

網走湖水環境改善事業について

—大曲堰建設影響評価と運用計画—

網走開発建設部 治水課 ○坂井 一浩
 相澤 哲也
 旭川開発建設部 治水課 藤田 宏勝

網走川大曲堰が平成25年3月完成し今年度から運用を開始する。建設工事は、舟運利用影響などから、冬期間に河道を半川締切する施工を3カ年で実施した。工事実施にあたり、ワカサギやヤマトシジミなど水生生物への影響が懸念されたため、水生生物及び河川工学の有識者の構成による「網走湖塩淡水境界層制御施設モニタリング検討会」（以後、検討会という）において工法選定及び効果・影響評価を実施している。検討会では、モニタリング結果を検討した結果「影響がなかった」と評価されている。

ここでは、工事実施時の水生生物に配慮した対応から得た知見及び今後の施設運用計画について報告する。

キーワード：浄化事業、富栄養化対策、ワカサギ遡上、ヤマトシジミ産卵

1. はじめに

網走湖（最大水深16.1m）の塩淡水境界層（塩分10PSU）を清ルネII¹⁾で目標にした水深6から7mの位置に低下維持するため、海水逆流を制御する施設の建設位置が、制御効果、運用のし易さから網走川KP 7.0地点（平均河床勾配1/5000、強混合塩水遡上区間）に決定した。位置、操作概要を図-1、図-2に示す。制御方法は、舟運、生物影響から冬期間に、逆流時にゲートを起

立し、順流時に倒伏する操作を北見河川事務所から遠隔自動制御で行う。工事中は図-3の通り、半川締切で河道を分割施工するため、流速の増加、運用による海水の遡上状況の変化に伴う網走湖下流区間の塩分濃度変化が予想され、ワカサギ及びヤマトシジミの生息環境に関して影響評価をする必要があった。また、近年の網走湖ではヤマトシジミの産卵を示す浮遊幼生量が少なく、今後の資源枯渇が懸念されており、塩分濃度の低下が問題になっていた。

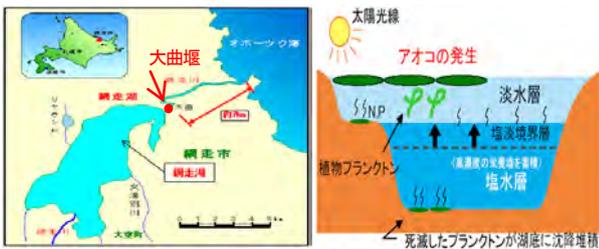


図-1 大曲堰の位置と網走湖水環境の概要

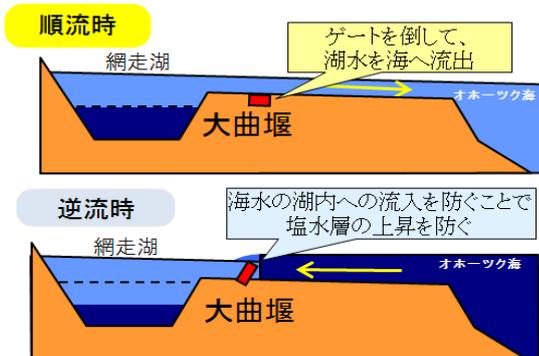


図-2 大曲堰操作概念図

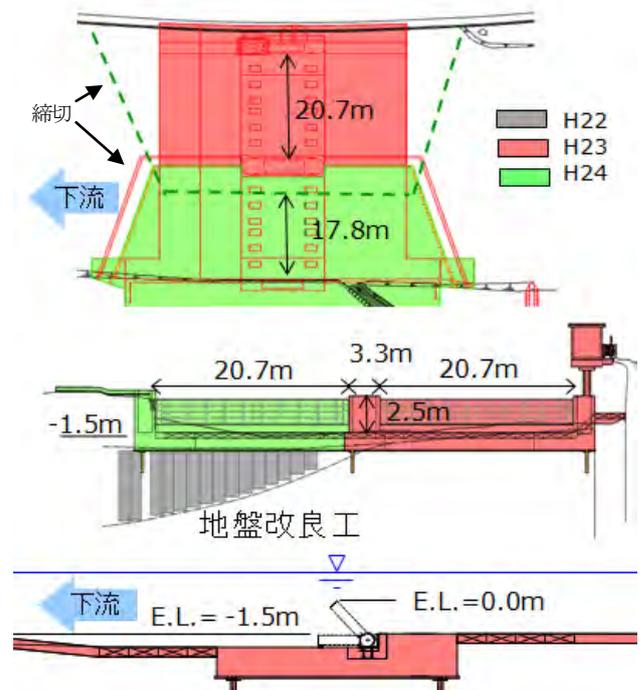
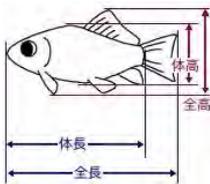


図-3 施工年次区分

2. ワカサギ遡上影響及び対策工

(1) ワカサギ遡上能力

平成20・21年度の現地調査より、ワカサギが日没から日の出までの夜間、流速0から60cm/s付近の順流時を中心に遡上することを確認している。遡上可能な速度は、網走川の平成21年度調査に確認した流速77cm/s時に群れで遡上した結果が最大値であった。これを裏付ける文献事例について収集した。多くは、紡錘形の魚類の突進速度と巡航速度を体長(BL:Body Length)との関係式²⁾から求めた値であった。参考として、体長との関係から、網走川における大型魚と小型魚を区別する体長9cmを用い突進速度と巡航速度を算出した。



突進速度：10・BL (cm/s)
 巡航速度：2～4・BL (cm/s)
 BL：体長 (cm)

- ・突進速度 = 9 (体長) × 10 (倍) = 90 cm/s
- ・巡航速度 = 9 (体長) × 2～4 (倍) = 18～36 cm/s

計算から突進速度90cm/sが得られたが、速度であるため、この能力を発揮できる時間が不明なため移動距離が求められない。また、これを流速限界とは見なせない。よって、過去の調査結果から網走川でワカサギが流速が0から60cm/sの夜間に多く遡上を観測した結果を基本に、工事区間の遡上影響及び対策を検討した。

(2) 影響評価手法と対策工の提案

河道を遡上する全ワカサギ量を把握することは困難であることから、影響評価としては、工事中の本区間の通過を目標として、通過の確認を評価対象とした。よって締切区間の上下流にふくべ網を設置し、捕獲量を比較することとした。

施工中に仮締切により現況河道幅52.6mが最小17.8mまで縮小される。この時が最も流況の変化が現れるものと想定し対策工を検討した。対策工としては、河岸部対策として木流し工、河道部対策として魚道を提案した。

(3) 対策工の選定

モニタリング検討会に河岸対策として提案した木流し工は、河岸沿いにワカサギが通過する箇所の流速を緩和するために設置しようと提案したが、枝の葉を失うと効果を発揮しないことが事前の調査から判明したので不要と判断した。

魚道については、図-4に示す4つの案を提案したが、検討は、現況と第3、4案及びミチゲーションを検討する場合に必ず設定する無対策を、魚道を設けない場合として4ケース実施した。検討方法は、現地において

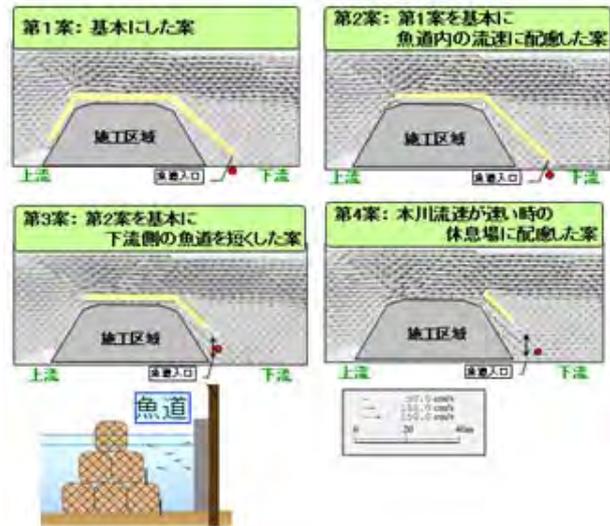


図-4 各魚道案

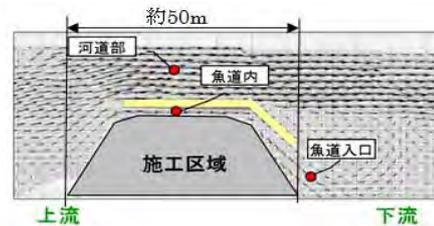


図-5 遡上可能時間の評価地点

ADCPを使用し流速分布を計測し、この計測結果を計算で再現を図り、各対策案の状態と潮汐変動水位を与え予測計算を行った。計算結果の一部をベクトル図として図-4に示す。矢印は、流れの方向と長さで流速を示している。魚道効果を検討するため図-5に示す河道地点、魚道入口、魚道内の3地点の流速を求め、各地点の時刻ごとに流速と継続時間を求めた。そのうち夜間かつ流速0から60cm/sとなる時間を累計した。検討の結果を図-6に示す。

河道部では、現況の遡上可能時間(夜間の流速0-60cm/sの時間帯と定義)9.5時間に対して、締切工により遡上可能時間が平均3.7時間に短縮したことが河道内累積時間から読み取れる。魚道入口部では、各対策案で締切工により静穏域が生じるため時間の増加が見られた。魚道内では、対策効果として第3案で0.4時間減少、第4案、無対策案で3時間減少している。遡上可能時間から判断するとワカサギ遡上影響が最小となる第3案が優れていた。しかし、検討会では各案の遡上可能時間だけで魚道案を決定していない。河道部の各案を見ると各案の遡上可能時間に大きな違いがない。特に魚道内の遡上可能時間は、第4案と無対策案は同等である。無対策案の特徴は、河道内に構造物がなく、ワカサギの行動面から自由度が高いなどのメリットがあった。

以上のことから、遡上可能時間が1日に3.8時間あれば巡航速度18cm/s(計算値)としても遡上制約区域約50mの通過が可能であると考えられること、ワカサギの行動の自由度が高くなることから無対策案を採用した。

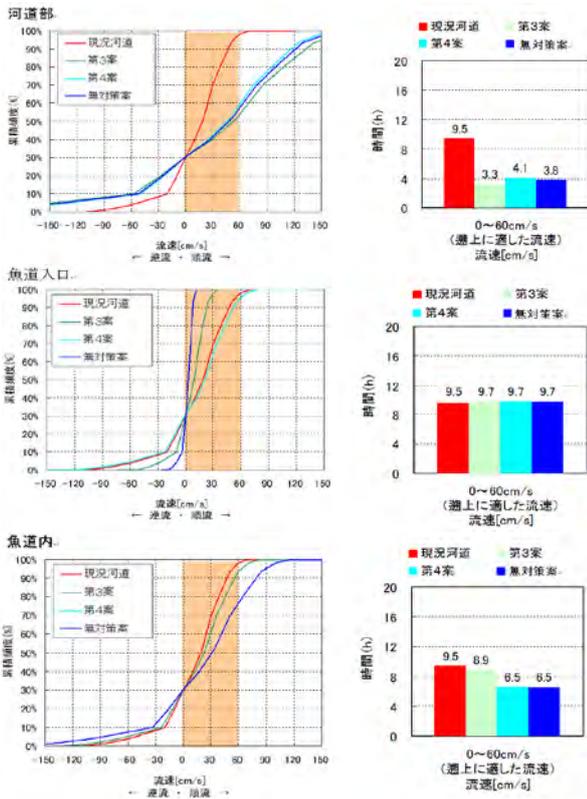


図-6 各地点の流速別時間計算結果
(左：累積頻度率、右：流速別時間集計)

(4)ワカサギ遡上のモニタリング

工事期間のワカサギ遡上状況を確認するため、堰の上下流にふくべ網を設置し、遡上量調査を実施した。

平成23年度に実施した堰上下流のふくべ網で捕獲したワカサギの捕獲量の累計値を図-7に示す。堰から下流1.5kmのKP5.5地点で捕獲量が先に上昇しているが、堰上流KP7.1地点で追従するように捕獲数が増加している。遡上ピークは12月中旬に見られ、1月中旬まで遡上を観測している。(以後、KP5.5は網の凍結で調査終了)遡上していない場合は、捕獲量が増加せず平行となり、工事箇所の通過が困難であれば、KP7.1地点の捕獲量が停滞し、KP5.5地点の捕獲量が上回ると考えられるが、今回の調査からは捕獲量が乖離する結果は見られなかった。

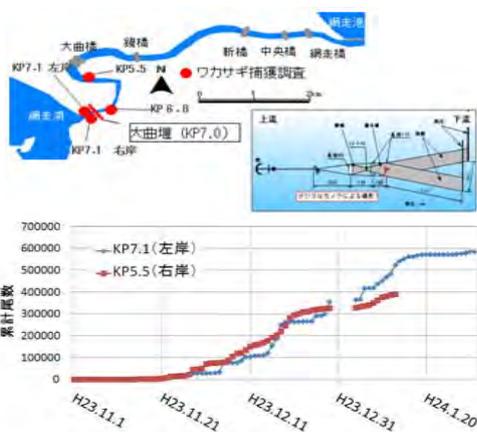


図-7 ワカサギ調査箇所及び累計捕獲量

Sakayi Kazuhiro, Aizawa Tethuya, Fjita Hirokatsu.

(5)ワカサギ遡上影響評価及び得られた知見

大曲堰工事期間中の堰上下流に設置したふくべ網調査から、堰上流においても下流と同等の捕獲量を確認した。ふくべ網の捕獲量は河道を遡上するワカサギの一部であるので定性的評価になるが、無対策案であっても遡上する環境が確保され、工事箇所の移動は可能であったと評価された。また、遡上中のワカサギをビデオカメラで確認すると60cm/s時での遡上(平均体長9cm)を確認した。110cm/s以上では遡上は不可能であった。ワカサギの遡上能力として検討条件として設定した、流速60cm/s以下となる時間設定は妥当であり、工事影響を回避することができ、目標を達成することができた。また、翌年度の網走湖でのワカサギ漁の漁獲も減ることはなかった。

3. ヤマトシジミへの影響

(1) ヤマトシジミの産卵環境の把握

網走湖下流は塩水が強混合で遡上する区間であり、ヤマトシジミの生息が確認されている。大曲堰の影響として考えられるのは、堰操作による塩水遡上状況の変化が及ぼす河川環境の変化である。ヤマトシジミの生息は河口から網走湖の区間の一部であるため、特定の生息環境を利用していると推測できる。ヤマトシジミの産卵は、水温と塩分濃度の条件によることが知られている。その関係を示す馬場が作成した式(2000)³⁾がある。

$$\text{馬場の産卵確率} = 1 / \{1 + \exp[-(-16.11 + 0.57T - 0.49S + 0.59T \cdot S)]\}$$

(配偶子懸濁液有条件下)

T: 水温(°C), S: 塩分(psu)

これによれば、水温25°C程度、塩分2-3PSU程度ならば産卵確率90%を超える条件となる。主にこの条件を満たすのは夏期であるが、網走川においてヤマトシジミの産卵を直接確認する調査は行われていなかった。

ヤマトシジミは成長過程に産卵環境がなかった場合、成熟した卵を体内に吸収することが知られている。よって河川水中に浮遊幼生を確認する必要があった。海水が遡上すると水温15°C、塩分濃度30PSU程度となり、ヤマトシジミの産卵条件としては低水温・高濃度であるため産卵条件にならない。しかし、浮遊幼生調査では、一般知見に示される水温と塩分状態に関係なく、浮遊幼生が捕獲された。産卵と浮遊幼生の関係が知、見とは不整合な結果となった。

その理由は、ヤマトシジミ以外の浮遊幼生が多いため産卵条件と不整合な結果になった。また、調査量不足ではないかと考えられたことから、順逆流状態を含む潮汐変化での状態を捉えるため、一潮汐変動周期期間の連続観測が提案された。

(2) ヤマトシジミの浮遊幼生調査

連続観測を実施する前に解決しなければならない課題

があった。サンプリングした浮遊幼生の同定手法が確立されていないため、浮遊幼生がヤマトシジミであると確定できなかった。よって、ヤマトシジミとそれ以外とを同定する手法が必要であった。

ヤマトシジミの浮遊幼生の特徴としてはD型幼生期に見られる。D型幼生になると、角が明瞭になり他の幼生と違いが見られる。海域でアサリ等の浮遊幼生を採取し、形態の違いと採取時の河川流況を整理すると、順流時は角が明瞭なもの、逆流時は多様な角度を持つ個体が混在していた。このほか殻高と殻長の比の違いなどの特徴を図-8に示すフローに整理することで、ヤマトシジミ浮遊幼生の同定が可能になった。逆流時に採取した個体は海で生まれたアサリ等の浮遊幼生であり、順流時に採取した個体がヤマトシジミの浮遊幼生と判断できた。

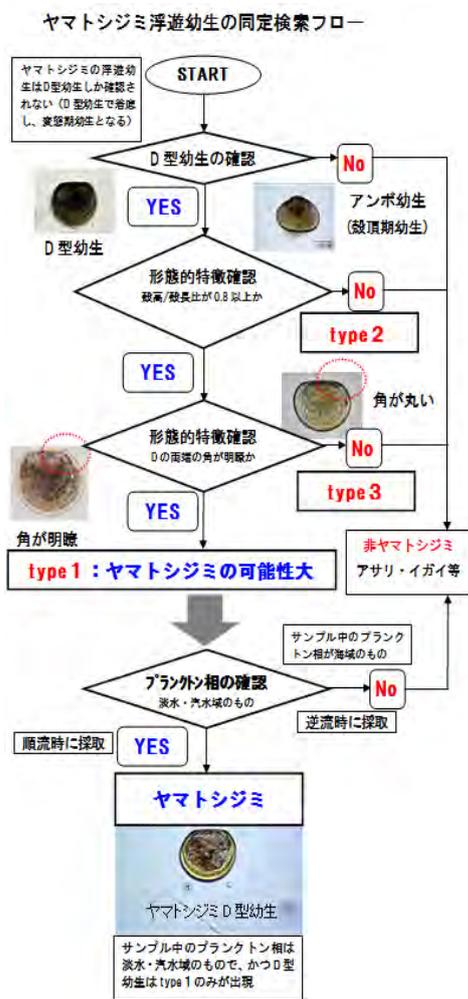


図-8 ヤマトシジミ同定フロー

(3) ヤマトシジミの産卵の確認

ヤマトシジミの浮遊幼生を同定することが可能になったが、順流時には網走湖からの浮遊幼生が混入するため、網走川でヤマトシジミが産卵したことを確認する必要があった。網走川のヤマトシジミの産卵を確認するため浮遊幼生サイズ以下の網目の袋に予め成熟したヤマトシジミを入れ、袋中の浮遊幼生を確認する方法を試みたが、

Sakayi Kazuhiro, Aizawa Tethuya, Fjita Hirokatsu.

呼吸による水交換能力が高いため、産卵した幼生を濾過吸収したため、幼生を確認できず判断ができなかった。

ヤマトシジミは、雄・雌ともに成熟が進むにつれて精巣・卵巣が徐々に肥大して軟体部の重量が増加するため、軟体部指数の値は増加傾向を示す。また、産卵が行われると収縮・減少することから、成熟・産卵の目安となる⁴⁾ことが知られている。この特性から貝の全重量(湿重量)に対する軟体部重量の割合を軟体部指数(Soft part index)と言う。この知見から、平成23年調査結果から、浮遊幼生と軟体部指数の対応を図-9に整理した。

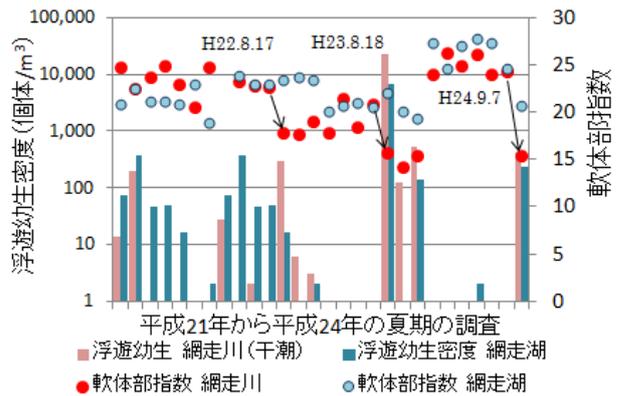


図-9 浮遊幼生量と軟体部指数

この時、軟体部指数が大きく低下する場面が見られた。そこで調査実施ごとに前回の軟体部指数との違いを変化率として求めた結果を図-10に示す。20%以上軟体部指数が低下した場合は、いずれも大量の浮遊幼生を確認している。よって、網走川のヤマトシジミの軟体部指数が20%以上変化した時を産卵の判断基準とした。

この条件に合致する、ヤマトシジミ浮遊幼生が卓越発生した平成23年産卵期の河川の状態を図-11に示す。網走川において順流が2日以上継続する状態が、数回発生しており、各回で最低水温約25℃、塩分約1.5PSUと産卵に適した状態が発生していた。8月18日には産卵も確認している。馬場が実施した試験結果⁴⁾では36時間程度、産卵条件が継続してから産卵を確認しており、今回の調査結果と概ね合致している。

(4) ヤマトシジミへの影響評価及び得られた知見

網走川のヤマトシジミの産卵は、網走湖の水温と塩分が産卵条件となり、順流が2日間程度継続すると産卵することが明らかになった。このことから、逆流時にゲートを起立する大曲堰の影響は、網走湖から流下する河川水質に影響を与えないことから、ヤマトシジミの産卵環境への影響はないと考えられた。

ヤマトシジミの浮遊幼生を同定は、D型幼生の特徴などから同定フローにより可能になった。また、産卵期の軟体部指数の変化が20%以上低下した場合は、産卵と判断することができた。

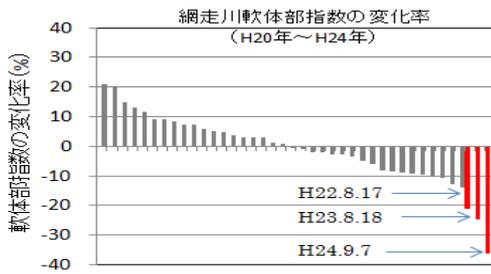


図-10 変化率順の軟体部指数

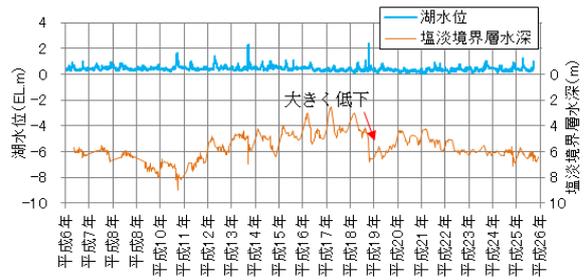


図-12 塩淡水境界層と湖水位の変化

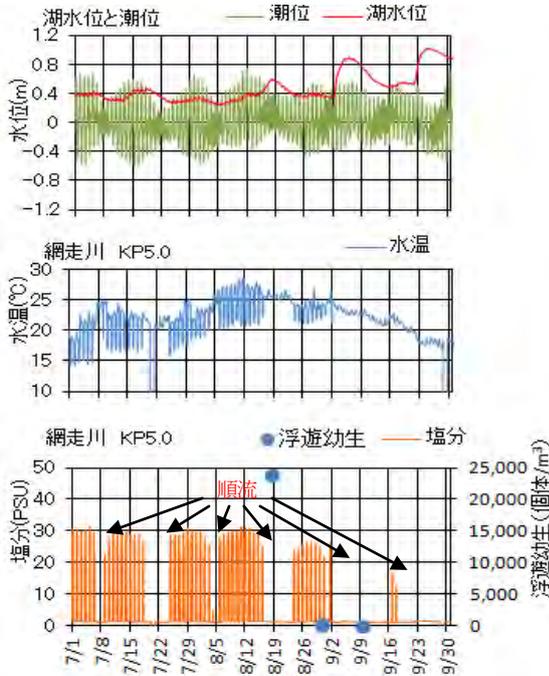


図-11 水位、水温、塩分の変化と浮遊幼生の発生 (H23)

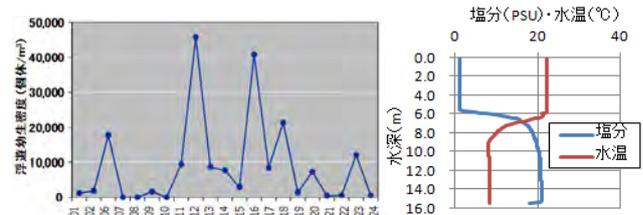


図-13 (左) ヤマトシジミ浮遊幼生発生の変化⁶⁾
図-14 (右) H24 産卵時期の鉛直塩分・水温の変化

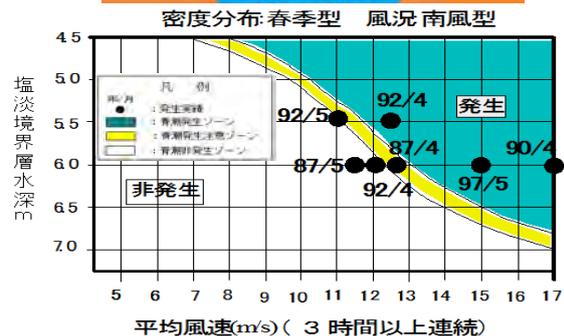
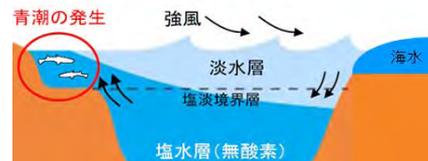


図-15 青潮の発生機構と限界条件

4. 大曲堰運用計画

(1) 網走湖の塩淡水境界層の状況

平成6年から25年までの塩淡水境界層の水深位置を図-12に示す。平成15年から徐々に塩淡水境界層が上昇し平成17年冬期には水深3m付近まで達している。平成18年には強風を伴う大規模な出水があり大きく低下している。この時期に海水遡上制御効果を検証するために、仮ゲートによる制御試験を開始している。その結果、徐々に上昇した塩淡水境界層は低下し、現在は清ルネⅡの目標を達成している。しかし、図-13に示す通り近年ヤマトシジミの浮遊幼生の発生が低調である。また、図-14に示す通り今年度の産卵時期で、淡水層の塩分濃度が1PSU程度であるため、水温が上がってもヤマトシジミの産卵確率が低い状況であった。また、低塩分濃度がシジミ資源へ与える影響を危惧する報告⁵⁾がある。

(2) 塩淡水境界層の変動要因

塩淡水境界層の変動要因は温度躍層や濃度拡散などの現象もあるが、大きくは風の巻き上げが影響しているこ

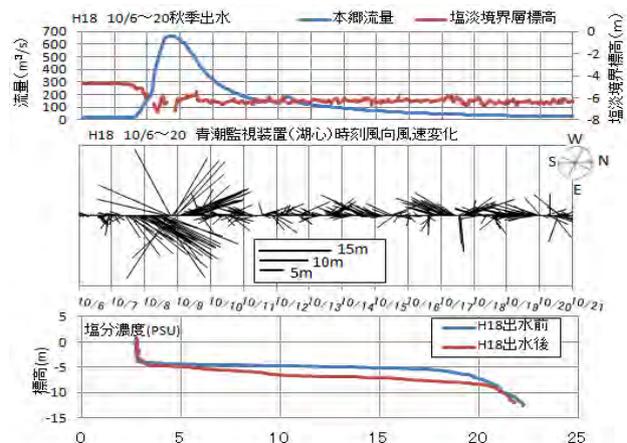


図-16 平成18年出水時の流量、塩淡水境界層、風向風速、塩分の変化

とが中山らの研究⁷⁾で明らかになっている。風の巻き上げ現象は、青潮発生機構と同様であると考えられる。

青潮の発生機構と確率限界の条件を図-15に示す。青潮が多く発生する春季型：南風型では、塩淡水境界層が高い位置ほど同じ風力でも青潮が発生しやすくなっていることが分かる。大きく塩淡水境界層が低下した平成18年の出水の網走湖への流入量、塩淡水境界層、風向風力及び出水前後の鉛直塩分濃度の変化を図-16に示す。流入量は概ね650m³/s程度であった。出水中は、最大風速16.3m/s、連続50時間、風速8m/s以上の強風が継続している。この強風により淡水層に塩水層から塩分が巻き上がり、洪水が流入した分、網走湖から大量に塩分が流出したことで、図-12に示す通り、塩淡水境界層が1.6mと大きく低下したものと考えられる。

(3) 塩淡水境界層の変動要因

塩水層の平均塩分濃度は20PSU程度と安定している。この層に海水（強混合）が流入することで塩水層が拡大する。塩水層の位置が高くなるほど、風の巻き上げにより塩淡水境界層が上昇しやすくなる。大曲堰の効果は、この塩水層への海水流入量の低減である。下層の塩水層への海水の流入を制御することで網走湖内の塩分量の増加を防ぐ操作が目的になる。一方、網走湖からの塩分の流出は、塩水層から淡水層へ塩分が移動した分が、網走湖からの流出量として排出されることで、塩淡水境界層が低下すると考えられている。

(4) 大曲堰の操作、今後の対応について

塩淡水境界層の低下は、目標水深より上にあるヤマトシジミの生息域である概ね標高2から4mの塩分濃度の低下を招くおそれがあるため、配慮が必要である。清ルネII計画においても水深7.0m以下にしないことが示されている。

運用上の要点を整理すると、次のようになる。

- ・海水の流入は塩水層の拡大を招く
- ・淡水層の塩分濃度は風の巻き上げが強く影響する
- ・淡水層の低塩分化はヤマトシジミへ影響する

操作にあたっては、上記要点に配慮しながら暫くは操作開始前の網走湖の水生生物の状況を含む水環境の状態などのモニタリングを実施する。また、モニタリングから得られない地域関係機関の網走湖水環境への意向などは、広聴会を開催し情報を収集する。

当面の運用計画は、これまでの浄化事業効果により、水質保全目標を、現在達成していることから、水環境に急激な変化を及ぼさないように、この状態を維持することとして、網走湖の塩分の流入量を同量になるように操作することとした。網走湖の水環境については、モニタリング結果を引き続き検討会にて評価すると共に、効果的な運用計画に反映することとしている。

5. おわりに

網走川大曲堰による塩水流入制御は、清ルネII事業において網走湖内のT-P削減効果として50%を担う、中心となる施策である。堰の操作は、舟運、水生生物影響に配慮するため、冬期間、逆流時に起立し、順流時に倒伏する操作により網走湖への塩水流入の制御を図る。操作中は網走湖の結氷や温度躍層の解消により淡水層の塩分濃度が上昇する現象が見られ、その後、解氷、融雪出水などの影響を受け、温度躍層の形成後、塩淡水境界層が明瞭になることが分かっている。この頃からアオコの発現やヤマトシジミの産卵時期となるため、冬期間の操作効果が夏期に発揮されることから、順応的に施設の操作技術を高める必要がある。



写真-1 完成後 左岸ゲート



写真-2 完成後 大曲堰全景（順流時）

参考文献

- 1) 網走湖環境保全対策推進協議会,網走川水系網走川水環境改善緊急行動計画,平成16年6月
- 2) 魚道の設計,廣瀬利雄・中村中六編著,ダム水源地環境整備センター編集,1994,山海堂
- 3) 北海道立水産試験場 北水試だより,第48号,2000/3
- 4) 丸 邦義・山崎 真・中井 純子(2005)石狩川のヤマトシジミの産卵期,水産増殖 53(3), 245-250
- 5) 道総研さけます・内水面水産試験場事業報告,平成22年度,98-101
- 6) 平成24年度第4回モニタリング検討会資料より抜粋,一部加工
- 7) 中山恵介,堀松大志,清水健司,丸谷靖幸,角谷和成,早川博,岡田知也,鯉目淑,網走湖における内部ケルビン波と風応力の影響評価,水工学論文集,第53巻,pp.1285-1290,2009