

各種河川流速観測手法に関する基礎的検討

FUNDAMENTAL STUDY ON RIVER FLOW VELOCITY OBSERVATION TECHNIQUES

江蔵 拓¹・笹川 幸寛¹・手計 太一²
Taku EZO, Yukihiro SASAKAWA and Taichi TEBAKARI

¹ 学生員 富山県立大学 工学部環境工学科 (〒939-0398 富山県射水市黒河 5180)

² 正会員 博(工) 富山県立大学講師 工学部環境工学科 (〒939-0398 富山県射水市黒河5180)

In this study, using existing river flow observation equipment and techniques, river flow data were compared in various river scales (Idagawa River, Zinzu River and Kurobe River) in Toyama. The following river flow observation equipment and technique were used for this study; ADCP, Price type current meter, Radio current meter and the float method. As a result, strong points and weak points of the above mentioned river flow observation equipment and technique were clarified. According to river condition, ability of each river flow observation equipment and technique was reported.

Key Words : ADCP, Radio current meter, float, Price type current meter, Idagawa River
Zinzu River, Kurobe River, Toyama Prefecture

1. はじめに

河川の流量や流速を知ることは、治水計画のみならず水資源計画の中で極めて重要である。洪水災害を未然に防ぐためには、過去の流量や流速のデータは必要不可欠である。適切な対策を行うためにも、長期間に渡る正確なデータの蓄積とその解析が必要である。しかし河川の流量観測を行う際、きめ細かな正確なデータを採取するのは容易ではない。

現在、洪水時の流量を計測するため、浮子観測¹⁾が広く用いられている。浮子観測は他の観測手法と比べ、安全且つ簡易的に行え、一定の精度を保って観測が可能である。また、河川に大量のごみや浮遊物があっても安全に計測出来る利点がある。しかしながら浮子観測は、更正係数の妥当性^{2), 3)}や浮子の投入した場所による誤差の違い、また僅かな計測区間の違いによる流速の差異など様々な問題点がある。昨今では最新の技術を利用した流量観測方法が提案されており、状況に応じた観測手法の選択の必要性が迫られている。近年では、既往の知見から状況に応じた各手法の評価がされている⁴⁾。

現業において、浮子観測だけを洪水流量観測の中心に採用するのではなく、時空間スケールや状況に応じた観測手法を採用すべきである。近年、流量観測手法の1つとして ADCP^{5), 6)}(Acoustic Doppler Current Profilers)を利

用した観測方法が研究されている。ADCPは、これまでの浮子観測では計測出来ない緻密な横断面の流速や、鉛直分布の流速の計測が可能である。他にもブライス式流速計や電波流速計^{7), 8)}を用いた流速観測手法があり、それぞれの機器固有の性質がある。電波流速計は非接触であるため観測中におけるトラブルが少なく、連続したデータの採取が可能であるが、ある一点の表面流速しか測定できない。また、波立たないと計測値が得られないため、河川表面の状態に依存する欠点がある。ブライス式流速計⁹⁾は、流れに対して水平面内に角度のずれが生じてても大きな流速測定誤差を生じないといった利点があるが、ある一点の流速値しか得られない。

以上のように、いずれの機器、手法にも長所と短所があるため、浮子観測のみに依存するのではなく、それぞれの流速測定機器の適性を活かした流量観測を実施すべきである。そのためには、既存の機器や手法を詳細に比較し検討しなければならない。

そこで本研究では、富山県内の様々な河川スケール(井田川、黒部川、神通川)において、既存の流速測定機器や手法の比較検討を行った。本稿では、各種の流速測定機器の長所や短所を比較し、状況に応じた流速観測の手法の検討結果を報告する。

2. 観測手法

表-1 ADCPの計測設定条件.

	井田川観測 (1,2回目)	神通川観測	黒部川観測
計測モード	12	12	12
Mode 12 Sub-Pings	30	8	30
計測層厚	0.1m	0.1m	0.1m
計測層数	25	40	25
アンサンブルタイム		1.94 sec	
アンサンブル インターバル	10 sec		10 sec
ウォーターピング数	7	3	7
ボトムトラック数	on	on	on
ボトムピング数	7	3	7
固定観測における流速 誤差の標準偏差	2.15 cm/s	6.35 cm/s	2.15 cm/s
計測コーディネーション	アース コーディネート	アース コーディネート	アース コーディネート



写真-2 本研究に使用したプライス式流速計.



写真-1 ADCP観測の様子.



写真-3 欄干に設置した電波流速計の様子.

本研究では河川流速観測を行うに当たって、4つの流速測定機器を使用した。観測機器は、(1)ADCP (Acoustic Doppler Current Profilers), (2)プライス式流速計, (3)電波流速計, (4)浮子(表面, 吃水 30cm, 吃水 50cm)を使用した。それぞれの機器の概要と設置方法, 人員配置や観測時に工夫した点を以下に示す。

(1) ADCP (Acoustic Doppler Current Profilers)

ADCP(超音波ドップラー多層流向流速計)は Teledyne RD Instruments 社製を使用した。ADCP は水中に超音波を発信し、そのドップラー効果を利用して流速を計測する機器である。これを 2 台使用した。ADCP を専用のボートに取り付け、1 台は本体のメモリに記録する設定で橋の欄干からロープで吊るし定点を継続的に計測した。もう 1 台を遠隔で操作・記録できる設定で、橋上で観測者がロープを持ち横断することで河川の横断断面の流速を計測した。全ての場所でのこの方法を採用した。ADCP の計測条件を表-1 に示し、観測風景を写真-1 に示す。

(2) プライス式流速計

プライス式流速計は神山製作所(株)製を使用した。設置方法は河川の 6 割水深の位置で測定した。20 秒間のプロペラの回転数から計測された流速値を 20 秒ごとの平均流速値として記録した。本研究に使用したプライス式流速計の適用範囲は 0.03~6.00m/s である。写真-1 のように橋上からロープで吊るし、事前に測量した 6 割水深の位置で固定した状態で流速観測を行った。設置後の作業は、プライス式流速計の稼働の確認、また附属のデータロガーの性質上、20 秒に 1 回、計測ボタンを押す必要がある。そのため、観測中の人員配置は 1 人で十分であった。

(3) 電波流速計

電波流速計は横河電子機器(株)製を使用した。電波流速計は河川の波の動きを電波でとらえ、表面流速を測定するものである。俯角は観測場所に応じて 40°~45°として、1 秒毎の流速を測定した。本研究に使用した電波流速計の照射距離の適用範囲は 20m 程度である。作業準備の手法は、写真-3 のように電波流速計を橋の欄干に設置した。観測自体は自動に計測するので、設置時以外の人員配置は必要なかった。

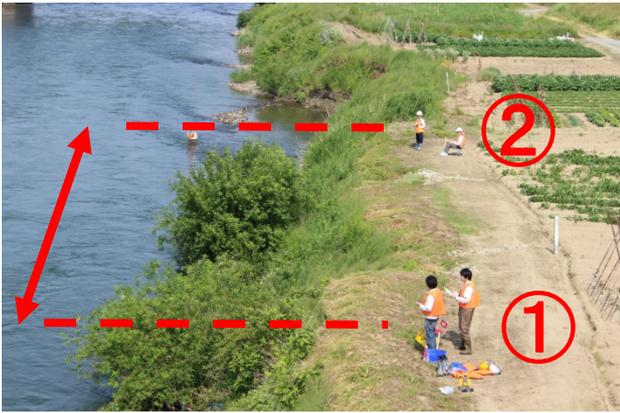


写真-4 浮子観測の様子。



写真-6 高田橋(井田川)の様子。



写真-5 神通峡(神通川)の様子。



写真-7 新川黒部橋(黒部川)の様子。

(4) 浮子

本研究では、表面、吃水 30cm、吃水 50cm の 3 種類の浮子を使用した。計測区間は場所に応じて 30~50m に設定し、その間に浮子が移動する時間を計測した。その様子を写真-4 に示す。また、大雨や台風時など無線でのコミュニケーションが困難な場合を想定し、3 種類の旗を製作し、無線と併用した。例えば表面の浮子を投下する時は赤色の旗で合図を送り、吃水 30cm の浮子を投下する時は黄色の旗で合図を送るという要領で行い、観測ミスの軽減に努めた。また、本観測においては、橋上から浮子投下要員、断面 1 を通過したと伝える観測者、断面 2 を通過した事を確認して時間を測る観測者、以上の 3 人の人員を必要とした。本研究は流速機器の比較を行う事を目的としているため、浮子は全て主流速付近に投下した。

3. 観測場所

富山県内の河川は国内屈指の急流河川である。本研究では、富山県内の 3 か所で計 4 回の観測を行った。1 回目と 2 回目は井田川の高田橋で観測を行い、3 回目は神通川の神通峡で観測を行い、4 回目は黒部川の新川黒

部橋で観測を行った。それぞれの河川と観測場所の概要を以下に示す。

(1) 神通川

神通川は、北陸地方の代表的な河川の 1 つであり、古くから氾濫が度々起きていた歴史ある一級河川である。神通川は源流を宮川として、県境で高原川と合流し、富山県内で神通川と名を変える。流域面積は 2720km²、流路延長は 120km、年平均流量は 183m³/s である。流域面積、年平均流量は、富山県第一である。また、神通川の河床勾配は、源流から小鳥川合流地点までの上流部が約 1/20~1/150、小鳥川合流地点から神三ダム地点までの中流部が約 1/150~1/250 であり、我が国屈指の急流河川である。神通川における観測の様子を写真-5 に示す。

神通川観測は、神通川中流域の神通峡という橋で行った。川底から橋の欄干までの高さは 30.40m である。川幅は 149.50m、水深は 3.50m であった。観測時の概算流量は 1570m³/s である。

(2) 井田川

井田川は、岐阜県及び富山県を流れる神通川水系左支川の一級河川である。岐阜県の白子峠を源とし、富山県富山市を横断して、神通川左岸に合流する。流域面積は 435.8km²、流路延長 44.9km である。井田川における観測

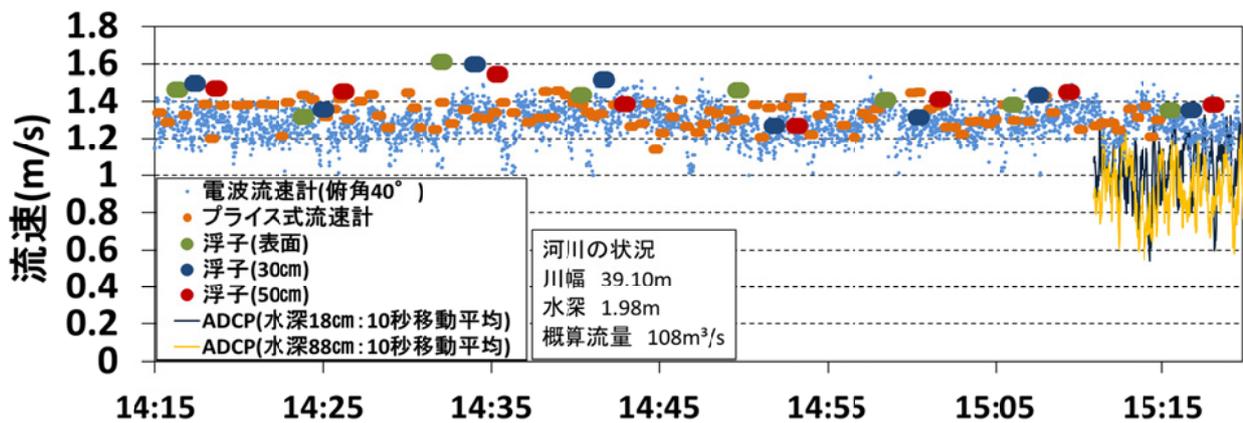


図-1 第1回目の井田川におけるADCP，プライス式流速計，電波流速計，浮子による流速値の経時変化。

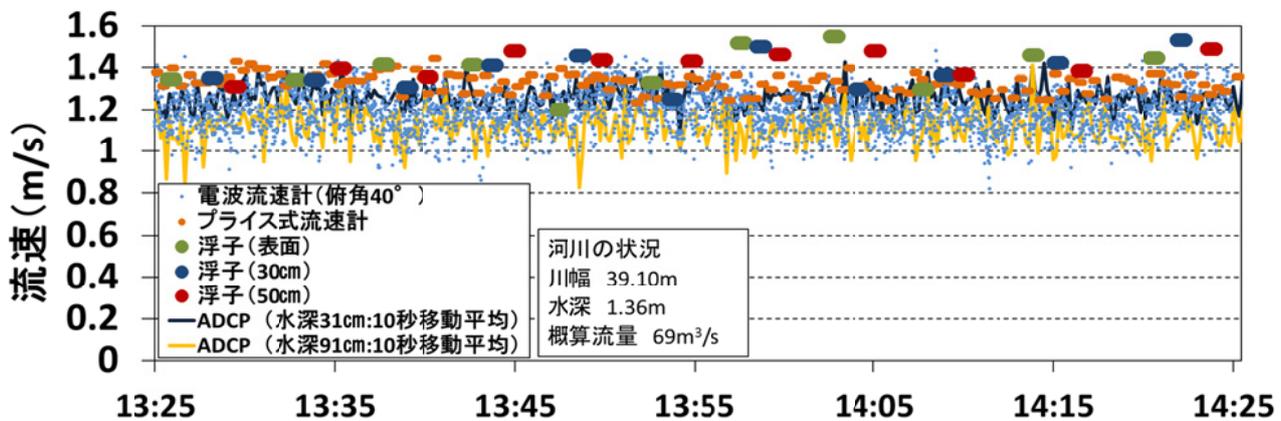


図-2 第2回目の井田川におけるADCP，プライス式流速計，電波流速計，浮子による流速値の経時変化。

の様子を写真-6に示す。

井田川観測は、富山市内に位置する高田橋で行った。川底から橋の欄干までの高さは 13.30m であった。川幅は 39.10m，第 1 回目の観測時の水深は 1.98m，第 2 回目の観測時の水深は 1.36m であった。第 1 回目の観測時の概算流量は 108m³/s，第 2 回目の観測時の概算流量は 69m³/s であった。

(3) 黒部川

黒部川は富山県東部に位置する一級河川水系の1つであり、河床勾配が1/5～1/119という我が国屈指の急流河川である。富山県と長野県の県境の鷲羽岳を源とし、立山連邦と後立山連邦の間を流れ富山県黒部市愛本に至り、その後は黒部川扇状地を流下する。流域面積は682km²，流路延長は85km，流域の土地利用は、97.1%が山地であり、その他が水田，畑地，宅地等に利用されている。黒部川における観測の様子を写真-7に示す。

黒部川観測は、黒部川下流域の新川黒部橋という橋で行った。川底から橋の欄干までの高さは、15.30m である。川幅は 22.80m，水深は 1.41m であった。観測時の新川黒部橋の概算流量は 122m³/s である。

4. 観測結果

図-1, 2, 3, 4 は 4 回実施した流速観測の結果である。また、図-5 は図-3 の拡大図である。

全体的な傾向として、井田川と黒部川では浮子の流速値は他の流速機器と比較して大きい傾向にある。

特に、黒部川における浮子観測では、得られた流速値の最大値と最小値の差が約 1m/s あった。この幅は他の流速測定機器と比較すると非常に大きい事が分かる。この要因の一つとして、黒部川の水面が大きく波立っていることが挙げられる。波の変動が激しい黒部川では、波の窪地に浮子が入り、河川の流れに乗っていない可能性がある。また、波の窪地に浮子が隠れるため、観測者が測り辛い状況であった。

電波流速計による計測結果は、1 回目の井田川観測の流速値は 1.2～1.4m/s，2 回目の井田川観測の流速値は 1～1.4m/s，黒部川観測の流速値は 3.2～3.8m/s であった。いずれの観測においても、比較的安定した流速値を示した。

プライス式流速計による計測結果は、1 回目の井田川観測の流速値は 1.2～1.5m/s，2 回目の井田川観測の流速値は 1.2～1.4m/s，神通川観測の流速値は 1～1.4m/s，黒

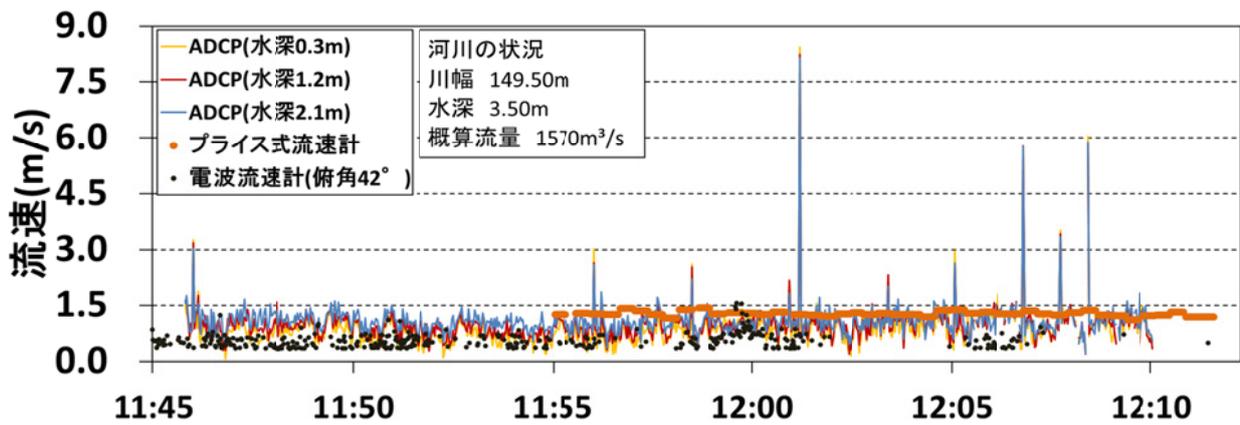


図-3 神通川におけるADCP, プライス式流速計, 電波流速計, 浮子による流速値の経時変化.

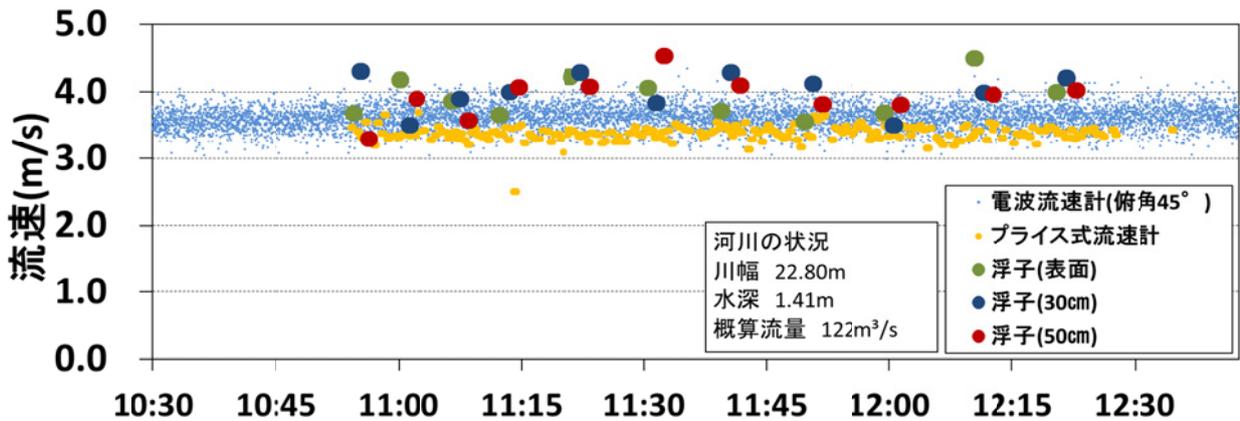


図-4 黒部川におけるADCP, プライス式流速計, 電波流速計, 浮子による流速値の経時変化.

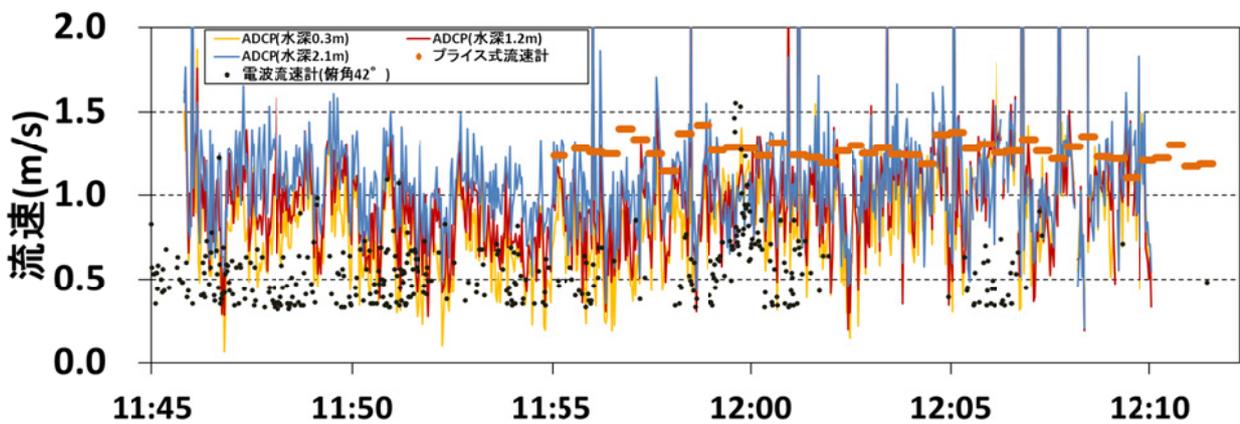


図-5 神通川観測におけるADCP, プライス式流速計, 電波流速計, 浮子による流速値の経時変化の拡大図.

部川観測の流速値は 3.2~3.6m/s であった. 同様に, 比較的安定した流速値を得ることができた.

ADCP による計測結果は 2 回目の井田川観測の流速値は 0.8~1.4m/s 程であった. 他の流速機器と比べデータの幅が大きい事が分かる. また ADCP による観測結果は, 代表流速として, 水深 31cm と 91cm の流速を比較すると, 水深 31cm の方が水深 91cm の位置よりも流速値が高い値を示した.

5. 考察

図-6 は浮子観測と電波流速計による流速値の比較である. それぞれを比較すると, 浮子による流速値の方が電波流速計による流速値より平均して約 13%大きい.

図-7 は浮子観測とプライス式流速計による流速値の比較である. 浮子による流速値の方がプライス式流速計による流速値より平均して約 9%大きい.

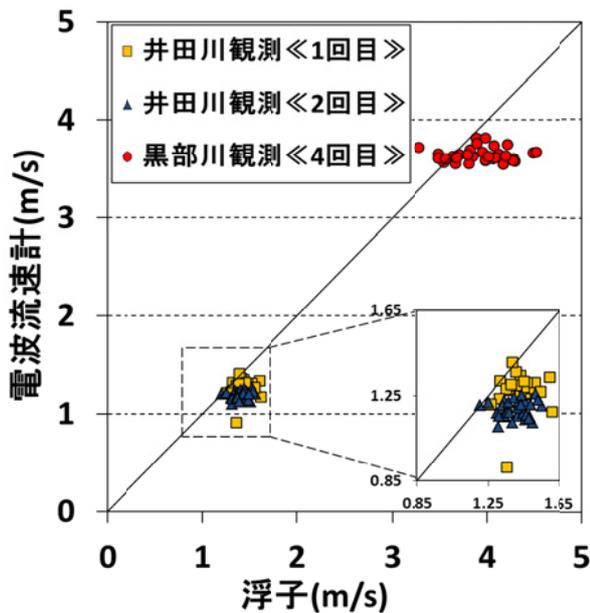


図-6 浮子による流速値と電波流速計による流速値の関係.

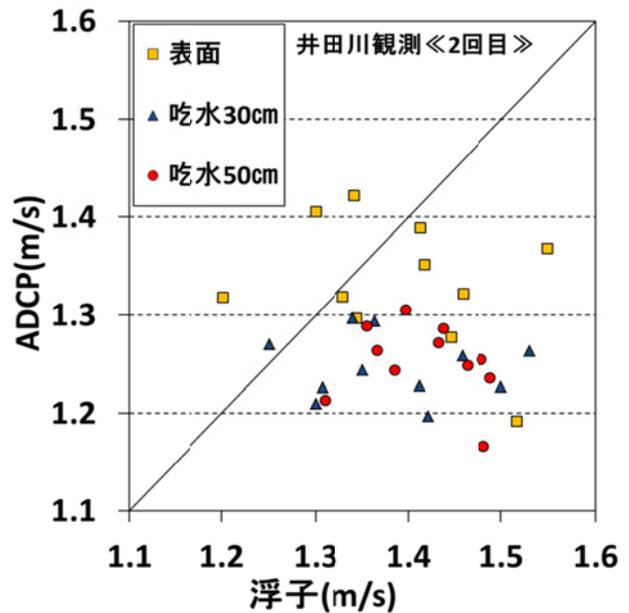


図-8 浮子による流速値とADCPによる流速値の関係.

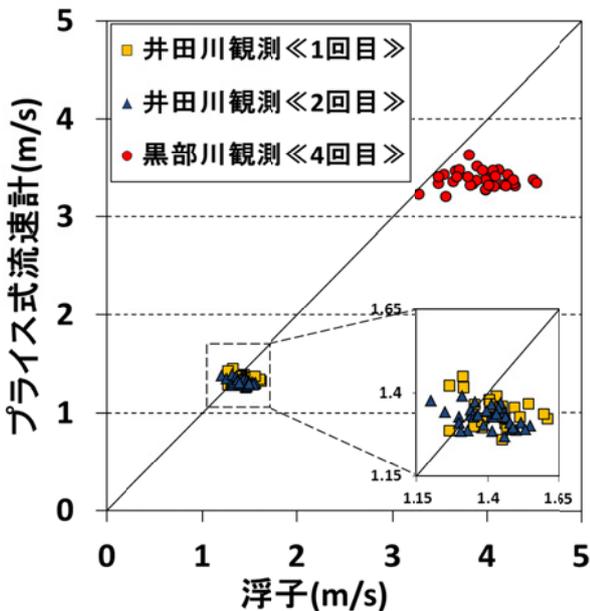


図-7 浮子による流速値とプライス式流速計による流速値の関係.

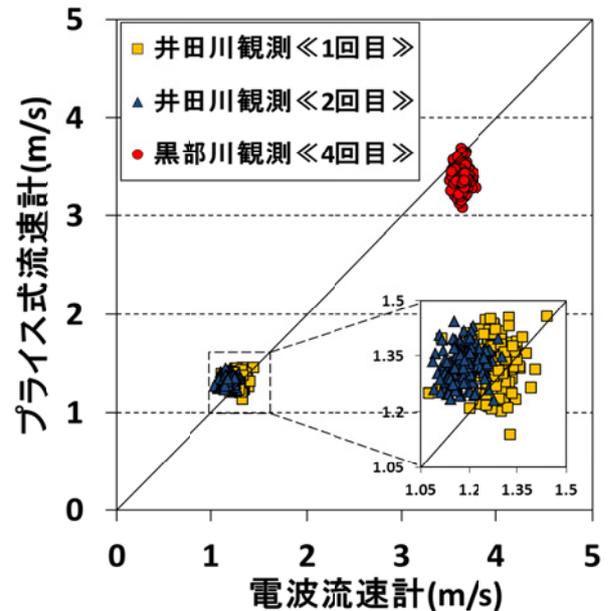


図-9 電波流速計による流速値とプライス式流速計による流速値の関係.

図-6, 図-7 より, 浮子観測は電波流速計とプライス式流速計のいずれと比較しても約 10%大きな流速値が観測された。

図-8 は浮子観測と ADCP による流速値の比較である。表面, 吃水 30cm, 吃水 50cm の水深別による定量的, 定性的な相違や傾向は認められない。また, 浮子による流速値の方が ADCP による流速値より平均して約 9%大きい。

図-9 は電波流速計とプライス式流速計による流速値の比較である。データの幅が狭い事から, どちらも安定した観測値が得られていることがわかる。しかし黒部川

観測において, 電波流速計とプライス式流速計を比べた場合は, プライス式流速計の方がデータの幅が約 2.1 倍広く, この点から考えても電波流速計が最も安定した流速値を示している事が分かる。しかし, 両者から得られる流速値の水深が異なるため, 単純に比較することはできない。

図-10 は ADCP とプライス式流速計による流速値の関係である。ADCP の流速値は, プライス式流速計を設置した 6 割水深と同じ位置のデータを利用した。この図から, プライス式流速計による流速値の方が ADCP による流速値より 17%程度大きい値を示している。

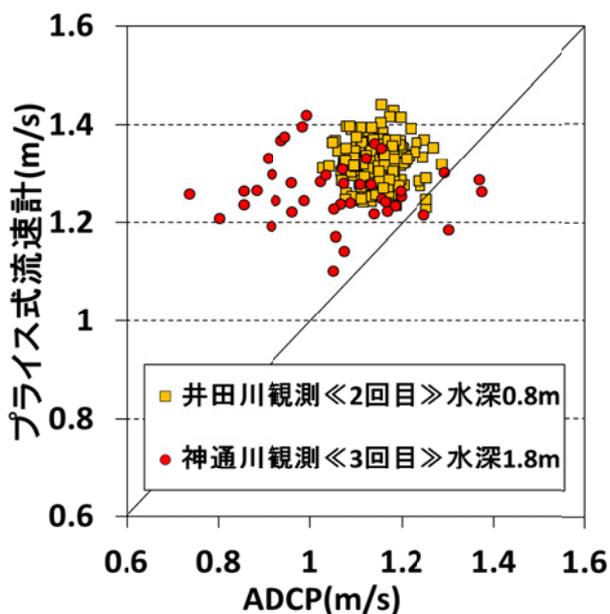


図-10 ADCPによる流速値とプライス式流速計による流速値の関係。

図-11はADCPと電波流速計による流速値の関係である。ADCPから得られる鉛直方向の流速成分から2次曲線を利用して表面流速を推定した。この図から、ADCPによる流速値の方が電波流速計による流速値よりも約11%大きい値を示している。

6. 流量観測における失敗談

1回目の井田川観測では、取り付け時と回収時の数分間のデータしか取得できなかった。これはADCPの設置時、ADCPとボートを欄干から下ろす際に、どこかにスイッチが接触したためだと考えられる。内臓メモリに記録する場合には、モニタリングできないため、気をつけなければならない。

神通川における小さな出水中の観測では、高濁度もしくは水中の気泡の影響が原因で観測データを取得することができなかった。ADCPを高濁度でも計測できる設定に変更したものの、計測することができなかったことから、主な原因は気泡の影響ではないかと推察される。また、樹木が1本丸々流れてきて、観測中のADCPのボートがそれに乗り上げ横転するという事故も発生した。

黒部川では、流速が大きく、河床には大きな岩がたくさん点在していた。そのため黒部川のいたる所で水面が竜の背のようにならなっていたのでボートの揺動が大きくなり、継続的な計測データを取得することが難しかった。また、流速が大きく揺動も大きかったためボートの接続部が耐えられずアルミの部分に亀裂が入り曲がってしまうという事態も起きた。その様子を写真-8に示す。しかし、これは高流速用観測艇を導入することで改善で

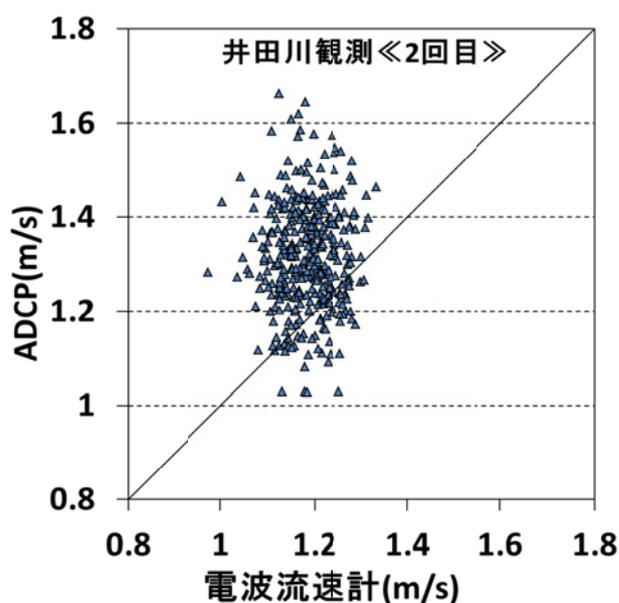


図-11 電波流速計による流速値とADCPによる流速値の関係。

きるであろう。

電波流速計の適用照射距離が20m程度のため、橋上までの高さが30mを超える神通峡では、正確なデータを取得する事は出来なかった。

プライス式流速計に関しては、流速が3m/sを超える状況で使用すると6割水深の位置を保つことが出来ず、河川表面付近まで上がってしまうため、表面流速を計測せざるを得ないのが実情である。また、洪水時は流木、草木やゴミなどが流れてきて、プロペラに絡まり、データを取得する事が出来なかった。その様子を写真-9に示す。他にも、流速が大きい時はプライス式流速計にかかる流体力が大きくなるので、配線が切れやすい事が多かった。このような点からプライス式流速計は、事前の準備が大変重要であった。

浮子観測では、前章で述べた通り、波のうねりが激しい場所では浮子を見失う事が多くあり、観測値に影響を与えていたと考えられる。

7. おわりに

既存の流速機器・観測手法を比較検討するため、様々な実河川スケールを対象に、各種機器・手法を同時に利用して、河川の流速観測を行った。

その結果、それぞれの観測機器・手法の長所・短所を明らかにすることができた。

ADCPは、鉛直方向の流速成分を時間分解能も細かく計測できる大きな利点がある。しかし、神通川では、洪水時の高濁度や気泡による欠測の問題が発生し、安定したデータの取得が出来なかった。流速が大きかった黒部



写真-8 亀裂が入りねじ曲がったADCPの様子。



写真-9 プライス式流速計に草木が絡みつく様子。

川ではADCPが波のうねりによってボートが大きく揺動してしまい、データのばらつきが生じた。黒部川のように流速が大きい場合は、高流速用の観測艇を導入する必要がある。

プライス式流速計は、安定して長時間観測することが出来ると評価できる。しかし、洪水時における流木、草木やゴミによる機器への障害によって、観測困難になる事や高流速時にプライス式流速計が表面付近まで上がってしまうという問題が生じた。

電波流速計は、本研究の中では最も安定的に連続したデータの取得が出来た。高濁度や高流速においても、問題なく観測でき、設置も容易なことから、洪水時の観測に適した方法だと考えられる。しかし、電波流速計の流速を流量算出に用いる時は、流水断面全体の流速への補正が必要である。今後、流速補正係数の検討が必要であろう。

浮子観測は、他の流速測定機器と比較すると、流速値が大きく、またデータのばらつきが大きいものの、危険な洪水時においても安全に観測できる。しかし、長年研究されている更正係数についてもさらなる検討が必要であろう。

今後も観測ケースを増やす事で、これまでの問題点をさらに検討し、時空間スケールや状況に応じた適切な河川流量観測手法を提案したい。

参考文献

1)安芸皎一：浮子特に竿浮子による観測流速の更正係数に就て，土木学会誌，Vol.18，No.1，pp.105-129，

1932.

- 2)二瓶泰雄，酒井雄弘：実河川洪水流における浮子の更正係数，土木学会論文集B，Vol.66，No.2，pp.104-118，2010.
- 3)原田靖生，二瓶泰雄，酒井雄弘，木水啓：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，pp.1081-1086，2007.
- 4)深見和彦，今村仁紀，田代洋一，児玉勇人，中島洋一，後藤啓介：ドップラー式非接触型流速計(電波・超音波)を用いた洪水流量の連続観測手法の現地検証～浮子測法との比較～，河川技術論文集，第14巻，pp.307-312，2008.
- 5)萬矢敦啓，岡田将治，橘田隆史，深見和彦：日本におけるADCPを用いた高水観測手法，河川流量観測の新時代，第2巻，pp.34-41，2011.
- 6)手計太一：ADCPを利用した水理・水文観測事例—塩水楔と失水・得水量—，河川流量観測の新時代，第2巻，pp.66-71，2011.
- 7)山口高志：電波流速計による洪水流速観測の失敗を含めた事例集，河川流量観測の新時代，第2巻，pp.20-27，2011.
- 8)稲垣達弘，柿沼孝治，三宅洋：十勝川千代田実験水路におけるADCP及び電波式流速計による流量観測，河川流量観測の新時代，第2巻，pp.57-65，2011.
- 9)独立行政法人 土木研究所編：水文観測，社団法人 全日本建設技術協会，1992.

(2012. 8. 31受付)