

# ADCPによる河川洪水観測の先進技術と 観測に際しての基礎的な技法について

## AN ADVANCED ADCP TECHNOLOGY FOR FLOOD OBSERVATION AND FUNDAMENTAL TECHNIQUES.

橘田隆史<sup>1</sup>・下田力<sup>2</sup>・疋田真<sup>3</sup>・Hening Huang<sup>4</sup>

Takashi KITSUDA, Chikara SHIMODA, Makoto HIKIDA and Hening Huang

<sup>1</sup>非会員 農学修士 (株) ハイドロシステム開発 (〒574-0016 大阪市港区弁天5-10-23)

<sup>2</sup>非会員 水産学修士 (株) ハイドロシステム開発 (〒132-0015 東京都江戸川区西瑞江3-19-10)

<sup>3</sup>非会員 (株) ハイドロシステム開発 (〒132-0015 東京都江戸川区西瑞江3-19-10)

<sup>4</sup>非会員 Ph.D Teledyne RD Instruments (14020 Stowe Drive Poway, CA, U.S.A)

This report discusses about the advanced technology of measuring flood flows using ADCP made by Teledyne RD Instruments. Specifically, this report focuses on the tethered boat ADCP observation method for a flood with high-speed current. It describes the appropriate equipment composition, measurement method, and data processing procedures based on the writers' own experience as well as the information exchanged with ADCP users/experts. Two kinds of tethered boats were developed and examined. One is the for high-speed current and the other is for low-speed current. The high-speed boat, demonstrated its safety and stability, was successfully used to measure discharge in a flood flow as high as 4.5m/s.

**Key Words :** ADCP, flood, observation, 洪水流量観測, 観測ボート,

### 1. はじめに

本報は、ADCP(Acoustic Doppler Current Profilers)を用いて河川洪水観測を実施する際の、観測計画の立案、観測方法およびデータ処理に関する基礎技術について取りまとめた。ADCPとはTeledyne RDInstrument社(以下、TRDI社と記述)のドップラー多層流向流速プロファイラーを示し、本報では特に、高速流が生じる出水時の橋上操作観測における課題を中心テーマとした。

ADCPの河川利用が本格化し始めたのはここ10年程度と比較的新しいが、米国ではU.S. Geographical Survey(以下、USGSと記述)が主体となって流量観測技術に関する調査研究と、実務者の技術向上を目的とした観測技術マニュアルの作成や講習会を行っている<sup>1)</sup>。我が国でも洪水観測において、従来の浮子観測に加えてADCPを活用する研究が活発化してきており<sup>2), 3)</sup>、日本の河川事情に即した観測手法の確立を望む声が多い。著者らはADCP販売側の立場として多くの技術者と意見交換してきた経験を基に、見落とされがちな基礎的な技術情報の抽出にも留意しつつ、適切な機器構成、観測方法、データ処理方法について記した。なお本報は、ADCP観測実務者を対象として、基本的なADCPに関する用語が理解されていることを前提として執筆した。

### 2. ADCP開発の歴史と技術動向

#### (1) ADCP開発の歴史

RD Instruments社(現Teledyne RD Instruments社)は1982年にFran RowとKent Deinesらによって設立された。社名は両氏のイニシャルに由来する。同年、RDI社はNASAの支援を受け、世界で初めてドップラー式多層流向流速計のプロトタイプを開発し、翌年にはADCPとして販売を開始した。1991年にONR(Office Naval Research : US Navyの研究機関)の支援を受け、ブロードバンド技術による流速計測技術を開発し、空間解像度、流速計測精度およびデータ取得時間を飛躍的に向上させることに成功し、ADCPが普及する大きな転機となった。また、1995年にはWorkhorseタイプと呼ばれる、小型で安価な普及品を開発したことにより、我が国においても海洋研究分野を中心に広く普及してきた。

#### (2) 河川分野におけるADCP計測技術の進展と課題の整理

TRDI社は10年ほど前に陸水部門を組織編成したことを契機に、河川利用を主目的として、ZedHead(ゼロブランク)タイプ、新しいハイレゾリューション機能(Mode11)、ハイスピードサンプリング機能(Mode12)、小規模河川向け計測機(Stream-Pro ADCP)など様々な

商品や技術開発を進めてきた。さらに近年では洪水観測用の600kHzタイプや、著者らによる高速流低揺動型の橋上操作艇が開発されるなど、河川利用の幅が格段に広がってきた。しかし、我が国では、出水時に安全かつ安定的に計測する手法に乏しかったこと、河床移動が生じる際にボトムトラック機能では正しく計測できないこと、従来法との整合性の問題、などを主な理由に、ADCPの出水観測利用には慎重な意見が多い。

#### a) 出水時の移動観測方法について

出水時に船外機船を出航させて曳航観測を行うことは極めて危険であるため、ADCPは洪水観測には不向きであるとされてきた。木下ら<sup>4)</sup>はADCPを搭載した空力型のラジコンボートを独自に開発して観測を行ってきたが、その特殊性から広く普及するには至っていない。また、岡田等が検証した水中プロペラ式のラジコンボート観測手法では、流速2.5m/sを実用範囲と評価しており、適用範囲が限定される<sup>5)</sup>。一方、1997年に米国Oceanscience社(以下、OS社と記述)等によってADCP搭載型の無人橋上操作艇が開発され、橋上から下流にADCPを係留させ、横断方向に徒歩で曳航する方法が考案された。開発に際しては、USGSと共同で数々の試作機を製作し、最終的にトリマランタイプを商品化させている。これが大きな契機となってADCPによる洪水観測の研究が進み、国内でもここ数年で急速に当手法が普及してきた。しかし、転覆の危険性や、大きな揺動によるデータ欠落、最大流速3.5m/sまでの実用性などが問題点として指摘されており<sup>6)</sup>、依然として大規模出水時の観測は難しかった。こうした問題を解決するため、筆者らは高速流でも揺動が小さく転覆しにくい構造の無人橋上操作艇を考案し、実用化に成功した。詳細については、後段で紹介する。

#### b) 河床移動時の問題

ADCPはボトムトラック機能により自機の移動航跡を取得することが出来る。しかし、出水時に河床移動が生じる状況下では、このボトムトラックは正しく機能せず、自機が上流方向に不作為な航跡を描くとともに、流速が過小に計測される場合がある。これを回避するため、USGS<sup>7)</sup>では、河川を数往復して河床移動を平均化し後処理で流速を補正する方法、河川横断の任意のポイントに停止させてボトムトラックを使わずに連続的に1分間程度計測し、区分断面積と平均流速から流量を算出する方法(section by section method)、などを提案しているが、いずれも不確実性が多く利用しにくいと、普及していない。一方、以前からTRDIが推奨していた技術であるRTK-GPSを併用して高精度な測位データからADCPの移動航跡を計測させる方法が最も確実な方法であると再認識されてきており、この方法により河床移動に対する問題はほぼ解決されたと考えられている。

#### c) 従来手法との整合性について

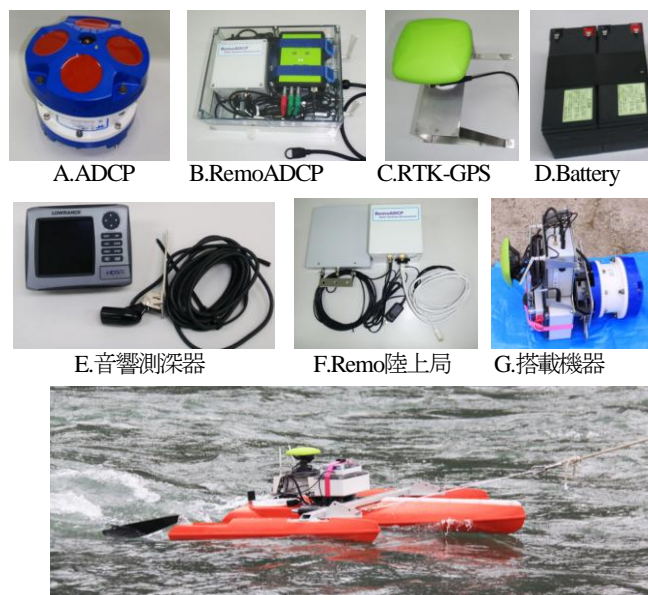
ADCPで計測された流量値が浮子流量と比べて小さく算出されると指摘する研究者は多く、二瓶ら<sup>8)</sup>は更生係

数と河岸際の相対誤差により1~3割小さく算出されると報告している。また著者らは、橋脚後流の影響が生じる場合はADCP流量が2~3割小さく算出されることを経験しており、こうした現象がADCPによる流量観測精度の信頼性を疑問視する大きな要因となってきたほか、従来法との不整合を懸念して観測方法として採用されにくい背景を作ってきた。しかし、表層付近の流速を比較すると両者は非常に良く一致することも知られており、流量値の乖離については、その算出方法に原因を見いだすことができる。浮子観測は橋脚と橋脚の間付近から投入するのが一般的であり、橋脚後流付近は避けて観測することが多い。このため、浮子観測では流速の早い区間を選択的に計測してしまう恐れがある。一方、ADCPで断面を計測した場合は、橋脚後流の影響区間も含めて断面流速分布を詳細に計測することができるため、結果的にADCP流量が小さく算出される場合があると考えられる。これは、浮子とADCPの原理的な違いに起因するものではなく、同じ浮子観測において測線をより密に設定した場合にも起こりえるものとする。こうした問題はADCPの洪水観測技術が進歩してきたが故に出てきた新たな課題であり、ADCPを活用して浮子観測の更生係数や適正な測線配置などを検討し、従来法の精度向上を図ることも有効であろう<sup>9)</sup>。

### 3. ADCPによる洪水時移動観測技術の最新動向

#### (1) 可搬型洪水観測システムの開発

著者らは、洪水観測用途に、安全で効率的にデータ取得するためのシステム(商品名:可搬型河川流量計測システム)を開発した。機器構成は、WorkhorseADCPモニタータイプ(短胴型)、RTK-GPS、音響測深器、遠隔オペレーション装置(商品名:RemoADCP)が基本となる。橋上から下流側に無人操作艇を係留し、徒歩で橋上を横



H. 全て搭載して観測している状況  
図-1 可搬型洪水観測システムの機器構成

断しながら断面流量を計測させる方法のため、観測は3名程度で十分対応可能である。RTK-GPSは、出水時にボトムトラックがロストすることが多いため、可能な限り標準で装備することが望ましい。音響測深器は、ADCPの超音波による河床距離がそれぞれ20°方向に発射しているため、ADCP直下の河床距離を計測するために使用する。音響測深器の周波数は200kHzタイプを標準としている。また、ADCP、RTK-GPS、音響測深器の各データを遠隔で同期取得するため、RemoADCPを使用する。ADCPの遠隔コントロールができるため、観測者は車中や橋上からリアルタイムにデータを確認することができ、観測効率の向上が期待できる。

## (2) 高速流低揺動型曳航ボートの開発

急流場においても揺動が小さく、安定してADCP観測を行う目的で、著者ら<sup>10)</sup>はハイスピード型（設計流速6.0m/s）の橋上操作艇を研究開発してきた。橋上操作艇の基本設計に際し、モノハルタイプとトリマランタイプの船体設計を行い、1/3スケールの模型により土木研究所内の実験水路で挙動試験を実施し、基本構造の妥当性を検証した。また、試作機を含む4種類のボートにADCPとモーションセンサー(MEMS)を搭載し、実河川にて検証を行った。その結果、船体基本構造としてはトリマランタイプが有利であり、モノハルタイプは水面形の影響を受けやすく、ジャンピングや前後へのポーポインジグなどが生じやすいことが確認された。

トリマランタイプの揺動を抑制するためには、サイドハルの長さ、浮力、取付位置、および船体全長と重心等が影響するため、船体安定計算により最適な船体バランスを導き出した。また、橋梁と水面の高低差が大きい場合は船首が上方に傾斜しすぎてADCPの傾斜補正限界である15°を超えることもあるため、重心バランスをユーザーが容易に変更できるように、前方にも収納ハッチを設けて、バッテリー配置などによって重心バランスを

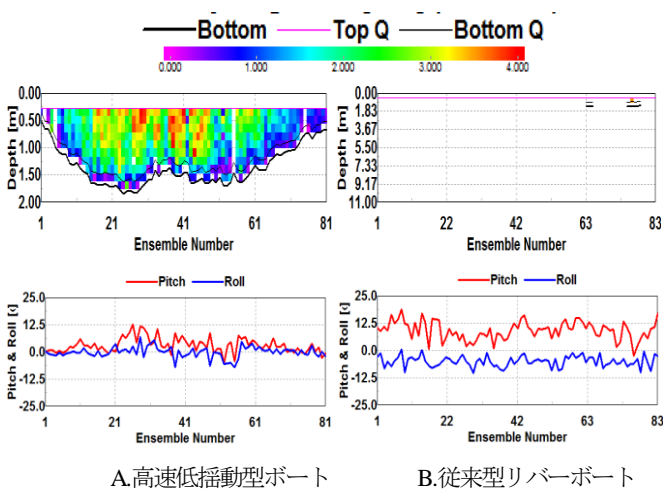


図-2 高速低揺動型ボートの比較観測

変化させやすくした。

図-2は黒部川急流域にて、従来型のリバーボートと高速低揺動型ボートを用いて比較観測を行った結果である。リバーボート(図右)は船体揺動が激しいためにほとんど欠測していたが、高速低揺動型(図左)ではデータ欠損が少なく、流速4.5m/sの状況下で、安定的に、かつ安全にデータを取得することができた。従来型のリバーボートの場合、揺動安定性や転覆のリスク、データ取得率などを考慮すると、実際には流速3.5m/sが実用限界との報告がある。しかし、高速低揺動型のボートを使うことで、転覆のリスクが格段に減少したこと、水面揺動の影響が抑えられてコントロールしやすくなったこと、揺動によるデータ欠損が著しく改善されたことなどから、実用流速として5.0m/s以上でも使用できると考えられる。船体の耐久設計は流速6.0m/sであるが、今後実河川での検証が必要である。

## (3) 洪水観測専用型ADCPの登場

河川洪水観測向けにフェーズドアレイ600kHzタイプのADCP(商品名: River Observer)が新たに開発された。フェーズドアレイとは、単一フラット面に微小な素子を数千単位で配列させ、電子制御で音波の位相を変調させて発射角度をコントロールする技術であり、低周波・大出力のセンサーをコンパクトに製造できるメリットがある。当機は、低周波高出力センサーによって高濁水による超音波減衰や、河床のロストを低減する目的で開発された。また、従来の600kHzタイプは標準モードで実用観測層厚が50cm程度と大きいことが問題であったが、当機は従来のハイレゾリューションモードに使われているパルスコヒーレント技術を採用し、低周波ながら最小層厚10cmでデータ取得可能であり、低周波タイプの高

表-1 River Observerの観測層厚設定

水深: D	層厚	表層層厚	表層層数
D > 10m	80 cm	10cm	5
10m > D > 4m	40cm	10cm	5
4m > D > 2m	20cm	10cm	3 または 2
2m > D	10cm	N/A	0
0.45m > D	N/A	N/A	N/A

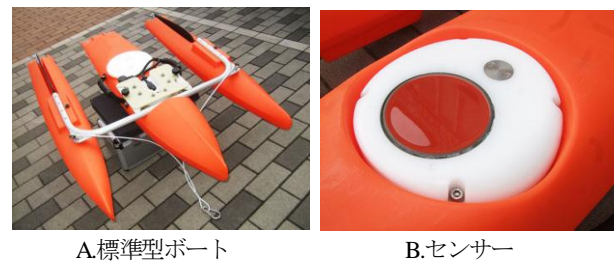


図-3 River Observer600kHzタイプ

濁度耐性と高周波タイプの空間分解能を併せ持つタイプといえる。また、フルオートモデルであるため、従来のような観測設定が不要となり、ユーザーは開始と終了時に命令を送るだけで観測出来る。表-1に水深毎の観測層厚設定を示す。River Observerは水深を先に計測して表-1に示す様に観測層厚と層数を自動設定するほか、データは常に1ping毎に取得され、平均処理は後処理で行う仕様である。このため、従来のように、観測者の技量によってデータ取得精度に違いが生じることが無く、誰が観測しても一定のデータ品質が確保されるというメリットがある。なお、標準でボートが装備されているが、高速流低揺動型ボートに搭載することも可能である。

#### (4) アプリケーション

##### a) WinRiver II

WinRiverの後継ソフトがTRDI社からリリースされている。前述のRiverObserverのオペレーションに対応した他、流量演算アルゴリズムの見直しや操作性の改善を図っている。

##### b) S×S Pro (section by section method)

橋上操作艇を用いてADCPを断面の各測点で連続データ取得させ、断面の流量を演算するための専用アプリケーションである。水面や河床の補間方法、断面の補間方法などがきめ細かく設定できる。本手法を用いれば、河床移動が生じる際にRTK-GPSが準備できない場合にも流量観測が実施できるメリットがある。

##### c) VisualADCPtools

著者らがADCP使用者の立場から長年の経験に基づき開発したデータ処理ソフトウェアである。TRDI社の付属ソフトウェアでは行えないノイズカットや移動距離平均機能や蛇行航跡の直線化機能を備えているほか、各種データ処理、流量演算、コンタ図やベクトル図などのグラフィック出力が可能である。後処理で正確な流量を算出する際に便利である。

##### d) ADCPによる濁りと土砂フラックスの算出

筆者らは、ADCPの反射強度から濁度を算出する汎用アプリケーションの開発を進めており、当該技術をABT(Acoustic Backscattering Turbidityの略)と呼んでいる。ADCP 1台で流速と濁度が同時に計測できることなどから、河川の土砂フラックス計測に有効であると考えている<sup>10</sup>。従来、反射強度から濁度を算出するには複雑な解析作業を必要としていたが、この汎用アプリケーション化によって、現場でも簡便に濁度への変換が可能となる。

この技術は、Thorneの式を中心とする各種音響理論式を駆使して、水塊の音響吸収と散乱を漸次的に求めるものである。しかし、理論式だけでは再現できない要素も多いため、キャリブレーションのために現地にて水温、塩分、濁度のプロファイルデータ取得が必要である。

流量データと合わせて断面の濁度分布と土砂フラックスを計測できるメリットは大きく、また、過去に取得し

ているデータを使って再現計算させることも可能であるため、活用範囲は極めて広いと期待される。

## 4. ADCP流量観測方法の基礎的検討

### (1) 機器選定

WorkhorseADCP1200kHzを使う場合、層厚25cmで最大計測水深が14m前後、層厚50cmで最大計測水深が16m前後となる。実際には水深20m付近まで計測できた事例もあるが、出水時は濁りが強くなるため、それよりも深い場合は最大計測レンジの長い600kHzを選択した方がよい。また、高濁度が予想される場合は低周波タイプである600kHzが有利とされている。一方、ロングレンジモードと呼ばれる標準機能(WB1)を使うと最大計測距離が20%ほど延びるが、データ取得時間も延びるため、洪水観測には不利である。2001年以降に販売された1200kHzのZedheadタイプは、近接不測距離が短く、Mode11,Mode12が使える点で有利である。

### (2) 各観測モードの特長と適用限界

ADCPには計測精度を高めるためのオプション機能が提供されているが、適用条件が定められており、使い方を誤るとデータが取得出来ない場合がある。標準はMode1であるが、この他にハイレゾリューションモード(Mode5,8,11)、およびハイスピードサンプリングモード(Mode12)が存在する。ハイレゾリューションモードはパルスコヒーレントと呼ばれる計測原理を採用しており、水深が浅く流速が遅い場合に高精度計測が可能となる。一方、ハイスピードサンプリングモードは、通常のメインピングに加えてサブピングと呼ばれる高速発信が可能でpingを用い、時間あたりのping数を増加させることによって計測精度を高めるものである。サブピングは、チルトピッチ補正など一部の内部演算処理を省略することにより高速化を図っている。なお、ping数とstdの関係はMode1と同じである。表-2に、各モードの適用条件を示した。Mode5は最大相対流速が1.0m/sであるため、洪水観測には向かない。また、このモードは非常にデリケートでデータ欠損が生じやすいとされている。Mode11はその後継にあたる安定バージョンであるが、水深×相対流速が1.0m<sup>2</sup>/s以下の範囲で使用しなければならず、水深4.0mなら流速は0.25m/sが限界となる。

表-2 各モードの適用条件

	流速上限	水深上限	層厚	Std/ping
Mode5	最大 1.0m/s	3.5m	10cm	0.4cm/s
Mode8	最大 2.0m/s	3.5m	25cm	5.0cm/s
Mode11	水深×相対流速 ≤1.0m <sup>2</sup> /s	4.0m	10cm	0.7cm/s
Mode12	Mode1に準拠			

Mode8は流速2.0m/sで水深3.5mまで計測できるが、計測精度はかなり落ちる。Mode12は計測条件に縛られずに精度を高めることができる。

### (3) 標準的な観測設定の検討

ADCPの観測に際しては現場の状況に応じて最適な設定を行う必要がある。主な設定項目としては、層厚(WS)、層数(WN)、Ping数(WP,BP)、近接不測距離(WF)、最大レンジ(BX)、Ambuigity Velocity(WV)などが挙げられるが、ここでは観測精度を確保するための層厚とping数を中心に検討する。

ADCPの観測精度はping数に依存するが、ping数を多くすると1アンサンブルデータの取得時間が長くなり、横断方向の空間解像度が低下するという問題がある。徒歩(移動速度1m/s前後)で観測する場合、横断方向に1~2m間隔程度でデータ取得させるためには、1アンサンブルデータ取得を2秒以内に設定することが目安となる。なお、WPとBPは同数を設定することが推奨される。

図-4に、ping数とstd(標準偏差)の関係を示す。図から、層厚、データ取得時間、観測精度の最適バランスを考慮すると、1200kHz Mode1の場合、WS25,WP20程度、600kHzの場合は、WS50,WP20程度が適切であると考えられる。なお、Mode12の場合は通常のWPコマンドに加えてサブピングコマンド(WO)が設定可能で、WP 1pingに付属して発射するサブピングの数と間隔(ms)を設定できる。

観測層厚と層数は最大水深を元に設定する必要があるが、最大計測レンジが大きくなるとデータ取得時間が長くなるため、最大水深の2~3割増し程度に設定することが望ましい。なお、ボトムトラック機能の最大探知深度を設定するコマンドBXは単位がdmなので注意が必要である。

Velocity(WVコマンド)の設定が重要となってくる。デフォルト値のWV170(機種によっては175)では最大相対流速4.2m/sまでしか対応できず、これを超えるとバラツキが顕著になる。Ambuigity Velocityはブロードバンド特有のコマンドで、具体的にはWVの数値が計測可能な最大のAmbuigity Velocity(ビーム放射軸方向の最大流速)として設定され、次式で求められる。

$$WV = \text{水平最大流速} \times \sin(20\text{deg}) \times 1.2(\text{安全率})$$

ここで、水平最大流速は船速+実流速の和となる。例えば水平最大流速を450cm/sと仮定した場合、最適なWVは185となる。

初期のナローバンドタイプは長い一定パルス幅の超音波を使ってドップラーシフトを計測しているが、ブロードバンドタイプでは、短いパルス幅の音波をペア(パルスaとb)で発射し、両者の位相差を計測することにより速度を算出している。後者の場合、送受波の位相差が180度を超えると流速を誤認する恐れがあるため、事前に最大測定範囲を規定する条件を設定しておく必要がある。その条件がAmbuigity Velocityである。したがって、最大流速が4.0m/sを超えることが想定される場合は、安全をみてWVを大きめに変更する必要がある。

また、ボトムトラックに関しても、ボトム認識感度をチューニングするためのエキスパートコマンドが幾つか存在する(BA,BC)。しかし、非常にデリケートな設定で、適切な使用方法が確立されていない。また、これらのコマンド変更で取得率が改善できる余地は少ないため、通常はデフォルト値が推奨される。

### (5) 流量算出手順

ADCPで観測された断面流速分布から流量を算出する方法として、TRDI社が無償提供している標準ソフトのWinRiver(WinRiverII)で計算させる方法が簡便で便利である。しかし、ノイズ成分の除去が自由に出来ないことや、激しい揺動が生じた際によくおこる航跡ジャンプ現象などを補正することが出来ない。また、水面や河床付近、および測岸の補完方法に自由度が少ない。このため、できるだけ正確な流量値を得るためには観測者が独自に流量算出の必要がある。流量算出の手順としては、ノイズ除去と補完、表層・底層の補完、側岸の補完、航跡の直線化、流下軸成分流速の抽出、断面流量の算出、というステップが標準的である。

WinRiverの流量算出方法は、アンサンブル毎の航跡直行成分を積分していくため、航跡が蛇行していても正しく流量算出される。一方、蛇行航跡を横断測線上に直線化させて直交成分を積分する方法でも原理的には同じ計算結果が算出される。しかし、前者は航跡距離が横断距離を超える場合があるが、後者は横断距離と川幅が一致すること、断面流速分布が流下軸成分と等しくなるなど、図化する際にメリットがある。

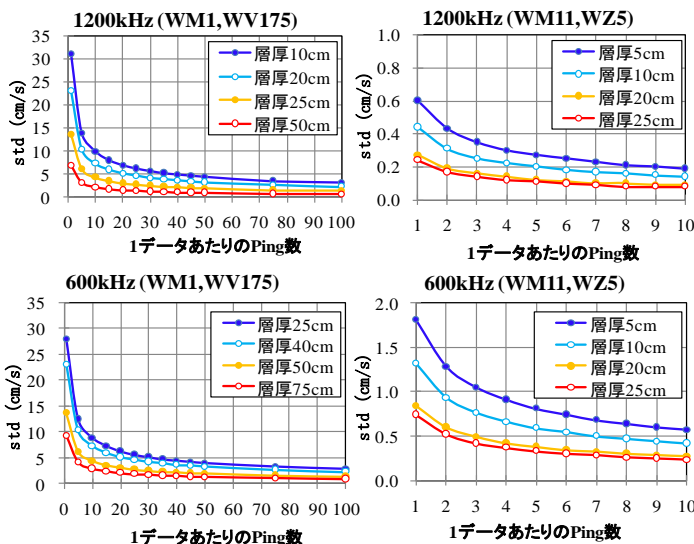


図-4 ping数とstd(標準偏差)の関係

### (4) 洪水観測時に注意すべき観測設定

洪水観測の様に高速流を観測する場合は、Ambuigity

## (6) 流速の品質判断項目について

ADCPで取得したデータの品質を判断する項目として、%Good(PG1,PG4),反射強度, correlation, error velocityなどの情報がバイナリーデータに記録される。

%Goodは、1アンサンブルあたりのpingの内、適正に受信・解析できたping数の割合を示し、PG1は3beam計測時、PG4は4beam計測時の値である。%Goodの閾値は一概には言えないが、経験値としてPG1とPG4の合計が60～80%付近を棄却の目安としている例が多い。

反射強度は直接的にデータ精度を示す指標では無いが、干渉が生じた場合は示唆的な反応を示すほか、高濁度で減衰した場合などは著しく低下するため、データ異常を判定する補助的な指標として有効である。

Correlationとは、1pingを構成する2発の超音波受信波の類似性を示す指標であり、100%が255countに該当する。計測されたデータのCorrelationが高ければ、時差を持つ2発の超音波が同じ流れを計測しているとみなされ、データ品質が高いと判断される。デフォルトではこの数値が64を切るとBadデータとして棄却される。

Error velocityは4つの超音波ビームが計測している流れ場の均一性を判断する指標である。ADCPは20°に開いた4本の超音波ビームを放射するために遠方ではある程度の広がりを持った空間を計測することになる。目安としては、水深と同程度の直径範囲の平均を計測しているイメージとなる。ADCPはこの各ビームの測流範囲が同じ流れ場であるという条件の元に流向・流速を算出しているが、実現場では必ずしもそうはならない。この為、ADCP開発当初に相当な議論を経て、Error velocityという概念が考案された。これは、対向する2本のビームから1軸方向の流速値を算出する際に、u1成分とz1成分が求められる。さらに直交する2本のビームでも同様にu2成分とz2成分が求められるが、流れが均一であればz1とz2は一致するため、両者の差は0となる。この差が大きいくほど、不均一な場であることが推測される。error velocityによる明確な異常値判断基準は設けられていないが、実測流速と同程度かそれを超えるerror velocityが生じた場合には、不均一性に起因する誤差が増大していると判断できる。

## 6. まとめ

ADCPを用いた洪水観測の先進技術と、観測の際の基礎的な技法について取りまとめ、報告を行った。常時流量監視技術に関しては、HQ方式の他、H-ADCPもしくはADCPによる方式、電波ドップラー表面流速計測法や、超音波伝播時間差式などが実用化されているが、いずれの手法もリファレンスとなる高精度な流量データが不可欠である。一方、洪水時に精度良く流量観測できる移動観測手法としては、従来の浮子法にこれまで大きく依存

してきたが、ADCPの洪水観測技術がここ数年著しい進歩を遂げており、苦手とされてきた河川洪水観測においても十分に実用的な成果が得られるようになった。しかし、その取り扱い方法やデータ処理については個々人の技量に委ねられているのが現状であり、標準的な技術指針の確立が望まれるところであろう。

謝辞：高流速低揺動型ボートの開発および水路実験にあたっては、土木研究所、高知工業高等専門学校准教授岡田将治殿、大阪府立大学助教 新井励殿に多大なる協力を得た。高速流低揺動型ボートによる現地比較観測は、土木研究所ならびに富山県立大講師 手計太一殿の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) Michael R. Simpson.: Discharge Measurements Using a Broad-Band Acoustic Doppler Current Profiler, United States Geological Survey Open-File Report 01-1, 2001
- 2) 深見和彦, 菅野裕也, 萬矢敦啓: 新しいセンサ技術を活用した流量観測データの信頼性向上に関する研究, 平成20年度土木研究所成果報告書, 独立行政法人土木研究所, 2009.3
- 3) 酒井雄弘, 二瓶泰雄: ADCPを用いた中書河川の流量計測法に関する検討, 水工学論文集, 第50巻, 2006.2.
- 4) 木下良作: ADCPと無人ラジコンボートで観測される洪水流量とその流れの構造について, 農業土木学会平成15年度応用水理研究部会特別講演録, 2003.
- 5) 橋田隆史, 岡田将治, 新井励, 下田力, 出口恭: ラジコンボートを用いたADCP移動観測の計測精度評価法に関する一考察, 土木学会 河川技術論文集第14巻, 2008.6.
- 6) 岡田将治, 橋田隆史, 森本精郎, 増田稔: ADCP搭載無人ボートを用いた四万十川具同地点における洪水観測, 水工学論文集, 第52巻, 2008.3
- 7) David Mueller: Techniques for Measuring Stream flow with an ADCP in Moving-Bed Conditions, ADCPs in Action 2005.
- 8) 原田靖生, 二瓶泰雄, 酒井雄弘, 水木啓: 浮子観測の洪水流量計測精度に関する基礎的検討, 水工学論文集, 第51巻, 2007.2.
- 9) 吉川世里子, 岡田将治, 橋田隆史, 森本精郎: 四万十川におけるADCP曳航観測による洪水流量観測と浮子の更正係数の検討, 土木学会四国支部, 第14回技術研究発表会, 講演概要集, 2008.5
- 10) 萬矢敦啓, 岡田将治, 橋田隆史, 菅野裕也, 深見和彦: 高速流におけるADCP観測のための橋上操作艇に関する提案, 河川技術論文集, 第16巻, 2010.6
- 11) 橋田隆史, 新井励, 南修平, 劉炳義: ADCPを応用した河川土砂フラックスのモニタリング手法の研究(I), 第41回環境工学研究フォーラム講演集, 2004

(2010. 7. 20受付)