

## 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・道央支所

研究担当者：浜本聡、矢部浩規、横山洋、

西原照雅、水垣滋、渋谷直生

安田裕一、桃枝英幸、数馬田貢

### 【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。今年度は網走湖を対象に ADCP を用いた流動と濁質の時空間分布の同時把握手法の構築を進め、濁質推定精度の検証と濁度挙動について考察を行った。ADCP による濁度推定は平水時及び小規模出水時はほぼ再現できる一方、出水時の再現性には課題が残された。天塩川下流では河道横断面内の水質分布を計測し、汽水域河道内の塩水・物質輸送動態に関するデータを集積した。

キーワード：汽水域、ADCP、濁度動態の推定

### 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、シジミ漁を代表とする内水面漁業等、地域生活や産業の場として、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において、「汚濁負荷が蓄積された底質」による水環境の悪化が起り、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、現状の把握、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となっている。

そこで本研究では本年度より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

本年度は現地調査により研究対象水域の水質・濁質・底質に関するデータ収集・整理を進めるとともに、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 による濁度推定手法の構築

#### 2.1 背景と目的

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。本調査で対象とす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は、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沈積過程の把握は、底質の形成やその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)</sup>や湖沼<sup>3)</sup>も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、網走湖の女満別湾において、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 現地調査の概要

現地観測は、2011年6月30日から11月8日にかけて行った。調査箇所は網走湖最奥部で閉鎖性の強い水域である女満別湾の湾口である（図-1）。女満別湾の水深はほぼ全域にわたって5m以下であり、網走湖に安定して存在する塩淡境界層（水面下概ね6~7m）より浅い。調査地点の水深は概ね3mであった。調査地点の塩分は、8月は1~3psuで変遷しており、その他の期間では1psu以下であった。

調査項目は、ADCP（RD Instruments Workhorse Sentinel 1200kHz）による流速流向連続観測、自記濁度クロロフィル計（JFEアレックCompact-CLW）及び自記水温塩分計（アレック電子Compact-CT）による水質連続観測、投げ込み式多項目水質計（JFEアレックAAQ1182）による水質鉛直観測である。ADCPは湖底に上向きに設置した。水質自記観測に用いる機器は、湖底から水面下概ね1mになるよう設置している（図-2参照）。水質鉛直観測は調査期間中概ね半月に1回行っている。

図-3は国土交通省による網走川本郷地点水位<sup>4)</sup>及び気象庁による女満別地点の日降雨量<sup>5)</sup>を示したものである。中でも9月の2回の出水は比較的規模が大きく、濁度のピークは150FTUまで増加した。

図-4は自記濁度計観測による水面下1mでの濁度変遷である。濁度は、降雨のない時期は概ね10FTU前後であるが、7~8月の小規模降雨後には、やや上昇して15~20FTU前後の値をとる。また9月には2回大規模な出水があり、ピークで150FTUを超える濁度上昇がみられた。なお観測地点の塩分は7~8月は1~3psu、9月以降は概ね1psu以下で変遷している。

## 2.3 濁度算出手法

ADCPに用いられている超音波の反射強度は、濁度と相関があることは、数多くの研究により知られている。ADCPによる反射強度と懸濁物質濃度の間には、ソナー方程式による以下の式(1)が成り立つ<sup>6)</sup>。

$$\log M(r) = 0.1 \times \{K_c(E - E_r) + 2r\alpha + 20 \log \psi r\} - 2 \log k_s k_t \quad (1)$$

ここで  $M(r)$  : ADCP からの距離  $r$  における浮遊懸濁物濃度、 $K_c$  : トランスデューサーに関する定数、 $E$  : ADCP の反射強度、 $E_r$  : 反射強度の参照値、 $\alpha$  : 吸収に関する係数、 $\psi$  : 音源付近における音波伝搬の近距離補正係数、 $k_s$ 、 $k_t$  : 懸濁物質や機器特性により決定する



図-1 網走湖女満別湾調査位置  
(電子国土 Web システムによる地図に加筆)

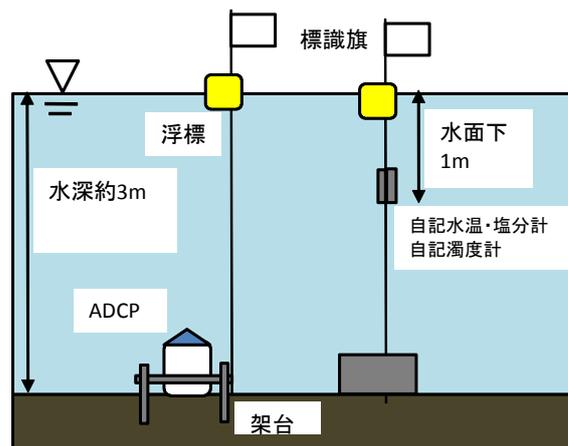


図-2 観測機器設置模式図

パラメータである。

本研究では、式(1)を基礎式としたADCPデータ解析ソフトウェア（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した。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。なお超音波濁度の算出方法の詳細は橋田らによる研究事例に述べてあるので、そちらを参照いただきたい<sup>7)</sup>。

超音波濁度算出のためのパラメータ設定に当たっては、過去に石狩川感潮域で行った事例<sup>8)</sup>と同じく、まず平水時の代表的な濁度鉛直分布からキャリブレーション用のパラメータを設定し、観測期間全体にわたる濁度変遷傾向を算出することとした。ここでは出水による影響がほとんどないと考えられる8月上旬における水質鉛直観測デ

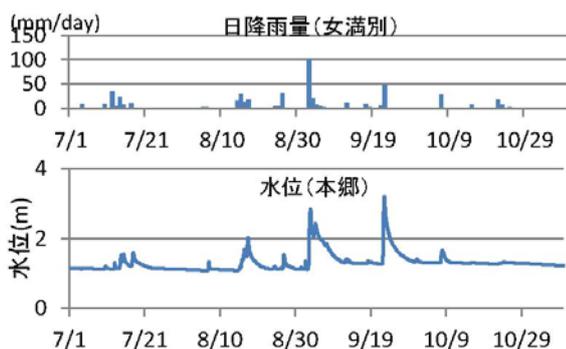


図-3 網走川本郷水位と女満別降雨量

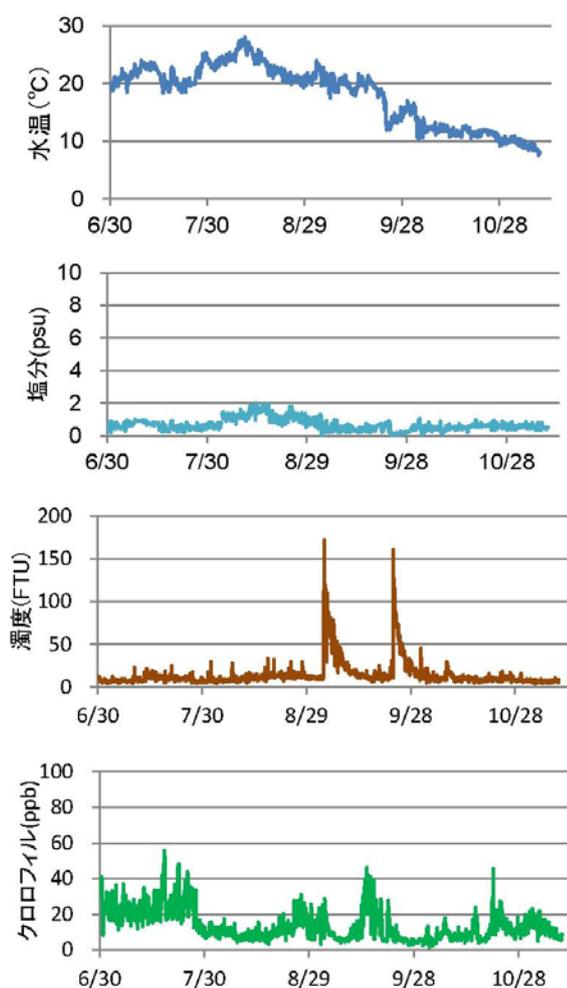


図-4 自記観測による水質変遷

ータ（平均濁度は概ね8FTU）から設定している。なお出水等による濁度上昇時には、平水時のパラメータから算定した超音波濁度は、実測値と比べて過小評価する傾向があるため、高濁度には別途パラメータ設定が必要となる<sup>7)</sup>。そこでこの期間は自記濁度計による水質連続観測結果をもとに校正を行う。以下に、超音波濁度の算出結果とその精度を述べていく。

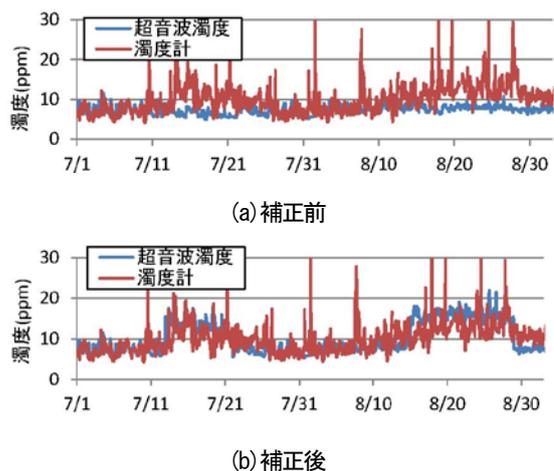


図-5 超音波濁度と実測濁度の比較（7～8月）

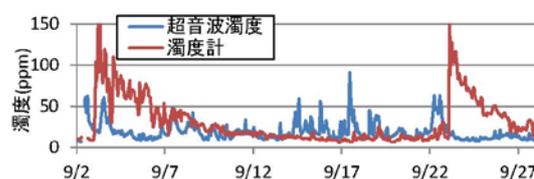


図-6 超音波濁度と実測濁度の比較（9月）

## 2.4 濁度算出精度とその考察

まず期間全体を通じた水質連続観測値（水面下1m）と機器設置深度に相当する位置での超音波濁度を比較する。

図-5は、超音波濁度と自記濁度計による実測濁度を比較したものである。7～8月については、平水時の濁度にあたる8月3日の水質鉛直観測結果、9月については、出水直後の濁度上昇がほぼ収束したとみられる9月14日の実測濁度をもとに超音波濁度算出用のパラメータを設定した。得られた超音波濁度は、7～8月については10FTU前後、9月については20FTU前後で変化している。

図-5(a)をみると、超音波濁度は出水のない7月下旬から8月中旬の間の実測濁度をほぼ再現している。7月11～15日、8月15日前後及び25日前後に小規模な降雨があり、実測濁度もそれに応じて増加する傾向が見られる。その期間の超音波濁度は、実測濁度のほぼ半分の値で推移する。これは当初のパラメータ設定に、濁度が低い8月上旬のデータを用いたことが一因といえる。そこで、この期間の超音波濁度の値が2倍になるよう補正係数をかけた結果、超音波濁度は実測値とほぼ一致した。このことは、小規模な出水による濁度上昇は、濁度の時系列データをもとに、超音波濁度を適切に補正できることを示している。

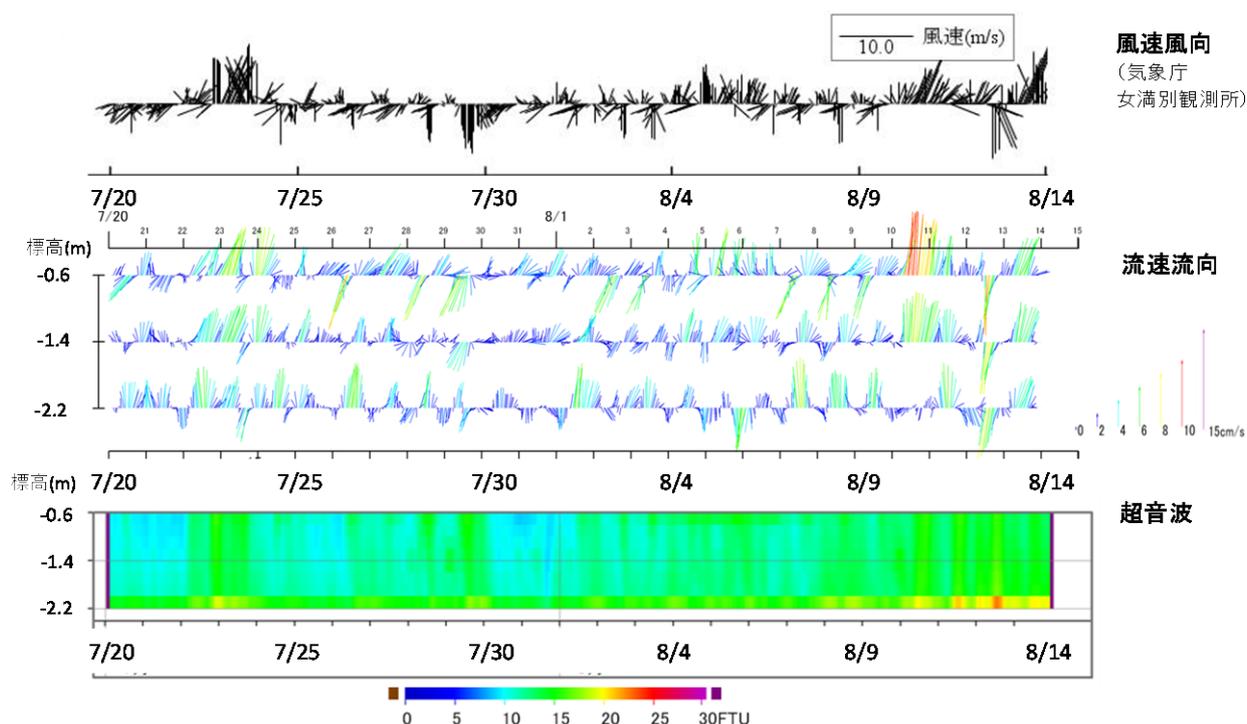


図-6 平水時（7月20日～8月13日）の超音波濁度変遷と風速風向、流速流向

図-5(b)は、出水による影響が大きい9月の観測結果である。出水による濁度上昇が概ね終息した9月7～21日にかけて超音波濁度は変動もあるものの、全体的な傾向としては現地濁度を概ね再現している。一方、濁度が急激に増加している9月2～6日、9月22日以降は、超音波濁度は実測濁度を明らかに過小評価しており、濁度の短時間の増加をとらえられていない。また、この差は、前述した濁度連続観測結果をもとに、超音波濁度に補正係数をかける方法では補正しきれない。

出水時の超音波濁度の再現性低下の一因として、濁度の急変時に、同一反射強度に対して濁度がとりうる幅が広く、相関が悪いことも考えられる。今後、反射強度と濁度の関係についてさらに検証し、適切な補正手法を検討する必要がある。

### 3. 濁度鉛直分布の変化とその因子の検討

次いで平水時の濁度変動と外的因子の関係について検証する。閉鎖性の強い水域では、風による底質巻上げが濁度に与える影響が大きいことが知られている。そこで、得られた超音波濁度の鉛直分布と風速風向、流速流向の関係を検証する。

図-6は、期間中に降雨がほとんどなく、出水による濁度上昇の影響が小さいことが確認されている7月20日から8月13日までの、超音波濁度の鉛直分布の時系列変遷を

示したものである。網走湖は感潮区間であるため、日周期での流速流向の変動が窺える。また流速流向と風の関係を見ると、強風時に表層付近の流れが同方向に加速される傾向もみられる。しかし下層部の流れは必ずしも風による加速を受けているとはいえない状態である。

超音波濁度は、鉛直方向に概ね一様な値をとっており、巻上げ現象は不明瞭である。期間中の風速が大きくなる8月10日及び8月12日には、濁度がわずかに上昇するが、その他の期間については、風と濁度変遷に明瞭な関係は見いだせなかった。

今回の観測では底質巻上げ現象を十分把握できなかったが、次年度以降はより浅い湾奥部を含めた濁度変化の把握とその変化の原因について、詳細に観測・検討を行う必要がある。

### 4. 汽水域河道断面内の濁質動態

前節までは、寒冷地汽水湖である網走湖内湾部での濁質の動態について述べてきた。本章では、汽水域河道である天塩川下流をフィールドとして、現地調査結果から得られた濁質や塩分の動態について述べる。

#### 4.1 背景と目的

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 現地観測

調査は天塩川の河口から約8km上流にあたるKP7.7断面で行った(図-7)。調査箇所は、上流部の湾曲区間が終了した直下流にあたる。観測を行った断面横断形状(11月6日のADCP横断観測による計測)を図-8に示す。

調査は2011年7月22日から11月15日まで、概ね4ヶ月間実施した。断面内の最深部(図-8のNo.1近傍)に、ADCP(RDI Workhorse Sentinel 1200 kHz)を河床から上向きに設置し、期間内の流速流向の連続観測を行った。観測は10分インターバル、観測層厚は0.2mである。ADCP設置地点では、塩淡水境界層付近である河床上3.5m付近に塩分計(アレック電子Compact-CT)と濁度計(アレック電子Compact-CLW)をそれぞれ1台設置、水温、塩分、濁度を10分間隔で観測している。またNo.1とNo.4付近で、多項目水質計(アレック電子ASTD-687)により、月に1~2回水質鉛直観測(水温、塩分、濁度、クロロフィル)を行った。またADCP移動観測と多項目水質計による水質鉛直観測(図-8に示す4地点)を2011年11月6日の午前11時から概ね2時間間隔で3回行っている。

## 4.3 観測結果

以下では、特徴的な観測結果が得られたものを数例示していく。図-9は、8月の水質鉛直観測による水温、塩分、濁度の鉛直分布を、最深部であるNo.1と河岸近傍で浅いNo.4で比較した結果である。8月は降雨もほとんどないため河川流量が少ない時期であり、塩水遡上も安定してみられた。8月5日は淡水と塩水で水温差が顕著である一方、8月25日は塩水と淡水の水温差はほとんどみられない。

塩分の鉛直濃度はNo.1とNo.4でほぼ同じであり、塩分は塩淡水境界の深度に応じて断面内にほぼ一様になるといえる。なお8月25日の塩淡水境界付近の塩分濃度は水深の浅



図-7 天塩川下流調査箇所図  
(電子国土 Web システムによる地図に加筆)

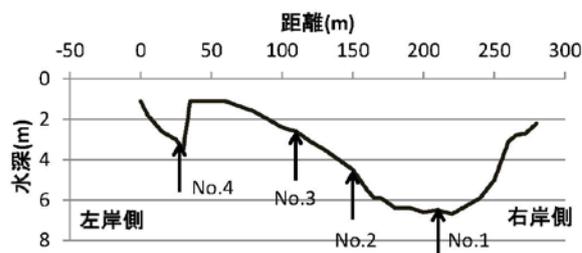


図-8 観測断面の横断形状 (ADCP 観測による)

いNo.4で変化が緩やかである。水温は、8月5日はNo.1とNo.4でほぼ一様な鉛直分布である一方、8月25日は水深の浅いNo.4で水温が1℃程度高いことがわかる。濁度はNo.1、No.4ともに全層でほぼ0に近い。なお河床近傍の濁度上昇は機器が河床に着床した際に巻き上げが生じた可能性がある。以上から水温・塩分・濁度ともに断面内でほぼ一様であるが、水深の浅いNo.4ではその地形の影響が水温や塩水の混合に影響している可能性がある。

図-10は11月6日のNo.1の水質鉛直分布の時間変化を示す。11時台の観測では水温躍層が水面下2.5mに明瞭にみられ、表層部の塩分もほぼ0である。一方14時台の観測では淡水と塩水層で水温の混合がみられ、表層部でも2~3psu程度の塩分が確認される。さらに濁度鉛直分布も11時台と14時台で分布形が異なり、その値も変化していることがわかる。

なお天塩川では過去に塩水遡上機構に関する詳細な観

測・解析もなされている。これらの現象の発生機構や、一般性があるかどうかについては、過去の調査研究や事例も含めて分析するとともに、今後現地調査や解析でさらに検討していく予定である。

## 5. まとめ

今年度の調査・研究結果を以下にまとめる。

- 寒冷地汽水湖である網走湖において、ADCPによる濁度推定を行った。平水時及び小規模な出水時については、実測濁度データから十分な精度で再現可能である。大規模出水による濁度急変時の推定精度向上は今後の課題である。
- 平水時の網走湖の流速、濁度鉛直分布の変遷と風の関係を検証した。風による流速の加速や濁度上昇は若干みられるものの、今回の観測からは明瞭な相関は確認できなかった。
- 汽水域河道での水質動態について現地観測によるデータ収集を進め、断面内や時間の経過による水質変化特性を考察した。

次年度以降は、今年度の結果を踏まえ、以下の点について調査研究を進める予定である。

- 出水後の高濁度時におけるADCP超音波濁度の再現性改善を図る。現地データ収集と濁度推定を引き続き行うとともに、濁度と反射強度の相関にも着目して検討を進める予定である。
- 濁質の汽水域流入後の拡散・沈降過程について現地調査による把握及び数値モデルによる検討を進める予定である。
- 汽水域河道の塩水遡上、水質変化について、縦断及び横断方向の変化について現地観測及び数値モデルにより検討を進める予定である。

## 参考文献

- 1) 網走川水系網走川水環境改善緊急行動計画(清流ルネッサンスⅡ)、国土交通省網走開発建設部、2004
- 2) 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

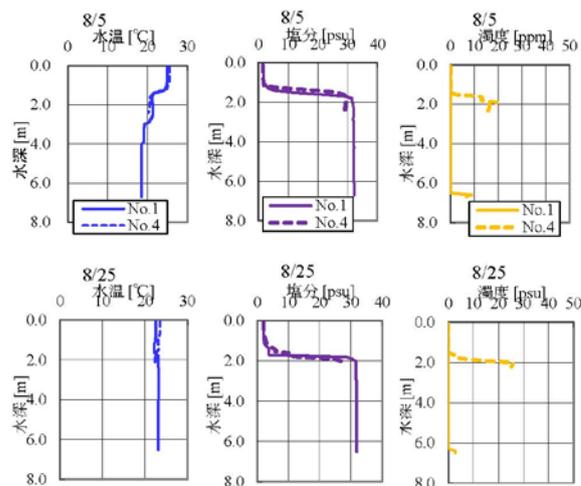


図-9 天塩川の水温・塩分鉛直分布 (2011年8月)

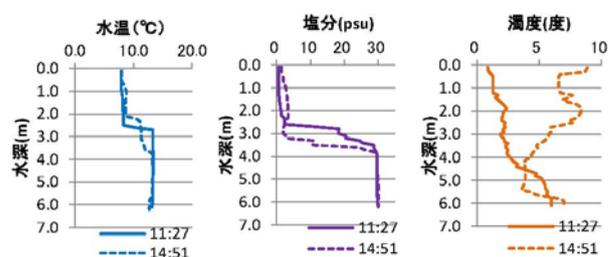


図-10 天塩川の水温・塩分・濁度鉛直分布 (11月6日)

- 3) 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
- 4) 国土交通省水質水文データベース (<http://www1.river.go.jp>)
- 5) 気象庁ホームページ (<http://www.jma.go.jp>)
- 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, pp.23-30, 2008
- 7) 橋田隆史, 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
- 8) 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, 第54回北海道開発技術研究発表, 2010
- 9) 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, 第55回(平成23年度)北海道開発技術研究発表会, 2012
- 10) 吉田静男, 谷藤康造: 天塩川河口二層流と潮汐, 第28回水理講演会論文集, pp.51-57, 1984

## 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 Engineering Research Team,  
Northern Hokkaido brunch division, Central Hokkaido brunch division,

**Author** : HAMAMOTO Satoshi, YABE Hiroki, YOKOYAMA Hiroshi,  
NISHIHARA Terumasa, MIZUGAKI Shigeru,  
SHIBUYA Sunao, YASUDA Yuichi,  
KAZUMATA Mitsugu and MOMONOE Hideyuki

**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 conducted observation with Acoustic Doppler Current Profilers (ADCP) in the Abashiri lake and estimated vertical distribution of turbidity from acoustic backscatter of ADCP. We checked the accuracy of this method. Estimated turbidity from ADCP is almost adapted except under rapid change of turbidity by flood. We also observed cross-sectional distribution of water quality in the Teshio River to collected data about difference of salinity and water temperature in the river channel.

**Key words** : Brackish water area, Acoustic Doppler Current Profilers, Estimation of turbidity movement