ADCP を用いた茨戸川の底質巻上げ現象の観測

Observation of sediment resuspoension with ADCP in the Barato River

（独）土木研究所寒地土木研究所　○正員　横山　洋（Hiroshi Yokoyama）
正員　浜本　聡（Satoshi Hamamoto）

1.　はじめに

閉鎖性水域では，風などに起因する底質せん断力に応じて巻上げが生じ，水質に大きく影響を及ぼすことが既往の研究成果から知られている．例えば関ら [1]は霞ヶ浦における現地観測結果及びシミュレーションをもとに，現地での濁度変動メカニズムを解明するとともに，風と濁度上昇の関係を明らかにしている．

著者らは石狩川の感潮区間にあり，富栄養化が進行した旧川（河跡湖）である茨戸川（図-1）を対象に，底質巻上げのメカニズムの検証と巻上げ量のモデル化を進めてきた．これまでの検討の結果，茨戸川の底質巻上げ特性は場所により異なることを確認した [2]．すなわち潮汐の影響が比較的小さいと考えられる上部湖盆では，底質巻上げは風速と強い相関が窺えた．一方潮汐の影響が強いとみられる下部湖盆では，風速に関係なく底質巻上げ量はほぼ一定の範囲の値となった．両者のメカニズムの違いの検証には，流速と濁度の鉛直分布の時系列変化を同時に取得する必要がある．流速は近年 ADCP をはじめとした計測技術の向上に伴い，精度よく時空間分布を把握する技術が確立されてきている [3]．一方，濁度は光学式濁度計や採水による計測が一般的だが，これらの方法は点データ取得であり，時空間分布の把握には適していない．

ところで ADCP の超音波反射強度（Echo Intensity）から算出される後方散乱強度（Backscatter）は懸濁物濃度と相関が高いことが知られている．この特性を利用し ADCP の反射強度データから濁度を求める研究は河川感潮域 [4]，湖沼 [5]，閉鎖性内湾 [6]をはじめ多くの複雑な流況や水質構造を有する水域で行われている．ADCP を用いることで，流れと濁度の時空間分布を同時に把握できるため，多大な情報を 1 つの機器で効率的に取得可能な利点がある．

本研究では，より複雑な流況が生じると予測される茨戸川の流動と濁度挙動の ADCP による観測・検証を試みた．ADCP 観測結果から濁度がどの程度の精度で再現可能かを検証するとともに，推測した濁度と流速流向，風などの外的因子の関係を検証し，茨戸川の濁度挙動の特性把握を試みた．

2.　現地及び観測の概要

2.1　茨戸川の概況

調査対象域である茨戸川の現況を図-1 に示す．茨戸川は全長約 20km，川幅約 200～500m の石狩川の旧川（河跡湖）である．茨戸川には 2 箇所の狭窄部があり，それらを境界として上流側から上部湖盆，中部湖盆，下部湖盆の 3 領域に分かれている．

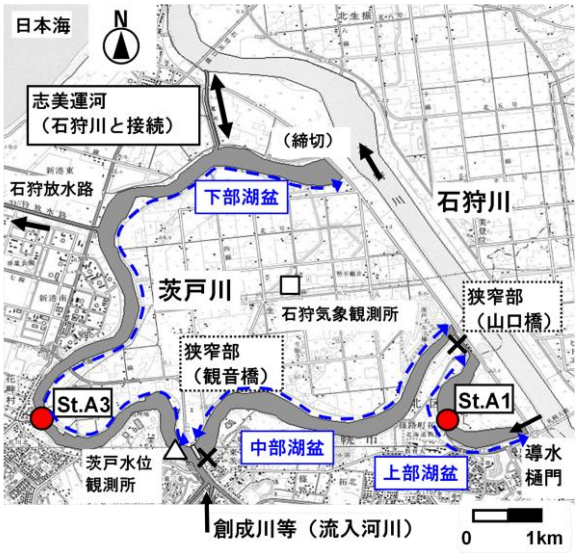


図-1　茨戸川調査位置図

茨戸川の流出入は上部湖盆上流端からの導水，流入河川からの流入等があるが，最も規模が大きいものは，下流端における水門及び志美運河（川幅約 40m）を通じた流出入である．平水時は水門が開いており，潮汐の影響を受けた石狩川本川の水位変動に応じて，周期的な流れの交換が生じている．

2.2　観測手法

現地調査は 2010 年 6 月 1 日から 10 月 28 日までの約 5 ヵ月間行った．流速流向連続観測は，上部湖盆に位置する St.A1（平水時水深約 6m），下部湖盆に位置する St.A3（平水時水深約 10m）の 2 地点において，ADCP（RD Instruments Workhorse Sentinel 1200kHz）を河床上から上向きに設置して行った．観測期間中は概ね 1 ヶ月に 1 回，データ回収のために機器引き上げと再設置を行っている．観測インターバルは両地点で 10 分（観測 1 分，休止 9 分），層厚は St.A1 は 0.25m，St.A3 は 0.2m に設定している．

また ADCP 設置地点での水質の把握と超音波濁度算出時のキャリブレーションデータ取得のため，概ね半月に 1 回の頻度で多項目水質計（アレック電子 ASTD-687）により，表層から 10cm 間隔で水質鉛直観測を行った．測定項目は水温，濁度（カオリン換算），クロロフィル（ウラニン換算），塩分の 4 項目である．また概ね 1 か月毎に，表層付近（St.A1 は水面下 1m，St.A3 は水面下 2m），5 割水深，河床付近（St.A1 は河床上 1m，St.A3

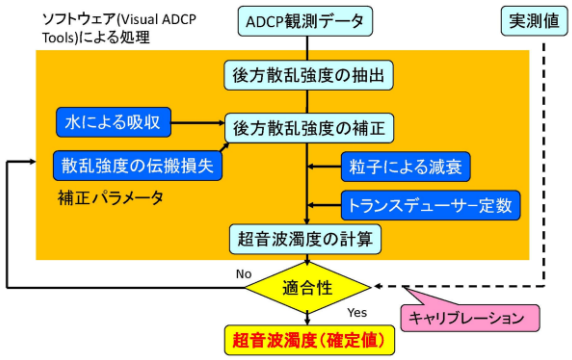


図-2　超音波濁度の算出の流れ

は河床上 2m）の 3 層で採水及び水質分析を行った．

風速は気象庁石狩観測所の毎時データ [7]を，水位は国土交通省の茨戸水位観測所の毎時データ [8]を用いた．

塩分は 10 月 8 日の多項目水質計による観測時に St.A3 の底面付近において低濃度（1psu 以下）の侵入が確認された以外は検出されておらず，ほぼ全期間・全領域で淡水状態であった．懸濁物の中央粒径 d_{50} は観測期間中に 15～40μm の間で変動し，細粒分が中心であった．また水温は観測期間内で 10℃から 25℃まで大きく変化している．

3.　ADCP からの濁度推定手法

本研究では超音波濁度の算出に専用ソフトウェア（Visual ADCP Tools Ver3：（株）ハイドロシステム開発）を用い，ADCP 反射強度から濁度を推定する．本稿では以下 ADCP データから算出した濁度を「超音波濁度」と称する．なお同ソフトウェアによる超音波濁度の算出理論や計算手順，操作については，橘田ら [9]の報告に詳しく述べられている．

図-2 に同ソフトウェアを用いた超音波濁度算出の流れを示す．まず実測濁度鉛直分布をもとにパラメータを定め，対象期間の超音波濁度を算出する．算出した超音波濁度を実測濁度と比較し，超音波濁度が実測値にできるだけ近づくようにパラメータを補正，キャリブレーションを繰り返す．本研究では，5 カ月間の観測期間中を同一のパラメータを用いて超音波濁度の算出を行った．なお ADCP 連続観測期間中に複数回の水質観測を行っているため，期間を細分化してパラメータをそれぞれ定め，キャリブレーションを行うことも可能ではある．しかし対象期間の途中でパラメータを変更することで，算出される超音波濁度の連続性が保たれない問題があるため，できるだけ同一のパラメータで解析することが優位であると考えた．

キャリブレーションに用いる実測データの選定は，対象期間全体の超音波濁度の再現性に大きく影響する．今回は水温成層が形成されておらず，濁度が平水時の平均的な値であり，かつ採水分析結果との整合性が良好であった 6 月 1 日及び 6 月 20 日の 2 回の多項目水質計による濁度鉛直分布からパラメータ設定及びキャリブレーションを行った．

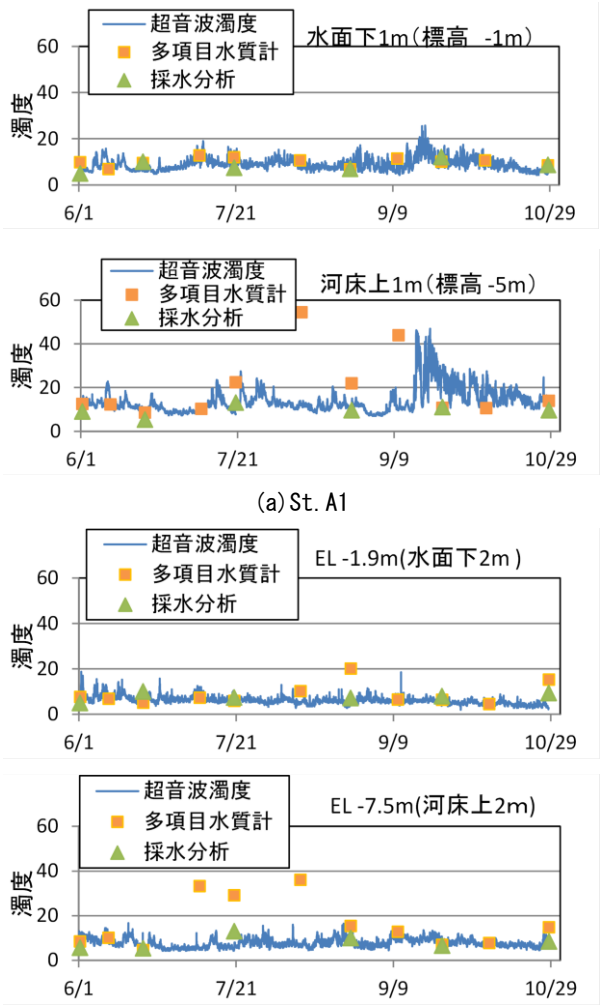


図-3　超音波濁度と実測濁度（多項目水質計，採水分析）

4.　超音波濁度の算出結果及び考察

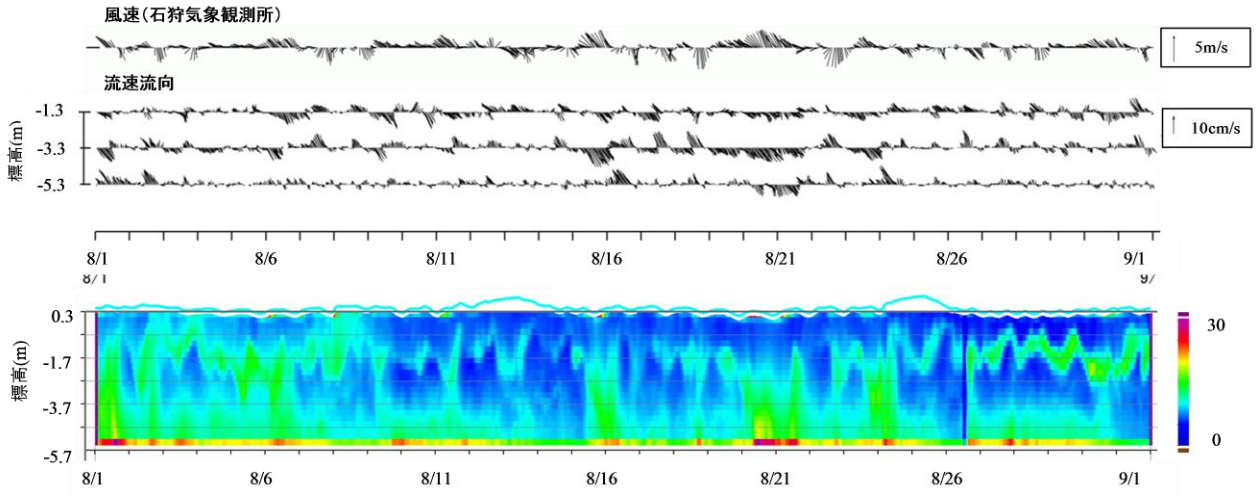
4.1　超音波濁度の再現性

図-3 に今回算定した超音波濁度と実測濁度（多項目水質計，採水分析）を水面近傍（St.A1 は水面下約 1m，St.A3 は水面下約 2m）及び底面近傍（St.A1 は河床上約 1m，St.A3 は河床上約 2m）である．

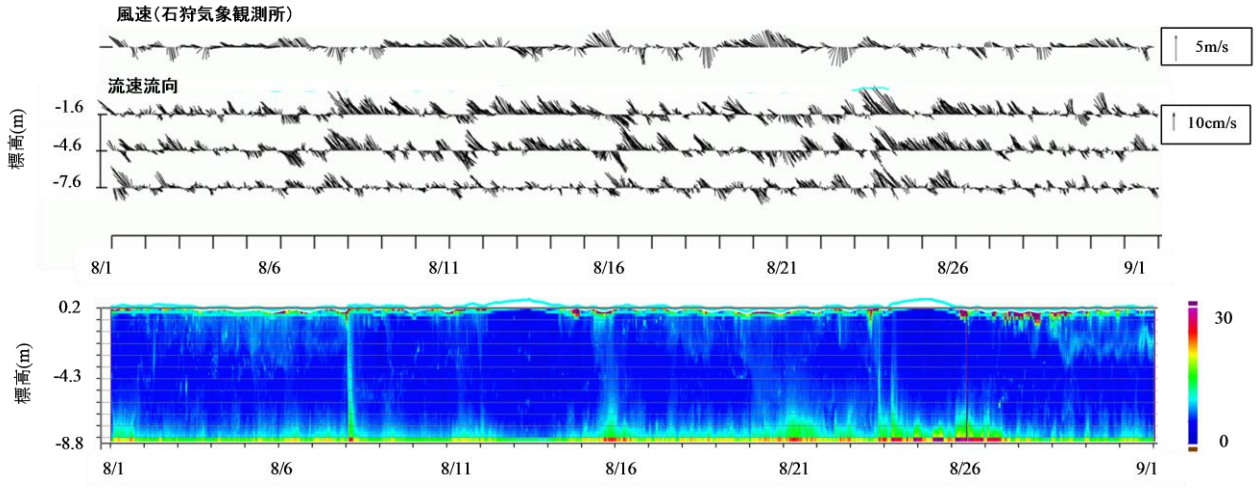
水面近傍では St.A1，St.A3 ともに全期間にわたり概ね一致している．なお St.A1 では 9 月中旬の数日間超音波濁度の上昇がみられる．しかしこの期間の実測濁度はいずれの手法でも観測されていないため，この現象に対する超音波濁度の再現性は確認できなかった．

底面近傍では St.A1，St.A3 ともに採水分析による濁度と超音波濁度は全期間を通じて概ね一致している．以上から超音波濁度は観測期間全体にわたって実測の濁度挙動を概ね再現している．

なお多項目水質計による濁度は St,A1 では 8 月上旬～9 月上旬，St.A3 では 7 月中旬～8 月中旬にかけて採水分析値・超音波濁度と比べて過大評価となった．これは実測濁度データの取得は 1 つの手法のみでなく，複数手法によるクロスチェックが必要なことを示唆している．



(a) St. A1



(b) St. A3

図-4　風速，ADCP 流速及び超音波濁度の時系列変化

4.2　超音波濁度の時系列と巻上げ状況の推定

続いて超音波濁度の鉛直分布の時系列データから，底質巻上げのメカニズムとその影響因子を考察する．ここでは水質悪化が進行しやすい夏季の濁度鉛直分布の挙動を比較的長期間みていく．

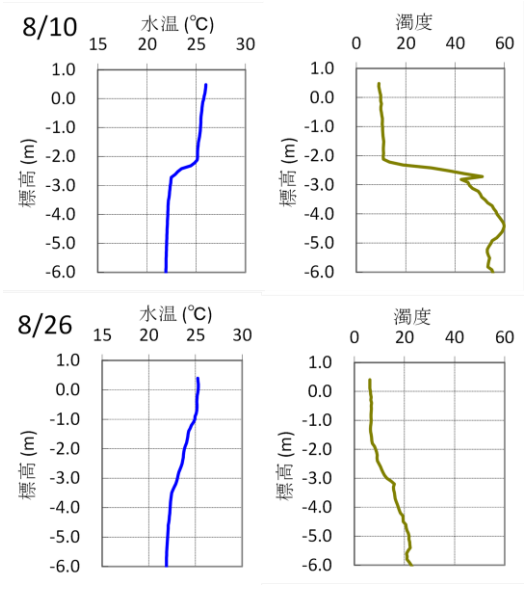
図-4 は St.A1 及び St.A3 における 8 月の超音波濁度算出結果と気象庁石狩観測所の風速，各地点の ADCP による流速流向（表層，中層（5 割水深），下層部）及び茨戸観測所の水位である．

St.A1 の流速をみると，河道主流方向にあたる南東及び北西方向の風が吹くと，中層及び下層部の流れが加速される傾向がみられる．それ以外の時は，日周期で流向が南東と北西方向に交互に反転する傾向がうかがえ，感潮域の流れの特徴がみられる．底面近傍の流速は期間全体を通じて 2~3cm/s 程度であるが，順流方向に当たる南東方向の風がほぼ 1 日以上継続し，かつ最大風速がほぼ 4m/s を超える場合は，底面付近の流れが加速し，それと同時期に濁度上昇がみられる（例えば 15～16 日，20～22 日，24 日）．すなわち St.A1 では順流方向の風速増加が底質巻上げを促していることが確認できた．

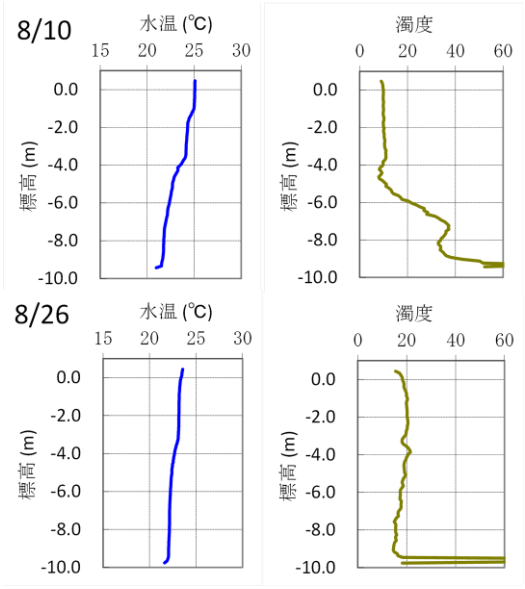
St.A3 の流速は，いずれの層でも日周期で流向の交互反転が明瞭に確認できる．また強風による流速流向の変化は表層部では若干みられるものの，下層に向かうに従い明瞭でなくなり，周期的な流速変動が主たる動きとなっている．南東からの強風が卓越する時期に下層部流速は若干増加し，超音波濁度もわずかに上昇するが，両者の変化は St.A1 ほど明瞭ではなく，巻上げ時の鉛直上方への濁度拡散範囲も St.A1 に比べて狭い．ゆえに St.A3 では風速による底質巻上げは非常に弱く，その範囲も底面のごく近傍に限られている．

ところで St.A1 の超音波濁度鉛直分布をみると，水面下 1～3m 前後で，相対的に濁度が高い層がおよそ 0.5～1m の厚さで存在する．この層は固定された標高で存在せず，日周期で変動している．この層は表層と底層部の水温差が発生するとみられる 7 月から 9 月半ばまで断続的に出現していることから，水温成層との関係を検証することとした．

図-5 に多項目水質計による 8 月の St.A1 の水質観測結果を示す．水温成層の位置は，8 月 10 日は標高-2m,



(a) St. A1



(b) St. A3

図-5　多項目水質計による水質鉛直分布

8 月 26 日は-1m 付近であり，超音波濁度が高い層とほぼ同じ標高である．

なお水温成層は St.A3 でも発生しているが，超音波濁度の高い層は St.A3 ではほとんどみられない．例えば 8 月 10 日は標高-4m 付近に水温成層がみられ，この層以深で濁度が高い現象がみられる．しかし超音波濁度では St.A1 のような高濁度層はみられない．

今回は 2010 年の観測結果のみであるため，今後他の年について超音波濁度と水温成層の同様の傾向について有無を確認するとともに，原因について考察を進めたい．

5.　まとめ

以下に本研究での結論をまとめる．

- ADCP 反射強度から超音波濁度を算出した．超音波濁度は，期間全体を通じて現地濁度を概ね再現していることを確認した．一方超音波濁度で底層近傍の濁度上昇がみられた時期の再現性は，検証可能な実測濁度データが不足しているため，今後さらに確認する必要がある．
- 底質巻上げ現象を把握するために必要な濁度鉛直分布と流速分布の時系列データを同時取得できた．場所により挙動に違いがあるとみられる感潮域旧川の底質巻上げ現象を把握することができた．

なお本研究で得られた超音波濁度の精度は，標準的な濁度計測手法で得られるデータよりも低い点を留意する必要がある [9]．しかし本手法により，流れと濁度を多層で同時把握が可能になり，底質巻上げ現象と外的因子の関係を時系列で捉えることが可能となった．今後の感潮区間の水滞流域の濁質モニタリング技術の向上及び労力・コスト削減に資するよう，解析の手法・精度改良に取り組んでいきたい．

謝辞： 茨戸川における各種調査は（株）北水エンジニアリングの協力を得て行った．また ADCP による濁度算出に当たっては，（株）ハイドロシステム開発の橘田隆史氏から多くの助言をいただいた．ここに記して関係各位に謝意を表する．

参考文献

1) 関智弥，福島武彦，今井章雄，松重一夫：霞ヶ浦の濁度上昇と底泥巻き上げ現象，土木学会論文集 No.811／Ⅶ-38，149-161，2006
2) 横山洋，村瀬竜也，中村茂樹：有機懸濁物の多い旧川の濁質予測手法に関する研究，応用力学論文集第 13 巻，2010
3) 例えば橘田隆史，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，133-138，2006
4) 例えば川西澄，山本洋久，余越正一郎：超音波流速計と散乱光式濁度計を用いた懸濁粒子の濃度，粒径，フラックスの測定，水工学論文集第 42 巻，559-564，1998
5) 豊田政史，宮原一道，疋田真，宮原裕一：超音波ドップラー流速計を用いた湖内懸濁物質濃度分布の推定，応用測量論文集 Vol.19，55-60，2008
6) 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，日本船舶海洋工学論文集第 7 号，23-30，2008
7) 気象庁 HP（http://www.jma.go.jp）
8) 国土交通省水文水質データベース（http://www1.river.go.jp）
9) 橘田隆史，横山洋，橋場雅弘，新井励：ADCP の超音波反射強度を利用した濁度計測技術について，河川流量観測の新時代第 2 巻，49-56, 2011