

N-8 ADCP を応用した河川浮遊土砂フラックスのモニタリング手法の研究(I)

日本ミクニヤ株式会社 橋田隆史

同上 ○新井 励

株式会社ニュージェック 南 修平

株式会社ハイドロソフト研究所 劉 炳義

1. はじめに

河川で浮遊土砂通過量を観測するためには、流速と土砂濃度の断面分布を同時に計測する必要がある。流速の断面分布に関しては、ドップラー流向流速計（以下、ADCP と記述）を用いることで、詳細なデータを短時間に得ることが出来るが、土砂濃度に関しては、シングルポイント式の濁度計に頼らざるを得ないため、断面計測は容易ではない。このため近年では、ADCP の散乱強度(Backscatter)が水中の懸濁物量と相関が高いことに着目し、これを応用して流速と濁度を同時計測する研究が進められている。しかし、散乱強度から濁度を求めるには誤差が大きいと、現状では光学式の濁度計を ADCP と併用して、散乱強度と実測濁度の関係式を導き、散乱強度から濁度を推算するという手法が用いられている。こうした経験的な手法については、濁度推算の根拠に乏しく、また環境が変われば再現性が失われるため、計測の度に換算式を求め直す必要がある。こうした中、DRL 社(英国)は RD 社と共同で、超音波の懸濁物に対する挙動について研究を進め、散乱強度から濁度へ定量変換する実用的な換算式を提案した¹⁾²⁾。著者らはこうした最新の知見を導入し、散乱強度から濁度、および SS 濃度を推算する手法を確立し、システム化させる研究を進めている。

一方、著者らは、H-ADCP を用いた河川断面流量観測システム(以下、H-ADCP システムと記述)を実用化させており³⁾、このシステムでは断面の詳細な流速分布と散乱強度を連続的に得ることが可能である。このシステムに、散乱強度から濁度への推算機能を組込むことにより、河川における浮遊土砂の連続モニタリングシステムが実現可能と考え、開発に着手している。

本報では、先述の河川浮遊土砂モニタリングシステムを提案するとともに、システム開発の前段階として、ADCP を応用した濁度の推算手法について報告するものである。

2. 理論

ADCP は、超音波を水中に発射し、浮遊懸濁物質から反射された超音波を受信して位相のズレから流速を算出する。このとき、懸濁物濃度に応じて後方散乱(Backscatter)が生じるが、超音波が水中を通過する際に、①水塊による吸収、②浮遊懸濁物質による吸収、③超音波の拡散、④距離減衰等の影響を受けた結果として反射強度(Echo Intensity)が得られ、この反射強度を ADCP 内部の CPU により散乱強度(dB)に変換し、記録している。しかし、ADCP に記録されている散乱強度は補正を行っておらず、実際の後方散乱強度を求めるには、先述の多

$$dB = EI - SL - Const + 20 \log(R) + 2\alpha_w R \quad (1)$$

EI: 散乱強度 (dB) SL: 発射強度 (dB) dB: 後方散乱強度 (dB)

 α_w : 水の吸収係数 (dB/m) R: トランスデューサーからの距離 (m)

$$\log_{10} M(r) = S \{ dB + 2r(\alpha_w + \alpha_s) \} + K_s \quad (2)$$

M(r): (トランスデューサーからの距離: r) における濃度

 K_s : トランスデューサー固有の定数 α_s : (f, T, S, ρ_w , ρ_s): 減衰係数

くの補正項を考慮する必要がある。(1)、(2) 式は、RD 社が推奨している式を基に DR 社が作成した換算式で、減衰係数を求める式も別途与えられている。本稿ではこれらの式を用いて後方散乱強度、浮遊懸濁物質濃度の算出を試みた。また、散乱強度はハードウェアの影響も大きく受ける。ADCP のトランスデューサーは感度の個体差が大きいため、個々に感度調整を行う必要がある。さらに、散乱強度は筐体温度の影響を受けるため、ADCP 内部に記録している温度データを用いて補正するものとした。

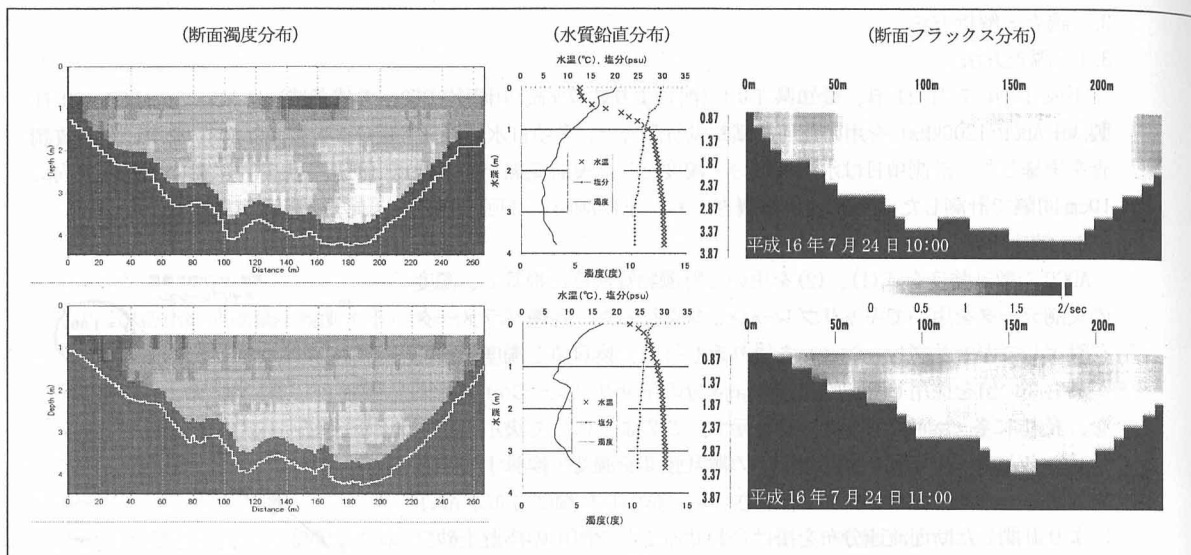


図-3 断面濁度分布・鉛直水質（水温・塩分・濁度）・浮遊粒子フラックス分布

4. まとめ

前項では濁度実測データとの現況再現精度を確認したが、そこで求めたパラメータを用い、他の観測データについて濁度の推算を試みた。図-4 に示すとおり、Beam2, Beam4 の推算濁度がばらついており、図の右下に大きくはずれる値も見られるが、推算濁度と実測濁度の相関は 0.800 となり、概ね良好に再現されているものと判断される。ADCP 直近データや河床付近で誤差が大きくなる傾向があり、この取り扱いが精度向上の課題である。

また、ADCP のトランスデューサーの個体差が非常に大きいので、測器毎にその特性を把握したうえで、濁度を推算することが極めて重要である。

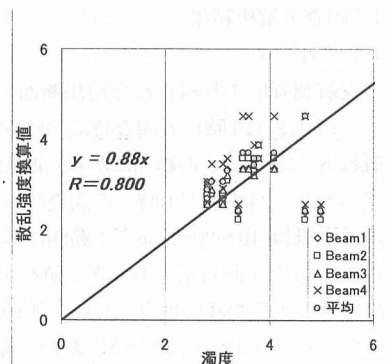


図-4 濁度検証結果

5. 今後の課題

散乱強度から濁度を算出する手法を確立し、H-ADCP システムに導入して浮遊土砂の新しいモニタリングシステムを開発することが本研究の課題である。本稿では前段階として散乱強度から後方散乱強度を求め、濁度を推算する手法について報告したが、次のような課題が挙げられる。

- (1) 最終的に SS 濃度への変換が必要であり、濁度から SS 濃度を推定する手法を確立すること。
- (2) 濁度の変動に応じて、平均粒径や後方散乱係数を動的に切り替えるシステムを確立すること。
- (3) H-ADCP システムには濁度の鉛直計測機能がついており、その機能との連携させること。

参考文献

- 1) RD Instruments, (1996), Principles of Operation A Practical Primer, RD Instruments, San Diego, Ca, USA
- 2) Thorne, P. D. and Campbell, S. C., (1992), Backscattering by a Suspension of Spheres. J. Acoust. Soc. Am
- 3) 大東秀光・上坂薫ほか、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), 土木学会第 56 回年次学術講演会論文集第 II 部門 2002

3. 調査・解析方法

3.1 調査方法

平成 16 年 7 月 24 日、愛知県 T 川（河口より約 7km、川幅約 250m の感潮域）において、ADCP（RD 社製、WH-ADCP_1200kHz）を用いた河川横断曳航調査と、多項目水質計（アレック社製、ACL208）を用いた水質調査を実施した。計測項目は水温・塩分・濁度とし、曳航測線上の 1 地点（河川中央部）において鉛直方向に 10cm 間隔で計測した。曳航・水質調査とも、下げ潮時に 3 回（10 時、11 時、12 時）実施した。

3.2 解析方法

ADCP の散乱強度を式(1)、(2)を用いて懸濁物質濃度に換算し、濁度の実測データを用いてキャリブレーションを行った。各種パラメータを設定してキャリブレーションを繰り返し行い、換算値と濁度の相関が最も高い値を採用した。図-1 に 4case 分のキャリブレーション結果を、表-1 に各 case のパラメータを示す。このようにして決定したパラメータと式 (2) を用い、河川断面の散乱強度を濁度に換算することで河川断面の濁度分布を算出した。さらに、算出した濁度分布と ADCP により計測した断面流速分布を掛け合わせることで河川の浮遊土砂フラックスを求めた。

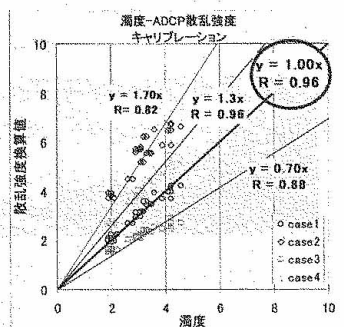


図-1 キャリブレーション結果

4. 調査・解析結果

4.1 調査結果

曳航調査により得られた河川断面の流速分布を図-2 に示す。1 回目（10 時）の調査時における流下軸方向の流速は、概ね 5～15cm/sec の範囲にあり、断面平均流速は約 6cm/sec であった。2 回目（11 時）の調査時における流下軸方向の流速は、概ね 10～20cm/sec の範囲にあり、断面平均流速は約 11cm/sec と 1 回目よりも大きな値を示した。両調査とも、兩岸付近の水深の浅い地点において流速が大きくなる傾向が見られ、特に 1 回目の調査時において顕著であった。

次に、水質測定結果を図-3 に示す。1 回目の調査時（10 時）において、水深 0.5m 付近に顕著な水温・塩分躍層の形成がみられ、水深 3m 以深ではほぼ一様な分布を示した。また、濁度の鉛直分布は表層付近において 7～8 度と比較的高く、水深 2m まで一様に減少した後はほぼ一様な値を示した。2 回目

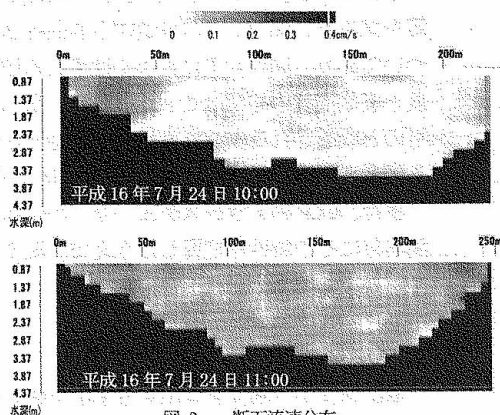


図-2 断面流速分布

（11 時）の調査時における塩分の鉛直分布をみると、表層から 1m にかけて塩分躍層がみられるものの 1 回目よりも塩分差が小さく、また水深 1m 以深ではほぼ一様な分布を示した。水温についても、表底層間の温度差が小さくほぼ一様な分布であった。濁度は、水深 1.5m 付近において上昇がみられた他は、1 回目とほぼ同様の分布を示した。

4.2 解析結果

キャリブレーションは 2 回（10 時、11 時）の調査より得られた散乱強度と濁度データを用いて実施した。これらのキャリブレーション結果を基に算出した濁度分布結果（10 時、11 時）および、浮遊土砂フラックス分布を図-3 に示す。濁度は 0～8 度の間で分布しており、左岸側の浅場が相対的に高くなった。なお、本調査では採水による SS 分析を実施していないため、土砂フラックスは濁度（浮遊懸濁物質の光学的に計測した体積）の移動量である。濁度から SS に換算する手法は今後の課題である。