

## 8.2 寒冷地汽水域における底質及び生物生息環境改善に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：水環境保全チーム、道北支所

研究担当者：矢部浩規、渡邊和好、横山洋、  
西原照雅、水垣滋、渡邊尚宏、  
安田裕一、杉原幸樹

### 【要旨】

汽水域は独特かつ多様な生物生息環境が形成され、地域の生活や水産資源の面からも重要な位置を占める。さらに寒冷地では水質構造や汚濁負荷の流入特性が異なる。本研究では寒冷地汽水域の底質環境に、濁質が及ぼす影響に着目している。今年度は ADCP を用いた濁質推定手法の適用実験を網走湖、石狩川、桂沢ダムで行い、濁度推定の適用範囲を確認し、課題を整理した。また天塩川におけるヤマトシジミの生息底質条件を整理した結果、底泥粒径や粒度組成よりも有機物量の影響が強いことが示唆され、溶存酸素量や塩分濃度など底面近傍の水質が重要であることを確認した。

キーワード：汽水域、ADCP、濁度動態の推定、ヤマトシジミ

### 1. はじめに

汽水域は、独特かつ多様な生物生息環境が形成されており、「汽水域でしか生きられない生物の生息・生育の場」として非常に重要である。また、ヤマトシジミやワカサギをはじめとした内水面漁業など、地域生活や産業の場としても、重要な位置を占めている。これら汽水域の水質は、底質環境の影響を強く受けることが知られている。さらに積雪寒冷地では、低水温や結氷による底層部の貧酸素化、融雪出水などにより、底質や水質構造、汚濁負荷の流入特性は温暖地域とは異なる。

近年、これらの寒冷地汽水域の一部において、汚濁負荷が蓄積された底質に起因する水環境の悪化が生じており、河川管理者は、汽水域環境の保全・改善に取り組んでいる。一方、厳しい財政状況から、現状把握、事業の評価・管理等を行うための物理環境、生物相の相互関係を効率的にモニタリングする手法の構築が不可欠である。

本研究では、寒冷地汽水域の水環境の改善のため、平成23年度より5か年で以下の3項目を達成することを目標としている。

- 1)底質・濁質インパクトと機構解明
- 2)ADCPによる濁質・汚濁負荷動態推定手法の開発
- 3)寒冷地汽水域環境の評価・管理手法

本年度は、昨年度に引き続き、網走湖・天塩川下流域の汽水環境について現地調査を進め、研究対象水域の水質・濁質・底質に関するデータ収集・整理及び動態の考

察を進めた。また複数の感潮域を含む水域（河川・湖沼）においてADCPによる濁度推定手法の構築と精度の検証、濁度変動の要因の分析を行った。

以下にその結果をとりまとめる。

### 2. ADCPによる濁度・汚濁負荷動態推定手法

#### 2.1 目的

閉鎖性が強い水域では、栄養塩を多く含む底質が堆積し、それらが風などの外力で再浮上して水環境に影響を及ぼすことが多くの既往研究で指摘されている。本調査での対象域の1つである網走湖においても、同様の現象が水質汚濁に影響することが示されている<sup>1)</sup>。ゆえに閉鎖性水域の水質保全是、底質からの濁質供給状況を適切に把握する必要がある。また流入河川である網走川から流入する懸濁物の女満別湾内での拡散・沈積等の動態把握は、底質の形成や変遷を検討する上でも重要である。それらの検討にあたり、濁度の時空間分布は基礎的なデータとなる。

しかしながら、一般的な濁度計測（採水分析、濁度計）は、ある時刻における点データを取得するものである。自記式濁度計は、ある点における時系列データを取得可能だが、空間分布把握には多数の機器を同時設置が必要になる。これらの課題に対するアプローチの1つとして、超音波多層式流速計（ADCP）を用いた濁度の時空間分布推定が提案され、汽水域<sup>2), 3)</sup>や湖沼<sup>4)</sup>、海域<sup>5)</sup>含めて多

くのフィールドで適用されている。ADCP を用いた濁度推定手法は、濁度挙動に大きく影響を及ぼす流れ場の状況を同時に把握できる。

本研究では、昨年度の課題となっていた、高濁度時の再現性の確認をかねて、他の水域における適用実験を実施し、その適用性を検証した。また網走湖女満別湾口において、濁度鉛直分布を時系列で推定し、濁度動態とその影響因子（流況・気象条件等）との関係を検討した。

## 2.2 ADCP による濁度推定手法の精度検証

### 2.2.1 調査対象域の概要

現地観測は感潮域の河川、河跡湖、湖沼でそれぞれ行った。使用した ADCP は、いずれも RD Instruments 製 Workhorse Sentinel 1200kHz である。

#### (1) 石狩川（石狩大橋：定点連続観測）

調査地点は、河口から約 27km 上流である石狩大橋である（図-1(a)）。同地点の右岸部では、2005 年から国土交通省北海道開発局により、河床から上向きに ADCP が設置されており、河川流量の連続観測が行われている<sup>9)</sup>。観測地点は感潮区間に位置するが、順流が卓越しており、塩水侵入もほとんどみられない。2009 年 8 月～12 月（期間中最大 SS 濃度約 50mg/L）、2013 年 3～4 月（期間中最大 SS 濃度約 300mg/L）と観測結果を対象とした。実測濁度は、投げ込み式多項目水質計（JFE アレック ASTD-687）及び採水分析値（国土交通省による採水結果を含む）である。

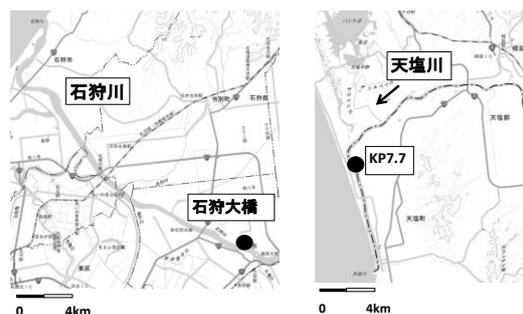
#### (2) 天塩川（定点連続観測）

観測地点は、天塩川河口から 7.7km 上流の塩水遡上区間にあたる河道内最深部である（図-1(b)）。石狩川と同様、ADCP（RD Instrument Workhorse 1200kHz）を河床から鉛直上向きに設置した。設置箇所の平水時水深は概ね 6m であり、10 分おきに鉛直方向に 0.2m 間隔で計測している。観測期間は 2011 年 7 月 22 日から同年 11 月 15 日までであり、途中 9 月 4 日から 10 月 1 日にかけて出水による土砂堆積が原因とみられる約 1 か月間の欠測が生じた。

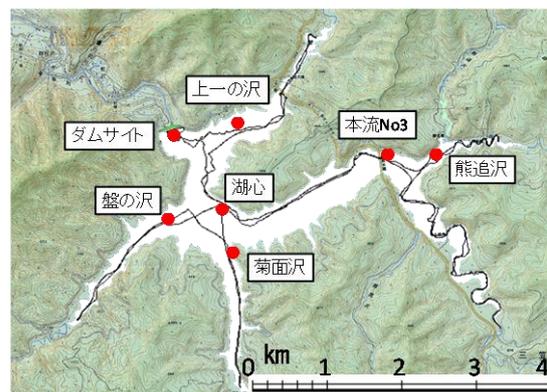
濁度校正用の実測濁度は、T.P.-2.5m（概ね 5 割水深）に自記濁度計（JFE アレック Compact-CLW）を設置し、ADCP 計測期間中の濁度を 10 分間隔で連続計測した。

#### (3) 桂沢ダム貯水池（曳航観測）

桂沢ダムは、石狩川支川の幾春別川にあり、融雪期及



(a) 石狩川（石狩大橋） (b) 天塩川（KP7.7）



(c) 桂沢ダム

図-1 調査箇所図

(国土地理院電子国土Web システムから配信された背景地図より転載)

び夏季出水期には高濃度濁水が流入する。図-1(c)に本研究での観測地点ならびに経路を示す。観測ではダムサイトのほか、河川流入部も網羅するように曳航経路を設定した。各地点での水深はダム貯水位変動に応じて変化し、最も深いダムサイトでは概ね 25～45m で推移している。また河川流入部に位置する各観測点は、出水時は 20m 近い水深がある一方、渇水時は 3～5m 程度と浅くなることもみられた。

使用した ADCP は Teledyne RD Instrument Workhorse Sentinel 600kHz である。観測は 2011 年に 1 回（11 月 23 日）、2012 年に 2 回（5 月 15 日、8 月 23 日）、2013 年に 2 回（8 月、11 月）の計 5 回行った。FRP 船に ADCP（RD Instrument Workhorse 600kHz）を取り付け、図-1(c)に示す経路で水面から下向きに ADCP 曳航観測を行った。またダムサイトのほか、河川流入部（5 か所）で多項目水質計（JFE アレック Compact-CTD）を用い水温・濁度鉛直分布を計測（0.1m 間隔）した。湖内濁度の最大値は、2012 年 5 月のダムサイトで約 1500ppm である。

### 2.2.2 濁度推定手法

ADCP では鉛直方向に層別に三次元流向流速とともに、

超音波が水中懸濁物に反射する強度（反射強度）が取得できる。濁度と超音波の反射強度には比例関係が成り立つとされる。ただし ADCP から発射された超音波は水中伝搬距離に応じた損失（発散損失）及び水中での音波吸収による損失（吸収損失）が生じる。また数 100ppm の高濁度では濁度に応じた吸収損失を加味することが横山らにより報告されている<sup>7)</sup>。濁度算出では、反射強度からこれらの損失を考慮した後方散乱強度に変換するソナー方程式により、後方散乱強度と濁度の相関を検討することとなる。ソナー方程式を用いた濁度推定にはいくつかの手法があり、本研究でも複数の手法で実施してきた<sup>8),9)</sup>が、本研究では橘田らが提案するソナー方程式<sup>10)</sup>において、横山らが提案する濁度による吸収損失<sup>7)</sup>を考慮し、式(1)、式(2)で濁度推定を行う。

$$\log_{10} C = S \times dB' + K_s \quad (1)$$

$$dB' = K_c I + 20 \log_{10} r + 2\alpha r + 2\beta Cr \quad (2)$$

ここで  $C$  : 濁度 (ppm)、 $S$  : 後方散乱係数、 $K_s$  : 機器による定数、 $dB'$  : 後方散乱強度(dB)、 $K_c$  : ADCP の反射強度(count)を音圧(dB)に変化する定数(dB/count)、 $I$  : 反射強度(count)、 $r$  : トランスデューサーからの距離(m)、 $\alpha$  : 超音波の水中伝搬による吸収係数(dB/m)、 $\beta$  : 濁度による損失係数(dB/m)である。

濁度推定の手順は、式(2)により反射強度  $I$  から後方散乱強度  $dB$  を算出する。次いで  $dB$  と濁度（常用対数）の間で回帰式を作成し、式(1)から推定濁度を算出する。

$K_c$  は既往研究により 0.43~0.45 程度の間をとるとされており<sup>6),7)</sup>、本研究では 0.43 を用いる。吸収係数  $\alpha$  は、水中伝搬する超音波の減衰に影響する係数であり、様々な係数値が検討されてきた。Thorp は水温と塩分から  $\alpha$  を決定する経験式を提案している<sup>11)</sup>ほか、Kim らは SS 最大濃度が数 100mg/L となる水域での観測結果をもとに、 $\alpha=0.48$  を与えている<sup>12)</sup>。また豊田らは諏訪湖を対象として、 $\alpha$  を 1~6 まで変化させ、実測値と最も適合する  $\alpha$  を設定する方法を示している<sup>4)</sup>。本研究では、ADCP 周波数が 1200kHz の場合は、今回の現地濁度条件に近い Kim らが算出した  $\alpha=0.48$  を、周波数 600kHz の場合は真水の場合の Thorp の式から  $\alpha=0.11$  を採用する。濁度による吸収係数  $\beta$  は、横山らは多摩川での観測結果より  $\beta=0.004$  を提案している。本研究ではこの結果をもとに  $\beta$  を現地濁度に適合する値に調整し、両河川では  $\beta=0.005$ 、湖沼では  $\beta=0.002$  を設定し、推定濁度と実測濁度の差を比較した。

なお、式(2)を水中での吸収に関する項をまとめて整理すると以下の式(3)のとおりであり、水の吸収係数が濁度増加に伴い見かけ上増加するのと同様となる。

$$dB' = K_c I + 20 \log_{10} r + 2(\alpha + \beta C)r \quad (3)$$

### 2.2.3 濁度推定結果

#### (1) 定点連続観測（天塩川）

図-2は2011年8月26日から10月15日までの濁度（自記濁度計による時間平均値）と、式(2)から算出した ADCP 後方散乱強度  $dB$  の関係を示したものである。濁度上昇による超音波吸収を考慮することによる精度向上を検証するため、濁度に応じた超音波吸収を考慮しない場合 ( $\beta=0$ ) と考慮した場合 ( $\beta=0.005$ ) の場合を比較している。それぞれの  $\beta$  に対し、実測値から得られた濁度と  $dB'$  の回帰式は式(3a)、(3b)である。得られた回帰式は図-2中にも示した。

$$\log_{10} C = 0.0476 \times dB' - 2.31 \quad (R^2=0.741); \beta=0 \quad (4a)$$

$$\log_{10} C = 0.0424 \times dB' - 2.02 \quad (R^2=0.745); \beta=0.005 \quad (4b)$$

$\beta$  がいずれの場合も、超音波濁度と  $dB$  に正の相関がみられる。回帰式に対する実測値のばらつきは、実測濁度が 100ppm 以上で顕著な差がみられる。 $\beta=0$  では回帰式上にプロットされないデータが多い一方、 $\beta=0.005$  では実測値は回帰式上にほぼプロットされている。これは

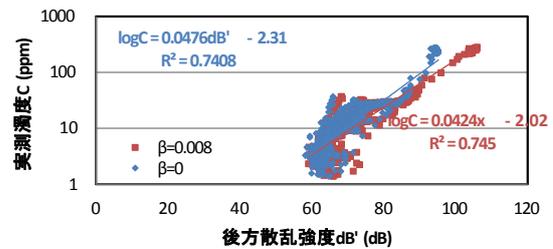


図-2 濁度と ADCP 後方散乱強度の関係  
(天塩川：2011年8月26日~10月15日)

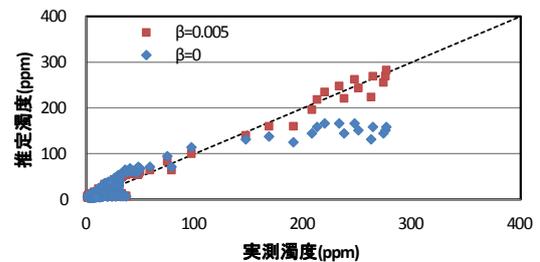


図-3 濁度による後方散乱強度減衰を考慮した推定濁度  
(天塩川：2011年8月26日~10月15日)

$\beta=0.005$  では  $\beta=0$  の場合に比べ、高濁度下では濁度変化に対する  $dB'$  の変化幅が広いのである。

図-3 は、式(3a)、(3b)から濁度推定を行った結果である。濁度による超音波減衰を考慮しない  $\beta=0$  では、実測濁度が 150ppm 以上では推定値は実測値に対して過少評価となっている。一方、濁度による減衰を考慮した  $\beta=0.005$  はほぼすべての濁度レンジで推定濁度が実測値をほぼ再現できている。これは図-2 にも示すとおり、 $\beta=0.005$  は高濁度域で  $dB'$  の変化幅が大きく、回帰式上にもよく追従しているためである。

以上から、高濁度域での超音波吸収減衰を考慮することで、高濁度域で濁度の再現精度は向上する可能性が示された。一方 50ppm 以下の低濁度域では  $\beta$  の設定に関係なく、再現性はほとんど変化していない。

(2) 定点連続観測 (石狩川)

石狩川では複数年にわたり ADCP による定点連続観測が行われている。そこで石狩川での定期採水による SS とそのときに得られた ADCP 観測値をもとに、本手法で複数年の長期間 SS 変化の推定値とその精度について検証を行う。

図-4 は 2009 年 7 月から 2013 年 4 月まで採水による SS 濃度と、採水水深に最も近い層の ADCP 観測反射強度 (毎時平均) から式(1)、(2)で算出した後方散乱強度  $dB'$  との関係プロットしたものである。国土交通省による定期採水は出水による高濁度時は行っておらず、SS 最大値が 100mg/L、データの大半が 50mg/L 以下である。そこで 2013 年 4 月に融雪出水ピークを狙い採水を行い、SS 濃度 200mg/L 以降の 3 データを追加した。 $\beta$  は天塩川と同様、 $\beta=0.01$  としている。それぞれの  $\beta$  に対し、実測値から得られた濁度と  $dB'$  の回帰式を作成し、濁度推定を行った。得られた式はそれぞれ(5a)、(5b)である。得られた回帰式は図-4 中に示した。

$$\log_{10} C = 0.0457 \times dB' - 2.64 \quad (R^2=0.481); \beta=0 \quad (5a)$$

$$\log_{10} C = 0.0414 \times dB' - 2.44 \quad (R^2=0.452); \beta=0.005 \quad (5b)$$

SS 濃度と  $dB'$  の間には天塩川と同様、いずれの  $\beta$  でも全体として正の相関がみられる。 $\beta=0.005$  では  $\beta=0$  の場合に比べ、高濁度下では濁度変化に対する  $dB'$  の変化幅が広い。しかし回帰式に対する  $dB'$  の誤差は、いずれの  $\beta$  でも SS が 100mg/L 以上の高濃度で大きい。

図-5 は式(5a)及び式(5b)から推定した石狩川におけ

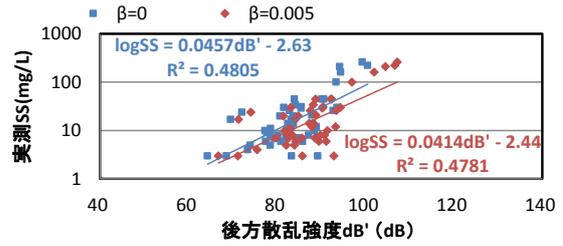


図-4 SS と ADCP 後方散乱強度の関係 (石狩川：2009 年 8 月～2013 年 4 月)

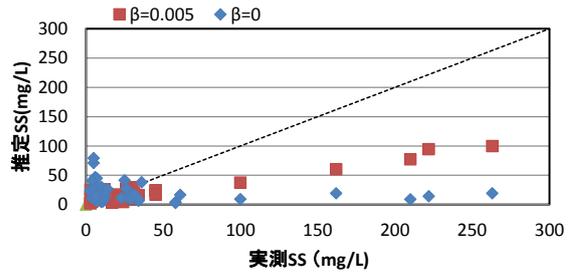


図-5 SS 濃度による後方散乱強度減衰を考慮した推定 SS (石狩川：2009 年 8 月～2013 年 4 月)

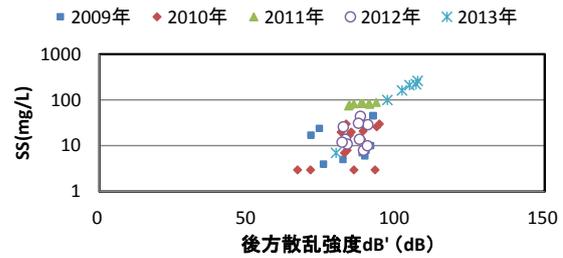


図-6 式(5b)による後方散乱強度と実測 SS の年別相関

る濁度推定値である。 $\beta=0.005$  の場合は、 $\beta=0$  場合に比べて SS が 100mg/L 以上の場合で、実測値の再現精度はやや向上している。ただし天塩川の場合と異なり、 $\beta=0.005$  の場合でも SS が 100mg/L 以上では再現性は低い。

濁度の再現性が低い原因として、年別で  $dB'$  と SS の関係が異なることが考えられる。図-6 に示すとおり、年別でも  $dB'$  と SS には正の相関があるが、年別でみるとプロットされる領域にはばらつきがある。またデータは SS が 50mg/L 以下に集中し、100mg/L 以上の高濁度時採水データは少ない。天塩川の事例からも、高濁度時のデータが多いと SS 濃度と  $dB'$  の相関はよくなることが期待できる。今後も出水時の採水データを追加取得することで、回帰式の精度向上の可能性はある。

(3) 曳航観測 (桂沢ダム)

桂沢ダム貯水池で行った ADCP 曳航観測から得られる観測データをもとに、濁度の空間分布を推定する。なお桂沢ダムでは、2011 年から 2013 年にかけて計 5 回観測を行っているが、湖内全域で濁度がほぼ一定であった 2013 年 8 月の観測は検討対象外とする。

図-7 はダムサイトと河川流入部に分けて、後方散乱強度  $dB'$  と実測濁度の相関を示したものである。ダムサイトでは、実測濁度が 200ppm を境に  $dB'$  と濁度の相関が大きく変化している。濁度 200ppm 以上では  $dB'$  と濁度には明瞭に正の相関がみられる。濁度 200ppm 以下では  $dB'$  と濁度に必ずしも正の相関がみられない場合もあり、100ppm 以下では両者の相関はさらに不明瞭である。

河川流入部では、 $dB'$  と濁度の相関がダムサイトとは異なることが多い。ダムサイトでは  $dB'$  と濁度に正の相関がみられるが、河川流入部は  $dB'$  と濁度の相関がみられないことが多い。濁度は変化する一方、 $dB'$  はほとんど変化をしていない。河川流入部とダムサイトで  $dB'$  と濁度の相関がほぼ同一の式となる 2012 年 5 月は、融雪期に当たり高濃度濁質が流入していること、河川流入部の水深が 10m 以上と深いことが原因と考えられた。すなわち河川からの流入濁度が高くなく、貯水池水位が低い状態では、河川流入部の ADCP 後方散乱強度からの濁度推定は誤差が大きくなることが示唆される。

なおダムサイトで 100ppm 以下となるのは表層部が大半であり、河川流入部も水深は数 m 程度と浅いことが多い。超音波のトランスデューサー近傍では、超音波の減衰特性がその他の領域と異なり、その補正もより複雑になる<sup>13)</sup>。本研究ではより少ないパラメータで濁度推定を行うことが主旨であり、表層部の補正は本研究中では対象としない。

図-8 はダムサイトでの観測から得られた、濁度 200ppm 以上での  $dB'$  と濁度の相関から式(1)、(2)に示す回帰式を作成し、ダム湖の全地点に適用した場合の濁度推定結果である。比較検討では、ダムサイトと河川流入部の  $dB'$  と濁度の相関に特徴的な差があるケースとして、2012 年 5 月、8 月、2013 年 6 月の 3 ケースを選定した。

図-8(a) は 2012 年 5 月の濁度推定結果である。500~1400ppm の範囲内で推定濁度と実測濁度はほぼ合致している。1200ppm 以上で推定濁度と実測濁度に差が生じているが、これは 1200ppm 前後でダムサイト濁度の鉛直分布に変曲点が存在するためである。500ppm 以下では推定濁度の精度は著しく低下する。ダムサイトの実測濁度の最低値(表層)が約 500ppm であることから、回帰式

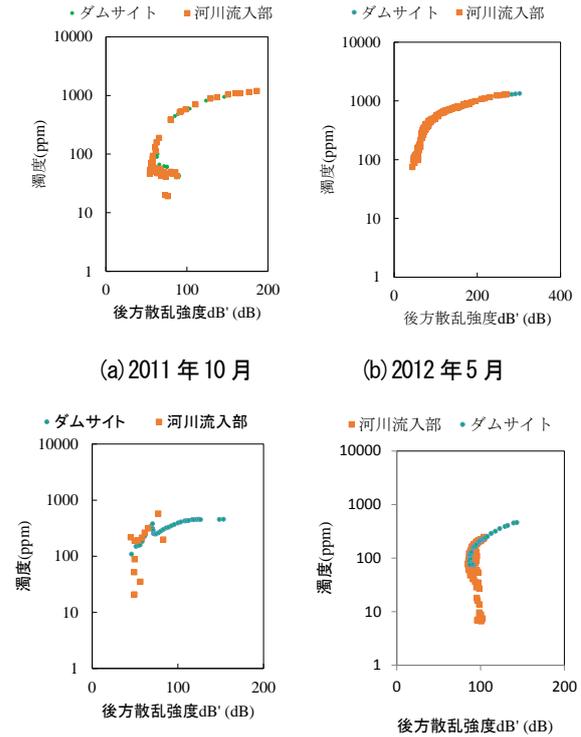
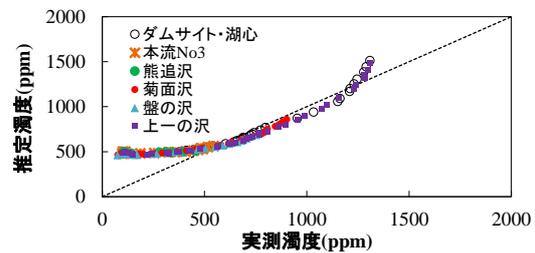
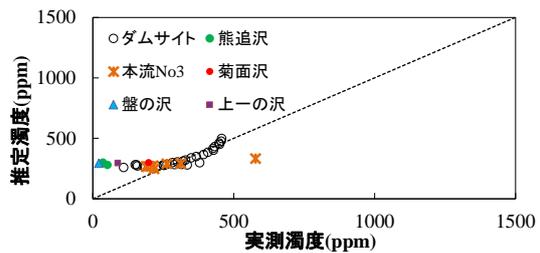


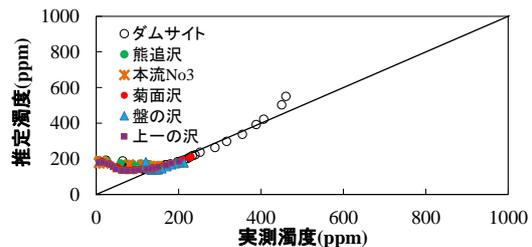
図-7 濁度と ADCP 後方散乱強度の関係



(a) 2012 年 5 月



(b) 2012 年 8 月



(c) 2013 年 6 月

図-8 濁度と ADCP 後方散乱強度の関係

の適用範囲外であることがその原因と推測される。これらの問題は、濁度の変曲点で回帰式の係数を変えることで濁度推定の向上は可能であるが、本研究の主旨は限られた地点の濁度鉛直分布から広域の濁度推定を行う手法の適用性検討のため、全領域で同一回帰式で推定した。

図-8(b)は2012年8月の濁度推定結果である。ダムサイトの推定濁度は概ね実測濁度と合致するが、河川流入部の推定濁度は実測濁度が100ppm以下では過大評価となっている。これは2012年5月と同様、ダムサイトの実測濁度の最低値(表層)が約100ppmであることから、回帰式の適用範囲外であることがその原因と推測される。

図-8(c)は2013年6月の濁度推定結果である。実測濁度が100ppm以上では、推定濁度は実測値と概ね適合している。一方濁度100ppm以下では、推定濁度は実測値と異なる。ダムサイト表層の最低濁度は20ppmであり、表層の低濁度付近の再現精度は低い。

以上から、濁度が200ppm以上でかつ濁度の鉛直変化が明瞭なケースでは、ダム中心部の濁度は概ね良好に推定できた。一方、濁度が100ppm~200ppmでは濁度推定精度が低いケースもみられる。特に100ppm以下は実測値と比較して誤差が大きい結果となった。

本手法を用いたダム湖内の濁度空間分布を図-9に示す。夏期出水前の図-9(a)、(c)では、高濁度層が水深20m以深に存在し、夏期出水後の図-9(b)では、高濁度層が消失し、全域で濁度が高くなる現象が把握できた。

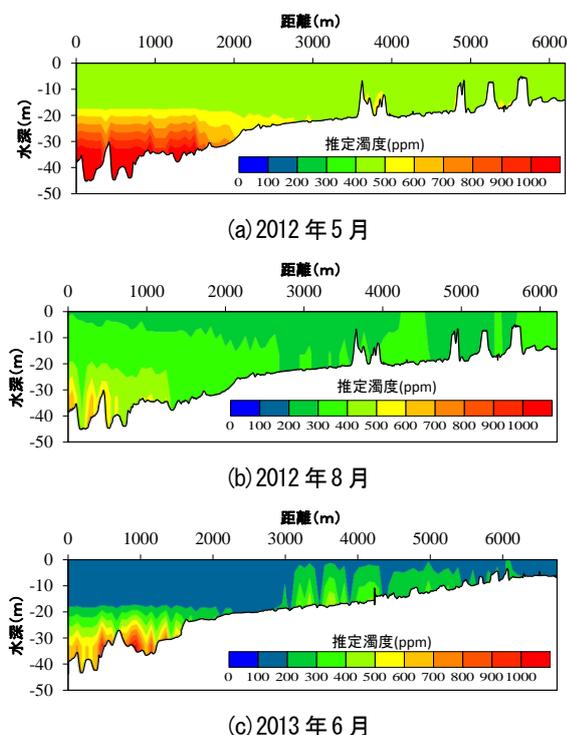


図-9 ダムサイトでの濁度鉛直分布の縦断変化推定

#### (4) 濁度推定の課題

ここまで述べてきた ADCP の後方散乱強度から式(1)による手法で実測濁度から濁度推定を行う方法では、実測濁度が200ppm以上では濁度と後方散乱強度のばらつきは小さく、濁度推定時にも誤差が小さくなる。一方、実測濁度が200ppm以下では、濁度と後方散乱強度の相関が低いケースがみられる。

そのため、実測濁度は数10ppmレンジだけでなく、数100ppmのものまで、時間的・空間的に網羅することが精度確保に必要である。実測濁度の値が一定のレンジに集中した場合は、後方散乱強度の変化に対して濁度変化が得られず、濁度推定自体が困難となる。

なお、今回は水中での音波吸収と濁度の関係を検証したため、式(3)中で実測濁度をもとに補正を行った。しかし実河川や湖沼での運用では濁度計測は鉛直方向に1層のみのことも多い。実際には式(3)の右辺第3項の係数に水中での吸収効果を全て加味した見かけ上の吸収係数 $\alpha'$ の妥当な値を今後検討していく必要がある。

### 3. 底質・濁質インパクトの機構解明

#### 3.1 目的

前年度の成果より、網走湖においては底質の巻き上げによって水中に懸濁物が供給され、同時に栄養塩が供給されることが示唆された。今年度は巻き上げ現象の発生要因を把握することを目的に現地観測を実施した。

#### 3.2 現地概要

観測地点は、図-10に示す女満別湾中央に当たる St.1 である。図-11に示すように超音波3次元精密流速計(JFEアドバンテック VECTOR)を湖底に設置し、流速流向連続観測を行った。観測期間は2013年7月22日~8月26日である。設置地点の水深は平水時において概ね2mであった。また同一地点において、濁度・クロロフィル計(JFEアドバンテック製 Infinity-CLW)を水深1m及び底面上約20cmの2層に設置して連続計測を行った。

#### 3.3 観測結果

図-12に観測結果を示す。このとき観測期間に対応する気象庁の網走地点におけるアメダスより風向風速および雨量データを取得して比較する。図-12は上から日降雨量、風向風速のベクトル図、底面流速のベクトル図、濁度を表している。

この結果から7月23日~7月29日にかけては降雨がなく、風速が強かった。このとき底面付近では10cm/s

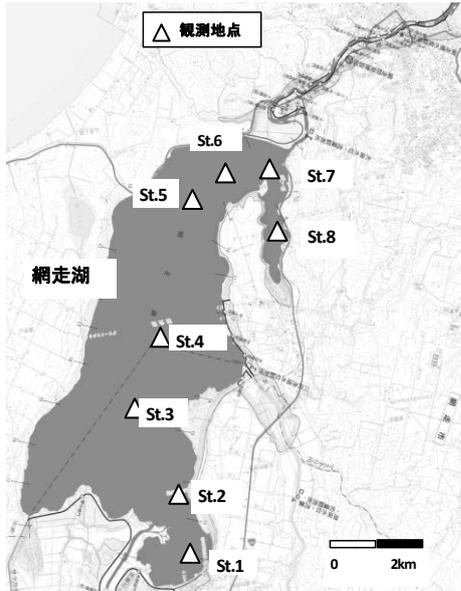


図-10 巻き上げ観測位置図

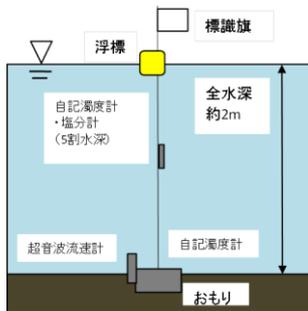


図-11 設置模式図

ほどの流速が発生し、底面近傍の濁度が上昇することが確認された。このとき濁度は水深 1m においても同程度の濃度で同期した挙動を示していた。これらの挙動は降雨がないことから、風による連行流により底質が巻き上げられた現象をとらえていると考えられる。

次に 8 月 16 日以降のデータをみると、強い降雨の後に濁度が上昇していることが確認できる。これらは河川流出にともなう濁質の流入を示していると考えられるが、底面近傍の濁度が中層よりも高くなっている傾向がみられる。これらは河川水流入が下層に潜り込んでいることが推察されるが、詳細は不明である。

また、8 月 9 日～8 月 12 日のデータは降雨と強風が交互にあり、観測された濁度データは巻き上げと流入が複合した濁度上昇と考えられる。

現在これら成分の分離を試みており、定量評価を行うべく検討中である。定量的な評価については機会を改めて報告したい。

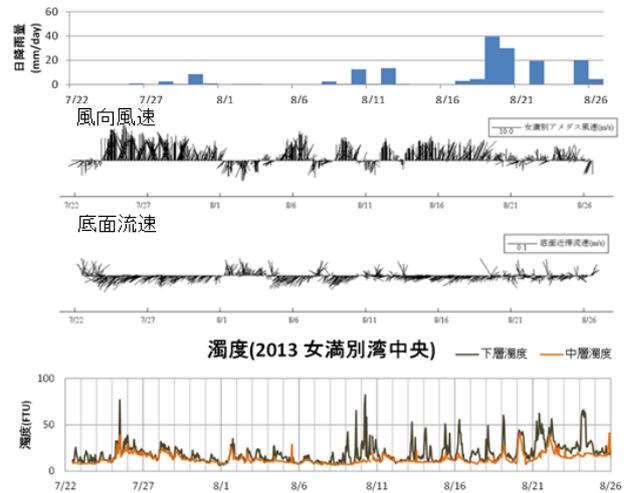


図-12 巻き上げ観測結果

#### 4. 寒冷地汽水域環境の評価・管理手法

##### 4.1 目的

河口付近では、遡上した海水と河川からの淡水が混合して汽水域が形成され、独自かつ多様な生物生息環境を形成している。河川上流から輸送されてきた土砂や有機物、栄養塩類は、流速の低下する感潮域で沈積して、底質を形成する。ところで汽水域では、流れが潮汐の影響を受けて複雑に変化しており、懸濁物の輸送もその影響を強く受ける。汽水域では、懸濁物の凝集や沈積は淡水域に比べてより複雑となることも知られている。汽水域内での濁質動態や沈積過程の把握は、河川環境の保全や管理において重要である。

本研究では、塩水遡上が顕著であり、ヤマトシジミの生息環境としても重要である天塩川下流域をフィールドとして、河道内の濁質や塩水遡上の動態を解明する。汽水環境の保全のための効果的・効率的なモニタリング手法、良好な汽水域生物生息環境を評価する指標や手法構築を最終的な目標として、調査研究を開始した。

##### 4.2 ヤマトシジミ生息環境調査

汽水域生物生息環境の評価指標として、対象生物をヤマトシジミとし、底質性状との関係性を確認した。

図-13に示す天塩川において北海道開発局留萌開発建設部によって2005年に、河口から上流側17kmまでの500m間隔でヤマトシジミの現存量調査が実施されている。この調査のデータより、底質性状との関係を分析した。ヤマトシジミ現存量調査は左右岸の標高-0.5m、-1.0m、-1.5m、-2.0m、-3.0mにおいて実施されている。また同地点において底質調査も実施されている。シジミ現存量調査は年2回実施されており、2回の調査結果を合算して、



図-13 天塩川調査位置図

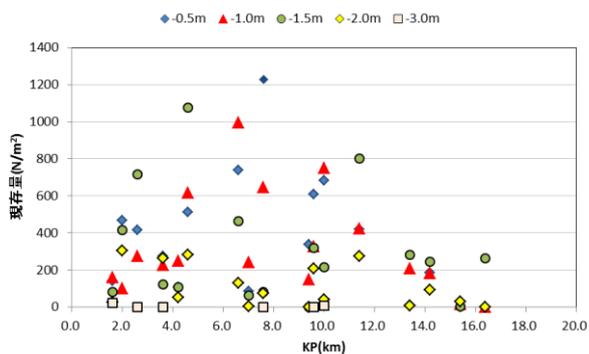


図-14 ヤマトシジミ現存量分布

かつ左右岸の合算として取り扱った。なお、今回は殻長毎の比較はおこなわず、総数として分析を行った。

### 4.3 分析結果

#### (1) 現存量の縦断分布

図-14に標高別のヤマトシジミ現存量の分布を示す。横軸は河口からの距離を表し上流に向かう距離を示す (KP4.0は河口から4.0km上流を示す)。KP7.0~10.0にかけて現存量がピークとなっていた。また標高方向に比較すると標高-1.5m~-2.0m付近に塩水境界面が存在し、標高-1.5m以下では現存量が急減する分布となっていた。ヤマトシジミは海水 (34psu) では生存できないことが知られており、標高-1.5m以下ではほぼ海水と同等の塩分濃度となることが推察され、昨年度の観測結果 (KP11.8にお

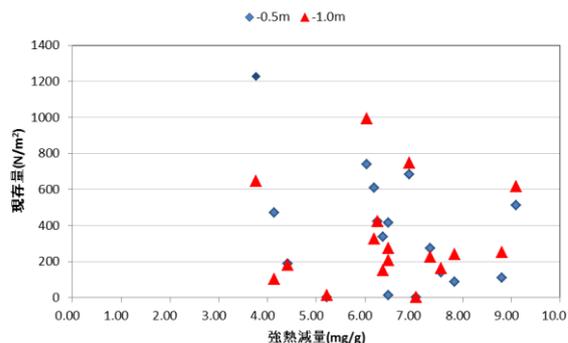


図-15 底質強熱減量とヤマトシジミ現存量の関係

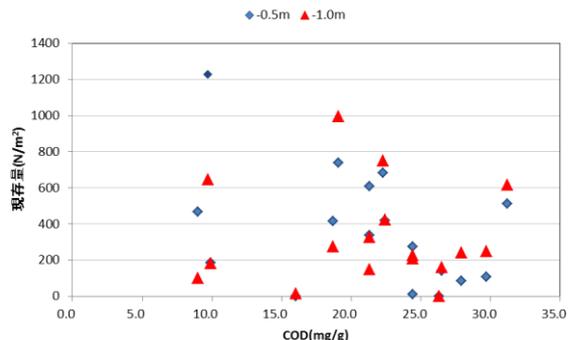


図-16 底質CODとヤマトシジミ現存量の関係

ける塩分観測)とも一致する。このことから、ヤマトシジミ現存量と底質性状との関係性を把握するために標高-0.5mと-1.0mの現存量を抽出して以下の分析を行った。

#### (2) 底質有機物指標とヤマトシジミ現存量の関係

図-15に底質の強熱減量に対するヤマトシジミ現存量、図-16に底質のCODに対するヤマトシジミの現存量を示す。これら底質の有機物指標が増加するとヤマトシジミの現存量は減少する傾向がみられる。ここで既往文献<sup>14),15),16)</sup>からヤマトシジミの好適環境を30日生存率が100%、限界環境を30日生存率が50以下とすると、強熱減量に対するヤマトシジミの好適環境は5mg/g以下、限界環境は15mg/g以下となる。天塩川の強熱減量はほとんどが好適環境と限界環境の間にあり、ヤマトシジミにとっては良好な環境ではないにもかかわらず、現存量が多いことが確認された。

#### (3) 底質粒度組成とヤマトシジミ現存量の関係

次に粒径や組成との関係をまとめる。図-17に底質の中心径に対する現存量の関係を示す。天塩川河床はシルト・粘土の組成が高く、中心径は0.05mm程に集中し、明瞭な関係性はみられない。

図-18に底質のシルト・粘土組成率に対する現存量の関係を示す。この結果からはシルト・粘土組成率が高くな

るほど現存量が減少する傾向がみられる。ここで、既往文献<sup>14),15),16)</sup>から好適環境は10%以下、限界環境は50%以下と報告されている。天塩川河床は限界環境よりも劣悪な状況であるが、ヤマトシジミの大半がその劣悪な環境に是依存している結果となった。なお、ヤマトシジミは卵から孵化したのち浮遊幼生となり、着底して成長するためシルト・粘土組成率によって着底条件が15%以下が適していると報告<sup>15)</sup>されている。この着底条件を比較しても、天塩川の河床は不適環境であるものの実際の現存量は多いことが確認された。

図-19に底質の細砂組成率に対する現存量をまとめると、細砂組成率の増加にともない現存量が増加していることが確認された。これらの傾向から底質の粒径に関する条件としては天塩川は劣悪な状況であるが、ヤマトシジミは生存しており、実際の生息環境としては水質など他の要因が強く影響していると推察される。今後は水質条件についてもデータ収集を進める予定である。

## 5. まとめ

本研究の結果を以下にまとめる。

- ・複数の河川・湖沼を対象として、ADCPによる濁度推定を実施した。現状の推定手法では0~1200ppmまでの濁度をほぼ再現できた。これにより時空間的な濁度推定が比較的簡便に行えるようになった。
- ・網走湖の巻き上げ現象を観測し、風により底質が分散されることが分かった。
- ・天塩川下流域でのヤマトシジミの底質に関する生息環境は好適ではないが、現存量としては多いことが分かった。

今後の課題は以下のとおりである。

- ・ADCPによる濁度推定については、出水期を一連で再現するため、1500ppm程度までの推定を行うことでどのような水域においても適用できる技術を目指す。
- ・網走湖において巻き上げや流入による濁質による栄養塩を中心とした水質への影響を把握し、定量的な評価を行う必要がある。これにより一次生産との関係性について整理を行う。
- ・ヤマトシジミ等の指標生物の生息環境の指標として水質との関係が重要となり、その関係性を把握する。

**謝辞:** 本調査実施に当たり、北海道開発局留萌開発建設部、北るもい漁業協同組合天塩支所から現地観測結果を提供いただいた。ここに記して謝意を表する。

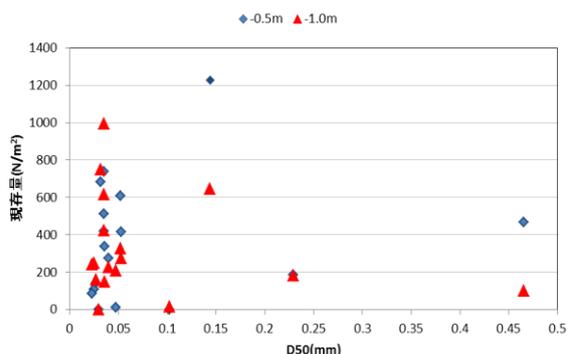


図-17 底質中位径とヤマトシジミ現存量の関係

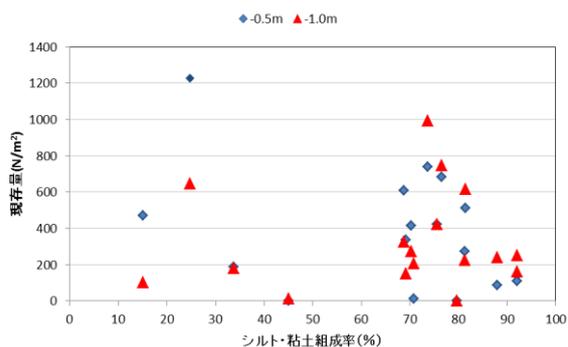


図-18 底質シルト粘土とヤマトシジミ現存量の関係

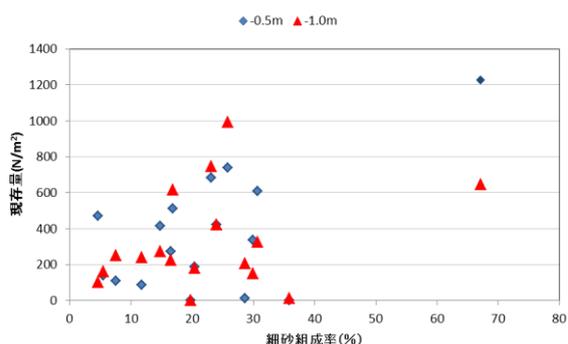


図-19 底質細砂とヤマトシジミ現存量の関係

## 参考文献

- 1) 横山洋、渋谷直生、安田裕一：網走湖女満別湾におけるADCPを用いた濁度時空間分布の推定について、平成23年度北海道開発技術研究発表会、2012
- 2) 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、pp.559-564、1998
- 3) 横山勝英、金子祐、長屋光彦、山本浩一：筑後川感潮河道の蛇行部横断面におけるSS粒子の挙動とフラックスに関する考察、水工学論文集第53巻、pp.1411-1416、2009
- 4) 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、pp.55-60、2008

## 8.2 寒冷地汽水域における底質及び生物生息環境改善に関する研究

- 5) 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
- 6) 天野直哉、大田見定、舘ヶ沢恵: 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、平成 21年度北海道開発局技術研究発表会、2010
- 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、 pp.937-942、2001
- 8) 横山洋、浜本聡: ADCPを用いた感潮域旧川における底質巻上げ機構の検討、河川技術論文集第18巻、2012
- 9) 横山洋、渡邊尚宏、矢部浩規、渡邊和好: 超音波流速計による感潮河川・湖沼の濁度推定精度、寒地土木研究所月報723号、pp.16-21、2013
- 10) 橋田 隆史、岡田 将治、新井 励、熊田 康邦: ADCP を用いた新しい濁度観測システムの開発、土木学会第61 回年次学術講演会、2-220、2006
- 11) Thorp, W.H.: Analytic description of the low frequency attenuation coefficient, *J. Acoust. Soc. Am.*, 33, 334-340, 1961
- 12) Kim, Y. H., Voulgaris, G.: Estimation Of Suspended Sediment Concentration In Estuarine Environments Using Acoustic Backscatter From An ADCP, *Proceedings of the International Conference on Coastal Sediments 2003*, 2003
- 13) 海洋音響学会: 海洋音響の基礎と応用、成山堂書店、pp.32-33、2004
- 14) 山口啓子、幸内綾子、藤岡克己: ヤマトシジミへの給餌と軟体部増加に関する実験、LAGUNA (汽水域研究) No.15、pp.49～55、2008.
- 15) 森脇晋平、若林英人、三浦常廣、山根恭道: 宍道湖におけるヤマトシジミの資源生物学的特性—資源管理に向けて—、島根水技セ研報、No2、pp.31～38、2009.
- 16) 藤原広和、玉井翠、奥山紘平、河野翔太、長崎勝康、細井崇: 現地観測に基づく小川原湖の底質環境とヤマトシジミの分布に関する考察、水工学論文集、第53巻、pp.1309-1314、2009.

## STUDY ON IMPROVEMENT OF SEDIMENT AND HABITAT ENVIRONMENT IN BRACKISH WATER AREA OF COLD REGION

**Budgeted** : Grants for operating expenses

General account

**Research Period** : FY2011-2015

**Research Team** : Watershed Environmental Research Team,  
Northern Hokkaido branch division

**Author** : YABE Hiroki

WATANABE Kazuyoshi

YOKOYAMA Hiroshi

NISHIHARA Terumasa

MIZUGAKI Shigeru

WATANABE Masahiro

YASUDA Yuichi

SUGIHARA Koki

### **Abstract:**

Environment of sediment transportation in brackish water area is important for brackish ecosystem and habitat. Then we aim to investigate turbidity behavior in brackish water lake and river in cold region. We aimed to check and improve the accuracy of method of turbidity estimation using ADCPs in brackish water areas. First we have studied a method to understand the continuous temporal and spatial distribution of turbidity based on the acoustic backscatter obtained by ADCP observation in lakes and rivers. We confirmed the span of turbidity using ADCP method. Second we rearranged condition of bottom mud in Teshio River that freshwater clam live in. the result showed organic matter influence more strong than particle size of mud. We investigate water quality such as dissolved oxygen and salinity near bottom would be important.

**Keywords:** Brackish water area, Acoustic Doppler current profilers (ADCP), Estimation of turbidity movement, freshwater clam