

感潮区域における流量観測手法について —石狩大橋地点でのリアルタイム流量観測—

大田見 定¹・天野 直哉²・舘ヶ沢 恵³

¹北海道開発局 札幌開発建設部 河川管理課 (〒060-8506札幌市中央区北2条西19丁目)

²北海道開発局 旭川開発建設部 治水課 (〒078-8513旭川市宮前通東4155-31)

³北海道開発局 札幌開発建設部 公物管理企画課 (〒060-8506札幌市中央区北2条西19丁目)

河川下流部の感潮区域では、通常の流量観測で得られる水位流量曲線式(H-Q式)を用いた流量算出の精度が問題となっている。この精度を向上させるため、石狩川石狩大橋地点において2005年度から超音波ドップラー式流速計(ADCP)による新しい観測手法の検討を実施している。この検討結果を基にリアルタイム流量観測システムを構築したので、その取り組みと運用後の精度評価及び課題について報告する。

キーワード：感潮区域、ADCP、流量観測システム

1. はじめに

河川の流量は、治水・利水とともに河川環境を考慮した河川計画及び河川管理を行う上で重要な基礎資料である。近年は集中豪雨による局地的な洪水の発生や、異常渇水による利水障害などが問題になっており、今後、気候変動に伴って予測されるさまざまな現象への適応策を立てる上で、流量を高精度にモニタリングすることが求められている。

河川下流部は資産・産業・人口が集中する地域が多く、防災面でも利水面でも重要な地域が多い。しかし、河川下流部は感潮区域になっていることが多く、水位が潮汐の影響を受けるため、従来使われてきた水位流量曲線式(H-Q式)では、正確な流量を算出できないという問題を抱えていることが多い。

この精度を向上させるため、石狩川石狩大橋地点(図-1)において2005年度から超音波ドップラー式流速計(ADCP)による新しい観測手法の検討を実施している。¹⁾この検討結果を基にリアルタイム流量観測システムを構築したので、その取り組みと運用後の精度評価及び課題について報告する。

2. ADCP 流量観測方法の概要

(1) ADCP による流量観測施設の概要

河川の流量観測に ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) が多く用いられるようになり、国内外でも ADCP を用いた流量観測施設が運用されている。

国内では H-ADCP (水平方向専用の超音波ドップラー流速計) を河岸部に取り付けて測定する流量観測施設が、一部の河川で実運用されている。^{2) 3)}

これらは、感潮区域の潮汐や塩水遡上による複雑な鉛直方向の流速変化に対応するため、H-ADCP の自動昇降や自らの回転によって多層を測定するなど工夫がなされている。

しかし、こうした施設には膨大な設備コストがかかることから、水平方向 1 層での測定結果を数値計算によって内・外挿して流量を算出する方法も研究されている。^{4) 5)}

米国では U. S. Geological Survey (USGS) が ADCP を用いた流量観測技術の標準化を進めているが、日本国内では現在のところ ADCP 流量は水文資料として認証されていない。

しかし、開水路流量計測に関する国際規格(ISO/TC113)では ADCP 観測の規格化が進められており、今後、機器の性能管理や観測手法の標準化、精度管理の規準など、流量観測技術の高度化に向けた議論が求められている。



図-1 調査位置

(2) 石狩大橋での適用方法

(a) ADCP による流量観測の必要性

石狩大橋は感潮区域に位置し、水位が潮汐の影響を受けるため、水位と流量の相関が悪く、水位流量曲線式 (HQ 式) で流量を求める従来法では正しい流量が算出できなかった。一方で流速と流量は一義的な関係がみられ、感潮区域では流量の支配因子が水位 (断面積) ではなく、流速であることがわかった (図-2)。これより従来法 (HQ 式) に代わって、ADCP を用いた流速の連続観測から流量を算出する方法が有効とされた。¹⁾

(b) 河床設置型 (鉛直方向) の選択

国内外の ADCP を用いた流量観測施設は H-ADCP (水平方向) が一般的であるが、国内の既設 2 カ所は、河岸から全断面を照射できる矩形に近い形状で、出水時には隣接する湖や海の緩衝効果で直接的な影響が少ないと考えられる。

これに対し、石狩大橋は流心が右岸に偏った不整形な断面の自然河川であることや、出水で河岸浸食や流木が発生しやすく、河岸への施設設置はリスクが大きい。

以上を踏まえて、河床変動が少なく、全流量と区断面流量に高い相関がある右岸流心部の河床に ADCP を設置し (図-3)、鉛直方向の流速分布から流量を算出する方法を採用した。

(c) 流量算出方法

河床に設置した ADCP により、鉛直方向に多層の流速を測定し「線」データ (単位幅流量 q) を算出し (図-4)、プロベラ式流速計による観測流量 Q の相関式 (q - Q 式) により流量を算出する (図-5)。

ADCP の「線」断面が全流量との一定の相関が維持されているかを管理図 (図-5) によって定期的な検証が可能で、式の精度が保たれていない場合は、 q - Q 式を立て直すことによって精度管理が可能になる。

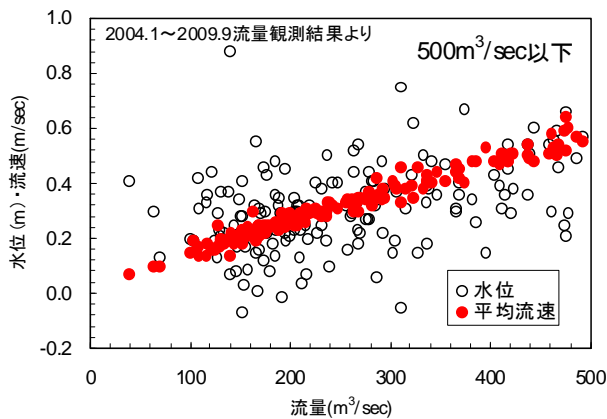


図-2 流量と水位・流速の関係

表-1 既往観測施設との比較

型式	自動昇降式 河岸水平設置		河床鉛直設置
概要	自動昇降・首振り式 水平方向 (H-ADCP)		鉛直方向 (ADCP)
河川名	鶴見川	大橋川	石狩川
所轄	京浜河川事務所	出雲河川事務所	札幌開発建設部
設置箇所	河口より5.9km	中海と宍道湖の間	河口より26.6km
断面適用	矩形護岸		不整形 (自然河川)
設置箇所	河岸		河床

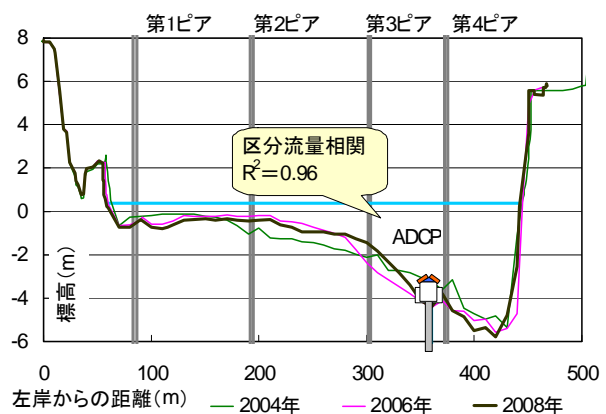


図-3 横断形状の変化と設置位置

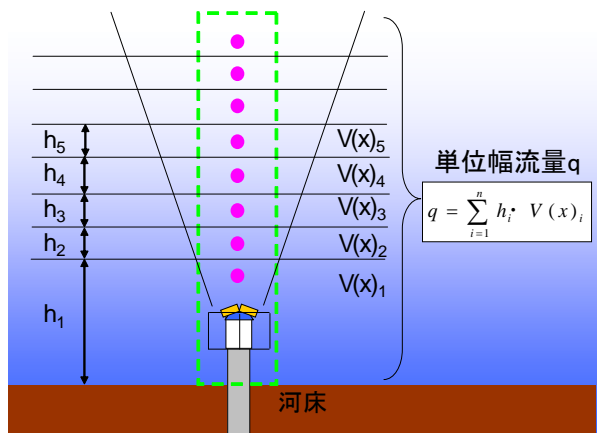


図-4 単位幅流量の算出

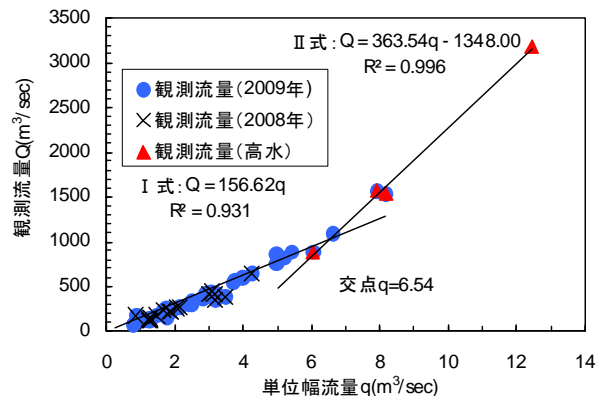


図-5 流量の算出と精度管理図

3. データ精度の検証

現在、リアルタイム流量の算出に使われている洪水予報システム水位流量曲線式 (HQ) の流量と当観測システム (ADCP) の流量の精度を、観測流量を基準として比較 (2009年1月～9月) した結果を図-6, 7に示す。

HQ 流量は 500m³/sec 以下の低水部分を中心に大きくばらつきがみられる。1000m³/sec 以上では 95%信頼限界内に収まるが、3000m³/sec を超える流量では再びはずれている。

これに対し、本施設の ADCP 流量は低水から高水まで 95%信頼限界内に収まっており、どの規模の流量でも精度よく測定されているのがわかる。

当初、ADCP は出水時などの高水への適用が懸念されており、高水流量は HQ 式との結合によって算出することも検討されていたが¹⁾、今回 3000m³/sec を超える高水にも十分な精度があることが確認できたことは、ADCP で低水から高水まで十分測定が可能であるという新たな知見が得られたことになる。

高水適用については今後、データを重ねて検証していく必要はあるものの、石狩大橋の年間の標準的な出水規模 (最大流量の平均 (2002-2008) : 約 2700m³/sec) では、一年を通して精度の高い流量をリアルタイム配信できることが確認できた。

4. ADCP 流量観測施設及びシステムの概要

リアルタイム流量データの配信に向けた観測システムの概要を以下に示す。

システム構成は図-8 に示すように、石狩大橋の橋梁の上流側、右岸流心部河床に ADCP を設置した。

観測機器を固定するために河床に打ち込む基礎杭は、ADCP の内部磁石への影響をなくすると同時に塩水浸入による防腐効果を考慮し、ステンレス H 型鋼材 (材質 SUS304, L=11.0m, 300×300mm) を使用した。

基礎杭の上に ADCP と送信用のモデムを設置し、ステンレス管で流下物などの衝撃から機器を保護した。

水中は水中音響モデムでの水中無線通信となっている。通信の信頼性は有線接続の方が高いが、設置箇所が流心部にあたるため、施工性と出水時の河床変動による被害を考慮し、水中音響モデムを使った無線方式を採用した (図-9)。

受信用のモデムは橋脚側面の水中に設置しており、橋脚上まで有線接続している。橋脚上のインターフェイス接続箱内でデータは光に変換され、光ケーブルによって橋梁から局舎まで伝送される。

光ファイバを選択した理由は、橋上の多い交通量によるノイズや通信障害などに強いことと、多量のデータを速く、安定して伝送できる能力があるからである。

また、通信は石狩大橋既設の塩分監視装置を利用し、可能な限り既存施設の有効利用と施工コストの削減を図った。

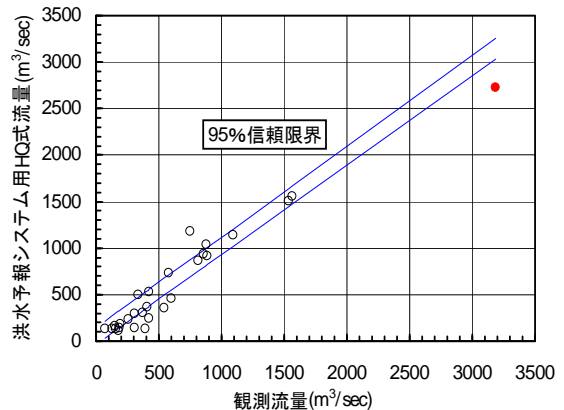


図-6 流量精度 (HQ 式)

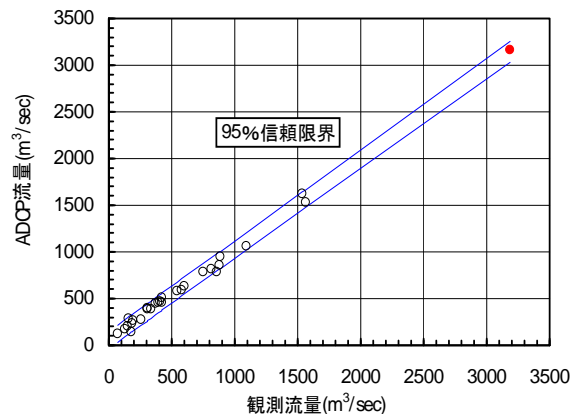


図-7 流量精度 (ADCP)

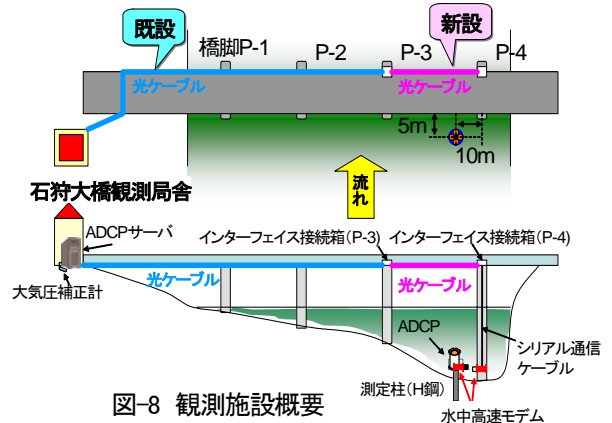


図-8 観測施設概要

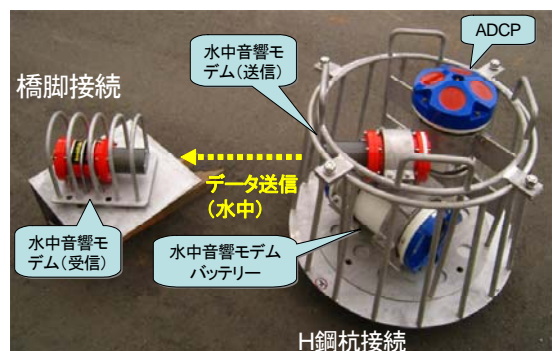


図-9 水中設置機器

システムの概要を図-10 に示す。ADCP で観測されたデータは橋脚下の光ファイバを経由して石狩大橋局舎内の ADCP サーバに伝送される。サーバでは ADCP から送られる流向流速データおよび圧力センサーと大気圧補正計のデータから流量を算出し、データベースに保存されると同時に帳票作成とグラフィック処理が行われる。このようにして得られた情報は Web サーバ機能を使って、札幌開発建設部防災ネットワーク内に配信される。アクセス方法は簡単で、ネットワーク内の端末機であれば、Web ブラウザに URL を入れるだけで、複数台でも同時に表示が可能のため、閲覧用に専用のソフトウェアを入れる必要がなく、機器の交換などにも柔軟に対応できるシステムとした。

5. 情報管理システム

情報管理システムは防災ネットワーク上の端末から閲覧可能で、主にグラフィック、帳票、ダウンロードの3機能が有り、画面上、流速等の状況が一目で判るように工夫し作成した。

図-11のグラフィックでは横軸が時間軸で、水位、流量、流速分布コンターの3要素を時系列で表示できる。また、時間軸、縦軸ともに切り替えが可能で、1日~1ヶ月、低水~計画高水まで表示できる。

図-12の水位・流量帳票は ADCP で観測した水位と算出された流量の帳票を 10 分ごと、1 時間ごとに切り替えて表示でき、流速分布も水深標高別に時系列の表示が可能になっている。

図-13 では、水位・流量・水深別流速の 10 分データを月ごとにテキスト (CSV 形式) でダウンロードでき、汎用されている表計算ソフトなどで簡単にデータを利用可能である。

この情報管理システムは潮汐影響による水位の日変動やそれに伴う流量変動の把握が可能で、潮汐背水による流速の鉛直変化や、塩水遡上による逆流など、感潮区域特有の現象がビジュアル的に把握できるようになっている (図-14)。

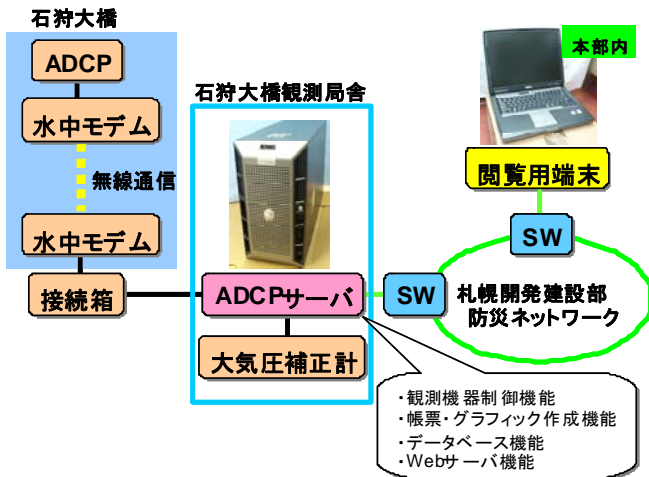


図-10 システム概要

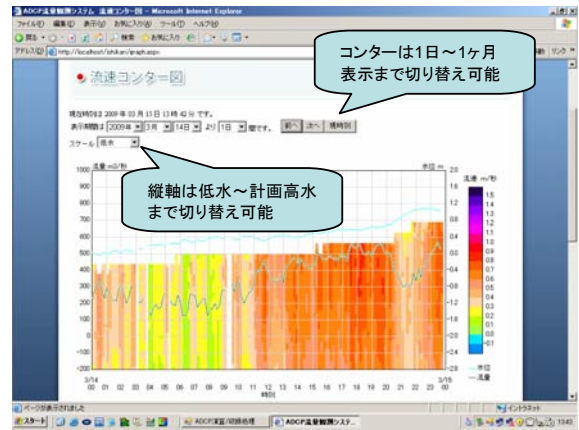


図-11 流速コンター図

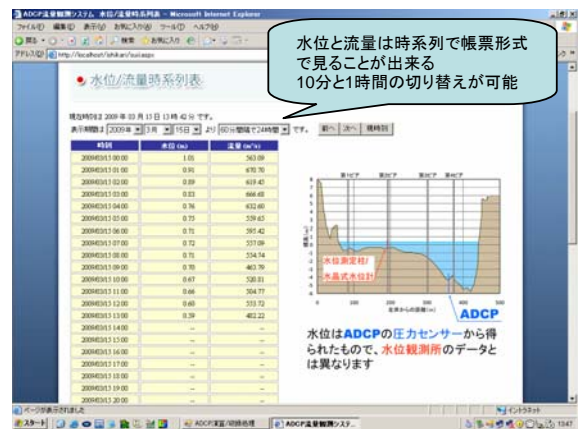


図-12 水位・流量帳票

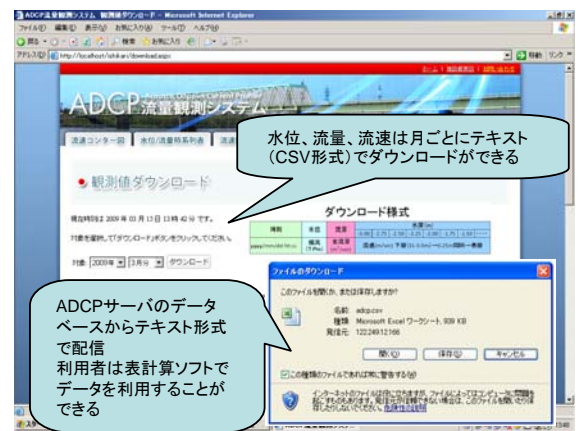


図-13 ダウンロード

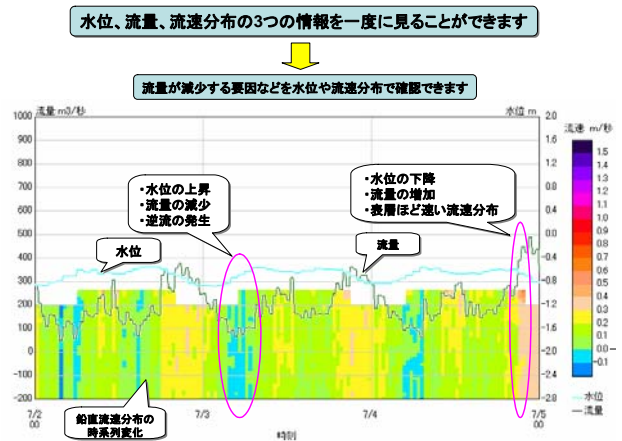


図-14 グラフィックの見方

6. 石狩川流量観測システムの課題と検証

(1)河床変動

河床設置型のリスクとして考えられるのは河床変動による流出、埋没である。現在のところ大きな河床変動がなく、河床洗掘による流出についても、基礎杭は近傍橋脚（石狩大橋第4）のフーチング上端（EL=7.25m）までの洗掘を考慮しているため想定される変動には対応できる。また、設置地点の代表性についても流心部の移動などの大きな変化がない限り $q-Q$ 式の修正によって管理が可能である。しかし、想定外の変動もあり得るので今後とも監視していく必要がある。

(2)ADCPの測定限界の把握

ADCPや水中モデムは高濁質では超音波散乱などが発生し、データ取得や配信に障害になるため高水時の適用が懸念されていたが、2009年7月出水（濁度300以上、流量 $3000\text{m}^3/\text{sec}$ 以上）でも障害はみられなかった。しかし、自然河川で想定される高濁条件への適用を考える上で、測定限界の把握が必要であるため、今後のモニタリング継続による知見が求められる。

(3)維持管理

河床設置型機器のメンテナンスは潜水士による水中作業が必要である。この点で河岸に設置するH-ADCP等に比べて保守点検作業に負担がかかる。

そこで、現地作業の負担を少なくするため、ADCPは消費電力のオプションモード（WM12）を使用し、年間2回のバッテリー交換で維持できるように工夫している。また、システム障害時の保守対策として、機器単体のメモリにも記録しており、データの連続性が確保できるような二重化対策を行っている。

運用期間が短いこともあり、大きな障害は発生していないが、今後も土砂や流木などによる障害の影響や維持管理コストの縮減等の検討を行っていく必要がある。

4)低水管理上の管理規準

精度の高い流量がリアルタイム配信されることにより、石狩大橋の正常流量（約 $100\text{m}^3/\text{sec}$ ）が一時的に下回った場合の判断について整理が必要である。感潮河川では潮汐の日周変動によって一時的に正常流量を下回る場合が考えられるため、流れる量は少ないが、水位が高いため水の量は確保されているという現象が発生する。リアルタイムの流量が今後、河川管理にどう活かしていくか活用の方法を検討する必要がある。

7. まとめ

従来の観測手法である水位流量曲線式（HQ式）による流量管理では、感潮域における精度が低い。このような地点での流量観測手法として、ADCPを用いて流速観測を行い流量算出するリアルタイム流量観測手法の有効性が確認された。これは河床から水表面までの単位幅流量（線流量）と観測流量の相関式によって流量を算出する方法で、河床設置型のADCPを用いることにより断面が不整形で河岸浸食や流木が懸念される自然河川でも適用が可能であることがわかった。

8. 今後の展望

ADCPによる流量観測の有効性は論じられているが、実際に流量観測施設として運用しているところは少なく、本施設のように自然河川で導入したのは初めてである。

この手法は感潮区域以外でも背水影響のある河川の合流点付近や逆逆の流速が発生しやすい遊水地などの管理にも応用活用できると考えられる。

しかし、観測手法や精度管理手法などは未だ研究段階で、流量資料として適用されるためには観測手法の標準化などが求められている。

北海道開発局はそうした中で、全国に先駆けて新しい恒久観測施設を立ち上げたことより、今後、運用を含めた貴重なデータを蓄積することになる。

今後は施設の運営を行いながら、改善点・今後の発展性について検討をするとともに、将来に向けた水文資料としての適用性の検討と観測の標準化に向けた課題の整理などを進めていく。

参考文献

- 1)野村佐和美 山崎猛 佐々木誠：感潮区域における流量観測-石狩大橋地点でのADCPリアルタイム観測、平成19年度北海道開発局技術研究発表会、技術一般（技5治）2007
- 2)大東秀光, 上坂薫, 南修平, 劉炳義, 橋田隆史：H-ADCPを用いた河川流量観測システムの開発と現地試験観測結果について(3)、土木学会年次学術講演会講演概要集第2部, Vol. 56, pp. 454-455, 2001.
- 3)岡田将治, 森彰彦, 海野修司, 昆敏之, 山田正：鶴見川感潮域におけるH-ADCPを用いた流量観測, 河川技術論文集, Vol. 11, pp. 243-248, 2005. 4) 木水啓, 二瓶泰雄：H-ADCP観測と数値解析を融合した新しい河川流量推定システムの開発, 土木学会年次学術講演会講演概要集第2部, Vol. 61, pp. 437-438, 2006.
- 4)木水啓, 二瓶泰雄, 北山秀飛：H-ADCPとDIEX法を用いた河川流量計測法の洪水観測への適用, 水工学論文集, 第51巻, 2007.
- 5)木水啓, 二瓶泰雄：H-ADCP観測と数値解析を融合した新しい河川流量推定システムの開発, 土木学会年次学術講演会講演概要集第2部, Vol. 61, pp. 437-438, 2006.