

水文観測の現況と展望

PRESENT STATUS AND PROSPECTIVES OF HYDROMETRY

中尾忠彦¹

¹正会員 工博 (財)河川情報センター (〒102-7484 東京都千代田区麹町1-3 ニッセイ半蔵門ビル)

The River Administrators, i.e. Minister of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, and Prefecture Governors, are running hydrological observation networks covering whole Japan. Present status of the observation networks is reviewed here concerning the posting of stations, data processing, and dissemination to the public. The author proposes future development of the system in view of water resources management in the age of climate change.

Key Words : Hydrometry, Hydrology, Discharge, Precipitation, Water stage, Database, Internet, Climate change

1. はじめに

日本において、定常業務としての水文観測は、主として河川管理者によって、河川管理の一環として行われている。本論では、その現状を紹介し、今後のあり方について考察する。意見にわたる部分は筆者の私見である。

2. 水文観測の現況

雨量・水位・流量・水質の観測を主として現況を見る。国土交通省「川の防災情報¹⁾」として公開されている観測所を表-1に示す。水文観測が、多数の主体によって行われていることがわかる。このほかにも電力会社は水力調査として水文観測を行っているが、川の防災情報にはほとんど入っていない。

表-1のうち、国土交通省河川局の行っている雨量・水位・流量・水質の観測結果は水文水質データベース²⁾として、河川局から公開されている。気象庁の行っている雨量は同様に気象庁のサイトで公開されている。

(1) 雨量観測の状況

表-1から、雨量については気象庁よりも河川管理者である国・県のほうが観測所数が多いことがわかる。国だけでも約2,300箇所あり、気象庁アメダスの1,300箇所弱よりも多い。都道府県の観測所数は近年増加したも

表-1 「川の防災情報」データの種目別所管別観測所数

2010年3月31日現在

	河川局	道路局	気象庁	都道府県	水資源機構等	計
Cバンドレーダ	26		20			46
地上雨量計	2,348	1,182	1,275	4,557	243	9,605
水位計	2,132			4,042	88	6,262
他	1,560	188	87	400	337	2,572
計	6,066	1,370	1,382	8,999	668	18,485

ので、各県の土木事務所など、河川管理を行っている組織が行っている。河川管理者はその管理する河川の集水域内の降雨量に関心があるので、河川局の観測所のほとんどは一級水系の流域内にある。全国の一級水系109の流域面積は合わせて240,117平方キロメートルであるから、1観測所あたり約102平方キロメートルとなる。一方、気象庁の観測所は全国土ほぼ均等に配置されるとすると、1観測所あたり290平方キロメートルとなる。都道府県の観測所について国土面積との関係を考えて、1観測所あたり約82平方キロメートルとなる。国土調査法水基本調査作業規程準則³⁾によれば、50ないし100平方キロメートルに1箇所の雨量計を配置することとされている。気象庁と国・県の河川管理用の観測所を合わせると、国土調査法の規定を十分満たしていることになる。

ただし、後述するように、都道府県の観測値はほとんどデータベースとして公開されていない。各種解析に用いることのできるのは河川局と気象庁の合わせて約

表一 2 雨量観測所の標高別配置比率 %

標高m	国河川	気象庁	国土面積
0-100	26	47	28
100-300	28	22	26
300-1000	39	25	38
1000-	7	6	8

3,600箇所、1箇所当たり約104平方キロメートルとなり、国土調査法の基準に平均では及ばないが、1級水系の流域では基準を満たす。

河川局と気象庁の雨量観測所について、標高別に分布をまとめた結果を表一2に示す。標高別の国土面積の比率もあわせて示したが、河川局の観測所の標高別分布は国土面積のそれとよく合っている。河川の水管理としては、標高が高いほど降水量が大きいとされることから、標高の高い、いわゆる水源地での観測値が必要であるが、その必要に合わせた観測がされている。

(2) 水位観測の状況

水位観測は河川管理、及び発電にかかわる組織等によって行われているが、発電関係のデータは表一1に見るように、川の防災情報を通しては、ほとんど公開されていない。

河川局の水位観測所は必ずしも大臣管理区間に設置されているのではないが、便宜上大臣管理区間に設置されているものとして概算すると、河川延長10,513/2,132=5キロメートルに1箇所の観測が行われている。都道府県の場合、約30キロメートルに1箇所となる。大臣管理区間ではより高い密度で観測が行われていることがわかる。

河川局の水位観測は、1級水系の本川と主要な支川において洪水予報を含む水管理を行うために設置されているが、水系の水文・水理をおおむね把握できるようになっていると言えよう。ただし、2級河川はもちろん、1級水系の中でも比較的小規模な氾濫区域や、内水区域については都道府県の観測所が不可欠である。

(3) 流量観測の状況

平成7年の調べによると、河川局による流量観測は全国約1,300箇所で行われている。都道府県によるものは800箇所程度である。

(4) 水質観測の状況

河川局は水文水質データベースによると1,375箇所水質・底質観測を行っている。水質観測は常時監視装置によるものと、手分析によるものがある。分析項目数は観測所によって異なる。

(5) レーダ観測の状況

河川局と道路局は26基のCバンドレーダを運用している。データは地上雨量計によってキャリブレーションされ、レーダの特性を実地に調査して定められた合成マップに従って合成される。河川局のサイトから「レーダ雨量計情報」として公開・提供されている。2001年の省庁再編後、国土交通省防災情報提供センター⁴⁾のサイトが設けられ、気象庁のアメダス合成レーダと合成されたプロダクトも提供されている。

2010年7月から、Xバンドマルチパラメータレーダの試験運用が始まり、一般にも公開されている⁵⁾。コンソーシアムに参加する研究者(組織)にはXバンドMPレーダから得られる多様なプロダクトがオンライン・リアルタイムで提供される。

3. 水文データの品質管理

以下では、河川局が設置・運用している雨量・水位観測のデータを中心に述べる。

河川局の行う水文観測は、国土交通事務次官の定める「水文観測業務規程⁶⁾」に従って行われている。現行の規程は、平成14年4月に改定されたものである。規程によれば、水文観測の責任は地方整備局長等(北海道では北海道開発局建設部長、沖縄では省が異なるが河川局所管の観測について沖縄総合事務局長が責任者となっている。以下、特に断わらない。)が負っている。観測の実務は河川事務所長等の責任とされている。地方整備局長等は、毎年データを照査したうえでデータベースの形で公開することとされている。

(1) 観測データの登録

テレメータ観測されたデータはテレメータから直接にデータ管理用の水系別データベースに入力される。また、自記紙から読み取られた値も、流量観測された値もそれぞれ入力される。入力後に、定期点検などで自記紙やテレメータで伝送された値と、水位標の読み値とが異なっていることがわかったようなときには機器補正が行われる。機器補正の後、データ照査が行われる。

(2) 標準照査と高度照査

データの照査は事務所段階で行われる標準照査と、整備局段階で行われる高度照査と、二段階の手順を踏んで行われる。標準照査では単一のデータ系列について照査し、高度照査ではより広い範囲で複数のデータ系列の相互比較によって照査している。標準照査と高度照査はそれぞれ、既定のアルゴリズムによって疑わしいデータを抽出するAQC(Automatic Quality Check)と、技術者がデータを見て妥当性を判断するMQC(Manual

Quality Check)とからなっている。AQCでは、いろいろな角度からデータを全数チェックしているが、あくまでも疑わしいデータを抽出しようとするものであって、AQCのある種目で所定のしきい値を越えたからといって直ちに異常値とするのではない。すべてのデータを技術者が見るのは困難であるので、MQCの前処理を行うという位置づけである。

高度照査のAQCで抽出されたデータは、MQCで「欠測」、「推定値」、「正常値」と判定される。欠測は文字通り欠測した場合と、データがあっても正常値とは見なされず、しかも正しい値を推定することができない場合にそのように判定される。元のデータが異常であったり、欠測であったりしても正しい値を推定することができる場合には推定値として値を入れる。疑わしい点があっても、間違っているという確実な裏付けが無い場合には正常値とする。

水位が急に上昇した後急低下する、スパイクデータは、上流や下流に堰があって開閉されたときや、局地的な降雨で生ずることがある。データ照査の対象としている1時間間隔の値ではわからないことがあるが、10分間隔のデータや近隣の雨量観測値、レーダ観測値、上下流の水位計の変動を調べる。現地調査を行うこともある。急上昇・急低下の現象は起きなかったと推定されれば欠測とする。水位の場合、時間的・空間的な連続性があるので1箇所だけの急上昇・急低下が無かったことまでは推定できるが、その時刻の値は推定できないという考えからである。集水面積におおよそ対応して短時間の変動がある範囲におさまるといふ連続性があるので、時系列で当該データを解析するときに、たとえば直線補間して用いれば、結果に影響することはまずないと考えられるが、正しい観測値が得られなかったことを明示するために欠測としているわけである。

雨量の場合、「青天の霹靂」ということがある。疑わしい観測値が検出されたときには、近隣の降雨やレーダ観測値、下流の水位変動、天気図、新聞記事や雨量計周辺の人からの情報を集めて判断する。雨が降ったはずがないと判断されるときには推定値として0（ゼロ）を入れる。降ったと判断されるときには観測されたデータをできるだけ生かすため、観測値をそのまま正常値としている。

(3) 地方整備局水文観測検討会の審議

高度照査のAQCで抽出されたすべてのデータについて、それについてどのようにMQCを行ったかをとりまとめて地方整備局の単位で設けられている水文観測検討会（名称は地方によって異なる。）に報告され、欠測値・推定値・正常値の判断の妥当性が審議される。検討会によって、再調査が指示されることもある。検討会で承認されたデータは照査済みデータとして、水文水質データベースに登録され、公開される。

4. 水文水質データベース

水文観測業務規程では、データの公開をデータベースとして行うよう定めている。現在は「水文水質データベース」として公開されている。政府の進める電子国土の方針に従って、河川行政でも「『水に関するあらゆる情報を収集整備し、国民がそれを共有し、活用することによって実現された、安全で多様な文化を持つ国土』を『水情報国土』として定義し、その構築に向けてハード・・・、ソフト・・・整備を進めて」いる⁷⁾。水文水質データベースは、水に関する情報の中心として水情報国土の重要な要素となっている。

(1) データベースへのデータ登録

全国水文水質データベースへのデータ登録は、オンラインとオフラインの両方がある。「川の防災情報」に表示されるオンライン・リアルタイムのデータを伝送・管理している「統一河川情報システム」からオンライン・リアルタイムで入力されたデータは、照査される前の速報データという位置づけであり、画面上では青字で表示される。高度照査を経て、各地方の水文観測検討会等で承認されたデータは、オフラインでファイルから入力され、速報データと置き換えられる。自記紙やデータロガーから読み取って照査されたデータもこのときいっしょに登録される。照査の済んだデータは確定値として、画面上に黒字で表示される。

(2) データの登録状況

全国水文水質データベースに登録されている観測所は2010年7月現在で、水位流量観測所約2,100箇所、雨量観測所約2,600箇所である。川の防災情報と比較して、テレメータ化されていない観測所が追加されている一方、都道府県のデータは入っていない。

(3) データの利用

水文水質データベースからは、対話画面でデータを検索して、表・グラフとして表示させたり、ファイルにダウンロードすることができる。また、水情報国土のデータベースの一環として、水辺の国勢調査データベースと連携して検索する、いわゆる串刺し検索ができる。ウェブ上のシステムであるので、水文観測業務担当者も通常はこのシステムを利用すれば、不用意に原データを改変してしまう恐れもなく、データの活用ができる。また、河川協会から発行されている雨量年表・流量年表は、事務所等においてデータベースから印刷用の版下を出力する機能が実装されており、書き写しなどの誤りがなく、しかも作業を短縮する手順ができています。

表-3 2009年8月(台風9号)による累加雨量上位観測所「川の防災情報」による 単位mm

順位	観測所名	所管	累加雨量
1	塩原ダム	茨城県	321
2	東荒川	国河川	305
3	高百	国河川	286
4	今市(気)	気象庁	285
5	藤原	国砂防	278
5	弓張	茨城県	278
7	湯宮	茨城県	274
8	高林	国河川	273
9	東荒川ダム	茨城県	268
10	霧降	国砂防	257
10	大津港湾	茨城県	257
12	北茨城(気)	気象庁	252

5. 水文水質データベースの発展

現在の水文水質データベースには、なお改善すべき点が多くあると感じられる。筆者はその構築と運用に参画してきている立場であり、反省を込めて今後の発展の方向を考えたい。

(1) データの活用

水文水質データベースはそれだけで閉じたシステムではなく、各種の解析のためのデータが容易に取り出せることを目指している。解析のための応用アプリケーションは、データベース管理者が準備するというよりは、個々の解析者なり、ユーザ側に立った人が作成するのが好ましい。それを支援する仕組みとして、現在構築が進められ、Version 1.0.2が発表されている「水・物質循環解析共通基盤(CommonMP)」がある。水情報国土の一環として、河川縦横断測量成果、河川中心線データ、流域ポリゴンデータなどが順次整備されつつある。CommonMP上で流出解析を行う要素モデルから水文水質データベースのデータを呼び出す手続きを、また一つの要素モデルとして開発すれば、研究者・実務者が共通して、リアルタイムあるいはオフラインの解析を行うためのツールとなると期待される。

(2) 空間的な拡大

現在のデータベースは河川局水文水質データベースにとどまっている。特に都道府県のデータが入っていないのは不便である。表-3は、2009年8月の台風第9号で累加雨量が250 mmを超えた観測所をまとめたものであるが、都道府県のデータが無くては豪雨の全容がつかめないことがわかる。リアルタイムのデータは公開されているのにデータベースに入っていないのは残念である。

ちなみに、近年の集中豪雨において気象庁は、自治体などの観測データも用いて豪雨の分布などを発表しているようである。データが広く使われることによって密度の高い解析も可能になることが理解されて、データが充実することが期待される。

さらに進んで、都道府県にとどまらず、大学等の機関が行う水文観測のデータも収録し、ひいては少なくともアジアという範囲まではデータ範囲を広げ、世界のデータセンターを目指すべきであると考えている。観測所コードの桁数は十分あるかとか、改修費用の問題はあるが、日本が世界の水問題解決に寄与する事業になり得るものであろう。

(3) 時間的な拡大

データ登録を、古いデータまでさかのぼってできるだけ拡大することが望まれる。昭和13年(1938年)に第1回の流量年表が発刊されということは、その頃から全国を一定の密度で観測する体制ができたのだと推察される。長い歴史を有する流量年表・雨量年表は発行元である河川協会によってデジタル化され、一般に販売されている⁸⁾。しかし、水文水質データベースに格納されているデータとあわせてシームレスに使うことは、現時点でユーザの努力にゆだねられている。年表は日流量や日雨量を年表にしたものであり、データベースは時間データを基本としているために、接続させるのが面倒ということはあるが、やはりできるだけ長い時系列データでないと、気候変動の影響などは現れてこないと思われる。

(4) 迅速な確定値化

水文観測業務規程には、暦年前半のデータは9月頃に、後半のデータは3月までに照査を終えて公開することとされている。観測と公開までのタイムラグは、自記紙の回収が3ヶ月ごとに行われることが多いという事情もある。また、流量については、ある年の流量を求めるには、当該年の前年10月から当該年の翌年3月まで、18箇月間に行った流量観測から水位流量曲線を求め、水位から換算するという手続きによっているという事情がある。これは、年ごとに水位流量関係が大きく変化して、水位が変わらないのに流量が大きく変化するという不都合を軽減するための措置である。とは言え、ITの時代であり、観測から照査して公表するまでのタイムラグをさらに短くすることが望まれる。

河川改修計画や利水開発計画を立てるのであれば、多少時間の余裕もあったと思われる。しかし、現在の水文観測は洪水管理・利水管理・環境管理のための情報収集活動である。現況を速やかに認識して、必要な修正をしながら行動を決断しなければならないときに、半年以上も待たなければ確定値にならないというのでは行政への信頼を損ないかねない。

6. 水文観測の課題

世界的には気候変動、中国・インドをはじめとする経済発展による資源・エネルギーの逼迫、国内では少子・高齢化の影響が顕在化してくるなど、日本全体が体制の変革を迫られている。この中において、水文観測の体制・技術も積極的に対応してゆく必要がある。

(1) 観測の継続

第2章で見たように、日本の水文観測は河川管理者の立場から、河川工事の計画を作成するための基礎資料を収集すること、及び洪水予報と利水の管理という目的をもって行われてきている。水環境の維持・改善を図るため、それ自身が国を構成する重要な要素である水の実態を把握するという立場から、品質水準を維持・向上させながら適正な規模で継続することが必要であると思われる。これは、アメリカ合衆国地質調査所(USGS)の活動と筆者が理解することと一致する。またイギリスにおいてもスコットランドの自主権増大など分権への動きがある一方、水資源管理については流域ごとの管理委員会から、イングランド住宅・都市・農村問題省の外局として単一の環境庁が直営で流量観測を行っている⁹⁾。

水文観測の行政的側面で活動してきたものとして、近年の地方分権化議論の中で水文観測は今後どのようになるのかに関心を抱いている。筆者としては、水文観測の基本部分は中央政府の業務として継続されるべきであると考えている。ある州は水文観測を行い、ある州は行わないというのではまずいと思うからである。

財政難を理由に、それぞれの方面で不可欠と考えられてきた事業も廃止・縮小が議論されている中で、水文観測が国民の理解を得るためには、国民に対する説明が必要であり、そのためには「役に立っている」と認識してもらえるような業務展開が必要であろう。

(2) 流量観測における新技術の開発と採用

国土交通省の河川流量観測は、河川計画の策定や洪水予報のために行われ、その成果は流量年表として公開され、水文水質データベースとしてウェブサイトが開発されて、日本のインフラストラクチャーの一つとなっている。

しかし、その技術は筆者が1969年に当時の建設省に採用された当時とほとんど変わっていない。高水流量観測に際しては、多数の職員がいたこともあって自ら浮子を製作し投下して観測したものであった。材料は丈夫な竹材で、漬け物石にもなるかという重しをつけて何人もで投下していた。浮子について、水深5.2mを超えるときには吃水長4mの浮子を使うとの指定があるが、現在これを守るのは至難である。現在使われている浮子は工場で生

産され、均質性という観点からは優れている。しかし、その長さは運搬の便宜などから2mまでとなっており、4mの浮子にするには2本継ぐこととなるが、継ぎ目はどうしても弱点となりがちである。浮子を現場で製作していた時代には、「増水時には水流の乱れが激しいので重りを2倍つける」といった工夫もされていたという。それほど激しい水流に耐えうるか、心許なく感じる。

ある範囲の水深に対して一定の規格の浮子を用い、それに対して所定の更正係数を乗ずるというのが現行方式で、簡明さという点で利点がある。現地において観測が終わると直ちに流量値が概算され、速報することができる。しかし、WMOのGuide to Hydrological Practiceでも¹⁰⁾、オランダの教科書¹¹⁾でも更正係数に相当するものは吃水/水深比で定めており、水理学的にはこの方が説明しやすいと思われる。洪水流量は洪水終了後に横断面測量などを行って計算しなおして正式の値になるもので、その際には多少複雑な式を用いても特段に負担とは思わないと思われる。

現行の「水文観測¹²⁾」においても、「浮子の更正係数は種々な条件で決まるものであり、且つ、その条件の中には現状では観測や解析が不可能に近いものがある。従って本書では将来の研究によってこれらの事情の明らかになるまで、一応簡易なものとして更正係数を定め、流量にあまり大きな影響を及ぼさぬ範囲で実用性を増すこととした。」と解説している。新たな技術開発が行われたときなどに見直しを行うべきものである。

「観測や解析が不可能に近い」だった現象を観測できる新技術として、ADCPがある。現地河川における三次的な流速分布が短時間に測定できるようになった。しかし、ADCPは水中にセンサーを浸す必要がある、いわゆる接触型の観測法である。日本の急流河川の洪水では流速が大きくなり、波立って流れるなど、ADCPによる観測が不適當であったり、手法によっては生命の危険さえともなったりすることがある。また低水時の流量観測においては、ある程度の水深がないと測定できないという問題もある。

新技術が紹介されると、種々の難点が挙げられて、「だから使えない。時期尚早である。」との結論が出されることもある。そのような論点について木下良作と筆者¹³⁾が考察している。筆者は、全ての流量観測をADCPで行うべきであるとの主張をしているのではなく、条件に応じて最善の手法を用いるべきであると述べているわけである。たとえば以下の手法が考えられる。

・ADCPを用いた更正係数の決定

危険を感じない段階までADCPと電波流速計、さらには浮子流量観測を併用して、電波流速計や浮子の更正係数をADCPと比較して定める。より高い水位にはそうして求めた更正係数を外挿して用いることも考えられる。

・主要地点で高精度の観測

流域の主要地点ではできるだけADCPを用いて観測して、流域としての流出量を高い精度で押さえる。

・水理計算とも比較

流域の主要地点においては、水理計算とも比較する。近年は河道の計算法も進んできている¹⁴⁾。堤防法線が滑らかでない場合など、法線と洪水流の流向とのかい離によって逆流が起きるといった現象も再現されている。全ての観測にこれを用いる必要はないかもしれないが、重要地点においては現地観測と計算実験、さらには模型実験も併用して精度の高い流量ハイドログラフを求める。上流や支川の流量観測値がこのハイドログラフと大きな矛盾がないかどうか検討する。

(3) 洪水流量観測の精度向上

年間流出量とその変動特性は、水資源問題を考えるときに最も基礎的な特性である。年間流出量のうち、洪水流量は低水時に比べて桁違いに大きいので継続時間は短いとしても総量としてはかなりの部分を占める。変動特性も、低水時の変動の絶対値は小さいので、洪水時の値が重要である。総量と変動いずれにおいても洪水流出の占める部分が大きいので、洪水流出を特に精密に調べる必要があるわけである。

洪水ハイドログラフの解析は、洪水予測など洪水管理についても、水資源管理についても重要であり、重要地点について複数の手法を用いて解析することが望ましい。

(4) 気候変動の時代における水文観測

毎年世界中で、日本国内で見ても洪水・渇水の被害が生じている。これが気候変動の表れであるか否かにかかわらず、目の前の問題として解決を迫られている。そして、今日その対策を取ることは、100年後に気温が2℃あるいはそれ以上上昇しても、または少しも上昇していなくても、無駄になることもないし、逆効果を生むものではないと考えられる。水の分野で対策をとるためには、まず水文観測をきちんと行わなければならない。精度の高い観測を継続して進めることによって、洪水に対しては水防活動・避難行動を的確に行うことができ、渇水の場合にも冷静に対処することができる。

(5) 国際基準との調和

日本には国際河川がないので、水位・流量の観測などは国内で一応完結するようにも見える。しかし、二酸化炭素排出量の削減など、国際的な対応があることを考えると、水文観測も国際的な基準を念頭に置いて行うべきであろう。国際基準としてはWMOのGuideのほか、国際標準化機構（ISO）もさらに詳細な基準を定めている。日本ではほとんどの洪水がフラッシュフラッドであり、国

際基準を直接に適用することは不適當な場合がある。流量観測を行っている間に流量が変化してしまうので、多少不確定さが増すとしても作業を手早くする必要があるのである。そういう事情をきちんと認識しておくべきだと思うわけである。

国際化としては、外国に合わせる、対応するというアプローチだけでなく、日本の基準を外国に紹介し、国際基準にしてゆくということも、これまで多大の河川事業を実施してきた国として、一種の責任であろう。たとえば土木学会水工学委員会ISO/TC 113国内検討委員会では、水文データ伝送に関する基準を日本国内での経験を取り入れて提案し、技術基準（TS、国際基準（IS）の次のランクの基準）に採択された。2000年1月に話が始まってから2007年5月にTSが正式に発行されるまで長期間にわたったが、国際化といってもそういう地味な活動から始めなければならないであろう。

7. 結論

水文観測は至って地味な業務であるが、水環境を良好に管理するために不可欠である。新旧の課題が多く残っているが、着実に技術開発を進め、実施体制を構築することによって解決してゆく必要がある。

参考文献

- 1) 川の防災情報：<http://www.river.go.jp/>
- 2) 水文水質データベース：<http://www1.river.go.jp/>
- 3) 国土調査法水基本調査作業規程準則：<http://law.e-gov.go.jp/>
- 4) 国土交通省防災情報提供センター：
<http://www.jma.go.jp/bosaijoho/radar.html>
- 5) XバンドMPレーダ雨量情報：
<http://www.river.go.jp/xbandradar/>
- 6) 水文観測業務規程：<http://www1.river.go.jp/>
- 7) 水情報国土：<http://www5.river.go.jp/>
- 8) 雨量・流量年表データベース（DVD）：（社）河川協会，2007
- 9) 中尾忠彦：イギリスの河川管理、河川、2008年5月号
- 10) World Meteorological Organization: Guide to Hydrological Practices, ver.5, 1994.
- 11) W. Boiten: Hydrometry, 2000.
- 12) 土木研究所編著：水文観測 平成14年版、2002年
- 13) 木下良作・中尾忠彦：ADCPによる河川流量の測定と河道水理機構の観測、土木学会誌、2007年10月号
- 14) 杉山・赤木・加藤：栃木県黒川における水面変動を伴う氾濫流動の数値解析、自然災害科学、2010
- 15) International Standard Organization:
ISO/TS 24155 Hydrometry – hydrometric data transmission systems – Specification of system requirement, 2007
(2010. 7. 20受付)