

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、寒地技術推進室

研究担当者：平井康幸、谷瀬敦、柏谷和久、
杉原幸樹、水垣滋、田中忠彦

【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。今年度は網走湖における浮遊濁質の成分調査を実施し、濁質の生起由来と拡散範囲の推定を行った。また ADCP による濁度空間分布推定手法をより簡便に精度を向上させた。さらに天塩川において実施した塩水遡上調査結果から、塩水遡上形態を把握した。加えて ADCP を用いた塩淡水境界標高推定手法を開発し、河床標高毎に塩水接触頻度を推定可能とした。これにより塩淡水境界標高と河川流量の関係が明らかとなり、河川流量によってシジミ生息環境の管理が可能であることを示した。

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。

- 寒冷地汽水域の底質・濁質が生物生息環境に及ぼすインパクトとその機構解明
 - ADCPによる濁質・汚濁負荷動態推定手法の開発
 - 積雪寒冷地における効率的な汽水域環境の評価・管理手法の構築
- 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 ADCP による濁度分布推定手法の構築を行った。さらに河川汽水域において ADCP を用いた塩淡水境界標高の推定手法を開発し、汽水環境の評価・管理手法を提案した。

以下にその結果をとりまとめる。

2. 寒冷地汽水域の底質・濁質が生物生息環境に及ぼすインパクトとその機構解明

2.1 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。今年度は浮遊懸濁物質の性状把握を目的に現地観測を実施し、濁質の生起由来とその拡散範囲の推定を行った。

2.2 調査概要

調査地点は、図-1 に示す、網走湖内3地点とした。各観測地点の底面から 0.8m の位置にセジメントトラップを設置し、沈降物の採集を行った。設置期間は2014年7月2日～7月17日および2014年8月20日～9月3日の約2週間の継続設置を2回実施した。また同一地点・同一位置において、濁度・クロロフィル計（JFE アドバンテック製 Infinity-CLW）、溶存酸素計（JFE アドバンテッ

ク製 RINKOW)、水温・塩分計 (JFE アドバンテック製 Compact-CT) を設置して連続計測を行った。観測期間は 2014 年 6 月 23 日～10 月 22 日である。

さらに採集した沈降物、底泥、設置水深の採水試料について粒径分布や栄養塩含量など、各種分析を実施した。

2.3 観測結果

表-1 に捕集沈降物量をまとめる。表中の①は 2014 年 7 月 2 日～7 月 17 日の採集結果、②は 2014 年 8 月 20 日～9 月 3 日の採集結果である。この結果から網走川の流入点に近い St.A においては沈降物重量が多いが、沖合に位置する St.C では沈降物重量は St.A の 1/30 ほどの重量であった。このことは St.A では浮遊懸濁物が多いが、St.C では清澄な水域となっていることを示している。

図-2～5 に各地点の底質及び沈降物の強熱減量、クロロフィル a、全窒素、全リン含有量の分析結果を示す。強熱減量は St.A 及び St.B では底質と沈降物に大きな差はないが、やや沈降物中の含量が増加する。しかし St.C では底質では非常に小さな値であったが、沈降物は大きく増加する傾向を示した。この傾向はクロロフィルで、より顕著にみられ、St.C では沈降物中のクロロフィル含量が極端に大きくなっていった。これらの挙動は St.A や St.B では底質と同様の成分が浮遊して水中に懸濁して、

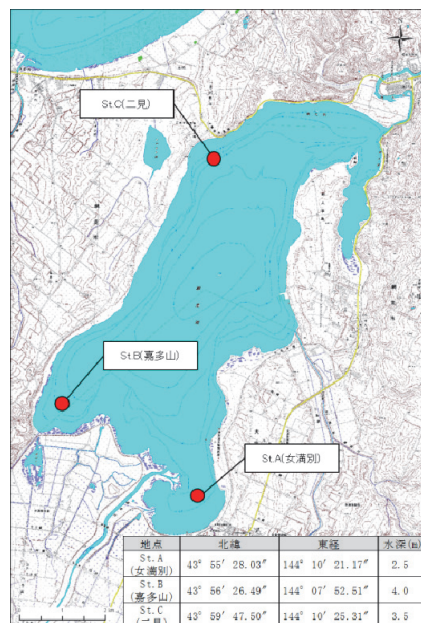


図-1 調査位置図

表-1 沈降物調査結果

	設置日数 (日)	沈降厚 (mm)	沈降物重量 (g)
St.A①	16	19	320
St.A②	15	17	385
St.B①	16	9	30
St.B②	15	13	18
St.C①	16	5	10
St.C②	15	6	12

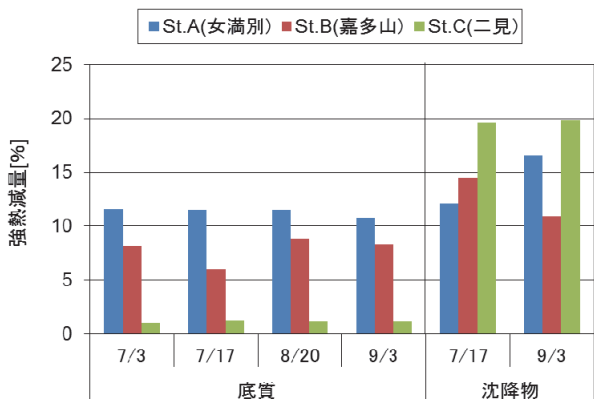


図-2 底質及び沈降物の強熱減量

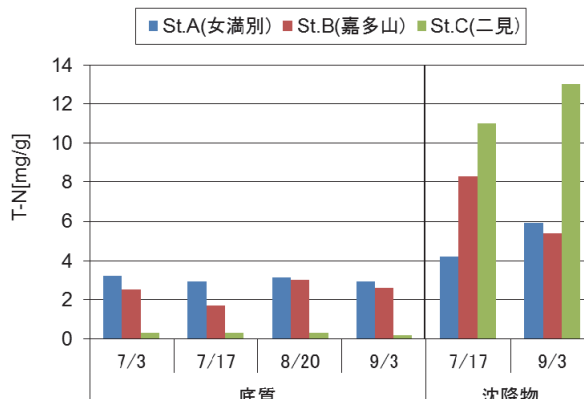


図-4 底質及び沈降物の全窒素

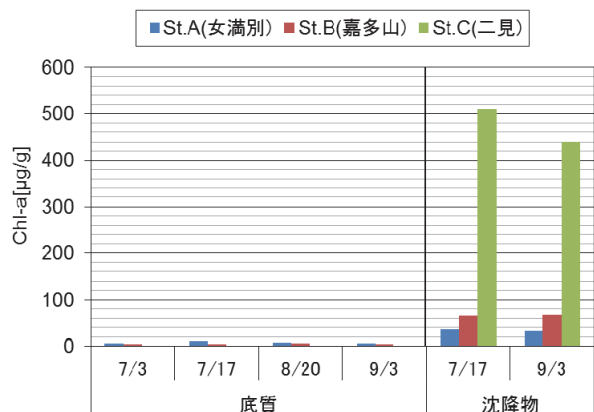


図-3 底質及び沈降物のクロロフィル a

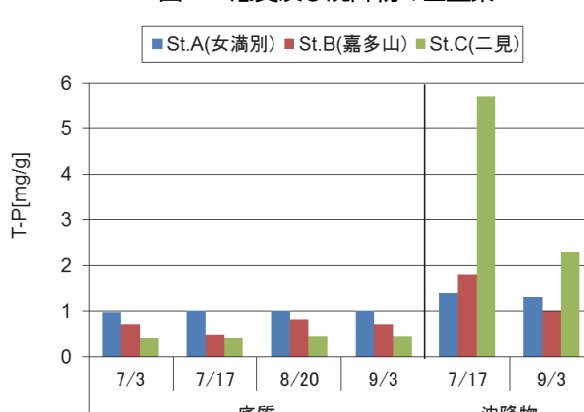


図-5 底質及び沈降物の全リン

沈降していることが示唆され、St.C では植物プランクトンが懸濁・沈降していることが推察される。次に全窒素、全リンをみると底質中の含量はSt.A から St.C に向かうほど小さくなっているが、沈降物中ではSt.C ほど値が大きくなっていた。クロロフィルの結果を参照すると、St.C ほどプランクトンが栄養塩を消費して、固定していることが推察される。

このときの底質及び沈降物を構成する粒子の大きさを比較した結果を図6~8に示す。St.A (図-6) の底質および沈降物の構成粒子はほぼ同様の組成を有していた。St.B、St.C と流入点から離れるほど、底質の粒子組成は粗粒成分が増加する傾向が見られる。しかし沈降物は全地点でほぼ同様な粒子組成を有していた。この結果から流入点では底質の巻き上げによる濁質供給または懸濁物の堆積による底質形成が進行していることが示唆された。また、沖合ほど底質の巻き上げによる濁質供給はなく、

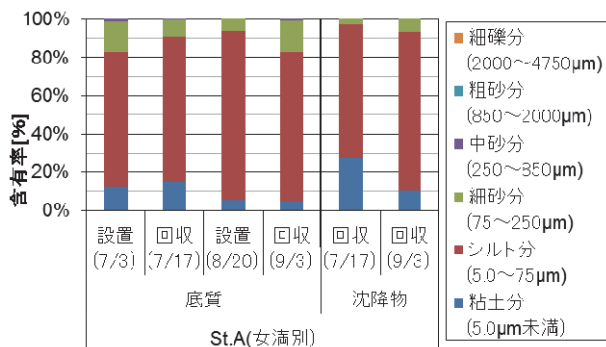


図-6 St.A の底質及び沈降物の粒子組成

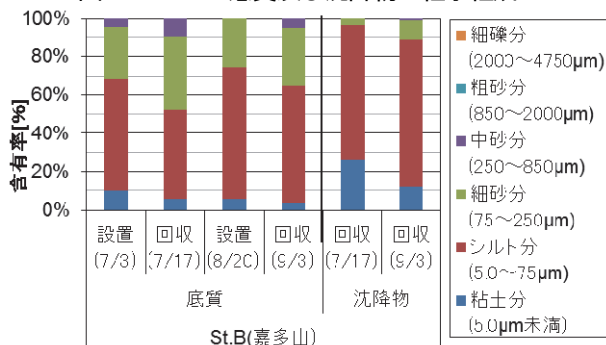


図-7 St.B の底質及び沈降物の粒子組成

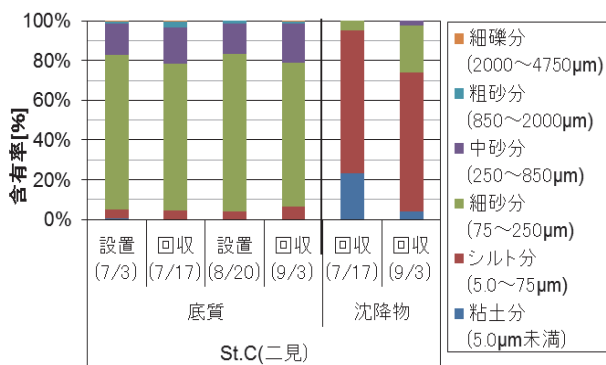


図-8 St.C の底質及び沈降物の粒子組成

懸濁している粒子状成分は水中で発生もしくは輸送されてきたことが示唆された。

次に各地点の水質分析結果を図9~12に示す。SS (図

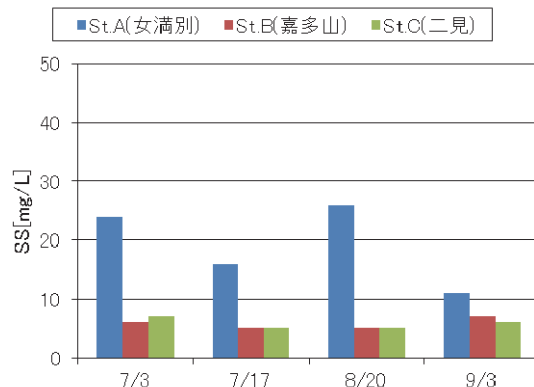


図-9 水質分析結果 (SS)

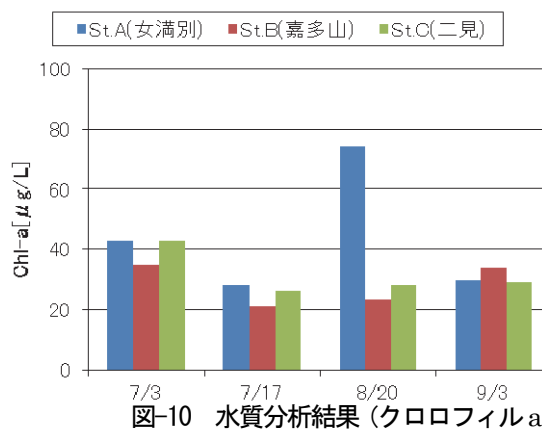


図-10 水質分析結果 (クロロフィル a)

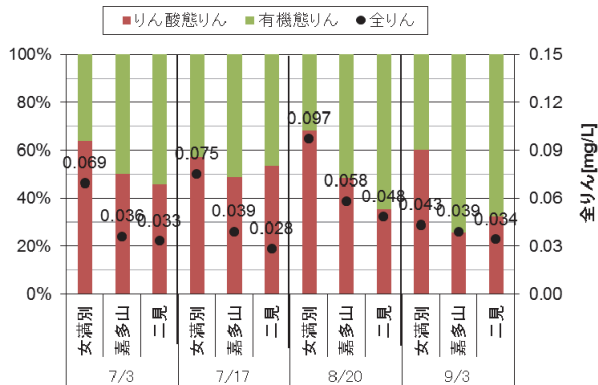


図-12 水質分析結果 (リン)

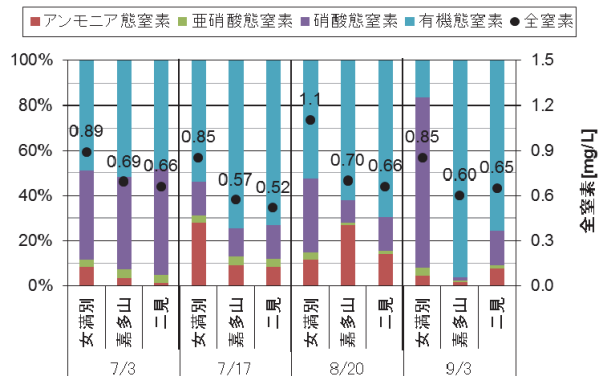


図-11 水質分析結果 (窒素)

-9) は流入点である St.A が他地点に比べて高い。クロロフィル a (図-10) は 8 月 20 日の結果は St.A が突出するが、それ以外はほぼ同程度であった。リン成分 (図-11) はいずれの時期も沖合ほど濃度が低くなる (図中黒点) が、有機態の構成比が高くなっていた。同様に窒素成分も沖合で濃度が低くなるが、有機態の構成比が高くなる傾向を示した。これらの結果から、湖内に均一にプランクトンが分布するが、無機栄養塩は網走川流入点で供給され、沖合に向かって無機態が有機態へと変換されていることが示された。

以上の結果から、河川および底泥の巻き上げによって濁質が水中に供給され、同時に無機栄養塩が供給される。供給された栄養塩は沖合に輸送されながら、プランクトンの成長に寄与していることがわかった。一方で底泥の粒径組成から、河川流入点付近の濁質が沖合までは輸送されていない。この点から流入地点付近の浅水域で濁質が直接的にインパクトを与えるが、その後は溶存栄養塩を仲介して湖内全域へと影響を及ぼすことが示唆された。また、底生生物であるシジミの漁場も St.C に集中しており細粒土砂が除去され、栄養塩のみが輸送されることで良好な生息環境を形成していることが推察される。

3. ADCP による濁度・汚濁負荷動態推定手法の開発

3.1 目的

閉鎖性が強い水域では、底泥の再浮上や河川の流入などによる「濁り」によって栄養塩が供給されプランクトンの異常増などの原因となっている。そのため「濁り」度合いを広域的に把握することが重要となる。

本研究では、超音波流速計 (ADCP) を用いて、濁度の空間分布を比較的簡便に推定する手法を開発してきた。昨年度の課題となっていた、高濁度時の適用性の確認をかねて、より簡便な推定手法の検証を行った。

3.2 ADCP による濁度推定手法

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¹⁾。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、横山らが提案する濁度による吸収損失¹⁾を考慮し、式(1)、式(2)で濁度推定を行ってきた。

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

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

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)、 α : 超音波の水中伝搬による吸収係数 (dB/m)、 β : 濁度による損失係数 (dB/m) である。

しかし、上記の式を現地に適用する場合には設定する変数が多く、変数中に濁度が含まれるなど、実用しがたい面もあった。

そこで、より簡便に濁度推定ができるよう、式の改良とその適用範囲を検討した。

中川ら²⁾の推定式を参考に式(2)を変更し、式(3)を適用した。

$$dB' = I + k \log_{10} r + 2\alpha r \quad (3)$$

ここで k : 拡散による減衰係数である。なお、 I および r は ADCP による観測値である。

濁度推定の手順は、式(3)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。

この手法では、補正を行うために現地で最深地点における濁度の鉛直分布を 1 点実測する必要があるが、それにより式(1)において各 r 毎に C を設定可能となる。これにより設定する必要のある係数は k 、 α の 2 個に集約される。 k 、 α は諸説の報告値が存在するため、本研究で行った、過去の観測結果を用いて、その感度を検討した。

3.3 濁度推定結果

推定精度検証は桂沢ダムで、2011 年から 2013 年にかけて計 4 回観測を行った結果を用いた。流域内で最も水深のあるダムサイトにおける投げ込み式濁度計での観測値および ADCP の曳航観測結果を利用した。なお、観測日は 2011 年 10 月 23 日、2012 年 5 月 15 日、2012 年 8 月 23 日、2013 年 6 月 12 日である。

図-12 に水深毎の濁度計の観測値の自然対数と同一水深における式(3)から推定した後方散乱強度を示す。なお、

図は $k=250$ 、 $\alpha=2.8$ の場合を示している。二つの係数を同一としても、実測濁度と後方散乱強度は観測時期によらず、直線的な関係を示す事が分かる。このとき一次式で近似することで、式(1)と同型式となり S および Ks が決まる。

ここで、一次式の決定係数に注目すると、 k および α の組合わせで変化する。図-13に2012年8月の決定係数の分布を示す。図に示すように山型の分布となり決定係数が大きくなる範囲があることが分かる。決定係数が0.8を超える範囲は観測時期によらず、ほぼ共通しており $200 < k < 400$ 、 $2 < \alpha < 5.6$ の範囲であった。この結果は時期によらず係数を同一として設定可能なことを示唆している。

そこで $k=250$ 、 $\alpha=2.8$ として濁度を推定した結果を図-14に示す。このとき図-12より時期毎に S および Ks を求めている。この結果より2011年11月ではやや過小評価し、2012年8月では決定係数がやや低いが、いずれの時期においても非常に精度良く濁度を推定できている。言うまでもなく時期毎に k および α を設定することで、推定精度は増すが、簡便さを考慮すると同一水域では時期によらず同一係数を利用できる方が重要である。

以上の結果から、本手法によって濁度の空間分布が推定可能となった。一方で、時期毎に S および Ks を求める必要があること、図-14に示すように濁度が1200ppm前後で推定直線式から乖離することなどが留意点となる。時期による変化は水域に流入する濁質の種類（例えば融雪時期は土粒子、秋期は植物遺骸など）の違いが影響していると思われる、実用上は観測時期によって係数を変化させることが望ましい。また濁度の適用範囲が1200ppm前後であることは、音波の特性に依存していると考えられ、機器の性能によるものと考えられるが詳細は不明である。しかしながら実用上は濁度の適用範囲があっても本手法は有効であると思われる。

4. 積雪寒冷地における効率的な汽水域環境の評価・管理手法の構築

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

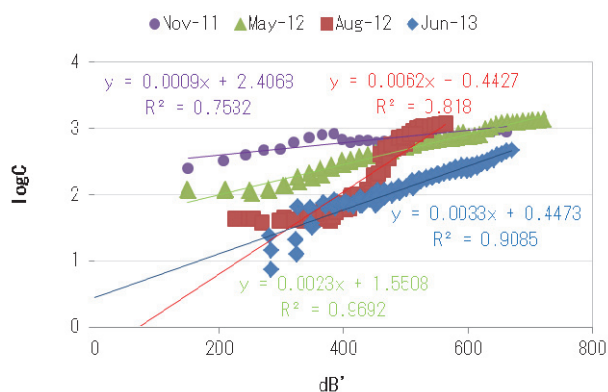


図-12 実測濁度と後方散乱強度の関係

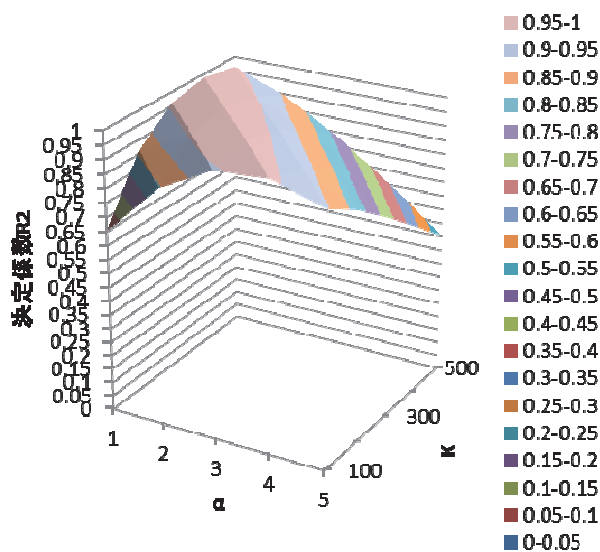


図-13 各係数と決定係数の関係

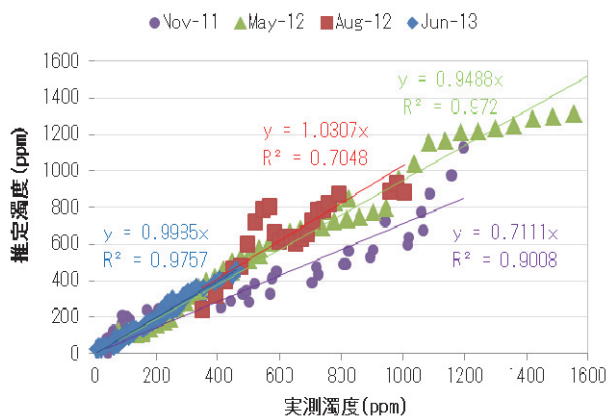


図-14 濁度推定の精度

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 現地調査

本研究は北海道北部に位置する天塩川(流路延長256km、流域面積5590km²、図-15 参照)を対象とした。天塩川では河口から19.4kmまで塩水が遡上することが知られている³⁾。なお、河口から30km上流に設置されている円山(まるやま)水位・流量観測所においては、国土交通省の水文水質データベースの水位データで確認する限りでは潮位の影響による水位変動はみられない。

4.2.1 シジミ現存量調査・底質調査

現存量調査は2005年11月1日～11月13日の間に北海道開発局により1回実施された。天塩川 KP1.2～KP16.4までの間で0.4～1.0km間隔毎の横断測線上(全23測線)において、左右岸の河床標高が-0.5m、-1.0m、-1.5m、-2.0m、-3.0mの位置でスミスマッキンタイヤー採泥器(採泥面積:0.0483m²)を用いて3回ずつ底泥を採取した。採取した底泥より殻長2mm以上の個体を抽出し、その個数及び殻長を計測している。底質調査は各測線上の標高-1.0mよりエクスマンバージ採泥器を用いて底泥を採取し、粒度組成及び底質分析を行っている。本研究では、これら調査結果を提供いただき、解析を行った。

4.2.2 流況観測・鉛直機器観測

KP7.8において超音波流速計(TELEDYNE RD Instruments Workhorse sentinel 1200kHz、以下 ADCP と略す)を河床から鉛直上向きに設置した。設置箇所の横断図を図-16に示す。設置箇所の平水時水深は概ね6mであり、10分間隔で、鉛直方向に0.28m間隔で流速を計測した。観測期間は2011年7月22日～11月15日、および2012年6月28日～10月31日である。なお、2011年9月4日～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。また、上記観測期間中に約2週間毎に多項目水質計(JFE アレック Compact-CTD、以下 CTD と略す)を用い、水温・濁度・塩分の鉛直分布を計測した。なお、このときの鉛直方向の観測間隔は0.1mである。一方で、KP7.8の横断形状を既往の測量成果(2007年実施)と比較した結果、2005年から2012年にかけて大きな変化は見られなかった。

4.3 シジミ現存量・底質調査結果

4.3.1 シジミ現存量の分布

図-17に左右岸の現存量を平均した値を標高毎に縦断距離に対してプロットした結果を示す。この結果から天塩川では標高が-1.5mより高い位置では縦断的にある程度の現存量が分布し、標高-2.0m以下では全域で現存量が減少していた。また、縦断的にみると KP8.0 付近の現存量

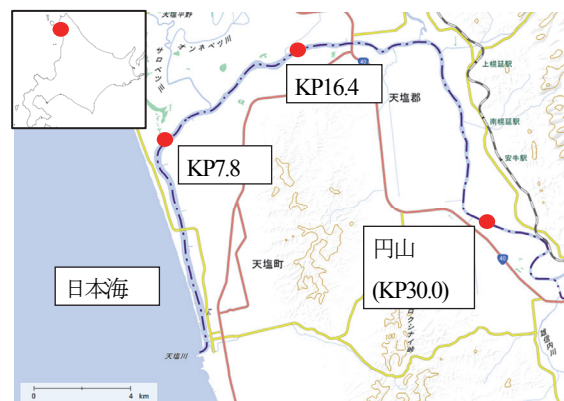


図-15 天塩川位置図

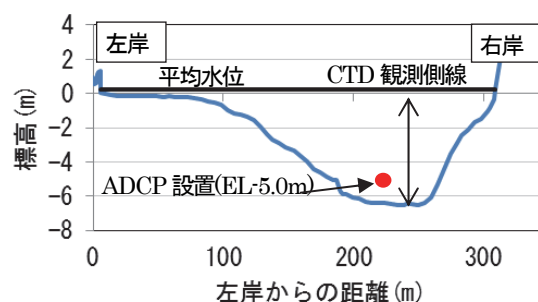


図-16 天塩川 KP7.8 横断図

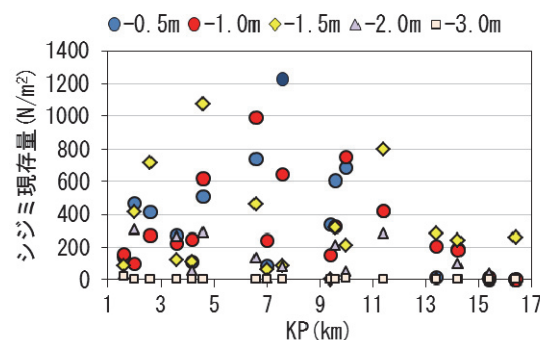


図-17 標高別シジミ現存量の縦断分布

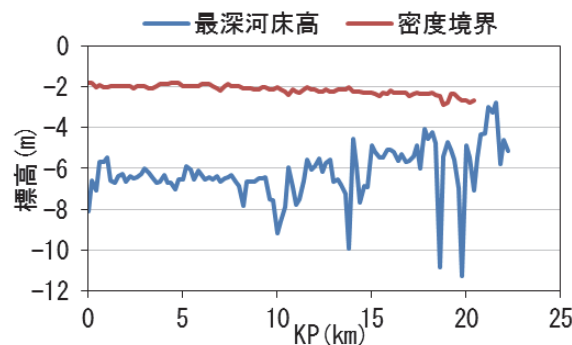


図-18 最深河床高と密度境界の縦断変化

が大きくなっており、特に標高-0.5mと-1.0mの位置では顕著であった。一方で河口から KP5.0 までは標高-1.5mおよび-2.0mでも、ある程度の現存量があった。これらの差は漁獲影響や生息環境影響によるものと考えられるが、漁業区間等は不明のため、本研究では生息環境影響について検討を行う。

ここで2005年9月20日に北海道開発局によって行われた音響測深機による密度境界の縦断観測結果と最深河床高⁴⁾を図-18に示す。天塩川のKP16.4以下の河床勾配は非常に緩やかで約5万分の1ほどであり、塩水とみられる明瞭な密度境界がKP20.0までほぼ同一標高に確認できる。この結果は標高毎の塩水環境が縦断的にほぼ同様であることを示唆している。そのため図-17の結果において標高-2.0mでシジミ現存量に鉛直方向の差が生じ、その傾向は縦断的に同様であることが推察される。しかし、音響測深機による縦断観測で時系列変化を捉えるには、多大な労力を必要とし、非現実的である。一方、中村ら⁵⁾は底質性状によりシジミ生息数が異なることを示しており、本研究でも同様に底質との比較を行った。

4.3.2 シジミ現存量と底質性状の関係

次にシジミ現存量と底質性状の関係を示す。ここで、対象とするシジミ現存量は底質分析と同一標高の-1.0mのみとする。底質分析項目は強熱減量、COD、シルト-粘土組成率である。

図-19に底質の強熱減量に対するシジミ現存量の関係を示す。この結果から、強熱減量とシジミ現存量には明瞭な関係は見られなかった。宍道湖⁶⁾においては強熱減量が増加するほど、シジミ生息数が減少し、15%以上ではほぼ生存していないことが報告されている。天塩川における底質は強熱減量が15%以下であり、標高-1.0mはシジミの生息可能な環境となっていると思われる。このとき、強熱減量とシジミ現存量には回帰分析等を行っても明瞭な関係性は見られなかった。

次に図-20にCODとシジミ現存量の関係を示す。強熱減量と同様に明瞭な関係性は見られない。強熱減量とCODは底質中の有機物含量の指標として用いられる。これらの結果からは天塩川においては底質中の有機物にシジミ現存量は依存しないことが示唆される。

次に図-21に底質中のシルト-粘土組成率とシジミ現存量の関係を示す。底質のシルト-粘土組成率と現存量にも明瞭な関係は見られなかった。しかし、天塩川におけるシルト-粘土組成率は非常に高い特徴がみられ、シジミの生息限界⁷⁾とされる50%を超えるような底質環境でもシ

ジミが生息していることが確認された。これらは、天塩川におけるシジミの生息にとっては底質性状よりは他の要因が支配的であることを示唆している。そこで、他の要因として流速と塩分の観測結果をまとめる。

4.4 流速観測・塩分観測結果

図-22、図-23に2011年および2012年のADCPによる流速観測結果をコンター図として示す。ここで、河道法線に沿うように流速ベクトルを回転補正し、上流向き成分を正值で赤色、下流向き成分を負値で青色としてまとめた。また参考として円山観測所における時刻降雨量を加えている。なお、2011年9月4日～10月1日の間はデータが異常値を示しており、出水による土砂堆積等が影響していると考えられる。観測データから兩年ともに、表層では下流向きの流速、下層では上流向きの流速が明瞭にみられた。

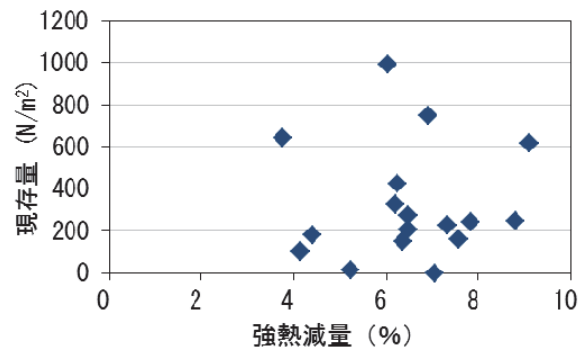


図-19 シジミ現存量と底質強熱減量の関係

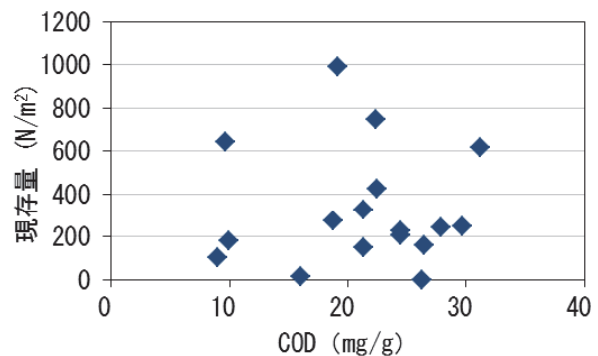


図-20 シジミ現存量と底質CODの関係

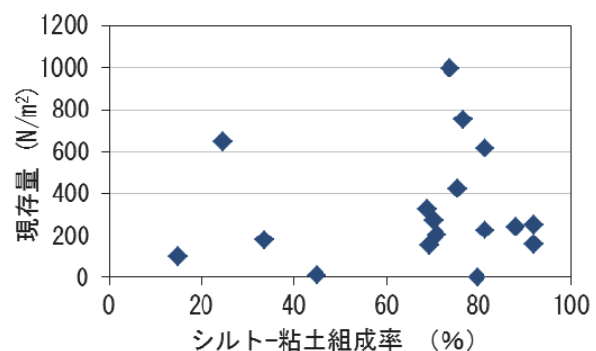


図-21 シジミ現存量と底質組成の関係

さらに、下層の流速は日周変動により増減を示し、降雨時には全層で下流向きの流速が卓越することが分かった。次に図-24 に 2011 年の CTD による塩分観測結果、図-25 に 2012 年の観測結果を示す。両年ともに標高の高い位置（表層）では塩分濃度が低く、標高の低い位置（下層）では塩分濃度が高くなっていた。かつ、鉛直分布は緩やかに変化せずに急激な濃度変化を示す位置が存在している。なお、海水の塩分濃度は 31~34PSU であり、下層の水塊は海水であることがわかる。これより天塩川においては明瞭な塩分躍層が見られ、表層はほぼ淡水であり、下層がほぼ海水となっている特徴が見られる。鉛直的にみると急激に塩分濃度が変化する躍層の標高は時期により変動することが確認された。

ADCP の観測結果と併せて考慮すると、天塩川においては混合しない海水が下層を遡上し、河川流量増加時に下層の海水が押し出されることが明らかとなった。シジミの生息塩分帯は 5~20PSU が適している⁹⁾といわれているが、以上のことから天塩川におけるシジミ現存量との関係を考慮すると、天塩川では生息に適した標高帯が非常に限定されることが推察される。また塩分は産卵誘発因子であり、水温などの条件と合致しなければ産卵しない。つまり、生息数を増加させるには産卵、成長する再生産サイクルが重要であり、その因子が塩分となる。それらを明らかにするためには時系列の鉛直的な塩分変化の把握が重要となるが、鉛直方向の塩分変化を時系列として把握するには、多大な労力を必要とする。天塩川が極端な弱混合で塩水遡上する特徴があることから、ADCP 観測結果を用いて塩分境界位置及び塩分接触頻度の推定を試みた。

4. 5 塩分境界面標高の推定

西田ら⁹⁾は、石狩川における塩淡水境界層は ADCP の反射強度を利用して推定可能であると報告している。しかし、天塩川においては濁りと思われる反射強度の増大によって、塩分鉛直分布と反射強度鉛直分布はほぼ一致しなかった。そのため、本研究では流速差を用いた境界位置を算出する手法を試みた。

図-26 に 2012 年 7 月 11 日における ADCP の流速鉛直分布と CTD の塩分鉛直分布を示す。ここで、流速の負値は下流向きの流れを表している。標高 0~-2m までは塩分濃度が低く、下流に向かう流れが卓越している。標高-2m で塩分は急激に増大し、-2.5m ではほぼ海水となっている。このときの流速は標高が-2~-3m で急変し、-3m では流速は正值を示し、上流向きの流れに変化している。塩分と流速の急変部はほぼ同調した挙動を示しているが、

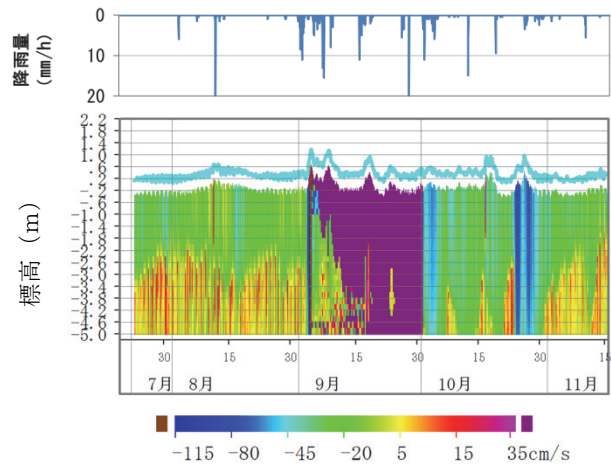


図-22 2011年 ADCP 観測結果

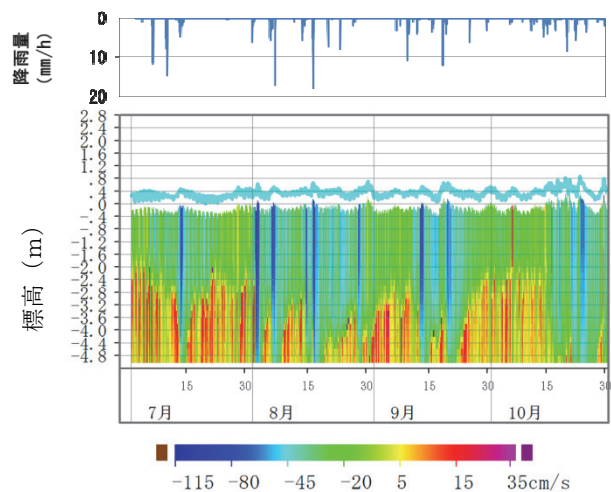


図-23 2012年 ADCP 観測結果

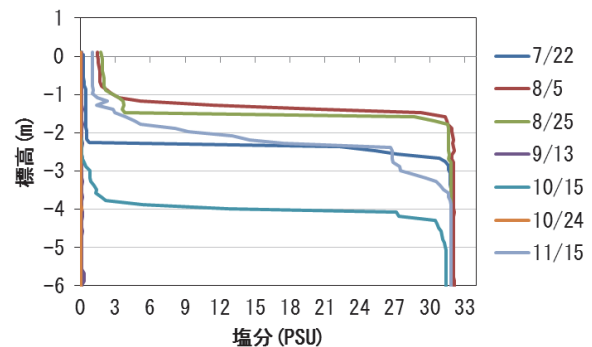


図-24 2011年における CTD 観測結果

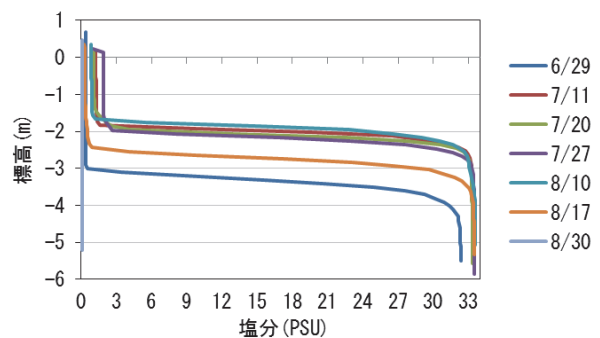


図-25 2012年における CTD 観測結果

急変部の標高位置は0.5~1.0mほど異なっている。これらの流速挙動は図-24及び図-25における塩分躍層が存在する観測時に共通していた。

そこで鉛直方向での流速差に着目して流速の急変部の位置を算出した。ADCPは0.28m間隔で鉛直多層の流速を観測しているため、標高-4.8mから約20層の流速を計測している。標高 h の流速を $V(h)$ とすると流速差 $\Delta V(h)$ は式(4)より算出した。

$$\Delta V(h) = V(h) - V(h+0.28) \quad (4)$$

例えば標高-4.8mの流速差は-4.8mの流速から-4.52mの流速を減じた値として算出し、隣接する観測層の下層から上層の流速を減じた値として求めた。流速差の算出例を図-27に示す。この流速差は流速が最も大きく変化する位置でピークを示し、ピーク標高は海水の上端位置に良い一致を示していた。さらに流速差ピーク位置と海水先端の位置は2011年及び2012年のすべての観測時でよく一致していた。なお、降雨時など河川流量が増加する場合には全層で下流向きの流速となるため、流速差はピークを有する分布にはならず、不明瞭な分布となる挙動を示した。これらの挙動から、流速差のピーク位置を見積もることで

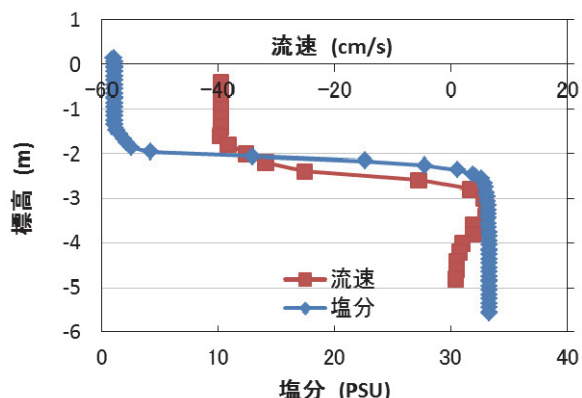


図-26 鉛直方向の流速と塩分分布の比較

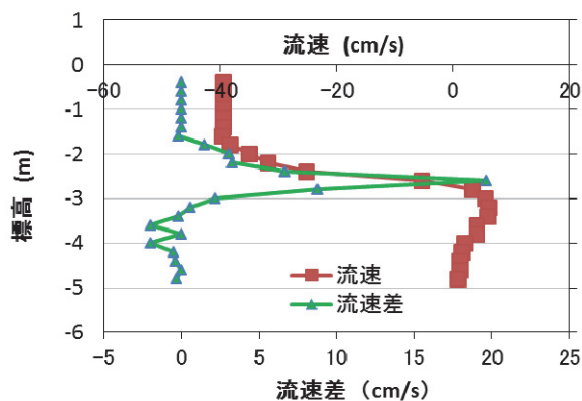


図-27 鉛直方向の流速と流速差の比較

海水面上端位置(以下、境界位置と称する)を時間変化として、推定できると考えられる。

観測した ADCP データより境界位置を時系列変化として見積もった結果を図-28、図-29に示す。なお、流速差のピークが不明瞭な場合は境界位置を ADCP の設置位置である-4.8mとし、欠測期間は除外している。この結果は図-22、図-23のコンター図の色の境界よりも0.56mほど高標高側に海水境界位置が算出されていたが、CTDの観測結果とはよく一致した。また、降雨により境界位置が

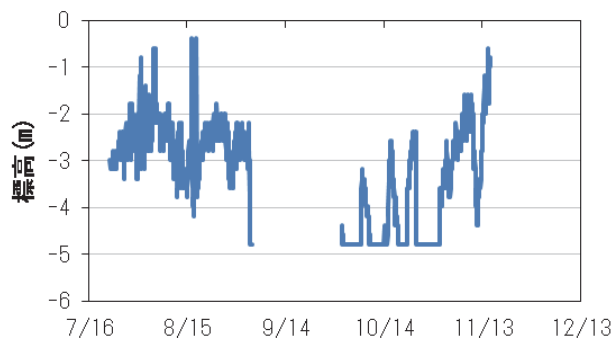


図-28 2011年境界位置の推定結果

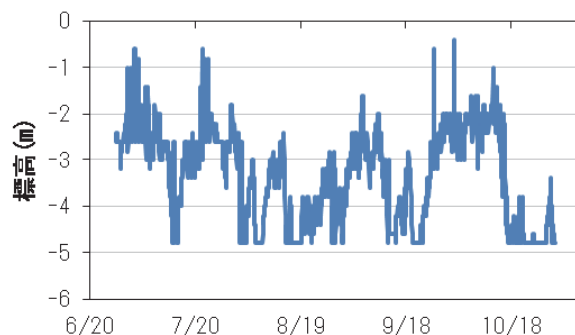


図-29 2012年境界位置の推定結果

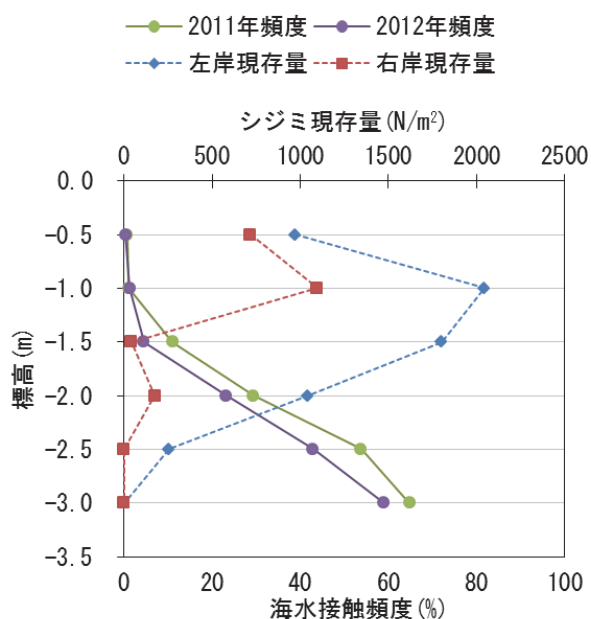


図-30 海水接触頻度とシジミ現存量の関係

低下し、ほぼ流速挙動と同調することから、天塩川における境界位置を妥当に表していると考えられる。

4.6 塩水遡上とシジミ現存量の関係

以上より、各標高において塩分と接触する時間が推定可能となった。本研究における ADCP の観測間隔は 10 分間であり、算出した境界位置は 10 分間変化しないと仮定して、各標高における海水が接する時間を見積もった。図-30 に KP7.8 における標高毎の海水の接触頻度およびシジミ現存量を示す。海水接触頻度は図-28、図-29 中の境界位置より集計し、冬季の観測を実施していないため、年毎に観測期間中の割合とした。この結果から天塩川の 2011 年および 2012 年では標高-1.5m 以上では、ほとんど海水に接触していないことがわかる。しかし、シジミ現存量は標高-1.0m で最も多くなっている。標高-1.0m における海水接触頻度は 1% 以下であり、天塩川のシジミはほとんどが淡水域に生息していることがわかる。また、海水の接触頻度が 50% をこえる標高-2.5m 以下ではほとんどシジミが生息していないことが明らかとなった。さらに左右岸のシジミ現存量をみると左岸側の現存量が多くなっていた。図-16 の横断図をみると法面勾配に差があり、傾斜が急になると生存もしくは着底できないことが示唆されるが、詳細は不明である。なお、5 PSU 以上の汽水の接触頻度を境界位置+0.84m (CTD の結果より海水上端と淡水下端の平均幅より) で設定すると、標高-1.0m で 2%(1 ヶ月に半日ほどの頻度)、標高-1.5m で 20%(1 ヶ月に 1 週間ほどの頻度)であった。

以上より標高が高い位置にシジミが多く生息するが、ほとんど塩分が接触しないことが明らかとなった。天塩川におけるシジミの産卵には塩分 5PSU 以上、水温 25°C 以上が必要と報告⁷⁾されている。本研究結果は天塩川 KP7.8 付近ではシジミは生息しているが再生産には極めて厳しい環境であることを示唆している。以上のことから、現状の資源量は天塩川の上流域で産卵が起り、流された個体が着底・成長しているものと推察される。資源量を維持または増大させるためには上流域への塩水供給に加え、本川域においても産卵を誘発する環境が重要と考えられ、河川管理上は指標が必要となる。しかし、塩分境界の位置や塩分接触頻度などはリアルタイムでの把握は困難であり、より簡便な指標を模索する必要がある。

4.7 境界位置と流速の関係

4.7.1 流速データの分散と統計

本研究では実務において適用しやすく、簡便な指標を目指した。川西ら⁸⁾は太田川において超音波の送受波器を用

いて、超音波の平均音速と他地点の CTD 観測水温から断面平均塩分の推定を報告している。天塩川においては明瞭な塩水楔を有する特徴から、断面平均塩分より境界位置の変動の把握が重要となり、川西らの手法は適用が困難である。そこで、流速によって直接的に境界位置を算出することを試みた。

ここで、対象とする流速は全水深に対し水面から 2 割の位置 (以下、2 割水深と称す) に相当する標高とした。これは定期流量観測時の測定水深に一致するためである。通常の塩水境界位置は淡水層の平均流速により算出される⁹⁾が、塩水が静止することなど条件が多く、かつ現地において淡水層の平均流速を測定することは労力を要することからも、定期観測データの採用を考慮した。

まず図-28、図-29 の結果から各境界位置の出現時間を標高毎に集計して図-31 に示す。標高-4.8m で出現時間が長くなっており、観測期間中の 20% が全層で淡水になることを示している。ここで、ADCP の設置条件から観測限界となる最低標高は-4.8m となる。標高-4.8m 以上では、2011 年と 2012 年の両年ともに標高-2.4m をピークとする山型の分布となっていた。

次に 2011 年と 2012 年の各境界位置標高とそのときの ADCP による 2 割水深流速観測値の分散を図-32、図-33 に示す。ここで流速の負値は下流向きの流速を表し、標高毎の平均値を青丸で示している。2 割水深流速の分散はかなり大きい、平均値をみると流速の絶対値が増加するほど、境界位置が低下する傾向を示した。しかし、標高-1.0m 以上では流速の増加で境界位置が上昇する挙動がみられ、図-31 に示すように集計母数の少ないこと、水面付近のため観測値の精度が低いことなど、誤差の影響が大きいと考えられる。このとき標高毎の流速の標準偏差は 3cm/s ~ 20cm/s であり、標高が低いほど偏差が大きくなっていた。吉田ら¹⁰⁾は天塩川河口の二層流観測から境界位置は潮汐によって影響されることを示しているが、流量なども重要な要因であることを指摘している。本研究でも潮汐などの影響により、流速の分散が大きくなっていることが推察さ

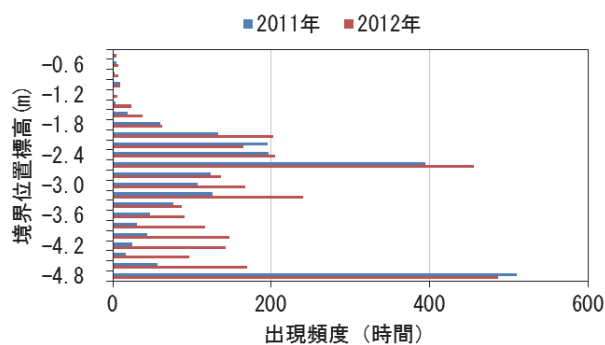


図-31 境界位置の出現時間

れる。しかし、図-32、図-33 における平均値の分布は、全体として流速平均値±20%の精度で境界位置を表現可能と考えられる。

4.7.2 河川流速と河川流量による境界位置の算出

図-34 に2011年と2012年の境界位置と2割水深流速の平均値の関係を示す。ここで、流速は負値が下流に向かう流れの速さを表している。2011年と2012年の結果は完全には一致しないが、流速の精度が±20%ほどであることを考慮すると、ほぼ同様の分布であると言える。この結果から境界位置は断面形状が同じ限り、点流速によって概算することが可能であることが示された。このとき、2年分のデータから最小二乗法による相関係数が最も高い、線型近似式を図中に示した。点流速からの境界位置の概算においては、境界位置が-1.0m 以上では誤差が大きく、これらの精度向上が今後の課題となる。

また、他の経年的なデータが蓄積されている指標と比較するため、同様の解析を円山観測所流量に対して行い、図-35 に示す。ここで、円山観測所は潮位影響を受けない地点のため、観測データの精度が高く、淡水のみの影響を検討できることから比較地点に選択した。円山観測所の平水流量は約110m³/s、低水流量は約75m³/s (1980年~2012年の平均値) である。図-35 の結果をみると、流量が110

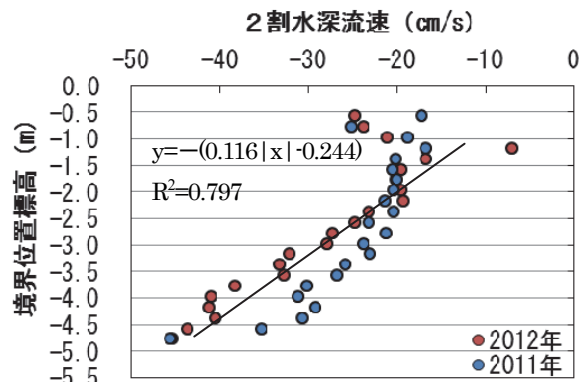


図-34 2割水深流速と境界位置の関係

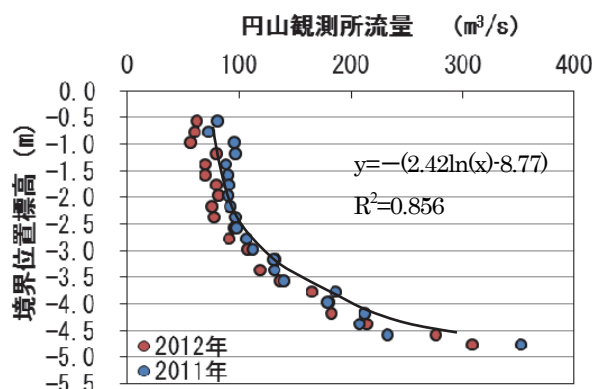


図-35 上流流量と境界位置の関係

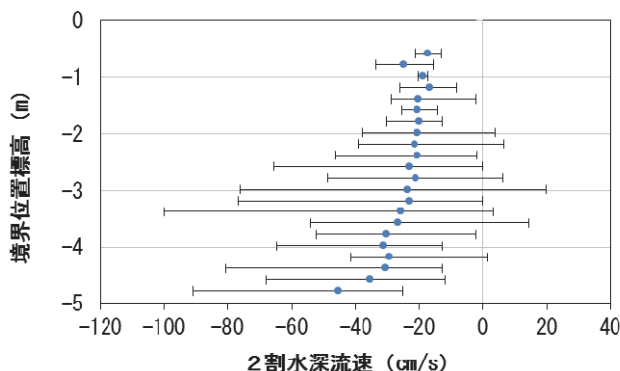


図-32 2011年の境界位置標高と流速分散の関係

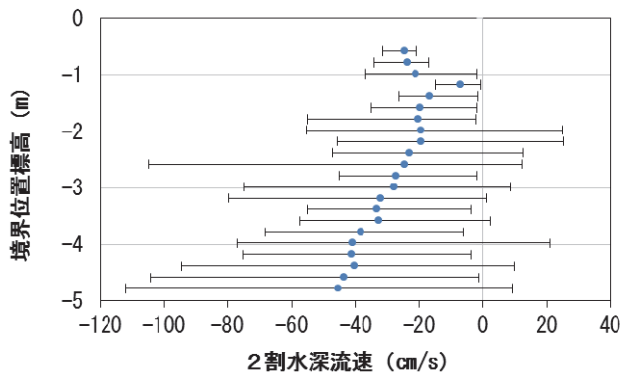


図-33 2012年の境界位置標高と流速分散の関係

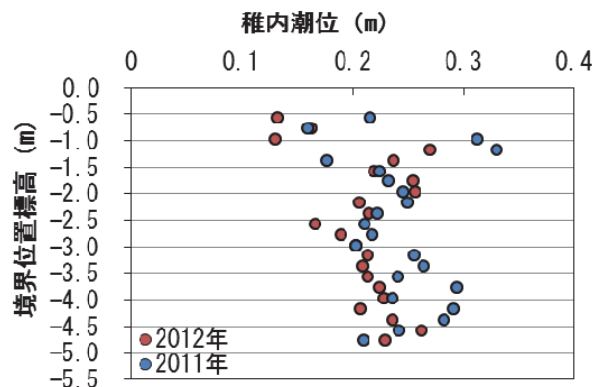


図-36 潮位と境界位置の関係

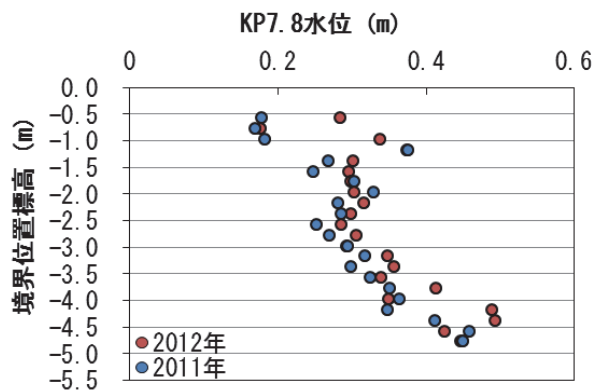


図-37 KP7.8水位と境界位置の関係

m³/s までは境界標高の変動が大きくなっており、流量が 110m³/s を超えると境界標高が-3.0m よりも低下する傾向が見られる。このとき最小二乗法による相関係数が最も高い、対数近似式を図中に示す。以上から、上流流量からも境界位置の概算が可能と判断し、既存の観測所データを用いることにより過去の状況推定にも適用できることが示唆された。ADCP によって推定した境界位置は流速や流量との回帰分析から決定係数が 0.797、0.856 となり、相関係数は 0.89、0.92 と高い相関関係にあることが示された。これらの挙動は境界位置を河川管理によって制御できる可能性を示している。

一方で、天塩川直近の潮位観測所である稚内の潮位や、観測地点水位と境界位置の関係を図-36、図-37 に示すが、潮位とは明瞭な関係性が見られず、水位とはやや関係性があるが相関係数は低い値となった。今後はこれらを組み合わせることで、より精度の高い境界位置推定が期待される。

5. まとめ

本研究の結果を以下にまとめる。

- ・網走湖の沈降物観測結果から河川流入点および浅水域において懸濁物質量が多く、流入および巻き上げにより懸濁物が供給されることがわかった。
- ・懸濁物質の供給とともに無機栄養塩が供給され、沖合に向かい拡散していることが示唆された。
- ・粒径の小さい土砂が流入点付近に滞積し、底質環境が悪化していることが推察された。
- ・ADCP による濁度推定手法を開発した。0~1200ppm までの濁度をほぼ再現でき、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。
- ・天塩川のシジミは標高によって生息域が区別され、縦断的には広く分布している。
- ・天塩川の KP7.8 において塩水遡上は、明瞭な二層流を形成し、海水がほとんど希釈されず遡上する。
- ・ADCP による観測層間の流速差から海水境界位置の推定手法を開発した。
- ・点流速または河川流量から塩淡水境界位置の推定手法を開発した。

本研究により、網走湖において河川流入点付近で濁質が過剰供給され、水質・底質が悪化していることが明らかと

なった。しかし濁質の拡散範囲つまり生物生息環境への影響範囲は不明確である。それらを推定するため数値モデルを構築し、濁質影響の評価手法の確立をめざす。また、天塩川の塩水遡上の特徴とシジミ生息環境の関係性が明らかになり、流速や流量を制御することでシジミ生息環境を制御できる可能性が示唆された。しかし、天塩川の塩水遡上形態は弱混合型で海水がほとんど希釈されず、汽水層は薄い層状となる。そのため、シジミ生息環境保全のためには高標高帯の塩水接触頻度を増加させることが有効と考えられる。今後は塩水遡上の上流端距離との関係を精査し、シジミ資源の再生産に有効な河川管理手法の確立を目指す。

参考文献

- 1) 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
- 2) 中川康之、吉田秀樹、谷川晴一、黒田祐一：潮汐流による底泥の巻き上げ現象のモデル化と浮遊泥量変動の再現、海岸工学論文集、第52巻、pp.441-445、2005.
- 3) 八鍬功、高橋将、大谷守正：天塩川河口における塩水の侵入、海岸工学研究発表会論文集、第 21 巻、pp.377-380、1974.
- 4) 北海道開発局留萌開発建設部：平成17年度 天塩川塩水遡上調査業務報告書、pp.25-30、2005.
- 5) 中村幹雄：宍道湖におけるヤマトシジミ *Corbicula japonica* PRIME と環境との相互関係に関する生理生態学研究、島根県水産試験場研究報告 第9号、1998.
- 6) 西田修三、吉田静男：天塩川河口二層流の水利特性、海岸工学研究発表会論文集、第33巻、pp.601-605、1986.
- 7) 佐々木義隆：ヤマトシジミの人工種苗生産に関する研究、北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場研究報告、1号、pp.1-47、2011.
- 8) 川西澄、Mahdi RAZAZ、渡辺聡、金子新、阿部徹：次世代超音波流速計による感潮域の流量と水温・塩分の連続モニタリング、水工学論文集、第53巻、pp.1015-1020、2009.
- 9) 土木学会：水理公式集[平成11年版]、pp.557、1999.
- 10) 吉田静男、谷藤康造：天塩川河口二層流と潮汐、水理講演会論文集、第28回、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 Research Team,
Cold Region Technology Promotion division

Author : HIRAI Yasuyuki

TANISE Atsushi

KASHIWAYA Kazuyoshi

SUGIHARA Koki

MIZUGAKI Shigeru

TANAKA Tadahiko

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

This year, we carried out research component of floating contaminants in Abashiri, were carried out to estimate the occurrence derived from the diffusion range of contaminants. Also improved more easily precision turbidity spatial distribution estimation method by ADCP. Furthermore saline intrusion investigation was carried out in Teshio was grasped saline intrusion forms. In addition to develop a salt pale boundary altitude estimation technique using the ADCP, the salt water contact frequency was set to be estimated for each river bed elevation. This becomes clear that the relationship of salt pale boundary elevation and river flow, I showed that it is possible to management of freshwater clam habitat by the river flow.