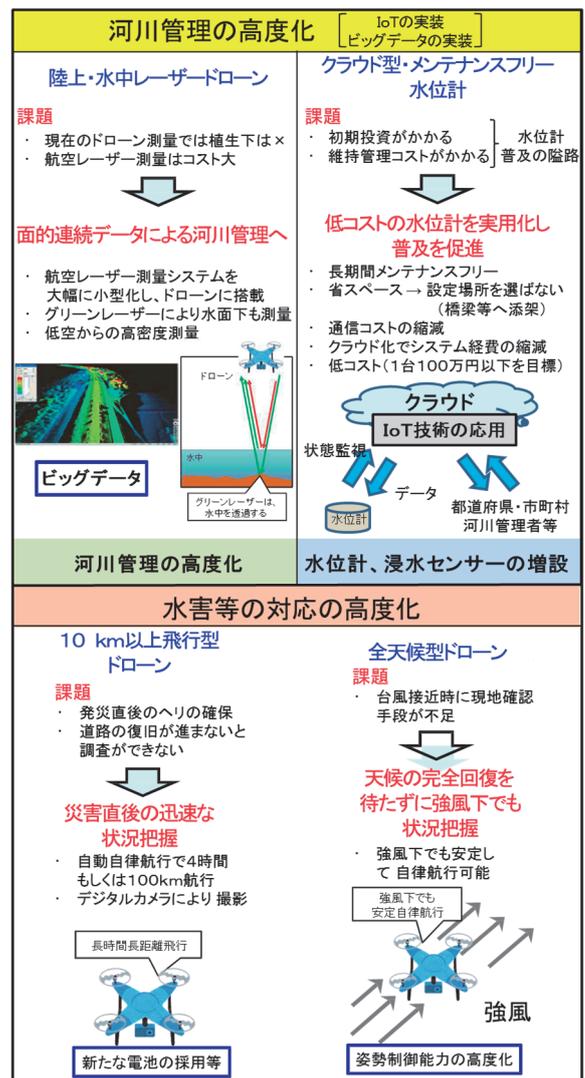


図-1 革新的河川管理プロジェクト<sup>2)</sup>

## 2.1 河川管理の高度化

「革新的河川管理プロジェクト」では、航空機に搭載されるレーザー測量システムを超小型化して長距離航行が可能なドローンに搭載することで、縦に長い河川を低空・高密度で連続して面的（水面下を含む）に把握することを目指している。また、今般の台風被害から水位に関する情報提供の強化が求められていることから、水位計の高密度化に向けて設置・維持管理のコストが隘路とならないよう、自治体でも導入可能なクラウド型・メンテナンスフリー水位計の実用化を図り、水位情報の提供の強化を図ることとしている。

さらに、「これからの河川管理システム検討会」では、水位計より設置間隔の短いCCTV画像から水面を検知して水位計測を行うことにより、縦断的な水位情報を取得する技術（図-2）や、水門・樋門等の河川管理施設の閉閉状態や水位・流速・流向（順流、逆流）を無電力・省電力のセンサーネットワークを用いてリアルタイムで監視・把握する技術（図-3）等が提案されている。

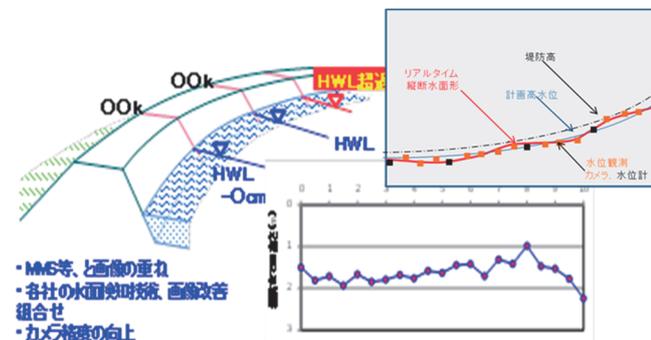


図-2 CCTV画像からの水面検知<sup>3)</sup>

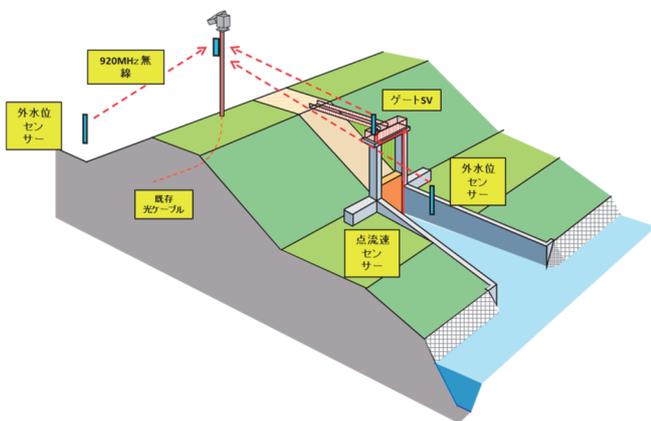


図-3 センサーネットワークによる河川管理施設等の監視<sup>3)</sup>

## 2.2 水害等の対応の高度化

「革新的河川管理プロジェクト」では、水害をはじめとする災害直後の迅速な状況把握をおこなうため、100km超を自動自律航行し、強風下でも安定して飛行するドローンの実用化を目指している。

また、「これからの河川管理システム検討会」では、堤防の危険箇所などのCCTV映像に水位の危険度レベルやデジタル量水板を重畳表示して河川水位の状況を視覚的に認識できる技術（図-4）や、実況の観測値を取り込んで初期条件を最適化し、流域全体を対象とする流出計算・河道追跡・氾濫計算により本支川の河道水位および浸水深の時空間分布を予測し、さらには積極的なダム適用操作の可能性まで視野に入れたリアルタイムシミュレータ等が提案されている。



図-4 CCTV映像への危険度レベル重畳表示<sup>3)</sup>

## 3. これからの河川管理を支える水文技術

雨量観測・水位観測については、テレメータ化等の省力化・安定化が古くから図られる一方で、流量観測については、手法そのものは昭和20年代から現在まで全く変わっていないといっても過言ではない。前述したように、レーダ雨量計等から得られる面的かつ時間的に連続したモニタリングデータを河川管理に最大限に活用し、流出解析等を通じた水位予測等を行うためには、流量観測においてもこれらと親和性の高いデータを取得する必要がある。以降では、北陸地方整備局管内の姫川山本水位流量観測所における電波式流速計等を活用した河川管理への活用を検討した事例<sup>4)</sup>、および北海道開発局札幌開発建設部管内の空知川における画像解析による流量推定の取り組みを紹介する。

### 3.1 電波式流速計による流量観測

#### 3.1.1 姫川山本地点の流量観測の課題

日本屈指の急流河川である姫川の基準点である山本地点（新潟県糸魚川市）は、観測水位からH-Q式を用いて換算した流量（以下「換算流量」という。）と、流出モデルで算出した流量（以下「算出流量」という。）の間に乖離が存在することが知られている。例えば、主要洪水の一つである平成7年7月の洪水では、水位標の目視による観測水位から換算したピーク流量が2,840 m<sup>3</sup>/sであるのに対し、貯留関数法を用いて算出したピーク流量は約4,400 m<sup>3</sup>/sとなっている。一般的に換算流量と算出流量が乖離する場合には、換算流量を真値とし、水文モデルの設定パラメータを入念に精査することが多い。しかしながら、姫川の山本地点については、他の地点における換算流量との比較からも、山本地点の換算流量である2,840 m<sup>3</sup>/sよりも大きな流量値の可能性があるとして河川整備基本方針で言及されている<sup>5)</sup>。

姫川のような流出の早い急流河川では特に、レーダ雨量計等から得られる降雨（予測）から水文モデル等を活用し、危機管理上最も重要な水位を予測していくことが重要であると考えられる。こうした観点からも、水文モデルのパラメータについて、観測値による初期条件の最適化を可能とする流量データを取得することが課題となっている。

#### 3.1.2 現地観測

大規模出水時に換算流量と算出流量に乖離が生じる要因の一つとして、掃流力の増大による土砂移動に起因する流水抵抗変化や河床変動などが挙げられる。そこで、当該地点において、平成25年8月23日、9月16日、10月16日に洪水観測を実施した。また、8月9日、9月20日、11月22日に計3回の横断測量を実施し、各洪水前後の断面形を得ている。図-5は観測測線の横断測量結果を示したものであり、8月～11月に最大2m程度の河床変動が発生したことがわかる。また、8月9日に比べて9月20日と11月22日は右岸側が大きく洗掘していることが特徴的である。なお、図中に三角形で示される点（Sec1～Sec8）は観測で使用した電波式流速計の横断方向の設置位置を意味し、鉛直の直線は各流速計の測線区分を分割するものである。また、洪水中に観測測線上でADCPを曳

航させて水深を計測するとともに、測線上のSec1～Sec8で電波式流速計を用いた表面流速の計測及び巻尺を用いた水面高の計測を実施した。

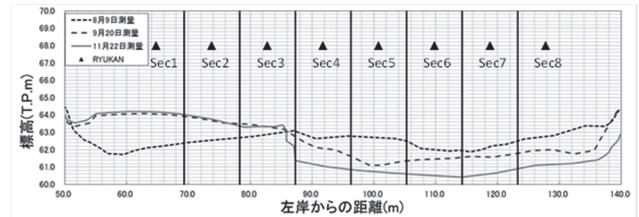


図-5 観測測線の横断測量結果

#### 3.1.3 解析結果

これらの解析手法の詳細については別稿で改めて紹介することとして、ここでは結果のみ簡単に紹介する。

① 洪水中に電波式流速計により表面流速を、ADCPにより水深を計測した。観測で得られた流速（表面流速×0.85）と水深、姫川下流域の河床勾配1/110<sup>5)</sup>、平成22年に実施された河床材料調査結果によるd<sub>50</sub> = 60 mmを用いて流水抵抗の分析を行った結果、図-6に示す通り、岸・黒木<sup>6)</sup>が提案した $\tau^* - \tau^{*'}$  関係と整合した。

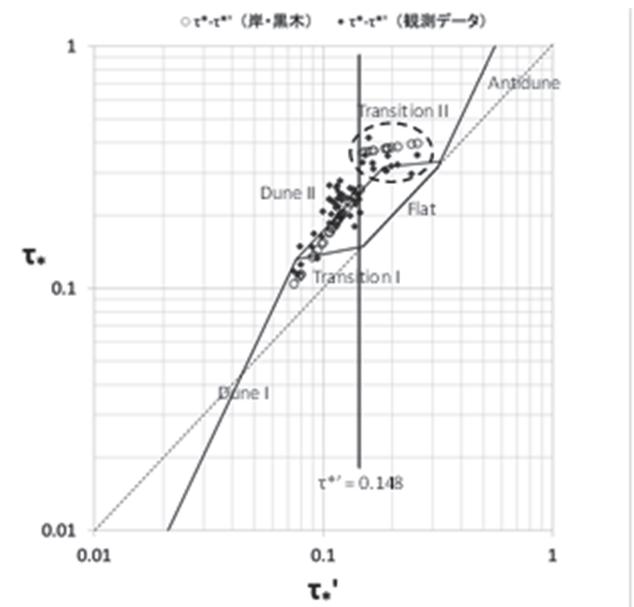


図-6  $\tau^* - \tau^{*'}$  関係の分析結果

（図中の実線は岸・黒木が提案した関係であり、使用した全データの平均のR/dを用いて描いた）

② 電波式流速計から得た流速と上記の $\tau^* - \tau^{*'}$  関係を用いて洪水期間全体の河床高を推定した結果、洪水末期に実施したADCP観測による河床高を良く再現することができた。また、流況が激し

くADCP観測ができなかった期間も含め、洪水中に河床が洗掘し、洪水前後の横断測量結果と比較して流積が大きくなるという結果を得ることができた。さらに、本手法による結果と、定在波の理論<sup>7)</sup>を用いて水深を推定した結果とを比較すると、両者の洗掘、堆積傾向は良好に一致した(図-7)。  
 ③ 電波式流速計でセクション毎に計測した表面流速から得た平均流速に、推定水深及び区分幅を乗じた上でそれらを合計して断面全体の流量を算出した(図-8)。図中には、括弧内に記されるそれぞれの河床高から算出された4種類の流量を示している。

ADCP観測河床高からの流量と推定河床高からの流量を比較すると、両者は良好に一致し、それは洪水前・洪水後の横断測量河床高からの流量よりも大きいことが分かる。特に、いずれの流量も14:00頃にピークが出現するが、推定河床高からのピーク流量(=約1,000m<sup>3</sup>/s)は、洪水後横断測量からのピーク流量(=約800m<sup>3</sup>/s)の約1.3倍、洪水前横断測量からのピーク流量(=約600m<sup>3</sup>/s)の約1.7倍となった。このことは、河床変動が大きい場合には考慮する必要がある。また、流況が激しくADCP観測が実施できない状況においても、

水表面から得られる情報に基づき河床高を推定することが可能となり、姫川における換算流量と算出流量の乖離の解決の端緒となることが期待される。

また、ここで示した手法は、さらなる精度向上の余地はあるものの、原理的に自動化・リアルタイム化が可能と考えられるため、今後、流量観測の実況値による流出モデルや水位予測モデル等、危機管理を含む河川管理上重要な各種モデルの初期条件の最適化の可能性が示された。

### 3.2 画像解析による流量観測

#### 3.2.1 平成28年台風10号による空知川の洪水<sup>8)</sup>

北海道の上川地方では、平成28年8月29日から31日にかけて台風10号の影響による大雨に見舞われ、石狩川水系空知川上流の串内観測所で降り始めからの雨量が515mm(速報値)を観測した。空知川上流の南富良野では堤防2か所が大規模に破堤し、市街地等が約130haにわたり浸水するなど甚大な被害が発生した。

破堤地点上流に位置する幾寅水位流量観測所では、8月30日17時10分以降、水位計の損壊によりデータ欠測となったほか、同日21時30分以降はCCTVも停電のため使用不能となった。

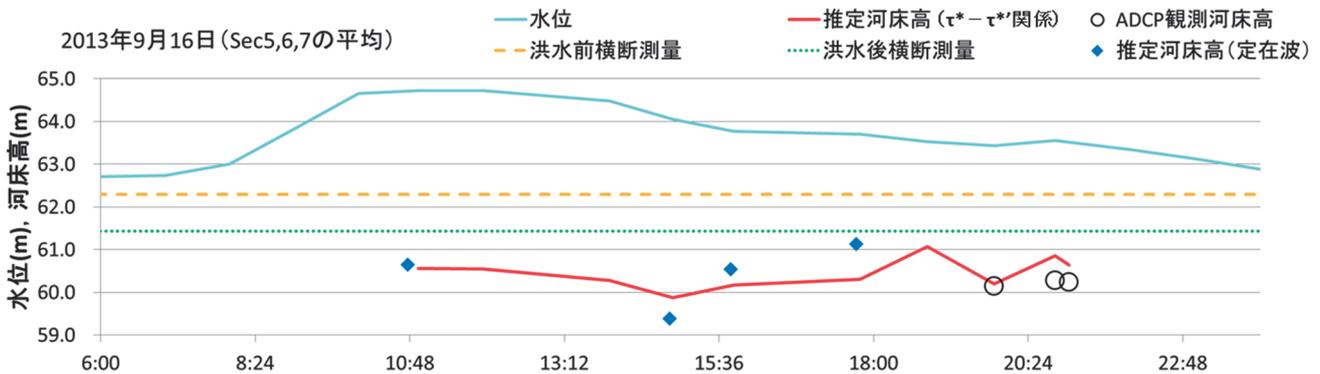


図-7 洪水前後の河床高と洪水中の推定河床高

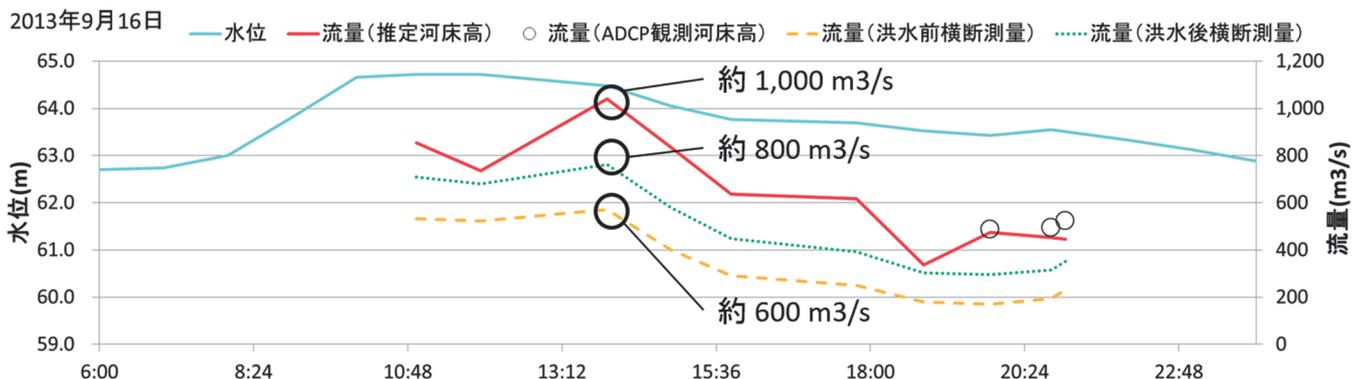


図-8 それぞれの河床高からの換算流量の比較

また、同地点で実施していた流量観測についても、見通し杭および量水標H型鋼の消失、越水の危険性、浮子投下地点である観測所上流の大勝橋の崩落の危険性および南富良野町の冠水による国道の通行止め等により、同日20時から翌31日4時まで国道の駐車帯への避難を余儀なくされた。この間、8月31日4時40分に2か所での堤防決壊（最終延長：下流約150m、上流約300m）が確認された。その後、31日5時から観測所下流の大平橋において浮子観測を再開したものの、同6時5分に橋梁が損壊したため、それ以降の観測は不可能となった。当時の氾濫状況を写真-1に示す。



写真-1 空知川氾濫状況（31日6時頃撮影）<sup>8)</sup>

### 3.2.2 大平橋下流における画像解析による流量算出

このような過酷な状況下において、札幌開発建設部では、前述のドップラー型（電波式流速計）とならぶ非接触型の流速計測法の1つである「画像処理型流速計測法」により8月31日5時から12時までの計8回にわたり流量を算出した。同手法は、河川砂防技術基準調査編に記載があるほか、平成28年6月に当チームから公表された「流量観測の高度化マニュアルVer1.2」<sup>9)</sup>において、水面の波紋を撮影した画像から水表面流速を計測するSTIV(Space-Time Image Velocimetry)法<sup>10)</sup>と橋梁等から投下した浮子を撮影した画像から流下速度を計測するFloat-PTV(Particle Tracking Velocimetry)法<sup>11)</sup>が解説されている。今回は、浮子の投下が不可能となったこともあり、STIV法が用いられた。

あらかじめ計画されていた流量観測ではないため、臨機の判断で工夫された点も含めてその手順を示すと以下の通りである。

① 流速を測定するための画像撮影において、標定点を事前に設定・測量することができなかつたため、撮影時点で残存しそうな物体を標定点とし

て画角に収めて実施し、後日座標を確定させた。

② 大平橋は水位観測所ではなく、量水標がないことから、流速を測定するための画像とは別途、水没したクレーンを定期的に撮影しておき、後日水位を算出した。

③ 表面流速からの流量の算出には、高度化マニュアルにも記載されているDIEX法<sup>12)</sup>（画像処理で得られた水面上の計測「点」の流速データから運動方程式を基づいて河道断面の「面」流速データに変換する方法）を用いた。

### 3.3 今後の取組み

以上の流量観測高度化手法の活用ならびに現地での工夫により、幾寅水位流量観測所の下流である大平橋地点における8月31日5時から12時までの流量を観測することができた。しかしながら、今回の洪水が空知川における既往最大出水であり統計上きわめて重要であること、破堤箇所の洪水のピークの時間が不明であることから、大平橋における観測結果を踏まえ、幾寅観測所におけるピーク流量を解析によって推定する必要がある。また、その際には、幾寅観測所と大平橋の間に2か所の破堤地点があることを反映した解析・検討が必要となっている。

これらの解析・検討結果については、札幌開発建設部と土木研究所の協力による作業が現在も進行中であり、また十分な照査等を経て公開されるものであることから、詳細については別途報告することとしたい。

## 4. おわりに

雨量・水位・流量に代表される水文観測については、長期間にわたるデータの蓄積とその解析の重要性についてはいささかも変わることなく、今後とも着実に実施していく必要がある。その上で、今後の河川管理及び災害対応の高度化に向けて、現在の観測体制の高密度化、縦断化を図り、判断支援に資する情報（俯瞰情報）を提供していくためには、これまで以上に画像処理技術の活用、UAV等計測・撮影プラットフォームの多様化、無電力・省電力センサの活用およびそれらをつなぐネットワークの構築、これらの基盤となる情報の3次元化・多次元化が求められている。

その一方で、水文観測の中で流量観測は、熟練した観測員の不足等が深刻化しつつあり、入札が

不調となることも多くなっている。空知川の事例でも明らかなように、特に高水流量観測については、大雨や暴風雨による洪水により天気予報等で「川には近づかないでください」と呼びかけられる場面での作業となり、また実際に流量観測に従事されていた方が川に転落して亡くなるという事案も発生している。また、山奥の観測地点等を中心に、洪水のピークや立ち上がりに間に合わない事例も多数報告されていることから、連続した観測体制を構築する必要があると考えられる。

土木研究所では、安全性の確保を第一とし、限られた人的資源の適正な配置、後世にわたる検証可能性の確保といった観点も重視しつつ、ICT技術等を活用した観測体制の高密度化、縦断化を図るとともに、省力化（無人化・自動化）と安定化（連続観測・リアルタイム化）を目指した研究を進めている。

## 謝 辞

本稿を執筆するにあたり、最終報告書のとりまとめ前にも関わらず、成果報告会資料からの引用をご快諾いただいた佐藤直良座長をはじめとする「これからの河川管理システム検討会」の皆様は厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 社会資本整備審議会：水災害分野における気候変動適応策のあり方について～災害リスク情報と危機感を共有し、減災に取り組む社会へ～答申、[http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai\\_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/kikouhendou/pdf/1508\\_02\\_toushinhonbun.pdf](http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/kikouhendou/pdf/1508_02_toushinhonbun.pdf)、2015
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課河川保全企画室：河川管理用ドローンやクラウド型水位計の実装化に参画する企業等を公募します～革新的河川管理プロジェクト（第一弾）が始動します～、<http://www.mlit.go.jp/common/001150963.pdf>、2016
- 3) 一般社団法人流域水管理研究所：「これからの河川管理システム」成果発表会資料、2016
- 4) 工藤俊、萬矢敦啓、小関博司、笹田俊治、中津川誠：洪水時の河床変動を考慮した流量の推定、土木学会論文集G(環境)/Vol.72、pp.2016
- 5) 国土交通省河川局、姫川水系河川整備基本方針、2008
- 6) 岸力、黒木幹男：移動床流れにおける河床形状と流体抵抗（I）、北海道大学工学部研究報告、pp.1～23、1972
- 7) 山田正、池内正幸、堀江良徳：不規則底面をもつ水路流れに関する研究、第28回水理講演会論文集、pp.149～155、1984
- 8) 国土交通省北海道開発局建設部河川管理課水災害予報センター：平成28年台風第10号による出水状況について、[http://www.hkd.mlit.go.jp/topics/press/press\\_h2809/02\\_gaiyou.pdf](http://www.hkd.mlit.go.jp/topics/press/press_h2809/02_gaiyou.pdf)、2016
- 9) 土木研究所水工研究グループ水文チーム：流量観測の高度化マニュアル（高水観測編）Ver.1.2、[http://www.pwri.go.jp/team/hydro\\_eng/manual.htm](http://www.pwri.go.jp/team/hydro_eng/manual.htm)、2016
- 10) 例えば、藤田一郎、霜野充、本田将人、小阪純史、萬矢敦啓、本永良樹：河川流量計測の汎用化に向けたSTIVシステムの精度検証、河川技術論文集、第19巻、pp141～146、2013
- 11) 島本重寿、藤田一郎、萬矢敦啓、柏田仁、浜口憲一郎、山崎裕介：画像処理型流速計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、2014
- 12) 二瓶康雄、木水啓：新しいデータ同化手法に基づく河川流速・流量推定法の提案、土木学会論文集、No803/II-73、pp.155～160、2005

笹田俊治



土木研究所水工研究グループ  
水文チーム 上席研究員  
Toshiharu FUETA

萬矢敦啓



土木研究所水工研究グループ  
水文チーム 主任研究員  
Atsuhiko YOROZUYA

工藤 俊



土木研究所水工研究グループ  
水文チーム 研究員  
Shun KUDO