

ラジコン式ADCP等による観測の有効性検討 —現地作業における生産性向上—

札幌開発建設部 河川計画課

○北谷 沙紀子
川岸 智樹
佐藤 裕介

低水流量観測時の安全性向上、省力化を目的に、現行法（プロペラ式流速計による低水流量観測）にかわる流量観測手法として、ラジコン式ADCPを用いた流量の測定方法について、河床形状、水深、水面幅が異なる石狩川下流管内の複数箇所で行った観測を行い、ADCPを用いた流量観測の適用性を検証するとともに、ADCP観測による流量が現行法に比べて小さくなる傾向を分析し、将来の運用に向けた検討を行った。また、現行法では観測が難しい高水出水時の背水影響のある地点でADCP観測による有効性を確認した。

キーワード：低水流量観測、ラジコン式ADCP、背水影響

1. はじめに

低水流量は、利水計画、低水管理、ダム管理など主に水資源の管理に必要なデータで、人の命と暮らしを守るための重要な基礎資料である。これらは長期間に渡る定期的かつ継続した観測データの蓄積が必要である。

実際に低水流量観測は、年間36回程度が義務付けられており、年間に実施する流量観測では高水流量観測に比べて、低水流量観測に携わる時間が圧倒的に多い。ところが、低水流量観測は現在でも昭和20年代に確立した観測基準¹⁾が使われており、水深に応じてプロペラ式流速計を規定水深に降ろして一定時間の測定を行うスタイルが維持されている。そこで宮崎ら²⁾は、ラジコン式ADCPによる低水流量観測を提案し、計測時間の短縮、安全性の向上、省力化などに寄与することを示した。一方で、課題として、ADCPで計測した流量が現行法（プロペラ式流速計による低水流量観測）と比較して10%以上小さくなる傾向がみられており、この要因としてプロペラ式流速計が、本来の流速である横断測線に直交する流れではなく、流向に向けた絶対流速をとらえている可能性を示唆した。

本研究では、ラジコン式ADCPによる流量観測とプロペラ式流速計による流量観測との間に発生する流量差の原因の分析を行い、現行法からADCPを用いた低水流量観測への移行に向けて検討を行った。また、河川規模、河床形状が異なる複数箇所において現地観測を行い、実河川においてラジコン式ADCPの適用性を検証した。加えて、出水時の本川合流前などで背水影響が強い地点では高水流量観測の浮子が流れにくいことから、本試行で実施したラジコン式ADCPの活用についても観測事例を示す。

2. ラジコン式ADCPによる低水流量観測

(1) ラジコン式ADCPの概要

ラジコン式ADCPは、図-1に示すようにADCP（1200kHz+600kHz）を船底に設置したメインハルと2つのサイドハルによるトリマラン型のプラスチックボートである。全長は140cm、幅は標準で75cm、2個のRTK-GNSSを搭載し、精度の高い位置情報取得とADCPの向きを示すコンパスの役割をする。ラジコンスラスタはサイドハル後方に設置し、専用プロポによって操作する。中央部のボート内に遠隔操作システムが搭載され、携帯電話回線が使えるエリアであれば、遠隔地からADCPの操作をリアルタイムで行うことができる。



図-1 ラジコン式ADCPの概要

(2) ADCPによる計測方法

ラジコン式ADCPは図-2のように、河岸又は橋上に操作員を配置して、ラジコン操作でボートを横断させた。ADCPによるデータ取得等の操作は、ADCPの操作に精通した技術者が遠隔で別の場所（事務所）から行うため、現場はラジコン操作に集中でき、操作員が現場から帰還したときには事務所の作業により観測結果が整理されており、分業化と生産性向上が期待できる。

現行法は、規定された水面幅に応じた測線数で、水深に応じて2点（2割・8割）を計測する（図-3）。この平均を区分断面積の平均流速とする。これに対し、ADCPは図-4に示すように、表層、河床付近には不感帯があるが、面的に流速値が得られる。ADCPの設定は、観測所毎に流下方向の角度を設定し、上下層の不感帯は、上層は一定値（観測値の上限と同じ）、下層は、取得できている最下層の測点から河床が動かないと仮定した対数則によって河床までを補完している。

(3) 現地観測地点

表-1に示す地点（石狩川本川6箇所、空知川2箇所、雨竜川2箇所、旧美唄川1箇所で計27回）にて、現行法とラジコン式ADCPの同時観測を実施した。

現行法は、水位の低い徒歩観測では、図-5のロッドを用いるため、プロペラ式流速計の向きは測線と直交でセットできるが、水位が高い橋上観測と船観測では、図-5のレッドを用いるため、流れの方向にプロペラが向くことになり、レッドを用いた現行法の観測では測線に直行した流れを捉えていないものと考えられる。図-6に観測地点11箇所の観測結果の例を示す。



図-2 ラジコン式ADCPの観測状況

KITAYA Sakiko, KAWAGISHI Tomoki, SATO Yusuke

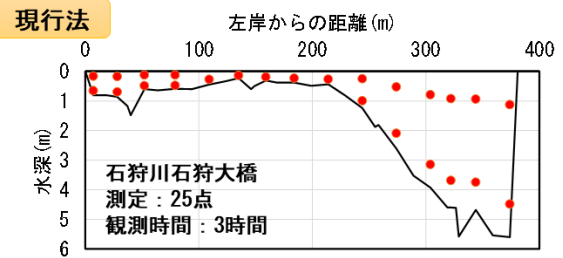


図-3 現行法による計測計測（2点法）

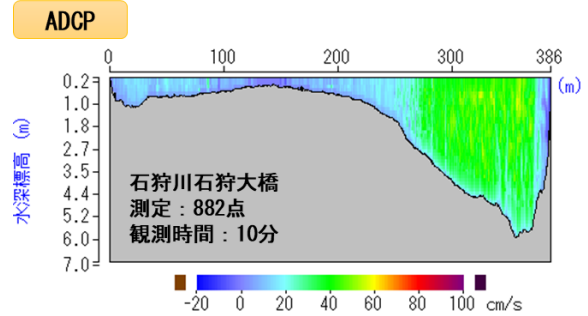


図-4 ADCPによる計測結果

表-1 観測時間の比較

河川名	地点名	観測回数	現行観測方法
石狩川	納内	2	橋上
	妹背牛	1	橋上
	伏古	3	橋上
	橋本町	5	船
	奈井江大橋	3	橋上
	月形	2	橋上
空知川	赤平	5	船・橋上
	空知大橋	3	橋上
雨竜川	雨竜橋	1	橋上
	多度志	1	徒歩
旧美唄川	大豊橋	1	徒歩
計		27	



図-5 現行法の流速測定（ロッドとレッド）

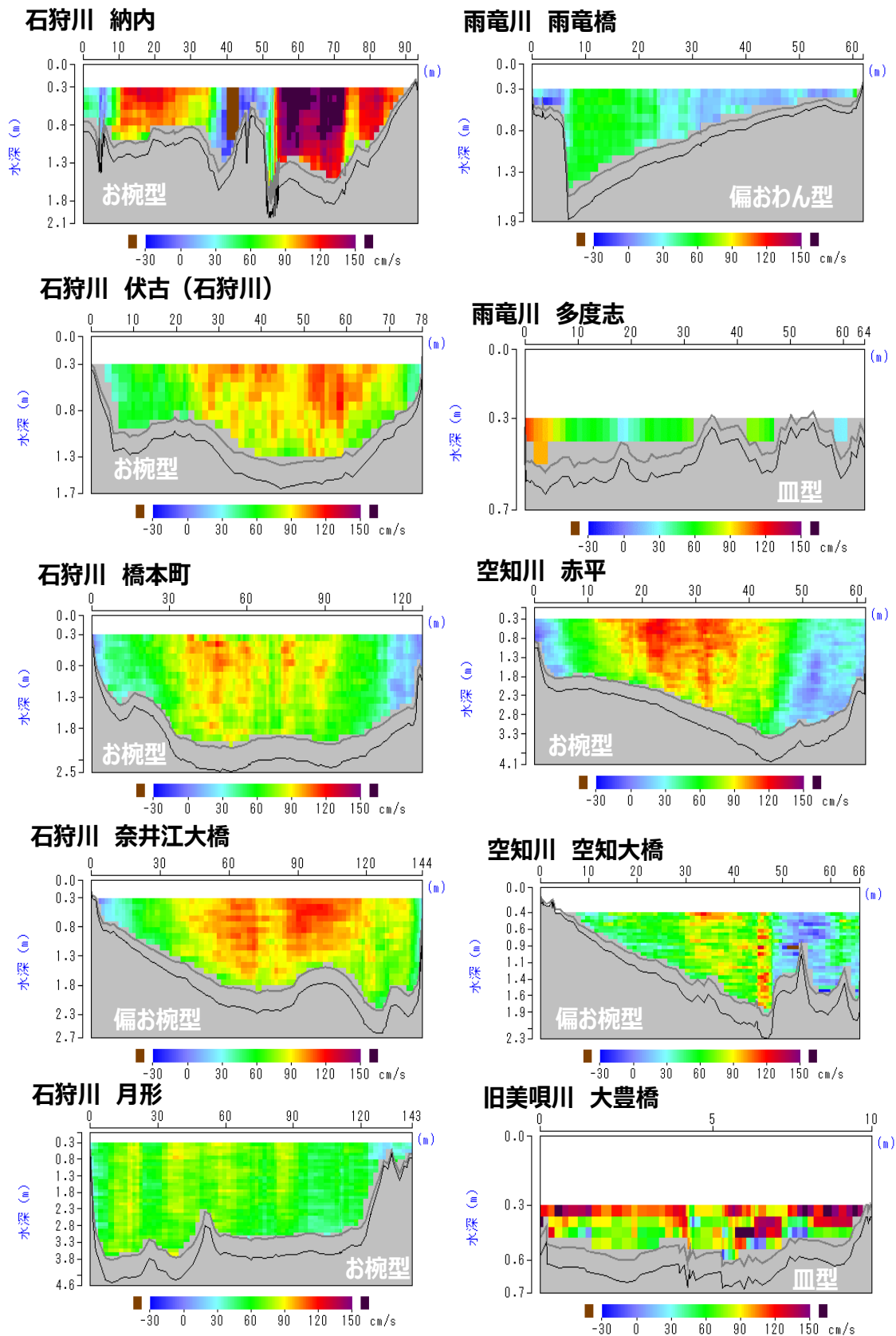


図-6 ラジコン式ADCPによる低水流量観測結果

(4) 流量比較

図-7のように、ADCPの測定値から、横断測線に直交する成分流速から算出した流量と、絶対流速の水深の2割・8割流速の平均により算出した流量について、それぞれの河川毎に図-8にプロットした。なお、ADCPの水深の2割・8割流速の抽出は現行法の区分断面ではなく、ADCPの横断観測点に合わせたものである。

いずれのプロットもADCP流量は、測線直交よりも絶対流速2割・8割流速の平均により算出した流量の方が2〜3割程度大きな流量を示すことがわかった。これは、船や橋での流量観測はレッドを使用するため、図-9のように、測線に対して斜めの流れが発生した場合、流速計が、流向にとられない流れの絶対値（絶対流速）をとらえているためと推察される。

石狩川本川では、測線直交も絶対流速2割・8割も概ね線形に並ぶ傾向がみられた。これは、石狩川本川は河川規模が大きいいため、低水時でも比較的測線に対して直交した流れになっているためと推察できる。空知川は、石狩川に比べてばらつきが大きい120m³/sec以上では絶対流速2割・8割により算出した流量が観測流量と合致する結果となった。中小河川の場合、低水時は川幅が狭く、水深が浅いため、流れは河道の湾曲や河床形状、砂州、植生などに影響されやすい。よって、必ずしも断面に対して直交しない流れが発生することが要因と推察される。雨竜川雨竜橋は絶対流速2割・8割が観測流量と合致し、雨竜川多度志は、ADCP流量が観測流量に比べて40%程度小さい結果となった。当観測所は水深が0.6m程度と浅いため、ADCPの計測値が少なく、ほとんどが不感帯の補正值で占められることが要因と推察できる。旧美唄川大豊橋も同様で、水深1.0m以下の浅い観測所ではADCPが適用しにくいと考えられる。

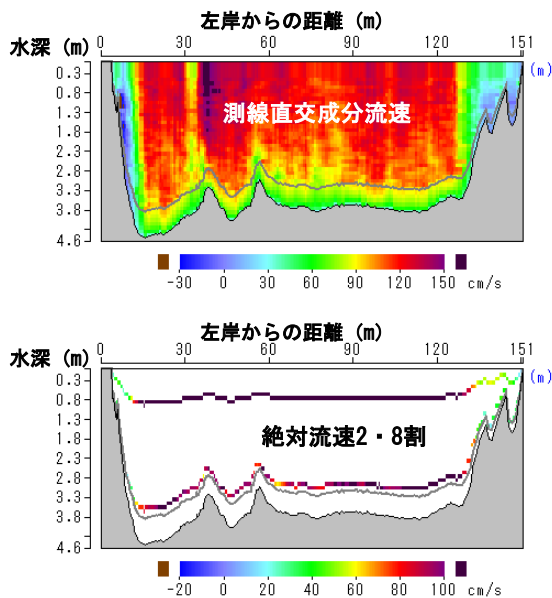


図-7 ADCPの流量算出方法

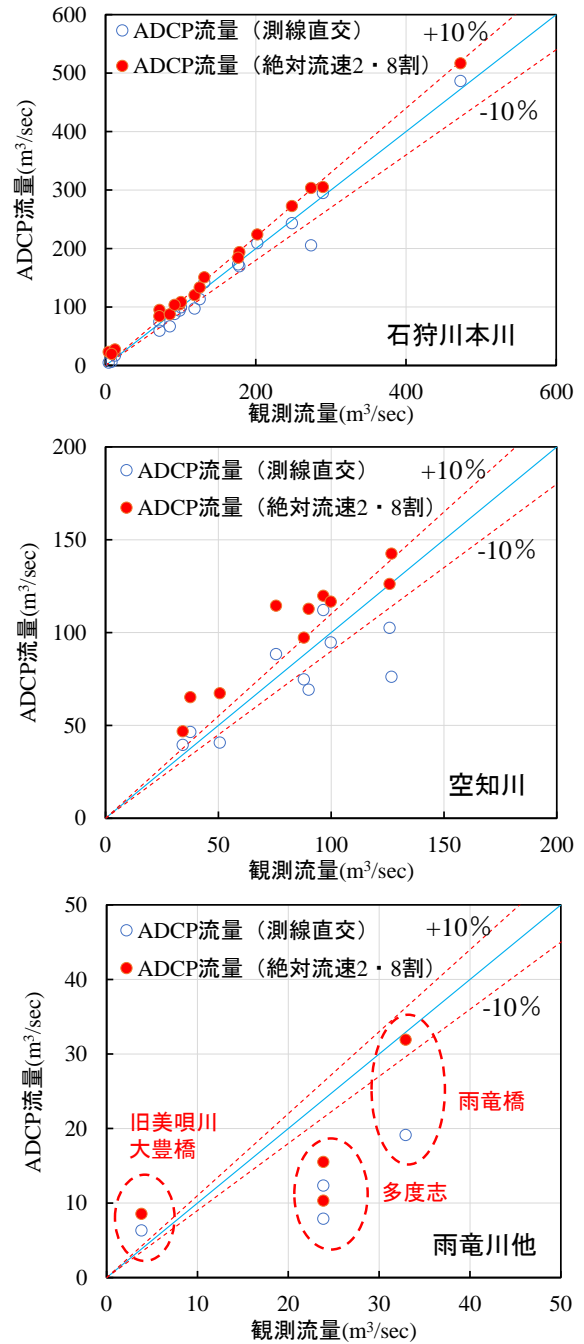


図-8 ADCP流量と観測流量の比較

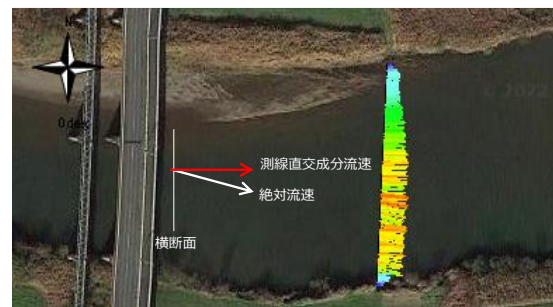


図-9 ADCPの測線直交と絶対流速

3. 背水影響のある地点への適用性

高水出水時の本川合流前など、背水影響が強い観測所では、水位は上昇するが全体的な流速が小さくなるため、浮子が流れにくく、現行法での観測が困難になりやすい。また、浮子が直線的に流下しにくいいため、観測精度の低下も懸念される。そこで、ラジコン式ADCPの活用方法として、低水流量観測だけでなく、このような背水影響を受けている高水流量観測への適用性を検討した。

観測日時、観測箇所は令和4年8月17日の千歳川で、図-10に観測位置を示す。石狩川合流点前の下流 (Kp1.1)、東光 (Kp2.3)、江南橋 (Kp7.0)、裏の沢 (Kp15.0) の4地点でラジコン式ADCPによる流量観測を実施した。

水位は図-11に示すように、石狩川石狩大橋と千歳川東光の水位が同じ変動傾向であり、千歳川下流が背水影響を受けていることがわかる。図-12の流速分布は断面で概ね一様であり、自流の流れが目立たなくなっているが逆流はみられない。裏の沢のみ、管路のように中心部に流れの中心がみられ、特徴的な流速分布になっている。図-12に記載の流量は、流量値とともに不確かさ³⁾を併記しており、観測値の幅を定量的に示している。最上流の裏の沢と江南橋で流量が逆転しているが、不確かさの範囲内で観測の精度は確保できているといえる。また、観測にあたっては、流れが弱く、水深が確保できる場合、ラジコン式ADCPには優位な条件になることから、背水影響のある地点の観測には有効であると評価できる。

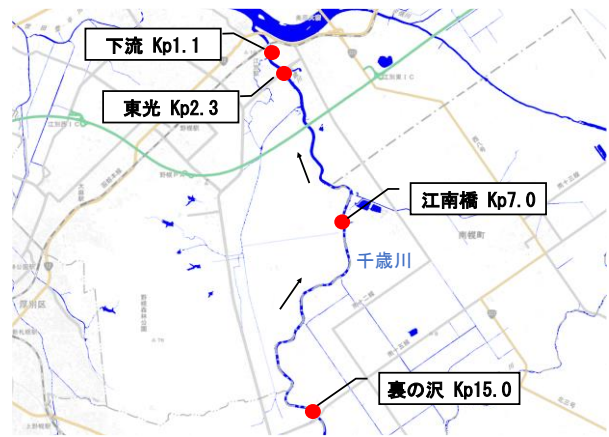


図-10 観測所位置図

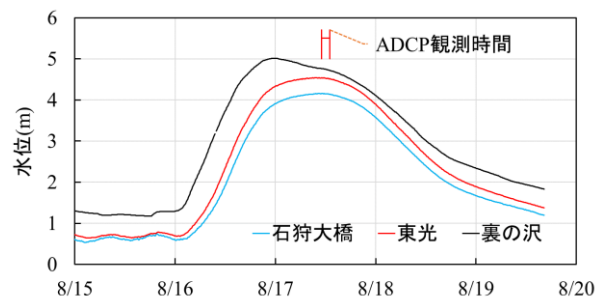


図-11 石狩川・千歳川の水位変化

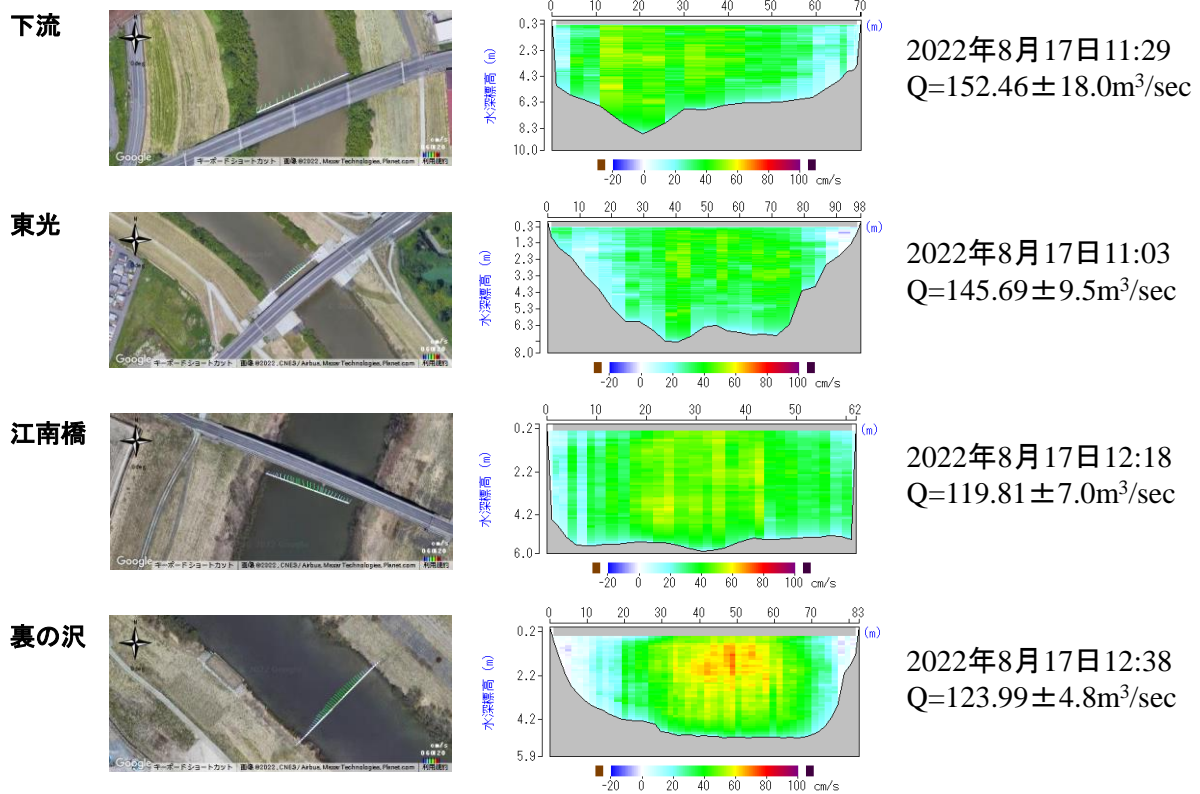


図-12 背水影響の観測

4. 考察 ～将来の運用に向けて～

(1) ADCP運用の課題

河川流量は観測測線に直交する流れから流量を算出する方がより現況の流況を捉えているといえ、ADCPで観測した流速から測線直交成分の流量を算出することは可能である。しかしながら、現行法からADCPを用いた低水流量観測へ移行するにあたって考慮しなければならない点はいくつかある。ひとつは現行法の低水流量算出方法は水深の2割・8割の流速の平均を用いた区分求積法が標準となっていることである。国際基準ISO/TC113ではADCPによる流速メッシュデータからの流量算出法が記載されているが、国内では高水に限定されている。もうひとつは、現行法とADCPを用いた低水流量観測が混在する場合の想定である。そうした場合においても、現行法とデータの連続性を確保した流量算出法が求められ、流量算出法の違いにより、上下流で流量が逆転することのないよう確認する必要がある。そこで、現行法の区分求積法をもとに、本研究のような絶対流速の水深の2割・8割流速の平均を抽出して低水流量とする適用方法を検討していく必要がある。

低水流量観測では、全国的にプロペラ式流速計だけでなく、電磁流速計なども活用されており、計測機器をADCPに置き換えるのは、難しくないと考えられる。

(2) 現行法に合わせたADCP流速の扱い方

本研究では、ADCPの流速メッシュデータから絶対流速の水深の2割・8割の流速を抽出して、ADCPのアンサンブル毎の区分断面に絶対流速2割・8割流速の平均を乗じて積算して流量を算出した。しかし、この手法は、横断距離がADCPのビーム発射間距離のため、現行法に比べて非常に密になっている。現行法では区分断面の幅の中で代表的な水深の2割・8割の流速の平均を用いているので、原則的に算出方法は異なっている。橘田⁴⁾は、ADCPによる絶対流速2割・8割流速メッシュデータを、現行法の区分断面間で平均して、現行法と同様の点流速算出をすることで、現行法と概ね一致する流量を得られることを示している。

このように、区分求積法に合わせる場合は、さまざまな手法が考えられるため、今後、実河川での検証データを収集し、流量算出方法を検証していく必要がある。

ADCPを用いることで、観測時間の短縮や、安全性向上、省力化などに寄与することを踏まえると、ADCPを活用する価値は高く、成果として認められる手法を今後とも検討していく必要がある。

5. まとめ

(1) まとめ

- ADCPによる低水流量観測で、測線直交成分流速で算出した流量と絶対流速2割・8割流速の平均による流量では、絶対流速流量の方が平均2～3割程度大きい結果となった。
- 河川規模が大きい石狩川本川では、低水でも比較的流れが整流で、測線直交成分流速で算出した流量と絶対流速2割・8割流速の平均による流量では流量差は少なかったが、中小規模の空知川や雨竜川などは、ばらつきがみられた。
- 全水深が1m以下では、ADCPと現行法流量の差が40%程度になる場合もあり、ADCPの計測点が少ないことが要因と推察される。
- 現行法（プロペラ式流速計）はレッドなどでの計測のため、絶対流速をとらえていると推察される。これにより、ADCPの測線直交流速での算出と異なる結果となる要因と考えられる。
- ラジコン式ADCPは低水のみならず、本川合流点など高水時の背水影響がある地点にも有効である。

(2) 今後の課題

- ADCPを用いる場合、水深の浅い地点ではADCPで得られる実測データが少なくなり、観測流量と乖離する場合がある。今後、さまざまな規模の地点で実証試験を行い、適用範囲について検証する必要がある。
- ADCPを用いた低水流量観測への適用に向けて、現行法の流量算出手法に合わせた計測方法と計算手法について検証していく必要がある。

参考文献

- 国土交通省水管理・国土保全局：河川砂防技術基準（調査編），平成26年4月改訂，2018。
- 宮崎亮直・高橋賢司・渡辺元之：ラジコン式ADCPを用いた低水流量観測の高度化—現地作業の生産性向上—，第65回北海道開発技術研究発表会論文，2021。
- Hening, H.: Estimating uncertainty of streamflow measurements with moving-boat acoustic doppler current profilers, *Hydrological Sciences Journal*, vol.63, pp.353-368, 2018.
- 橘田隆史：ラジコンボート搭載ADCPによる低水流量観測手法と2割8割法による流量算出結果について，土木学会水工額委員会河川観測高度化小委員会，第2回河川観測高度化勉強会，2022。