

降雨時および融雪期を含む感潮域での 流量推定手法の構築

Proposal on Discharge Estimation for Tidal River
including Rainfall and Melting of Snow Period

堀江岳人¹・佐藤嘉昭²・中村知道³・林克恭⁴・中津川誠⁵

Takehito HORIE, Yoshiaki SATO, Tomomichi NAKAMURA Katsuyasu HAYASHI
and Makoto NAKATSUGAWA

¹工修 (株) アルファ水工コンサルタンツ 河川環境室 (〒063-0829 札幌市西区発寒9条14丁目)

²正会員 農修 独立行政法人 北海道開発土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

³(株) アルファ水工コンサルタンツ 技術部1課 (〒063-0829 札幌市西区発寒9条14丁目)

⁴正会員 (株) アルファ水工コンサルタンツ 河川環境室 (〒063-0829 札幌市西区発寒9条14丁目)

⁵正会員 工博 北海道開発局 石狩川開発建設部 (〒005-0032 札幌市南区南32条西8丁目)

Field observation of current speed by using Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) in tidal river was conducted in order to propose the expression that presumes discharge, instead of the H-Q rating curve. The error margin when discharge is forecast by using it is large, because river stage in tidal river is changed by the influence of the tide and the phenomenon of the backflow appears. Yokoo (2004) proposed the method of forecasting discharge by using change rate of water level at unit time. However, the forecast of discharge that used the method is difficult at rainfall and melting of snow period.

We confirmed the phenomenon of the flow in the tidal river by the observation that used ADCP and propose a method for the presumption of discharge for the tidal river including rainfall and melting of snow period by considering the amount of the inflow from the upstream by using river stage in the upstream point.

Key Words : Discharge measurement, Discharge estimation, tidal river, rating curve, river stage

1. 序文

北海道北部に位置するサロベツ湿原(図-1参照)は、近年の種々の開発および水文条件の変化により湿原の乾燥化が進んで湿原面積が減少傾向にある(例えば、中津川(2004))。その因果関係の究明には、サロベツ川流域における水循環機構把握は必要不可欠であり、羽山ら(2003)は流域全体における蒸発散量および流出量の推算等を行ってきた。しかし、流出量推算に適用したサロベツ川下流部の浜里観測所における現行のH-Q式は、当河川が感潮域でありかつ天塩川の背水の影響を受けているため精度が悪く、正確な流出量の把握が難しい。そこで横尾ら(2004)は、H-Q式に変わる手法として、浜里観測地点の水位の時間変化率を変数とした流量推定式を提案している。その結果、非出水時における推定精度は向

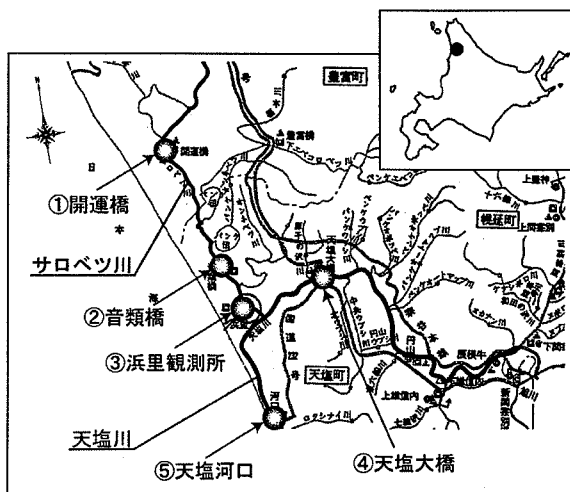


図-1 サロベツ川周辺図
(図中の番号は水位観測地点)

上したが、出水時（降雨時や融雪期）では精度が低く、累加流出量など年間を通しての適用は、誤差が大きい事が判明した。

本研究では超音波式流速計（以下、ADCP）を用いて、感潮域における順逆流の実際の現象を把握して正確な流量を測定するとともに、水位データのみを用いて、非出水時だけでなく出水のような条件下においても高い精度で流量を推定できる手法の確立を目指す。

2. 現地観測概要と観測データの加工

現地観測は、図-1に示す天塩川系サロベツ川下流に位置する浜里観測所（天塩川との合流地点から約3.2km上流）において、2003年6月から2004年11月までの融雪出水期を含む長期間にわたり実施した。観測機器の設置位置を図-2に示す。

ADCP（Work-Horse1200kHz）で観測した流速データの決定方法および単位幅流量の計算の方法を図-3に示す。流速データの取得は、層厚0.25m毎で60ping/min、データサンプリング記録を10分間隔で実施した。ADCPの特性より、水面近くは超音波の乱反射により観測データが過大となり、信頼性に欠ける。このため、水面下2点目までの流速データを除いて水面より3点目の流速データを最上層の代表流速とし、その層厚は水面から1点目の深さ h_s と0.625mの和とした。なお水面は、浜里観測所における水位データを用いた。また流速第1点目までの高さは、河床からADCP本体高の0.40mに近接不感距離の0.56m、不感帯から1点目流速観測点0.125mまでの総和1.085mとした。

ADCPより取得した各層の生データから、東西方向の流速データと南北方向の流速データを算出し、合成流速とその流向を算出した。浜里観測所におけるサロベツ川の河道方向は、北より約15度東に傾いているため、観測断面直交流向（順流方向）を北から時計回りの195度とした。

単位幅流量は水面幅を1.0mとし、河床から水面までの各層の区分断面積にADCPで観測された直交断面流速を乗じその総和とした。

上記の長期連続観測に加え大潮時、小潮時および降雨時の流量変化を把握するため、観測船にADCPを固定し、岸横断方向に流向および流速データの24時間観測（3時間毎観測）を計4回実施した。

3. 単位幅流量推定式の検討

(1) 出水時および非出水時の流況

非出水時（2003年7月前期）、出水時（2004年5月前期）における実測単位幅流量およびH-Q式より換算（後

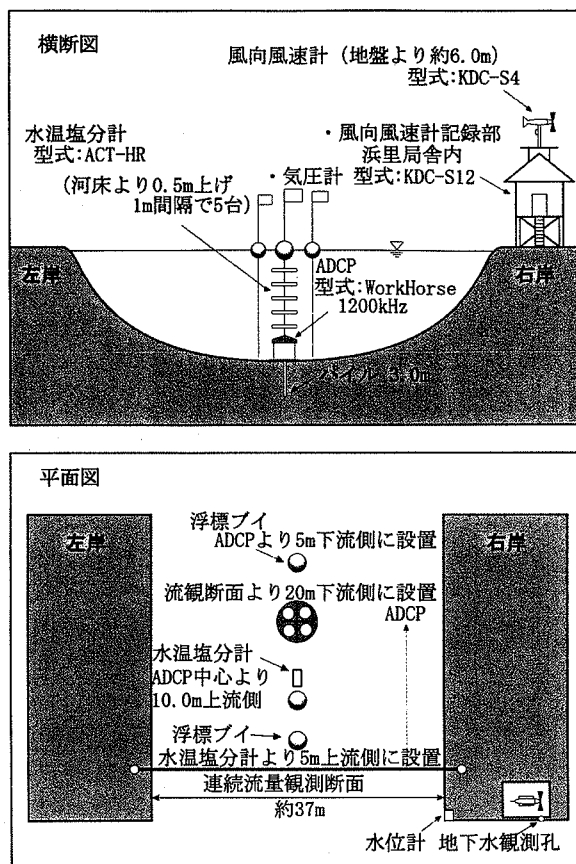


図-2 観測機器設置位置図
(上段：横断面図 下段：平面図)

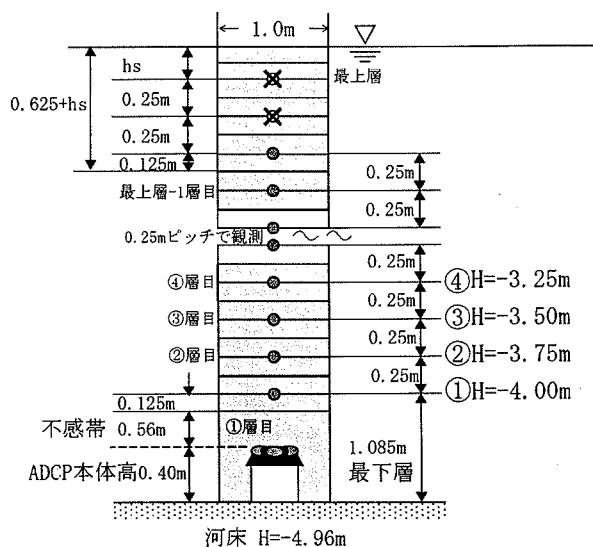


図-3 流速データの決定方法と単位幅流量の計算

述する式(3a)を逆算したもの)した単位幅流量と浜里観測所および開運橋（図-1参照、天塩川との合流地点から約22.6km上流）の水位の時系列を図-4に示す。なお、単位幅流量が正の時は順流、負の時は逆流を示す。

図-4より非出水時における単位幅流量は、河川水位の上昇時に減少し、逆に河川水位の下降時に増加する。ま

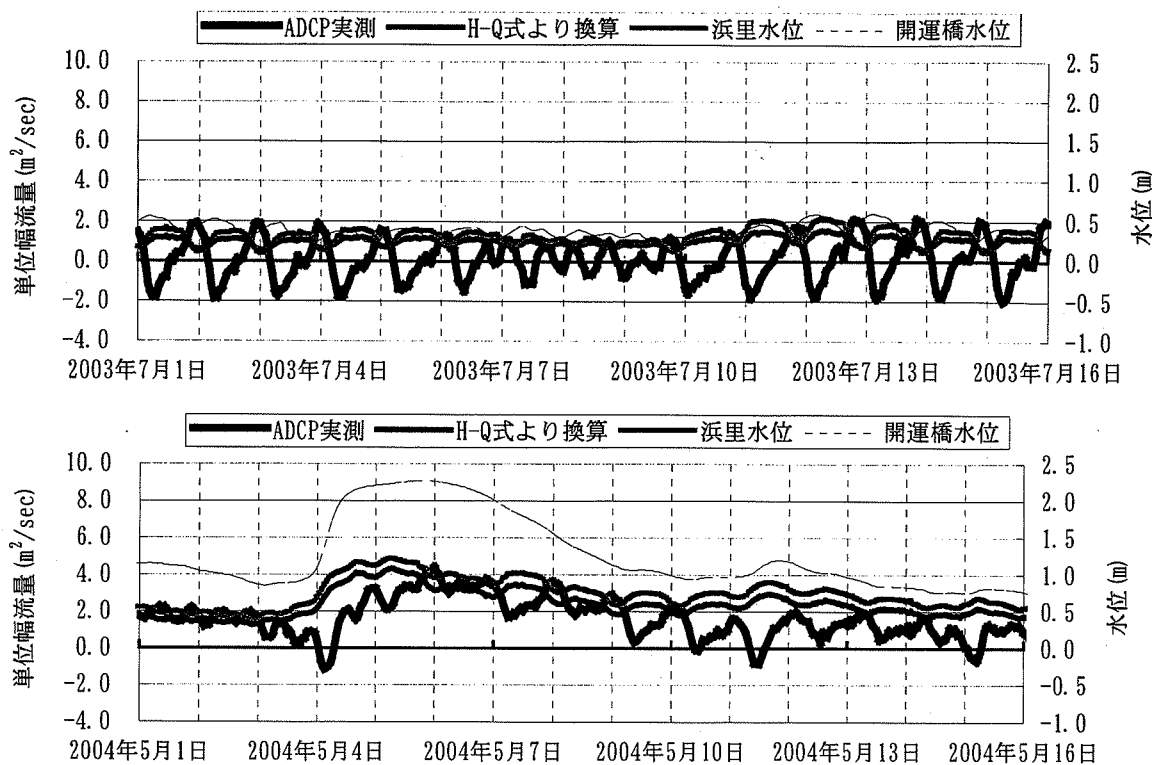


図-4 単位幅流量と水位の観測結果例（非出水時：2003年7月前期 出水時：2004年5月前期）

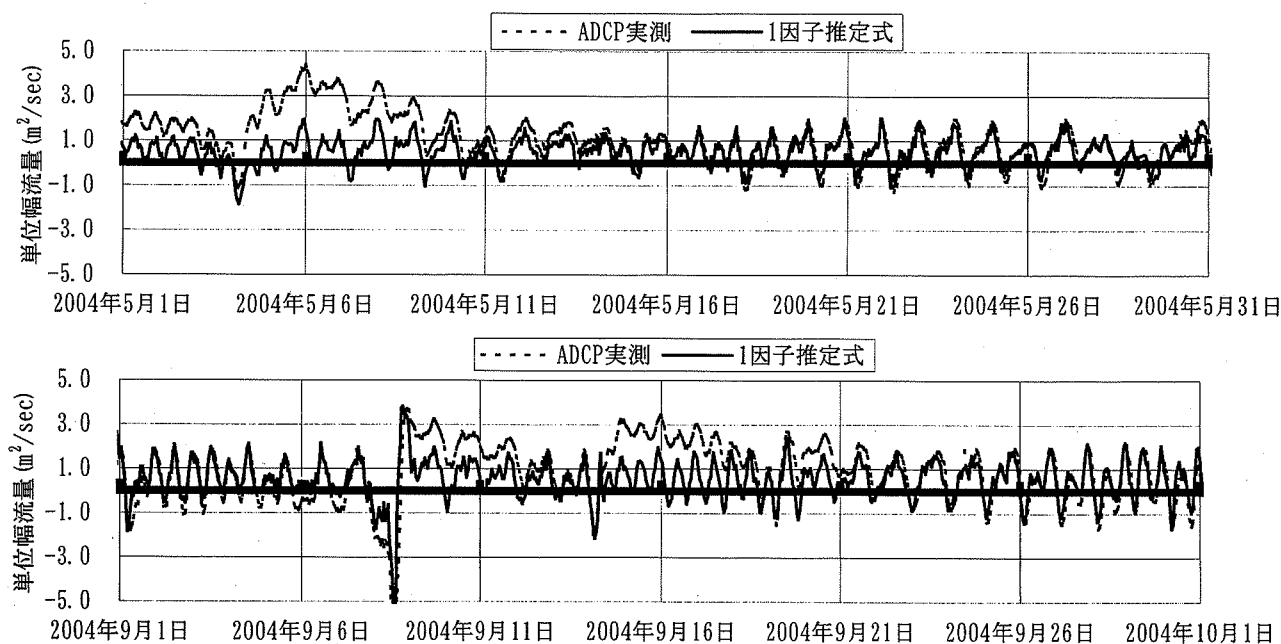


図-5 実測単位幅流量と1因子推定式による単位幅流量の時系列（2004年5月データ：融雪期 2004年9月データ：降雨時）

た当観測地点が河川感潮域であることから、平常時には周期的に順逆流の繰返しが見られる。出水時における単位幅流量は、潮位による周期的変動の繰返しに加え、長時間のトレンド成分が上流からの出水（開運橋における水位）に対応する形で見られる。現行のH-Q式による単位幅流量は河川水位に合わせ単純に上下してしまう事、また逆流の表現が不可能である事から、河川感潮域における正確な流量の推算が困難である。

上記の結果から、ADCPを用いた観測により、感潮域で実際に起こっている現象を数値的に把握することが可能となる。例えば、淡水と塩水が混合している流況において、上下層の流速ベクトルにばらつきが見られる事もその1例である。ADCPを常時設置した観測により、流量を正確に把握することが可能となるが、長期的な設置は維持管理に要するコストが問題となる。そこで、ADCPによる観測結果に基づき、常時観測されている水位デー

タを用いて流量を推定する方法の検討を試みる。

(2) 1因子のみを用いた単位幅流量推定式の構築

単位幅流量の推定方法として、横尾ら (2004) は単位幅流量と2時間の位相差を考慮した浜里観測地点における水位の単位時間における変化率（以下、水位変化率とする）を説明変量とし、単位幅流量を目的変量とした推定式を提案した（式 (1a)）。 a_1, a_2 は各説明変量の偏回帰係数、 q_c は換算単位幅流量 (m^2/sec)、 $H_h(t)$ はある時刻における浜里観測所の水位 (m)、 $\eta_h(t-2)$ は2時間前の浜里観測所の水位変化率を示す。なお、観測全期間のデータを用いた推定式の偏回帰係数は $a_1 = -39.57$ 、 $a_2 = 0.50$ であった。

$$\begin{aligned} q_c(t) &= a_1 \eta_h(t-2) + a_2 \\ \eta_h(t-2) &= [H_h(t-1) - H_h(t-3)] / 2.0 \end{aligned} \tag{1a}$$

図-5は、実測単位幅流量と推定式より算出した単位幅流量の時系列を示す。1因子の推定式では、非出水時での再現が可能であるが、降雨時および融雪期の推定精度が著しく低くなる。

精度低下の理由を考慮するため、出水時と非出水時における水位変化率と実測単位幅流量の位相差における相関関係を図-6に示す。図-6 (a) より非出水時において両者の相関関係はおおよそ2時間で極小値を取る。この意味は、浜里水位変化率が負の場合、位相差が2時間遅れの順流、浜里水位変化率が正の場合、位相差が2時間遅れの逆流の場合において、浜里水位変化率と観測された単位幅流量との相関が高い事を示す。しかし、図-6 (b) の出水時における相関は、非出水時に比べ相関関係が大きく弱まる。水位変化率のみで推定式を算定した場合の精度の低下はこのためである。

(3) 2因子を用いた単位幅流量推定式の構築

3. (1) で示したように、サロベツ川の上流に位置する開運橋の水位は、潮位の影響による周期的な変動に加え、出水時ではこの変動には対応しない長時間のトレンド成分が見られた。そこで長時間のトレンド成分に注目し、上流からの流入量の変化を示す指標として推定式に用いる。

まず出水時のトレンドを明確に示すため開運橋の水位の25時間移動平均を行い、潮位変動成分を除去した。次に、1時間毎の位相差を持たせ、同じく25時間移動平均を行った実測単位幅流量との位相差における両者の相関関係を調べた。その結果を図-7に示す。位相差がおおよそ14時間で相関係数の最大値約0.8をとり、この事は開運橋における水位の25時間移動平均が、14時間後における実測単位幅流量の25時間移動平均に対応する事を示す。

実測単位幅流量と14時間の位相差を考慮した開運橋水位の25時間移動平均および2時間の位相差を考慮した浜里観測所における水位変化率の2因子を説明変量とし、

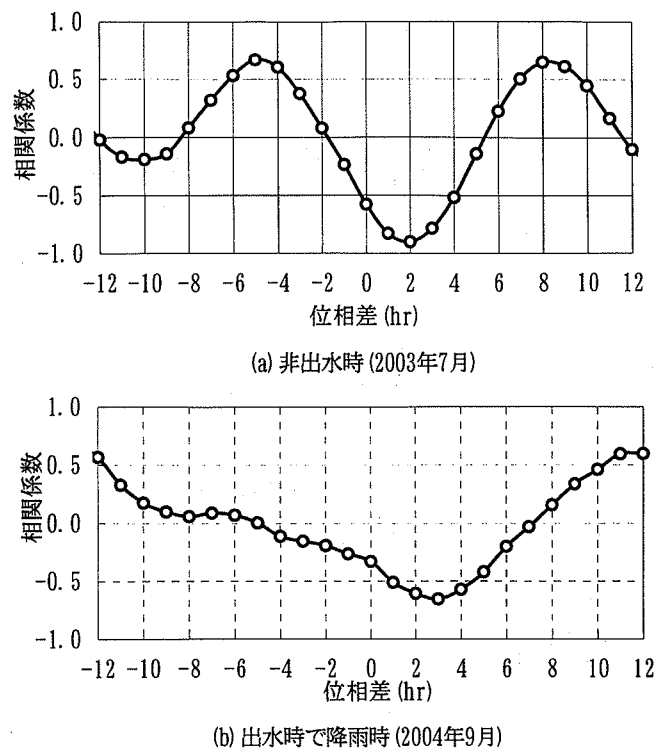


図-6 水位変化速度と単位幅流量の相互相関関係

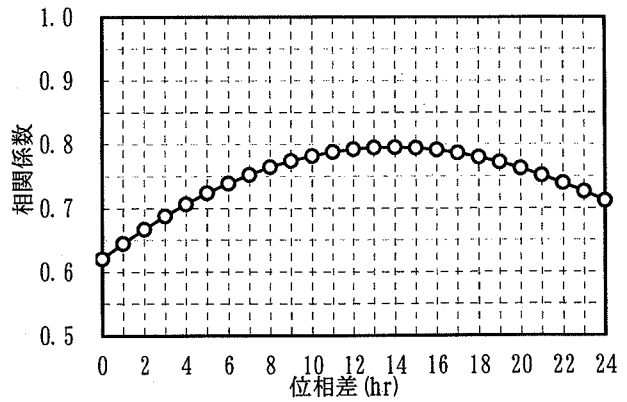


図-7 開運橋水位の25時間移動平均と単位幅流量の25時間移動平均の相互相関関係 (2004年9月の出水時)

単位幅流量を目的変量として重回帰式 (2a) を算出した。式 (2a) 中の係数 b_1, b_2, b_3 は、各説明変量の偏回帰係数、 q_c は換算単位幅流量 (m^2/sec)、 $H_k(t-14)$ は14時間前の開運橋における水位の25時間移動平均を示す。

$$\begin{aligned} q_c(t) &= b_1 \eta_h(t-2) + b_2 \bar{H}_k(t-14) + b_3 \\ \eta_h(t-2) &= [H_h(t-1) - H_h(t-3)] / 2.0 \end{aligned} \tag{2a}$$

なお、2003年6月から2004年11月の観測期間全データを用いて算出した偏回帰係数はそれぞれ $b_1 = -38.38$ 、 $b_2 = 1.78$ 、 $b_3 = -0.56$ であった。

実測単位幅流量と2因子を用いた推定式による単位幅流量の時系列を図-8に示す。図-8に示す様に、2因子の推定式による単位幅流量は、図-5に示した1因子の推定式より精度は高く、出水時の再現が可能となった。

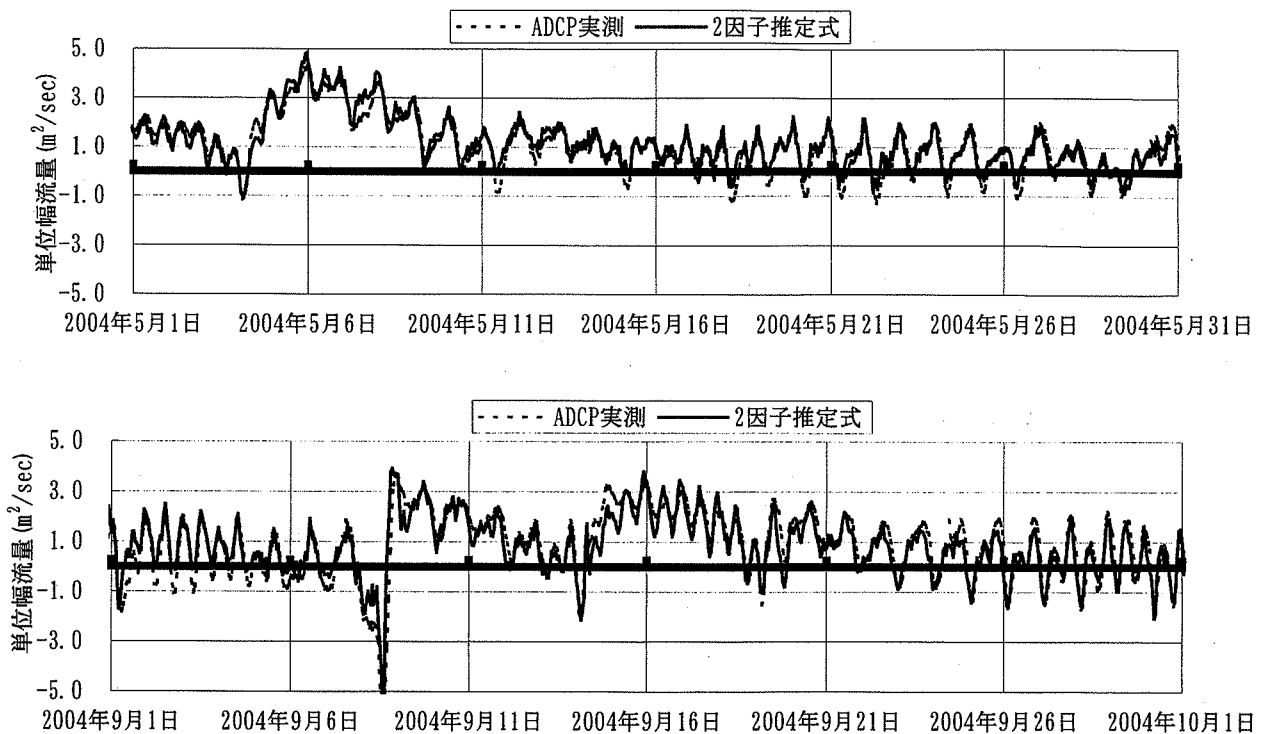


図-8 実測単位幅流量と2因子の推定式による単位幅流量の時系列 (2004年5月データ：融雪期, 2004年9月データ：降雨時)

4. 断面流量の推定と累加流出量の算出

(1) 24時間連続横断流向流速観測

ADCPを用いた連続観測に加え、横断方向における24時間流向流速観測 (3時間毎) を行った。観測は、2003年6月30日～7月1日 (大潮時)、同年7月21日～22日 (小潮時)、2004年8月26日～27日 (大潮時) および同年9月9日～10日 (降雨時) の計4回実施した。横断観測により得られた断面流量と連続で設置しているADCPより算出した実測単位幅流量との関係を図-9に示す。その結果、両者の関係は大潮時、小潮時および降雨時に関わらず、1次の線形式 (式 (3a)) で示す事が可能であり、その相関係数は0.987と相関が高い。なお、 Q は断面流量を示す。

$$Q = 23.23q_c + 1.73 \quad (3a)$$

式 (2a) より浜里観測所の水位と開運橋の水位より単位幅流量を算出、式 (3a) より単位幅流量から断面流量の推定が可能となった。

本研究では、最終的に流量通過地点の水位と上流の水位の情報だけを用いて単位幅流量を推定し、式 (3a) を導くことにより、非出水時に加え降雨時および融雪期を含めた精度の高い流量の推定が可能となった。ADCP設置地点が流況をよく示す場の代表点であったとも考えられるが、複雑な物理現象が混在する河川において有効な推定法と考える。

(2) 累加総流量の算出

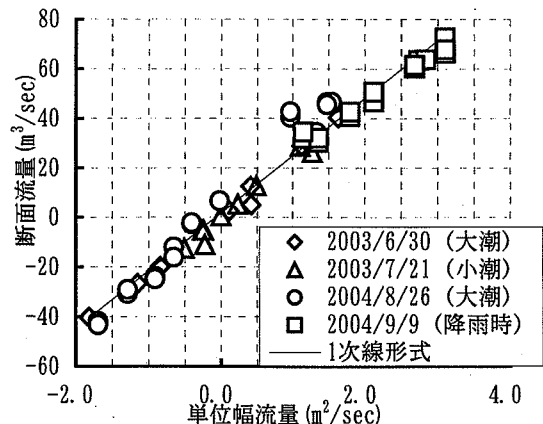


図-9 単位幅流量と断面流量との相関関係

図-10は、2003年6月～2004年11月の期間 (2004年4月は土砂の被覆による部分欠損、2004年6月は機械点検のため除く) における①現在のH-Q式による累加総流出量、②ADCPによる実測累加総流出量、③2因子の推定式による累加総流出量、④1因子の推定式による累加総流出量をそれぞれ示す。なお、いずれの場合も単位幅流量から断面流量を算出には式 (3a) を用いた。

実測累加総流出量と他の推定式による累加総流出量とを比較すると、H-Q式による累加総流出量は最終的に実測累加総流出量の約2.5倍となり、実測と比較してかな

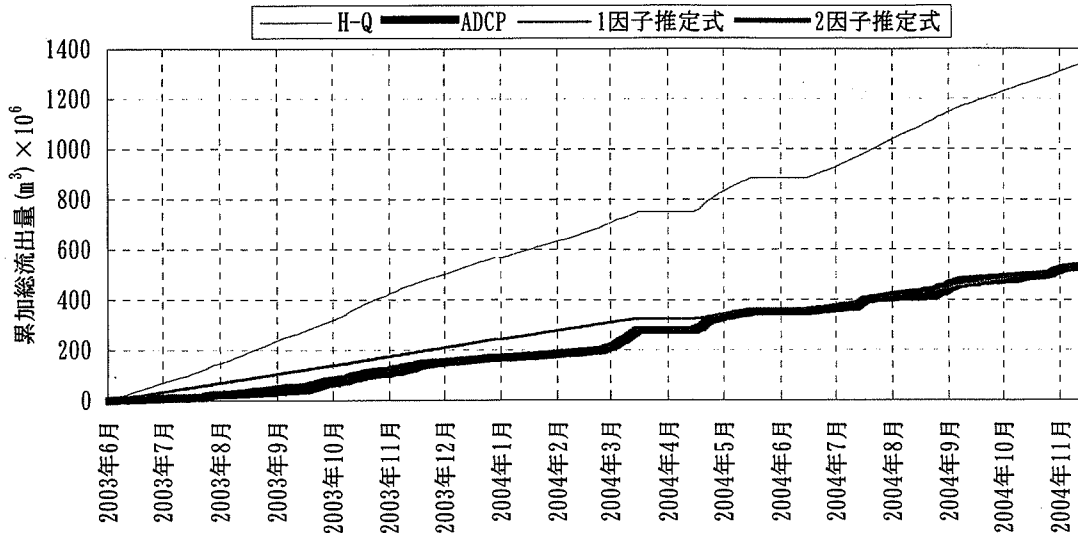


図-10 累加総流量

り精度が低い。また、1因子の推定式による累加総流出量は、実測と比較し傾向は一致するものの、出水時の流入が考慮されていないため、精度の低下が否めない。

2因子の推定式による累加総流出量は、出水時および非出水時のほぼ全期間を通じ、観測結果の傾向を良く示す。

5. まとめ

本研究による主要な結論を以下に示す。

(1) ADCP を観測地点の流況の場を表す代表点に設置することにより、河川感潮域などの場所において、実際に河川で生じている現象を把握することが可能である。

(2) 観測船にADCPを取り付け実施した横断流速観測より算出した断面流量と、河床に設置し連続観測を行ったADCPより算出した単位幅流量との関係は、非出水時および出水時に関わらず非常に高い正の相関を示し、両者を線形の1次式で示す事が可能であった。

(3) 感潮河川の非出水時における単位幅流量の推定は、推定地点における水位のみを用いて十分可能である。しかし、降雨や融雪の出水時における推定には不十分である。

(4) 単位幅流量推定地点における水位に加え、上流からの流入要素として推定地点の上流における潮位変動の影響を除いた水位を用い、単位幅流量推定式を提案した。その結果、年間を通じ、現況のH-Q式よりはるかに十分な精度で流量を推定する事が可能となった。

今後の課題を以下に示す。

(1) 本推定式の検討手法を流量観測精度が不良な他の観測地点において実施し、推定が可能であるかの検討を行う。

(2) 当河川では日本海からの塩分遡上があり、非出水時では塩水楔が見られる。シジミの生息も盛んな環境にあり、流況の変化が環境に大きく影響を与えられられる。そこで塩分に注目し、流況の変化に伴う塩分遡上の形態および通過塩分量を把握する。

謝辞：北海道開発局留萌開発建設部にデータの提供をいただいた。また、(株)アルファ水工コンサルタンツの田中氏および大西氏に図の作成等の協力を頂いた。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 中津川誠：湿原の環境と水循環，2004年度（第40回）水工学に関する夏期研修会講義集Aコース，水工学シリーズ04-A-2，2004。
- 2) 羽山早織，中津川誠，張祥偉：サロベツ湿原における水循環の把握と地下水への影響，水工学論文集，第47巻，pp. 175-180，2003。
- 3) 横尾啓介，中津川誠，羽山早織，大熊正信：超音波式流速計の連続観測に基づく流量推定手法-河川感潮域を対象として-，河川技術論文集第10巻，pp. 369-374，2004

(2005. 4. 7 受付)