

ADCPの超音波反射強度を利用した 濁度計測技術について

TECHNOLOGY FOR TURBIDITY MEASUREMENT USING ACOUSTIC BACKSCATTER.

橘田隆史¹・横山洋²・橋場雅弘³・新井励⁴

Takashi KITSUDA, Hiroshi YOKOYAMA, Masahiro HASHIBA and Rei ARAI

¹非会員 農学修士 (株)ハイドロシステム開発 (〒550-0022 大阪市西区本田3丁目2-18ハイドロ第一ビル)

²非会員 工学修士 (独)土木研究所寒地土木研究所(〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

³非会員 (株) 福田水文センター (〒001-0024 札幌市北区北24条西15丁目2-5)

⁴非会員 工学博士 大阪府立大学大学院 (〒599-8531 堺市中区学園町1丁目-1)

In this study, we report on the technique for the measurement of the Acoustic Backscatter Turbidity (ABT) with ADCP. We first describe the theory and mathematical model of sound propagation underwater in detail. Subsequently, we introduce a generic application with GUI to calibrate each parameter on this technique easily for everyone. Finally, applying this technique to the ADCP measurements in Dam and Ishikari River, we verify that this technique can accurately extract turbidity data from echo intensities measured by ADCP. Since the results of ABT calculation are in good agreement with field observations of turbidity meter, we confirmed this ABT technique is effective and robust for turbidity in depth profile. This technique is not only extremely useful and also superior to an optical instrument alone, because it enables an understanding of the vertical distribution of turbidity by a non-contact instrument.

Key Words : ADCP, ABT, 濁度計測, VisualADCPtools,

1. はじめに

本報では、ADCPの超音波反射強度を応用した濁度計測手法について、簡便にキャリブレーション係数を決定して濁度の算出ができるアプリケーションを開発したので、現地検証を行った結果と合わせて報告する。ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler : Teledyne RD Instrument社製)は超音波のドップラー効果を応用した流速計で、最大の特長は、①鉛直 (もしくは水平) 多層の流向流速プロファイルが計測できること、②航走断面の流速空間分布を計測できること、であろう。ADCPは海洋や沿岸域、河川・陸水域において、流況を計測するツールとして広く普及している。特に近年では、橋上操作艇を利用して河川の断面流量を観測する方法¹⁾が普及しつつあり、これまで実績の少なかった洪水観測においても活用され始めて来た。ここで、ADCPによる洪水流量観測に加えて、断面の濁度分布やSSのフラックスが同時に計測することが可能となれば、洪水時の土砂動態を把握する上で強力な観測手法となりうる。また、既に河川に長期設置されているADCPを利用して濁度を算出することができれば、新たな機器投資を行うことなく土砂モニタリングデータを取得することが可能となり、費用対効果は高い。

一方、ADCPの超音波反射強度から濁度を高精度に算出する方法については国内外でも多くの論文で報告されて

おり、その有効性は既に評価されている。しかし、現状では一部の研究者が自作の解析プログラムを用いて検証している段階であり、一般に活用できる状況には至っていない。そこで、ADCPユーザーが容易に濁度への変換を行うことの出来るアプリケーションを開発し、現地実証を行った。このアプリケーションは、VisualADCPtoolsというADCPデータ解析・ビューワーソフトのオプション機能として提供される。本報では、当該アプリケーションを導入するに際しての基本的な技術情報を整理するとともに、現地実証結果について報告するものである。

2. 超音波後方散乱濁度 (ABT) の概要

(1) 超音波後方散乱濁度 (ABT) の定義

一般的に現場での濁度計測手法としては、光の減衰量を計測する透過方式と、後方散乱強度を検出して濁度に変換する方式が存在するが、現在では後者が機種の多さや市場での普及率は圧倒的に多いため、本報では光学式濁度計としては後者について言及するものとする。

光学式濁度計はOptical Backscatter Sensor(OBS)と呼ばれることが多く、その計測値はOBSdataもしくは、Optical Backscatter Turbidity(OBT)と呼ばれている。一方、超音波で計測する濁度を、Acoustic Turbidity(AT)と表記するケースが散見されるが、光学式後方散乱方式で計測した濁度をOBTと表記するのであれば、超音波後方散乱

方式で計測した濁度は、Acoustic Backscatter Turbidity (ABT)と表現した方が対比しやすい。このため、本報では超音波後方散乱方式で計測した濁度をABTと表現する。なお、海外ではAcoustic Turbidity Profilerと呼ばれる超音波で濁度のプロファイルを計測する専用の機器も販売されているが、本報では計測機器としてはあくまでもADCPを利用することを前提としている。

ADCPで濁度を計測するメリットとしては、流況観測を行う際に、特別な機器を追加することなく濁度プロファイルの計測が出来ることである。また、ADCPと同様に鉛直（もしくは水平）のプロファイル計測や航走断面の濁度空間分布が計測できるため、シングルポイント式では取得することが困難であった多量の情報を得ることが可能となる。また、流速と同時に濁度が計測できるため、土砂フラックスの計測が可能となること、および過去に取得された膨大なADCP観測データを使って、濁度値を推定することが可能となればメリットは大きい。

(2) ADCPによる濁度計測の歴史

TRDI社は、Principles of Operation A Practical Primer (1996年)²⁾の中で、反射強度が水中懸濁物濃度と相関があることを示唆している。また、濁度絶対値への変換に際しては、水塊吸収、音響拡散、トランスミットパワー、散乱係数などを考慮することが必要であると述べている。これが、ADCPで濁度が計測出来るとされた最初の根拠であろう。現在では、TRDIが提供するWinRiverやWinADCPなどの標準ソフトに、散乱強度を算出する機能が実装されているが、これはあくまでも相対変化を見るに留まるものであり、また濁度値への変換はサポートされておらず、実用的ではない。P.D.Thorne³⁾らは1993年に超音波の反射強度から浮遊物質濃度を算出する基本式を発表しており、TRDI社のKent.Deines⁴⁾は、ADCPのトランスミット特性から後方散乱強度を算定する際の、機器特性に関する詳細な技術レポートをTRDIホームページ上で公表している。

海外では、英国DRL社および米国AquaVision社などがADCPデータを使った濁度算出ソフトを商用開発し、販売している。しかし、価格が高額なうえに操作が非常に煩雑で、使い易いものではない。国内では、稲垣⁵⁾、川西⁶⁾、横山⁷⁾、橋田⁸⁾、新井⁹⁾らが独自にアルゴリズムを試作し、その有効性を実証しているが、いずれも専用のプログラミング計算に依るものであり、広く一般に利用できるアプリケーションの普及が望まれていた。

(3) 汎用解析ソフトの開発

こうした背景をうけて、(株)ハイドロシステム開発ではVisualADCptoolsというADCPのデータ処理ソフトのオプション機能として、ABT計算機能を開発した。これは、新井らによって改良されたアルゴリズムを用いており、実測濁度とのキャリブレーションやデータ出力を簡便に行うことのできるユーティリティである。

ユーザーは、現地で濁度データを取得し、このソフト

でキャリブレーション係数を簡便に求めることが出来る。実測濁度とのキャリブレーションは、鉛直プロファイルと時系列データの双方に対応しており、これらを併用することで実測濁度との整合性を高めることが出来る。

2. ABTキャリブレーションソフトの概要

(1) ABTの算出方法

超音波が水中の懸濁物質に当たって反射する際に、懸濁物質濃度によって後方散乱 (Backscatter) が発生するが、これは、超音波が水中を通過する際に生じる水塊による発散損失と吸収損失、懸濁物質による吸収、超音波の拡散・距離減衰などの影響を、往復の伝播経路で受ける。また、濁質による発散損失は超音波伝播経路上の積分値として影響を受ける。ADCPはこれらの影響を受けた結果として反射強度 (Echo Intensity) が得られるが、この反射強度(count)は単純に信号強度を表した値であり、距離方向に大きく減衰する値となっている。Hay¹⁰⁾やThorneらはパルス長 τ の音波が水中に発射された際の、浮遊懸濁物質により散乱される強度と浮遊懸濁物質濃度Mとの関係式を解析的に求め、詳細な実験データの取得により実験式を確立した。これがいわゆるソナーの式と呼ばれる基本式であり、本報でもこれを用いている。また、ADCPではプロファイル計測が可能であるが、ある場所Pの散乱強度がADCPで反射強度として検出される際には、ADCPから場所Pまでの懸濁物質の総量の影響を往復経路で受けて減衰する。このため、ADCPの第一観測層から最初に濃度を算出し、それを用いて次の観測層の値を求める必要があるため、漸化式を用いている点が特長である。

(2) ABT計算アルゴリズム

ABTの計算アルゴリズムを以下に示す。

① 散乱強度 (EI) の伝搬損失

散乱強度EIはソナー方程式から、式(1)で表わされる。

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

EI= 散乱強度 (dB), SL= 発射強度 (dB), SV= 粒子の後方散乱, 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)

② 懸濁態濃度 (M(r)) の算出

懸濁態濃度は、音響強度と懸濁態濃度の関係について、伝搬損失を考慮した式(2)で算出できる。

ここでは懸濁物質の影響とADCPトランスデューサーの感度調整パラメータも含まれる。

$$M(r) = (K \langle P_{rms} \rangle)^2 \frac{\langle a_s \rangle \rho_s}{\langle f \rangle^2} e^{4r(\alpha_w + \alpha_s)} \quad (2)$$

M(r)= r (トランスデューサーからの距離) における濃度, K=トランスデューサーに関する定数, P_{rms} =後方

散乱強度, a_s =粒径, ρ_s =粒子密度, $\langle f \rangle$ =粒子の関数,
 α_w =水の吸収係数, α_s =粒子の吸収係数

(2)式の両辺の対数をとると

$$\begin{aligned} \log_{10} M(r) &= 2 \log_{10} (K \langle P_{rms} \rangle r) + \log_{10} (a_s \rho_s) \\ &\quad - 2 \log_{10} f + 4r(\alpha_w + \alpha_s) \log_{10} e \\ &= 2 \log_{10} \left(\frac{ra_s P_{rms}}{f} \right) + 4r(\alpha_w + \alpha_s) \log_{10} e \\ &\quad + \log_{10} (K^2 \rho_s) \\ &= S \left\{ \log_e \left(\frac{ra_s P_{rms}}{f} \right) + 2r(\alpha_w + \alpha_s) \right\} + K_s \\ (\because S &= 2 \log_{10} e, K_s = 2 \log_{10} (K^2 \rho_s) = const) \\ &= S \{ dB + 2r(\alpha_w + \alpha_s) \} + K_s \\ (\because dB &= \log_e \left(\frac{ra_s P_{rms}}{f} \right)) \end{aligned} \quad (3)$$

S = 後方散乱係数, dB =拡散補正後の後方散乱強度,
 α_w =水の吸収係数, α_s =粒子の吸収係数, K_s =トランス
 スデューサー定数

③水の吸収係数 (α_w)

水塊による音波の減衰吸収のメカニズムは, 水の粘性
 と熱伝導による作用と媒質中の分子による緩和作用があ
 り, 前者は無視できるレベルであるが, 化学的な緩和作
 用は, 塩水に含まれる少量の塩類により起こる吸収を考
 慮する必要がある. ここではShukin and Marsh¹¹⁾および
 Liebemann¹²⁾の式を用いた.

$$\alpha_w = \frac{f}{91500} \left[\frac{1.86Sf_T f}{(f_T^2 + f^2)} + \frac{2.86f}{f_T} \right] \quad (4)$$

α_w =水の吸収係数, f =周波数 (MHz), f_T =緩和周波数
 (MHz), S =塩分 (ppt)

$$f_T = 21.9 \times 10^6 \left(6 - \frac{1520}{273+T} \right) \quad (5)$$

T =水温 (°C)

④粒子による減衰係数 (SAC)

粒子による音波の減衰係数 (SAC) は, 本手法により求
 められる粒子濃度 M と粒子による拡散および吸収という
 3つの現象を考慮する必要がある. すなわち, 音波は単位
 粒子による拡散 α_1 と吸収 α_2 の粒子の総和で表現するこ
 とが出来するため, 式(6)のように示される.

$$SAC = M(\alpha_1 + \alpha_2) \quad (6)$$

a) 粒子による拡散係数 (α_1)

河川中に懸濁態物質が存在すると超音波散乱が生じる.

ここでは, 発生する超音波散乱がレイリー散乱であるこ
 とが条件である. レイリー散乱の条件は式(7)より,
 ADCPの発信周波数 (1200kHz (1.2MHz) など), 水中の音
 速 (1500m/sなど), 水中懸濁物質の粒径から $\alpha \ll 1$ とな
 れば適用範囲内であることがわかる.

$$\alpha = \frac{\pi D}{\lambda} = \frac{\pi D f}{V_s} \quad (7)$$

λ = 波長, f =周波数 (MHz), V_s =音速 (m/s)

$\alpha \ll 1$ レイリー散乱

$\alpha \approx 1$ ミー散乱

$\alpha \gg 1$ 幾何光学近似

この条件を満たした単位粒子による減衰係数 α_1 は
 Sheng and Hay¹³⁾の式(8)で示される.

$$\alpha_1 = \frac{K_a}{\rho_s} k^4 a_s^3 \quad (8)$$

ρ_s = 粒子密度 (g/m³), K_a = 0.18 粒子の圧縮性
 や密度に関する定数

b) 粒子による吸収係数 (α_2)

粒子による吸収はUrick¹⁴⁾の式で求められる.

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= \frac{M_r k (\sigma - 1)^2}{2\rho_s} \left[\frac{s}{s^2 + (\sigma + \delta)^2} \right] \\ \sigma &= \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad \delta = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{9}{(2\beta a_s)} \right] \\ s &= \frac{9}{4\beta a_s} \left[1 + \frac{1}{\beta a_s} \right] \quad \beta = \left[\frac{kV_s}{s\nu_w} \right] \end{aligned} \quad (9)$$

ρ_s =粒子密度, ρ_w =水密度, V_s =音速,
 ν_w =水中における粒子の運動速度

⑤近場補正

Rayleigh 散乱領域と呼ばれる近距離音場における散
 乱強度は, 音源からの直接波と輪郭波の干渉効果により
 大きく変動し, 実際の受信強度は球面拡散を想定したも
 のより小さくなることが知られている. この影響は
 Downing¹⁵⁾らにより詳細に調べられており, 実験的に求
 められた式(11)を用いることで, 近距離音場における懸
 濁物質の散乱強度を補正することが可能となる. ここで
 d は円形ピストン音源の(仮想)直径を表す.

$$\varphi = \frac{1 + 1.35z + (2.5z)^{3.2}}{1.35z + (2.5z)^{3.2}} \quad (10)$$

$$z = \frac{\gamma}{\gamma_n} \quad \gamma_n = \frac{\pi d^2}{\tau}$$

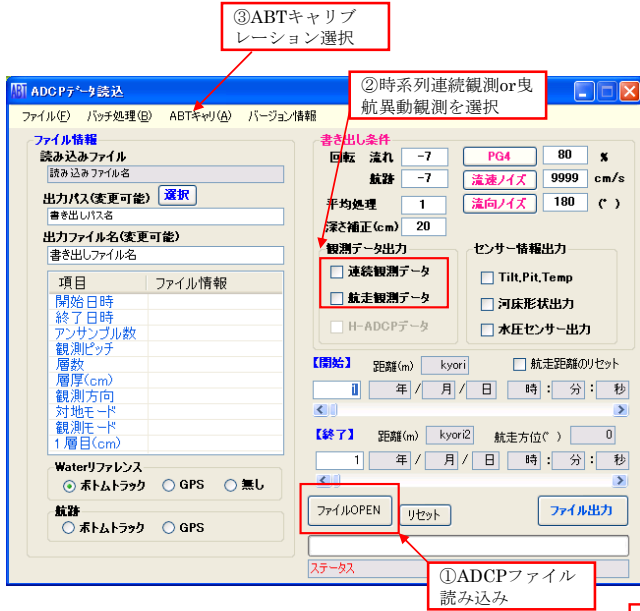


図-1 ADCPデータ読み込み画面

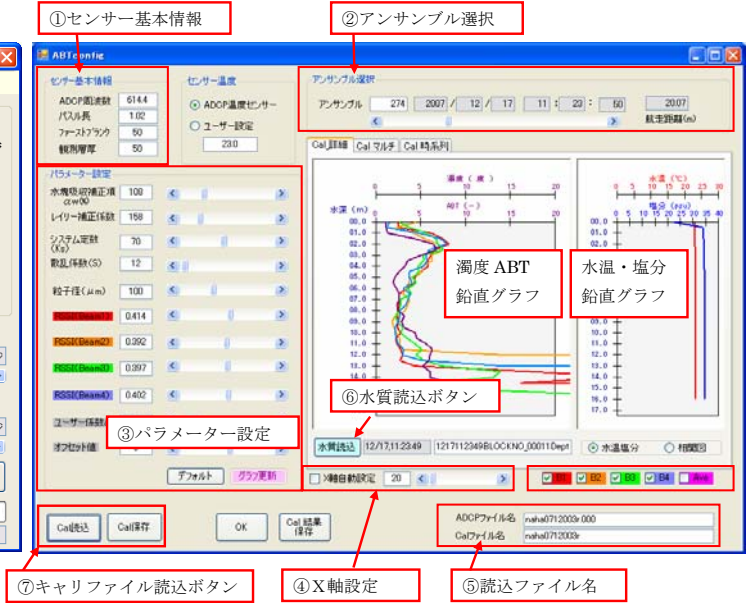


図-2 ABTキャリブレーション画面

(3) キャリブレーションデータの取得

ABTのキャリブレーションには水温、塩分、濁度の現地データが必要である。これらのデータは、鉛直プロフィールデータと定点での連続データにそれぞれ対応しており、両者を併用することで精度の高いキャリブレーションが可能となる。鉛直プロフィールデータの計測は、水温、塩分、濁度データを素早く計測出来る機種を使うこと効率的である。本研究では数タイプの多項目水質計で試験を行ったが、JFEアドバンテック社製のAAQシリーズがキャリブレーションデータの取得には最も適していた。この機種は、鉛直にセンサーを垂下させながら1秒ピッチでロギングさせ、かつ水深10cm毎のプロファイリングデータとして出力することができる。また、1秒1m程度の速度で降ろしながら計測させても非常に安定したデータを取得することができた。さらに、連続計測にも対応しており、1台でプロファイリング計測と連続計測の双方が可能であるため、効率的なデータ取得が可能である。

(4) アプリケーションの操作説明

操作方法は、最初に図-1に示す画面でADCPのバイナリーデータを読み込み、連続観測か航走観測かを選択する。図-2に示す画面では、キャリブレーション用の濁度・水温・塩分データを読み込むと、データの観測時間を自動認識し、最も近いADCP散乱強度データがグラフで示される。各種パラメータの設定は、スライダーを使用して、グラフ上の濁度データにABTをフィッティングさせる。この場合、パラメータ毎の感度を理論式などから把握しておく必要があるが、濁度ABT鉛直グラフを見ながら視覚的にキャリブレーションを行うことが可能である。図-3は3データ同時にキャリブレーションを行った画面で、図-4は濁度の連続データでキャリブレーションを行った画面である。

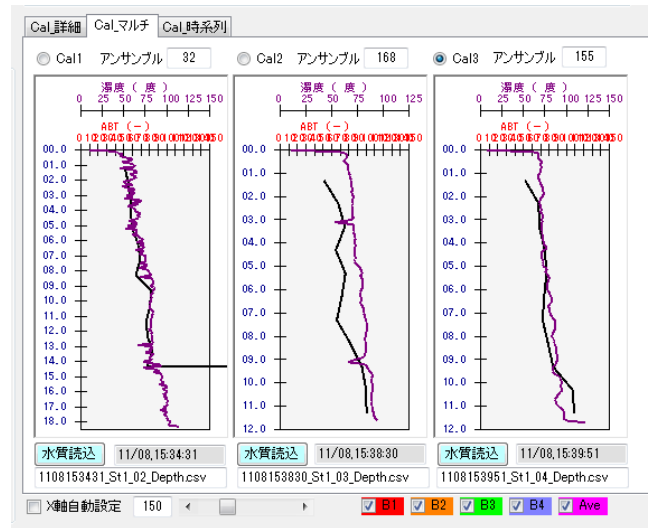


図-3 マルチキャリブレーション画面

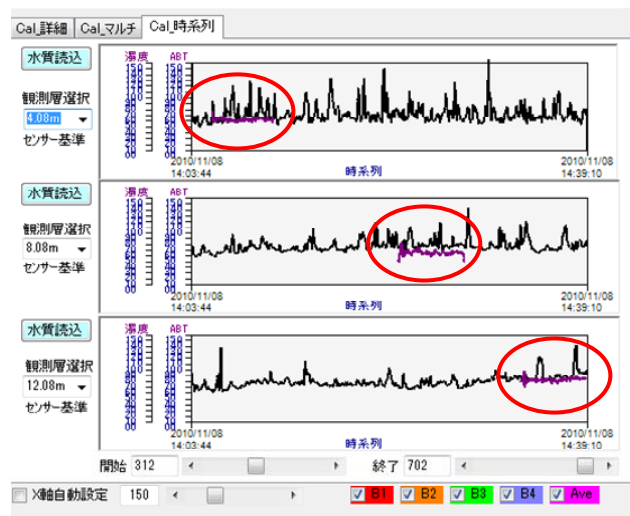


図-4 時系列キャリブレーション画面

3. 現地実証実験結果

(1) ダム貯水池

ダム貯水池内でABTの検証を行った結果を示す。ADCPはワークホース600kHzを用い、比較観測にはJFEアドバンテックのAAQシリーズを用いた。ADCPの設定は、層厚(Ws)1.0m, WP10, WB1で計測を行った。

図-5は実測濁度と鉛直プロファイルと比較した図である。赤丸が実測濁度、グレーの線は濁度実測値の前後9アンサンブル分のABTをプットしたもので、青丸は9アンサンブル分のABTを平均したものである。アンサンブル単体ではABTのバラツキが大きい、変化の幅の中に濁度の実測値が概ね入っており、ABTの平均値と実測濁度は比較的良く合っていると見える。図-6は相関図を示したもので、傾きが概ね1に近い値となっており、濁度とABTがほぼ等価に算出されていることが分かる。図-7はABTの断面コンター図である。調査当日は降雨が見られ、貯水池の法面から濁水が流入し、水深15mあたりに滞留している様子が伺える。また、深部には高濁度水塊が存在しており、濁水長期化現象を裏付けている。なお、

コンター図の湖底付近に顕著に高い値がみられるが、これはビームの干渉によるものと思われるため、相関図からは棄却している。全体的なプロファイルは比較的良好に再現できているが、局所的な濁度変化はABTで表現しきれない状況が多かった。これは、ADCPのビームが比較的広い範囲の平均値を計測していることが原因と考えられる。また、ADCPの計測原理上、ボトム付近にはサイドローブとの干渉域が生じるが、ダム貯水池内のように水深変化が著しい場所においては、干渉域が拡大する傾向が見られる。この際、解析結果としては大きな値が出力されるが、ボトム付近のデータについては信頼性が低いと判断し、ノイズデータとして棄却する必要がある。

キャリブレーションの際、船上からはデータ転送装置(RemoADCP)を用いてリアルタイムに陸上へデータ転送を行い、陸上にてADCPのデータ取得とキャリブレーション操作を行うことが可能である。また、1度キャリブレーションを行えば、環境条件に大きな変動が無い限りは再度のキャリブレーションを行う必要は無く、ADCPの観測のみでABTを算出することが可能である。

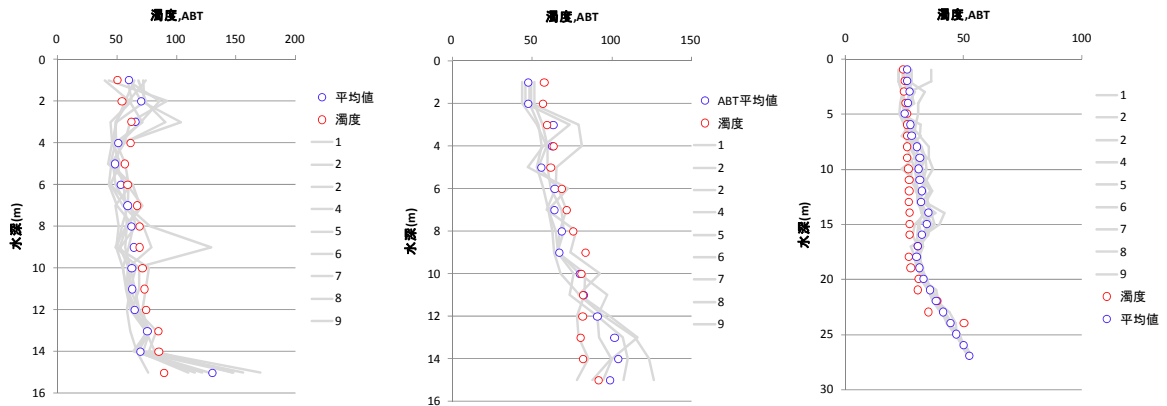


図-5 鉛直プロファイルの比較 (赤：実測値, 青：ABT_9データ平均)

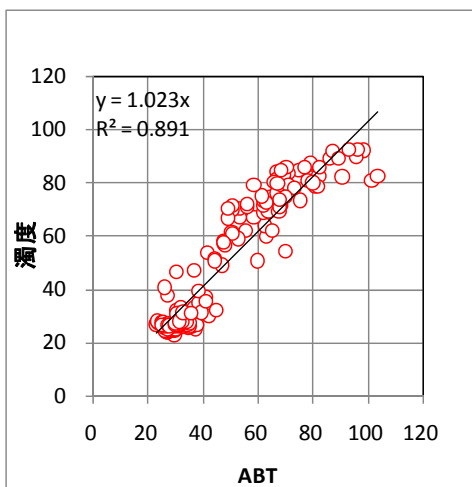


図-6 相関図

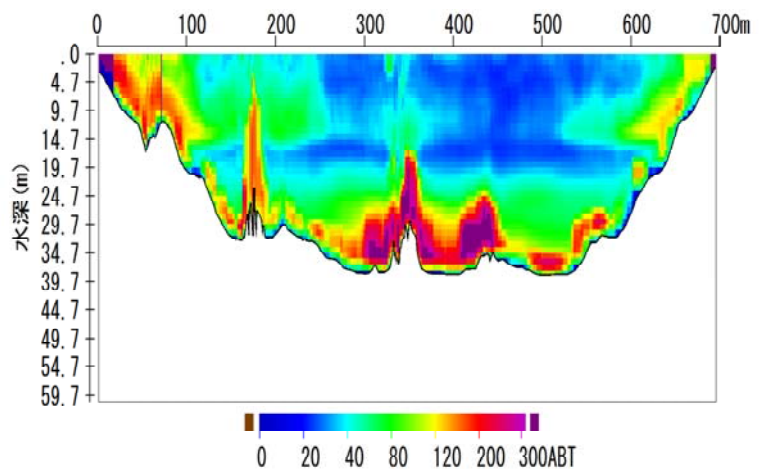


図-7 ABTの断面コンター図

(2) 石狩川での検証結果

2009年8月1日～8月31日の期間で石狩川石狩大橋観測所 (Kp26.5) に上向きに河床設置したADCPの散乱強度を用いて超音波濁度を算出した¹⁶⁾。当地点は期間内に塩水の遡上はなかったが、流況は常に潮汐影響を受ける感潮域である。

① 鉛直濁度の精度検証

実測値のある8月11日と8月31日の濁度鉛直分布を図-8で比較し、精度検証を行った。実測値の測定時刻(12時)前後の超音波濁度 (ABT) を併記している。いずれも濁度10度前後と小さいが、算出結果は良く再現できている。なお河床から1.0m程度はADCPの不感帯に該当し、計測不能領域である。

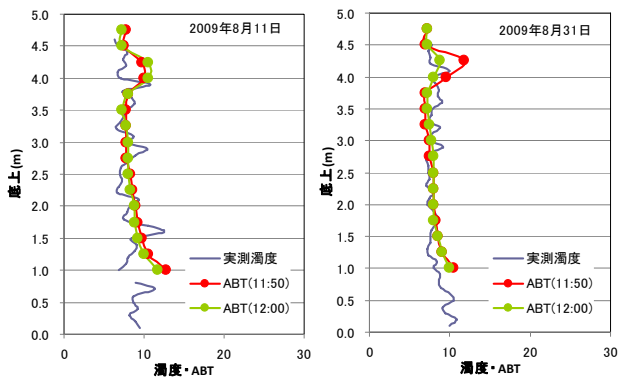


図-8 濁度鉛直分布精度検証

② 鉛直濁度分布の時系列変化

図-9に降水量、風向風速、潮位、ADCPによる流速(主流方向)と水位、流量、ADCPによる超音波濁度を示す。ほぼすべての時期及び深度において、濁度は10度前後で推移している。底面近傍の濁度が変化する期間は、8月15～17日及び8月21～25日にかけて2回みられたので、濁度変動と外的因子との関係を検討した。

① 8月15日～17日：

- 8月15日は風速5m/s以上で下流からの強風があり、それに応じて水位勾配が流速、流量が減少している。濁度も低下していることから、濁質の輸送量も減少する。
- 8月16日から17日にかけて、上げ潮時には水位が上昇する一方、流速・流量は減少している。この時、濁度も低下しており、濁質輸送量は小さくなる。一方、下げ潮時には水位が低下、流速・流量が増加すると同時に、濁度が上昇するため、輸送量も増加することとなる。

② 8月21日～25日：

- 8月21日及び24日は、20日の降雨による出水が影響したと思われる濁度上昇が、標高-2m以深からみられる。
- 出水により上昇した濁度は、流速の増加とともに、-2mよりも上層へ拡散する傾向がみられる。上層部濁度は次第に低下するが、河床付近の高濃度濁水は残存している。

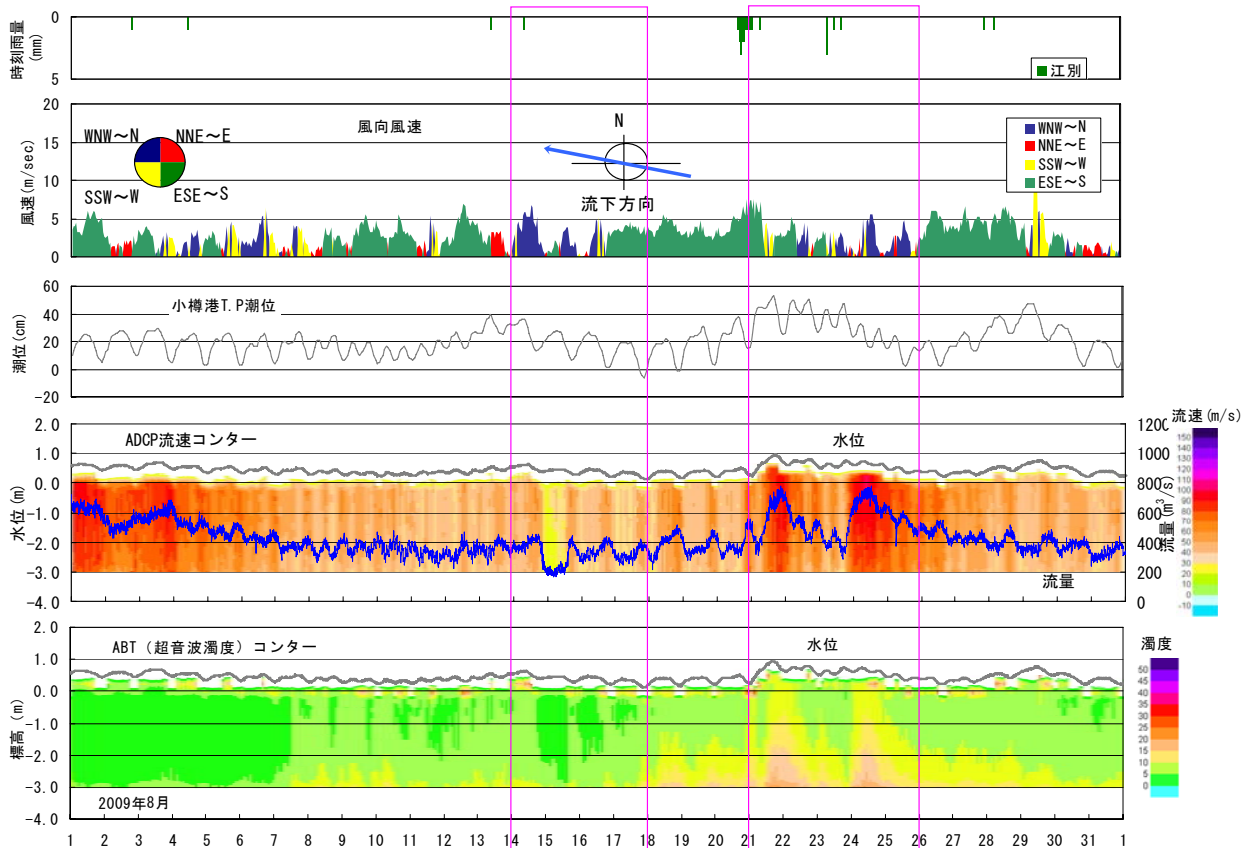


図-9 石狩川でのABTと気象・流況

4. ABT解析を行う場合の条件について

(1) 機器選定

TRDI社のワークホース ADCP については、2400, 1200, 600, 300kHzの各機種で試験観測を行い、概ね全ての周波数帯で良好な観測結果を得ることができた。また、管路設置型のV-ADCPおよびフェーズドアレー型のRiverRay600kHzについても良好な解析結果が得られ、ABT解析への適用が可能であることが確認できた。一方、海洋大深度向けの機種（150kHz, 75kHz, 38kHz）については未検証であり、今後は外洋での適用性についても検討を進める予定である。

(2) ABTに適した観測設定について

ABT解析に適した観測設定が存在することが確認された。WBコマンドは本来、計測レンジを30%ほど長くするためのコマンドであり、WB0はバンドワイズを狭くすることで最大計測レンジを1.3倍に延ばすことができるものである。一方、WB0で計測することで反射強度の感度が著しく高くなるという効果が確認された。図-10は、同じ場所でWB0とWB1の比較を行ったデータである。WB0とWB1を比較すると50countほどWB0が大きく計測される。また、WB0では濁りに対しての感度も向上し、濁りの小さな水域でも解像度を高めることが可能と考えられる。しかし、WB0ではバックグラウンドレベルが上昇するため、高濁度には逆に弱く、レンジオーバーによって解析不能となりやすい。このため、現場の状況に応じて適切に選定する必要がある。

層厚(WS)は可能な限り大きく設定した方が反射強度のばらつきが小さくなる。但し、ADCP観測はあくまでも流況計測が主目的であるため、適正な流況が計測できる範囲で調整されるべきである。

Ping数(WP)については、シングルピングでは非常にバラツキが大きくなり、値が安定しない。最低でも10ping(WP10)以上で設定するほうが望ましい。

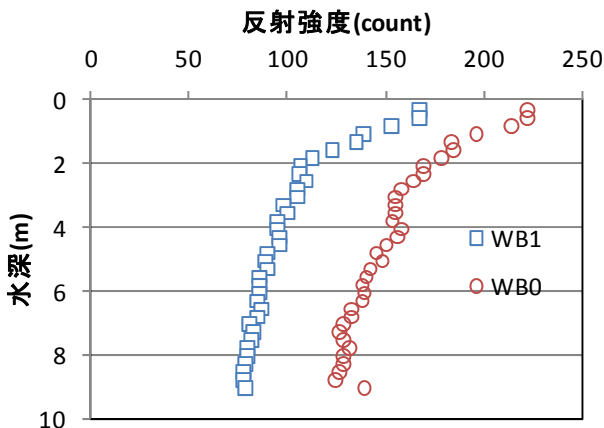


図-10 WB0とWB1の反射強度の違い

5. ABTの実用性についての評価

(1) 汎用アプリケーションの開発

ADCPの超音波濁度が有効であることは多くの論文から既知の事実であり、計算手法もほぼ確立されている。しかし、一般に利用できる簡便なユーザーインターフェースのアプリケーションが無かったため、本報では簡易アプリケーションのプロトタイプを用いてその有効性を評価した。

(2) アプリケーションの有効性

現地でのキャリブレーション方法の確立と合わせて、ADCPのバイナリーデータから簡便に実測濁度とのキャリブレーションを行い、ABTデータを出力できるアプリケーションを開発し、有効であることが示された。

キャリブレーションのための比較観測としては、鉛直プロファイル計測と連続計測の双方で比較することが有効であることが示された。

(3) ADCPで濁度計測を行うメリット

ADCPでの流況観測データに付随して濁度分布が計測出来れば、新たに機器を追加することなく多量の観測データが得られるため、非常に有効な手段である。濁度の空間的な分布を計測出来るため、これまでに無い調査手法として期待できる。ADCPのバイナリーデータを元に過去の観測データから濁度を算出することも可能となれば、埋もれた資産を活かすことが可能となる。流速と同時に計測出来ること、ADCPの空間解像度で濁度計測が可能であることから、河川断面の濁り分布や土砂フラックスの計算に有効である。

(4) ABT利用に際しての課題

精度はシングルポイント式の光学式濁度計には及ばないと考えるべきである。但し、光学式濁度計では計測困難な断面観測や鉛直プロファイルの連続観測などが可能であり、新たな観測手法としては非常に有効であると考えられる。断面観測の場合は、水温塩分や濁質成分、粒径分布などの環境条件が同様であると仮定して観測を行うことができる。しかし、連続観測では出水などのイベント時には環境条件が大きく変動するため、環境変化に追従できるモデルの開発が必要である。今後は新井が開発した光学式濁度計を初期値として用いる方法についてもアプリケーションに機能追加することが必要である。

H-ADCPによる観測では、浅い河川などではABT解析がうまく行かないことが多い。濁りの変化よりもむしろ水位変動に追従するような結果が多く、サイドローブが水面に干渉してコンタミネーションが生じている可能性も考えられる。ただし、十分に水深が深い場合はコンタミネーションの影響は無視できることが確認されている。今後はH-ADCPでの活用についても検証を進める。

6. まとめ

ADCPによる超音波濁度計測技術について、手法を確立し、汎用アプリケーションを開発したことで、より簡便にABTを算出することができるようになった。各現地観測においてその性能は評価され、実用性の向上を得た。

今後は、さまざまなフィールドでのABT適用を評価すると同時に、最新の研究と連携しながら、現場で使いやすいツールとしての技術として研磨していく必要がある。

謝辞：本研究では寒地土木研究所による石狩川観測データを提供して頂いた。ここに記して謝意を称します。なお、鹿島建設(株)はADCPによる工事の濁り監視技術に関連して特許を取得しており、ここで紹介したシステムよりもさらに発展したシステムを活用している。本報は河川での利用に言及したものであるため、当該特許には抵触しないことを述べておきます。なお、本手法を工事の濁り監視用途に利用する際は、鹿島建設(株)の許可が必要となる。

参考文献

- 1) RD Instrumens : Principles of Operation: A Practical Primer 1996
- 2) 岡田将治：ADCPを搭載した橋上操作艇による洪水流観測技術の進展，河川流量観測の新時代,2010年9月
- 3) P.D.Thorone, S.C.Campbell : Backscattering by a suspension of spheres The Journal of the Acoustical Society of America, Volume 92, Issue 2, 1992, pp.978-986
- 4) Kent L.Deines : Backscatter Estimation Using Broadband Acoustic Doppler Current Profilers, TRDI Report.
- 5) 稲垣聡, 山木克則, 田中章宏 : 工事海域の濁り監視と予測, 海岸工学論文集, 第49巻(2002)1496-1500

- 6) 川西澄, 水野博史 : 浅水感潮域における水中音響散乱体の変動特性, 水工学論文集, 第45巻, 2001, pp.1045-1050
- 7) 横山勝英, 藤田光一 : 多摩川感潮区域の土砂動態に関する研究, 水工学論文集, 第45巻, 2001, pp.937-942
- 8) 橋田隆史, 岡田将治, 新井励, 下田力, 熊田康邦 : ADCPを用いた河川流況計測法における課題と国内外における応用観測事例, 河川技術論文集, 第12巻, 2006, pp.133-138
- 9) 新井励, 中谷直樹, 奥野武俊 : 海域モニタリングに適したADCPを用いた濁度の鉛直分布計測手法, 日本船舶海洋工学会論文集, (7), 2008, pp.23-30
- 10) J.Sheng, A.E.Hay : An examination of the spherical scatterer approximation in aqueous suspensions of sand, Journal of Acoustic Society of America, 83, 1988, pp.598-610
- 11) M.Shulkin and H.W.Marsh:Sound absorption in sea water, Journal of Acoustic Society of America, 34, 1962, pp.864-86
- 12) L.N.Liebermann:Origin of sound absorption in water and in sea water, Journal of Acoustic Society of America, 20, 1948, pp.868-873
- 13) J.Sheng, A.E.Hay : An examination of the spherical scatterer approximation in aqueous suspensions of sand, Journal of Acoustic Society of America, 83, 1988, pp.598-610
- 14) R.J.Urick:The absorption of sound in suspen-sions of irregular particles, Journal of Acoustic Society of America, 20(3), 1948, pp.283-289
- 15) A. Downing, P. D. Thome and C. E. Vincent, "Backscattering from a suspension in the nearfield of a piston transducer", Journal of Acoustic Society of America,97, 1995, pp. 1614-1620
- 16) 横山洋, 橋場雅弘, 橋田隆史 : ADCPを用いた石狩川感潮域の濁度推定と変動メカニズム検討

(2011. 7. 31受付)