

令和5年度

さけ・ます等栽培対象資源対策事業
さけ・ます不漁対策事業

調査報告書

さけ・ます等栽培対象資源対策共同研究機関
さけ・ます不漁対策事業グループ

(地独)北海道立総合研究機構
岩手県水産技術センター

(一社)十勝釧路管内さけ・ます増殖事業協会

(一社)渡島管内さけ・ます増殖事業協会

(一社)日本海さけ・ます増殖事業協会

(一社)根室管内さけ・ます増殖事業協会

山形県

富山県

(大)北海道大学大学院水産科学研究院

(大)東北大学大学院農学研究科

(学)北里研究所

(研)水産研究・教育機構

令和6年3月

令和5年度さけ・ます等栽培対象資源対策事業 さけ・ます不漁対策事業調査報告書

目次

| | |
|---------------------------------------|-----|
| 序章 | 1 |
| 第1章 調査結果 | |
| 課題ア 大型種苗等飼育技術及び放流手法技術開発 | |
| 小課題1) 成長促進効果等を高めるための管理技術の開発ならびに改善 | |
| a) 流速管理による健苗生産技術の検討 | 2 |
| b) サケの成長が最大となる環境条件の把握 | 6 |
| c) 大型種苗等育成のための既存管理技術の改善 | 11 |
| 小課題2) 成長促進効果等を高めるための餌料・餌料添加物の開発と実証 | |
| a) ビタミンC添加等による高温耐性向上効果の検証 | 34 |
| b) サケ稚魚の成長・代謝特性の解明と魚油添加の効果検証 | 38 |
| 小課題3) 海中飼育技術の活用によるサケ種苗の大型化及び実証のための放流 | |
| a) 海中飼育によるサケ種苗の大型化にかかる管理技術の開発 1:北海道 | 41 |
| b) 海中飼育によるサケ種苗の大型化にかかる管理技術の開発 2:本州太平洋 | 48 |
| 小課題4) 放流手法の開発ならびに適正化の効果検証 | |
| a) 油脂添加餌料による回帰率向上効果の検証 | 53 |
| b) 北海道根室地区における最適な放流時期の検証 | 58 |
| c) 北海道東部における放流サイズや放流時期等の適正化の検討 | 60 |
| d) 東北日本海における放流サイズや放流時期等の適正化の検討 | 63 |
| 課題イ 沿岸稚魚・幼稚魚追跡調査及び移動経路の解明調査 | |
| 小課題1) 稚魚沿岸帯泳期における沿岸環境調査及びサケ幼稚魚追跡調査 | |
| a) 北海道における定点環境観測及び稚魚採捕調査 1 | 68 |
| b) サケ幼稚魚の餌料環境と食性 | 115 |
| c) サケ幼稚魚の地理的起源推定 | 119 |
| d) サケ幼稚魚の耳石日周輪解析 | 128 |
| e) 北海道における定点環境観測及び稚魚採捕調査 2 | 139 |
| f) 東北から北海道太平洋における海洋環境観測及び稚魚採捕調査 | 152 |
| g) 東北日本海における環境観測及び稚魚採捕調査と耳石日周輪解析 | 155 |
| 小課題2) 数理モデルを用いた大型サケ稚魚の行動様式の検証 | |
| a) 粒子追跡実験による稚魚の移動経路シミュレーション | 164 |
| 小課題3) 回帰親魚の標識確認調査 | |
| a) 北海道(釧路川(雪裡川)、静内川、知内川、余市川) | 172 |
| b) 東北太平洋(織笠川、熊野川) | 181 |
| c) 東北日本海(最上川(鮭川、最上小国川、寒河江川)ほか海面) | 186 |
| d) 本州日本海(富山県神通川水系) | 191 |
| 課題ウ 事業検討協議会 | 192 |
| 第2章 成果の要約 | 195 |

序 章

我が国のサケの来遊数（沿岸漁獲数と河川捕獲数の合計）は、1960年代後半の約500万尾から1990年には6,000万尾を超え、30年間で10倍以上に増加した。この来遊資源の飛躍的な増加は、給餌・適期放流（給餌して大型に育てたサケ稚魚を、沿岸域の水温が上昇して餌生物の生産が高くなった時期に放流すること）の実践や、1976/77年のレジームシフトに伴う海洋環境の好転が影響したと言われている（Mayama 1985、Kaeriyama 1998）。その後、1990年代以降の来遊数は44百万～89百万尾と年変動が大きく、2010年漁期以降は来遊数が40百万～50百万尾前半の水準で推移するようになった。その後も来遊数は年々減少が続き、2021年には来遊数が20百万尾を割り込むまでに減少した。翌2022年漁期は地域によっては来遊数の回復がみられたものの、2023年漁期には再び全域で前年を下回る結果となった。

水産庁では、2014年開始の太平洋サケ資源回復調査事業およびその後継事業であるサケ資源回帰率向上調査事業、さけ・ますふ化放流抜本対策事業と、サケの来遊数回復を目指した事業を継続して実施してきた。これら事業の成果として、各地で放流されたサケ稚魚の移動回遊のプロセスや、沿岸環境要因との対応について様々な成果を得るとともに、サケ稚魚放流直後の河川における減耗を回避するための下流域への輸送放流や海中飼育放流の効果の検証、人工ふ化放流事業により生産された稚魚の健苗性評価手法と健苗育成技術等の開発等に取り組んできた。また、放流されたサケの回帰率向上を図るため、これまで実施してきた北海道や本州太平洋側に加え本州日本海側など北日本全地域においてモデル河川と沿岸調査水域を設定し、近年変化しつつある海洋環境下における地域ごとの放流適期適サイズの見直しや検証のために、幼稚魚の生残に及ぼす環境要因に関する調査を実施してきている。そして2022年度からは、「さけ・ますふ化放流抜本対策事業」を一年前倒しして終了し、新たに「さけ・ます不漁対策事業」をスタートさせ、現在はその2年目となる。本事業においては、先行事業において大型のサケ稚魚を放流した場合にその回帰率が向上するという結果が得られたことに着目し、各参画JVがサケ稚魚の大型化、健苗性向上のための種々の取組を行った。また、これまでの先行事業における課題を引き継ぐ形で、降海したサケ稚魚がどこを北上回遊してオホーツク海へ辿り着くのか、またその過程で経験する各種環境条件と生残との関係についての情報を得るべく、沿岸域での稚魚・幼魚の追跡調査ならびに移動経路解明のための研究課題を設定し、実施した。

本事業を通じて、日本のサケ資源の回帰率向上に繋がる手法を見出すべく、参画JV各機関と力を合わせ、努力を続けて参りたい。

共同研究機関 さけ・ます不漁対策事業グループ研究総括

(研) 水産研究・教育機構 水産資源研究所 さけます部門 資源生態部長 本田聡

第1章 調査結果

課題ア 大型種苗等飼育技術及び放流手法技術開発

小課題1) 成長促進効果等をもめるための管理技術の開発ならびに改善

a) 流速管理による健苗生産技術の検討

執筆者：岩手県水産技術センター 岡部聖

実施機関及び担当者

北里大学：笠井宏朗、清水恵子

岩手県水産技術センター：清水勇一、岡部聖、太田倫太郎

【目的】 飼育流速の違いがサケ稚魚の成長、遊泳力、体成分等に与える影響を調査し、遊泳力を強化するための飼育方法及び健苗性評価方法の検討を行うことを目的とする。

【方法】 大規模実証試験施設における飼育試験は令和4年級において実施した。流速0.5～2.0 cm/秒の飼育池を対照区、流速3.0～5.0 cm/秒の飼育池を流速強化区として、サケ稚魚各15万尾を水深・密度を同一にして飼育した。流速は、外部ポンプによる新水の注入量の増加と循環式流速変動装置（有限会社タカツ産業社製）を用いて飼育水を循環させることにより強化した。流速強化工程は令和5年2月10日から開始し、午前10時から正午、午後2時から午後4時の合計4時間を強化工程、それ以外の時間を対照区と同じ流速の安息工程とした。試験中は、1週間ごとに尾叉長、体重、遊泳力及びトリグリセリド（TG）含有率を比較した。遊泳力は、遊泳力測定装置（有限会社タカツ産業社製）を用いて、瞬間遊泳力（1秒毎に流速を1 cm 上昇、N=20）及び持続遊泳力（60秒毎に流速を1 cm 上昇、N=5）を測定した。TG含有率は、ラボアッセイ™トリグリセライド（富士フィルムワコーシバヤギ株式会社製）を用いて各個体（N=20）の頭部、胴体及び消化管を調べた。各試験区は試験区別の耳石温度標識を施標し、令和5年4月20日に熊野川に放流した。

また、流速強化及び餌料による効果を検証するため予備実験として、屋内にてミニチュア水槽による飼育試験を行った。流速は外部ポンプにより強化し、流速強化区は流速約5.0 cm/秒、対照区は約0.5 cm/秒で、水深・密度・給餌量を同一にして飼育した。流速強化工程は令和5年8月7日から開始し、午前10時から午後4時の合計6時間を強化工程、それ以外の時間を対照区と同じ流速の安息工程とした。月曜日から金曜日を流速強化工程有り、土曜日と日曜日を安息日とし、令和5年9月29日まで飼育した。餌料にはサケEPC CF-4号（日清丸紅飼料株式会社）を用い、フィードオイル（日清丸紅飼料株式会社製）を5%添加して給餌した。試験開始時、1週間後、3週間後及び終了時に尾叉長・体重及び瞬間（N=10）・持続遊泳力（N=10）を測定した。

【結果及び考察】 大規模実証試験では、流速強化区と対照区で尾叉長・体重に差は見られなかった（図1）。また、瞬間・持続遊泳力についても、放流時点では流速強化区・対照区間で差は見られなかった（図2）。TG含有率については、流速強化区の方が対照区と比較して低い傾向にあった（図3）。

予備試験では、流速強化区と対照区で尾叉長・体重に差は見られなかった（図4）。持続遊泳力は、流速強化工程を実施してから1週間後より、流速強化区が上回る傾向がみられた（図5）。このことから、油脂添加餌料を給餌させた場合には、飼育流速の強化が持続遊泳力の向上に有効である可能性が示された。

以上の結果を踏まえ、令和5年度の大規模実証試験では、流速強化区において低下傾向

である TG を補うために、高エネルギー餌の給餌を行うことで、改めて効果を検証中である。をなお、高エネルギー餌料の作製には、微細藻由来の天然アスタキサンチンをフィードオイルに 5% 溶かした、アスタキサンチンオイルを通常餌料に 5% 添加し、抗酸化作用によるストレス軽減を併せて図る見込みである。

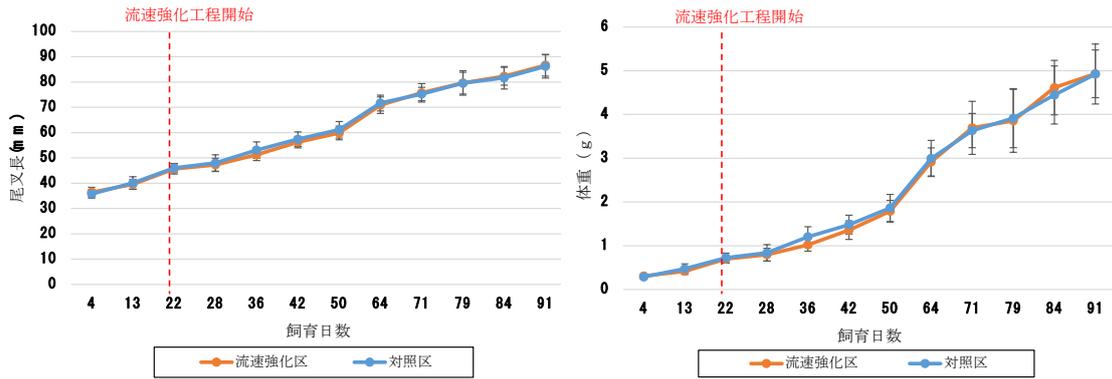


図 1. 大規模実証試験において瞬間遊泳力測定に用いた個体の尾叉長・体重の推移 (N=20)

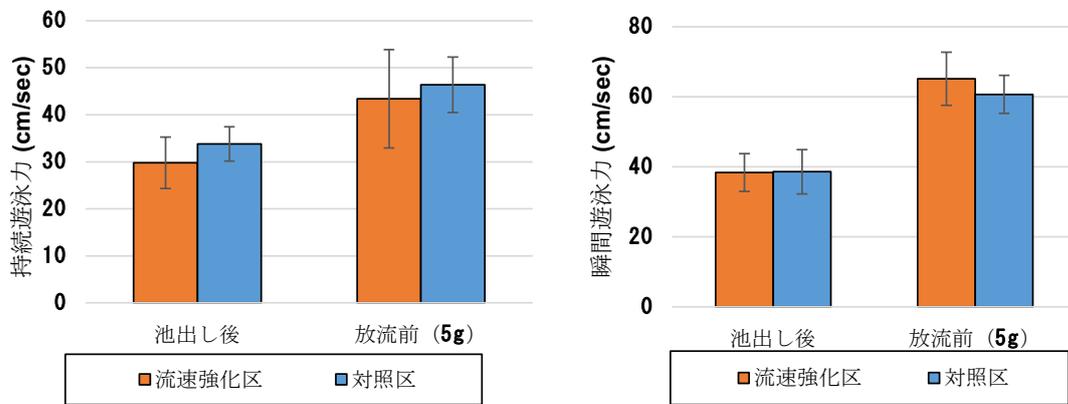


図 2. 大規模実証試験における持続・瞬間遊泳力の比較

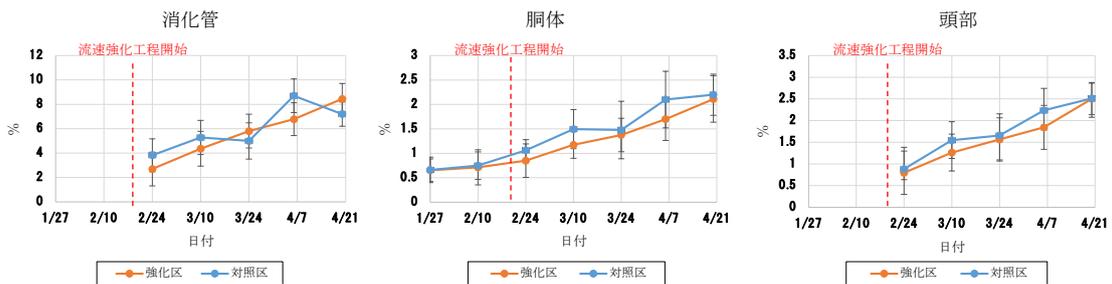


図 3. 大規模実証試験における TG 含有率の比較

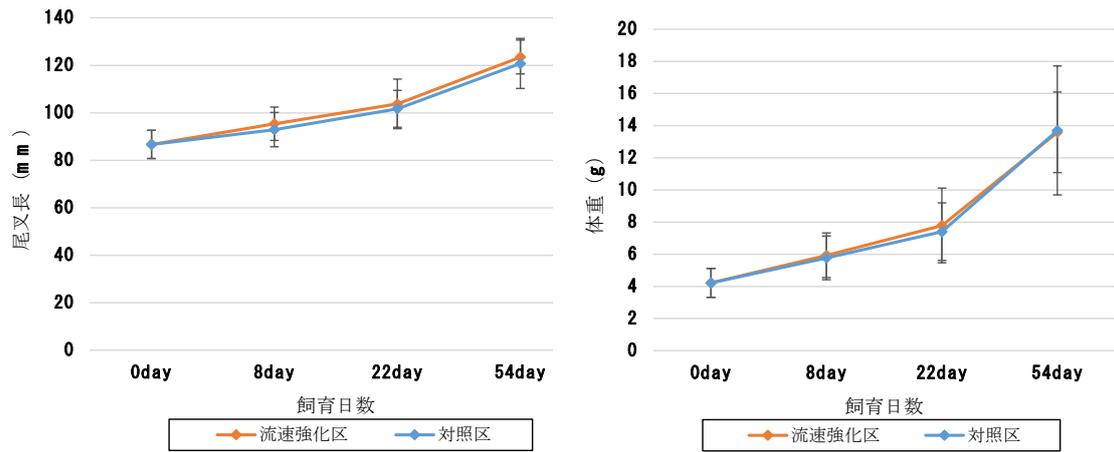


図 4. 予備試験における遊泳力測定に用いた個体の尾叉長・体重の推移 (N=20)

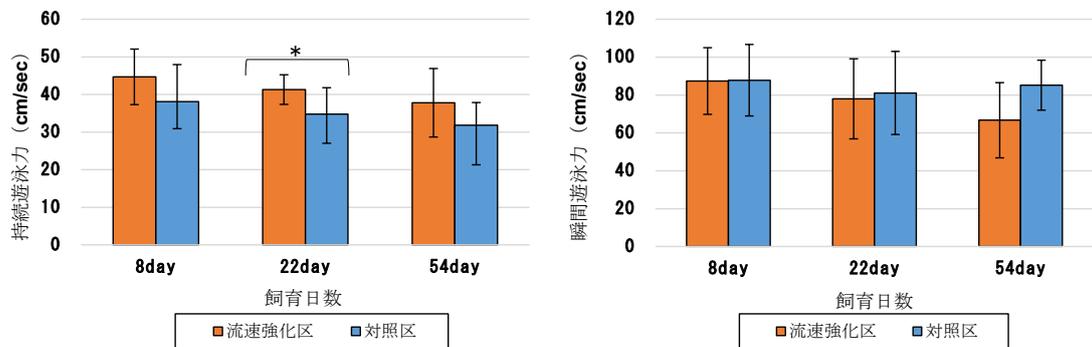


図 5. 予備試験における持続・瞬間遊泳力の比較

b) サケの成長が最大となる環境条件の把握

執筆者：水産技術研究所 養殖部門 生産技術部 今井 智

実施機関及び担当者

水産研究・教育機構 水産技術研究所 養殖部門 生産技術部 (宮古)

：森田哲男・今井智・小島大輔

同 環境・応用部門 沿岸生態システム部 (宮古)：佐々木系

同 水産資源研究所 さけます部門 資源生態部 (宮古)：八谷三和

【目的】

サケ放流サイズの大型化、さらには成長促進だけでなく抑制も含めた、成長をコントロールする技術を探る。成長は環境条件（水温、光強度、波長、日長、塩分等）に大きく依存するが、できる限り網羅的に成長が最大（最小）となる環境条件を明らかにする。令和4年度は成長コントロールに必要な光波長条件を把握する。

【方法】

① 光波長による成長比較試験（淡水での飼育）

屋内の実験場に500L黒色パンライト水槽（実水量400L）を5面設置し、白・赤・緑および青色LED光源パネルを設置する水槽と屋内の環境光のみの試験区を設けた（図1）。実験に使用する種苗は、発眼卵で千歳さけます事業所から水産技術研究所宮古庁舎へ宅急便で輸送し、淡水井戸水で孵化管理し浮上させた。積算水温1006℃に達し人工配合飼料に餌付いた稚魚（平均尾叉長41.8±2.6mm、平均体重0.53±0.11g）を各試験区へ200尾を収容し、33日間の試験を開始した。試験区の飼育用水は環境水温の井戸水（約11℃）を用い、換水率は1日に20回転とした。試験は屋内で行い、光周期は自然日長としたが、建物内の電灯は補助的に7:00~17:00まで点灯した。LED光源を設置した水槽の光強度は水面で5.0 μmol m⁻² s⁻¹となるように調節した。給餌はゼンマイ式自動給餌機（FIAPクロックワークフィーダー）を用いて7:00~16:00まで行い、全ての試験区で残餌が出る飽食給餌とした。配合飼料は成長に応じて粒径が大きいものに切り替えた（餌付A、餌付B、EPC-0、EPC-1）。試験終了時に麻酔をかけて、各試験区について50尾の尾叉長、体重をランダムに測定した。測定時に各槽から16尾を取り上げ、尾部を切断して毛細管により採血を行った。また、そのうち10尾についてはNa⁺/K⁺ATPase活性（以下、NKA活性と記す）測定用の鰓サンプルを得た。測定後に供試魚全数を、光飼育履歴ごとに分けた海水水槽へ直接移行した。海水移行から1・3・6・12・24・48および96時間後に各槽からランダムに16尾を取り上げ、上記の方法で採血を行った。毛細管は12,000rpmで5分間遠心分離し、得られた血漿を用いて浸透圧を測定した。鰓サンプルからNKA活性を測定し、血漿浸透圧の値とともに異なる波長間で飼育したサケの海水順応性の検討に用いた。

② 異なる光波長下で飼育されたサケの海水中での成長比較試験（海水での飼育）

試験①において、異なる光波長で淡水飼育したサケ稚魚を、別に設けた海水水槽へ直接投入し30日間の成長を把握した。飼育水槽は試験①と同じ規格の水槽を用い、自然水温の砂ろ過海水（塩分約34‰）を注水し、換水率は1日に20回転に設定した。試験期間中の海水温は10~11℃の範囲であった。給餌はゼンマイ式自動給餌機（FIAPクロックワークフィーダー）を用いて7:00~16:00まで行い、全ての試験区で残餌が出る飽食給餌とした。海水飼育時の光環境条件は、全水槽とも建物天井部で点灯する白色LED照明の環境光のみとした。試験終了時（試験開始30日目）に麻酔をかけて各試験区からランダムに50尾の尾叉長と体重を測定した。

【結果と考察】

① 光波長による成長比較試験（淡水での飼育）

異なる光波長下で飼育を行い、33日後の尾叉長は白色（平均 77.0 mm）>青色（平均 76.0 mm）>緑色（平均 75.1 mm）>環境光（平均 74.8 mm）>赤色（平均 74.7 mm）の順に大きく、白色では環境光および赤色よりも尾叉長が有意に大きかった（Tukey-Kramer 法、図 2）。体重は白色（平均 3.62 g）>青色（平均 3.52 g）>緑色（平均 3.46 g）>環境光（平均 3.40 g）>赤色（平均 3.33 g）の順に大きく、白色では赤色よりも体重が有意に大きかった（Tukey-Kramer 法、図 2）。淡水から海水へ直接移行した後の血漿浸透圧は、短波長の緑色と青色では3時間後に最大値が示されたのに対し、長波長光を含む白色、赤色、環境光では最大値は6時間後に認められた（Tukey-Kramer 法、図 3）。また、各試験区において淡水時の血漿浸透圧に対して、海水移行後に有意差が認められなくなるポイントを見ると青色（6時間後）>緑色・白色・赤色（24時間後）>赤色（96時間後でも下がりきらず淡水時よりも有意に高い）の順に早かった（図 3）。鰓の NKA 活性は、異なる光波長下での飼育が終了する 33 日において、緑色では試験開始前と比べて有意に高い結果が示された（Tukey-Kramer 法、図 4）。

川と海を往き来する生活史を持つ遡河回遊魚や両側回遊魚は、その生活史の中で網膜の桿体視細胞の視物質組成が生息環境に応じて切り替わることが知られている（Hasegawa and Miyaguchi, 1997；長谷川、2006）。視物質としてロドプシン（短波長光への感度が高い）とポルフィロプシン（長波長光への感度が高い）が知られており、サケの生活史において淡水域から海水域に回遊する際にロドプシンによる短波長への感度が増すことが知られている（長谷川、2006）。ギンザケのスマルト変態過程における生理生態的な変化が起こるタイミングと視物質組成の関係を調べた研究では、視物質組成に占めるロドプシンの割合（ロドプシン比）が50%の時にスマルト化し、80%に達すると降河行動が起こることが知られている（Alexander et al., 1994）。本研究の対象種であるサケの放流体重の目安は1g以上とされており、実験前半において既に降海目安となる体重を超えているためロドプシン比の高いステージにあったと考えられる。これらの結果から、短波長光を含む区において成長が優れた要因として、餌の視認性の向上が成長に影響したことが考えられる。その反対に、視感度領域から外れる長波長光では、餌の視認性が低かったため成長が鈍化したと考えられた。海水移行時の血漿浸透圧のピークを示す時間が、短波長光において長波長光を含む条件より早かった。このことは、降海準備が整った稚魚の視感度特性に飼育環境の光波長を合わせたことによって海水順応への反応性が高められた可能性が示唆される。しかし、その際の鰓の NKA 活性を見ると、光波長分布と NKA 活性は必ずしも一致していない。最も値が高かった緑色区は試験開始前との間に有意差が認められたが、33 日後の試験終了時の各試験区間では有意差は認められていない。このことから、鰓の NKA 活性は光波長への反応ではなく、体成長など別の要因へ対する反応である可能性が考えられる。NKA 活性は、淡水型（ $\alpha 1a$ ）と海水型（ $\alpha 1b$ ）の両活性の合計値であるが、基本的に海水型の変動幅が大きいため海水順応性の指標として用いられる。遺伝子発現レベルでは、淡水順応と海水順応へ対応するアイソフォームがそれぞれ特定されていることから、血漿浸透圧と NKA 活性の結果の不一致を明らかにするには、淡水順応を示す NKA $\alpha 1a$ と海水順応を示す NKA $\alpha 1b$ の遺伝子発現量を測定することで、光波長が海水順応性に与える影響を調べる必要が出てくることも考えられる。

② 異なる光波長下で飼育されたサケの海水中での成長比較試験（海水での飼育）

淡水時に異なる光波長下で飼育したサケを海水へ直接移行し、屋内で白色 LED 灯を点灯した環境光下において 30 日間飼育した。淡水飼育終了時には試験区間において体サイズ差が認められていたが、海水飼育終了時には有意差は認められなかった（図 5）。淡水飼育時には稚魚の視感度特性に合った光波長では成長に優れ、合わない光波長では成長が鈍化した。これを屋内の環境光に統一したことにより、短波長寄りの区で飼育していた個体では飼育環境の光条件が悪化し、長波長寄りの区で飼育していた個体では光条件が

改善したものと推察される。このことから、海水中で成長差が認められなかった要因として、光環境の変更により試験区間の成長が相殺されたことが考えられる。今回は屋内の環境光下で海水飼育を実施したが、実際の海洋中では短波長寄りの光が優占する (Wald, 1959)。今後は、降海後の成長への影響を調べるため、海水中でも異なる光波長条件において比較飼育試験の実施が必要になることも考えられる。

【引用文献】

Alexander et al. 1994. The shift in visual pigment dominance in the retinae of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*): an indicator of smolt status. *Journal of Experimental Biology*, 195: 185-197.

長谷川英一 (2006) 通し回遊魚の視覚のメカニズム. さけ・ます資源管理センターニュース, 16, 4-11.

Hasegawa and Miyaguchi. 1997. Changes in scotopic spectral sensitivity of Ayu *Plecoglossus altivelis*. *Fisheries Science*, 63, 509-513.

Wald G. 1959. Life and light. *Scientific American*, 201, 92-108.

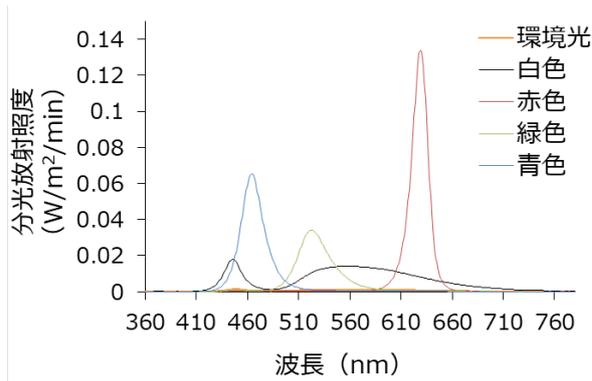


図 1. 淡水飼育期にサケ飼育用に設定した光波長の分布

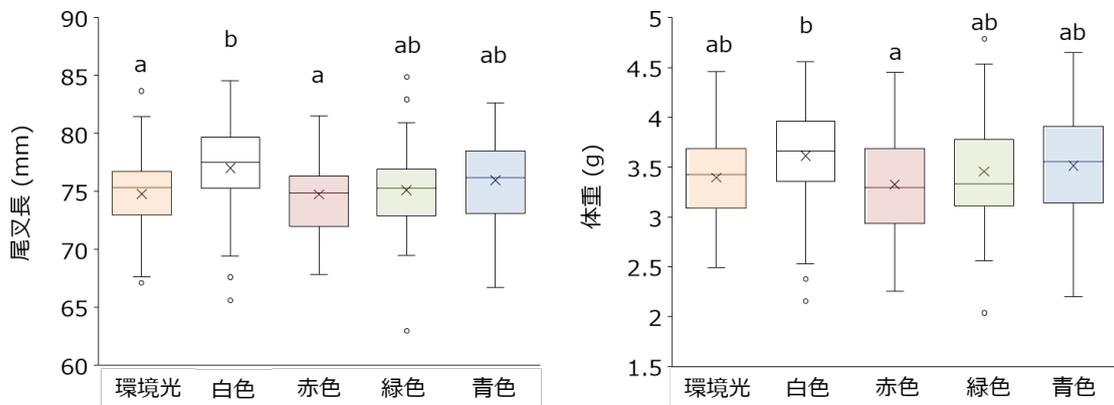


図 2. 異なる光波長下におけるサケの成長の比較 (淡水時)

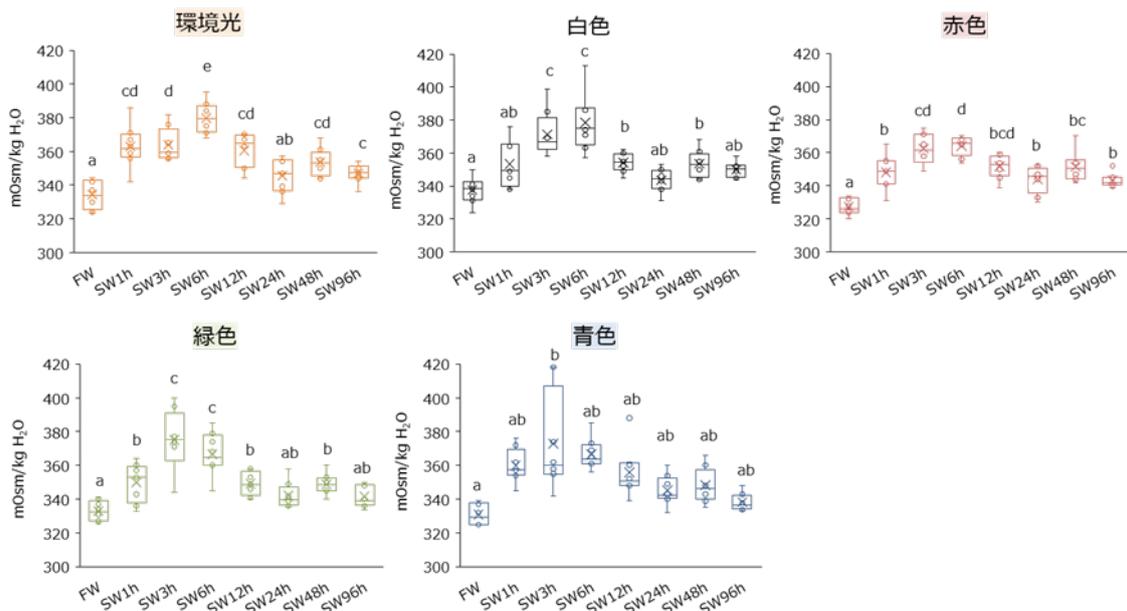


図 3. 異なる光波長下で飼育されたサケ稚魚の海水移行時の血漿浸透圧の継時変化

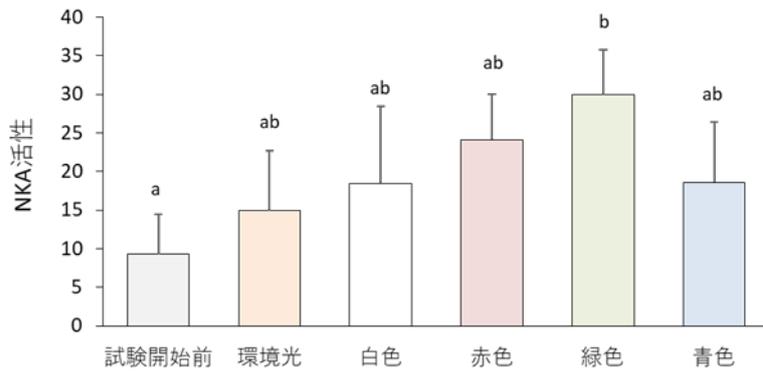


図 4. 異なる光波長下で淡水飼育されたサケ鯺の NKA 活性の比較

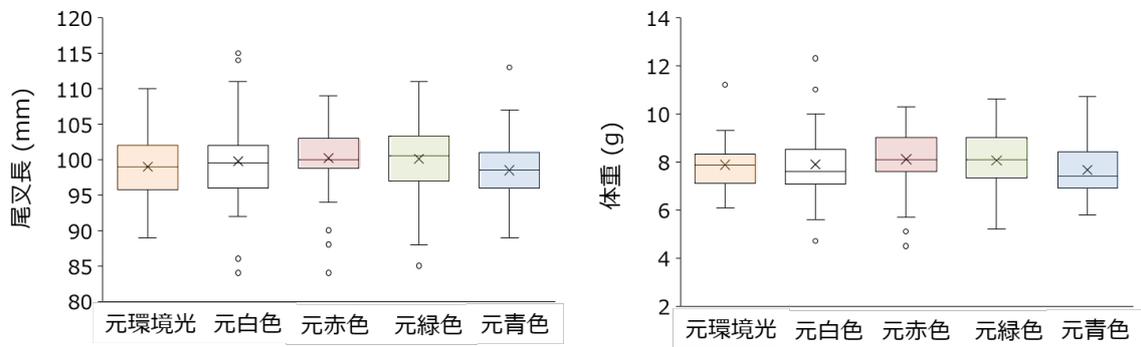


図 5. 淡水時に異なる光波長下で飼育されたサケの海水移行後の成長比較 (海水時)

c) 大型種苗等育成のための既存管理技術の改善

執筆者：水産資源研究所 さけます部門 資源増殖部 和泉梓佐

実施機関及び担当者

水産研究・教育機構 水産資源研究所 さけます部門 資源増殖部

技術課：福澤 博明、和泉 梓佐

根室事業所：羅津 三則

千歳事業所：楠茂 恵一

鶴居事業所：吉野 州正、渡邊 勝亮、下平 幸太

伊茶仁事業所：徳田 裕志、永尾 桃子、三輪 拓也

静内事業所：大貫 努、加藤 雅博

八雲事業所：坂上 哲也、松波 優希、柳橋 幸明

同

さけます部門 資源生態部 増殖グループ：伴 真俊

【背景】

近年、初夏の海水温の立ち上がり早い傾向にあり、サケ稚魚の離岸水温と考えられている13℃に達する時期が以前と比較して早くなる年が多い。特に中・後期群は、前期群に比べて稚魚の飼育開始時期が遅くなるため、海水温の昇温が早期化すると飼育可能な期間が短くならざるを得ない。その結果、中・後期群は離岸サイズとして望ましいサイズに成長できる稚魚の割合が減少し、沿岸域で生き残る割合が減り、ひいては資源の減少を招いている可能性がある。このため、稚魚を短期間のうちに成長させる飼育技術を検討することを目的とし、管理水温や管理条件が異なる北海道内4事業所でi)～iii)の試験を事業規模で実施した(図1)。

i) サケ標準給餌率の再検討に関する試験

【目的】

現在のふ化放流事業では、ライトリッツの給餌率表の8割を基準としたサケ標準給餌率表(北海道さけ・ますふ化場1996)を参考に1日の給餌量を決定し管理を行うふ化場が多い。しかしながら、ライトリッツの給餌率表は、ニジマスを対象魚としてデータを収集した表であり、特にサケのふ化放流事業で想定される成長サイズの範囲に重点をおいて最適給餌率を検討されたものではない。そこで本試験では、サケのふ化放流事業における最適な給餌率を水温や給餌率、成長の視点から再検証し、放流時期までに、より効率的に大型化に繋がる給餌手法を検討する。

【方法】

事業規模の施設と種卵数を対象に異なる飼育水温で管理する稚魚(2022年(令和4)年～2023(令和5)級群)について、データ収集を行った。実施事業所は、鶴居、伊茶仁、静内の3事業所とした。試験区は実施事業所のサケ標準給餌率に対して1割増区と2割増区を設定した。旬に2回程度の頻度で稚魚60尾の魚体測定を行い、試験設定に見合った給餌量となるよう補正し、試験期間を通して、一定の環境・条件で管理を続け、試験開始から終了までの管理状況を把握することとした。各事業所では、管理状況に合わせて1シーズン当たり1～2回ずつ試験を実施した。管理用水温は、1時間に1回の頻度で測定した。また、2022(令和4)年級静内事業所の2回目の試験においては、試験終了時に体成分・血液成分の分析と瞬発遊泳力の測定を行い、稚魚の健苗性や遊泳力についても評価した。各事業所における試験設定は以下のとおり。

(鶴居事業所)

2022(令和4)年級飼育水温は、平均7.5℃とし、以下の区分で試験を実施した。

- ・標準給餌率区（以下、対照区）：給餌率 2.7%（10/7、10/11 採卵群）
- ・2割増区：給餌率 3.2%（9/29、10/4 採卵群）

2023(令和 5)年級飼育用水温は、平均 7.5℃とし以下の区分で試験を実施中である。

- ・対照区：給餌率 2.7%
- ・1割増区：給餌率 3%
- ・2割増区：給餌率 3.2%

（伊茶仁事業所）

2022（令和 4）年級飼育用水温は、平均 8.0℃とし、1 シーズン当たり 2 回の試験を以下の区分で実施した。

1 回目

- ・対照区：給餌率 2.8%（10/4 採卵群）
- ・2割増区：給餌率 3.4%(9/27 採卵群)

2 回目

- ・対照区：給餌率 2.8%（11/15 採卵群）
- ・1割増区：給餌率 3.1%（11/15 採卵群）
- ・2割増区：給餌率 3.4%（11/22 採卵群）

2023（令和 5）年級飼育用水温は、平均 8.0℃とし、1 シーズン当たり 2 回の試験を以下の区分で実施中である。

1 回目

- ・対照区：給餌率 2.8%
- ・2割増区：給餌率 3.4%

2 回目

- ・対照区：給餌率 2.8%
- ・1割増区：給餌率 3.1%
- ・2割増区：給餌率 3.4%

（静内事業所）

2022（令和 4）年級飼育用水温は、平均 9.0℃とし、1 シーズン当たり 2 回の試験を以下の区分で実施した。

1 回目

- ・対照区：給餌率 3.0%（10/26 採卵群）
- ・1割増区：給餌率 3.3%(11/7 採卵群)

2 回目

- ・対照区：給餌率 3.0%（11/28, 12/2 採卵群）
- ・1割増区：給餌率 3.3%（11/28 採卵群）
- ・2割増区：給餌率 3.6%（11/28 採卵群）

試験終了直後に各区から 20 尾を抽出し、体成分及び血液成分（肝臓 Gly、筋肉 Tri、血漿 Gly、血漿 Tri、Ht）を分析し比較を行った。また、各区から 30 尾を抽出し、遊泳力測定装置（北水産業製）を用いて瞬発遊泳力を測定し比較を行った。

2023（令和 5）年級飼育用水温は、平均 9.5℃とし、1 シーズン当たり 1 回の試験を以下の区分で実施中である。

1 回目

- ・対照区：給餌率 3.2%
- ・1割増区：給餌率 3.5%

- ・ 2 割増区：給餌率 3.8%

【結果及び考察】

各事業所の各試験区における飼育管理結果を表 1 に示した。各試験結果の詳細は以下のとおり。

（鶴居事業所）

試験期間中の飼育水温は対照区が平均 7.6℃ (SD=0.03)、2 割増区が平均 7.4℃ (SD=0.02)で推移し、特に魚病等は発生せず稚魚の状態は両区ともに良好であった。試験期間中の魚体重、飼料効率、日間成長の推移を図 2、図 3 に示した。試験期間 59 日を通しての飼料効率は、対照区 106%、2 割増区 103%であった。魚体重は、試験開始から 34 日後に対照区 0.89 g (SD=0.17)、2 割増区 0.95 g (SD=0.13)となり、2 割増区が有意に大きくなり、それ以降試験終了まで 2 割増区が有意に大きい状態で推移した (t 検定：p <0.05)。

（伊茶仁事業所）

全区分において試験期間中の稚魚の生残率は高く、全体的には良好な状態を維持していたが、特に 2 回目の試験終了直前に全区分で原虫症を発症している。

1 回目

試験期間中の飼育水温は対照区が平均 7.9℃ (SD=0.20)、2 割増区が平均 7.8℃ (SD=0.21)で推移した。試験期間中の魚体重、飼料効率、日間成長の推移を図 4、図 5 に示した。試験期間 28～31 日を通しての飼料効率は、対照区 84%、2 割増区 91%であった。両区の試験終了時の魚体重は、対照区 0.80 g (SD=0.12)、2 割増区 0.85 g (SD=0.13)という結果となり、2 割増区が有意に大きい結果となった (t 検定：p<0.05)。ただし、両試験区の試験期間には 3 日間の差があり (対照区：31 日、2 割増区：28 日)、その差が試験終了時の魚体重結果に影響した可能性も考えられるため、日間成長の値を使用して両試験とも 31 日間の試験期間となるよう補正した値についても t 検定を用いて比較したが結果は同様であった。

2 回目

試験期間中の水温は対照区が平均 8.4℃ (SD=0.05)、1 割増区が平均 8.4℃ (SD=0.15)、2 割増区が平均 8.4℃ (SD=0.21) で推移した。試験期間中の魚体重、飼料効率、日間成長の推移を図 6、図 7 に示した。試験期間 32～34 日を通しての飼料効率は、対照区 108%、1 割増区 92%、2 割増区 80%であった。各区の試験終了時の魚体重は、対照区 0.94 g (SD=0.12)、1 割増区 0.90 g (SD=0.10)、2 割増区 0.84 g (SD=0.10)となり、対照区が 2 割増区と比較して有意に大きく、1 割増区が 2 割増区と比較し有意に大きい結果となった (Tukey 法：p<0.05)。ただし、3 試験区の試験期間には、最大 2 日間の差があり (対照区：34 日、1 割増区：33 日、2 割増区：32 日)、その差が試験終了時の魚体重結果に影響した可能性も考えられるため、日間成長の値を使用して全試験区分とも 33 日間の試験機関となるよう補正した値についても Tukey 法を用いて比較したが結果は同様であった。

（静内事業所）

試験期間中は、特に魚病等は発生せず稚魚の状態は全試験区で良好だった。

1 回目

試験期間中の飼育水温は両区とも平均 9.7℃ (SD=0.05)であった。試験期間中の魚体重、飼料効率、日間成長の推移を図 8、図 9 に示した。試験期間 49 日間を通しての飼料効率は、対照区 101%、1 割増区 101%であった。試験終了時の魚体重は、対照区 1.69 g (SD=0.55)、1 割増区 1.95 g (SD=0.48)となり、1 割増区が有意に大き

い結果となった (t 検定: $p < 0.05$)。

2 回目

試験期間中の飼育水温は全区とも平均 9.6°C ($\text{SD}=0.38$) であった。試験期間中の魚体重、飼料効率、日間成長の推移を図 10、図 11 に示した。試験期間 43 日間を通しての飼料効率は、対照区 117%、1 割増区 117%、2 割増区 108% であった。

魚体重は、試験開始から 28 日後に対照区 0.87 g ($\text{SD}=0.24$)、1 割増区 0.85 g ($\text{SD}=0.24$)、2 割増区 0.98 g ($\text{SD}=0.25$) となり、それ以降試験終了まで、2 割増区が対照区、1 割増区と比較して有意に大きく (Tukey 法: $p < 0.05$)、対照区と 1 割増区の間には有意な差がない結果となった (Tukey 法: $p > 0.05$)。

試験終了直後の体成分と血液成分 (肝臓 Gly、筋肉 Tri、血漿 Gly、血漿 Tri、Ht) の分析結果は、対照区でそれぞれ肝臓 Gly: 3.18% ($\text{SD}=1.34$)、筋肉 Tri: 1.87%

($\text{SD}=0.46$)、血漿 Gly: 89.96mg/ml ($\text{SD}=18.85$)、血漿 Tri: 579.78mg/dl ($\text{SD}=311.91$)、Ht: 46.85% ($\text{SD}=4.82$) であった。1 割増区は、肝臓 Gly: 3.12% ($\text{SD}=1.07$)、筋肉 Tri: 1.91% ($\text{SD}=0.45$)、血漿 Gly: 89.48mg/ml ($\text{SD}=15.41$)、血漿 Tri: 555.60mg/dl ($\text{SD}=250.77$)、Ht: 45.25% ($\text{SD}=5.29$) となった。2 割増区は、肝臓 Gly: 3.43% ($\text{SD}=1.40$)、筋肉 Tri: 2.37% ($\text{SD}=0.64$)、血漿 Gly: 87.09mg/ml ($\text{SD}=13.65$)、血漿 Tri: 526.91mg/dl ($\text{SD}=193.43$)、Ht: 45.55% ($\text{SD}=3.90$) となった。3 区分ともに体成分および血液成分分析の結果に有意な差はなかった (Tukey 法: $p > 0.05$)。

試験終了直後の瞬発遊泳力の測定結果 (平均、最大、最小) は、対照区でそれぞれ 17.37 ($\text{SD}=9.25$)、 33.60 、 6.53 、1 割増区でそれぞれ 17.57 ($\text{SD}=9.24$)、 33.60 、 6.53 、2 割増区でそれぞれ 19.18 ($\text{SD}=7.06$)、 31.90 、 8.47 となった。3 区分間の瞬発遊泳力に有意な差はなかった (Tukey 法: $p > 0.05$)。

まとめ

鶴居事業所 (飼育水温 7.5°C) および静内事業所 (飼育水温 9.0°C) の試験結果から、飼育開始から魚体重 0.9 g に達する前後までは、現状のサケ標準給餌率を目安として飼育管理を行うことで、稚魚の餌要求に見合った無駄のない給餌ができると考えられた。さらに魚体重 0.9 g 前後以降試験実施範囲では、標準給餌率の 2 割増しの給餌量を与えることで、稚魚の成長をより促進できると考えられた。

伊茶仁事業所 (飼育水温 8.0°C) については、2 回目の試験において、他の事業所とは異なり、2 割増区が他の 2 区分と比較して飼料効率が低く、試験終了時の魚体重が有意に小さい結果となった。この原因は明らかではないが、試験終了直前の原虫症の発症が影響した可能性が考えられた。

ただし単年度の結果であり、今後もデータの蓄積が必要であることから、令和 5 年度についても引き続き、鶴居、伊茶仁、静内事業所で事業規模の試験を継続している。

ii) 給餌開始時期の再検討に関する試験

【目的】

ふ化放流の現場の多くでは、仔魚の 8 割以上の腹部が縫合したタイミングを浮上=飼育開始の目安としている。通常、浮上時の積算水温は、ふ化仔魚の臍嚢サイズや管理環境により幅はあるが、概ね 900°C ~ $1,000^{\circ}\text{C}$ である。しかしながら、組織学的にはそれ以前から、消化吸收器官の基本構造が仔魚に備わっていると報告されている (伴ほか 1995)。

そこで特に、飼育開始が遅く飼育期間が短くならざるを得ない後期採卵群について、従来よりも早期に浮上させ給餌を開始することでより長い飼育期間を確保し、従来よりも大型サイズでの放流が可能となるか検証する。

【方法】

鶴居事業所及び八雲事業所において、通常浮上の目安にしている積算温度よりも早期に浮上させ給餌を開始した場合の稚魚の発育や形体に及ぼす影響を、事業規模の施設及び種卵数による試験で比較した。

本試験では、通常浮上区と早期浮上区を設定し、早期浮上区は、各事業所で通常浮上させている積算温度に対して 80~130℃（日数で 10~16 日）程度早く浮上させた。なお、両事業所の仔魚管理（養魚池）および稚魚管理（飼育池）を行った施設の状況は表 2 に示したとおりである。試験開始日はふ化月日（その区分全体の 60%以上がふ化した日）とし、両区とも試験期間が同一日数となるよう試験終了日を決定した。

両区ともに浮上時に消化器官の組織標本を作製し、消化・吸収器官の発達状況を観察した。また、同じく浮上時に卵黄重量を測定し、卵黄吸収の度合いを確認した。また、今後の早期浮上可能範囲の積算温度の検討材料とするため、積算温度 750℃時点の仔魚の消化管の外観と組織標本の観察、および卵黄重量の測定も併せて行った。給餌開始以降は、旬に 1 回水切り魚体測定を実施して重量を把握し、給餌量を算出して飼育を継続した。試験終了時に、各区魚体測定（60 尾）を行って体サイズを把握するとともに、健苗性を確認するため、海水適応能試験（供試魚 60 尾を 33%の人工海水 60L 以上に投入し、48 時間後の生残率を算出）のほか、各区 20 尾を抽出し体成分及び血液成分（肝臓 Gly、筋肉 Tri、血漿 Gly、血漿 Tri、Ht）を分析し比較を行った。また、各区 30 個体を抽出し、遊泳力測定装置（北水産業製）を用いて瞬発遊泳力を測定し比較を行った。両事業所における試験区の浮上積算温度および給餌率は以下のとおり。

・鶴居事業所試験

通常浮上区（積算温度 930℃）に対して早期浮上区（積算温度 850℃）を設定した。試験開始時期を積算水温 500℃時点とし、試験期間中の給餌率は 2.8%とした。

・八雲事業所試験

通常浮上区（積算温度 970℃）に対して早期浮上区（積算温度 830℃）を設定した。試験開始時期を積算水温 470℃時点とし、飼育期間中の給餌率は 2.8%とした。

【結果及び考察】

試験実施中の管理経過を表 3 に示した。試験日数は鶴居事業所で 86 日間、八雲事業所で 92 日間となった。両事業所における試験結果の詳細は以下のとおり。

・鶴居事業所試験

1) 積算温度 750℃時点での消化器官の状態及び卵黄重量

消化管の外観の観察では、両区に顕著な差はなかった。消化管は、大量に残存する卵黄と体壁に挟まれた状態であった（図 12）。外観に加え組織標本の観察も行ったが、両区の消化管の配置や組織像に顕著な差は見られなかった。胃腸は卵黄上部に張り付き、扁平な形状を呈しており、餌が通過する空間的余裕はないように感じられ、器官全体が脆弱であると考えられた。胃噴門部には上皮細胞層、固有層、粘膜下層、筋肉層を確認できるが、全体として発達途上に観えた。また腸後部のひだ構造が未発達であり、消化吸收機能の有無は不明であった。肝臓は卵黄由来のグリコーゲン小胞に満たされており、仔魚の栄養状態に問題はなかった。このことから、積算 750℃の仔魚は外部からの栄養を消化・吸収することは困難である可能性が高いと考えられた。

卵黄重量は、通常浮上区が 0.073 g (SD=0.02)、早期浮上区が 0.071 g (SD=0.02)であり、両区に有意な差はなかった (n=25、t 検定：p>0.05)。

2) 浮上時の消化器官の状態、卵黄重量および稚魚の外観

浮上時の稚魚の組織標本画像を図 13 に示した。両区ともに消化管の基本構造はほぼ整

っており、組織標本観察上は大きな違いはなかった。標本作製時には、早期浮上区の消化管の方が通常浮上区と比較して軟らかく崩れやすいと感じたことから、消化管は通常浮上区の方が強固であると思われた組織標本観察上は両区ともに腸の基本構造にも違いがなく、早期浮上区についても通常浮上区と同様の機能が備わっていると考えられた。

併せて実施した卵黄重量の測定結果については、図 14 に示した。

稚魚の外観（腹部の縫合状態）についても、早期浮上区の方は卵黄が露見している個体が多く見られた（図 15）。

3) 稚魚の管理状況

試験期間 86 日の中で、給餌を行った日数は早期浮上区で 38 日間、通常浮上区で 27 日間となり、早期浮上区は、通常浮上区よりも給餌日数を 11 日間延長することができた。

早期浮上区は通常浮上区と比較して、飼育開始直後の餌の食い付きはやや悪いと感じたが、数日でその違いはなくなった。全体を通して、両区とも摂餌は良好で魚病の発生も無く、管理上の問題は発生しなかった。

4) 試験終了時の体重、海水適応能、体成分・血液成分および瞬発遊泳力

魚体重は、通常浮上区が 0.57 g (SD=0.12)、早期浮上区が 0.82 g (SD=0.11) となり、早期浮上区の方が有意に大きかった (t 検定: $p < 0.05$) (図 16)。

海水適応試験は両区ともに生残率 100%であった (表 4)。

体成分と血液成分（肝臓 Gly、筋肉 Tri、血漿 Gly、血漿 Tri、Ht）の分析結果は、

通常浮上区は、肝臓 Gly : 6.94%(SD=1.64)、筋肉 Tri : 0.56%(SD=0.39)、血漿 Gly : 96.26mg/ml(SD=9.25)、血漿 Tri : 370.86mg/dl(SD=87.99)、Ht : 40.69%(SD=2.24)であった。早期浮上区は、肝臓 Gly : 4.98%(SD=1.73)、筋肉 Tri : 1.16%(SD=0.33)、血漿 Gly : 90.31mg/ml(SD=9.01)、血漿 Tri : 617.58mg/dl(SD=134.69)、Ht : 42.35% (SD=5.01)となった。

早期浮上区は通常浮上区と比較して、筋肉 Tri、血漿 Tri の値が有意に高かった (t 検定: $p < 0.05$)。一方、肝臓 Gry については通常浮上区の方が早期浮上区と比較して有意に高い値となった (t 検定: $p < 0.05$)。

体成分と血液成分から両区の試験終了時の栄養状態を比較すると、早期浮上区の方が通常浮上区より良好だった。このことは、早期浮上区の方が通常浮上区と比較して魚体重が有意に大きいことに起因していると考えられる。一方、早期浮上区の方が有意に低い結果となった肝臓 Gry については、もともと変動しやすい値であり、浮上積算温度の違いによる影響ではないと考えている。

瞬発遊泳力測定の結果について、早期浮上区の平均遊泳力は、70.86 cm/s (SD=18.33) で最大遊泳力は 99.67 cm/s、最小遊泳力は 30.36 cm/s となった。通常浮上区の平均遊泳力は、59.87 cm/s(SD=15.22)最大遊泳力は 91.81 cm/s、最小遊泳力は 38.53 cm/s となった。両区の遊泳力を比較すると早期浮上区の方が通常浮上区よりも有意に高い結果となった (t 検定: $p < 0.05$)。このことは、早期浮上区の方が通常浮上区と比較して魚体重が有意に大きいことに起因していると考えられる。

・八雲事業所試験

1) 積算温度 750°C時点での消化器官の状態及び卵黄重量

消化管の外観の観察では、両区に顕著な差はなかった。消化管は、大量に残存する卵黄と体壁に挟まれた状態であった (図 17)。

外観に加え組織標本の観察も行ったが、両区の消化管の配置や組織像に顕著な差は見られなかった。胃腸の位置や形状、胃噴門部や腸後部の発達度合いについては鶴居事業所での観察結果と同様であった。肝臓は卵黄由来のグリコーゲン小胞に満たされているが、細胞の核と形状の大きさが不規則であった。このことから、積算 750°Cの仔魚は栄養を消化・吸収することは困難である可能性が高い。

積算 750°C時点での卵黄重量について、通常浮上区が 0.058 g (SD=0.02)、早期浮上区が 0.064 g (SD=0.02)であり、両者に有意な差はなかった (n=25、t 検定：p>0.05)。

2) 浮上時の消化器官の状態、卵黄重量および稚魚の外観

浮上時の稚魚の組織標本画像を図 18 に示した。両区ともに消化管の基本構造はほぼ整っており、組織標本観察上は大きな違いはなかった。その他の所見も鶴居事業所での観察と同様であり、早期浮上区についても通常浮上区と同様の機能が備わっていると考えられた。

併せて実施した卵黄重量の測定結果については、図 19 に示した。

稚魚の外観（腹部の縫合状態）については、通常浮上区では全ての個体で腹部が閉じていたのに対し、早期浮上区では卵黄が露見している個体が多かった（図 20）。

3) 稚魚の管理状況

試験期間 92 日の中で、給餌を行った日数は早期浮上区で 38 日間、通常浮上区で 20 日間となり、早期浮上区では、通常浮上区よりも給餌日数を 18 日間延長することができた。全体を通して、両区とも摂餌は良好で魚病等の発生も無く、管理上の問題は発生しなかった。

4) 試験終了時の体重、海水適応能、体成分・血液成分および瞬発遊泳力

魚体重は、早期浮上区が 0.78 g (SD=0.15)、通常浮上区が 0.49 g (SD=0.02) となり、早期浮上区の方が有意に大きかった (t 検定：p<0.05) (図 21)。

海水適応試験は両区ともに生残率 100%であった (表 4)。

体成分と血液成分（肝臓 Gly、筋肉 Tri、血漿 Gly、血漿 Tri、Ht）の分析結果は、通常浮上区は、肝臓 Gly：0.44% (SD=0.80)、筋肉 Tri：0.46% (SD=0.26)、血漿 Gly：70.64mg/ml (SD=12.37)、血漿 Tri：253.90mg/dl (SD=54.80)、Ht：48.35%

(SD=5.45) であった。早期浮上区は、肝臓 Gly：1.43% (SD=0.71)、筋肉 Tri：1.10% (SD=0.31)、血漿 Gly：92.92mg/ml (SD=11.55)、血漿 Tri：438.04mg/dl

(SD=124.88)、Ht：50.00% (SD=3.61) となった。早期浮上区は通常浮上区と比較して、肝臓 Gly、筋肉 Tri、血漿 Gly、血漿 Tri の値が有意に高かった (t 検定：p<0.05)。体成分と血液成分から両区の試験終了時の栄養状態を比較すると、早期浮上区の方が通常浮上区より良好だった。このことは、早期浮上区の方が通常浮上区と比較して魚体重が有意に大きいことに起因していると考えられる。

瞬発遊泳力の測定結果は、早期浮上区の平均遊泳力は、54.38 cm/s (SD=16.12) で最大遊泳力は 86.89 cm/s、最小遊泳力は 22.93 cm/s となった。通常浮上区の平均遊泳力は、46.94 cm/s (SD=8.46) 最大遊泳力は 64.59 cm/s、最小遊泳力は 28.37 cm/s となった。両区の遊泳力を比較すると早期浮上区の方が通常浮上区よりも有意に高い結果となった (t 検定：p<0.05)。このことは、早期浮上区の方が通常浮上区と比較して魚体重が有意に大きいことに起因していると考えられる。

まとめ

両事業所ともに、通常よりも早期に浮上させ給餌を開始することで、同一日数の管理期間の中で給餌日数を増やすことができ、結果としてより早期に大型化させることができた。また、浮上時の消化管の基本構造に顕著な差はなく、試験終了時の稚魚の状態にも問題点は見当たらなかったことから、サケ稚魚を早期に大型化する管理手法となりえると考えられた。

ただし、早期浮上の手法は、従来基本としてきた手法とは異なるものであることから、単年度の結果だけで結論付けることは危険であり、今後もデータの蓄積が必要である。そのため、令和 5 年度についても引き続き、鶴居、八雲事業所で事業規模の試験を継続して

いる。

iii) 降下日数短縮による飼育期間延長に関する試験

【目的】

特に、飼育開始が遅く、放流に適した時期に放流しようとする飼育期間が短くならざるを得ない後期採卵群について、飼育期間延長を図ることを目的に、稚魚を下流へ輸送し放流することで河川での降下期間の短縮が可能かどうか検証する。

【方法】

試験は八雲事業所において実施した。八雲事業所は遊楽部川河口から約 15.5km 上流に位置する施設である（図 22）。また八雲事業所では現在、最適な放流時期を 4 月中旬においてふ化放流を実施している。事業所からの放流は通常、施設の飼育池の堰板を上げ、水路を通して河川へ放流する方法（以下「事業所放流」とする）で行っている。

一方で、飼育開始時期が遅い後期採卵群については、4 月中旬に放流しようとする放流サイズがどうしても小型になってしまう。このことから、飼育期間を一句延長し、4 月下旬に稚魚を事業所より下流（遊楽部川河口から約 6.5km 上流）に位置する捕獲場（図 22）まで輸送して放流する方法（以下「捕獲場放流」とする）を用いることで、降下期間を短縮し、4 月中旬の事業所放流と同じ時期に河口域に到達させることが可能かを検証した。また、それらの比較対象とするために、4 月下旬に事業所放流する放流区分も設定した。以上、3 つの放流区分を設定し、下記のとおり異なる耳石温度標識コードを施標して放流を行った。また、それらの降下状況を確認するため、遊楽部川河口で週 1 回の引き網調査を行い、稚魚の河川降下状況を確認した。八雲事業所施設、輸送放流地点（遊楽部川サケ捕獲場）、遊楽部川河口の位置関係については図 22 のとおり。

- ① 4/中事業所放流（2,2n,4nH）
- ② 4/下事業所放流（2,3n-2nH）
- ③ 4/下捕獲場放流（2,3n-4nH）

【結果及び考察】

・放流結果

各放流区分の放流結果を表 5 に示した。全区分ともに稚魚の状態は良好で魚病の発生等もなく、海水適応能試験の結果も 100% だった。4/下捕獲場放流区においては、輸送による斃死も無かった。

・河口域での稚魚採捕結果

各放流区分の稚魚が河口域の引き網調査で採捕された月日と採捕数を図 23 に示した。4/中事業所放流区は、放流翌日の 4 月 21 日の調査で最も多く稚魚が採捕された。また、4/下事業所放流区と 4/下捕獲場放流区は、放流から 3 日後の 4 月 28 日の調査で最も多く稚魚が採捕されたが、両区を比較すると 4/下事業所放流区の方が 3 倍ほど多かった。

・まとめ

いずれの放流区分においても、放流日から最も近い調査日での採捕数が最大となったことから、遊楽部川において放流された稚魚は、放流場所に関わらず、大部分の稚魚が河川に滞留せず直ちに降下し、河口まで達することが示唆された。一方で、4/下事業所放流区と 4/下捕獲場放流区は、同時に放流され、放流数もほぼ同数なのにもかかわらず、河口域での採捕数に大きな差が見られたことから、放流場所によって降下期間に違いがある可能性も示唆された。

これらをさらに詳細に検証するためには、少なくとも放流以降数日間で河口域調査の頻度を増やす必要があると考えられるため、現在の調査体制を鑑みながらその方法を検討す

ることとしたい。

【引用文献】

伴 真俊・長谷川裕康・阿部邦夫 (1995) サケの発育にともなう消化器官系の組織学的変化. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 49: 21-26.

北海道さけ・ますふ化場 (1996) 稚魚の管理. さけ・ますふ化事業実施マニュアル, 46-55.

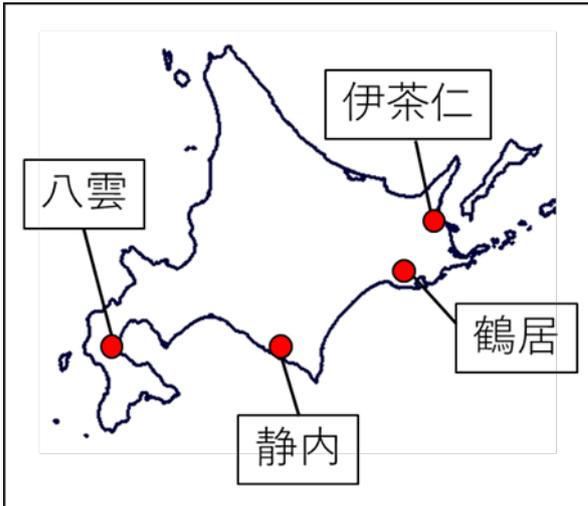


図1. 各試験を行った事業所の位置図

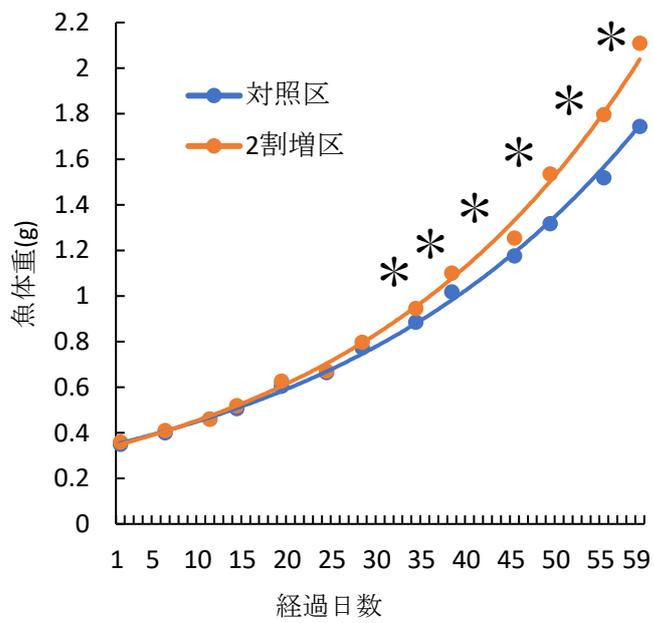


図2. 鶴居事業所試験における両試験区の魚体重の推移

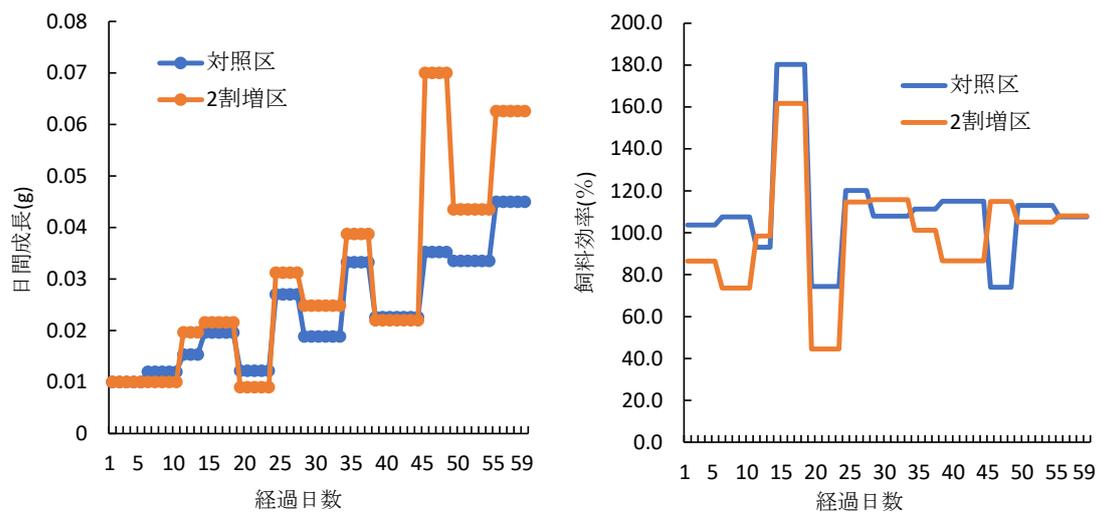


図3. 鶴居事業所試験における両試験区の日間成長（左）および飼料効率（右）の推移

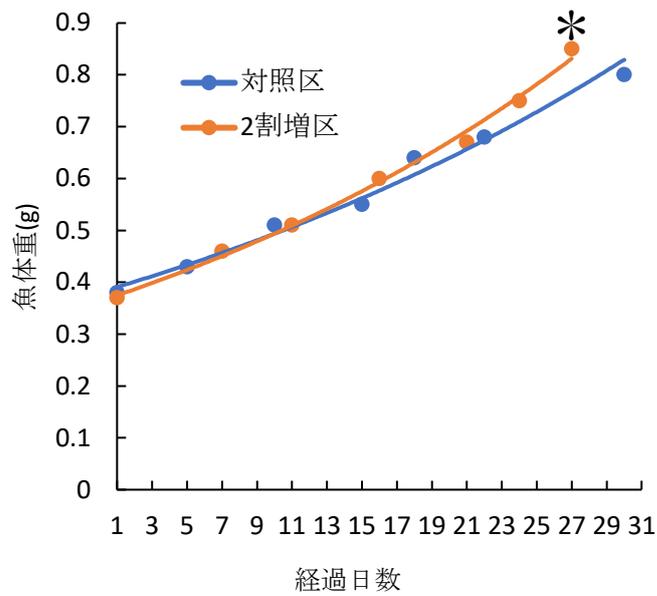


図4. 伊茶仁事業所1回目試験における両試験区の魚体重の推移

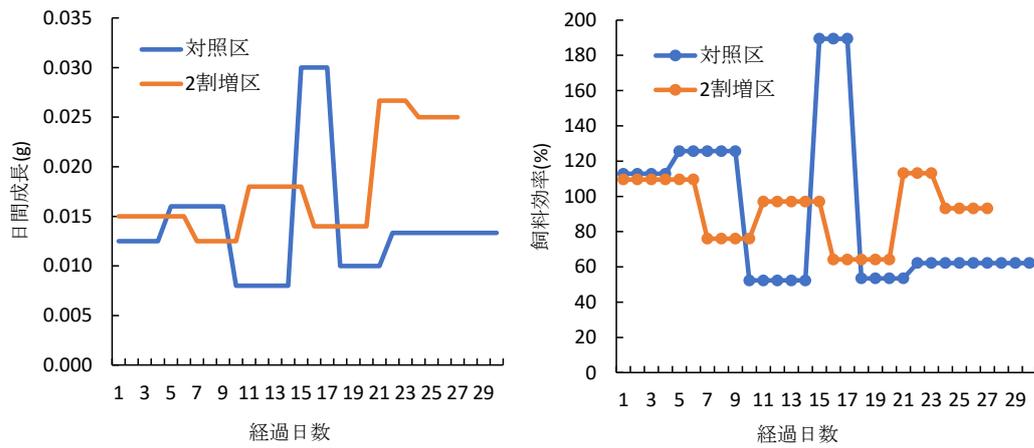


図5. 伊茶仁事業所1回目試験における両試験区の日間成長（左）および飼料効率（右）の推移

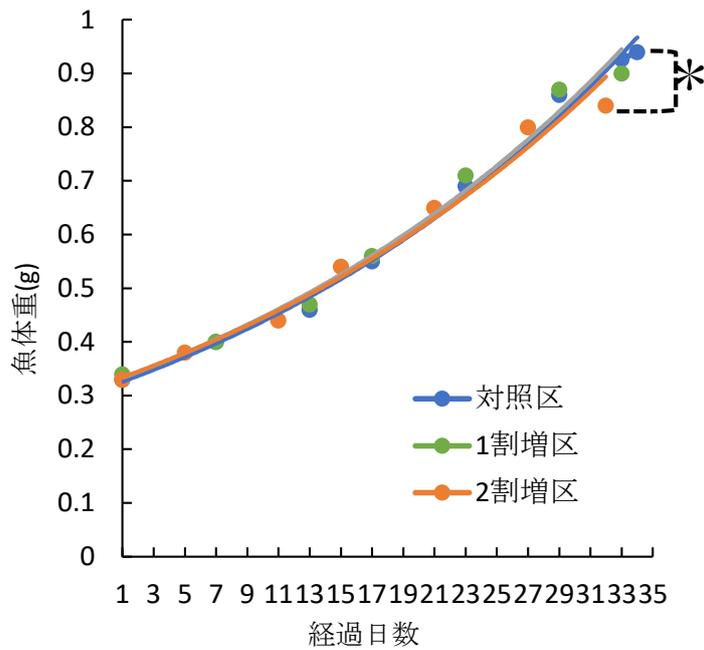


図6. 伊茶仁事業所2回目試験における各試験区の魚体重の推移

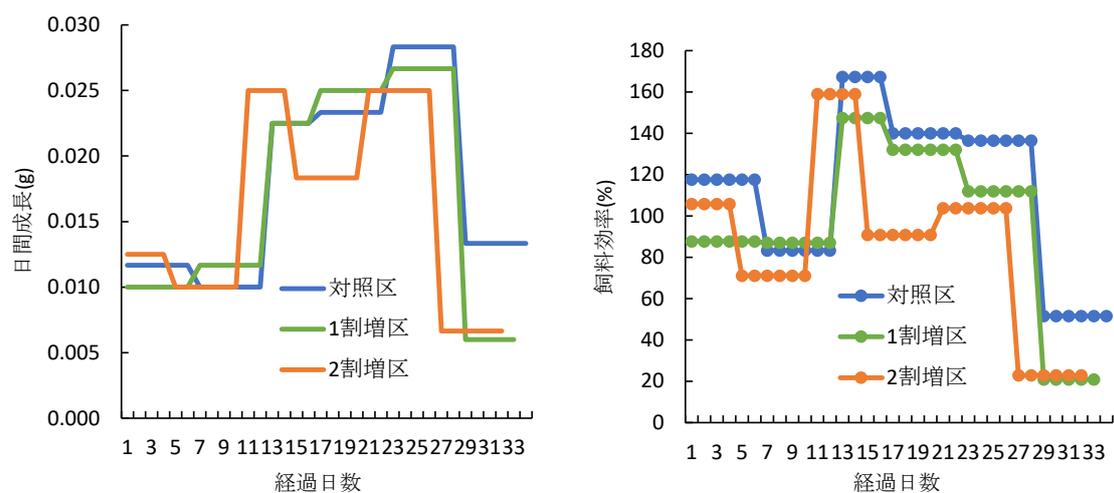


図7. 伊茶仁事業所2回目試験における両試験区の日間成長（左）および飼料効率（右）の推移

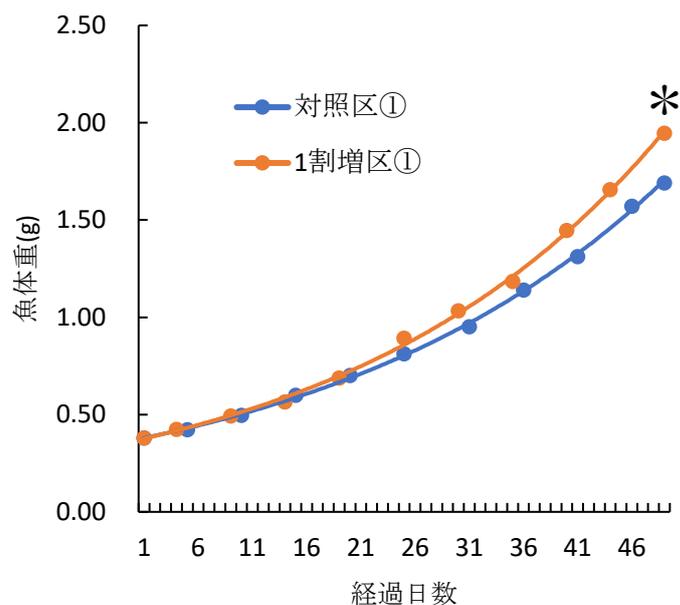


図8. 静内事業所1回目試験における両試験区の魚体重の推移

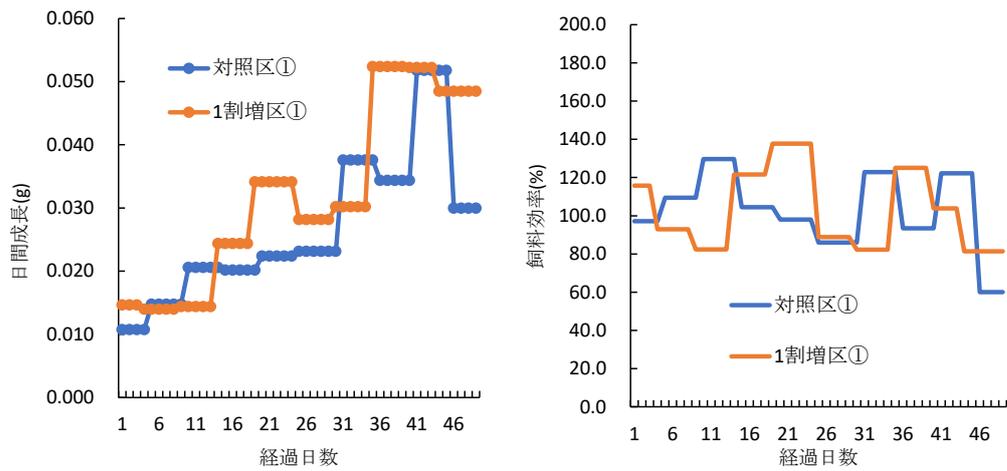


図9. 静内事業所1回目試験における両試験区の日間成長（左）および飼料効率（右）の推移

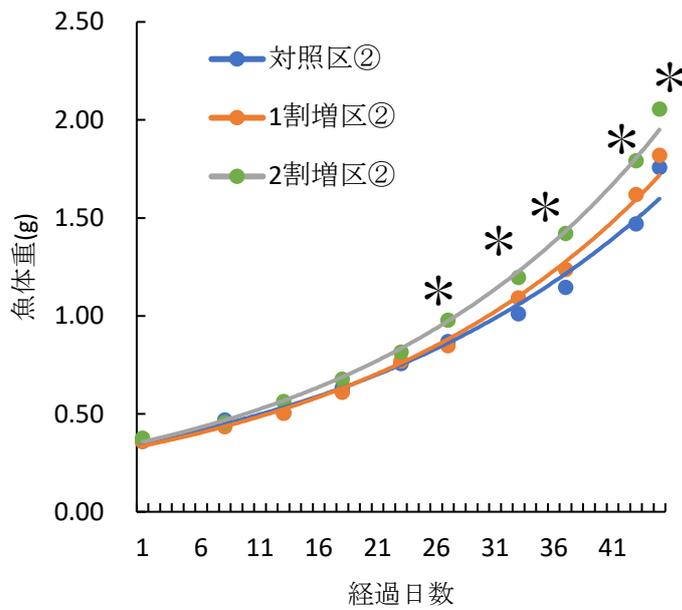


図10. 静内事業所2回目試験における各試験区の魚体重の推移

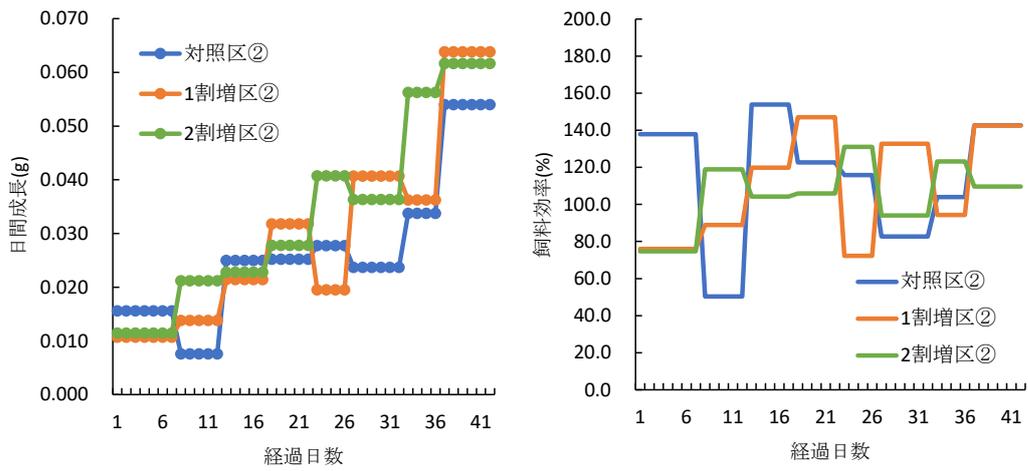


図 11. 静内事業所 2 回目試験における各試験区の日間成長（左）および飼料効率（右）の推移

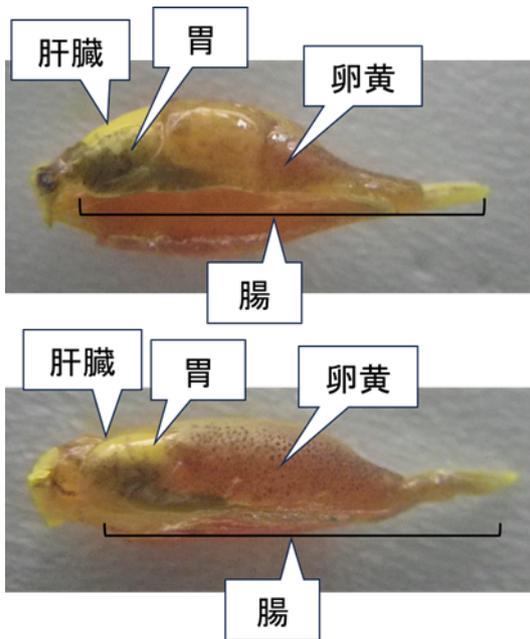


図 12. 鶴居事業所試験における積算温度 750°C時点の消化管の外観（上：通常浮上区、下：早期浮上区）注：黒い部分は体腔の膜

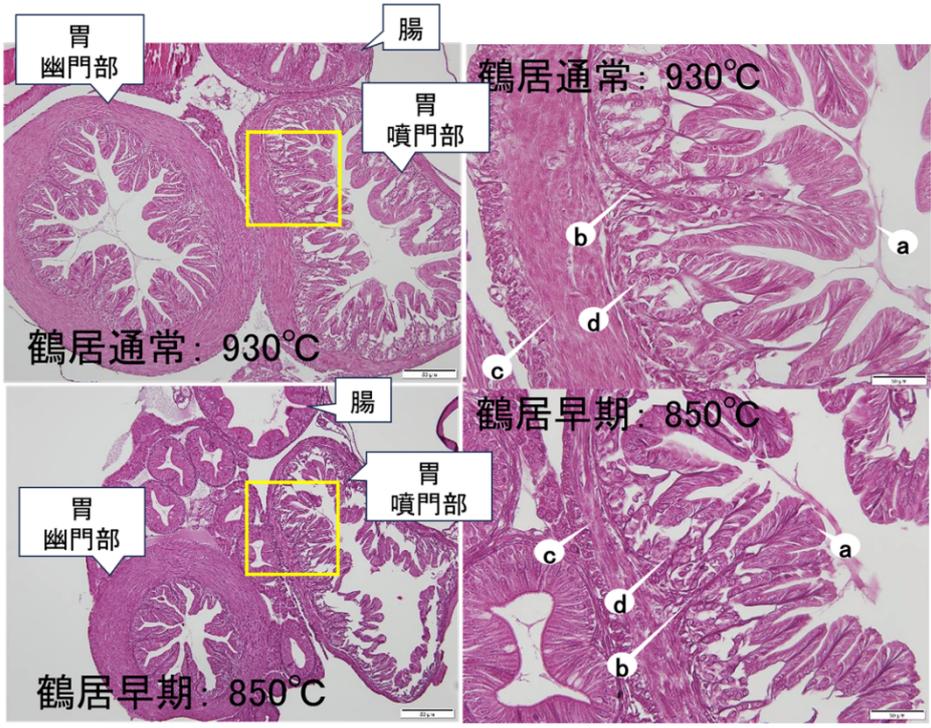


図 13. 鶴居事業所試験における両試験区の浮上時の消化器官の組織標本
 a: 上皮細胞層, b: 固有層, c: 筋肉層, d: 粘膜下層

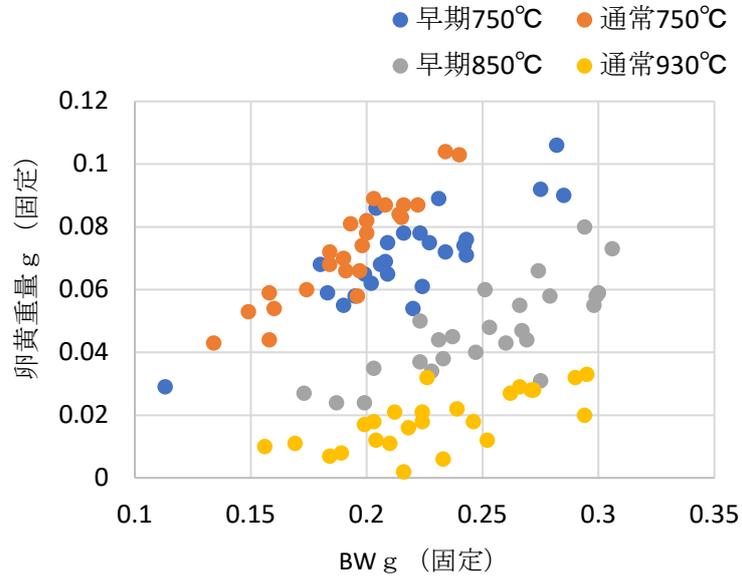


図 14. 鶴居事業所試験における両試験区の積算水温 750°C時および浮上時の卵黄重量



図 15. 鶴居事業所試験における浮上時の両試験区の稚魚の外観（左：通常浮上区、右：早期浮上区）

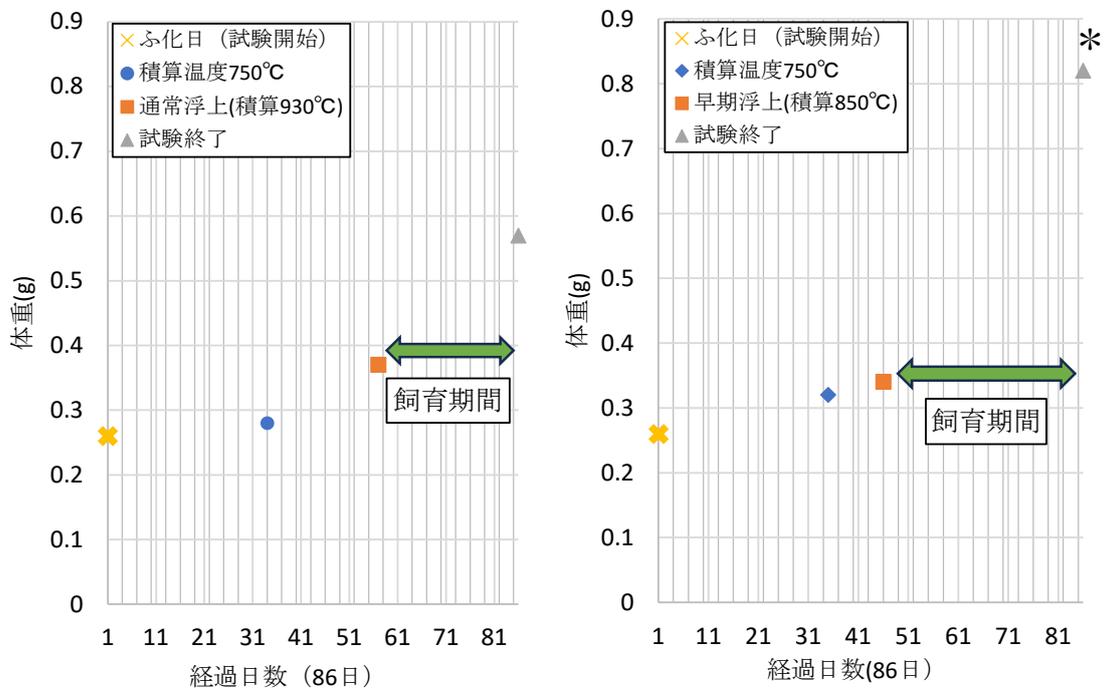


図 16. 鶴居事業所試験における両試験区の魚体重の推移（左：通常浮上区、右：早期浮上区）

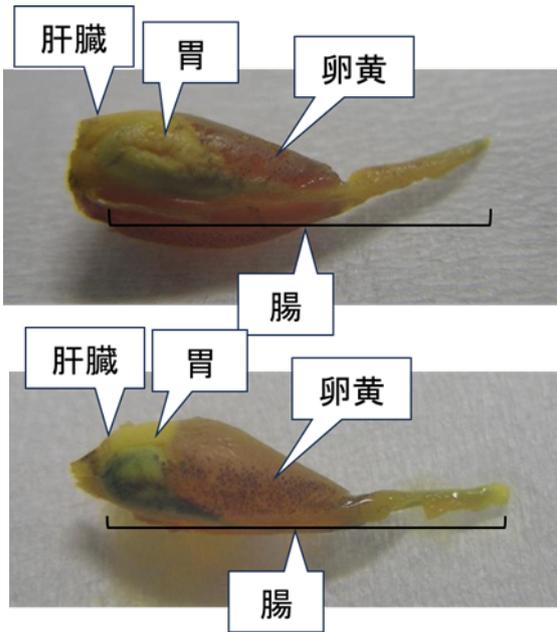


図 17. 八雲事業所試験における積算温度 750°C時点の消化管の外観（上：通常浮上区、下：早期浮上区）注：黒い部分は体腔の膜

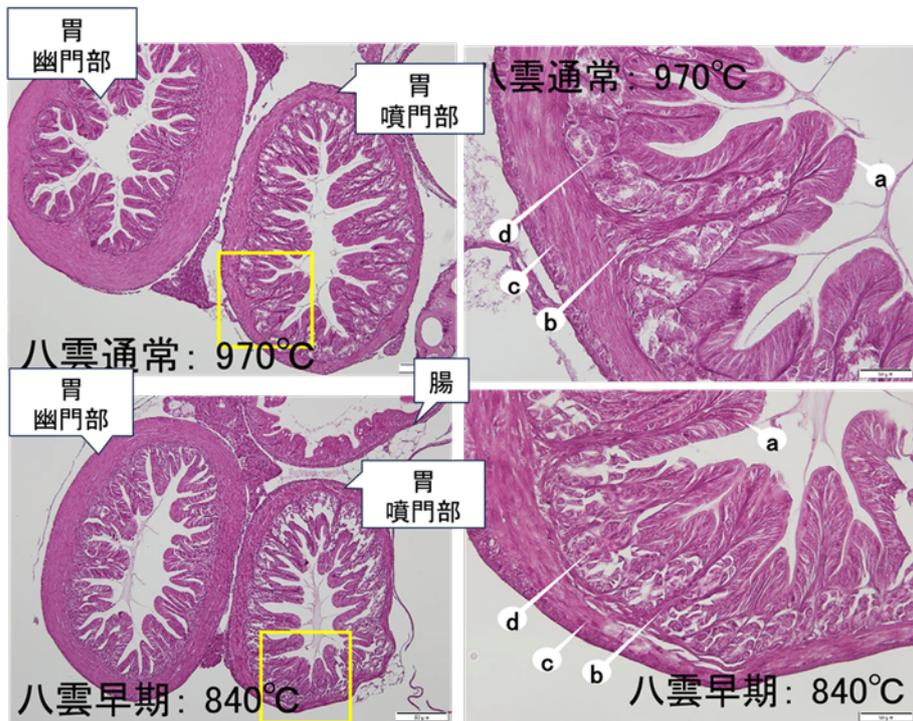


図 18. 八雲事業所試験における両試験区の浮上時の消化器官の組織標本
a: 上皮細胞層, b: 固有層, c: 筋肉層, d: 粘膜下層

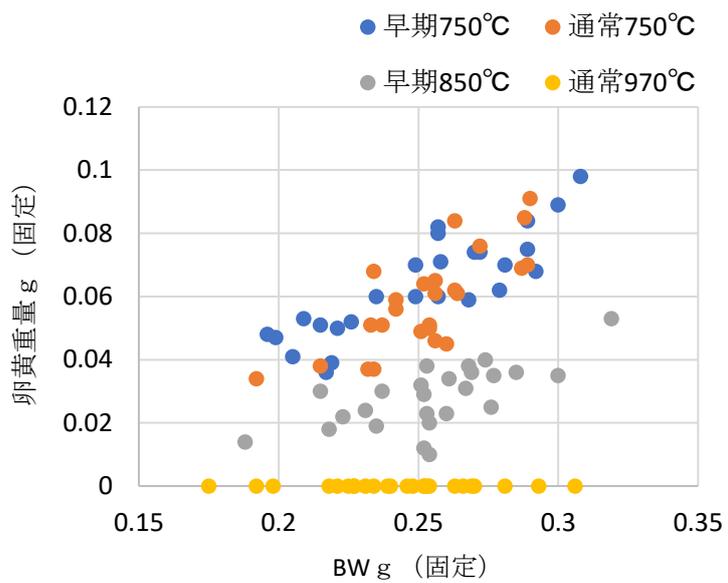


図 19. 八雲事業所試験における両試験区の積算水温 750°C時および浮上時の卵黄重量



図 20. 八雲事業所試験における浮上時の両試験区の稚魚の外観 (左：通常浮上区、右：早期浮上区)

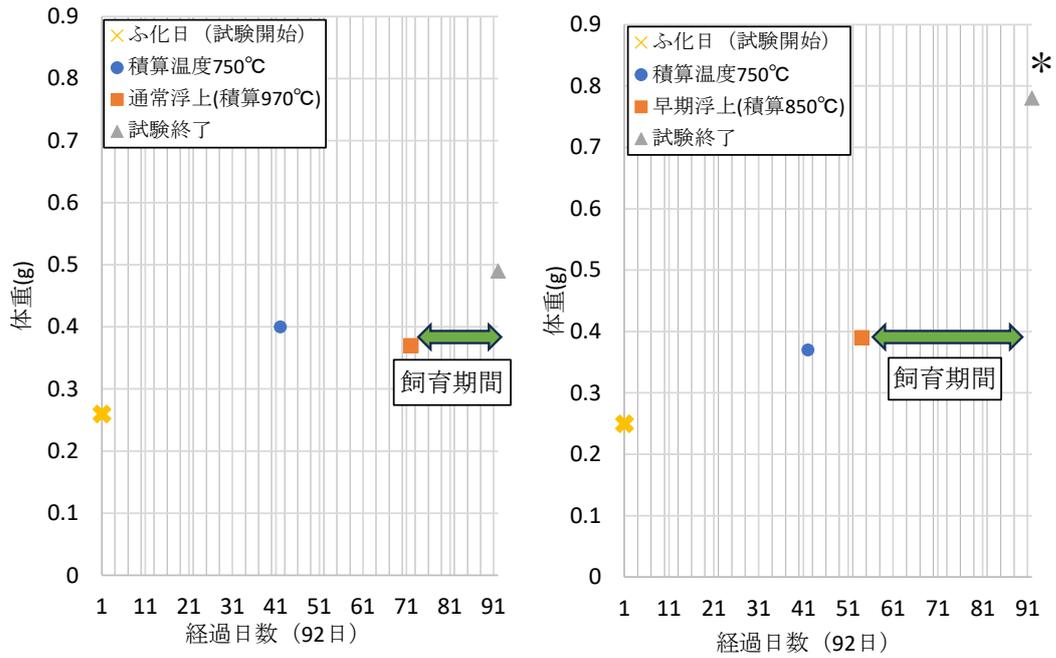


図 21. 八雲事業所試験における両試験区の魚体重の推移 (左：通常浮上区、右：早期浮上区)



図 22. 八雲事業所、捕獲場および遊楽部川河口域の位置関係

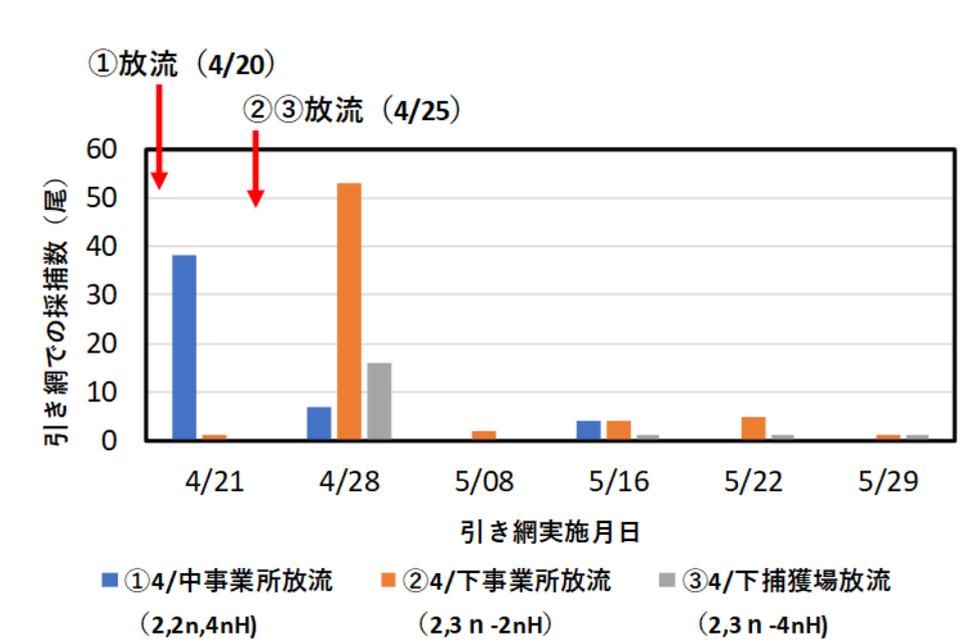


図 23. 各放流区分の稚魚の、遊楽部川河口域での採捕数係

表 1. 各事業所の各試験区における飼育管理結果

| 項目 | 鶴居事業所 | | 伊茶仁事業所 | | | | | 静内事業所 | | | | |
|-------------|--------|------|--------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|
| | 7.5℃基準 | | 8.0℃基準 | | | | | 9.0℃基準 | | | | |
| | 1回目 | | 1回目 | | 2回目 | | | 1回目 | | 2回目 | | |
| | 標準 | 2割増 | 標準 | 2割増 | 標準 | 1割増 | 2割増 | 標準 | 1割増 | 標準 | 1割増 | 2割増 |
| 給餌率(%) | 2.7 | 3.2 | 2.8 | 3.4 | 2.8 | 3.1 | 3.4 | 3 | 3.3 | 3 | 3.3 | 3.6 |
| 用水の種類 | 湧水 | 湧水 | 混合水 | 混合水 | 混合水 | 混合水 | 混合水 | 湧水 | 湧水 | 湧水 | 湧水 | 湧水 |
| 平均水温(℃) | 7.6 | 7.4 | 8 | 7.8 | 8.4 | 8.4 | 8.4 | 9.7 | 9.7 | 9.6 | 9.6 | 9.6 |
| 試験期間(日) | 59 | 59 | 31 | 28 | 34 | 33 | 32 | 49 | 49 | 43 | 43 | 43 |
| 供試尾数(千尾) | 254 | 510 | 1114 | 549 | 526 | 526 | 563 | 1286 | 1590 | 349 | 350 | 349 |
| 開始平均魚体重(g) | 0.35 | 0.36 | 0.38 | 0.37 | 0.33 | 0.34 | 0.33 | 0.38 | 0.38 | 0.36 | 0.36 | 0.38 |
| 終了時平均魚体重(g) | 1.74 | 2.11 | 0.80 | 0.85 | 0.94 | 0.90 | 0.84 | 1.69 | 1.95 | 1.47 | 1.62 | 1.79 |
| 生残率(%) | 99.6 | 99.8 | 99.8 | 100 | 99.8 | 99.8 | 99.8 | 98.5 | 99.4 | 98.8 | 99.4 | 99.7 |
| 日間成長(g) | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 |
| 飼料効率(%) | 106 | 103 | 84 | 91 | 108 | 92 | 80 | 101 | 101 | 117 | 117 | 108 |

表 2. 両事業所で試験を行った施設の状況

| 管理環境 | 養魚池情報 | | | | | 飼育池情報 | | | | |
|-------|-------|-------|------|--------|----------|-------|-------|------|--------|----------|
| | 水温(℃) | 長さ(m) | 幅(m) | 水深(cm) | 流速(cm/秒) | 水温(℃) | 長さ(m) | 幅(m) | 水深(cm) | 流速(cm/秒) |
| 鶴居事業所 | 7.6 | 1.68 | 30.4 | 10.5 | 0.72 | 7.5 | 20.4 | 5.2 | 50 | 0.77 |
| 八雲事業所 | 7.1 | 28.8 | 1.65 | 12 | 0.45 | 6.6 | 30.0 | 3.0 | 50 | 0.67 |

表 3. 両事業所における各試験区の管理経過

| 試験実施結果 | | 鶴居事業所 | | 八雲事業所 | |
|--------------|------|-------|-------|-------|-------|
| | | 通常浮上区 | 早期浮上区 | 通常浮上区 | 早期浮上区 |
| 試験実施尾数(千尾) | | 1103 | 1104 | 1470 | 1307 |
| ふ化 (試験開始) | 月日 | 12/28 | 1/3 | 1/4 | 1/12 |
| | 積算温度 | 500.3 | 500.8 | 473.3 | 470.2 |
| 浮上 | 月日 | 2/22 | 2/17 | 3/16 | 3/6 |
| | 積算温度 | 936.6 | 851.2 | 973.4 | 843.0 |
| 給餌開始 | 月日 | 2/25 | 2/20 | 3/17 | 3/7 |
| 試験終了 | 月日 | 3/23 | 3/29 | 4/5 | 4/13 |
| 試験日数 | | 86 | 86 | 92 | 92 |

表 4. 両事業所における各試験区の試験終了時の海水適応能試験結果

| 実施事業所 | 試験区分 | 実施日 | | 水温 k | 供試尾数 | 斃死尾数 | 生残尾数 | 生残率 % | 供試魚 | | 塩分濃度 ‰ |
|-------|------|------|------|---------|------|------|------|----------|--------|-------|-----------|
| | | 開始日 | 終了日 | | | | | | 体長(cm) | 体重(g) | |
| 鶴居 | 対照区 | 3/25 | 3/27 | 7.5 | 100 | 0 | 100 | 100 | 4.3 | 0.57 | 33 |
| 鶴居 | 試験区 | 3/30 | 4/1 | 7.5 | 100 | 0 | 100 | 100 | 4.7 | 0.82 | 33 |
| 八雲 | 対照区 | 4/5 | 4/7 | 8.5 | 100 | 0 | 100 | 100 | 4.2 | 0.49 | 33 |
| 八雲 | 試験区 | 4/11 | 4/13 | 8.0 | 100 | 0 | 100 | 100 | 4.7 | 0.78 | 33 |

表 5. 各放流区分の放流結果

| 放流区分 | 耳石温度標識コード | 採卵年月日 | 放流年月日 | 放流数 (千尾) | 放流魚体重(g) | 海水適応能試験 |
|----------|-----------|---------|---------|-------------|----------|---------|
| 4/中事業所放流 | 2,2n,4nH | 22/11/7 | 23/4/20 | 1,398 | 0.83 | 100% |
| 4/下事業所放流 | 2,3n-2nH | 22/11/1 | 23/4/25 | 740 | 1.07 | 100% |
| 4/下捕獲場放流 | 2,3n-4nH | 22/11/1 | 23/4/25 | 739 | 1.12 | 100% |

小課題 2) 成長促進効果等を高めるための餌料・餌料添加物の開発と実証

a) ビタミン C 添加等による高温耐性向上効果の検証

執筆者：富山県農林水産総合技術センター 水産研究所 野村幸司

実施機関及び担当者

富山県農林水産総合技術センター 水産研究所：野村幸司、古川嵩恭

【目的】

近年、全国的にサケ漁獲量が低迷し、富山県でも同様の傾向である。サケ不漁の原因として、太平洋側では、稚魚期の海水温の急上昇が挙げられており、富山県沿岸においてもサケ稚魚降海期の海水温が上昇傾向である。このことから、適切な時期にサケ稚魚を放流するため、サケ稚魚の生息に適した水温を調査するとともに、生残率向上のため、ニジマスで効果の見られたビタミン C 等の給餌により（石川 2014、中村 2020）、高水温に耐えうる稚魚の生産を試みる。

【方法】

1. ビタミン C 給餌放流試験

黒部川の 2023 年 11 月 18 日採卵群からの種苗を用いて試験を実施した。試験には 300 千粒の発眼卵を用い、2 等分してそれぞれを試験区および対照区とした。発眼卵には耳石 ALC 標識を施標し、試験区は A1H、対照区は A2H とした。ALC 溶液は水酸化ナトリウムを加えて pH を中性に調整の上、浸漬濃度は 200ppm とし、A1H は 24 時間閉鎖循環を 1 回、A2H は 24 時間閉鎖循環を 2 回（積算水温約 50°C の間隔を空けて）実施した。

給餌にはサケ・マス稚魚用飼料を用い、試験区は飼料にビタミン C（L-アスコルビン酸：食品添加物）1%および油脂（食用なたね油）5%を添加、対照区には油脂 5%のみを添加した。

2. ビタミン C 給餌飼育試験

2022 年級のビタミン C 給餌試験に用いた試験区および対照区から各 1,000 尾を抽出し、富山水研において、屋外に設置した FRP 水槽（0.5t）に冷海水（5~10°C）をかけ流し、2023 年 3 月 22 日から 2024 年 3 月 6 日まで給餌放流試験同様の給餌を行った。飼育魚は、概ね月 1 回の頻度で魚体測定を行い、5~10 月の間に 6 回、昇温試験を行った。昇温試験では、冷海水飼育中のサケを 20°C 超の表層海水中に投入し、生残率の経時変化を記録した。

3. 採卵時期別飼育試験

黒部川の 2022 年 10 月 21 日および 24 日採卵群（早期群）ならびに 12 月 2 日および 6 日採卵群（後期群）から各 1,000 尾抽出し、富山水研において屋外に設置した FRP 水槽（0.5t）に表層海水（10~28°C）をかけ流し、早期群は 2023 年 2 月 13 日、後期群は同年 3 月 16 日からいずれの群も全てへい死するまで通常の給餌を行った。飼育魚は概ね月 1 回の頻度で魚体測定を行うとともに、生残率の経時変化を記録した。

4. 淡水および海水での通年飼育試験

黒部川の 2020 年 11 月採卵群の一部について、富山水研において屋外に設置したコンクリート水槽（2t）に淡水（淡水区：水温 10~20°C）および海水（海水区：水温 5~20°C）をかけ流し、通年通常の給餌を行った。飼育魚は概ね 1~2 ヶ月に 1 回の頻度で魚体測定を行った。

【結果及び考察】

1. ビタミン C 給餌放流試験

給餌は 2024 年 2 月 27 日から 3 月 20 日まで実施し、3 月 21 日に黒部川において、試験区および対照区各 150 千尾を輸送放流した。放流から 4 年後の耳石解析により回帰率を推定する予定である。

2. ビタミンC 給餌飼育試験

試験区及び対照区の魚体重は、2023年9月まではほぼ同じ値を示したが、同年10月以降は試験区が対照区を上回り、有意差が見られた(図1)。両区の成長速度は2021年級と比較して低かった。2021年級は飼育水温が10℃以上となるよう調整したが、2022年級は5~10℃の冷海水で通年飼育したため、水温差が成長に影響したと考えられる。2022年級の成長速度は富山水研において淡水飼育しているサクラマスに近い速度であった。

昇温試験では、7.1℃→15℃ではほとんどへい死はなかったが、9.0℃→22℃では両試験区とも急速にへい死が起こり、4時間以内に全てへい死した。全6回の試験では、試験区の生残率が僅かに良い傾向が見られる場合もあったが、ほとんど差は見られなかった(図2)。このことから、サケ0歳魚は13℃程度の温度差の急激な昇温には耐えることができるが、22℃を超えた場合はビタミンCの給餌に関わらずほとんど生き残ることができないことが示唆された。

3. 採卵時期別飼育試験

飼育した表層海水は11~25℃程度で経時的に昇温した。早期群は13℃を超えた頃から生残率が徐々に低下した。後期群の生残率は早期群よりも高く推移し、22℃を超えた頃から急激に低下した。いずれも概ね24℃付近(7月下旬)で全滅した(図3)。水温20℃程度までは、早期群は表層付近で勢いよく摂餌する様子が見られたが、後期群は中層付近で緩やかに摂餌する様子が見られた。

体重は、2023年3月13日の時点で早期群が1.6g、後期群が0.7gであった。早期群は同年5月を超えると増加が緩やかになったが、後期群は同年6月まで一定速度の増加が見られた。6月9日の時点で両試験区の体重がほぼ等しくなり(両区とも3.8g)、肥満度は早期群が7.5、後期群が8.1であった。6月30日時点では後期群(5.0g)が早期群

(4.1g)よりも有意に高い値となった(図4)。この時点の肥満度は早期群が7.6、後期群が7.5であった。早期群には尾鰭欠損個体が多く見られた。

4. 淡水および海水での通年飼育試験

2023年11月27日の時点で飼育開始から約1年8か月が経過し、この時点の平均体重は淡水区が199g、海水区が241gであった。2023年9月までは両区とも体重の増加が見られたが、これ以降淡水区の体重は横ばいとなった。飼育水温は淡水区が高めに推移し、夏場の最高水温は淡水区が20℃程度、海水区が15℃程度であった(図5)。

【引用文献】

石川孝典(2014) マス類飼料へのビタミンCの最適投与量. 養殖ビジネス, 2014(4), 52-54.

中村永介(2020) 養鱒現場での「ビタミンC」活用~魚の健康管理~. 富士養鱒場だより, 246, 1-3

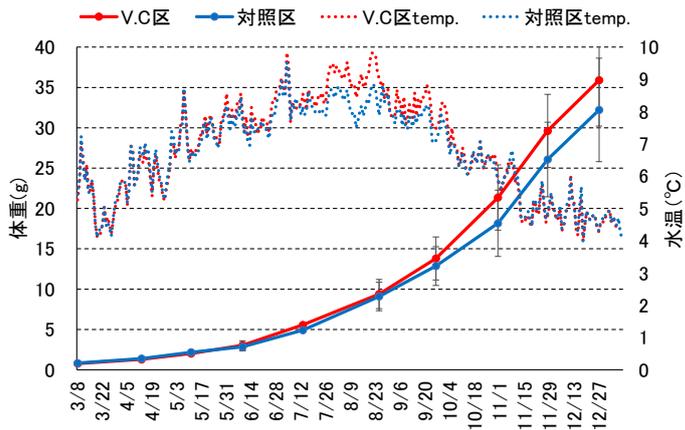


図1. V.C区と対照区の平均体重と飼育水温

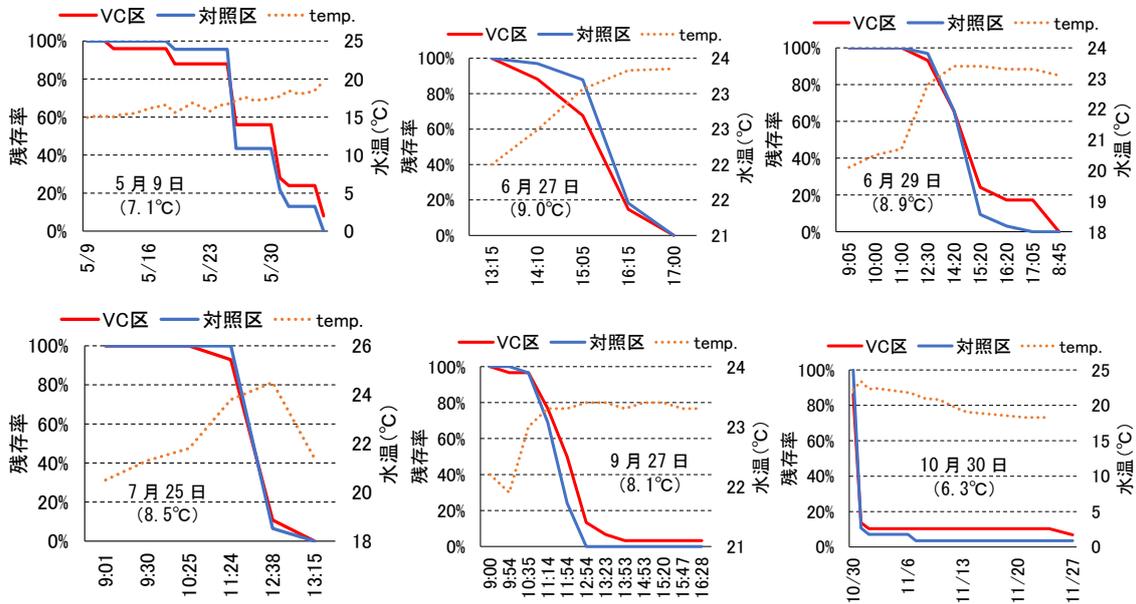


図2. 昇温試験結果 (カッコ内は飼育水温)

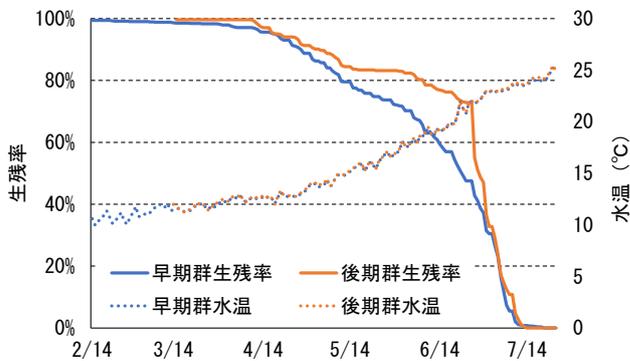


図3. 早期群及び後期群の生残率と飼育水温

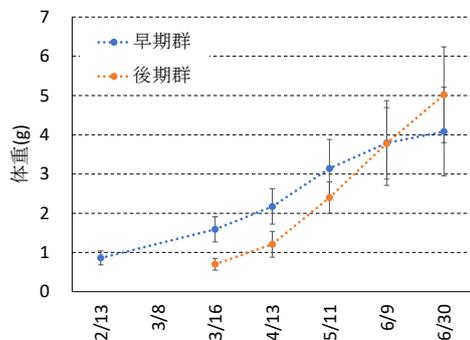


図4. 早期群及び後期群の体重変化

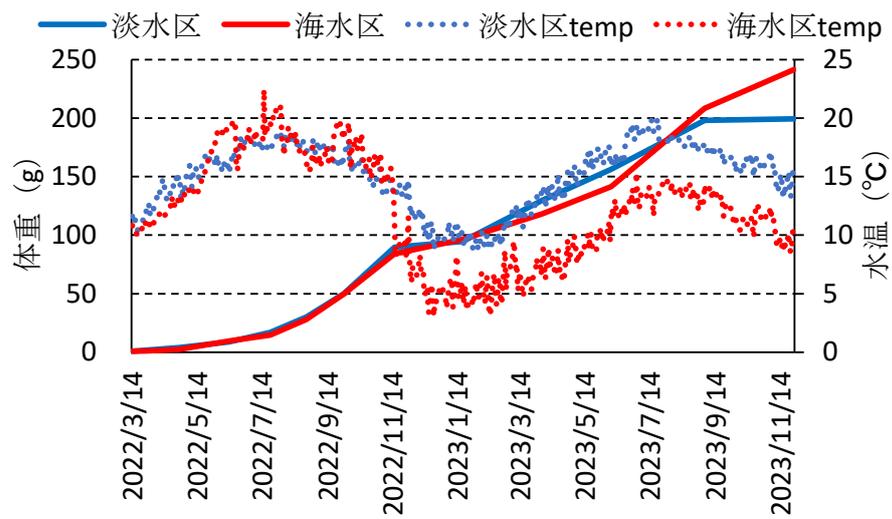


図5. 淡水区および海水区の体重変化と飼育水温

b) サケ稚魚の成長・代謝特性の解明と魚油添加の効果検証

執筆者：北海道立総合研究機構 さけます・内水面水産試験場 さけます資源部 虎尾充

実施機関及び担当者

北海道立総合研究機構 さけます・内水面水産試験場 さけます資源部： 虎尾充

【目的】

サケ稚魚にとって海洋生活初期は主要な減耗期の1つであり、体サイズや成長率が減耗に大きく関係していることが示唆されている。水温と摂餌は成長に関わる主要な要因であるが、水温がサケ稚魚の摂餌量、成長に与える影響の知見は少ない。本研究では、飼育実験によって①海水移行後のサケ稚魚の成長特性と、②その内的条件である代謝に与える水温と摂餌量の関係を明らかにし、サケ稚魚の成長にとっての適水温を検討する。また、③魚油添加飼料の給餌が海水移行後のサケ稚魚の成長率向上に寄与するかどうか検証する。本報告では、①海水移行後のサケ稚魚の成長特性について報告する。

【方法】

海水移行後の水温と摂餌量がサケ稚魚の成長に与える影響を調べる飼育試験を2023年2月22日～3月6日および3月13日～25日に北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場の屋内飼育施設において行った。試験に用いたサケ稚魚は、2022年9月12日に日本海さけ・ます増殖事業協会の協力で、北海道日本海側の千歳川由来の卵から得た。

冷却水循環装置で水温を8°Cに調整した3本の恒温水槽内に、人工海水を満たしたガラス水槽(45×30×32 cm)をそれぞれ3本設置した。ガラス水槽には外部濾過装置を備えた閉鎖循環系を構築した。体重約1.2 gまで育てた稚魚を麻酔して尾叉長と体重を測定し、回復後に20尾ずつ各ガラス水槽に収容した。収容したサケ稚魚を3日間の水温調整期間を含めて10日間、人工海水中で飼育した。1回目の試験では水温を段階的に調整し6°C、13°C、20°Cに調整した。2回目の試験では同様に水温を8°C、15°C、23°Cに調整し、合計6つの水温区を設定した。

馴致期間中を含めて、海水飼育開始後のサケ稚魚には冷凍アルテミアを与えた。それぞれの水温区で、飽食量を与える試験区、飽食量の1/2量を与える試験区、1/4量を与える試験区の3試験区を設定した。給餌は毎日9時と16時の1日2回とし、飽食区ではサケ稚魚の摂餌状況を見ながら摂餌しなくなるまで飽食量を与えた。給餌前後のアルテミア重量を測定し、その差をサケ稚魚の摂餌量とした。1/2量給餌区と1/4量給餌区にはそれぞれの水温区の飽食量の1/2と1/4の量のアルテミアを給餌した。

10日間の飼育後に稚魚の尾叉長と体重を測定し、それぞれの瞬間成長率(SGR)を、次の式で求めた。 $SGR_{FL\ or\ Wg} = (\ln X2 - \ln X1) / T \times 10$ X1: 試験開始時の稚魚の尾叉長ないし体重、X2: 試験終了時の稚魚の尾叉長ないし体重、T: 飼育期間(10日)

【結果及び考察】

SGR_{FL} (y) と水温 (x) の間には、飽食量、1/2量、1/4量の給餌条件でそれぞれ、 $y = -0.0034x^2 + 0.1124x - 0.1713$ 、 $y = -0.0022x^2 + 0.0639x - 0.0372$ 、 $y = -0.0006x^2 + 0.0166x + 0.047$ の関係式が得られた。これらの式から、飽食条件下で尾叉長の成長率が最も高くなる水温は16.5°Cと推定された。また、1/2量区では14.5°C、1/4量区では14°Cで最も成長率が高くなると推定された。

同様に、 SGR_{Wg} (y) と水温 (x) の間には、飽食量、1/2量、1/4量の給餌条件でそれぞれ、 $y = -0.0167x^2 + 0.5136x - 1.2079$ 、 $y = -0.0138x^2 + 0.3659x - 1.1374$ 、 $y = -0.0044x^2 + 0.0821x - 0.4721$ の関係式が得られた。体重のSGRでは、飽食量で15.5°C、1/2量で13.5°C、1/4量で9.5°Cで最も成長が高くなると推定されたが、飽食量の1/4量の給餌条件ではすべての水温でSGRがマイナスとなり、成長できていないことが明らかとなった。特に、高水温条件ではSGRの減少が大きいことが示唆された。

海水移行後のサケ稚魚の最適成長水温は 16℃とする既往の知見 (Torao 2022) と近い結果が得られ、さらに摂餌量が減少すると、最適成長水温は低い方にシフトする新たな知見が得られた。今後、最適な放流条件の探索には、水温とともに餌生物現存量の評価も必要と考えられる。

【引用文献】

Torao M. 2022, Effect of water temperature on the feed intake, growth, and feeding efficiency of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* after seawater transfer. *Aquaculture Science.*, 70: 97–106.

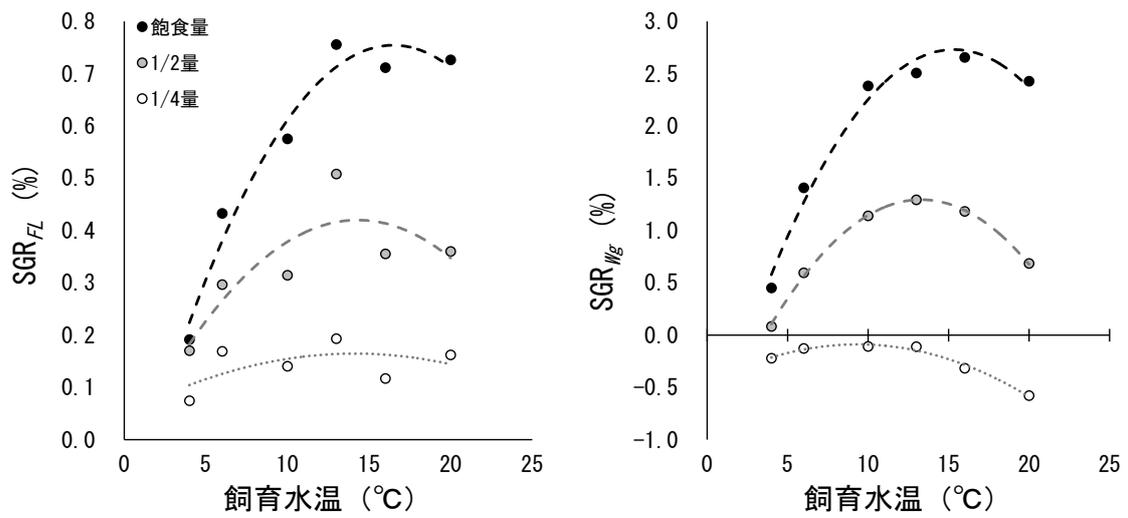


図 1. サケ稚魚の異なる水温と摂餌量における成長率。異なるアルテミア給餌量（飽食量、飽食量の 1/2 量、飽食量の 1/4 量）で 10 日間海水飼育したサケ稚魚の尾叉長の瞬間成長率（SGR_{FL}、左パネル）と体重の瞬間成長率（SGR_{Wg}、右パネル）。

小課題 3) 海中飼育技術の活用によるサケ種苗の大型化及び実証のための放流

a) 海中飼育によるサケ種苗の大型化にかかる管理技術の開発 1:北海道

執筆者：水産資源研究所 さけます部門 資源増殖部 日田和宏

実施機関及び担当者

十勝・釧路管内さけ・ます増殖事業協会：新出幸哉、二瓶健志、後藤隆史、

日本海さけ・ます増殖事業協会：安藤孝雄、安藤雅規、佐藤献二郎

水産研究・教育機構 水産資源研究所 さけます部門 資源増殖部

技術課：日田 和宏

根室事業所：羅津 三則

十勝事業所：加藤 毅

千歳事業所：楠茂 恵一

尻別事業所：濱谷 司

【目的】

えりも以東海区 (i) 及び北海道日本海区 (ii) において耳石標識サケ幼稚魚を海中飼育放流により大型化し、沿岸等における採集調査により追跡して、その後の成長、回遊などを従来サイズの海中飼育群と比較する。

【方法】

(令和 5 年級分)

- i. 令和 5 年級について、厚内漁港に設置した生簀で 1 ヶ月程度海中飼育を行い同時期に異なるサイズで放流し沿岸域において追跡するため、札内ふ化場にて大型放流群 (2.0 g 以上) 1,140 千粒、通常放流群 (2.0 g 以下) 1,140 千粒の発眼卵に耳石温度標識を施標する。大型放流群は札内ふ化場で仔稚魚管理し、放流尾数 1,000 千尾の生産を行う。通常放流群は更別第 1 ふ化場で仔稚魚管理し、放流尾数 1,000 千尾の生産を行う。
- ii. 令和 5 年級について、古平漁港に設置した生簀で大型化した稚魚と古平ふ化場で生産された稚魚を同時期に放流し沿岸域において追跡するため、古平漁港の海中飼育放流群 1,700 千粒と古平川からの自然放流群 1,700 千粒の発眼卵に京極ふ化場にて耳石温度標識を施標する。仔稚魚管理は古平ふ化場で行い、各放流尾数 1,500 千尾の生産を行う。(なお、同様の試験を令和 4 年級についても実施している。詳細については以下を参照)

【結果及び考察】

○令和 5 年級耳石温度標識状況と放流について

- i. 十勝川で捕獲したサケ親魚から令和 5 年 10 月 12 日に 1,207 千粒、令和 5 年 10 月 23 日に 1,150 千粒を採卵・受精し、札内ふ化場に収容した。10 月 12 日採卵群は「海中飼育通常群」として 2,1,5H の耳石標識コードを、また 10 月 23 日採卵群は「海中飼育大型群」として 2,1-4H の耳石標識コードを幕別ふ化場にて施標した。耳石温度標識装置の水温変化観測結果のグラフを図 1 に示す。

「海中飼育通常群」は更別第 1 ふ化場にて仔稚魚管理を行い、4 月上旬に厚別漁港へ設置する生け簀へ移送後、二次飼育移行管理し、5 月上旬に放流予定である。また「海中飼育大型群」は札内ふ化場にて仔稚魚管理を行い、4 月上旬に同じく厚内漁港へ設置する海中生け簀へ移送・二次飼育移行管理のち、5 月上旬に海中飼育通常群と同日に放流予定である。

- ii. 余市川で捕獲したサケ親魚から令和 5 年 10 月 12 日に 1,659 千粒、令和 5 年 10 月 25 日に 1,700 千粒を採卵、受精し、京極ふ化場に収容した。10 月 12 日採卵群は「海中飼育群」として 2,2,1,4H、10 月 25 日採卵群は古平ふ化場からの「自然放流群」として 2-3,2H

の耳石標識コードを京極ふ化場にて施標した。耳石温度標識装置の水温変化観測結果のグラフを図2に示す。

施標後は両試験群とも古平ふ化場にて仔稚魚管理を行い、「海中飼育群」は3月上旬に古平漁港へ設置する海中生け簀へ移送し、二次飼育管理へ移行した後、古平ふ化場から放流される「自然放流群」とともに3月下旬に放流予定となっている。

参考として、厚内漁港における海中飼育放流試験実施（予定）位置を図3に、古平漁港における海中飼育放流試験実施（予定）位置を図4に、また調査場所ごとの耳石温度標識卵歴や放流予定数・放流予定時期を表1に示す。

○令和4年級耳石温度標識魚の放流について

i. 十勝川で捕獲したサケ親魚から令和4年10月11日に1,140千粒、令和4年10月22日に1,140千粒を採卵、受精し、札内ふ化場に収容した。

10月11日採卵群は海中飼育通常群として2,1,5Hを施標し、10月22日採卵群は海中飼育大型群として2,1,4Hの耳石標識コードを札内ふ化場にて施標した。

「海中飼育通常群」は、更別第1ふ化場にて仔・稚魚管理を行い、令和5年4月12日に平均魚体重1.2gで厚内漁港に設置した海中生け簀へ移送、対照となる「海中飼育大型群」は、札内ふ化場にて仔・稚魚管理を行い、令和5年4月11日に平均魚体重1.6gで、同じく厚内漁港に別設置した海中生け簀へ移送し、二次飼育管理へ移行した。

両試験群は令和5年5月1日に放流を実施した。その際「海中飼育通常放流群」は、平均魚体重1.64g、1,040千尾を放流、「海中飼育大型放流群」は、平均魚体重2.09g、1,060千尾を放流して試験を終了した。

ii. 余市川で捕獲したサケ親魚から令和4年10月12日に1,700千粒、令和4年10月27日に1,758千粒を採卵、受精し、京極ふ化場に収容した。

10月12日採卵群は「海中飼育群」として2,2,1,4Hを施標し、また10月27日採卵群は古平ふ化場からの「自然放流群」として2-3,2Hの耳石標識コードを京極ふ化場にて施標後、両試験群とも古平ふ化場にて仔・稚魚管理を実施した。

その後、海中飼育群は令和5年3月14日に平均魚体重0.97gで古平ふ化場から古平漁港に設置した海中生け簀へ移送し二次飼育管理へ移行、令和5年4月4日に平均魚体重1.62g、1,542千尾を放流した。一方、自然放流群は、令和5年2月24日に古平ふ化場にて平均魚体重0.38gにて飼育管理を開始した後、同じく令和5年4月4日に平均魚体重1.15g、1,598千尾を放流し、試験を終了した。

令和4年級における試験i及びiiにおける耳石温度標識放流魚の卵歴や放流数、サイズ等の結果を表2に示す。また両試験における海中飼育生け簀の水温変化ならびにと海中飼育個体の体重推移を図5に、試験iiの自然放流群における飼育開始から放流までの平均魚体重の推移を図6にそれぞれ示す。

放流サイズの結果から、目的の海中飼育による大型化を図ることができた。これらの個体が令和5年度の春季沿岸域幼稚魚調査で採捕されていた際には、更に経路や成長度合等の把握に関しての情報が得られることが期待される。

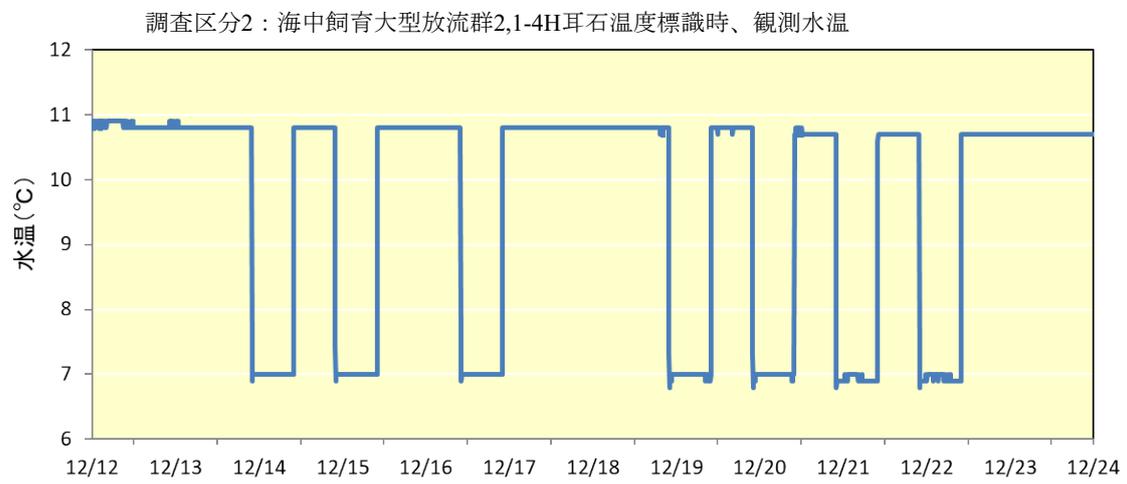
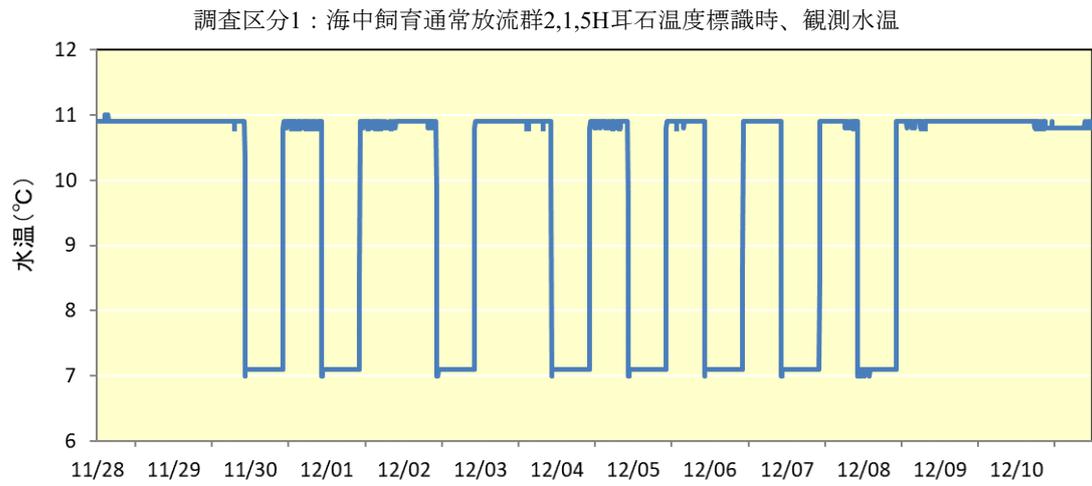


図1. 令和5年級に対する耳石温度標識施標時の水温変化 (i:幕別ふ化場施標分)
 試験区分1：海中飼育通常放流群、試験区分2：海中飼育大型放流群

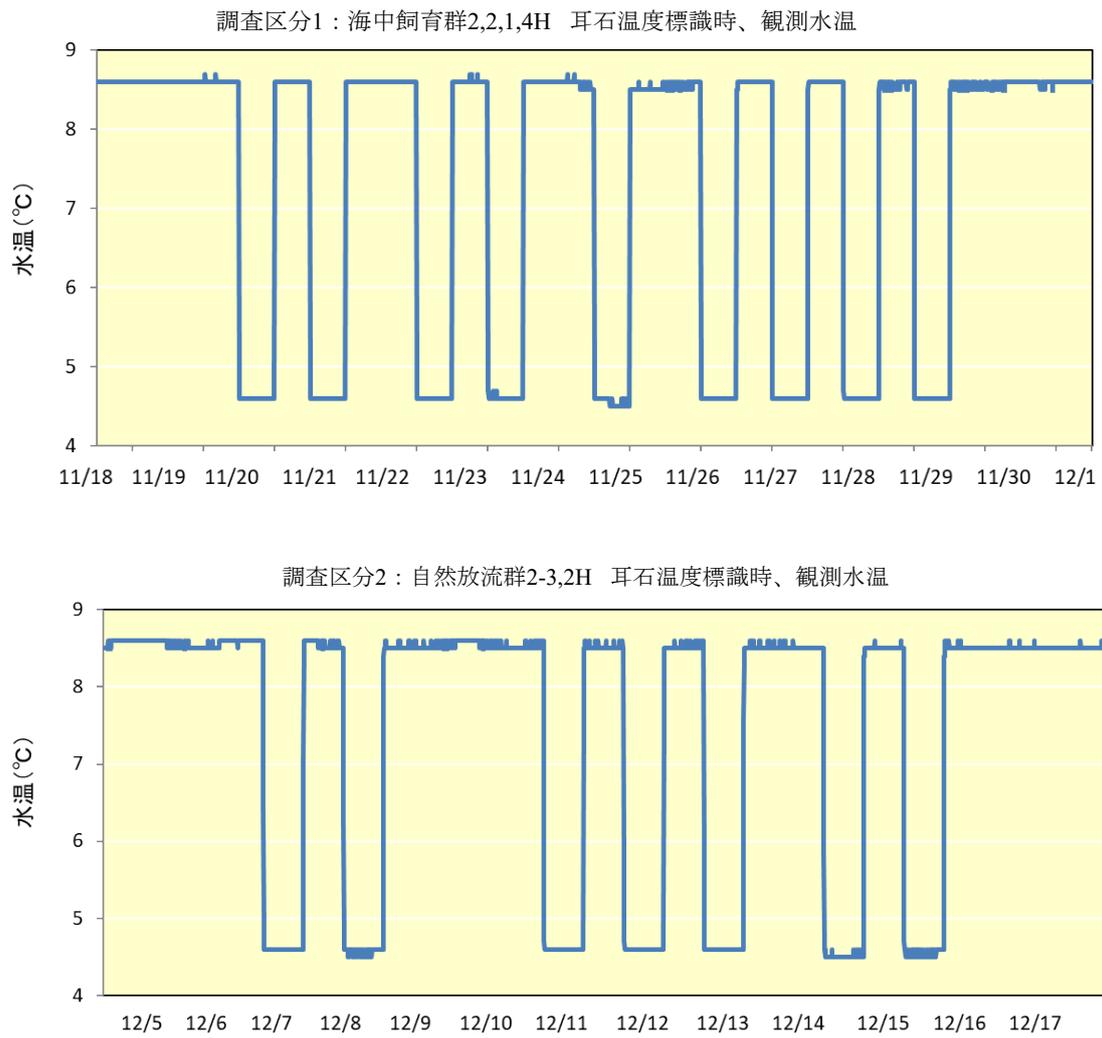


図2. 令和5年級に対する耳石温度標識施標時の水温変化 (ii: 京極ふ化場施標分)
 試験区分1：海中飼育群、試験区分2：自然放流群



図3. 厚内漁港海中飼育放流試験の実施(予定)位置 (N42.80607,E143.81915)



図 4. 古平漁港海中飼育放流試験の実施（予定）位置（N43.27522,E140.63784）

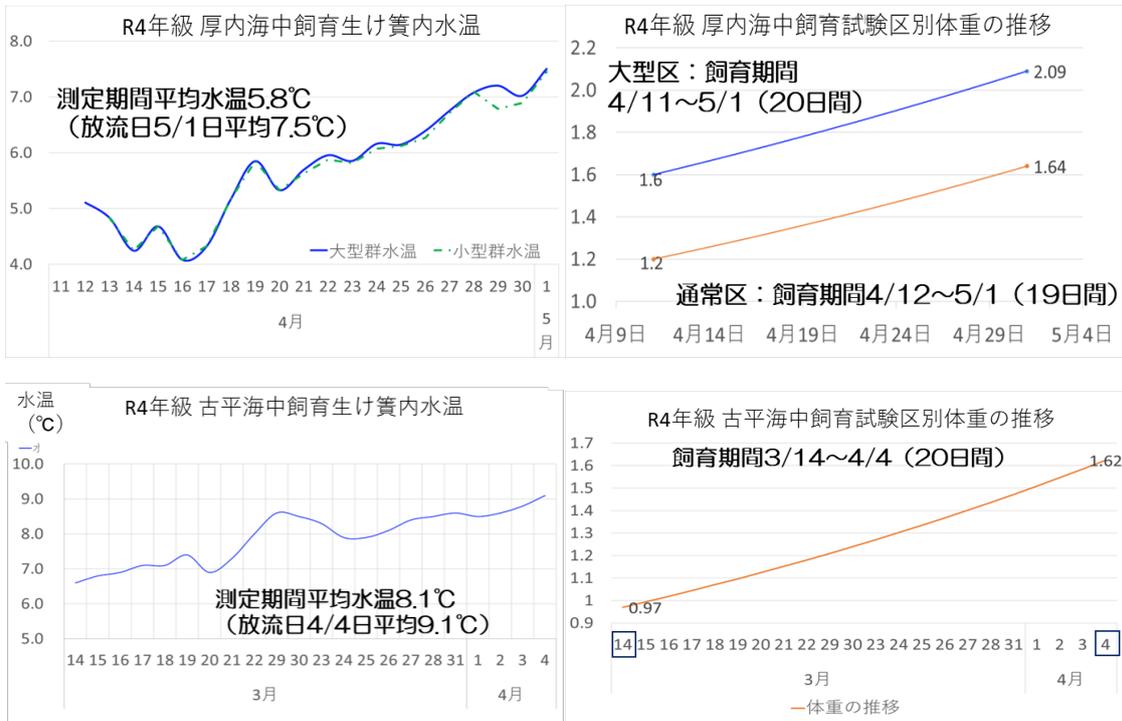


図 5. 令和 4 年級の海中飼育管理時の生け簀内水温と体重の推移

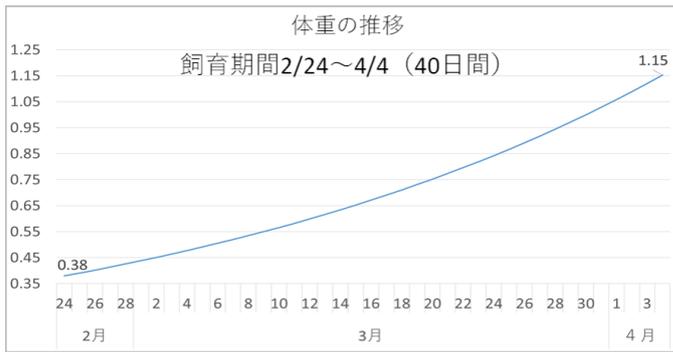


図 6. 令和 4 年級 古平ふ化場管理で飼育した自然放流群魚体重の推移

表 1. 令和 5 年級 海中飼育によるサケ種苗の大型化にかかる管理技術の開発 実績と計画

| 標識 施設 | 放流 場所 | 生産 ふ化場 | 標識区分 | 採卵月日 | 標識 発眼卵数 | 耳石温度 標識コード | 放流 尾数 | 放流 月日 |
|-----------|-------------|------------|----------------|----------------------|----------------|--------------------|----------------|-------------|
| 幕別 ふ化場 | 厚内 漁港 | 札内 更別第1 | 大型放流群 通常放流群 | R5.10.23 R5.10.12 | 1,150 1,207 | 2,1-4H 2,1,5H | 1,000 1,000 | R6. 5月上旬 |
| 総計 | | | | | 2,357 | | 2,000 | |
| 京極 ふ化場 | 古平漁港 古平川 | 古平 | 海中飼育群 自然放流群 | R5.10.12 R5.10.25 | 1,659 1,700 | 2,2,1,4H 2-3,2H | 1,500 1,500 | R6. 3月下旬 |
| 総計 | | | | | 3,359 | | 3,000 | |

※放流尾数、放流月日は計画に基づき標記。

表 2. 令和 4 年級 海中飼育によるサケ種苗の大型化にかかる管理技術の開発 放流結果

| 標識 施設 | 放流 場所 | 生産 ふ化場 | 標識区分 | 採卵月日 | 標識 発眼卵数 | 耳石温度 標識コード | 放流尾数 | 放流月日 | 放流サイズ | |
|-----------|-------------|------------|----------------|----------------------|----------------|--------------------|----------------|--------|--------|--------|
| | | | | | | | | | FL(cm) | BW (g) |
| 札内 ふ化場 | 厚内 漁港 | 札内 更別第1 | 大型放流群 通常放流群 | R4.10.22 R4.10.11 | 1,077 1,062 | 2,1-4H 2,1,5H | 1,060 1,040 | R5.5.1 | 6.3 | 2.09 |
| 総計 | | | | | 2,139 | | 2,100 | | 5.8 | 1.64 |
| 京極 ふ化場 | 古平漁港 古平川 | 古平 | 海中飼育群 自然放流群 | R4.10.12 R4.10.27 | 1,599 1,641 | 2,2,1,4H 2-3,2H | 1,542 1,598 | R5.4.4 | 5.3 | 1.62 |
| 総計 | | | | | 3,240 | | 3,140 | | 4.8 | 1.15 |

b) 海中飼育によるサケ種苗の大型化にかかる管理技術の開発 2: 本州太平洋

執筆者：岩手県水産技術センター 太田倫太郎

実施機関及び担当者

岩手県水産技術センター：清水勇一、岡部聖、太田倫太郎

北海道大学大学院水産科学研究院：向井 徹、長谷川浩平、閻 乃筭

北里大学：笠井宏朗、清水恵子

水産研究・教育機構 水産技術研究所 水産工学部：澤田浩一、福田美亮、鈴木健吾、山本晋玄、松裏知彦

【目的】

海中飼育を活用した種苗の大型化に資するための技術を開発する。

【方法】

岩手県下閉伊郡山田町の山田湾を試験実施海域とした。海中飼育施設は、織笠川河口から 300 m の位置にあるタテ 10 m×ヨコ 10 m の生簀 2 基を使用した。サケ稚魚は 1.0 g に到達した時点で海中生簀内へと移送し、成長により大型化する過程で大目合への切り替えを行う大目網群と、目合を変えずに飼育する通常群の 2 群を設定し、個別の耳石温度標識を施標した。大目網群の生簀網は 2 段構造とし、側面 4 面において通常網（網目 26 節）と大目網（網目 16 節）を連結した。稚魚投入時は通常網（4 m）とし、体重が 2 g に到達した時点で生簀枠に結わえておいた大目網部分（2 m）を海中に落網した。また、給餌は、給餌率表に基づき手撒き及び自動給餌機で行い、大目網生簀には AI 自動給餌機（餌ロボ、パシフィックソフトウェア株式会社製）を設置して魚の行動に合わせた給餌を試みた。海中飼育は、各試験群 40 万尾とし、令和 5 年 2 月 3 日から同年 4 月 11 日まで実施し、2 月 27 日に大目網部分を落網、3 月 23 日に大目網生簀に AI 自動給餌機を設置した。試験中は、1 週間毎に 50 尾をサンプリングし、尾叉長、体重を測定した。成長率（%）は、 $(\ln(Wt+a) - \ln(Wt)) \div a \times 100$ として算出した。ここで Wt が a 日の平均体重、 $Wt+a$ が t 日から a 日後の平均体重である。また、 $(a-1)-a$ と同様の方法で、海中生簀収容前（2 月 2 日）および放流前（4 月 7 日）に瞬間遊泳力（ $N=20$ ）と持続遊泳力（ $N=5$ ）を測定した。さらに、1 週間毎に稚魚 20 尾を海中生簀から採集し、北里大学の海水飼育施設で一晩絶食させた後、魚体を凍結保存した。適宜、魚体を解凍した後、頭部、胴体、肝臓、消化管に分け、 $(a-1)-a$ と同様の方法で、各部位のトリグリセリド（TG）量を測定した。大目網からのサケ稚魚の逃避については、音響プロファイラー（AZFP、周波数 125、200、455、769 kHz）と光学カメラをステレオカメラにして観測した。音響プロファイラーは、送受波器を 45°傾けて探知体積を広げ、密度解析は、125 kHz の 1 分毎の体積散乱強度を魚群が安定している午後 7 時から午前 3 時の間のデータについて行った。サケ稚魚の平均ターゲットストレングス（TS）は、定期的な体長（FL）計測で得られた関係式（ $TS=20\log FL-69.2$ ）に代入して求め、体積散乱強度を TS で除することで密度を推定し、その変化から逃避尾数を推定した。さらに、逃避個体のサイズを推定するため、放流直前の 4 月 11 日にサンプリングした稚魚各群 20 尾について既往の方法により耳石日周輪解析を行い、大目網切替時（2 月 27 日）の尾叉長を推定し、実際に採捕した稚魚の尾叉長組成と比較した。

【結果及び考察】

尾叉長、体重は、海水移行時点から通常群より大目網群が大きかった（図 1）。成長率は、期間を①生簀移送後から網目切替まで、②網目切替後から AI 自動給餌機設置まで、③ AI 自動給餌機設置後から放流までの 3 期間に分けて大目網群と通常群を比較すると、期間②において大目網群の成長率が通常群を上回った（図 2）。

遊泳力は、生簀移送前は両群の遊泳力に差はないものの、放流直前の時点では、大目網群の持続遊泳力が通常群に比べて有意に高まった（図 3）。TG 含有率は、両群ともに同様の傾向

を示し、頭部と胴体では含有率が緩やかに上昇した一方で、消化管では、海水移行後1ヶ月程度低下し、その後回復する傾向があった(図4)。肝臓を除き、大目網群の方が通常群と比較してTG含有率が高い傾向にあった。また、消化管のTG含有率は他の部位に比べて高く、変動も大きかった。

大目網群の密度について、大目網切替後の密度は切替前の49%となった(図5)。また、網目切替後には、前年度と同様に、魚群の日周的な深淺移動が観測された。生簀が深くなったことで、体積が切替前の175%に大きくなっており、生簀中の尾数が変わっていなければ、密度は切替前の57%に留まる。網目切替後の密度差である8%の稚魚が大目網から逃避していたと考えられる。逃避尾数としては約3.2万尾に相当し、前年度の約18万尾と比較して少ない。逃避したサイズについて、切替直後の光学カメラ観察ではとらえることができなかった。最後まで残った4月11日の稚魚の耳石日輪紋から推定した2月27日の尾叉長は、通常群では実測値の頻度分布と概ね一致しているのに対し、大目網群では70mm以上の割合が極端に低かった(図6)。大目網による成長促進効果は、小型魚の逃避による見かけ上のものでは無いことが推察された。

以上より、大目網にすることで成長の促進、消化管へのTGの蓄積及び遊泳力の増加がみられることが明らかになった。その具体的な要因は特定できていないが、消化管のTG含有率に個体差が大きいことなど、生簀容積が増えたことによる給餌効率の低下や、逃避により密度が低下したことによる給餌率の上昇が考えられたことから、給餌方法に改善の余地がある。令和4年度のAI自動給餌機がとらえた稚魚の遊泳水深と活性時間に、時間的な偏りが見られたことから、給餌する時間帯とその量を検討することで、より種苗性の向上が図られる可能性がある。

令和5年度試験では、AI自動給餌機を大目網群と通常群の両方に設置する見込みであり、給餌時の稚魚の移動動態のモニタリングの強化やAI機能の活用による給餌量の調整を行い、海水生簀移行後の稚魚のTG含有率低下を緩和し、効率的かつ確実に海中飼育を行う方法を検討していきたい。

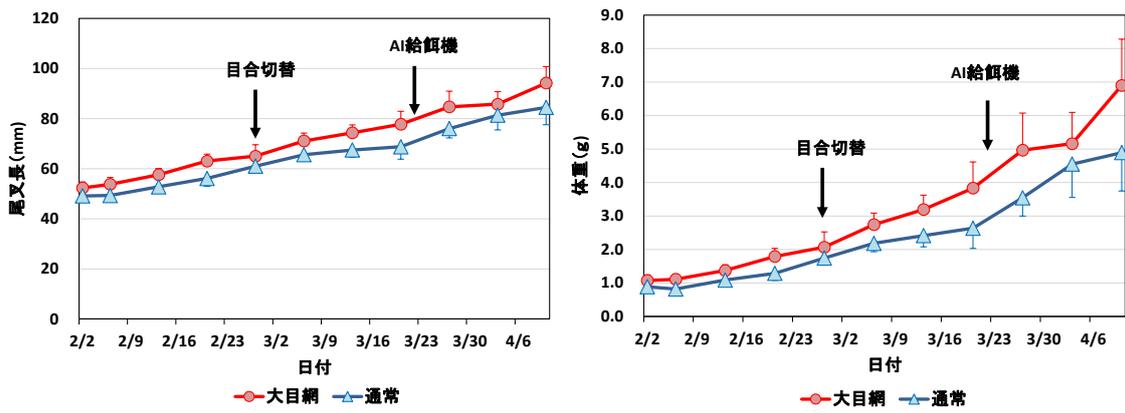


図1. サケ稚魚の尾叉長、体重の推移

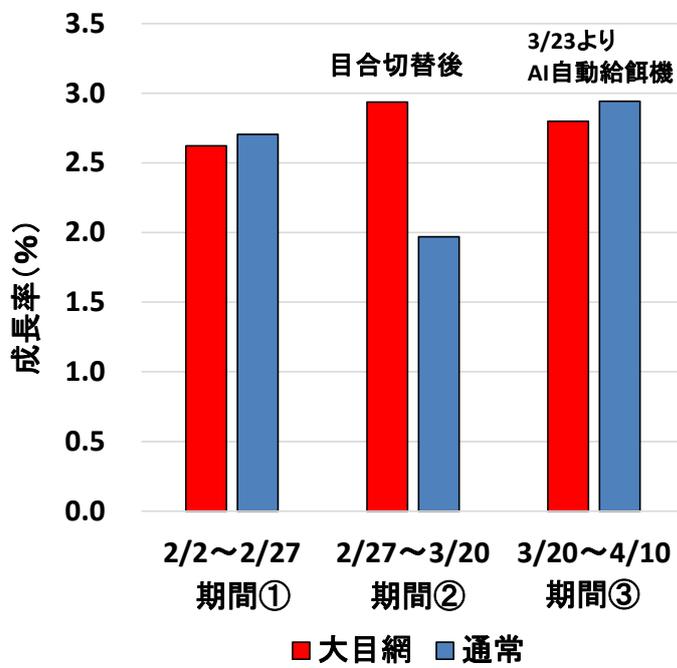


図2. 大目網群、通常群の成長率比較

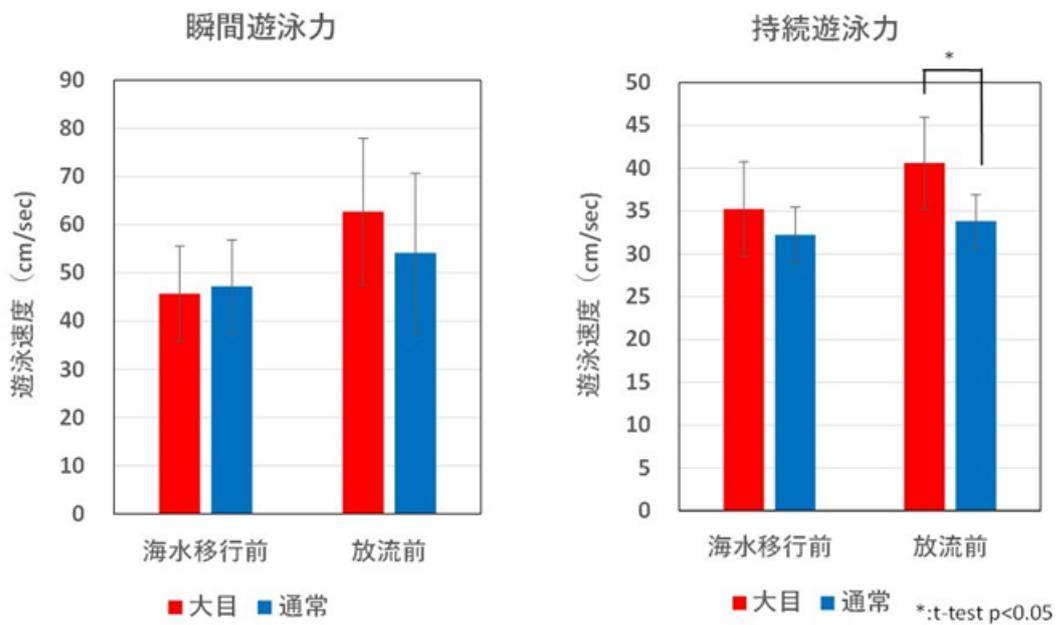


図3. 海水移行前と放流前の瞬間・持続遊泳力比較

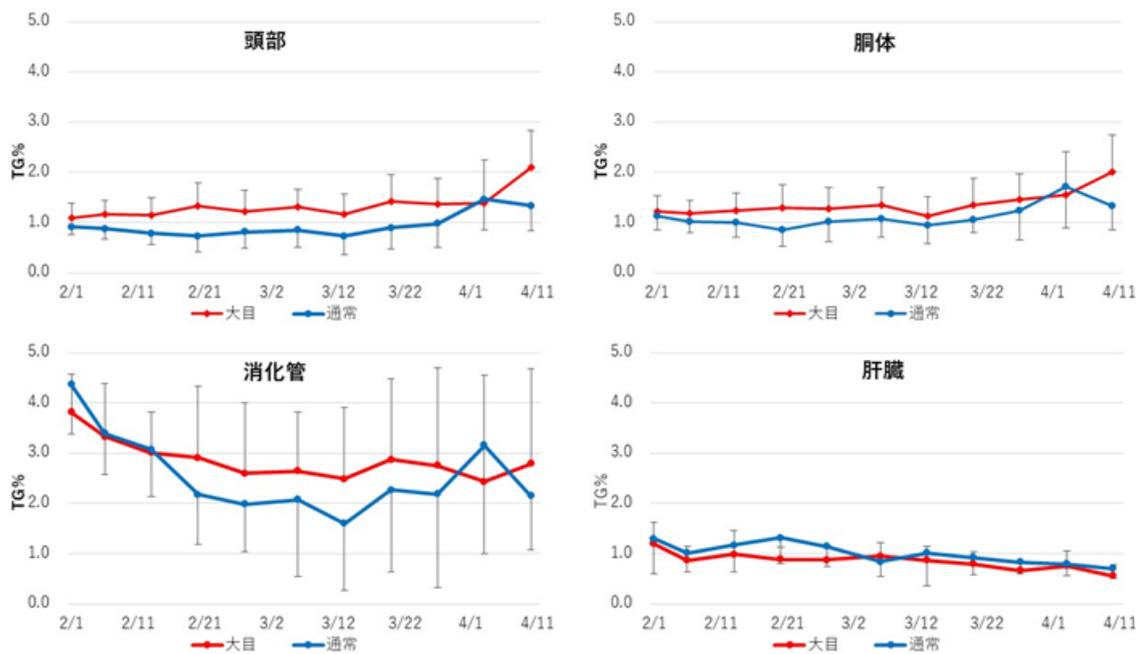


図4. 各部位のトリグリセリド含有率の推移

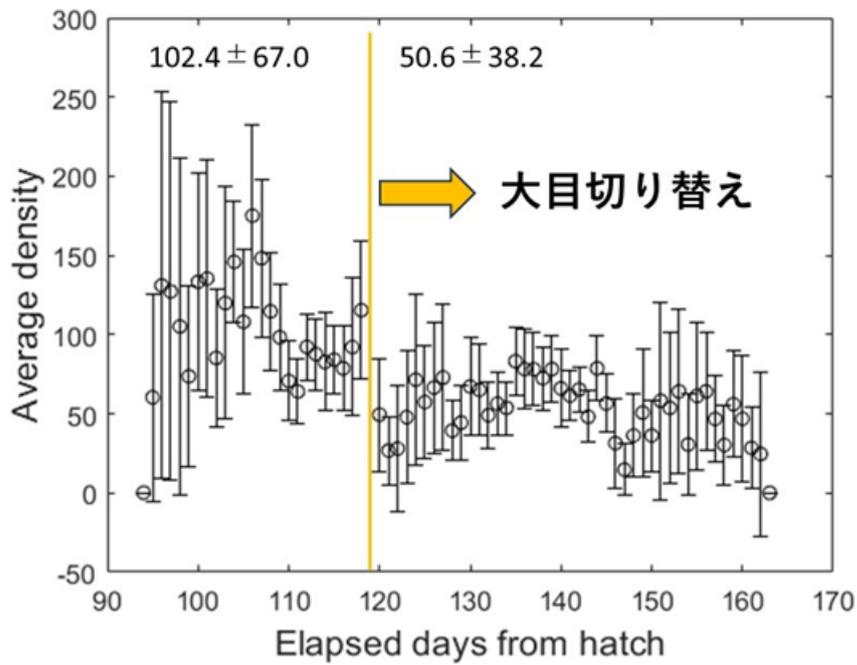


図 5. 大目網生簀内の平均魚群密度の変化

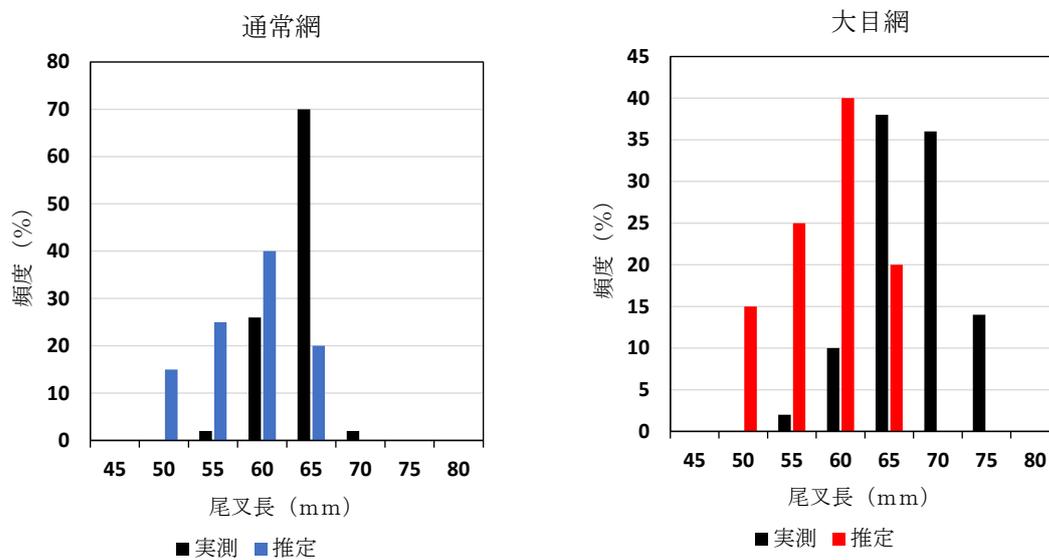


図 6. 耳石日周輪推定による 2 月 27 日時点の尾叉長と実測尾叉長の比較

小課題 4) 放流手法の開発ならびに適正化の効果検証

a) 油脂添加餌料による回帰率向上効果の検証

執筆者：北海道立総合研究機構 さけます・内水面水産試験場 大森始

実施機関及び担当者

北海道立総合研究機構 さけます・内水面水産試験場 さけます資源部：下田和孝、大森始
虎尾充、小亀友也

同

道東センター： 實吉隼人

渡島管内さけ・ます増殖事業協会： 柳元孝二、鈴木慎、中村昌睦

【目的】

北海道におけるサケ来遊数は近年減少傾向にある。来遊数の変動には放流されたサケ稚魚の生残率が大きな影響を与えていると考えられている。放流後のサケ稚魚の生残率を高め、その後の回帰率を向上させるためには、サケ稚魚の種苗性を高めることが重要と考えられる。本試験では油脂添加した餌料をサケ稚魚に与え、栄養状態や遊泳力などの種苗性が向上するかどうか検討した。

【方法】

えりも以西道南地区の知内川において 2022 年に回帰した親魚から採卵、受精させた卵のうち 11 月 11 日の採卵群を対照群、11 月 14 日の採卵群を油脂添加群（以下、油脂群）として発眼卵期に耳石温度標識を施して 2 群に区別した。ハッチコードは対照群を 2,3-2H、油脂群を 2-2,3H とした。知内ふ化場において対照群は 2023 年 3 月 4 日、油脂群は 3 月 8 日から飼育し、油脂群には配合餌料に魚油を主体とするフィードオイルを給餌量の 3% 添加して飼育した。飼育中は飼育池面積や注水量などの飼育条件が同一となるよう努めた。放流前に種苗性の指標と考えられる項目を測定した後、両群ともに 4 月 10 日に放流した。（表 1）

栄養状態は各群 30 尾を冷凍し、体長と体重を測定した後、肝臓中のグリコーゲン含量と筋肉中のトリグリセリド含量を市販の測定キットを用いて測定した。分析に使用した肝臓と筋肉の重量でそれぞれの含量を除いて組織重量当たりの含量を求めた。

遊泳力は大熊ら（1998）に従い、スタミナトンネルを用いて各群 20 尾の瞬発遊泳速度を測定した後、体長と体重を測定した。

血液性状は高濃度海水への浸漬による負荷を与えた後の血中グルコース量を種苗性の指標とした。淡水、人工海水を用いて作成した 33 psu と 42 psu の海水、各 20L の計 3 区に各群 30 尾を投入した。24 時間後に生残した稚魚から 10 尾について体重を測定した後、尾柄部を切断して血液を採取し、簡易血糖測定器により血中グルコース量を測定した。

また、飢餓耐性への効果を調べるため、4 月 12 日にサケ稚魚をさけます・内水面水産試験場（恵庭市）に輸送した。屋内に設置した 60L 水槽に各群 110 尾ずつ収容し、給餌をせずに淡水のかけ流しで飼育を行い、斃死魚を計数した。

【結果及び考察】

栄養状態の指標と考えられる肝臓中グリコーゲン含量の平均値と標準偏差は対照群が $0.09 \pm 0.08\%$ 、油脂群が $0.09 \pm 0.10\%$ と有意な差は見られなかった。筋肉中トリグリセリド含量の平均値と標準偏差は対照群が $1.27 \pm 0.26\%$ 、油脂群が $1.70 \pm 0.26\%$ と油脂群の方が有意に高い値を示した（t 検定、 $p < 0.05$ ）（図 1）。分析に使用したサケ稚魚は餌止めから 2 日経過したサンプルだったため、肝臓中のグリコーゲンは速やかに分解され差が生じなかったと考えられた。

遊泳力は瞬発遊泳速度の尾叉長比で示した。平均値と標準偏差は対照群が 8.3 ± 2.0

FL/s、油脂群が 9.1 ± 2.0 FL/s となり、有意な差は見られなかった (図 2)。

血液性状について生残した稚魚の平均血中グルコース量を測定した。平均値と標準偏差は対照群が淡水区 82.0 ± 14.9 mg/dL、33 psu 区 70.9 ± 13.7 mg/dL、42 psu 区 73.6 ± 14.1 mg/dL、油脂群では順に 74.8 ± 14.1 mg/dL、 71.4 ± 7.7 mg/dL、 71.2 ± 10.7 mg/dL を示し、有意な差はみられなかった (図 3)。なお、どの区においても 24 時間後の斃死はなかった。

飢餓耐性の試験では、対照群は最初の斃死が確認されたのは試験開始から 14 日目であったのに対し、油脂群は 8 日目であった。また、試験開始から半数斃死に至ったのは対照群は 33 日目、油脂群 30 日目と油脂群の方が短かった (図 4)。

これまでに 2018～2020 年級のサケ稚魚にはハーブオイル、2021、2022 年級のサケ稚魚にはフィードオイルを添加した餌料を与え種苗性が向上するかどうか検討してきた。どの年級においても筋肉中トリグリセリド含量については対照群より油脂群の方が高く、栄養状態の向上のためには油脂添加の効果があると考えられた。今後は河川回帰するサケ親魚の耳石回収結果を加味しながら回帰率向上効果の検証を行う必要がある。

2023 年級については知内川単独での種卵確保はできなかったが、他河川からの移殖を受け 2024 年春に油脂添加餌料の給餌試験を行い、放流前の種苗性について調査を行う。

【引用文献】

大熊一正ほか (1998) スタミナトンネルを用いて測定したサケ稚魚の突進速度. さけ・ます資源管理センター研究報告, 1, 45 - 48.

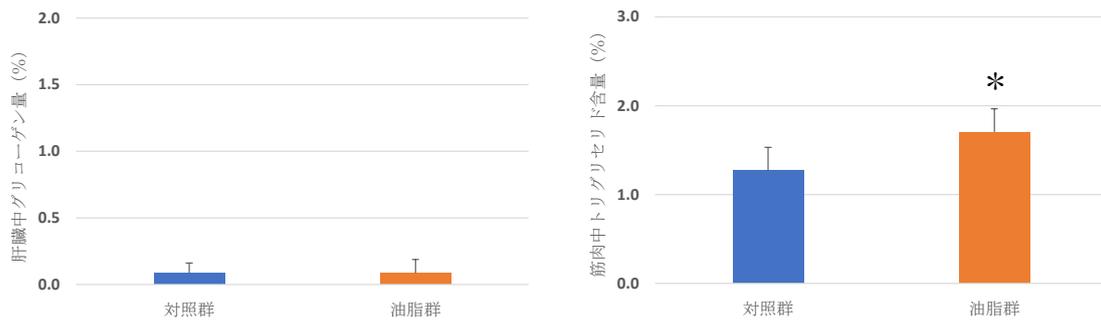


図 1. 放流前のサケ稚魚の栄養状態 (エラーバーは標準偏差)

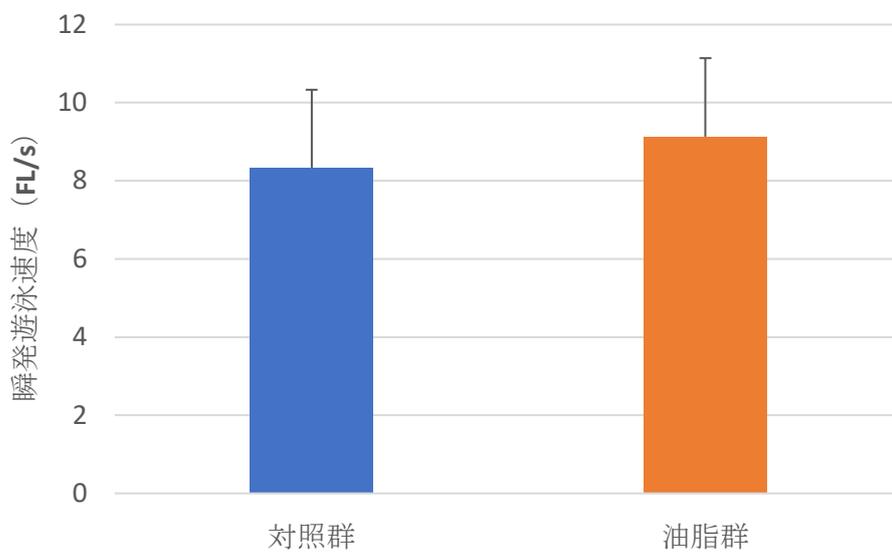


図 2. 体長当たりの瞬発遊泳速度 (エラーバーは標準偏差)

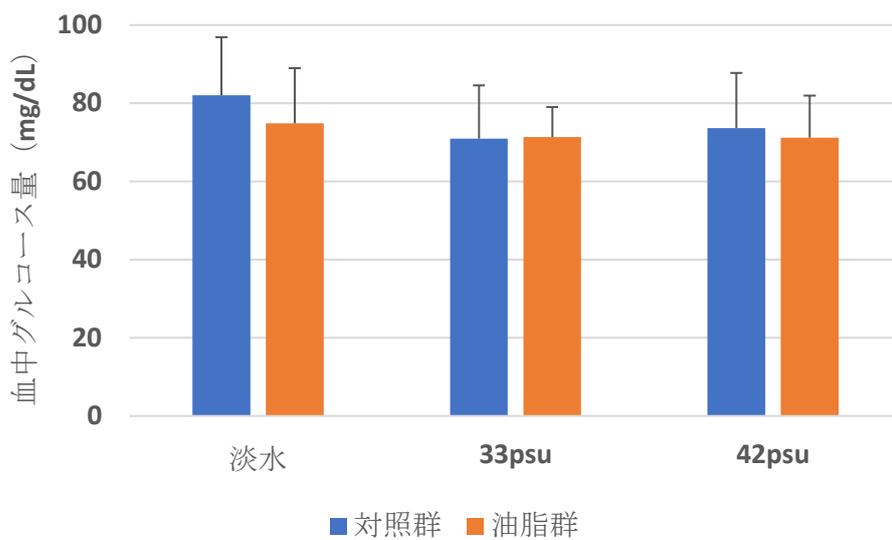


図 3. 高濃度海水試験後の血中グルコース量 (エラーバーは標準偏差)

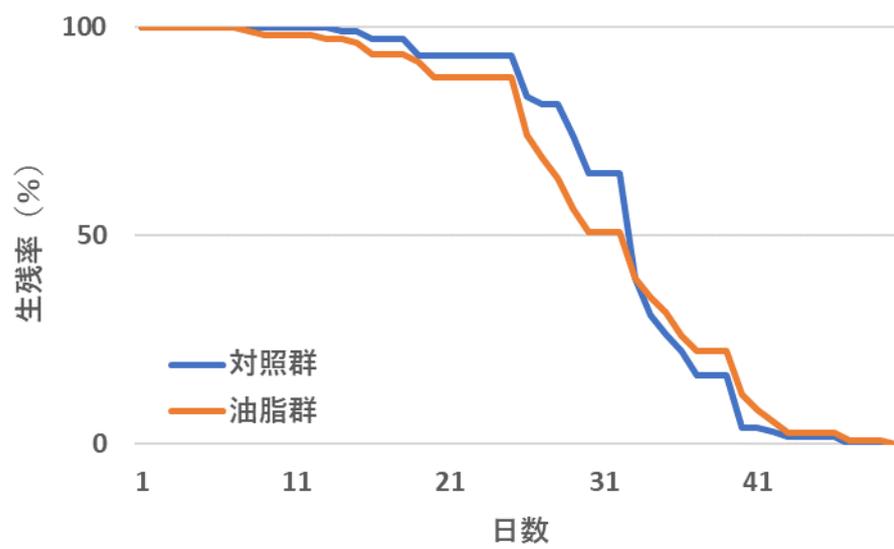


図4. 飢餓耐性試験におけるサケ稚魚の生残率

表 1 知内ふ化場におけるサケ稚魚の飼育概況

| 試験群 | 採卵月日 | 飼育開始 | 試験終了 | 添加開始 | 添加期間 (日) | サイズ (FL・BW) | 尾数 (千尾) | 耳石標識 |
|-----|--------|------|-------|------|-------------|----------------|------------|--------|
| 対照群 | 11月11日 | 3月4日 | 4月10日 | - | - | 5.6cm 1.41g | 1,447 | 2,3-2H |
| 油脂群 | 11月14日 | 3月8日 | 4月10日 | 3月8日 | 33 | 5.6cm 1.34g | 1,410 | 2-2,3H |

b) 北海道根室地区における最適な放流時期の検証

執筆者：北海道立総合研究機構 さけます・内水面水産試験場 道東センター 實吉隼人

実施機関及び担当者

北海道立総合研究機構 さけます・内水面水産試験場 道東センター：實吉隼人、伊藤雅浩、刀祢和樹

根室管内さけ・ます増殖事業協会：蠣崎宏、平澤勝秋、田中恒彦、堀章、大野正喜

【目的】

稚魚の成長や生残に適した放流時期等を検証するため、根室海区において耳石標識サケ幼稚魚を放流し、採集調査により追跡する。

【方法】

根室南部地区の西別川において 2022（令和 4）年に回帰した親魚から採卵、受精させた卵に本別ふ化場において耳石温度標識を施し、4月上旬放流群と4月下旬放流群の2群に区別して管理し、魚体重1g以上の稚魚各1,000千尾を生産して西別川に放流する。2023（令和 5年）年級についても同様の放流試験を行うために本別ふ化場において発眼卵に耳石温度標識を施し、各群1,500千尾の稚魚を生産する。

【結果及び考察】

2022年級では、2022年10月14日西別川採卵群を4月上旬放流群、11月2日採卵群を4月下旬放流群として発眼卵期に西別川の本別ふ化場において耳石温度標識を施した。ハッチコードは4月上旬放流群を2,3,5H、4月下旬放流群を2,9Hとしたが、想定よりも稚魚の成長が遅く、2,3,5Hの施標群を4月下旬放流群として1,098千尾を生産し、2023年4月26日に本別ふ化場より放流した（表1）。2,9Hの施標群についても放流時期を遅らせ、5月中旬放流群として5月11日に1,097千尾を本別ふ化場より放流した（表1）。放流サイズは4月下旬放流群（2,3,5H）では尾叉長51.0mm、体重1.2g、5月中旬放流群（2,9H）では尾叉長50.0mm、体重1.1gであった。西別川では3月下旬から5月中旬にかけて2022年級群のサケ稚魚43,889千尾を放流した。

2023年級は2023年9月26日採卵群を4月上旬放流群、10月17日採卵群を4月下旬放流群として、発眼卵期に西別川の本別ふ化場において耳石温度標識を施した。施標卵数とハッチコードについては4月上旬放流群が1,692千粒で2,3,5H、4月下旬放流群が1,637千粒で2,9Hとした（表2）。引き続き本別ふ化場で管理し、各群1,500千尾を生産し1g程度での放流を予定している。

表 1. 2022 (R4) 年級の標識放流試験群の放流結果

| 年級 | 放流河川 | 放流旬 | 放流月日 | 放流数 (千尾) | 体長 (mm) | 体重 (g) | ハッチ コード | 採卵月日 | 捕獲河川 |
|---------------------|------|------|-------|--------------|------------|------------|---------------|--------|------|
| 2022 (R4) | 西別 | 4月下旬 | 4月26日 | 1,098 | 51 | 1.2 | 2,3,5H | 10月14日 | 西別 |
| | | 5月中旬 | 5月11日 | 1,097 | 50 | 1.1 | 2,9H | 11月2日 | |

表 2. 2023 (R5) 年級の標識放流試験群の生産状況

| 年級 | 放流河川 | 放流旬 | 施標卵数 (千粒) | ふ化尾数 (千尾) | ハッチ コード | 採卵月日 | 捕獲河川 |
|---------------------|------|------|--------------|--------------|---------------|--------|------|
| 2023 (R5) | 西別 | 4月上旬 | 1,692 | 1,674 | 2,3,5H | 9月26日 | 西別 |
| | | 4月下旬 | 1,637 | 1,621 | 2,9H | 10月17日 | |

c) 北海道東部における放流サイズや放流時期等の適正化の検討

執筆者：水産資源研究所 さけます部門 資源増殖部 福澤博明

実施機関及び担当者

十勝・釧路管内さけ・ます増殖事業協会：新出幸哉、林紀幸、後藤隆史

水産研究・教育機構 水産資源研究所 さけます部門 資源増殖部

技術課：福澤博明、日田和宏

根室事業所：羅津三則、中島歩

鶴居事業所：渡邊勝亮

【目的】

放流サイズや放流時期等の適正化の効果を検証するため、えりも以東海区において耳石標識サケ稚魚を放流し、採集調査により追跡する。

【方法】

令和4年級について、釧路川における放流時期の違いによる放流効果を検証するため、芦別ふ化場から4月上旬、下旬に同サイズで各500千尾の放流を行う(図1)。令和5年級について、釧路川における放流時期の違いによる放流効果の検証を行うため、4月上旬放流群として1,200千粒、4月下旬放流群として1,200千粒を採卵し、芦別ふ化場においてそれぞれの発眼卵に個別の耳石温度標識を施し、各放流群1,000千尾の生産を行う。

【結果及び考察】

令和4年級の放流

4月上旬放流群として、釧路川本流の美留とおよび支流の芦別、オソツベツで捕獲したサケ親魚から令和4年9月12日に408千粒、9月16日に192千粒の計600千粒を採卵、受精し、芦別ふ化場に収容した後、2n,2n-2Hの耳石温度標識コードを施した(図2)。また、4月下旬放流群として芦別および幌戸で捕獲したサケ親魚から9月30日に600千粒を採卵、受精し、芦別ふ化場に収容した後、2n-2n,2Hの耳石温度標識コードを施した。両群とも芦別ふ化場にて仔稚魚管理を行い、4月上旬放流群は4月1日に平均体重2.43gの稚魚を546千尾、4月下旬群は4月21日に平均体重2.46gの稚魚を551千尾、芦別ふ化場の飼育池から支流鶴居芦別川へ自然放流した(表1)。両群とも計画したサイズより大きめの2.4g台での放流となった。また、放流後に釧路川河口域において、毎旬、曳網による稚魚採集を実施し、4月14日に4月上旬放流群の1尾(2.17g)を採集した。4月下旬放流群の採集は無かった。

令和5年級の放流

4月上旬放流群として、釧路川支流の芦別で捕獲したサケ親魚から令和5年9月11日に1,200千粒を採卵、受精し、芦別ふ化場に収容した後、発眼卵に温度標識を付けるための水温変化を与えて2n,2n-2Hの耳石温度標識コードを施した(図3)。また、4月下旬放流群として芦別および同支流オソツベツで捕獲したサケ親魚から10月2日に1,296千粒を採卵、受精し、芦別ふ化場に収容した後、2n-2n,2Hの耳石温度標識コードを施した。両群とも芦別ふ化場にて仔稚魚管理を行い、それぞれの放流時期に放流サイズ2.0gで放流する予定である。

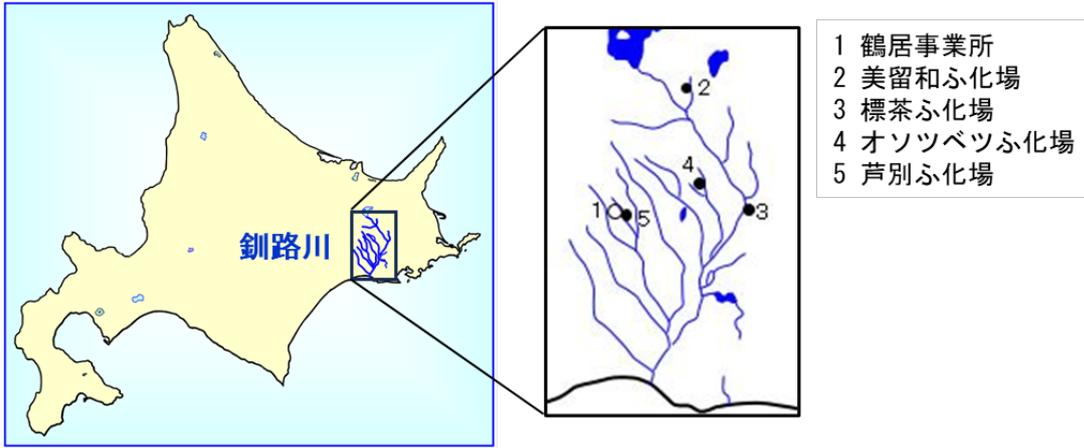


図 1. 釧路川と芦別ふ化場

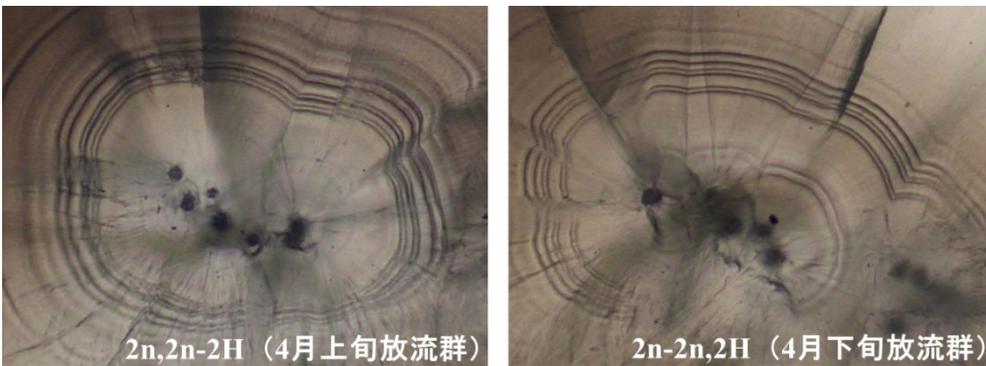


図 2. 令和 4 年級放流群の耳石温度標識基準標本画像

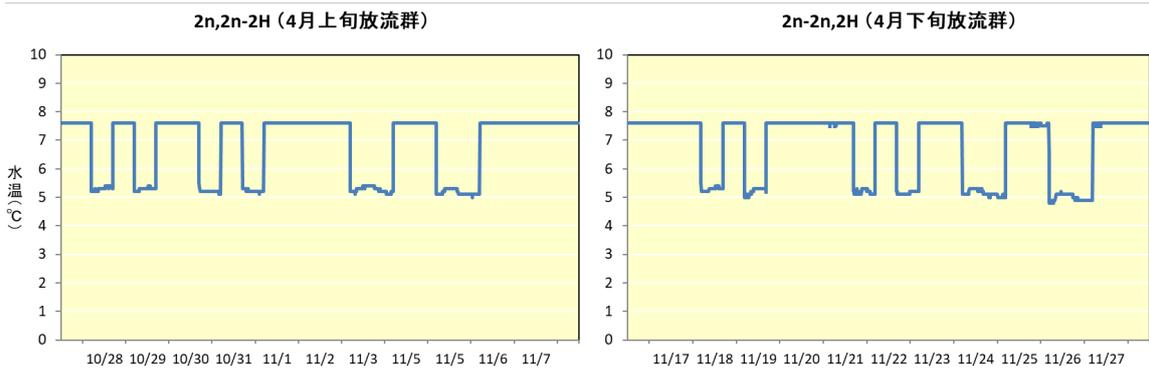


図 3. 令和 5 年級放流群の耳石温度標識装置による生産水の観測水温

表 1. 令和 4 年級 釧路川芦別ふ化場耳石温度標識放流結果

| 標識群 | 採卵日 | 採卵数 (千粒) | 捕獲水系 (捕獲場) | 施標 ふ化場 | 耳石温度 標識コード | 放流日 | 放流数 (千尾) | 尾叉長 (cm) | 体重 (g) |
|---------|---------|-------------|-----------------------|-----------|---------------|------|-------------|-------------|-----------|
| 4月上旬放流群 | 9/12・16 | 600 | 釧路川(芦別・オン ツベツ・美留和) | 芦別 | 2n, 2n-2H | 4/1 | 546 | 6.5 | 2.43 |
| 4月下旬放流群 | 9/30 | 600 | 釧路川(芦別)・幌 戸川 | 芦別 | 2n-2n, 2H | 4/21 | 551 | 6.7 | 2.46 |

d) 東北日本海における放流サイズや放流時期等の適正化の検討

執筆者：山形県内水面水産研究所 齋藤哲

実施機関及び担当者

山形県内水面水産研究所 内水面水産振興部：齋藤哲

【目的】

近年の地球温暖化によりサケにとって不適な沿岸海水温の変化が進行していることから、放流後の河川や沿岸での減耗を軽減するための技術として種苗の大型化に期待が集まっている。しかし、種苗の大型化は施設の拡張を伴わなければ放流数の減少、飼育経費の増大につながるため、種苗の適正なサイズの検討が必要である。また、春期の沿岸水温の上昇が速くなっているため、放流適期の再検討も必要である。本調査研究では試験生産した大型サイズと従来サイズ（約 1.0 g）の標識稚魚を山形県の赤川（鶴岡市）に同日放流して親魚回帰まで追跡し、その効果を評価し、前述の検討を行う。

【方法】

①2022 年級群

大型サイズと従来サイズの標識魚の生産はともに月光川水系の 2 ふ化場と赤川ふ化場（図 1）の協力を得て行った。採卵ふ化場は月光川水系の 2 ふ化場で大型サイズ群用は箕輪ふ化場（遊佐町）、従来サイズ群用は高瀬川ふ化場（遊佐町）で採卵し、それぞれ前期群 41 万粒、後期群 31 万粒を採卵し、耳石標識を施し、稚魚を 0.8 g まで中間育成することとした。その後、稚魚を赤川ふ化場に移送して目標サイズ（大型サイズ 2.5 g 以上、従来サイズ 1.0 g 程度）まで育成し、3 月中下旬に同日放流する計画とした。

なお、耳石標識は、大型サイズ群 2-2,1,2H、従来サイズ群 2,2,1-2H の 2 種類とし、各ふ化場の発眼卵を月光川水系の柘川ふ化場に常設の耳石温度標識装置（TR-H224DCHAS/有限会社タカツ産業）に収容して 13 日程かけて実施した。発眼卵は施標後に各ふ化場に戻した。

②2023 年級群

前年と同様に両群の標識魚の生産はともに月光川水系の 2 ふ化場と赤川ふ化場の協力により行う計画とした。前年と異なるのは、後述の理由のため、中間育成するふ化場を入れ替えた点（大型サイズ：高瀬川ふ化場、従来サイズ：箕輪ふ化場）と大型サイズ群を耳石標識後の発眼卵で赤川ふ化場に移送した点であり、採卵数、目標サイズ等には変更はない。

【結果及び考察】

①2022 年級群（表 1）

大型サイズ群は 2022 年 10 月 27 日から 28 日にかけて 40.5 万粒を採卵し、従来サイズ群は 11 月 22 日に 31.2 万粒を採卵した。両群とも浮上後、体重 0.6 g まで育成し、大型サイズ群は 2023 年 2 月 14 日に、従来サイズ群は 2 月 20 日に赤川ふ化場に移送した。その後赤川ふ化場での飼育において、3 月上旬にイクチオボドの寄生及び細菌性鰓病の兆候が確認されたため、3 月 10 日に両群ともに放流した。放流時の体重は大型サイズ群が 1.92 g/尾、従来サイズ群が 1.41 g/尾であり、計画程の体重差がつかなくなった。これは、従来サイズ群を育成した高瀬川ふ化場が大型サイズ群を生産した箕輪ふ化場より水温が高かく、従来サイズ群の成長が速かったためと推測され、2023 年級は両群の採卵ふ化場を入れ替えることで対応することにした。

②2023 年級群（図 2、3）

（採卵）親魚回帰の不調を受けて、大型サイズ群用の種卵は当初予定していた高瀬川ふ化

場から箕輪ふ化場へ変更する調整をし、2023年11月22日から23日にかけて32.9万粒を採卵し、受精卵で高瀬川ふ化場に移送収容した。従来サイズ群用の種卵は計画どおり箕輪ふ化場で11月30日に36.0万粒を採卵、収容した。

（発眼卵施標）大型サイズ群は、12月13日に淘汰、翌12月14日に検卵をした発眼卵32.9万粒を同日に施標（2-2,1,2H）作業を開始し、12月25日に完了後、赤川ふ化場に移送した。従来サイズ群は、12月28日に淘汰、翌29日に検卵した発眼卵36.0万粒を同日に施標（2,2,1-2H）作業を開始したが、翌年1月9日までの計画工程のうち1月7日に標識装置のエラーが発生し冷水に切り替わらず、本来は加温48時間のところ加温63時間となる事故が発生した。現在、標識ノイズの有無を確認中である。

（飼育管理）2024年2月15日現在、大型サイズ群は赤川ふ化場、従来サイズ群は箕輪ふ化場での飼育を継続中である。箕輪ふ化場の従来サイズ群の赤川ふ化場への移送は3月上旬、赤川への同日放流は大型サイズ群が2.5g以上になる3月下旬を予定している。

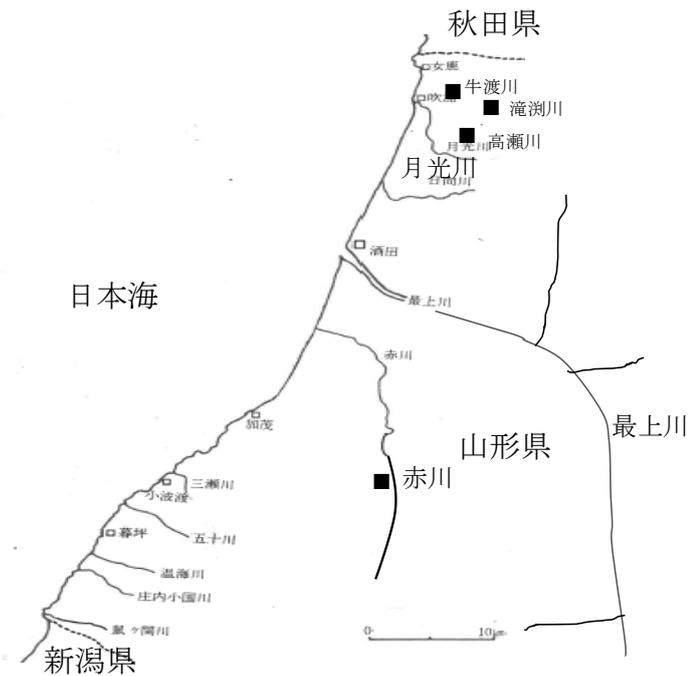


図 1. 関係ふ化場及び放流河川の位置

計画 ハッチコード 2,2,1-2H (従来サイズ群・箕輪)

| 設定 | 設定1 | 設定2 | 設定3 | 設定4 | 設定5 | 設定6 | 設定7 | 設定8 | 設定9 | 設定10 | 設定11 | 設定12 | 設定13 | 設定14 | | |
|-------------|------------|--------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|----|
| 検卵日 (12/29) | 12月30日 | 12月31日 | 1月1日 | 1月2日 | 1月3日 | 1月4日 | 1月4日 | 1月5日 | 1月5日 | 1月6日 | 1月7日 | 1月8日 | 1月8日 | 1月9日 | | |
| スイッチON | 加温 ①18H | | 冷却 ②2H | 加温 ③2H | 冷却 ④2H | 加温 ⑤24H | 冷却 ⑥2H | 加温 ⑦2H | 冷却 ⑧2H | 加温 ⑨4H | 冷却 ⑩2H | 加温 ⑪18H | 冷却 ⑫2H | 加温 ⑬2H | 冷却 ⑭2H | 散布 |

事故 ハッチコード 2,2,1-2H (従来サイズ群・箕輪)

| 設定 | 設定1 | 設定2 | 設定3 | 設定4 | 設定5 | 設定6 | 設定7 | 設定8 | 設定9 | 設定10 | 設定11 | 設定12 | 設定13 | 設定14 | | |
|-------------|------------|--------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----|
| 検卵日 (12/29) | 12月30日 | 12月31日 | 1月1日 | 1月2日 | 1月3日 | 1月4日 | 1月4日 | 1月5日 | 1月5日 | 1月6日 | 1月7日 | 1月8日 | 1月9日 | 1月10日 | | |
| スイッチON | 加温 ①18H | | 冷却 ②2H | 加温 ③2H | 冷却 ④2H | 加温 ⑤24H | 冷却 ⑥2H | 加温 ⑦2H | 冷却 ⑧2H | 加温 ⑨4H | 冷却 ⑩2H | 加温 ⑪3H | 冷却 ⑫2H | 加温 ⑬2H | 冷却 ⑭8H | 散布 |

図 2. 従来サイズ群の標識計画及び、事故により修正した標識時間 (2023 年)

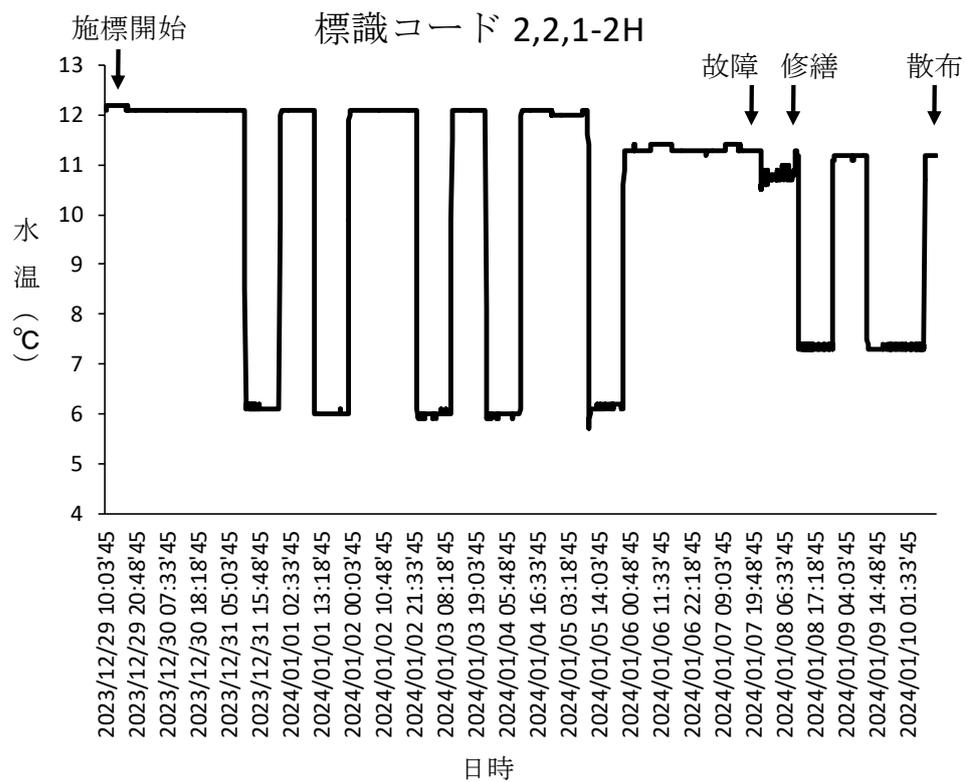


図 3. 従来サイズ群標識中における水温の推移

表 1. 生産及び放流結果（2022 年級）

| | 標識コード | 採卵ふ化場 | 採卵日 | 採卵数 (万粒) | 移送日 | 放流日 | 放流時体重 (g/尾) |
|--------|----------|-------|--------------------|-------------|------------|------------|----------------|
| 大型サイズ群 | 2-2,1,2H | 箕輪 | 2022年10月27～ 28日 | 40.5 | 2023年2月14日 | 2023年3月10日 | 1.92 |
| 従来サイズ群 | 2,2,1-2H | 高瀬川 | 2022年11月22日 | 31.2 | 2023年2月20日 | 2023年3月10日 | 1.41 |

課題イ 沿岸稚魚・幼稚魚追跡調査及び移動経路の解明調査

小課題 1) 稚魚沿岸帯泳期における沿岸環境調査及びサケ幼稚魚追跡調査

a) 北海道における定点環境観測及び稚魚採捕調査 1

編者：水産資源研究所 さけます部門 資源増殖部 森下匠

実施機関及び担当者

水産研究・教育機構 水産資源研究所 さけます部門 資源増殖部：菅原楓*1、中島歩*2、富田泰生*3、山谷和幸*4、大橋亮介*5、濱崎薫*6、小松信治、伊藤洋満、羅津三則、小野ゆい、日下部奏太、小軽米成人、小野郁夫、楠茂恵一、石原剛、羽二生一将、松岡澄、平林幸弘、河野洋右、柏田隼佑、石村豊、福田勝也、一家秀嘉、加藤毅、八重樫博文、重松勇也、荒内勉、大貫努、加藤雅博、吉野州正、渡邊勝亮、下平幸太、平間美信、佐田巖、羽賀正人、宮内康行、森下匠、外山義典、江連睦子

*1：1)-a)-①【厚田沿岸域】主担当

*2：1)-a)-②【昆布森沿岸域】主担当

*3：1)-a)-③【えりも以西地区】主担当

*4：1)-a)-④【えりも以東地区】主担当

*5：1)-a)-⑤【昆布森漁港】主担当

*6：1)-a)-⑥【宗谷港】主担当

1)-a)-①. 定点環境観測及び稚魚採捕調査 1 (北海道厚田)

執筆者：水産資源研究所 さけます部門 資源増殖部 菅原楓

【目的】

沿岸域におけるさけます稚魚の分布状況や生息環境を調べるとともに、定点観測より水温情報を把握することにより、ふ化放流及び来遊資源評価のための基礎資料とする。

【方法】

石狩市厚田区にて第三十八長生丸 (6.6 t) を用船し、3月下旬～6月上旬まで各旬1回ずつ厚田沿岸の海洋観測及びさけます類稚魚採捕調査を行った。調査定点は、厚田港から沖合0.5 km 地点、1.0 km 地点、2.0 km 地点及び10.0 km 地点の4か所を設定した。海洋観測ではCTD (JFEアドバンテック、兵庫) による海水温、塩分濃度等の鉛直観測、透明度板を用いた透明度の目視観測、プランクトンネットを用いたプランクトン採集を実施した。採集したプランクトンは湿重量の計測を行った。また、水深3 m 下にメモリー式水温計 (ケー・エンジニアリング、東京) を設置し、1時間ごとに海水温を記録した。なお、3月下旬及び4月下旬については、天候不順のため調査を実施していない。

【結果及び考察】

1. 沿岸水温

2023年春期厚田沿岸の日平均海水温*について、記録開始時点 (4月3日) ですでに5℃を超えており、8℃に達したのは4月12日、13.0℃に達したのは5月26日だった。過去5か年 (2018～2022年) の13.0℃への平均到達日は5月30日であり、本年度は到達日が4日早かった。一方、サケ稚魚の沿岸域における生息適水温とされる8.0～13.0℃の期間は45日間であり、過去5か年平均と比較すると5日間長かった。4月上旬～4月下旬にかけての海水温は過去5か年平均より1.0℃前後高く推移していた (図1)。

2. プランクトン及び海洋観測

厚田沿岸のプランクトンについて、4月上旬はプランクトンネット破損のため欠測となっている。本年度の湿重量は定点ごとの差は無く、調査期間を通して0.001～0.172 g/m³であり、調査日ごとに比較すると4月中旬にやや多い傾向が見られた。過去5年間の0.248 g/m³と比較すると非常に少なかった。海洋観測結果について、定点4の透明度は他3定点と比べて高い値を示した (図2-1～2-4、表1)。

3. サケ稚魚採捕状況の経年比較と旬比較

本年度は計6回の調査で17回曳網を実施し、サケ稚魚を361尾採捕した。2023年春期の採捕尾数は、過去5年間 (402～1,444尾) と比較すると最も少なかった (図3)。

旬ごとの採捕尾数について、過去5年間の採集ピークは4月下旬～5月上旬にあり、近年は5月下旬に2回目のピークが確認されていた。4月下旬の調査が出来ていないが、4月中旬と5月上旬に多く採集されており、5月下旬にもやや多く採集された (図4)。

4. 耳石解析結果

採捕尾数361尾のうち360尾の耳石を解析した。サケ稚魚の耳石温度標識割合は千歳川由来が43.6%、古平漁港の海中飼育群由来が0.6%、稚魚の遊泳力強化試験の対照群 (サケ資源回復加速化事業) 由来が0.3%であった。耳石温度標識が施標されていない無標識魚 (以下、無標識魚) の割合は55.6%であり、過去5か年の平均割合 (42.8%) と比較するとやや高かった (図5)。

千歳さけます事業所では千歳川へ6パターンの耳石温度標識が施標されたサケ稚魚 (以下、標識魚) を放流している。千歳さけます事業所の標識魚は4月中旬～5月下旬にかけて

確認され、一部の標識魚は放流旬と同旬に採捕されていた（表 2）。標識魚と無標識魚の割合は 5 月上旬までは同程度であったが、5 月中旬以降は無標識魚が多数を占めていた。

5. サケ幼稚魚の体サイズ

千歳川由来のサケ幼稚魚の魚体重は 0.35～3.11 g であり、平均すると 1.04 g だった。各標識群で初めて採捕された時の魚体重は放流時と同等かやや小さかったが、調査が進むにつれて大きい魚体重で採捕された。無標識魚については、標識魚より平均魚体重は小さい場合が多く、平均魚体重 0.75～1.03 g であった。一部の無標識魚では 3.00 g 前後の個体も確認された（図 6）。

6. 厚田沿岸域調査の考察

2023 年春期の厚田沿岸の海水温について、4 月上旬から 4 月下旬にかけて過去 5 か年平均より 1.0℃前後高く推移していたこと、13.0℃への到達日が過去 5 年間平均より 4 日早かったことから、本年度は海水温の立ち上がり例年より早かったと示唆された。また、サケ幼稚魚の沿岸域における生息適水温とされる 8.0～13.0℃の期間が過去 5 年間より 5 日間長かったことから、海水温の面からみるとサケ幼稚魚の生息環境としては良好だったと考えられる。一方で、プランクトンの湿重量は例年より著しく低く、餌料環境としては不良だったと考えられる。しかしながら、採集されたサケ幼稚魚の平均体重は旬を追う毎に大きくなっており、不良な餌料環境の中でも成長できていたことが窺える。また、現地の漁業者からはマイワシが例年になく豊漁だったという声があること、調査の曳網の際にはカタクチワシの群れが逃げていくのが確認されたことから、サケ幼稚魚と同じ食性を持つ魚類が多くいたと考えられる。このことから、憶測の範疇に過ぎないが、調査定点とは別にプランクトンが多く存在していた可能性がある。

サケ幼稚魚の採捕状況については、本年度は 361 尾と過去 5 年間で最も少なかったが、曳網の実施回数が計画の半分だったことが影響していると考えられる。旬ごとの採捕尾数と耳石温度標識から、サケ幼稚魚は放流後すぐに降海し、5 月上旬まで沿岸で成育した後、5 月中旬から離岸していたと示唆された。例年、5 月下旬に急激な水温上昇が確認されており、本年度についても、5 月 23 日～5 月 26 日にかけて 10.5℃から 13.0℃に上昇している。サケ幼稚魚の多くはこの水温上昇に合わせて離岸していると考えられる。

本年度は無標識魚の割合が過去 5 年間よりも高かったが、その要因として余市川放流魚への耳石温度標識施標が 2021 年級群で終了していること、厚田 2 次飼育池から無標識のサケ幼稚魚が放流されていることから、ふ化場で飼育された放流魚も含まれていると考えられる。また、5 月中旬以降には標識魚よりも無標識魚が多く出現していた。これについては、無標識魚の由来が特定できないため定かではないが、野生魚が多くを占めていると考えられる。その要因としては、千歳川におけるサケ親魚の捕獲は 12 月上旬で終了し、以降は自然遡上による再生産となる。このため、野生魚は放流魚の降海時期とズレがあり、厚田沿岸で 2 つの採捕ピークが見られると考えられる。今後は、耳石温度標識以外にも放流魚と野生魚を判別できる技術の確立が望まれる。

※なお、2023 年春季厚田沿岸水温データには、水産庁国際水産資源調査・評価推進補助事業にて収集された値を使用した。

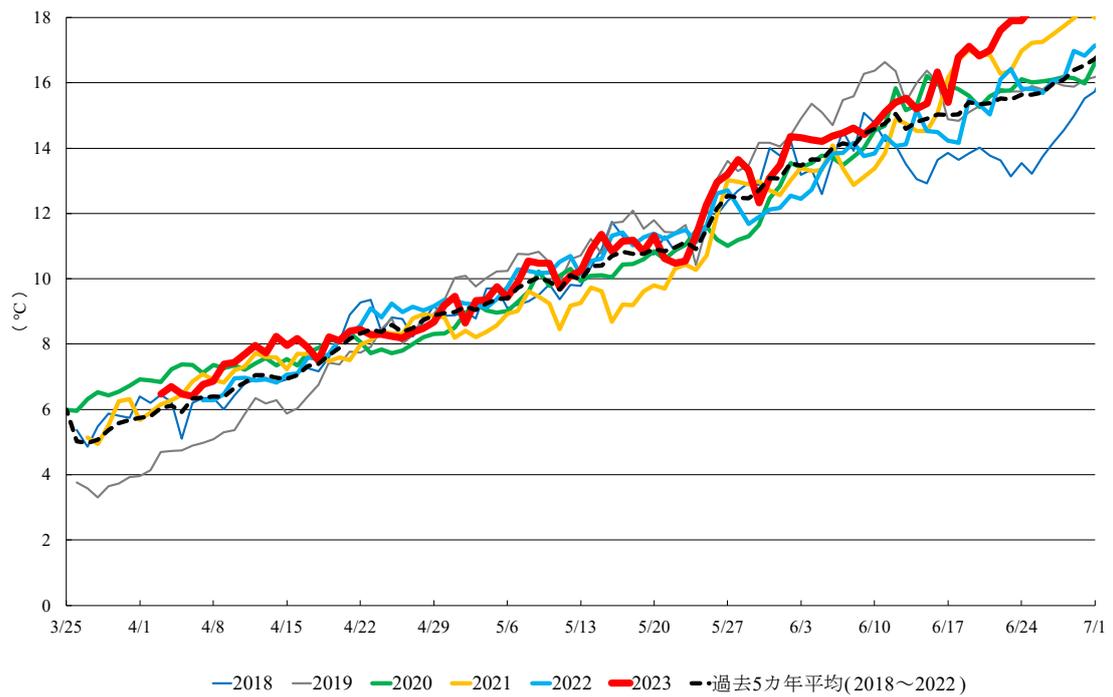


図 1. 2018 年～2023 年の厚田沿岸における海水温の推移

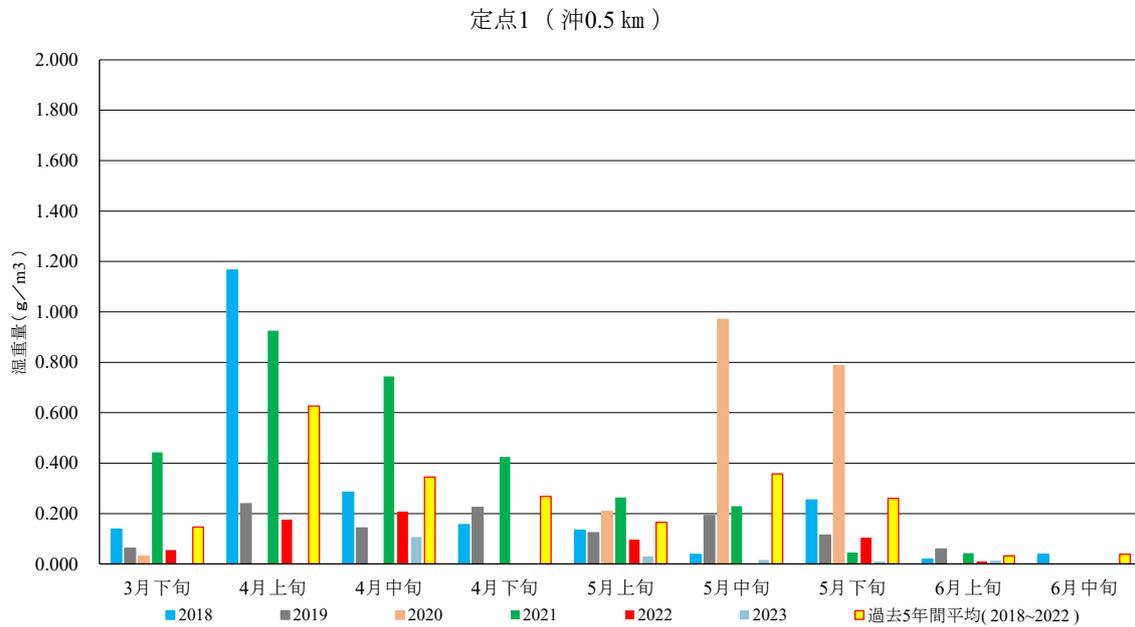


図 2-1. 2018 年～2023 年の厚田沿岸における旬ごとのプランクトン湿重量（定点 1）

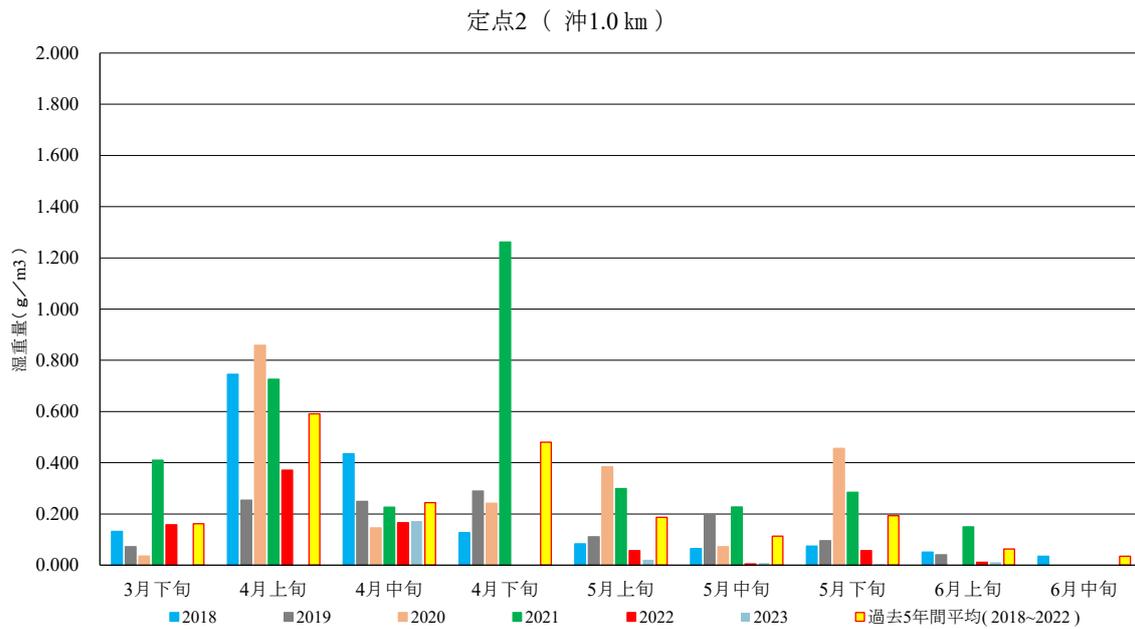


図 2-2. 2018 年から 2023 年の厚田沿岸における旬ごとのプランクトン湿重量 (定点 2)

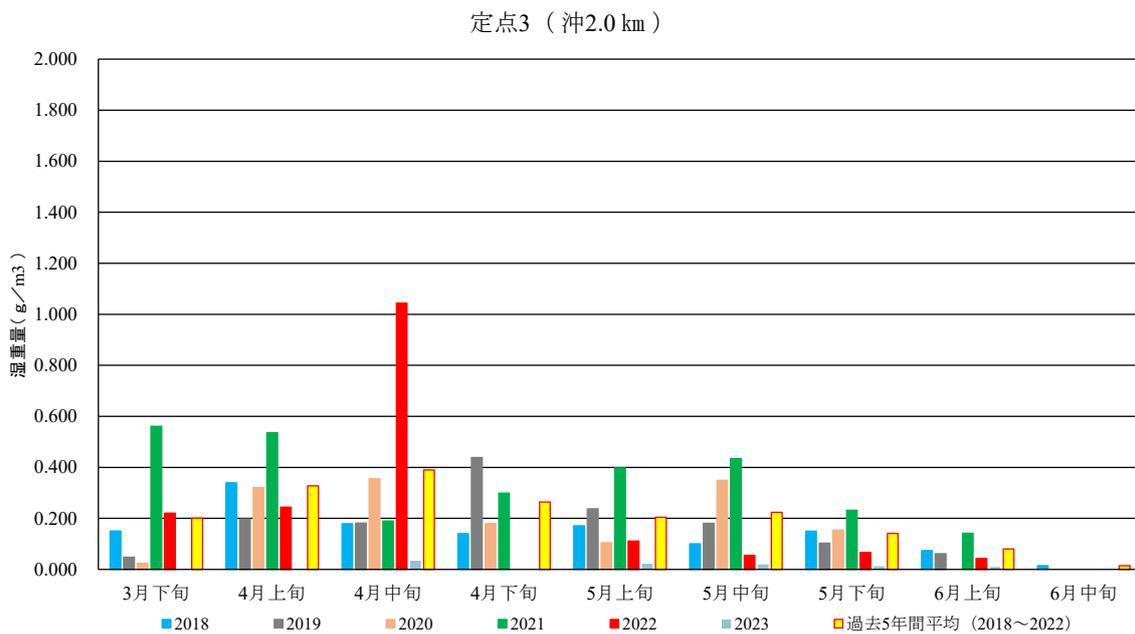


図 2-3. 2018 年から 2023 年の厚田沿岸における旬ごとのプランクトン湿重量 (定点 3)

定点4（沖10.0 km）

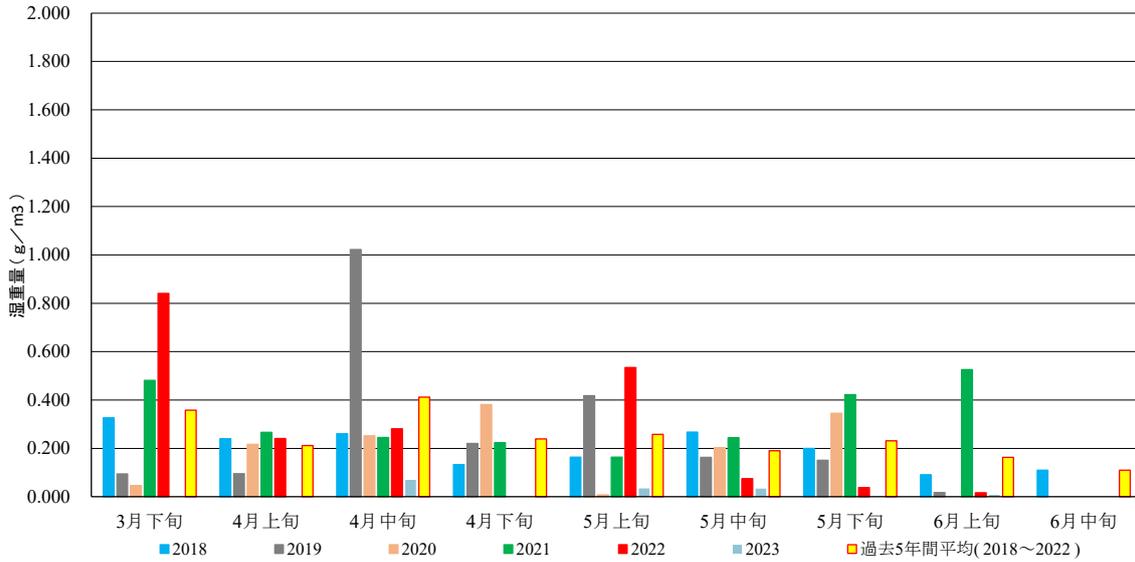


図 2-4. 2018 年から 2023 年の厚田沿岸における旬ごとのプランクトン湿重量（定点 4）

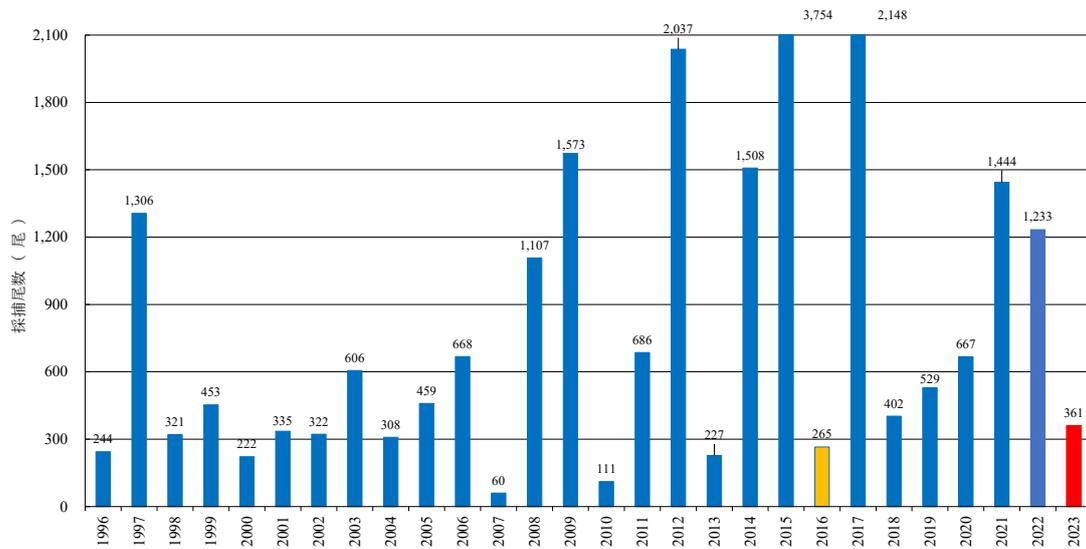


図 3. 厚田沿岸におけるサケ幼稚魚採捕尾数の経年推移
2016 年 4 月下旬～5 月下旬は調査船トラブルのため調査未実施。

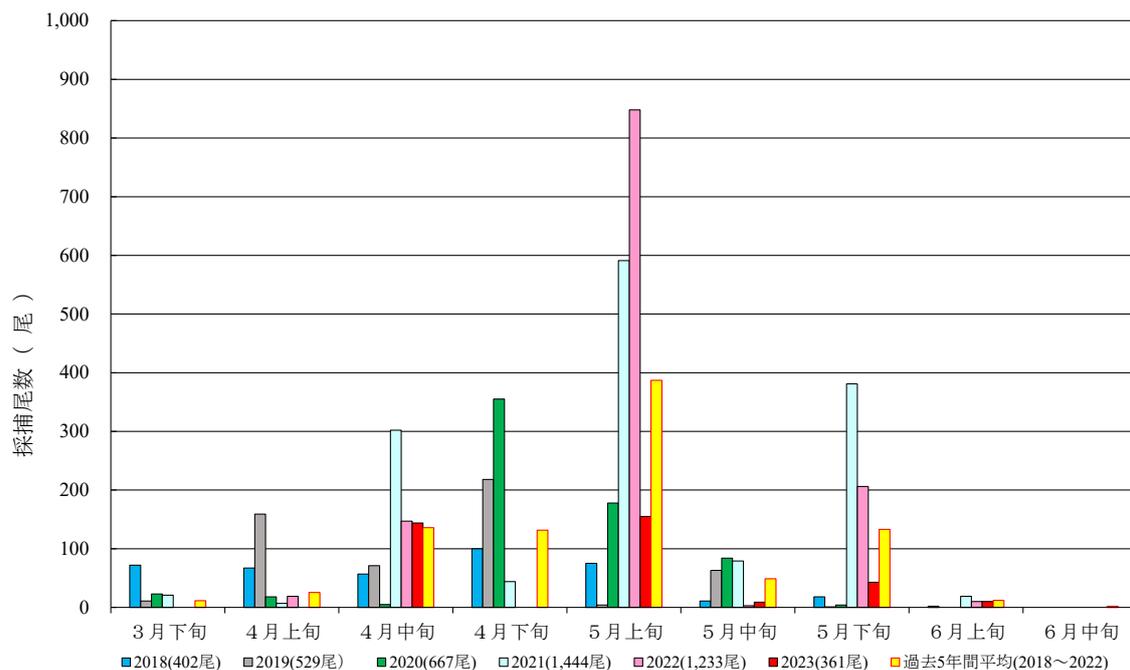


図4. 2018年から2023年の厚田沿岸における旬ごとのサケ幼稚魚採捕尾数

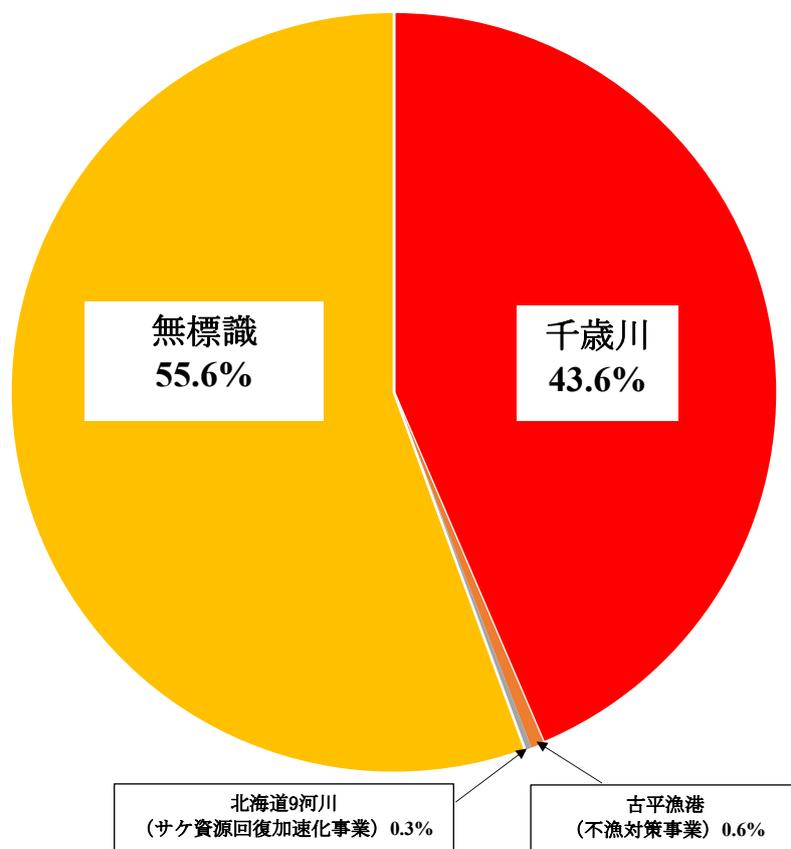


図5. 採捕されたサケ幼稚魚の耳石解析結果
 小数点以下第2位を四捨五入しているため、合計は100%とならない。

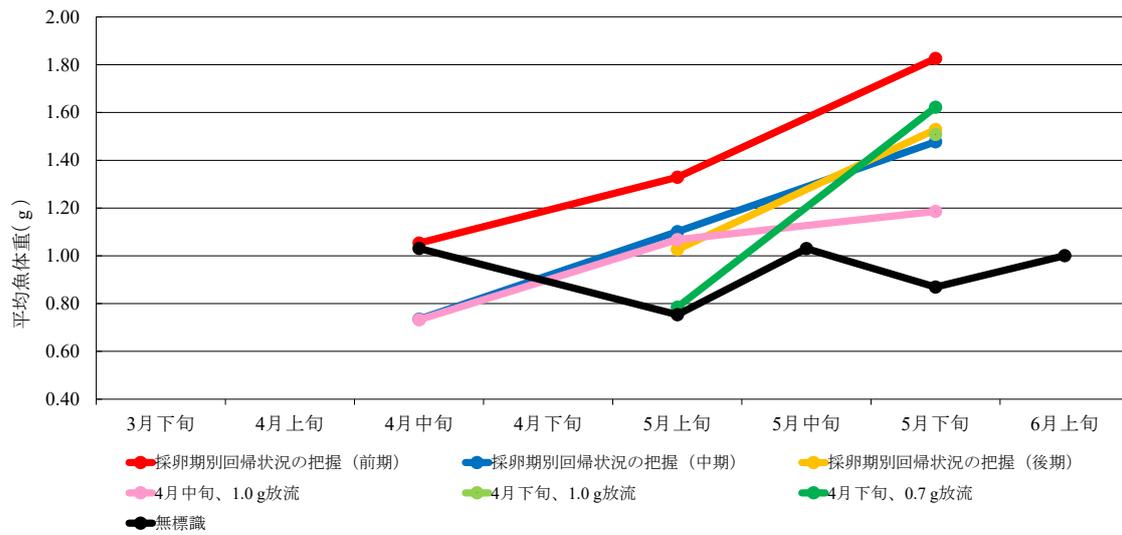


図 6. 千歳川由来のサケ幼稚魚における平均魚体重の推移

表 1. 調査概要と海洋観測結果

| 調査月日 | 観測開始時刻 | 定点 | 距岸 (km) | 水深 (m) | 水深3m水温 (°C) | 水深3m塩分 (PSU) | 透明度 (m) | プランクトン湿重量 (g/m ³) | サケ幼稚魚採捕数 | 魚体重 (g) | | | 備考 |
|-------|--------|----|---------|--------|-------------|--------------|---------|-------------------------------|----------|---------|------|------|--------------------------------|
| | | | | | | | | | | 最小 | 平均 | 最大 | |
| 3月下旬 | | | | | | | | | | | | | 天候不順のため調査未実施 |
| 3月下旬 | | | | | | | | | | | | | 天候不順のため調査未実施 |
| 3月下旬 | | | | | | | | | | | | | 天候不順のため調査未実施 |
| 3月下旬 | | | | | | | | | | | | | 天候不順のため調査未実施 |
| 4月6日 | 7:24 | 4 | 10.0 | 29 | 7.7 | 29.60 | 2.5 | | | | | | 潮早く曳網なし プランクトンネット破損のため湿重量欠測 |
| 4月6日 | 8:16 | 3 | 2.0 | 20 | 6.2 | 32.52 | 2.0 | | | | | | 潮早く曳網なし プランクトンネット破損のため湿重量欠測 |
| 4月6日 | 8:28 | 2 | 1.0 | 18 | 6.5 | 32.55 | 2.5 | | | | | | 潮早く曳網なし プランクトンネット破損のため湿重量欠測 |
| 4月6日 | 8:33 | 1 | 0.5 | 17 | 6.4 | 32.64 | 3.0 | | | | | | 潮早く曳網なし プランクトンネット破損のため湿重量欠測 |
| 4月18日 | 7:24 | 4 | 10.0 | 26 | 8.0 | 32.95 | 8.0 | 0.107 | | | | | 潮早く曳網なし |
| 4月18日 | 7:54 | 3 | 2.0 | 20 | 7.4 | 28.79 | 1.5 | 0.172 | 75 | 0.21 | 1.12 | 3.26 | |
| 4月18日 | 8:54 | 2 | 1.0 | 18 | 7.4 | 28.48 | 1.0 | 0.034 | 28 | 0.33 | 0.82 | 1.33 | |
| 4月18日 | 9:42 | 1 | 0.5 | 14 | 8.1 | 31.85 | 1.0 | 0.070 | 41 | 0.20 | 0.81 | 2.06 | |
| 4月下旬 | | | | | | | | | | | | | 天候不順のため調査未実施 |
| 4月下旬 | | | | | | | | | | | | | 天候不順のため調査未実施 |
| 4月下旬 | | | | | | | | | | | | | 天候不順のため調査未実施 |
| 4月下旬 | | | | | | | | | | | | | 天候不順のため調査未実施 |
| 5月9日 | 7:15 | 4 | 10.0 | 27 | 10.3 | 28.01 | 2.0 | 0.030 | | | | | 潮早く曳網なし |
| 5月9日 | 7:45 | 3 | 2.0 | 20 | 10.0 | 32.98 | 2.5 | 0.021 | 60 | 0.32 | 0.99 | 2.26 | |
| 5月9日 | 8:39 | 2 | 1.0 | 17 | 10.3 | 31.93 | 2.0 | 0.022 | 48 | 0.31 | 0.85 | 1.72 | |
| 5月9日 | 9:32 | 1 | 0.5 | 15 | 10.3 | 32.55 | 2.0 | 0.035 | 47 | 0.28 | 0.95 | 2.57 | |
| 5月18日 | 7:28 | 4 | 10.0 | 31 | 11.1 | 32.26 | 5.5 | 0.015 | 0 | | | | |
| 5月18日 | 8:42 | 3 | 2.0 | 20 | 10.9 | 32.32 | 3.5 | 0.008 | 2 | 3.29 | 3.39 | 3.48 | |
| 5月18日 | 9:58 | 2 | 1.0 | 19 | 10.9 | 32.35 | 6.0 | 0.020 | 0 | | | | |
| 5月18日 | 10:04 | 1 | 0.5 | 17 | 10.9 | 32.49 | 4.0 | 0.034 | 7 | 0.28 | 0.36 | 0.45 | |
| 5月24日 | 7:29 | 4 | 10.0 | 29 | 11.9 | 33.23 | 5.0 | 0.009 | 1 | 1.62 | 1.62 | 1.62 | |
| 5月24日 | 8:22 | 3 | 2.0 | 20 | 11.2 | 33.22 | 1.0 | 0.004 | 33 | 0.27 | 1.14 | 3.23 | |
| 5月24日 | 9:08 | 2 | 1.0 | 15 | 11.4 | 33.39 | 1.0 | 0.012 | 0 | | | | |
| 5月24日 | 10:00 | 1 | 0.5 | 14 | 11.4 | 33.40 | 1.5 | 0.001 | 9 | 0.34 | 0.68 | 1.06 | |
| 6月6日 | 7:30 | 4 | 10.0 | 30 | 13.8 | 32.30 | 5.5 | 0.013 | | | | | 潮早く曳網なし |
| 6月6日 | 7:57 | 3 | 2.0 | 20 | 14.1 | 31.93 | 4.0 | 0.011 | 4 | 1.00 | 1.08 | 1.19 | |
| 6月6日 | 8:40 | 2 | 1.0 | 15 | 13.5 | 33.44 | 4.5 | 0.010 | 1 | 0.45 | 0.45 | 0.45 | |
| 6月6日 | 9:32 | 1 | 0.5 | 15 | 13.5 | 33.50 | 4.5 | 0.008 | 5 | 0.47 | 1.05 | 2.16 | |

表 2. 厚田沿岸で確認された耳石温度標識群と旬ごとの採捕尾数

| | 放流旬 | 放流時平均魚体重 (g) | 3/下旬 | 4/上旬 | 4/中旬 | 4/下旬 | 5/上旬 | 5/中旬 | 5/下旬 | 6/上旬 |
|--------|--------------------------------------|--------------|------|------------------|-----------|------|------|------|------|------|
| | | | 千歳川 | 採卵期別回帰状況の把握 (前期) | 3/上旬~4/中旬 | 0.92 | | 32 | | 17 |
| | 採卵期別回帰状況の把握 (中期) | 4/中旬 | 0.96 | | 17 | | 24 | | 2 | |
| | 採卵期別回帰状況の把握 (後期) | 4/中旬 | 0.81 | | | | 9 | | 1 | |
| | 長期モニタリング (4月中旬、1.0g放流) | 4/中旬 | 0.98 | | 19 | | 18 | | 1 | |
| | 4月下旬放流でのサイズ比較試験 (4月下旬、1.0g放流) | 4/下旬 | 1.06 | | | | | | 2 | |
| | 4月下旬放流でのサイズ比較試験 (4月下旬、0.7g放流) | 4/下旬 | 0.79 | | | | 10 | | 1 | |
| 古平漁港 | 不漁対策事業 海中飼育技術活用によるサケ種苗の大型化及び実証のための放流 | 4/上旬 | 1.62 | | 2 | | | | | |
| 北海道9河川 | サケ資源回復加速化事業 稚魚の遊泳力強化試験 (対照群) | 4/上旬 | 0.91 | | | | 1 | | | |
| | 無標識 | | | | 74 | | 75 | 9 | 32 | 10 |
| | 合計 | | 未実施 | 未実施 | 144 | 未実施 | 154 | 9 | 43 | 10 |

1)-a)-②. 定点環境観測及び稚魚採捕調査 2 (北海道昆布森)

執筆者：水産資源研究所 さけます部門 資源増殖部 中島 歩

【目的】

昆布森沿岸に設定した定点において、サケ幼稚魚の分布、豊度、魚体サイズ及び生息環境をモニタリングする。採捕されたサケ幼稚魚の放流由来を耳石温度標識で識別すると共に、遺伝的系群識別や日周輪解析による降海・成長履歴調査に供する。

【方法】

6月上旬から7月下旬にかけて、原則として週1回(6月第4週を除く計7回)、モニタリング定点1~4(岸からの距離は約0.4 km、1.3 km、3.5 km、及び7.8 km)において計7回の環境観測を行うとともに2艘曳網によるサケ幼稚魚採捕を行った。それぞれの調査水域を図1に示す。環境観測にはCTDを用い、水温・塩分の鉛直観測を行った。また改良型NORPACネットにより、定点1は水深10 m層、定点2~4は水深20 m層からの鉛直曳きによりプランクトンを採捕し、中性ホルマリンで固定後にプランクトン湿重量を測定して現存量を調べた。さらに観測定点2の水深3 m下に記録式水温計を設置し、1時間ごとの海水温変化を記録した。

2艘曳網による幼稚魚採捕は、定点2~4間の調査ラインK01~K03(距岸距離はそれぞれ約1.5~3.5 km、3.7~5.7 km、5.8~7.8 km)において実施した。曳網は原則距離2 kmまたは20分間の早い方とした。採捕したサケ幼稚魚は持ち帰り、生鮮状態を基本に尾叉長と体重を測定し、耳石温度標識から放流由来を調べ、放流平均サイズを基準にそれぞれの採捕日までの日間成長率を求めた。また遺伝分析標本として尾鰭の一部を採取したほか、各定点のサケ幼稚魚最大10尾について、胃内容物量の測定及び胃内容物組成分析に供するため、胃部を切り出し10%海水ホルマリンで固定した。さらに胃内容物量調査に供さない一部の幼稚魚について、胃内容物を確認した。即日測定しきれなかったサンプルについては凍結保存し、後日解凍して同様に処理した。冷凍サンプルの魚体測定結果は補正式($FL(mm)=1.006 \text{月} 7 \text{日} \times \text{解凍後} FL + 2.1158$ 、 $BW(g)=1.0329 \times \text{解凍後} BW + 0.0309$)により補正した。

【結果及び考察】

1. 海水温及び塩分分布

観測定点2に設置した記録式水温計による水温観測結果*を図2に示す。日平均水温は過去10年平均(以下、平年)よりも高く推移し、沿岸水温が5.0°Cに達したのは5月7日で平年より6日早く、13.0°Cに達したのは7月10日で平年より14日早かった。

6月以降の環境観測調査ごとの、水深3 m下の水温について図3、塩分濃度について図4にそれぞれ示す。初回の6月7日から各定点で8°Cを上回っており、その後、7月11日にはほぼ13°Cに達した。また塩分濃度はいずれの定点においても調査期間中32.5‰を挟んだ変動となっていた。

2. プランクトン湿重量について

観測定点ごとの海水1 t中のプランクトン湿重量の推移について図5に示す。定点1では6月7日、定点2では6月27日にそれぞれピークとなった。より沖合の定点3及び4では明確なピークは見られず、調査期間とともに緩やかな減少傾向を示した。

2014~2023年の調査旬別のプランクトン湿重量を図6に示す。特に2021年以降の湿重量はそれ以前に比べて少ない傾向にあり、2023年はいずれの旬においても低水準となった。

3. サケ幼稚魚等の採捕状況

2艘曳網による調査日ごとの定点別採捕数を図7に、CPUEを図8に示す。サケ幼稚魚は

6月7日から7月18日にかけて計1,056尾が採捕され、6月27日調査で777尾と最多となった。なお6月27日のK01においては、K02の採捕状況から曳網距離を1mへと短縮した。CPUEは各曳網定点とも6月27日調査で最大となり、7月に入ると急速に低下した。サケ幼稚魚以外ではサクラマス幼魚、マイワシ、カタクチイワシ、ホッケ、コマイ、サンマ、ホカケアナハゼ、カマス類、トゲウオ類がそれぞれ採捕された。

4. サケ幼稚魚の体サイズ等

2艘曳網による各調査日におけるサケ幼稚魚の尾叉長の分布状況を図9に、肥満度の分布状況を図10に示す。尾叉長10cm以上の大型は6月中旬までに多く、6月下旬以降は尾叉長8cm前後がほとんどであった。特に採捕数が多かった6月27日では肥満度の分布が幅広く、摂餌状況に格差が生じていた可能性が示唆された。

ランダムに胃内容物を確認したところ、6月27日調査時には魚類稚仔や大型の動物プランクトンが優占していたが、7月4日調査時では陸生昆虫や小型の動物プランクトンが優占した(図11)。

5. 耳石温度標識確認結果と標識魚の日間成長率

2艘曳網で採捕されたサケ幼稚魚のうち耳石標識の有無を確認できた1,050尾について、放流由来の内訳とそれらの尾叉長を表1に示す。標識魚は193尾(18.4%)で、十勝川由来が55尾と最も多かった。標識魚のほとんどは6月27日調査までに確認された。また6月13日調査で採捕された尾叉長12cmを超える大型魚は全て無標識魚であった。

採捕数の多かった釧路川、十勝川及び静内川由来の標識群について、放流月日と日間成長率の関係、また放流から採捕までの日数と日間成長率の関係を図12~14にそれぞれ示す。釧路川及び十勝川由来では放流月日が遅くなるにつれ日間成長率が高い個体が見られる傾向にあり、十勝川由来では日間成長率のバラツキも大きくなった。一方、放流後の経過日数との関係では採捕までの日数が経過した個体ほど日間成長は低くなる傾向が見られた。静内川由来についてはそのどちらも明瞭でなかった。

6. 考察

2023年春の昆布森沿岸の海水温について、5°Cに達した日は平年より6日早かったものの、13°Cに達する日は13日早かったことで、サケ幼稚魚にとって適した時期は、時期後半で平年より短くなっていた。また、プランクトン湿重量が低位であったこと及び塩分濃度がやや高めに推移していたことから、親潮の影響はほぼ無かったものと考えられ、それによりサケ幼稚魚が好む大型のプランクトンが少なかったと思われた。このように、水温とプランクトンの両面から、サケ幼稚魚にとって昨年に続き厳しい環境であったと言える。

2艘曳網によって、6月上旬~6月中旬には10cmを超える大型のサケ幼稚魚が、下旬には8cm前後が多数それぞれ採捕され、こうした出現傾向は平年と同様であった。6月27日調査においては、CPUEの傾向から距岸3.7~5.7kmのやや沖合を中心に大規模に沿岸を通過していたと推察された。この時期のサケ幼稚魚の胃内容物には魚類稚仔が多く見られ、通過する個体の重要な餌料生物となっていたと考えた。翌週7月4日調査以降は一変してCPUEが減少したほか、胃内容物のほとんどが陸生昆虫で占められていた。このことから、採捕魚の肥満度は低いものの、水温推移と併せて考えても、今春の昆布森沿岸におけるサケ幼稚魚の分布に適した期間は概ね6月末までであったと考えられた。

十勝及び釧路川由来の標識魚のうち、採捕までの日数が長かった個体で日間成長率が低くなる傾向が見られたことから、特に5月上旬といった放流時期後半の標識群については同一放流群の中でも成長が早かった個体から先に離岸し、昆布森沿岸を通過している様子が想像できた。静内川由来について同様の傾向が見られなかったことは、日間成長率が高い標識魚が曳網調査を行えなかった6月13日から27日の間に通過し、採捕できなかったためと考えられる。えりも以西由来や本州由来の日間成長率の高い幼稚魚を採捕するためには、これらが通過していると考えられる6月中旬の曳網調査が欠かせない。なお、日間成長

率はいずれも放流時の平均尾叉長を基準に算出しており、より詳細に分析するには耳石日周輪解析により個々の成長率を把握する必要がある。

※なお、2023年春季昆布森沿岸水温データには、水産庁国際水産資源調査・評価推進補助事業にて収集された値を使用した。



図1. 調査地点図

定点1～4は環境観測定点、赤矢印K01～K03は2艘曳網による稚魚採捕の調査ライン、赤◎は水温の定点観測位置であることをそれぞれ示す。出典：国土地理院ウェブサイト (<https://maps.gsi.go.jp/>)。地理院タイル（電子国土基本図）に調査地点を追記して掲載。

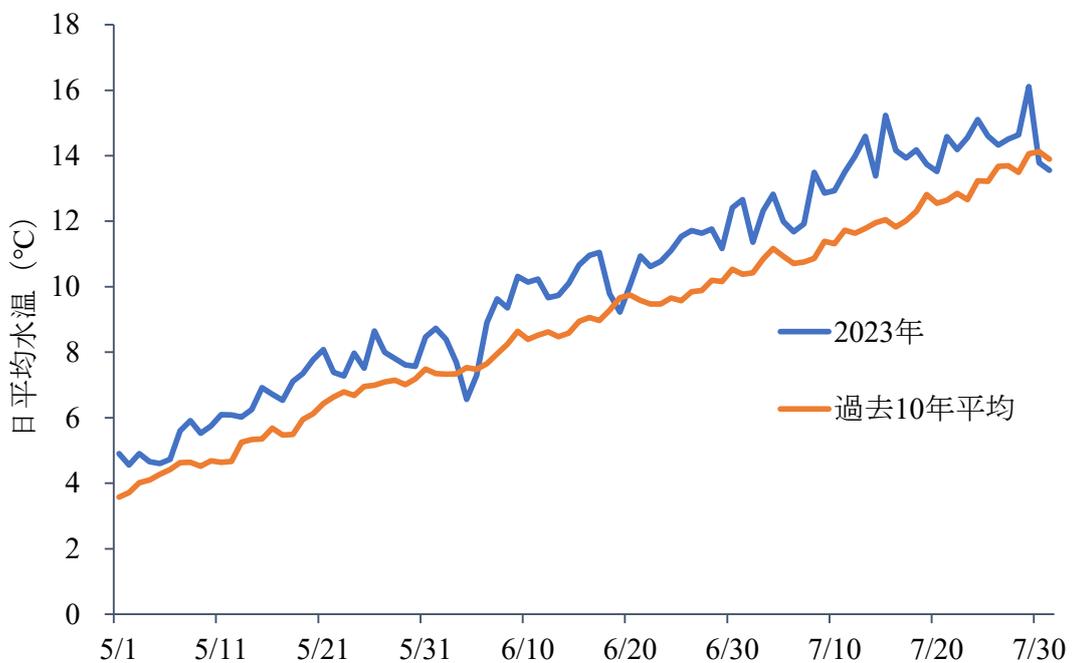


図2. 2023年及び過去10年における観測定点2の日平均海水温（水深3m下）

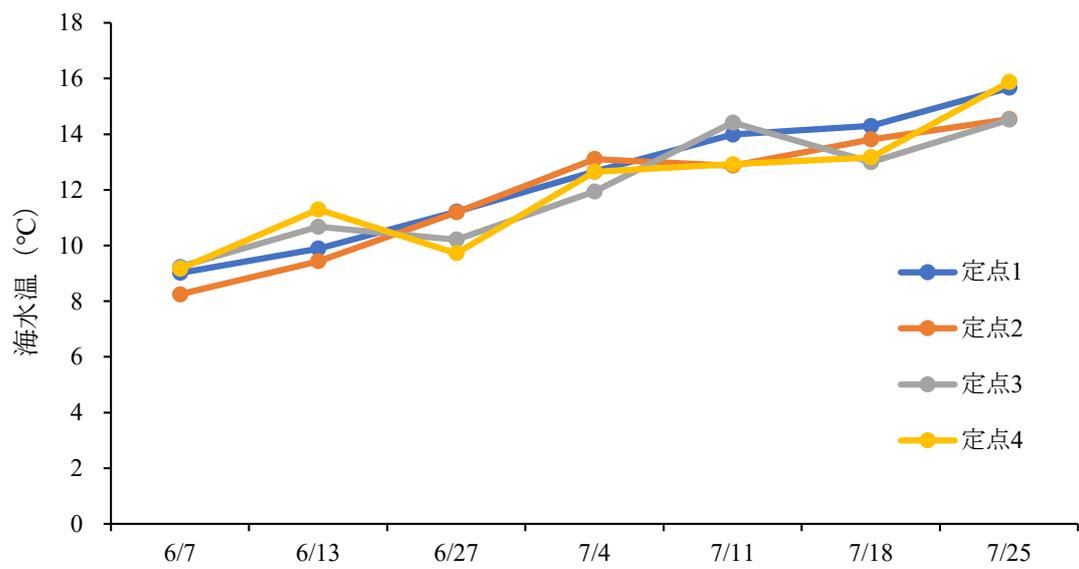


図3. 調査期間における観測定点ごとの海水温 (水深3 m 下)

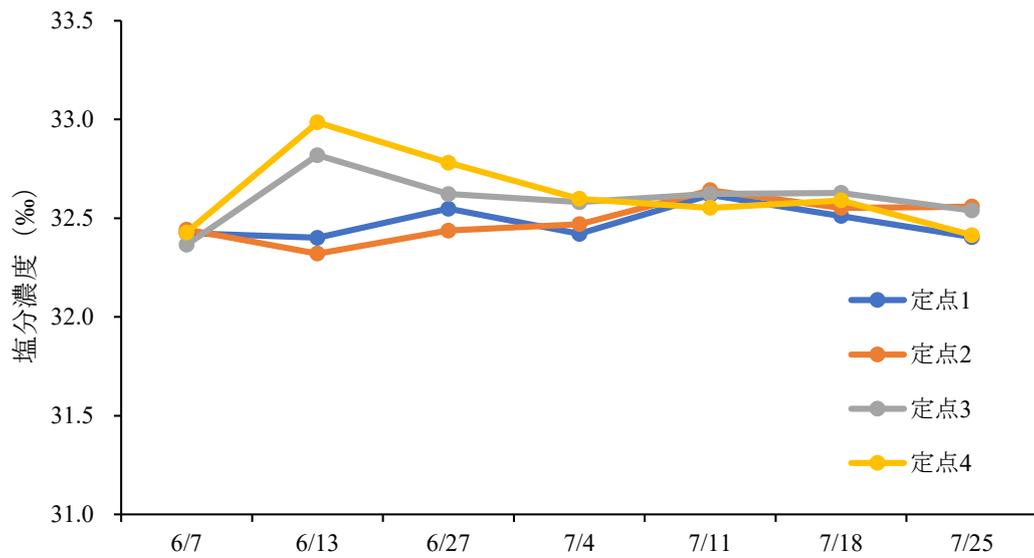


図4. 調査期間における観測定点ごとの塩分濃度

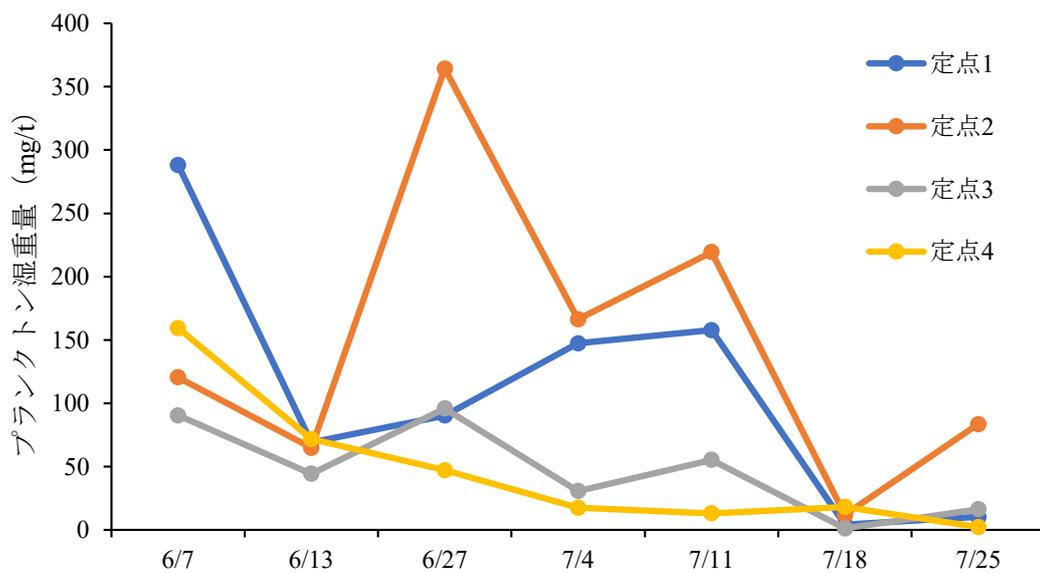


図5. 2023年の調査日ごとのプランクトン湿重量

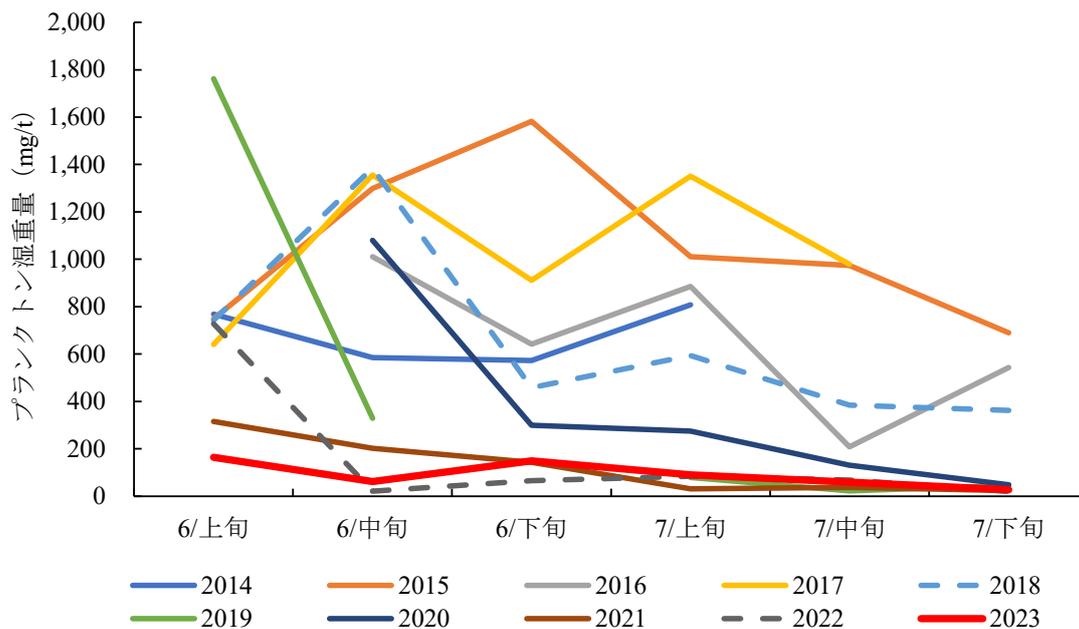


図6. 2014~2023年の旬平均プランクトン湿重量
プランクトン湿重量は旬及び各定点の平均を示す。

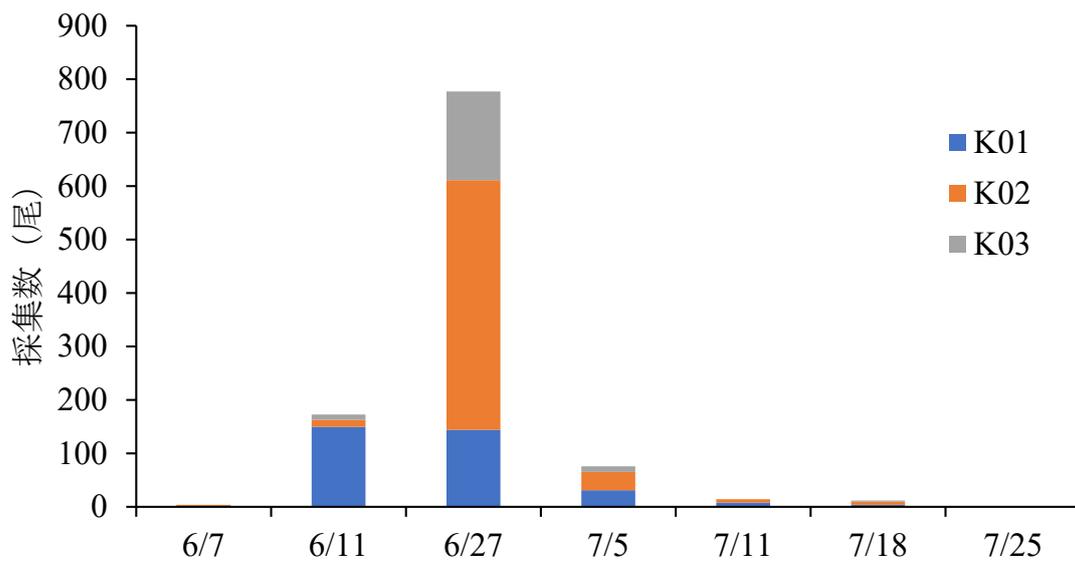


図 7. 2 艘曳網における定点ごとのサケ幼稚魚採捕数

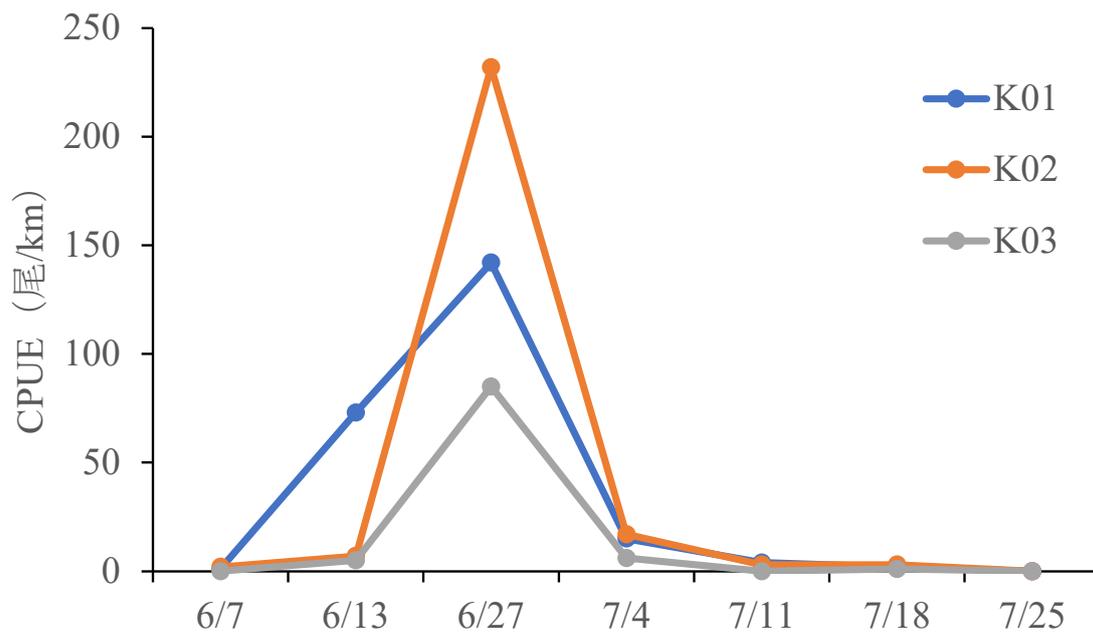


図 8. 2 艘曳網における定点ごとのサケ幼稚魚 CPUE

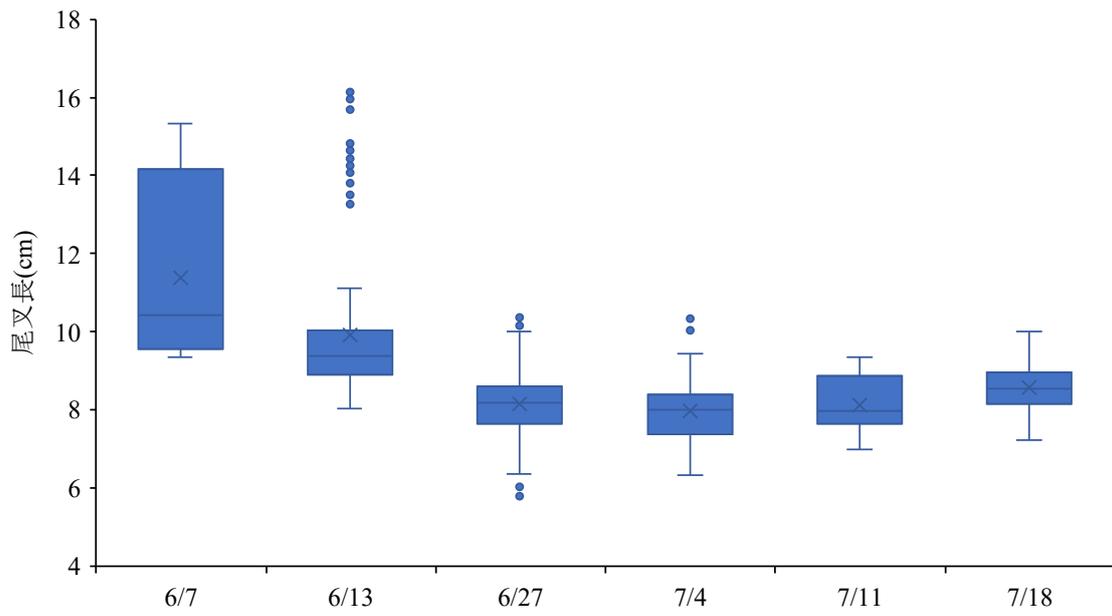


図 9. 2 艘曳網で採捕されたサケ幼稚魚の尾叉長

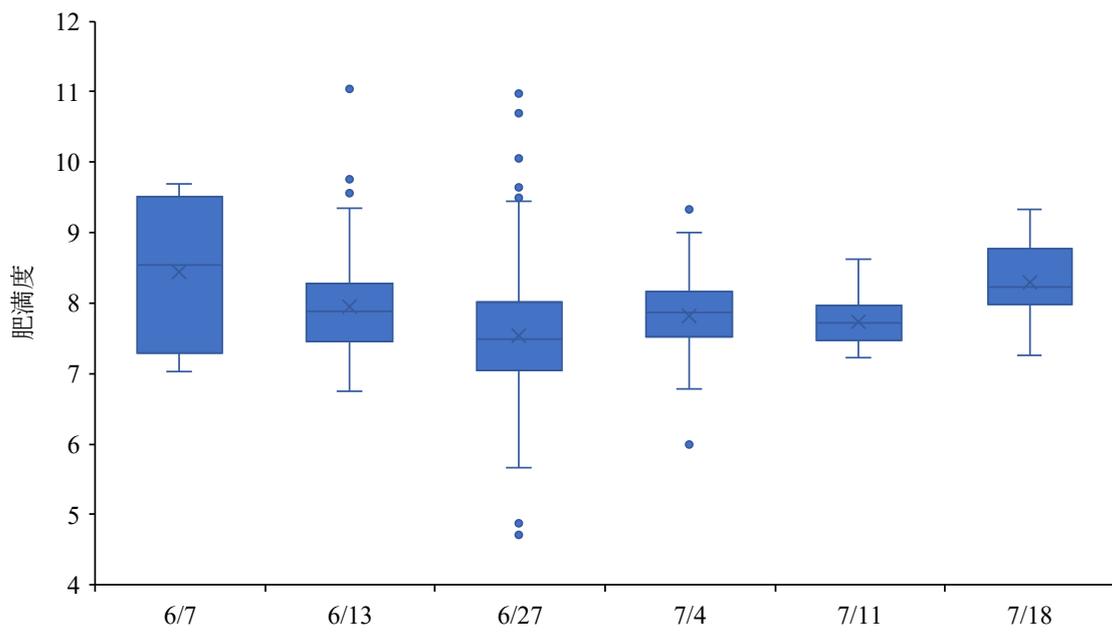


図 10. 2 艘曳網で採捕されたサケ幼稚魚の肥満度

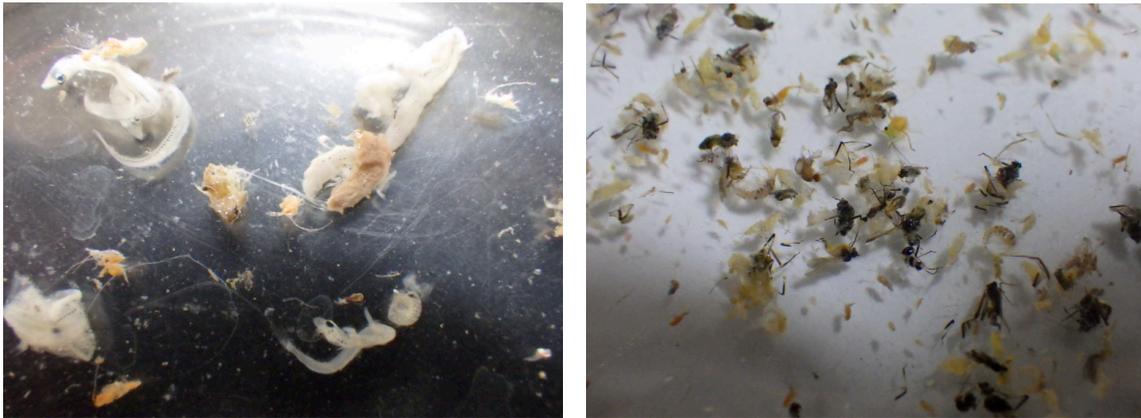


図 11. 6月27日（左）と7月4日（右）に採捕されたサケ幼稚魚の胃内容物

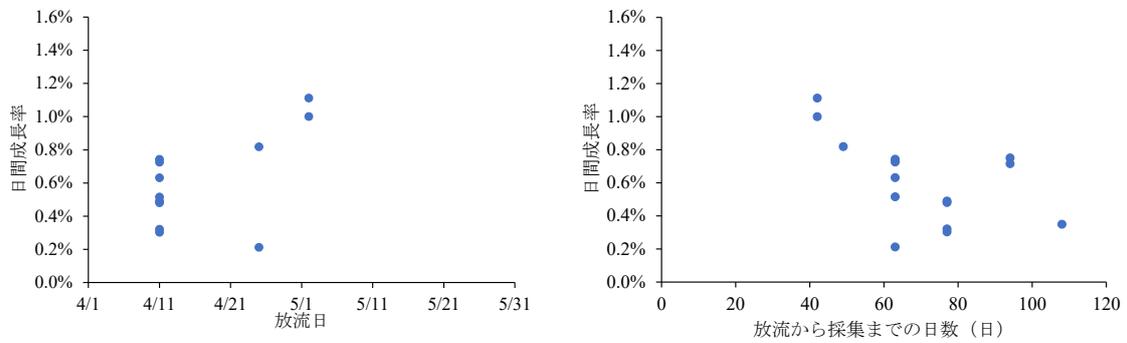


図 12. 2艘曳網で採捕された釧路川由来識魚の放流日（左）と放流から採捕までの日数（右）における日間成長率の関係

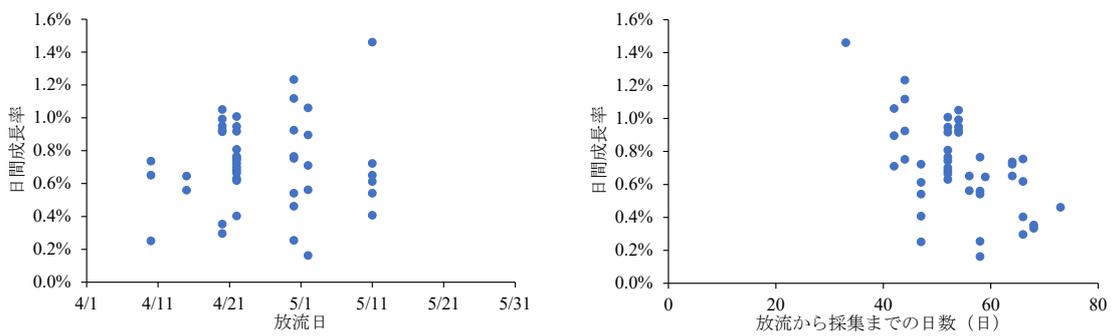


図 13. 2艘曳網で採捕された十勝川由来標識魚の放流日（左）と放流から採捕までの日数（右）における日間成長率の関係

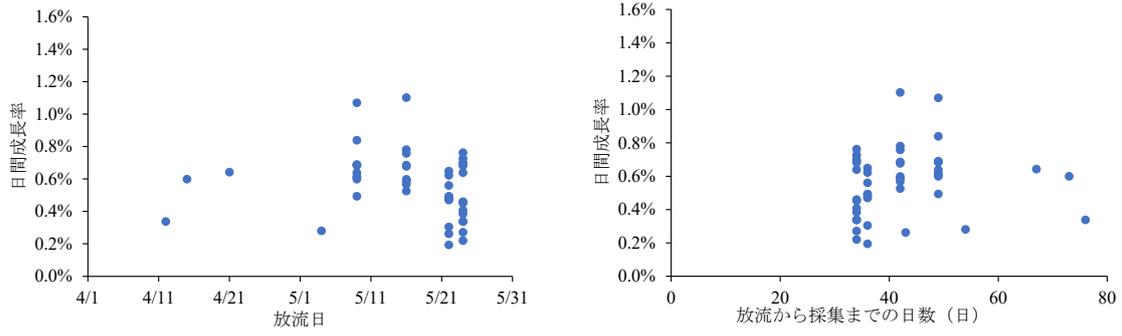


図 14. 2 艘曳網で採捕された静内川由来標識魚の放流日（左）と放流から採捕までの日数（右）における日間成長率の関係

表 1. 2 艘曳網調査で採捕された標識魚の放流由来と尾叉長

「えりも以西河川」は日高幌別、敷生、知内及び遊楽部川、「道内河川」はオホーツク、北海道日本海、根室、えりも以東、えりも以西及び道南各海区の計 9 河川のいずれかから放流された標識群、「富山県」は黒部川あるいは神通川由来の標識群。

| 放流由来 | 調査月日 | | | | | | 合計 (尾) | 尾叉長 (cm) | | |
|---------|------|------|------|-----|------|------|-----------|----------|------|-------|
| | 6/7 | 6/13 | 6/27 | 7/4 | 7/11 | 7/18 | | 平均 | 最少 | 最大 |
| 十勝川 | | 35 | 20 | | | | 55 | 8.81 | 6.49 | 10.64 |
| 静内川 | | | 47 | 1 | | | 48 | 8.73 | 7.57 | 9.63 |
| えりも以西河川 | | | 35 | | | | 35 | 8.59 | 7.13 | 10.50 |
| 釧路川 | | 14 | 11 | | | | 25 | 8.99 | 6.75 | 11.05 |
| 道内河川 | | 4 | 13 | | | | 17 | 8.69 | 7.93 | 10.18 |
| 厚内漁港 | | 9 | 1 | | | | 10 | 9.87 | 8.17 | 11.06 |
| 遊楽部川 | | | 1 | | | | 1 | 9.95 | | |
| 西別川 | | 1 | | | | | 1 | 8.67 | | |
| 富山県 | | | 1 | | | | 1 | 8.17 | | |
| 無標識 | 4 | 110 | 642 | 75 | 14 | 12 | 857 | 8.36 | 5.79 | 16.15 |
| 合計 | 4 | 173 | 771 | 76 | 14 | 12 | 1,050 | 8.45 | 5.79 | 16.15 |

1)-a)-③. 定置網等における稚魚採捕調査 1 (北海道太平洋岸えりも以西)

執筆者：水産資源研究所 さけます部門 資源増殖部 富田泰生

【目的】

春定置網の揚網時に採捕したサケ幼稚魚の耳石温度標識から、放流由来、移動時期・経路、体サイズを把握することを目的とした。

【方法】

調査場所は、虎杖浜及び春立沿岸に設置された春定置網とした(図1)。サケ幼稚魚の採捕は、定置網の揚網時にたも網を用いて行った。採捕した幼稚魚は冷凍後に体サイズ測定のほか、耳石を採取した。耳石は温度標識の有無を調べ、標識コードから放流由来を特定した。また、1時間ごとの海水温の変化を調べるために、記録式水温計を各調査場所の距岸約1kmの水深3m下に設置した。

【結果】

1. 沿岸水温

2023年春の日平均水温の推移を図2に示した。サケ幼稚魚の沿岸での分布水温帯(以下、適水温帯)は8.0~13.0℃であり、虎杖浜では5月11日に8.0℃に達し、6月22日以降に13.0℃を恒常的に超えた。春立では5月18日に8.0℃に達し、それ以降一時的に8.0℃以下になった期間があったものの、6月22日以降に13℃を恒常的に超えた。

8.0~13.0℃の期間の経年変化を図3に示した。2023年の虎杖浜の適水温帯は昨年とほぼ同時期・同期間であり、2007年以降では比較的長い適水温期間であった。2023年の春立の適水温帯は昨年と概ね同時期・同期間であったが、2010年以降では一時的に8.0℃以下になる期間が多く見られ、適水温帯が不連続となった。

2. サケ幼稚魚採捕結果

2023年に採捕されたサケ幼稚魚は、虎杖浜と春立でそれぞれ413尾、3,439尾であった(図4)。

虎杖浜の採捕尾数は2016年に1,200尾を超えたが、近年は比較的少ない採捕尾数となっている。2023年の採捕個体において、80%以上が無標識魚、残りが耳石標識魚(以下、標識魚)であり、例年と同様の割合であった。

春立は過去2番目に多い採捕尾数となった。例年、採捕個体に占める標識魚の割合は30%以下であるが、2023年では50%近い割合となった。

標識魚の内訳(表1)としては、虎杖浜・春立とも近隣の放流河川である静内川由来のサケ幼稚魚が大部分を占めた。また、最近では採捕されなかった本州由来のサケ幼稚魚が見られた。春立では、十勝川由来のサケ幼稚魚が72尾採捕され、調査開始以来最多の採捕尾数であった。

3. 体サイズ組成

2023年に採捕したサケ幼稚魚の尾叉長(以下、FL)を採捕日ごとに図5に示した。

虎杖浜では、5月中旬からFL5~7cm前後の個体が採捕され始め、5月下旬にかけて10cm近い大型個体も見られた。6月上旬の個体はFL5~7cm前後であり、6月中旬にFL6~10cmの個体を採捕して以後、採捕はなかった。船上からの目視による観察では、2020年、2021年は数十尾程度の群れ、2022年は数百から数万尾程度のサケ幼稚魚の群れ、2023年は数百程度の群れを確認した。

春立では5月下旬からFL5~14cm前後の個体が採捕され始め、6月上旬の前半には16cm前後の大型個体も採捕した。それ以後、6月中旬までFL6~11cmの個体を採捕したのち、6月下旬以後の採捕はなかった。FL12cm以上の個体は全て無標識魚であった。

4. 由来別の放流・採捕結果

・八雲さけます事業所（遊楽部川）標識魚（図 6）

3月中旬から4月下旬にかけて7パターンの標識群が遊楽部川へ放流され、全標識群が沿岸で採捕された。1個体が虎杖浜、残りが春立で採捕され、FL 8~10 cm 前後の個体であった。放流時期による沿岸での採捕サイズに明瞭な傾向はみられなかった。

・豊畑ふ化場（静内川）標識魚（図 7）

4月中旬から5月下旬にかけて5パターンの標識群が静内川へ放流され、全ての放流群が沿岸で採捕された。

虎杖浜では5月中旬から5月下旬まで採捕が見られ、5月上旬までの放流群が多く採捕された。5月下旬放流群が放流日前に採捕されたが、飼育池から逃げ出した個体と思われる。

春立では5月下旬から6月中旬まで採捕が見られ、全ての標識魚のサイズは6月上旬から中旬になるにつれて小型となった。各標識群を比較してみると、早い時期に放流された群ほど、早くから沿岸で採捕され、サイズも大型個体が多かった。逆に遅くに放流された群ほど、遅い時期に沿岸で採捕され、サイズも小型個体が多くなった。1つの標識群の採捕日ごとのサイズに着目しても、遅い時期になるほど小型となる傾向があった。

・静内さけます事業所（静内川）標識魚（図 8）

4月中旬から5月下旬にかけて6パターンの標識群が静内川へ放流され、全ての放流群が沿岸で採捕された。

虎杖浜では5月中旬から5月下旬まで採捕が見られ、5月上旬までの放流群が多く採捕された。5月下旬放流群は採捕されなかった。

春立では豊畑ふ化場標識魚と同様の採捕状況・傾向であった。静内さけます事業所標識魚の方が、放流時のサイズは若干小型であるが、沿岸での採捕サイズは同程度であった。

5. 考察

虎杖浜において、サケ幼稚魚は概ね8.0℃以上となる5月中旬から採捕され始め、13.0℃以上となる6月下旬以降に採捕できなくなった。沿岸水温8.0~13.0℃において多くのサケ幼稚魚を採捕したことは、過去の知見を支持する結果となった。春立では5月18日に8.0℃以上となったが、5月30日まで稚魚は採捕されなかった。例年同様の傾向であり、FL9 cm 前後の大型にならないと沿岸に分布できないのか、例年5月下旬に見られる大きな水温変化が影響しているのか解析が待たれる。

虎杖浜の採捕尾数は2022年より増加したが、適水温期間が2022年より若干長かったことが関係した可能性がある。春立は過去2番目の採捕尾数であったが、適水温期間は昨年より長かったわけではなく、適水温期間だけでは説明できない。ただ、適水温期間が一時的な水温低下で不連続となったことは、沿岸湧昇流などの潮流が関係した可能性も考えられ、それらの要因によりサケ幼稚魚の生残（採捕尾数）が高まったかもしれない。少なくとも、春立で採捕されたサケ幼稚魚に占める標識魚の割合が半分近いという点からも、放流稚魚にとっては悪くない沿岸環境であった推測される。

八雲さけます事業所由来の標識魚の結果から、3~4月放流の全標識群がFL 8~10 cm 前後で春立にて採捕された。サケ親魚の遡上が低迷している遊楽部川においては、放流時期を変更する等の対策を講じており、本試験では少なくとも3~4月放流群が、春立沿岸に適正なサイズで到達していることが確認できた。

静内さけます事業所・豊畑ふ化場由来の標識魚の結果から、放流が早い群ほど沿岸に早い時期・大型サイズで採捕され、放流が遅い群ほど沿岸に遅い時期・小型サイズで採捕された。海洋生活期に入ったサケ幼稚魚が最初に生息する渚帯の水温は沿岸よりも水温上昇が早いことから、渚帯の水温上昇に伴い大型個体から沿岸（定置網）に移動してくること

や、早い時期の放流群は虎杖浜方向に移動しながら沿岸で成長することも要因の一つと考えられる。

十勝川由来の標識魚が調査開始以来最多の採捕尾数となった。今後回帰する親魚の資源状況とも絡めながら、本結果を解析することが望まれる。

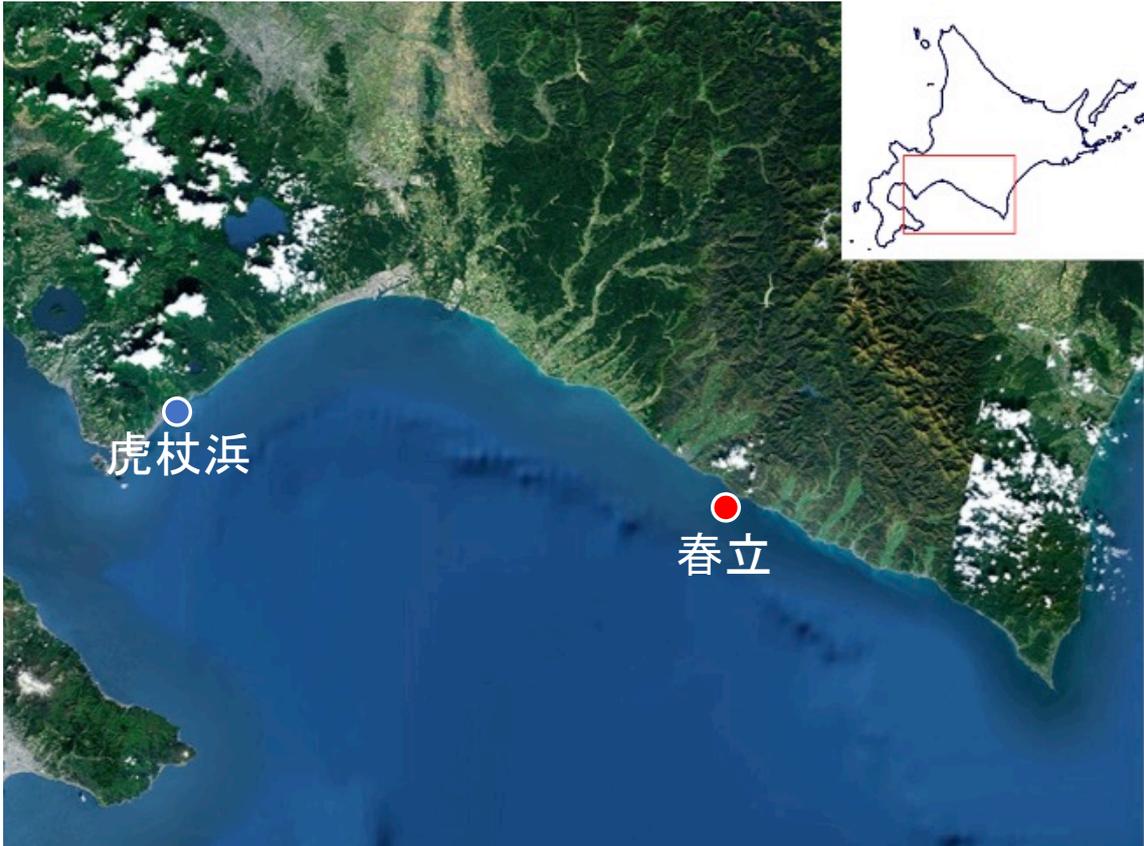


図 1. 調査場所

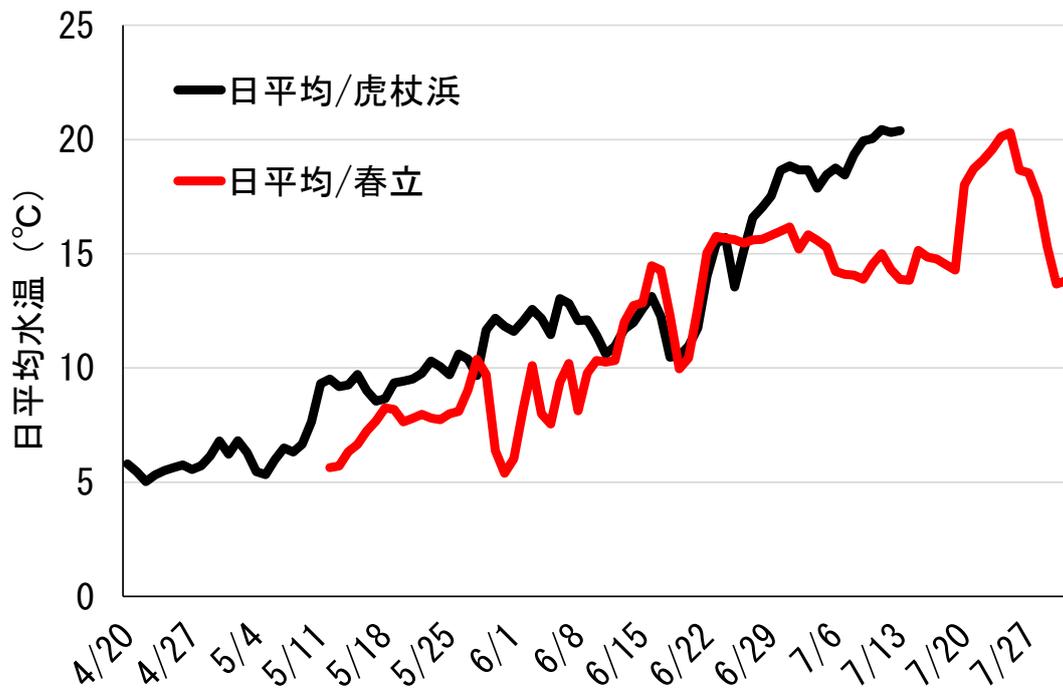


図 2. 2023 年春の虎杖浜と春立における日平均水温の推移 (水深 3 m 下)

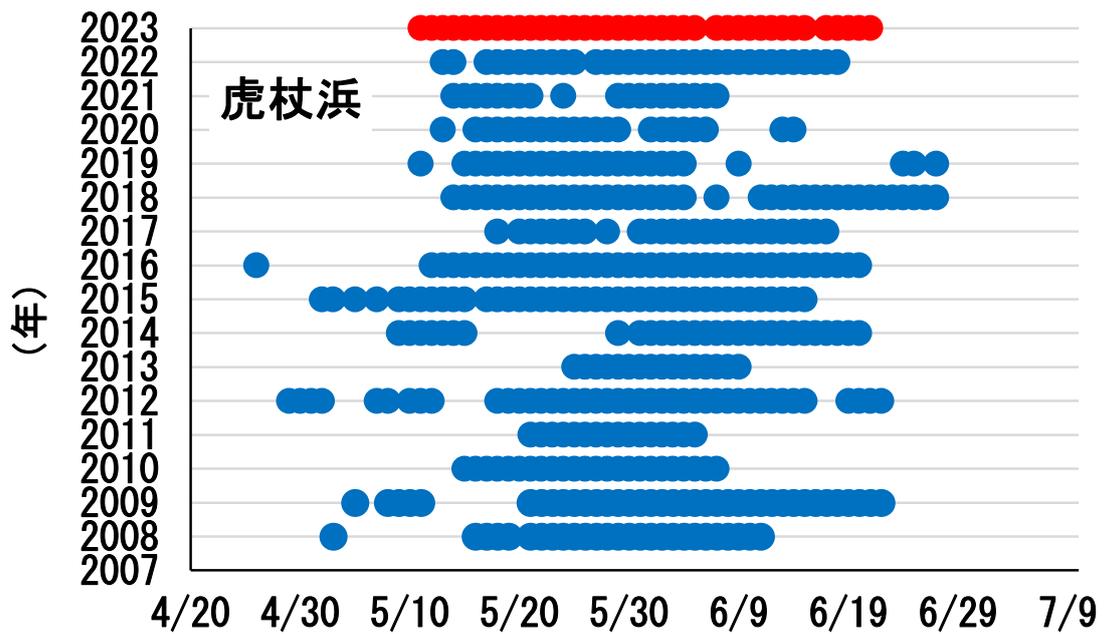
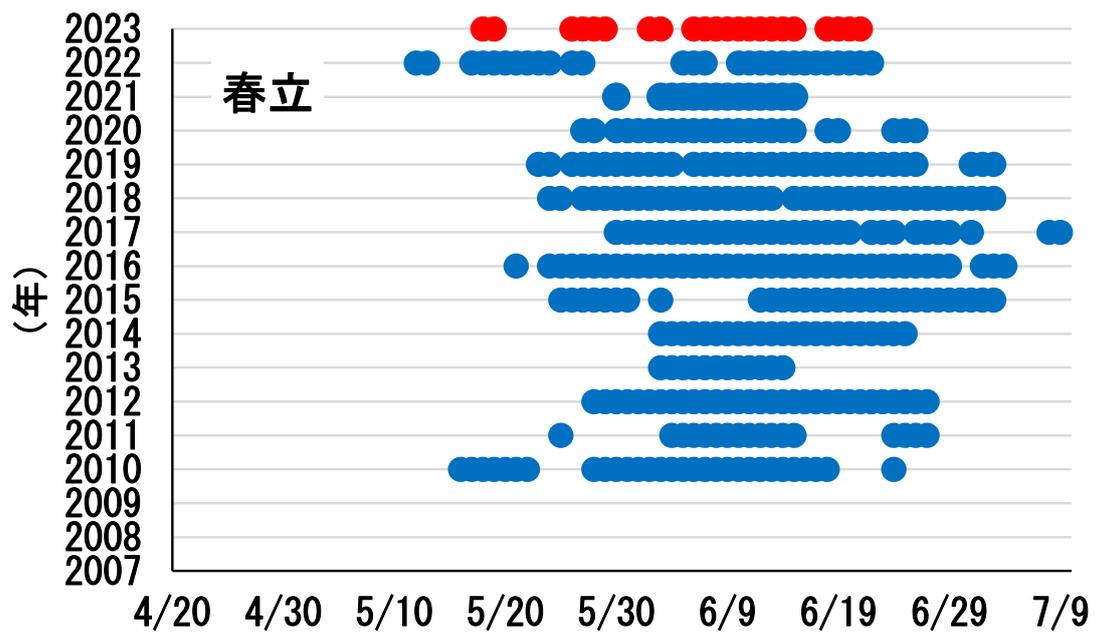


図3. 虎杖浜と春立における沿岸水温 8.0~13.0℃期間の経年変化

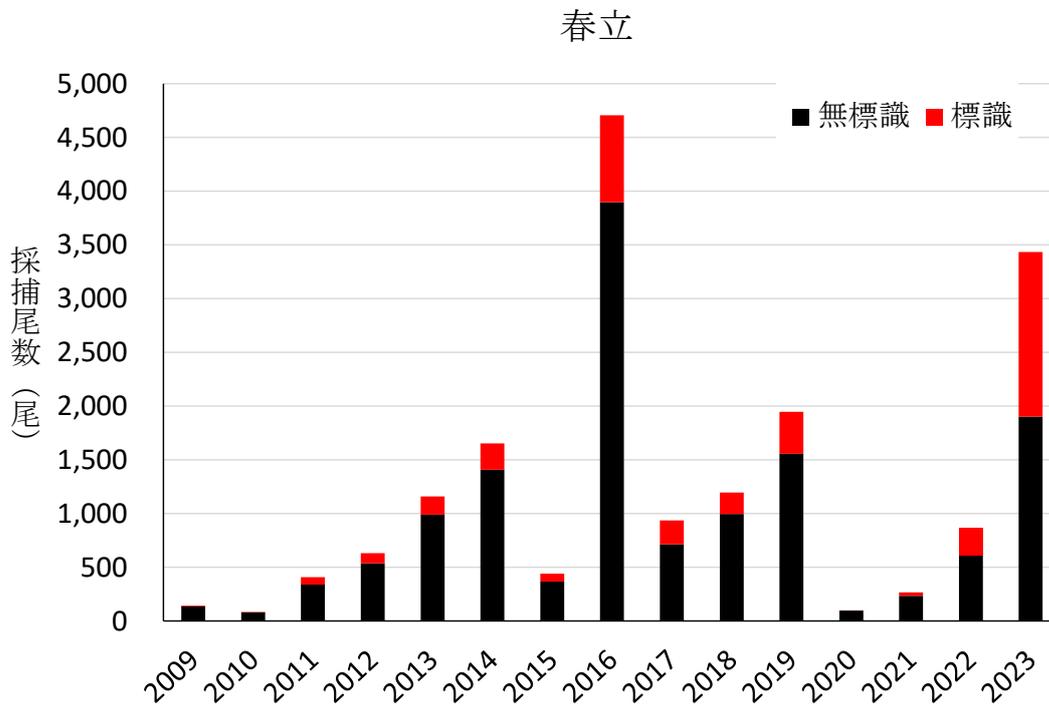
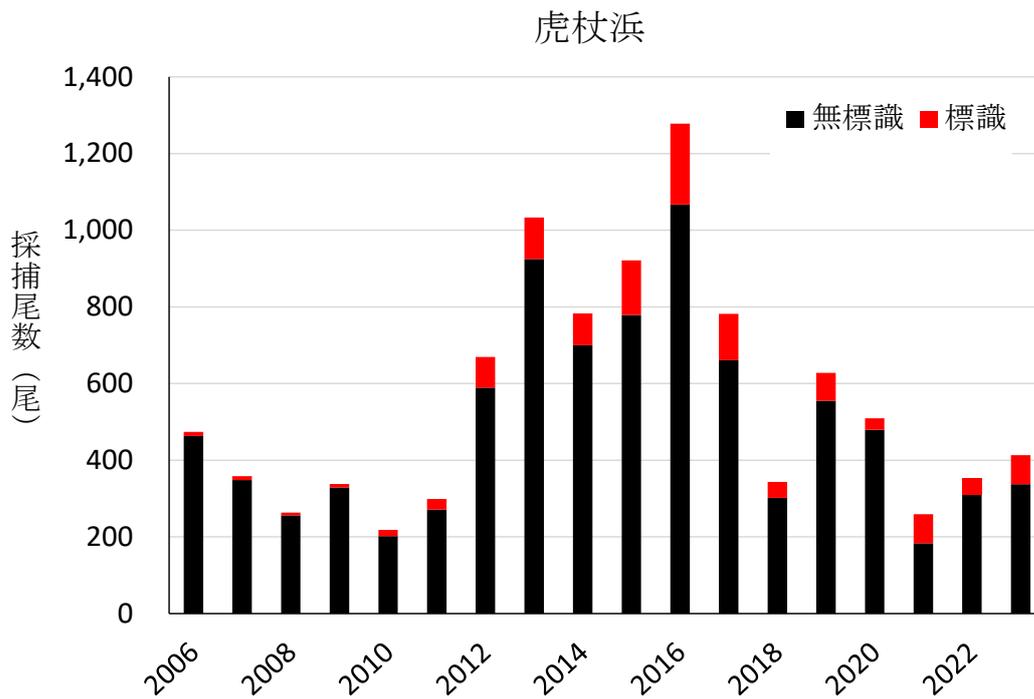


図4. 虎杖浜と春立における採捕尾数、標識魚と無標識魚の推移

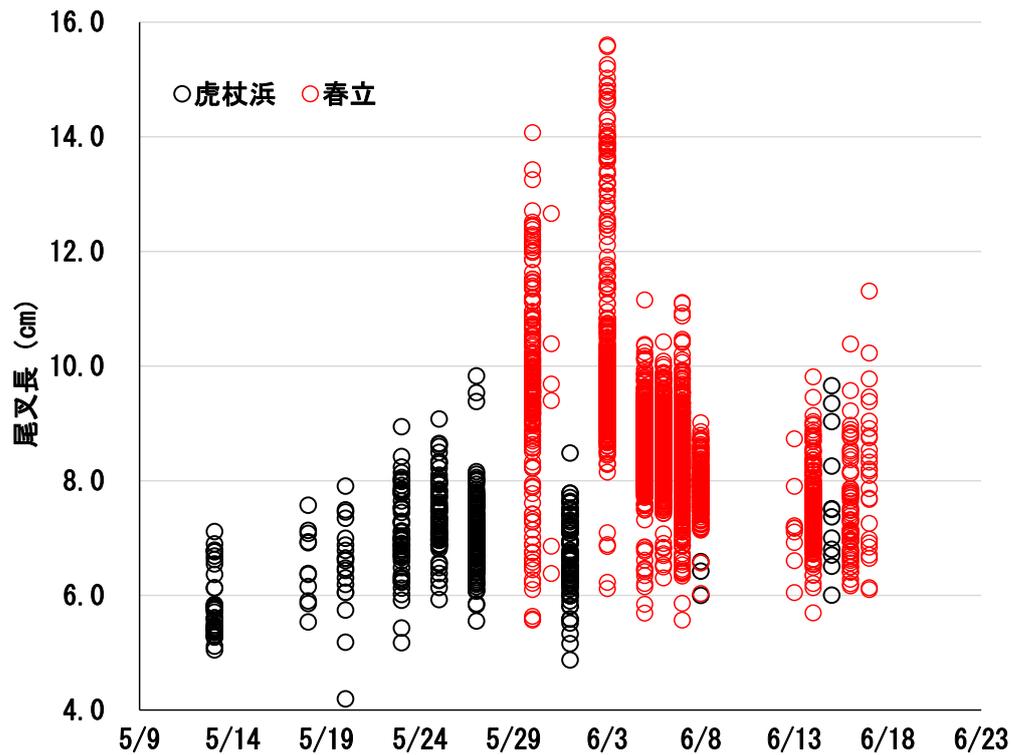


図 5. 2023 年春の虎杖浜と春立における採捕日と尾叉長の推移

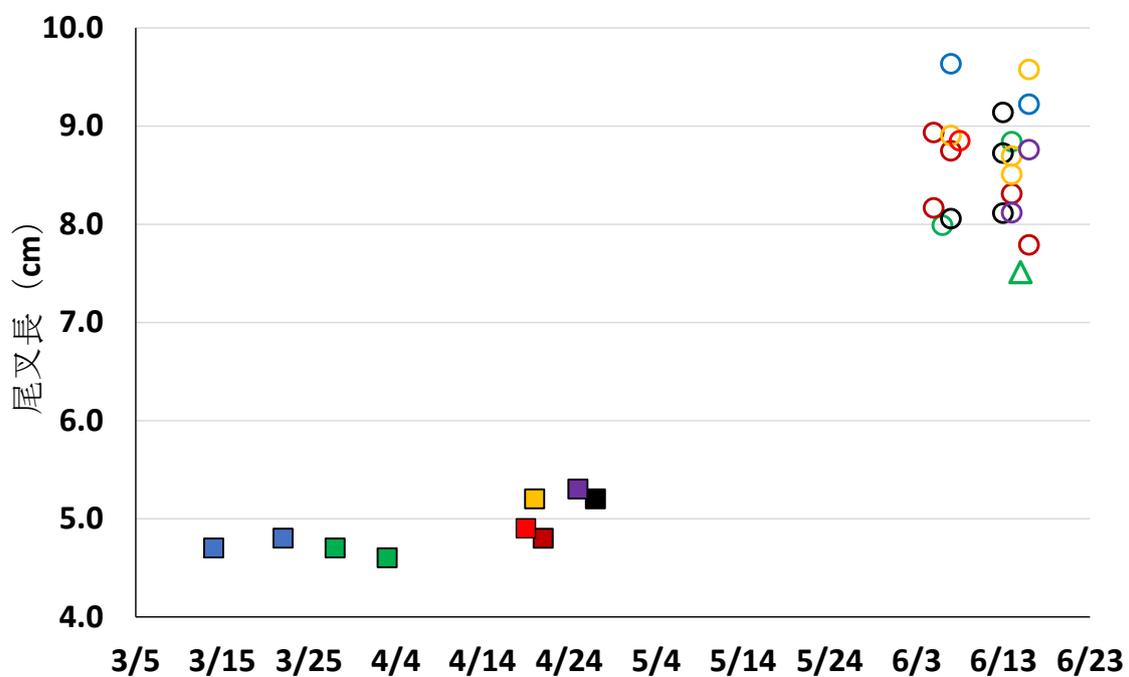


図 6. 八雲さげます事業所からの放流状況、及び沿岸（虎杖浜、春立）での採捕結果
 ※■のプロットは各標識群の放流日と尾叉長を示す。△、○のプロットはそれぞれ虎杖浜沿岸、春立沿岸での採捕日と尾叉長を示す。いずれも標識コード別に色分けしている。

表 1. 2023 年 サケ幼稚魚由来別採捕尾数

| 地点 | 期間 | 耳石温度標識魚数 (放流水系・ふ化場別) | | | | | | | | | | 単位 (尾) | |
|-----|-----------|----------------------|-----------|------------|-------------------|-----------------------------|---------------------|------------------------|--------------------------------|--|-------------------|--------|-------------|
| | | 静内川 静内 | 知内川 知内 | 遊楽部川 八雲 | 十勝川 更別第2 十勝 | 釧路川 芦別、 オソツベツ、 美留和 | 厚内漁港 札内、 更別第1 | 遊楽部川、 敷生川、 日高標別川 | 日高標別川、 敷生川、 知内川、 遊楽部川 | 天塩川、信砂川、 尻別川、鶴別川、 沙流川、戸切地川、 樺津川、釧路川、 十勝川 | 気仙沼 大川 (宮城) | | 熊野川 (岩手) |
| 虎杖浜 | 5/13-6/15 | 13 | 23 | 1 | 1 | 2 | 8 | 13 | 16 | 1 | 1 | 1 | 337 |
| 春立 | 5/30-7/4 | 513 | 490 | 20 | 41 | 1 | 6 | 73 | 87 | 5 | 5 | 2 | 1,907 |

1)-a)-④. 定置網等における稚魚採捕調査 2 (北海道太平洋岸えりも以東)

執筆者：水産資源研究所 さけます部門 資源増殖部 山谷和幸

【目的】

春定置網に蝟集するサケ幼稚魚を採捕する。採捕したサケ幼稚魚の耳石温度標識の確認や遺伝分析により地理的起源（放流地域）の推定を行う。また、耳石日周輪解析による降海・成長履歴の把握や調査データの分析などを通じて、放流魚（耳石温度標識魚）の生残条件について検討する。

【方法】

大樹沿岸に敷設された春定置網を対象として、網の揚網時に蝟集するサケ幼稚魚をたも網で採捕した。また、調査対象の定置網の水深 3m 下に記録式水温計を設置して 1 時間間隔で海水温を記録した。

春定置網を対象にした調査は、2016 年から 2022 年の期間で実施したが、サケ幼稚魚の採捕が極めて少ないことから 2023 年から春定置網調査は止め、サケ幼稚魚を捕食するタラ等の胃内容物調査に移行した。

【結果及び考察】

今年度はタラ等の捕食者からサケ幼稚魚サンプルが得られなかったこと、また来年度から実施しないことから、総括報告とする。

図 1 のとおり、2016 年から 2022 年の春定置網を対象とした 7 年間で採捕されたサケ幼稚魚数は 344 尾であった。2020 年に 100 尾以上のサケ幼稚魚が採捕された以降、まとまった数のサケ幼稚魚は採捕されていない。なお、2022 年は春定置網でサケ幼稚魚を確認出来ず、大樹港内においてたも網を用いて採捕したサケ幼稚魚の尾数となっている。たも網で採捕されたサケ幼稚魚における耳石温度標識確認結果を表 1 に示した。耳石温度標識が施標されたサケ幼稚魚（以下、標識魚）の数は僅かではあるが、大樹沿岸の近隣ふ化場から放流されたサケ幼稚魚が多くを占めることが判明した。

春定置網でのサケ幼稚魚の採捕が極めて少ないことから、水揚げされる漁獲物の中で、サケ幼稚魚を捕食していると考えられるタラ等の胃内容物調査を 2016 年から実施し、サケ幼稚魚を収集した結果を図 2 に示す。胃内容物調査では 2019 年のようにサケ幼稚魚を 300 尾以上収集した年もあるが、殆どの年で 50 尾以下の収集となった。また、2023 年はサケ幼稚魚の主な捕食魚であるマダラの漁獲が少ないこともあり、サケ幼稚魚サンプルは得られなかった。胃内容物から収集したサケ幼稚魚のうち耳石温度標識の確認が出来た個体の由来を表 2 に示した。なお、胃内容物から収集されたサケ幼稚魚のほとんどは消化が進み、耳石採取が出来ない個体や、体サイズの確認が出来ない個体が多く、耳石温度標識魚の確認が極めて困難であった。耳石温度標識確認結果ではえりも以東海区やえりも以西海区から放流された標識魚や、数は少ないが岩手県内から放流された個体が 2019 年及び 2022 年の調査で確認された。

近年は春定置網で確認されるサケ幼稚魚が極めて少ないこと、またサケ幼稚魚を捕食しているマダラの漁獲が皆無に近い年もあることから、調査継続が困難な状況が続いている。本調査ではえりも以西、えりも以東及び本州太平洋側を放流由来とするサケ幼稚魚データなどが得られたが、このような状況もあることから今年度をもって大樹沿岸での稚魚採捕調査を終了する。

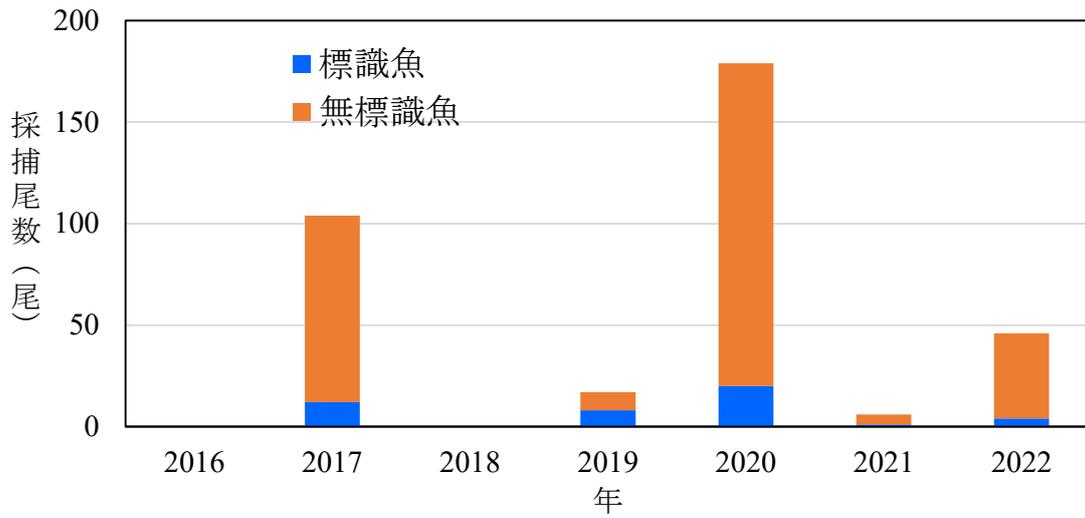


図1. 2016年～2022年にたも網で採捕されたサケ幼稚魚尾数と耳石温度標識確認結果

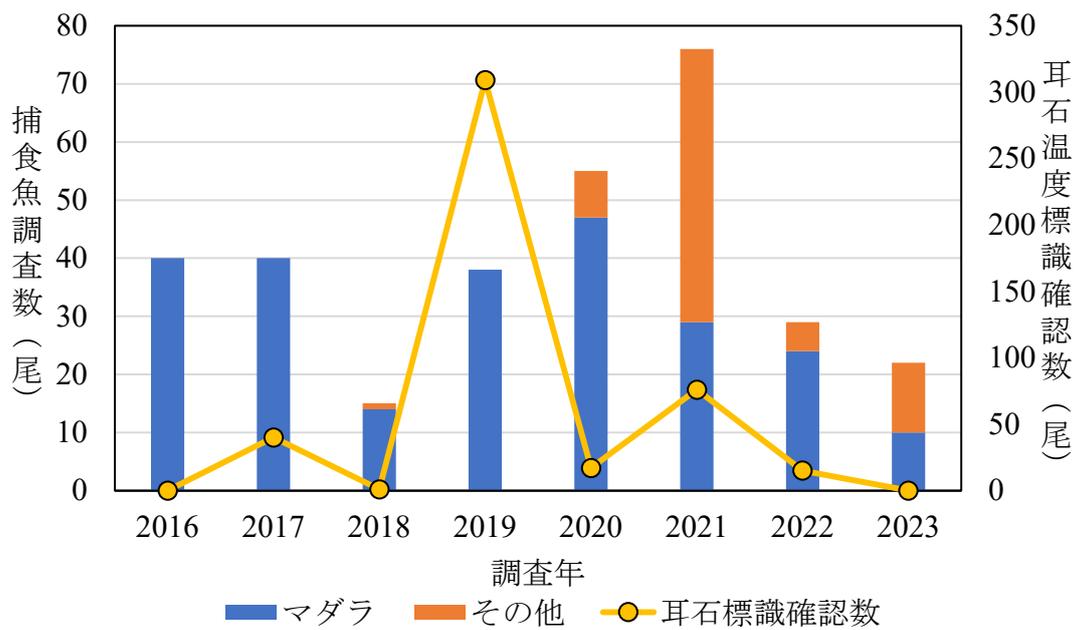


図2. 胃内容物調査における捕食魚の調査尾数と収集したサケ幼稚魚尾数

表 1. たも網で採捕された耳石温度標識魚の放流由来内訳

| 調査年 | 調査月 | 採捕尾数 | 標識魚数 | 標識魚割合 | 放流由来 | 放流由来尾数 | 内訳（まとめ） |
|------|------------|------|-------|-------|----------------|---------|----------------|
| 2016 | 5/下旬～7/月上旬 | 0 | | | | | |
| 2017 | 6/中旬 | 29 | 2 | 6.9% | 十勝 鶴居 | 1 1 | 十勝 5 鶴居 1 |
| | 6/下旬 | 50 | 4 | 8.0% | 十勝 静内 | 2 2 | 広尾 2 静内 2 |
| | 7/月上旬 | 25 | 6 | 24.0% | 十勝 広尾 | 2 2 | えりも漁港 1 |
| | | | | | えりも漁港 えりも以西 | 1 1 | えりも以西 1 |
| | | 104 | 12 | | | 12 | |
| 2019 | 6/月上旬 | 2 | 1 | 50.0% | 豊畑 | 1 | |
| | 6/中旬 | 7 | 2 | 28.6% | 十勝 えりも以西 | 1 1 | 十勝 2 鶴居 1 |
| | 6/下旬 | 8 | 5 | 62.5% | 十勝 鶴居 | 1 1 | 豊畑 2 |
| | | | | | 豊畑 えりも以西 | 1 2 | えりも以西 3 |
| | | 17 | 8 | | | 8 | |
| 2020 | 5/下旬 | 65 | 1 | 1.5% | 十勝 | 1 | |
| | 6/月上旬 | 108 | 18 | 16.7% | 十勝 鶴居 | 16 1 | 十勝 18 鶴居 1 |
| | | | | | 芦別 | 1 | 芦別 1 |
| 6/下旬 | 6 | 1 | 16.7% | 十勝 | 1 | | |
| | | 179 | 20 | | | 20 | |
| 2021 | 6/月上旬 | 3 | 0 | 0.0% | | | 十勝 1 |
| | 6/下旬 | 3 | 1 | 33.3% | 十勝 | 1 | |
| | | 6 | 1 | | | 1 | |
| 2022 | 5/中旬 | 46 | 4 | 8.7% | 十勝 更別第2 | 1 1 | 十勝 1 更別第2 1 |
| | | | | | 美留和 | 2 | 美留和 2 |
| | | 46 | 4 | | | 4 | |
| 合計 | | 352 | 45 | 12.8% | | | |

表 2. 胃内容物調査で確認されたサケ幼稚魚の耳石温度標識確認結果

| 放流由来 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| えりも以東 | | | | | | | | |
| 釧路川 | | | | 10 | | | | |
| 十勝川 | | 1 | | 24 | | | 3 | |
| 広尾川 | | | | 2 | | | | |
| えりも以西 | | | | | | | | |
| えりも漁港 | | | | 2 | 1 | | | |
| 静内川 | | 2 | | 10 | | | | |
| 豊畑川 | | 1 | | | | | | |
| 遊楽部川 | | | | 1 | | | | |
| 知内川 | | | | 1 | | | | |
| 統一コード | | | | | 3 | | | |
| 日高・胆振・道南地区 | | | | 4 | | | | |
| オホーツク東部 | | | | | | | | |
| 斜里川 | | 1 | | | | | | |
| 本州太平洋 | | | | | | | | |
| 岩手県 | | | | 1 | | | 1 | |
| 無標識 | | 35 | 1 | 254 | 13 | 76 | 11 | |
| 年合計 | 0 | 40 | 1 | 309 | 17 | 76 | 15 | 0 |

1)-a)-⑤. 港湾における稚魚採捕調査 1 (北海道昆布森漁港)

執筆者：水産資源研究所 さけます部門 資源増殖部 大橋 亮介

【目的】

本調査では、主に鶴居さけます事業所及び芦別ふ化場から釧路川に放流されたサケ幼稚魚を昆布森漁港周辺で採捕することで降海初期におけるデータ収集を目的とする。

また、放流されたサケ幼稚魚の一部には放流時期や放流サイズ毎に異なる耳石温度標識を施標していることから、放流後の成長速度を解析することで釧路川における最適な放流時期・サイズを探る手がかりとする。

【方法】

調査は昆布森漁港沖及び漁港内において5月中旬～5月下旬の期間に週1回、合計3回実施した(図1)。日没後(19時～22時)に投光器を海面に照射し、集まったサケ幼稚魚をたも網で採捕(図2)するとともに、表面水温を測定した。採捕したサケ幼稚魚は根室さけます事業所に持ち帰り、生鮮状態で魚体測定を行った。耳石を採取し、耳石標識から放流由来を調べた。

【結果及び考察】

1. サケ幼稚魚の採捕状況及び耳石温度標識確認結果

調査年ごとのサケ幼稚魚の採捕尾数の推移を図3に、2023年の調査時期ごとの採捕尾数を図4に示す。2023年の採捕尾数は613尾となり、調査が始まった2019年以降では最も多かった。表面水温は8.0～8.8℃で、調査開始当初からサケ幼稚魚にとって適した水温帯であった。5月18日調査及び5月24日調査については十分な数のサンプルを採捕できたため21時頃に調査を終了し、5月30日調査は21時以降にサケ幼稚魚がほぼ見られなくなったため22時を待たず終了した。こうした採捕状況から、5月18日及び24日調査時は5月30日調査時に比べてサケ幼稚魚の分布が多かったものと推察される。

耳石を採取できた611尾について耳石温度標識の確認を行った結果、耳石温度標識施標魚(以下、標識魚)は43尾(標識魚発見率7.0%)で、すべてが釧路川由来であった(表1)。ごく沿岸域で行われる本調査においては過去4年間を遡っても釧路川由来以外の標識魚の発見は静内川由来の1個体のみであることから、調査期間である5月中旬～6月上旬における昆布森漁港沖周辺のごく沿岸域は主に釧路川由来や近隣河川由来のサケ幼稚魚が利用しているものと考えられる。

2. 体サイズ及び日間成長率について

2023年に採捕されたサケ幼稚魚の平均尾叉長は5.8cm、平均魚体重は1.72gで、尾叉長・魚体重ともに調査開始以降2番目に低い値となったが、釧路地区全体の放流サイズが過去と比較して小さいためと考えられる(表2)。また、平均肥満度は8.6であり過去4年間の平均と同程度だったが、過去の採捕魚と比較して肥満度の低い個体が5月24日の調査で多く捕獲されており、肥満度6.0を下回る個体も確認された(図5、図6)。

2023年調査日ごとの体サイズは5月18日及び24日調査は同程度のサケ幼稚魚が採捕されており、5月30日調査で大きくなっている(図7)。放流時の加重平均尾叉長を基に算出した標識別の日間成長率を図8に示す。標識コード2-4Hや2-1-7Hについて、5月18日調査と比較して5月24日調査は変わらないかやや低くなっている一方で、今回確認された標識コード全てについて5月30日調査は5月18日及び5月24日調査と比較して高い値を示している。

これらのことについて三つの要因が考察できる。まず一つ目として、時期ごとの沿岸環境の変化が考えられた。5月24日調査で肥満度の低い個体が標識魚無標識魚問わず採捕されており、標識魚の日間成長率においても低い値となっていることから、少なくとも5月24

日以前の沿岸環境がサケ幼稚魚にとって適さなかった可能性が考えられた。一方で5月30日調査では日間成長率が高く、肥満度も高い個体が多く採捕されていることから、生息環境としてはサケ幼稚魚に適した環境へと推移した可能性がある。しかしながら、5月24日調査時に日間成長率0.2%だったものが5月30日調査時に0.6%程度まで上昇するにはその間を3%程度の成長速度で成長することが必要になり、餌料環境がごく短期間で好転したとは考えにくい。

二つ目として、昆布森漁港沖周辺のサケ幼稚魚体サイズ組成が変化した可能性がある。本調査よりも沖合で実施する昆布森沿岸調査では、沖側ほど採捕されるサケ幼稚魚の体サイズが大きくなる傾向があり、過去の知見からもサケ幼稚魚は成長とともに沖合に移動することが明らかとなっている。5月18日及び5月24日調査時には主に4月中旬以前に放流された群の標識魚が採捕されており、これらの標識群の内、成長の良い個体はより沖側へと移動し、成長の悪い個体がごく沿岸にとどまっていた可能性がある。また、5月30日調査ではこれまでの調査で確認されなかった標識魚が多数確認されており、それらは主に4月下旬以降に放流された群であること、採捕されたサケ幼稚魚の肥満度等も低くないことから、昆布森漁港沖周辺のサケ稚魚体サイズ組成に変化があった可能性がある。

三つ目として餌の競合が起こった可能性が考えられる。図8で日間成長率0.1%程度を示している3つの耳石温度標識はいずれも4月中旬～4月下旬に放流されている。採捕されたサケ幼稚魚それぞれの日間成長率を放流旬ごとに表したものを図9に示すが、同様に4月中旬～下旬で低い値を示している。2023年春の釧路川の放流数は4月中旬～4月下旬がピークとなっており日間成長率が低下している期間と一致する。そこで、2023年の標識魚が放流された旬に釧路川へ放流されたサケ稚魚の数と標識魚の日間成長率の関係を調べた結果、負の相関が示された(図10、 $p<0.05$)。なお、図に示してはいないが程度の標識魚が得られた2020年級についても同様の関係が見られている。

近年親潮の勢力が弱く、沖合の沿岸調査で行うプランクトン調査においてはサケ幼稚魚が好む冷水性動物プランクトンが少ないことが明らかになっている。短期間の放流数が多くなることで、ごく沿岸域において餌生物の競合が起こり、サケ稚魚の降海直後の成長が悪化した可能性が示唆された。一方、解析した標識魚は過去と比較して多かったものの耳石温度標識の種類によっては1個体のみ確認にとどまるなど未だ少ない。また、今回の日間成長率は放流時の平均尾叉長から算出しているため、耳石日周輪を用いたより詳細な解析が必要である。

釧路川では近年、民間ふ化場からも標識魚が放流されることで解析可能なサンプル数が増えており、様々な角度からの解析が可能となった。今回の調査で放流数と日間成長率に負の相関があることが示されたことは、最適な放流時期や体サイズを探るうえで重要な情報となり得る。本調査の開始にあたる2018年級が5年魚で回帰していることから、今後降海初期の成長率が回帰率に与える影響を検討することで、近年の放流数との関係を確かめられるものと考えられる。

引き続き調査データを蓄積するとともに、本事業の沿岸調査や継続実施している釧路川河口調査の結果等も複合的に用いて、釧路川における最適な放流時期や体サイズあるいは放流体制を探る必要がある。



図1. 2023年昆布森夜間調査の調査地点

出典：国土地理院ウェブサイト (<https://maps.gsi.go.jp/>)。地理院タイル（電子国土基本図）に調査地点を追記して掲載。



図2. 調査に用いた器具・機材

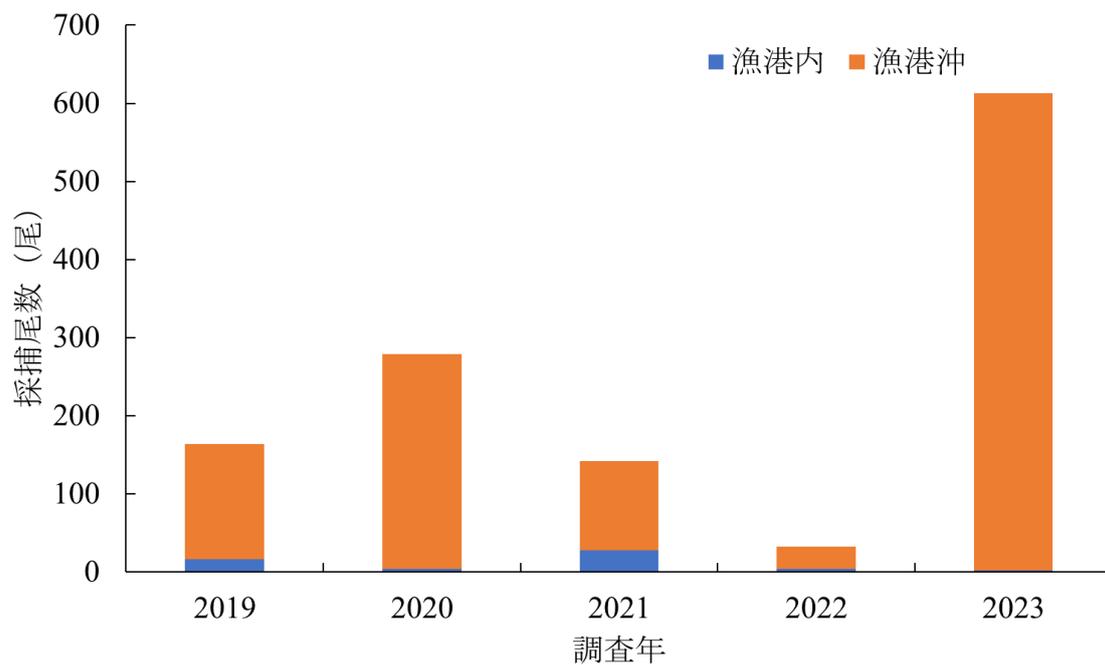


図 3. 2019 年～2023 年昆布森夜間調査におけるサケ幼稚魚採捕尾数

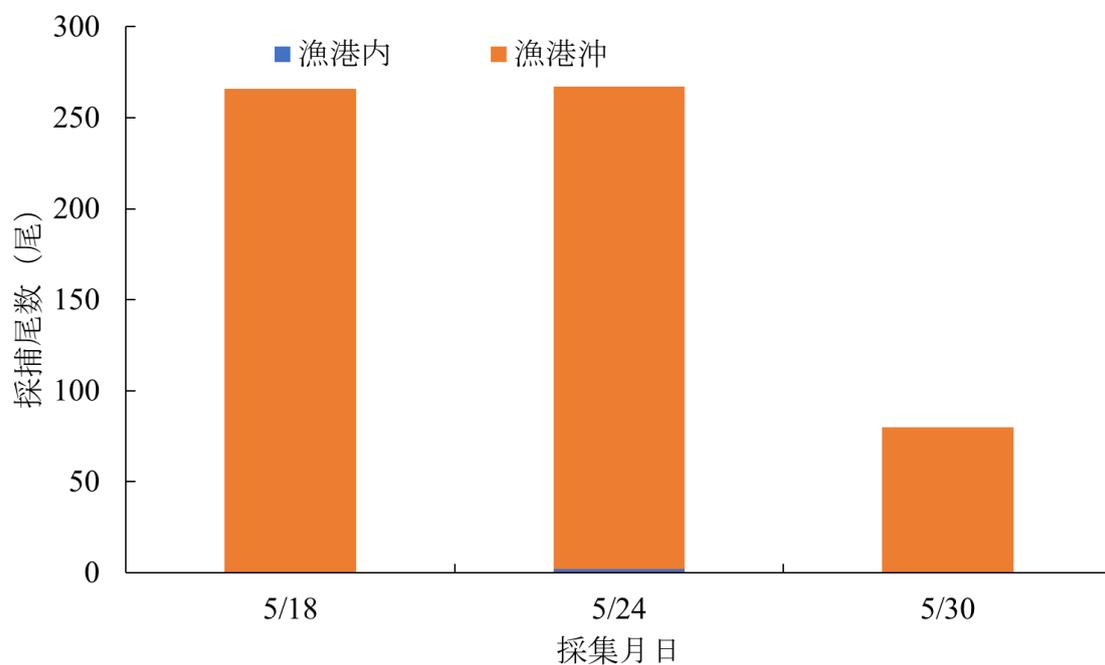


図 4. 2023 年昆布森夜間調査における調査時期ごとのサケ幼稚魚採捕尾数

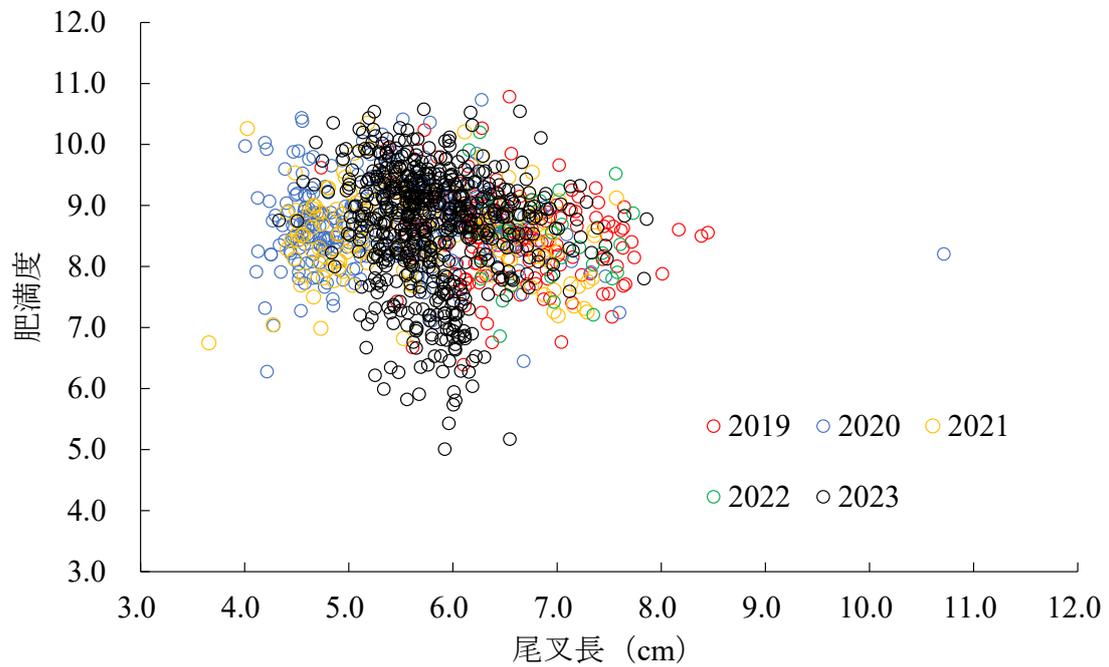


図 5. 2019 年～2023 年昆布森夜間調査における採捕魚の尾叉長と肥満度の分布

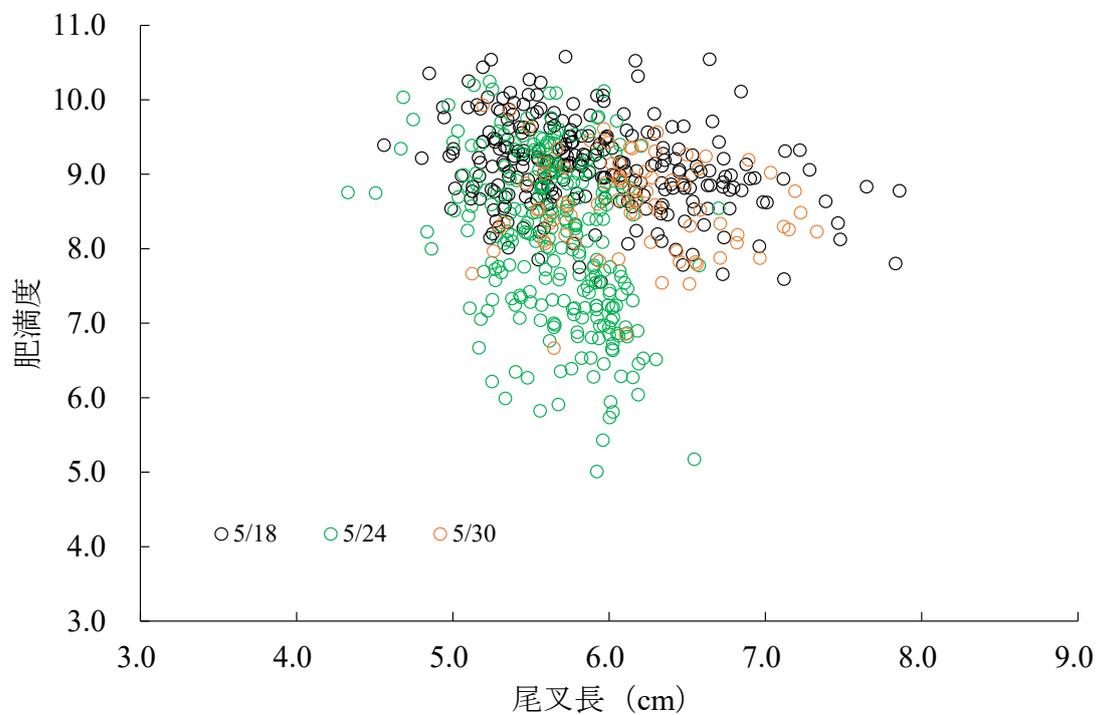


図 6. 2023 年昆布森夜間調査における調査時期ごとの尾叉長と肥満度の分布

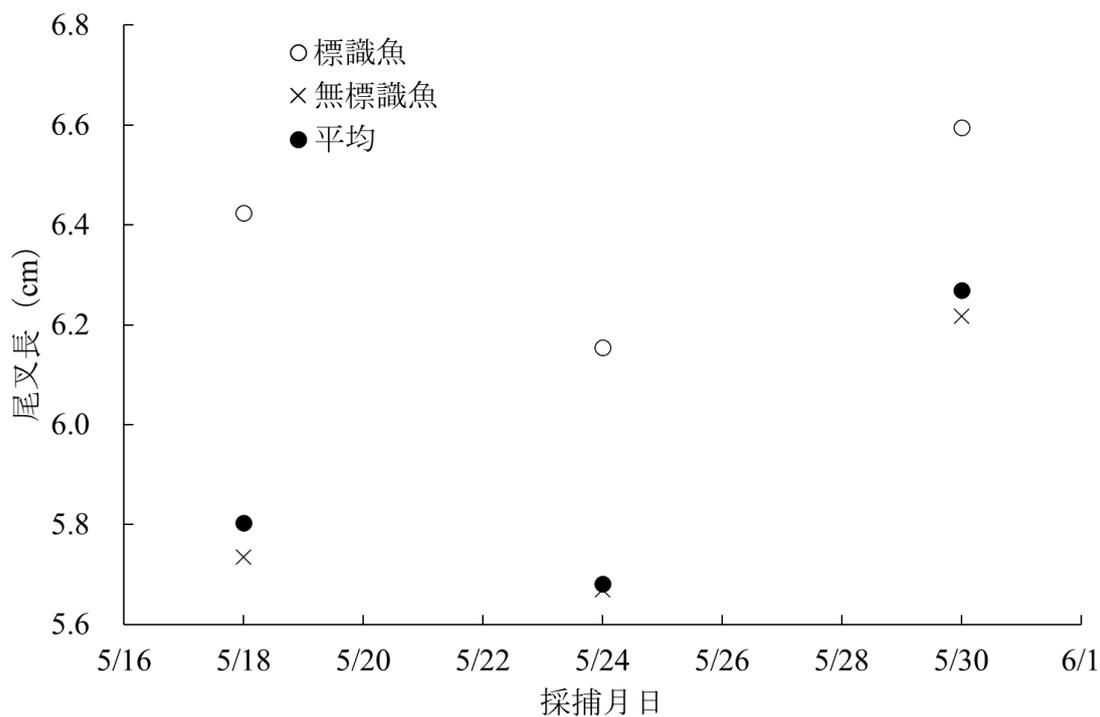


図 7. 2023 年昆布森夜間調査における調査時期ごとの尾叉長

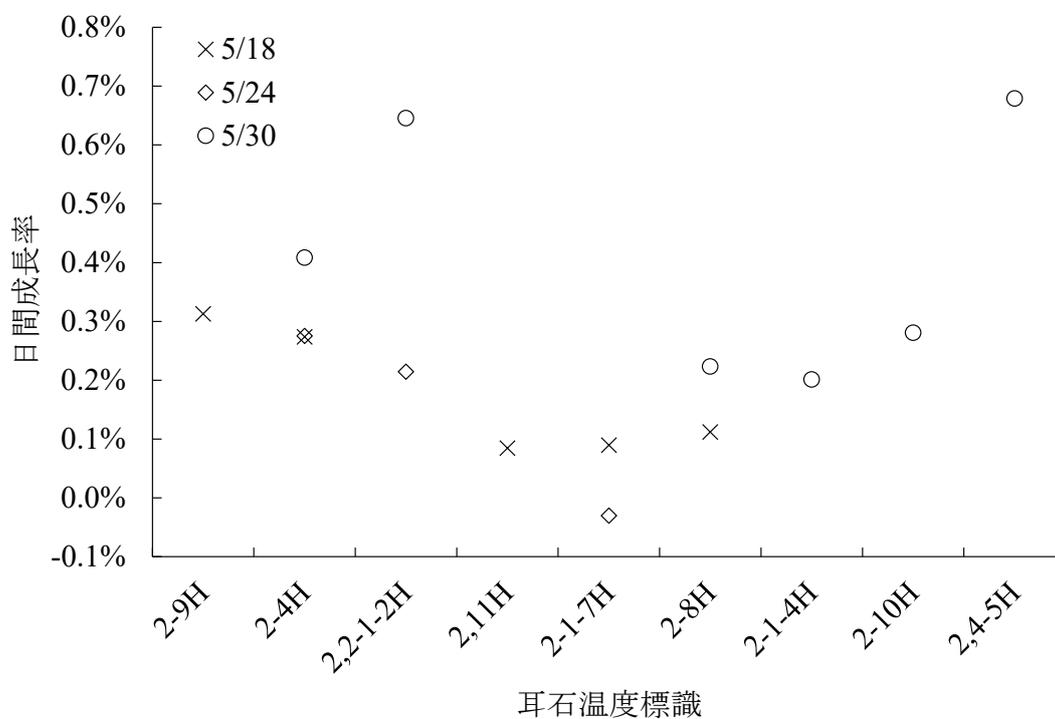


図 8. 2023 年昆布森夜間調査における耳石温度標識ごとの平均日間成長率

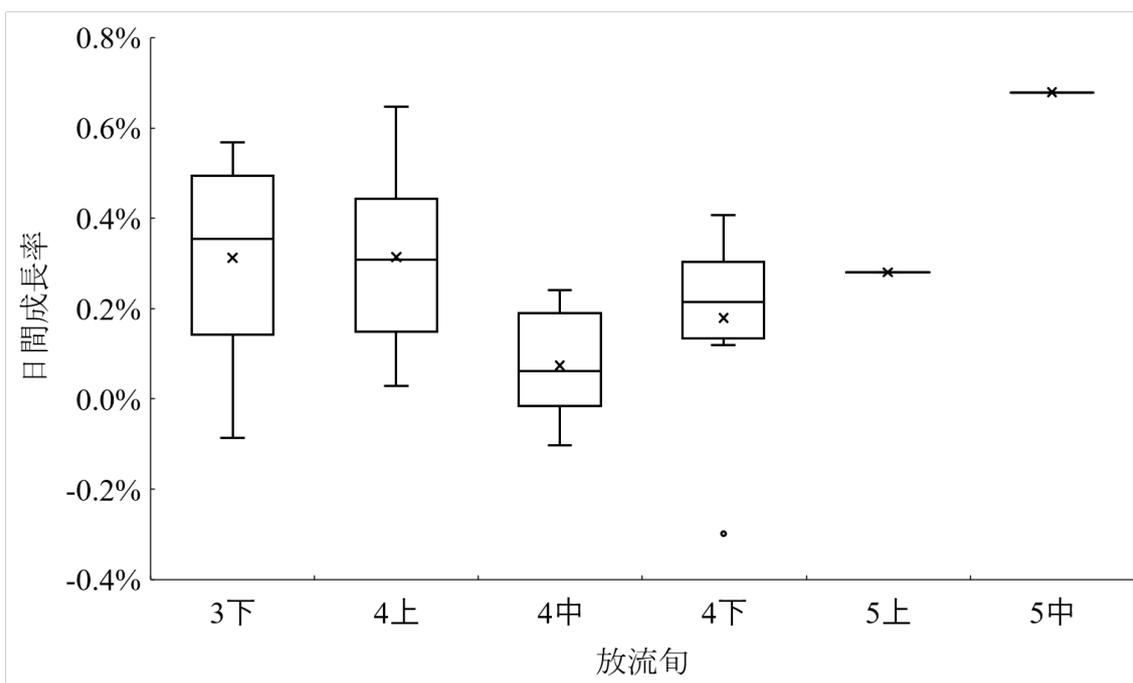


図 9. 2023 年昆布森夜間調査における放流旬ごとの日間成長率

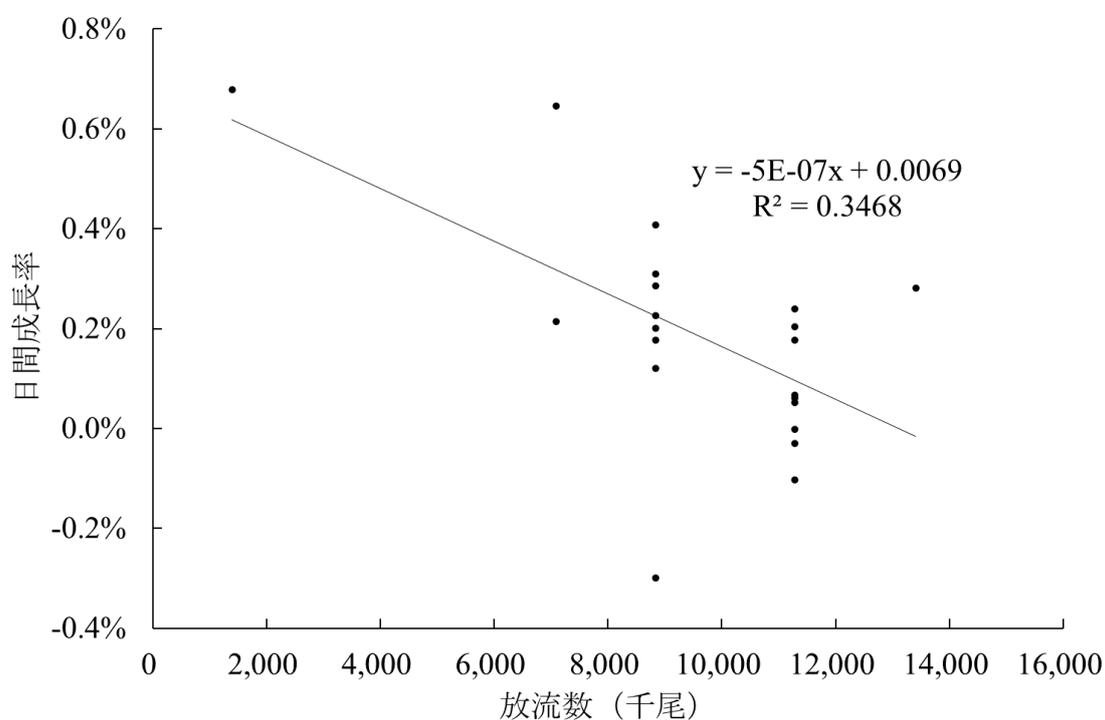


図 10. 2023 年の釧路川放流数と日間成長率の関係

各プロットは標識魚を示し、釧路川放流数は該当標識魚が放流された旬の総放流数を示す。ただし、2-4H については 3 月 15 日～4 月 15 日の期間で、2-9H は 3 月 11 日及び 4 月 1 日に放流が行われていることから除外した。

表 1. 2023 年に昆布森夜間調査で採捕されたサケ幼稚魚の調査時期ごとの採捕尾数及び放流概況

| 放流 河川 | 放流ふ化場 | 耳石標識 | 放流概況 | | | | 採捕日 | | |
|-------------|-----------------|----------|-----------|--------------|--------------|-------------|------|------|------|
| | | | 放流 平均日 | 放流尾数 (千尾) | 放流FL (cm) | 放流BW (g) | 5/18 | 5/24 | 5/30 |
| 釧 路 川 | オソツベツ | 2,2-1-2H | 4/10 | 534 | 5.8 | 1.63 | | 1 | 1 |
| | | 2-1-4H | 4/28 | 800 | 5.8 | 1.50 | | | 1 |
| | 芦別、美留和 オソツベツ | 2-4H | 4/2 | 12,459 | 5.3 | 1.36 | 9 | 4 | 3 |
| | | 2-9H | 3/25 | 1,544 | 6.0 | 1.68 | 6 | | |
| | 鶴居 | 2,11H | 4/11 | 1,016 | 6.4 | 2.11 | 4 | | |
| | | 2-1-7H | 4/11 | 1,013 | 6.1 | 1.74 | 4 | 1 | |
| | | 2-8H | 4/25 | 2,026 | 5.9 | 1.74 | 3 | | 4 |
| | | 2-10H | 5/2 | 2,130 | 5.7 | 1.55 | | | 1 |
| | | 2,4-5H | 5/12 | 1,396 | 5.6 | 1.40 | | | 1 |
| | | | 小計 | | | | | 26 | 6 |
| | | 無標識 | | | | | 238 | 261 | 69 |
| | | 合計 | | | | | 264 | 267 | 80 |

※放流日・放流時尾又長・放流時魚体重は加重平均値

表 2. 2019 年～2023 年昆布森夜間調査で採捕されたサケ幼稚魚の平均尾又長、平均魚体重及び平均肥満度

| | 放流時 | | | 採捕時 | | |
|------|---------------|--------------|-------|---------------|--------------|-------|
| | 平均尾又長 (cm) | 平均魚体重 (g) | 平均肥満度 | 平均尾又長 (cm) | 平均魚体重 (g) | 平均肥満度 |
| 2019 | 5.1 | 1.1 | 8.3 | 6.2 | 2.13 | 8.7 |
| 2020 | 5.3 | 1.3 | 8.6 | 5.1 | 1.20 | 8.6 |
| 2021 | 5.5 | 1.4 | 8.4 | 6.7 | 2.60 | 8.5 |
| 2022 | 5.8 | 1.7 | 8.5 | 6.7 | 2.72 | 9.0 |
| 2023 | 5.2 | 1.3 | 8.9 | 5.8 | 1.72 | 8.6 |

1)-a)-⑥. 港湾における稚魚採捕調査 2 (北海道宗谷港)

執筆者：水産資源研究所 さけます部門 資源増殖部 濱崎薫

【目的】

さけます稚魚の分布状況や生息環境等について、沿岸域の調査海域で備船を用いたモニタリングを実施するとともに、春定置網や港湾に蝟集するさけます稚魚を定期的に採捕する。採捕したさけます稚魚を用いて、耳石温度標識の確認や遺伝分析により地理的起源（放流地域）の推定を行い、それらの移動時期・経路・体サイズなどの変遷を把握する。また、耳石日周輪解析による降海・成長履歴の把握や調査データの分析などを通じて、放流魚（耳石温度標識魚）の生残条件について検討する。

【方法】

宗谷港での調査は、5月10日～6月26日の期間に合計12回、それぞれ調査員3～4名で2時間30分程度行った。日没後、防波堤上から港内に向けて集魚灯を点灯し、灯下に寄ってきたサケ幼稚魚をたも網を用いて採捕した。

調査時は環境観測として、塩分・水温計にて調査地点の表層及び底層の海水温と塩分を測定するとともに、調査地点付近（水深1.5m前後）に記録式水温計を設置して1時間間隔で海水温の連続観測を行った。

2021年度まで調査を行っていた地点が物理的要因により進入不能となったため、2022年度からは図1に示す地点で調査を実施した。また、今年度から荒天時の予備地点として調査地点を追加した。

【結果及び考察】

1. さけます稚魚採捕結果

幼稚魚採捕は5月10日～6月26日の間に計12回行い、サケ幼稚魚846尾を採捕した（図2）。このうち、荒天により5月11日は予備地点で調査を行い、採捕は9尾であった。採捕のピークは5月中旬～5月下旬であり、調査1回あたり最大で200～300尾程度の採捕があった。一方、6月上旬及び中旬には採捕数が減少し、6月下旬にはサケ幼稚魚は採捕されなかった。また、今年度は2017年度に調査を開始して以降初めてカラフトマス幼稚魚が採捕されなかった。

2. 水温及び塩分濃度観測結果

5月10日から6月26日までの期間において、調査地点での表層海水温は9.0～17.9℃であった（図3）。調査地点付近に設置した連続観測の海水温データについては、予備地点で調査した5月11日を除き、調査地点と概ね同様の水温推移を示した。

海水温の上昇は5月中旬から6月上旬まで平均0.1℃/日と緩やかであったが6月中旬以降は平均0.3℃/日と急な変化を示した。また、6月後半は15.0℃以上で推移した。過去の調査期間内で宗谷港の水温が15.0℃を上回ったことはなく、今年度の6月中旬から6月下旬は著しく高い水温であった。調査地点の塩分濃度は、表層で31.3～34.0‰、底層で33.0～34.0‰であった。

3. サケ幼稚魚の体サイズ測定結果

図4にサケ幼稚魚の尾叉長分布を示す。採捕されたサケ幼稚魚の尾叉長は3.1～9.4cmの範囲であり、平均5.4cmであった。尾叉長5.0cm台のさけ幼稚魚は最も多く出現し、割合は全体の57.1%を占めた。一方、沖合移行サイズと考えられる8.0cm以上に達した個体は6尾のみの採捕であった。

4. 耳石分析結果

採捕されたサケ幼稚魚 846 尾の耳石を分析した結果、78 尾において耳石温度標識を確認した（表 1）。耳石温度標識魚（以下、標識魚）は全て北海道の河川に由来するサケ幼稚魚であった。

耳石温度標識が確認されたサケ標識魚は、天塩川由来が 16 尾、国補助事業（北海道日本海 4 河川統一標識）が 32 尾、道委託事業（北海道 9 河川統一標識）が 23 尾、石狩川由来が 11 尾であった。天塩川由来、国補助事業、道委託事業稚魚は 5 月中旬から 5 月下旬の間に採捕された一方、石狩川由来の標識魚は 5 月下旬から 6 月中旬にかけて採捕されており、出現時期にずれがあった（図 5）。

天塩さけます事業所（以下、天塩事業所）から放流された天塩川由来の標識魚では、2 月中旬～5 月上旬放流群が 7 尾（尾叉長 5.5～7.0 cm）、4 月下旬 1.0 g 放流群が 8 尾（尾叉長 4.1～5.7 cm）、5 月上旬 1.2 g 放流群が 1 尾（尾叉長 5.7 cm）確認されたが、例年と異なり尾叉長が小さいサケ幼稚魚が多く採捕された（図 6）。天塩事業所からは、4 月上旬 1.0 g 放流群にも耳石温度標識を施標した標識魚を放流しているが、標識魚は昨年度に引き続き採捕されなかった。

5. 結果を踏まえての考察

今年度の調査における採捕のピークは 5 月中旬～5 月下旬であり、例年と同様の傾向であった。一方、過去の調査では、6 月下旬の調査最終日までサケ幼稚魚の採捕または魚影の確認がされているにもかかわらず、今年度の 6 月 12 日調査以降のサケ幼稚魚採捕、魚影の確認は出来なかった。この要因として、例年と比較して宗谷港の水温が 6 月後半に 15.0℃以上で推移し、サケ幼稚魚の適水温とされる 5～13℃よりも大幅に高かったことが考えられる。

また、2017～2022 年度の調査ではカラフトマス幼稚魚が 3～69 尾採捕されているが、今年度は調査開始以降初めて採捕されなかった。その要因の一つとして、2022 年の親魚の回帰不振や、それに伴う種卵不足により宗谷港に近い増幌川への稚魚放流が未実施であったことが考えられる。近年はカラフトマス親魚の著しい回帰不振が続いていることから、今後の調査でもカラフトマス幼稚魚の採捕状況を注視していきたい。

天塩事業所から放流されたサケ稚魚について、放流時期が比較的遅かった 4 月下旬 1.0 g 放流群及び 5 月上旬 1.2 g 放流群は、放流サイズと同等、または放流サイズ以下に偏って再捕された。同じ放流試験が行われた一昨年度及び昨年度の調査では大型の個体も港内で採捕されていたことから、今年度は水温またはその他何らかの要因で大型個体は宗谷岬沿岸域には立ち寄らず、沖合を通過した可能性がある。4 月下旬 1.0 g 放流群、5 月上旬 1.2 g 放流群の採捕数及び体サイズは、年度により変動が大きい。近年、宗谷港周辺でも著しい水温変化が見られていることから、これらの放流群の宗谷港での採捕状況と今後の親魚回帰結果を照らし合わせ、近年の海洋環境に合った放流手法を検討していくことが重要だと考えられる。

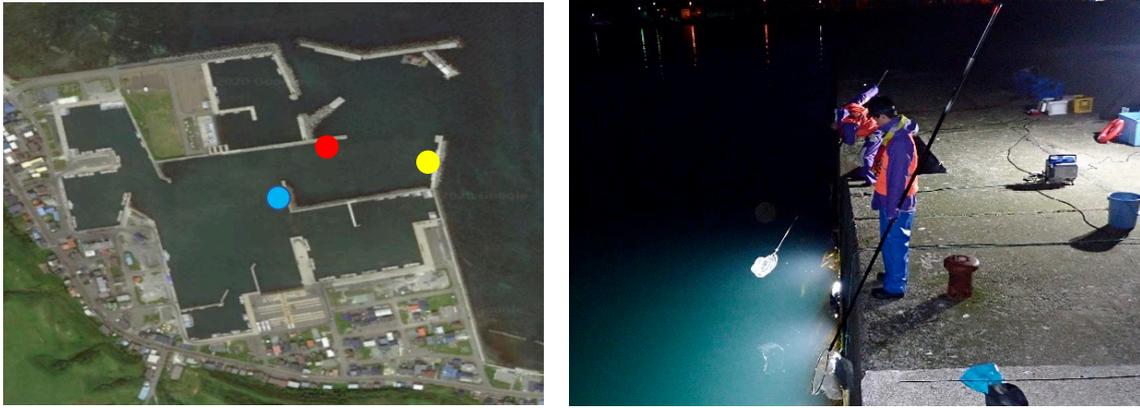


図1. さけます幼稚魚採捕を行った地点と採捕の様子
 (左) 黄丸は 2021 年度まで幼稚魚採捕を実施した調査点、赤丸は 2022 年度からの調査点。今年度から青丸の地点を荒天時の予備調査点として追加。
 (右) たも網を構えて集魚灯に集まるさけます幼稚魚を待つ調査員。

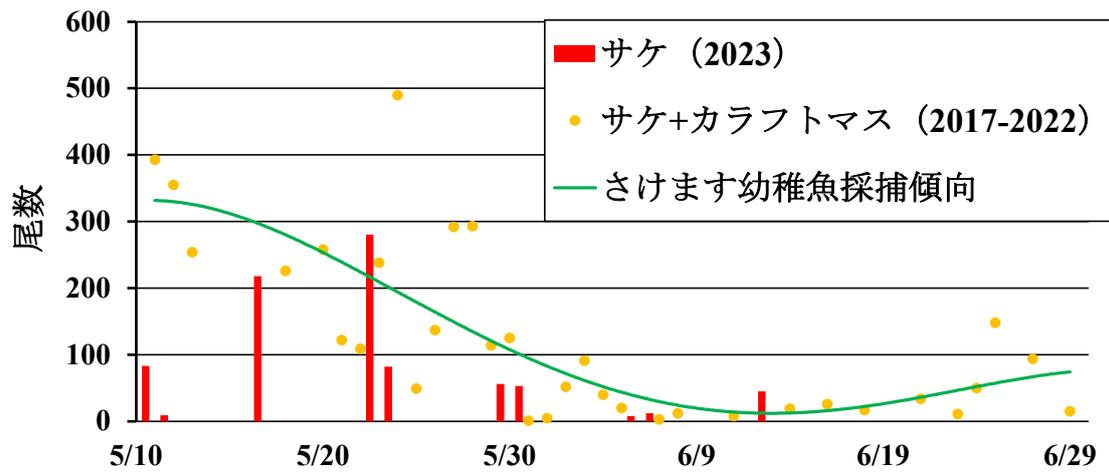


図2. 2023 年宗谷港におけるさけます幼稚魚の採捕尾数と 2017 年～2022 年までの採捕数及び傾向
 赤■はサケ幼稚魚、黄●は過去の月日におけるさけます幼稚魚採捕数、緑線は過去の採捕数から算出したさけます幼稚魚採捕傾向を示す。5 月 11 日は予備地点での採捕尾数。

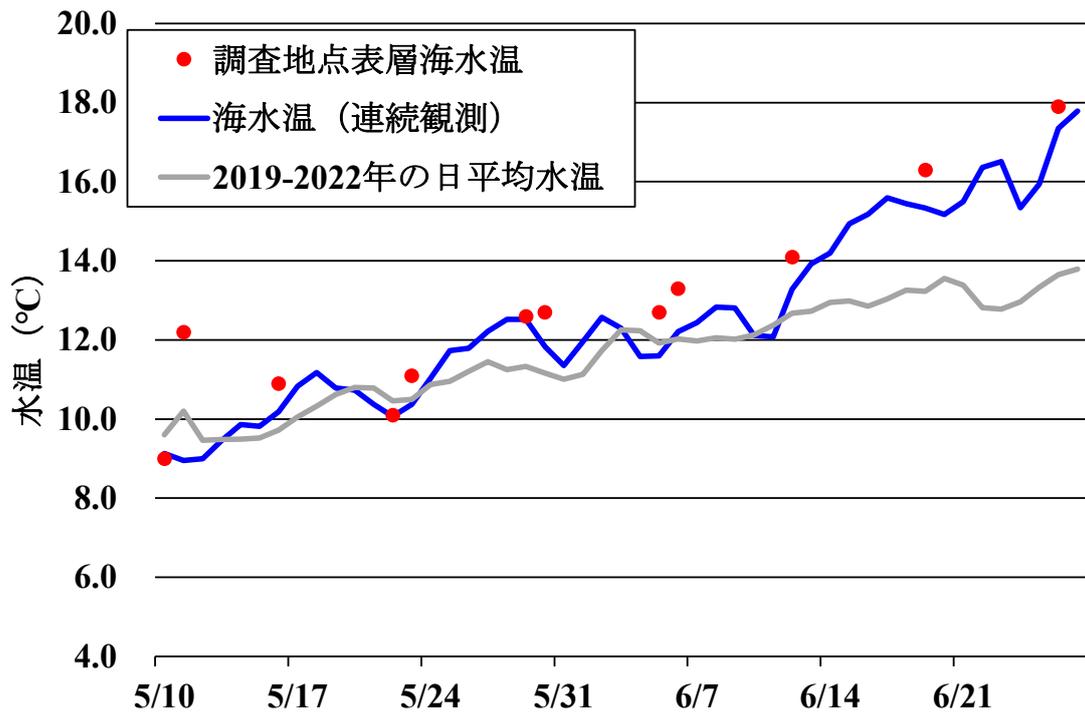


図3. 2023年宗谷港の表層海水温と過去4年間の日平均水温
 調査地点表層海水温は調査日における19時30分の観測値を示す。5月11日は予備地点で調査を実施。

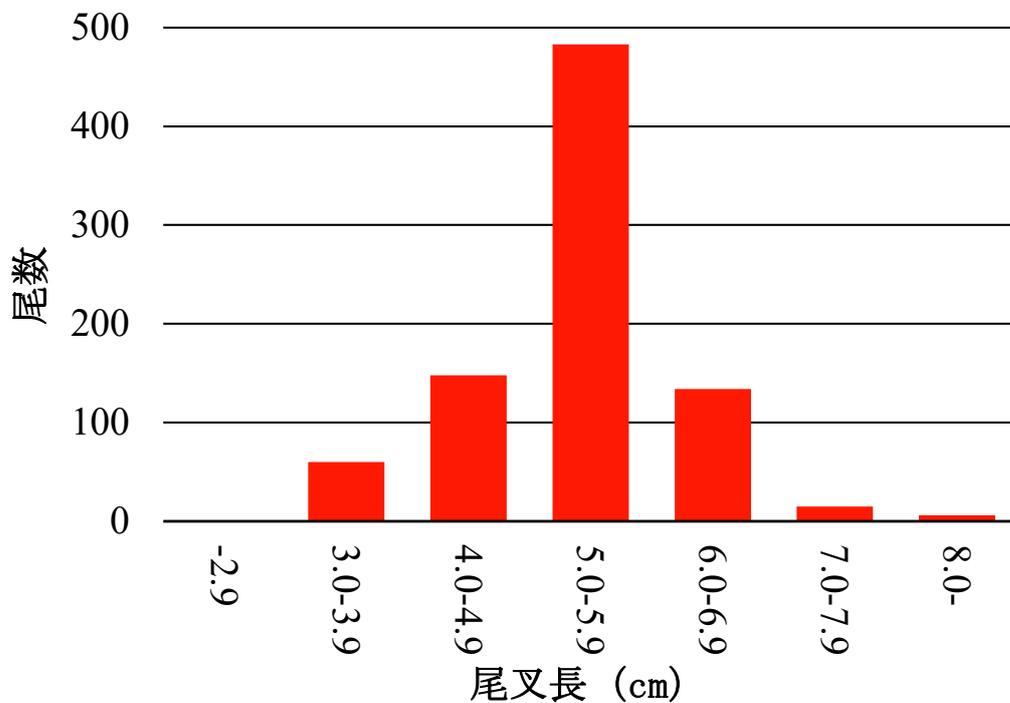


図4. 宗谷港で採捕したサケ幼稚魚の尾叉長分布

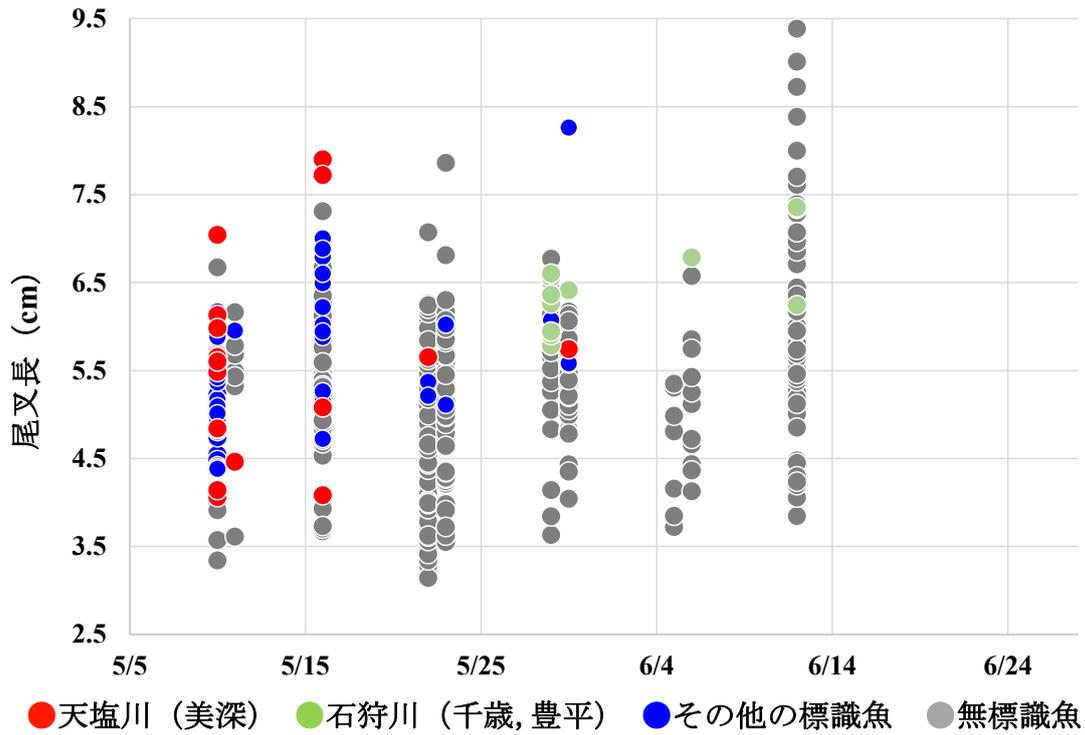


図5. 宗谷港で採捕されたサケ幼稚魚の耳石温度標識ごとの採捕時期と尾叉長

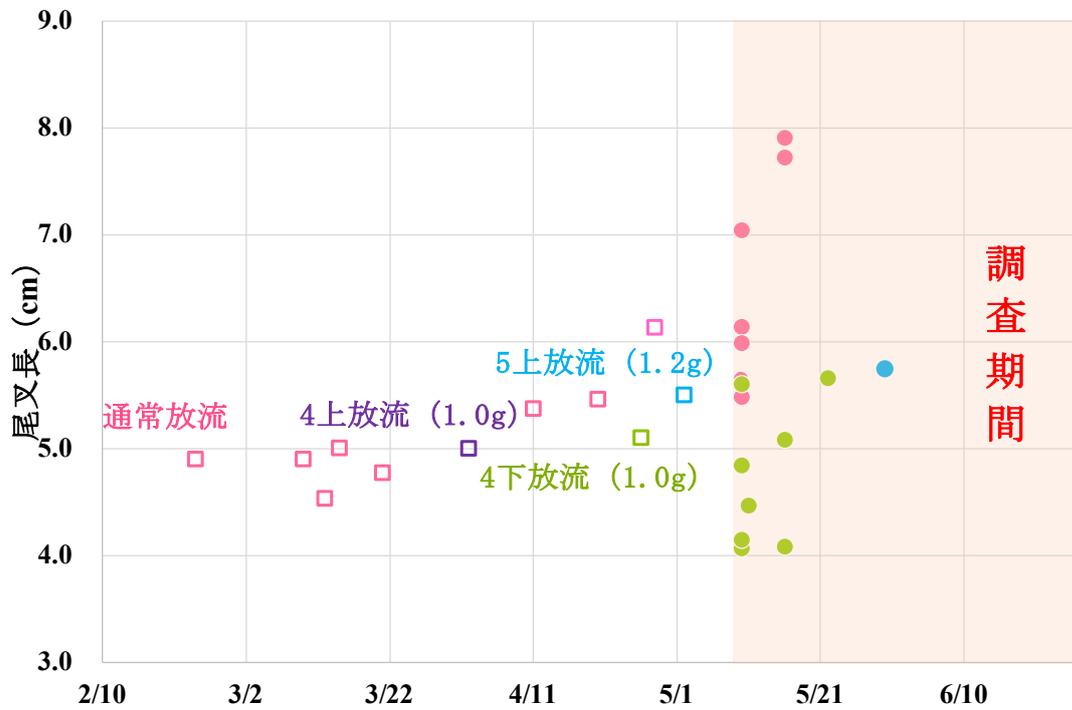


図6. 天塩事業所から放流したサケ稚魚と採捕されたサケ幼稚魚の尾叉長分布
□は放流日、●は採捕日、薄褐色の期間は採捕調査期間を示す。

表 1. 耳石分析により確認された耳石温度標識魚一覧

| 魚種 | 実施区分 | 由来水系名 | コード | 尾数 | 標識対象 |
|----------|-------|---------------|----------|--------|---------------|
| サケ | 水研機構 | 天塩川（美深） | 2n-3H | 7 | 通常放流 |
| | | | 2,3,2H | 8 | 4/下1.0g |
| | | | 2-1-2H | 1 | 5/上1.2g |
| | 水研機構 | 石狩川（千歳） | 2,3-3H | 1 | 前期/3上-4中 1.0g |
| | | | 2-2-3H | 2 | 中期/4上-4中 1.0g |
| | | | 2-3,3H | 2 | 後期/4中0.8g |
| | | | 2-1,4H | 3 | 4中1.0g |
| | | | 2-3-2H | 1 | 4下0.7g |
| | さけ科学館 | 石狩川（豊平） | 2-2H | 1 | |
| | | | 2-3H | 1 | 半野生 |
| | 国補助事業 | 北海道日本海 4河川 | 2-5H | 15 | 増殖戦略 |
| | | | 2,2,1,2H | 17 | 増殖戦略 |
| | 道委託事業 | 北海道9河川 | 2-1-4H | 6 | DHA給餌群 |
| 2,2-1-2H | | | 13 | DHA対照群 | |

国補助事業：天塩川（中川）、尻別川、利別川、相沼内川

道委託事業：頓別川、天塩川（中川）、信砂川、尻別川、標津川、釧路川、十勝川、沙流川、戸切地川

b) サケ幼稚魚の餌料環境と食性

執筆者：水産資源研究所 さけます部門 資源生態部 佐藤智希

実施機関及び担当者

水産研究・教育機構 水産資源研究所 さけます部門 資源生態部：佐藤智希

【目的】

課題イ-1)-a)の北海道厚田沿岸および太平洋昆布森沿岸において採集された動物プランクトン試料について、種組成および個体数密度を分析し、サケ幼稚魚が沿岸に生息する時期の餌料環境の変動を把握する。また、同沿岸域において採捕されたサケ幼稚魚の胃内容物組成の変動を把握する。

【方法】

それぞれの沿岸域において採集された動物プランクトン試料は、プランクトン分割器を使用して二分割し、一方の試料は 0.001 g 精度で湿重量を測定し、採集時に測定された濾水計の値を元に濾水量を算出し、単位体積あたりの生物量を見積もった。もう一方の試料は、種類別あるいは分類群ごとに個体数を計数し、算出された濾水量を元に、単位体積あたりの個体数密度を見積もった。

サケ幼稚魚の胃内容物は、各採集日各定点最大 10 尾について分析を実施した。尾叉長および魚体重を測定した後、胃を取り出し、10%ホルマリン海水で固定した。その後、胃から内容物を取り出し 0.001 g の精度で重量を測定して胃内容物指数（魚体重あたりの胃内容物重量の割合）を算出した。

【結果及び考察】

1.動物プランクトン生物量、個体数密度および分類群組成

厚田沿岸域における 2023 年の動物プランクトン生物量（4 定点の平均）は、0.005 から 0.038 g/m³ の範囲で変動し、4 月中旬が最も多かったものの、5 月以降はほとんど変わらなかった。3 月下旬、4 月上旬および下旬の調査が、荒天等の影響により実施できなかったため、過去との単純比較は難しいが、最近 5 年間で最も低く、過去と比較しても 10 倍以上低い傾向にあった。

動物プランクトン個体数密度（4 定点の平均）は、165.6 から 754.9 個体/m³ の範囲で変動し、5 月中旬が最も高かった。過去の個体数密度は、概ね 1,000 個体/m³ 以上で季節変動がみられていたが、2023 年はその値を下回っており、最近 5 年間と比較しても概ね 3 から 5 倍低い傾向にあった。

分類群組成は、4 月中旬および 5 月上旬には、体長 2 mm 未満のカラス目カイアシ類が優占していたが、それ以降の採集日にはほとんどみられなくなり、それに代わって棘皮類や枝角類の占める割合が高かった。厚田沿岸域の動物プランクトン分類群組成は、これまで体長 2 mm 以上および体長 2 mm 未満のカイアシ類、およびその他のカイアシ類の 3 分類群で半数以上を占めていたが、2023 年はその傾向が 5 月中旬以降で著しく変化していた（図 1）。

昆布森沿岸域における 2023 年の動物プランクトン生物量は（4 定点の平均）は 0.009 から 0.165 g/m³ の範囲で変動し、6 月 2 週に最も高く、その後時期の経過とともに減少する傾向にあり、2021 年以降にみられる低い傾向が継続していた。

動物プランクトン個体数密度は、143.2 から 2,488.4 個体/m³ で変動し、2021 および 2022 年と比較して若干高い傾向にあったものの、最近 5 年間と同程度で引き続き低い傾向が継続していた。

分類群組成は、これまでいずれの年でも最も優占していた体長 2 mm 未満のカラス目カイアシ類の割合が 6 月 2 週を除いて低く、これに代わって、6 月にはフジツボ類幼生、7

月には枝角類がそれぞれ最も優占していた。枝角類の優占が7月に高くなる傾向は2016年以降続いており、この時期の主要な構成種となるのかもしれない(図2)。

枝角類や暖水性カイアシ類のようなプランクトンは一般的に、体サイズが小さく、栄養に乏しいため(Mackas et al. 2007, Batten et al. 2011)、これらが優占することは、沿岸に滞泳するサケ幼稚魚の成長、生残に好ましくない可能性が考えられる(佐藤 2022)。2023年における両海域の餌料環境は、動物プランクトン生物量および個体群密度が過去と比較して低く、栄養に乏しい分類群の占める割合が高かったことから、サケ幼稚魚にとって厳しい環境にあったと推測される。

2.サケ幼稚魚の胃内容物

厚田沿岸域における2023年の調査個体数は調査期間を通じて98尾で、そのうち空胃個体は11尾で、2016年以降で最も多かった。

胃内容物指数(魚体重に占める胃内容物重量の割合)は、0.03から8.86%の範囲にあり、調査期間を通じての平均値は1.2%で、2022年の1.6%よりも低くなり、2016年以降で最も低かった。調査日毎の平均胃内容物指数は5月上、中旬で2%程度であったが、それ以外では2%以下にあり、特に4月中旬および5月下旬では1%以下であった(図3)。

昆布森沿岸域における2023年調査個体数は調査期間を通じて120尾で、空胃個体は1尾のみであった。

胃内容物指数は、0.14から7.03%の範囲にあり、調査期間を通じての平均値は2.1%で、最近2年間の値(2021年:1.3%、2020年1.1%)と比較して高かった。各調査日ごとの平均胃内容物指数は2%程度で、大きな変動はみられなかった(図4)。

今後、両地域の胃内容物組成の結果を合わせて、2023年の摂餌状況を評価する予定である。

【引用文献】

Batten, S. D. et al. (2011) Variability in northwards extension of warm water copepods in the NE Pacific. *J. Plankton res.*, 33: 1643-1653.

Mackas D. L. et al. (2007) Effects on zooplankton of a warming ocean: recent evidence from the Northeast Pacific. *Prog. Oceanogr.*, 75: 223-252.

佐藤智希ほか.(2022) (3)-1-f. 【動物プランクトンの群集構造】 令和3年度さけ・ますふ化放流抜本対策事業調査報告書. 106-110.

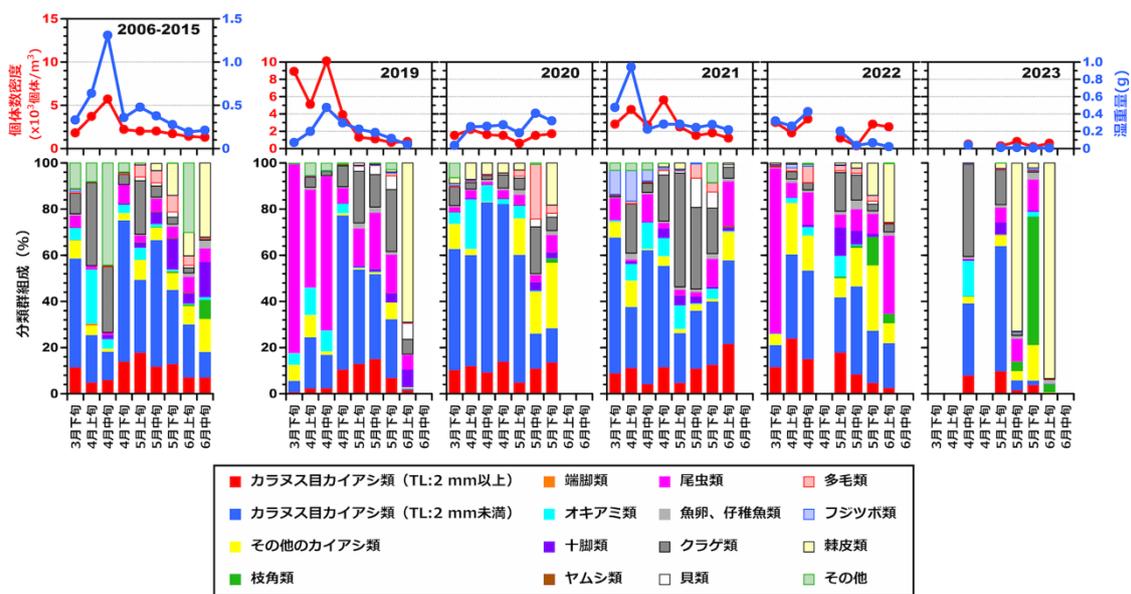


図1. 厚田沿岸域における動物プランクトン生物量、個体数密度および分類群組成 (4 定点の平均値)

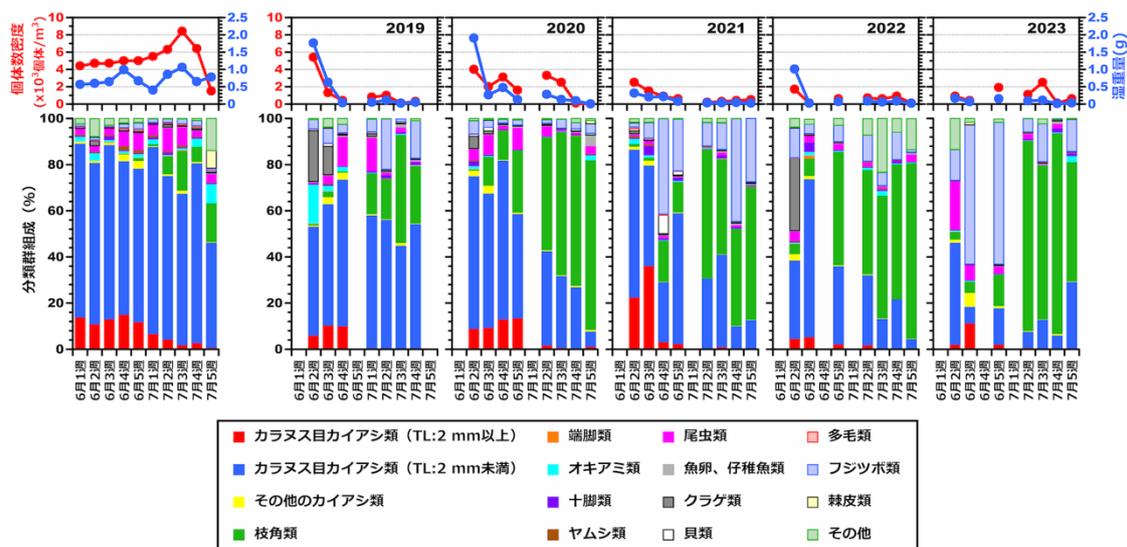


図2. 昆布森沿岸域における動物プランクトン生物量、個体数密度および分類群組成 (4 定点の平均値)

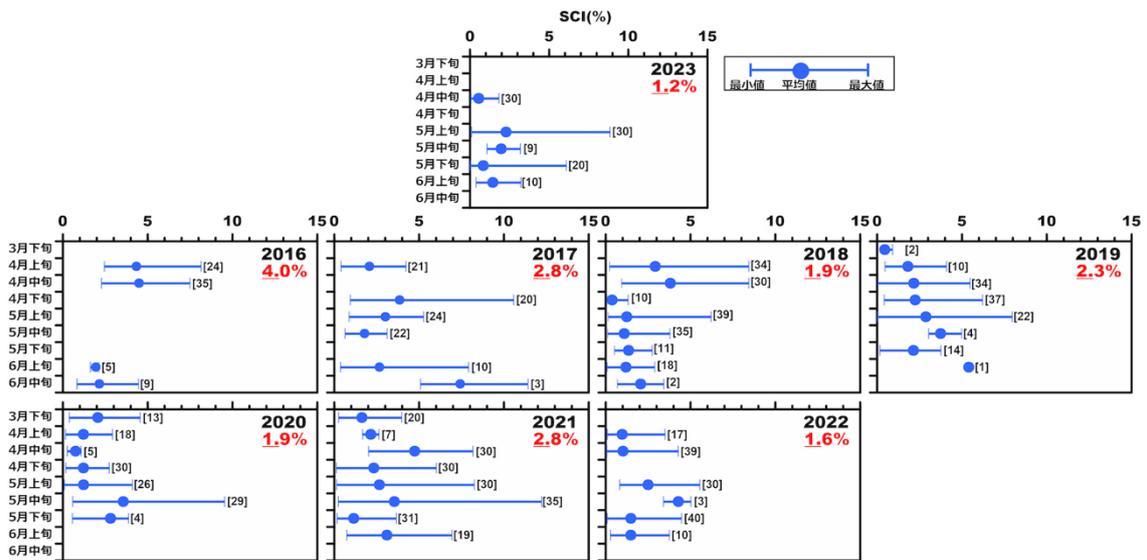


図3. 厚田沿岸域におけるサケ稚魚の胃内容物重量指数（胃内容物重量 - (魚体重 - 胃内容物重量) * 100） 図中のカッコ内は調査個体数。

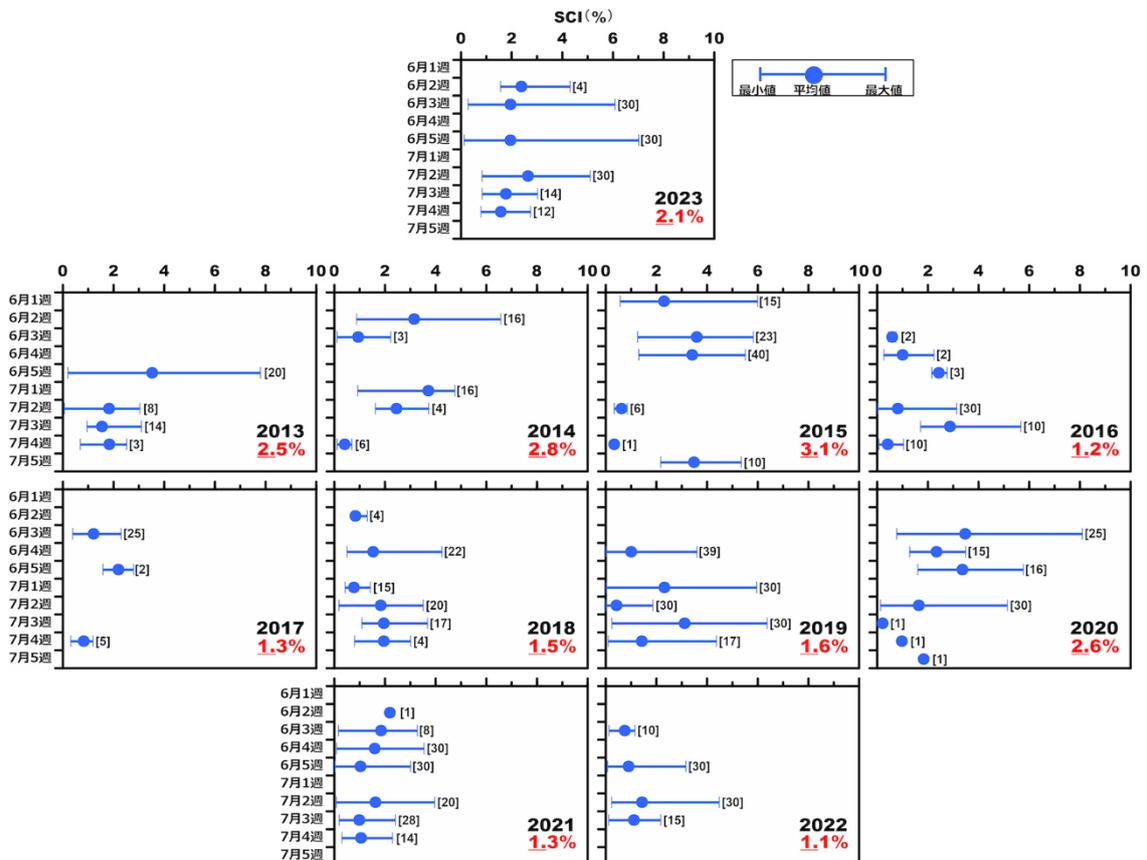


図4. 昆布森沿岸域におけるサケ稚魚の胃内容物重量指数（胃内容物重量 - (魚体重 - 胃内容物重量) * 100） 図中のカッコ内は調査個体数。

c) サケ幼稚魚の地理的起源推定

執筆者：水産資源研究所 さけます部門 資源生態部 佐藤俊平

実施機関及び担当者

水産研究・教育機構 水産資源研究所 さけます部門 資源生態部：佐藤俊平、小倉裕平

【目的】

課題イー1) ーa) で採捕したサケ幼稚魚のうち、北海道太平洋沿岸および昆布森で採集された個体について、耳石温度標識の確認と遺伝分析を行い、その地理的起源を明らかにするとともに、それらの移動時期・経路・魚体サイズなどを把握する。

【方法】

2023年5月中旬ー7月中旬にかけて実施された北海道における定点環境観測及び稚魚採集調査（以下稚魚採捕調査、虎杖浜・春立・大樹・昆布森、図1）において採集されたサケ幼稚魚について、各個体の尾叉長および体重を測定し、頭部より耳石標本を採集した。また同時に尾部等の体組織を採集し、99%エタノールで固定して遺伝標本とした。これとは別に、イー1) ーf) の岩手丸による北海道太平洋沖調査（以下、岩手丸調査）で採集されたサケ稚魚についても、同様の測定および標本採集を行った。

採集した耳石標本は標準的な方法で標識の有無を確認し、標識魚については標識パターンから放流されたふ化場を特定した。また、遺伝標本から Puregene DNA Extraction Kit (QIAGEN) を用いて DNA を抽出した。抽出した DNA を 384 ウェルプレートに分注し、既知の SNP（一塩基多型）マーカー45 遺伝子座を用いて TaqMan 法による遺伝子型の決定をリアルタイム PCR（QuantStudio 7 Flex リアルタイム PCR システム、ThermoFisher Scientific）で行った。得られた遺伝子型データをもとに条件付き最尤法による遺伝的系群識別を行い、採集場所別・尾叉長別（小型魚：10 cm 未満、大型魚：10 cm 以上）で地理的起源を推定した。推定した地理的起源は北海道日本海・北海道オホーツク海/根室海峡、北海道太平洋、本州太平洋、本州日本海の 5 地域である。また、大型魚の地理的起源の推定は、まとまった採集があった春立と昆布森について行った。

【結果及び考察】

稚魚採捕調査を実施した 4 定点のうち、サケ幼稚魚の採集が無かった大樹を除く 3 定点で合計 4,908 個体のサケ幼稚魚が採捕された（表 1）。その内訳は虎杖浜 413 個体、春立 3,439 個体、昆布森 1,056 個体で、春立における採集個体数が全体の 70% を占めた。また岩手丸調査では 146 個体のサケ幼稚魚が採集された。各調査地点で採集されたサケ幼稚魚の平均尾叉長±標準偏差は、虎杖浜が 6.91 ± 0.82 cm、春立が 8.68 ± 1.13 cm、昆布森が 8.37 ± 1.23 cm、岩手丸が 8.30 ± 0.97 cm となり、虎杖浜が最も小さく、その他の 3 地点ではほぼ同じであった（図 2）。また、虎杖浜・春立・昆布森では平均尾叉長が昨年（2022 年）よりも小さかった。岩手丸では過去に調査が行われた 2013 年と 2015 年の平均尾叉長と比較すると、明らかに小さい傾向を示した。各調査地点におけるサケ幼稚魚の尾叉長分布を見ると、虎杖浜では 7cm 付近に、春立は 9cm 付近に、昆布森は 8cm 付近にそれぞれピークを持つ一峰型を示した（図 3）。一方、岩手丸は 8cm にピークがあるものの、9cm 付近にかけても高い頻度分布を示した。虎杖浜では尾叉長が 10cm 未満の小型魚のみが採集されたが、春立・昆布森では 10cm 以上の大型魚も分布が見られた。また、岩手丸では小型魚が多く、尾叉長 10 cm 以上の大型魚は少ない傾向を示した。

稚魚採捕調査および岩手丸調査で採集された 5,054 個体のうち、耳石を得られなかった 10 個体を除く 5,044 個体について標識の有無ならびに放流されたふ化場の由来を確認した。その結果、全部で 1,828 個体（36.2%）の耳石標識魚が確認され、このうち 1,507 個体がえりも以西地域、186 個体がえりも以东地域、1 個体が根室地域、9 個体が本州太平洋地

域、3 個体が本州日本海地域のふ化場を由来としていた。また、120 個体は北海道共通コードが施標され放流された個体であった（表 2。この他、由来が決定できない標識魚が 1 個体出現）。定点別にみると、虎杖浜・春立ではえりも以西地域のふ化場由来の個体が優占し、その多くは静内川（静内さけます事業所、豊畑ふ化場）またはえりも以西共通コード（日高幌別・敷生・遊楽部または日高幌別・敷生・知内・遊楽部）由来の耳石標識魚であった（表 2）。また北海道共通コードが施標された個体も多数出現した。一方、昆布森では小型魚はえりも以西地域およびえりも以東地域のふ化場由来の個体が同程度分布していたが、大型魚ではその大多数がえりも以東地域のふ化場由来の個体であった。

稚魚採捕調査の定点において、本州由来のサケ幼稚魚は合計 12 個体確認された。その由来は本州太平洋地域が気仙沼大川（大川ふ化場）と熊野川（熊野ふ化場）、本州日本海地域が月光川（箕輪・枅川ふ化場）と黒部川（黒部ふ化場）または神通川（神通ふ化場）であった。気仙沼大川由来の個体は虎杖浜で 1 個体、春立で 5 個体、熊野川由来の個体は春立で 1 個体採集された。また月光川由来の個体は春立で 2 個体が確認され、黒部川または神通川由来の個体は昆布森で 1 個体採集された。これらの多くは尾又長 10cm 以下の小型魚で湿られた。岩手丸調査では 146 個体中 27 個体の耳石標識魚が見つかり、その多くはえりも以西地域を起源としていた。一方で、えりも以東地域・根室地域・本州太平洋地域から放流された個体も分布していた（表 2）。

稚魚採捕調査および岩手丸調査で得られたサケ幼稚魚について、小型魚（尾又長 10 cm 未満）と大型魚（尾又長 10 cm 以上）それぞれについて、遺伝的系群識別による地理的起源推定を行い、2015 年以降の結果と比較した（図 4）。小型魚では調査地点を通じて北海道系（日本海地域、オホーツク・根室地域、太平洋地域）が多数を占め、特に北海道太平洋系の割合が例年同様高い傾向を示した（図 4A）。また本州系（太平洋地域および日本海地域）が推定されたものの、その割合は低い値を示した。大型魚では春立・昆布森共に北海道太平洋系が高い割合を示すものの、本州太平洋系および本州日本海系も一定割合推定され、その割合は小型魚よりも高かった（図 4B）。

今回調査した 4 地点で得られたサケ幼稚魚の平均尾又長は、いずれも昨年と比較して小型であった。特に、昆布森で採集されたサケ幼稚魚の平均尾又長は 2016 年以降で最も小さかった。各調査定点で採集されたサケ幼稚魚に占める大型魚の割合は虎杖浜で 0%、春立で 6.9%（3439 個体中 236 個体）、昆布森で 5.2%（1056 個体中 55 個体）を示し、昨年（2022 年）と比較するとその割合はいずれも大きく低下していた（2022 年：3.7–19.0%、佐藤 2023）。また岩手丸でも大型魚の割合は 4.1%（146 個体中 6 個体）で、過去 2 回の結果（2013 年：13.3%、2015 年：100%）と比較しても少なかった。ここから、2023 年は 2022 年よりも大型のサケ幼稚魚が少ない、あるいは早期に離岸してしまった可能性が考えられた。一方で、2023 年に各調査地点で採集された本州由来のサケ幼稚魚はその多くが尾又長 10cm 未満の小型魚であった。過去の調査結果から、本州由来のサケ放流魚は尾又長 10cm 以上の大型魚として北海道の太平洋沿岸（厚賀・春立付近）にたどり着き、その後昆布森を経てオホーツク海に移動すると推定されているが（佐藤 2016）、今回の結果はこれまでの傾向とは異なっている。この傾向が 2023 年だけなのか、あるいは今後も続くのか、引き続き注視する必要がある。遺伝的系群識別の結果、小型魚と大型魚双方において、本州太平洋系および日本海系が一定割合推定された。2022 年は大型魚が多かったにもかかわらず本州系、特に本州太平洋系の割合が皆無であり、本州太平洋系のサケが北海道太平洋沿岸までたどり着けていない可能性が指摘されたが（佐藤 2023）、2023 年は耳石標識の分析結果とも合わせ、本州系サケがある程度北海道太平洋沿岸まで到達できていた可能性が示唆された。

【引用文献】

- 佐藤俊平ほか. (2016) (1-6) 耳石標識と遺伝分析によるサケ稚魚の移動動態の解明. 平成 27 年度太平洋サケ資源回復調査委託事業 調査報告書. 47-55.
- 佐藤俊平 (2022) (3)沿岸環境・幼稚魚追跡調査①北海道における沿岸環境・幼稚魚追跡調査 (厚田、昆布盛、えりも以西・以東定置網、宗谷海峡) g. サケ幼稚魚の地理的起源推定. 令和 3 年度さけ・ます等栽培対象資源対策事業さけ・ますふ化放流抜本対策事業 調査報告書. 111-118.
- 佐藤俊平(2023)小課題 1)稚魚沿岸対泳期における沿岸環境調査及びサケ幼稚魚追跡調査 b) サケ幼稚魚の地理的起源推定. 令和 4 年度さけ・ます等栽培対象資源対策事業さけ・ますふ化放流抜本対策事業 調査報告書. 91-98.

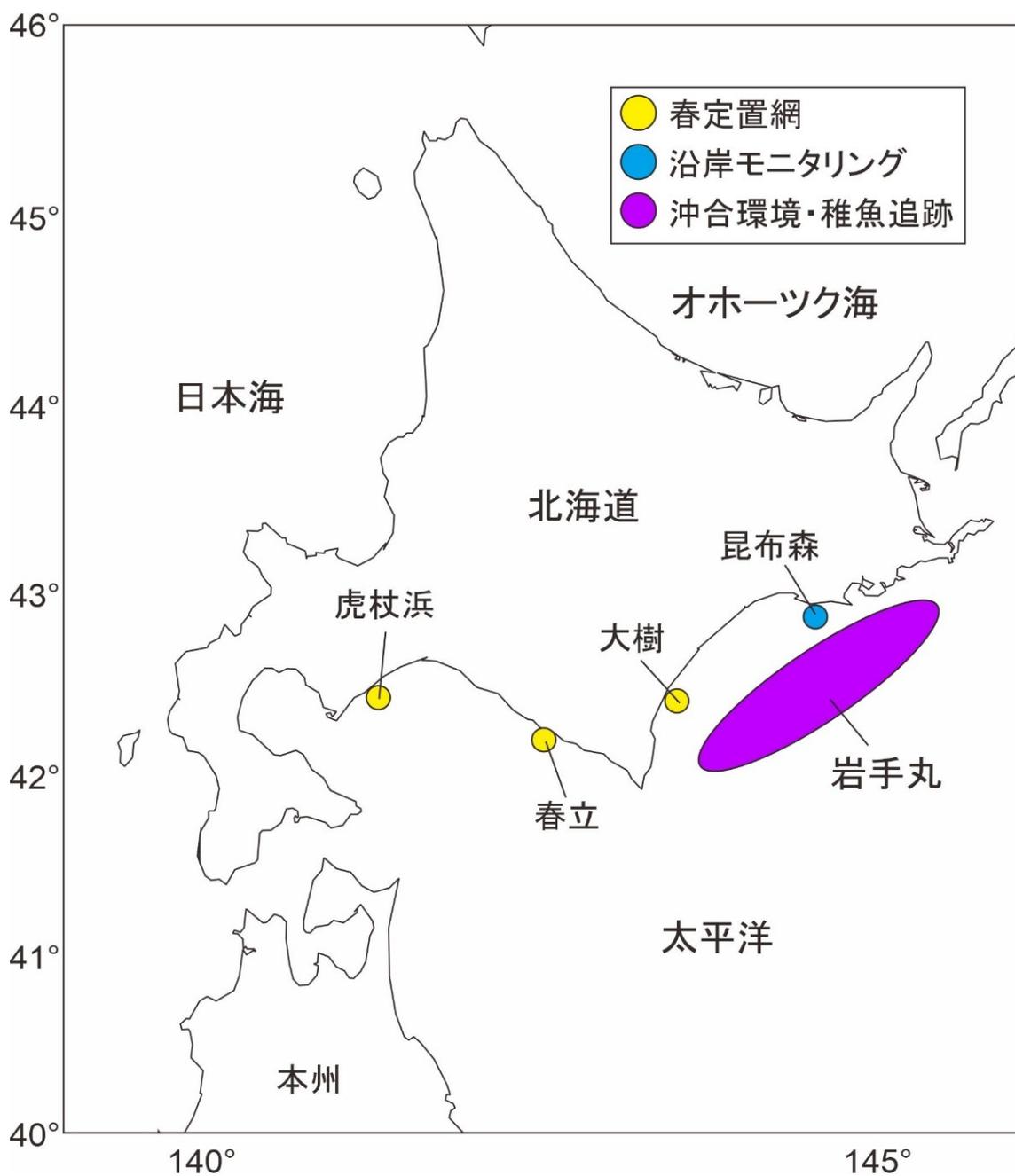


図1. 2023年5月～7月にサケ幼稚魚を採集した北海道太平洋沿岸の調査定点および沖合調査海域

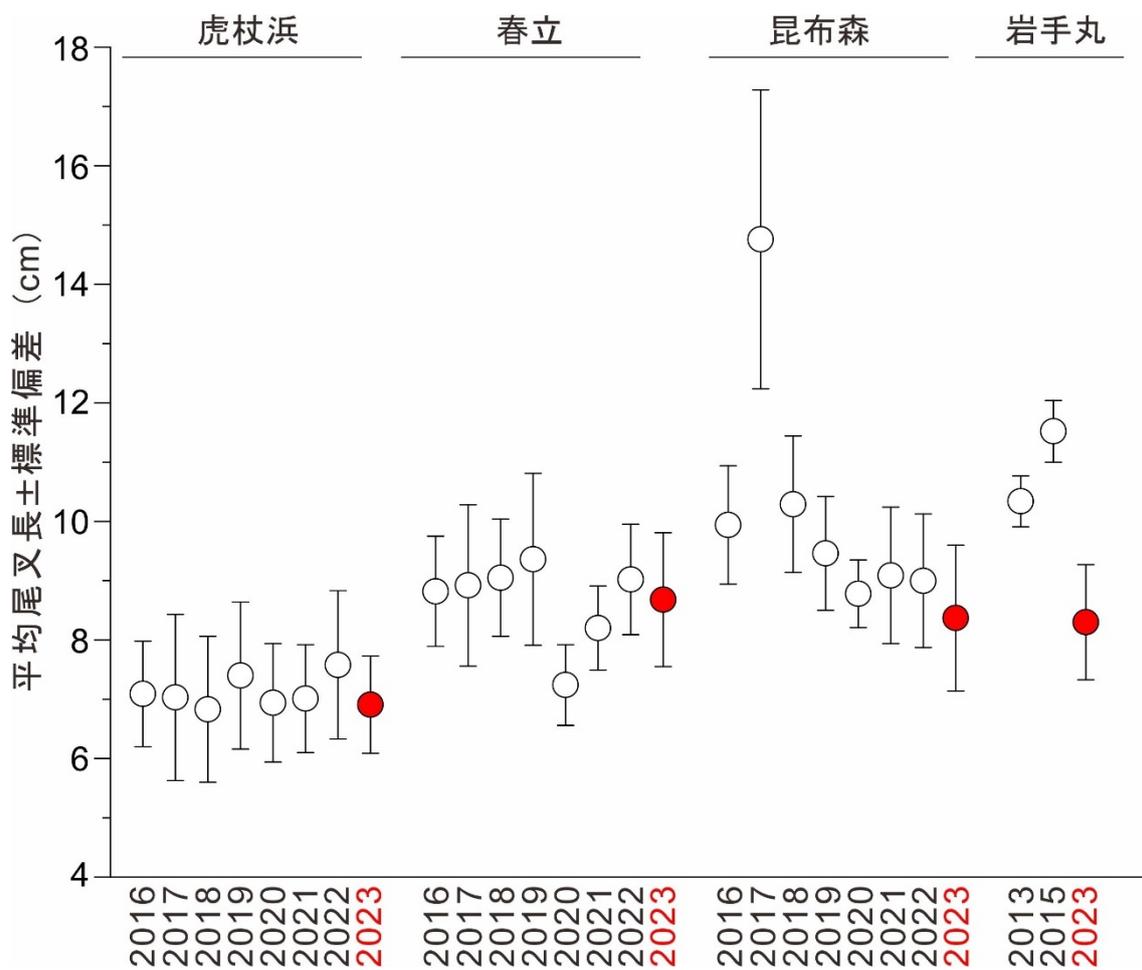


図2. 2016-2023年の北海道太平洋沿岸の調査定点および沖合調査で採集されたサケ幼稚魚の平均尾叉長と標準偏差
赤丸で示したグラフは2023年の結果を示す。

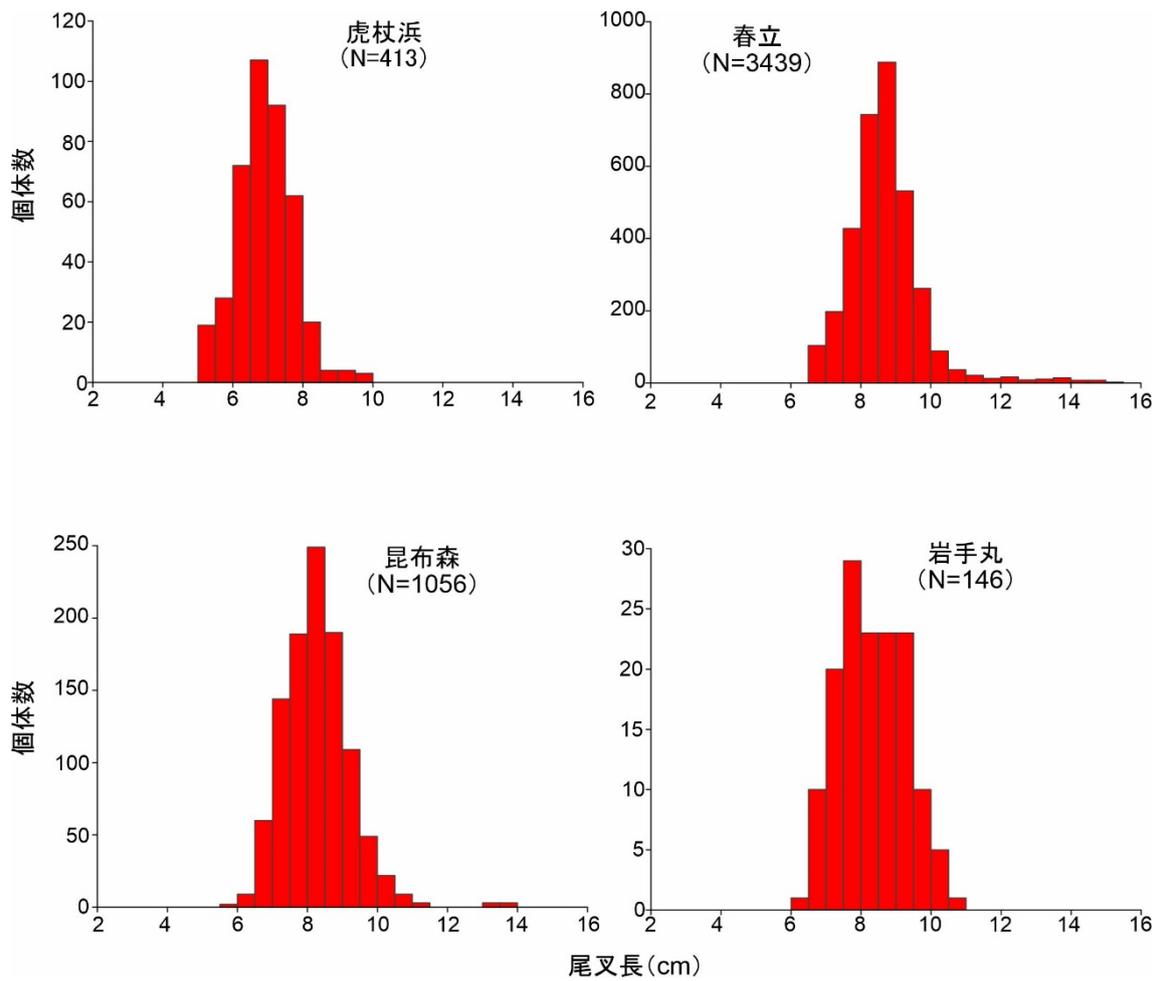


図 3. 2023 年の北海道太平洋沿岸の調査地点および沖合調査で採集されたサケ幼稚魚の尾叉長分布

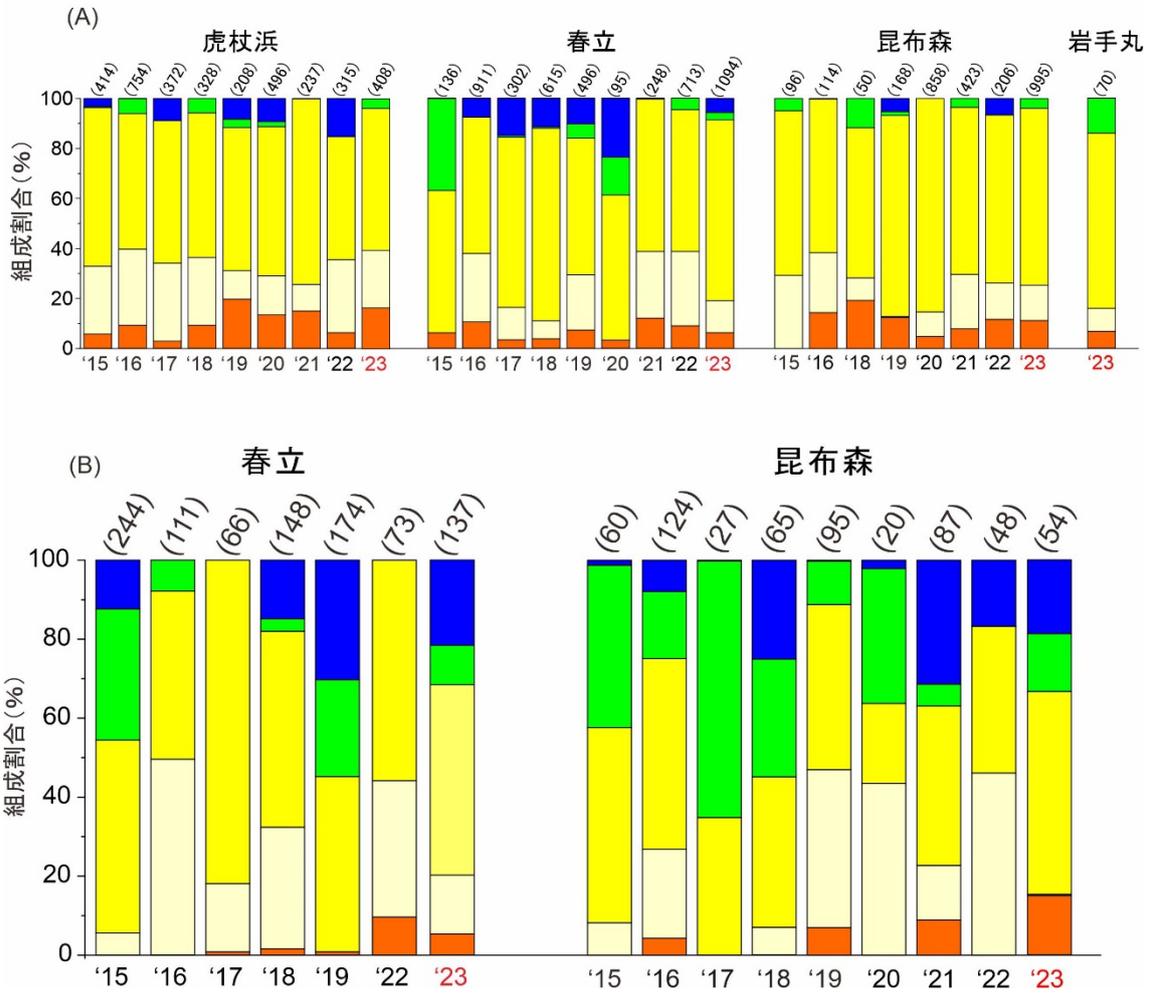


図 4. 遺伝的系群識別により推定した 2015 年–2023 年の北海道太平洋沿岸の調査地点および沖合調査で採集されたサケ幼稚魚の地理的起源
 (A) 小型魚(尾叉長 10cm 未満)、(B) 大型魚(尾叉長 10cm 以上)。グラフの上部の数字は分析個体数を示す。

表 1. 2022 年に北海道太平洋沿岸における定点環境観測及び稚魚採捕調査ならびに北海道太平洋沖調査で採集されたサケ幼稚魚の時期別採集尾数
 -は調査未実施を示す。

| | 虎杖浜 | 春立 | 昆布森 | 岩手丸 |
|------|-----------|----------|----------|-----------|
| 調査期間 | 5/13-6/15 | 5/30-7/4 | 6/7-7/25 | 6/23-6/26 |
| 5月中旬 | 66 | - | - | - |
| 5月下旬 | 244 | 200 | - | - |
| 6月上旬 | 91 | 2902 | 4 | - |
| 6月中旬 | 12 | 337 | 173 | 146 |
| 6月下旬 | - | 0 | 777 | - |
| 7月上旬 | - | 0 | 76 | - |
| 7月中旬 | - | - | 26 | - |
| 7月下旬 | - | - | 0 | - |
| 合計 | 413 | 3439 | 1056 | 146 |

表 2. 2023 年に北海道太平洋沿岸における定点環境観測及び稚魚採捕調査ならびに北海道太平洋沖調査で採集されたサケ幼稚魚から見つかった尾叉長別の耳石温度標識魚の個体数とその放流起源
 小型魚:尾叉長 10 cm 未満、大型魚:尾叉長 10 cm 以上。虎杖浜は小型魚のみ採集。

| 放流起源 | 虎杖浜 | | 春立 | | 昆布森 | | 岩手丸 | |
|----------------------------------|-----|------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|
| | 小型魚 | 大型魚 | 小型魚 | FL 不明 | 小型魚 | 大型魚 | 小型魚 | 大型魚 |
| 北海道えりも以西 | | | | | | | | |
| 知内 | 0 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 八雲 | 1 | 20 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 |
| 静内 | 23 | 474 | 16 | 0 | 31 | 0 | 5 | 1 |
| 豊畑 | 13 | 493 | 20 | 0 | 17 | 0 | 3 | 0 |
| 日高幌別・敷生・遊楽部 | 8 | 73 | 0 | 0 | 19 | 0 | 5 | 1 |
| 日高幌別・敷生・知内・遊楽部 | 13 | 239 | 8 | 0 | 15 | 1 | 0 | 0 |
| 北海道えりも以東 | | | | | | | | |
| 十勝 | 0 | 28 | 3 | 0 | 38 | 1 | 4 | 0 |
| 更別第 2 | 1 | 28 | 13 | 0 | 12 | 4 | 0 | 0 |
| 鶴居 | 0 | 7 | 1 | 0 | 12 | 3 | 0 | 0 |
| 芦別 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 芦別・オソツベツ・美留和 | 0 | 2 | 0 | 0 | 8 | 2 | 2 | 0 |
| 美留和 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 厚内漁港 | 0 | 6 | 0 | 0 | 5 | 5 | 0 | 0 |
| 北海道根室 | | | | | | | | |
| 虹別 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 共通コード | | | | | | | | |
| 中川・信砂・京極・頓別・沙流・上磯中野・上標津・オソツベツ・札内 | 10 | 34 | 13 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 |
| 中川・信砂・京極・頓別・沙流・上磯中野・中標津・オソツベツ・札内 | 6 | 39 | 1 | 0 | 7 | 1 | 0 | 0 |
| 本州太平洋 | | | | | | | | |
| 気仙沼大川 | 1 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 熊野 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| 本州日本海 | | | | | | | | |
| 箕輪・柘川 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 黒部・神通 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 由来不明 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 耳石無し | 0 | 4 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 |
| 無標識魚 | 337 | 1742 | 158 | 3 | 819 | 38 | 115 | 4 |

d) サケ幼稚魚の耳石日周輪解析

執筆者：水産資源研究所 さけます部門 資源生態部 斎藤寿彦、本多健太郎

実施機関及び担当者

水産研究・教育機構 水産資源研究所 さけます部門 資源生態部：斎藤寿彦、本多健太郎

1)-d)-① 厚田沿岸

執筆者：水産資源研究所 さけます部門 資源生態部 斎藤寿彦

【目的】 課題イ-1)-a)「北海道における定点環境観測及び稚魚採捕調査 1」で採捕した幼稚魚の耳石日周輪解による降海・成長履歴の把握や調査データの分析などを通じて、放流魚の生残条件について検討する。

【方法】 日本海側の厚田沿岸域で採集された石狩川産サケの耳石温度標識魚を主な供試魚とした。耳石温度標識の確認に使用しなかった耳石を用いて、既往の方法により降海時の尾叉長（以下、FL）、降海月日、降海から採捕までの日数を推定し、降海後の成長速度（採集時FL-降海時FL）/降海から採捕までの日数を評価した。厚田沿岸域では、これまでのモニタリング結果から、単位漁獲努力量（曳網1km）当たりの幼稚魚採集数と当該年級の親魚の河川回帰数に正の相関関係が認められている。この結果は、放流魚の年級群豊度（回帰数の多寡）が厚田沿岸到達までの生残りに大きく依存していることを示唆している。今年度は、2022年に採集された耳石温度標識魚（2021年級）の標識パターン（ハッチコード：以下、HC）について降海履歴の推定を実施した。推定された成長速度について2016～2021年級の間で比較を行った。また、余市川起源の標識魚についても降海履歴の推定に着手することとし、今年度は2022年に採集された耳石温度標識魚（2021年級）の分析を行った。

最近の研究によれば、沿岸域で高成長を遂げたサケ幼稚魚は初期生残も良い可能性が指摘されている（例えば、Honda et al. 2017、2019）。そこで、沿岸域で高成長を獲得する要因を検討する目的で、本事業で分析した2016～2021年級の石狩川産サケについて、個体の成長速度に、降海月日や降海サイズがどのように影響するかを明らかにするため、成長速度を従属変数、調査年、調査年の平均動物プランクトン湿重量、降海月日、降海サイズ、沿岸滞泳期間（降海月日から採集月日までの日数）および耳石温度標識HCを説明変数とする一般化加法モデルを構築した。モデル選択（説明変数の組み合わせ）は、赤池情報量規準（以下、AIC）により検討し、AICが最小となるモデルを採択した。なお、構築するモデルの誤差分布は全てガンマ分布を仮定した。過去に石狩湾で実施されたサケ幼稚魚調査によれば、サケ幼稚魚が石狩湾を離れて北上回遊を開始する時の最小サイズはFL 70 mmであることが報告されている（眞山ほか 1982）。例年、厚田沿岸域でサケ幼稚魚がまとまって採集されるのは5月下旬までであることから、厚田沿岸域のサケ幼稚魚は5月下旬までに当該海域を離岸するものと思われる。そこで、モデル選択でベストモデルとなったモデルによる成長速度の推定値を使い、5月25日（5月下旬の代表月日）におけるFLの期待値を推定し、FL 70 mmに到達可能な降海月日と降海サイズの組み合わせについて検討した。

また、昨年度および今年度に計測した余市川産サケ耳石温度標識魚（2020～2021年級）の成長速度と同じ年級の石狩川産サケ耳石温度標識魚の成長速度を、二元配置の分散分析（年級、放流起源および両者の交互作用）で比較した。

【結果及び考察】 2022年の厚田沿岸域では、2022年3月25日から6月1日まで計7回の調査で、のべ26回の曳網が行われ、合計1,233尾のサケ幼稚魚が採集された（小役丸

2023)。石狩川および余市川から放流された標識魚の割合は、それぞれ 56.8 %および 2.3 %であった (小役丸 2023)。本分析では、これら石狩川の標識魚のうち、調査日および調査定点ごとに最大 20~30 尾を無作為抽出したものを耳石日周輪解析のサンプルとした。また、余市川の標識魚については分析可能な個体全てを耳石日周輪解析に使用した。分析に用いたサンプルの放流履歴、採集履歴および耳石日周輪解析の結果を表 1 に示す。

耳石日周輪解析の結果、石狩川産の標識魚の降海月日は 3 月 26 日から 5 月 4 日、余市川産の標識魚の降海月日は 3 月 18 日から 4 月 16 日とそれぞれ推定された。このうち、実際の放流日以前に降海したと推定された個体は、HC 2-1,4H (石狩川産) の 24 尾 (最も早い放流月日との差: 平均 4 日、範囲 1-13 日)、HC 2-2-3H (石狩川産) の 12 尾 (最も早い放流月日との差: 平均 3 日、範囲 1-6 日)、HC 2-3,3H (石狩川産) の 9 尾 (最も早い放流月日との差: 平均 3 日、範囲 2-7 日)、HC 2-3-2H (石狩川産) の 3 尾 (最も早い放流月日との差: 4 日、範囲 2-6 日)、および HC 2,2,1,4H (余市川産) の 2 尾 (最も早い放流月日との差: 平均 2 日、範囲 1-2 日) であった。しかし、これらの個体は推定降海日と実際の放流日との乖離が平均 4 日ほどと僅かであったことから、日周輪解析の測定誤差が推定結果に与える影響は軽微であるものと考え、これらの個体も含めて以後の分析を行うことにした。

2022 年に採集された標識群ごとの成長速度 (降海から再捕までの体成長) は平均 0.35~0.63 mm/日と推定された (表 1)。2019 年に採集された標識魚では、標識群ごとに平均成長速度と沿岸域での回収率との関係を調べたところ、両者に統計学的に有意な正の相関が認められた (斎藤ほか 2021)。同様の分析を 2022 年の採集魚について実施したが、標識群ごとの平均成長速度と回収率の間には統計学的に有意な関係は認められなかった (スピアマンの順位相関: $\rho = 0.04$, $p > 0.05$)。したがって、2019 年に観察されたような成長速度の大きな標識群ほど沿岸での回収率が高くなるという傾向は、2020 年以降 3 年連続で認められなかった。

2017~2022 年の厚田沿岸における石狩川産標識魚の成長速度 (年平均値) を比較した結果、2017 年はいずれの年のよりも大きく、2018 年は 2019~2020 年よりは小さいものの 2021~2022 年とは有意差なし、2019~2022 年ではいずれの組み合わせでも有意差は認められなかった (図 1、クラスカルウォリステスト: $\chi^2 = 154.62$, $df = 5$, $p < 0.0001$, [多重比較] ボンフェローニ補正によるウィルコクソン順位和検定: $p < 0.0001 \sim 1$)。

また、2021~2022 年に推定された石狩川産標識魚と余市川産標識魚の成長速度には、年の効果 (二元配置の分散分析: $F(1,1062) = 0.166$, $p > 0.05$)、放流起源の効果 (二元配置の分散分析: $F(1,1062) = 2.33$, $p > 0.05$) および年と放流起源の交互作用 (二元配置の分散分析: $F(1,1062) = 0.67$, $p > 0.05$) が認められなかったことから (図 2)、石狩湾に降海した後の両河川由来の標識魚は 2021~2022 年ともに同じような成長を遂げたものと推察された。

成長速度を従属変数とする一般化加法モデルを検討するため、様々な説明変数を組み合わせた全 64 モデルを検討した (表 2)。モデル選択の結果、上位 7 モデルの全てに沿岸滞泳期間、降海サイズおよび降海月日の 3 変数が説明変数として含まれていた。図 3 に、#58 モデルの、成長速度に対する放流サイズ、降海月日および沿岸滞泳期間の効果をそれぞれ示す。降海月日の効果は 1 月 1 日からの日数で 106 日 (4/17) 以降に降海したときに成長速度は高まる傾向が認められた。降海サイズは、FL 45.6 mm 以上で成長速度に対してプラスの効果が得られる可能性が示された。沿岸滞泳期間は降海直後からしばらくの期間は成長速度に対してマイナスの効果として作用し、降海後 9 日目にマイナス効果が最大となり、それ以降沿岸域に生息する日数が増加するとともに成長速度への効果が増加に転じ、20 日以降になるとプラスの効果を示すようになった。なぜ、降海直後の約 3 週間弱の期間、成長速度にマイナスの効果が認められるのか明確な理由を指摘することは困難であるが、もしかしたら降海直後は海水への馴致など淡水とは異なる環境への適応が必要となるため、成長の一時的な停滞が生じるのかもしれない。図 4 は、#58 モデルにおいて HC の

効果と沿岸滞泳期間を一定に仮定した場合の成長速度の予測値（コンター図）である。図4より、4月中旬以降にFL 45 mm以上のサイズで降海した個体の成長速度が高いことが窺える。

表2に示した#58モデルで推定した成長速度の予測値を用いて、5月25日に到達可能なFLの推定値を図5に示した。図5には5月25日にFL 70 mmに達するラインを示した。眞山ほか（1982）は、サケ幼稚魚が石狩湾を離れて北上回遊を開始する時の最小サイズがFL 70 mmであることを報告している。つまり、図5で示したFL 70 mmラインを超える降海月日と降海サイズの条件をクリアすれば、サケ幼稚魚が厚田の調査海域を離岸する5月下旬までに北上回遊に適したFL 70 mm以上に成長することが可能になると推察された。

【引用文献】

Honda K., et al. (2017) Growth rate characteristics of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* originating from the Pacific coast of Japan and reaching Konbumori, eastern Hokkaido. *Fish. Sci.*, 83: 987-996.

Honda K., et al. (2019) First report of growth rate of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* captured in the Sea of Okhotsk offshore. *Ichthyol. Res.*, 66: 155-159.

小役丸隼人. (2023) 1)-a-①. 定点環境観測及び稚魚採捕調査1（北海道厚田）. 令和4年度さけ・ます等栽培対象資源対策事業 さけ・ますふ化放流抜本対策 調査報告書. 39-50.

眞山 紘ほか. (1982) 石狩産サケの生態調査-I 1979年春放流稚魚の降海移動と沿岸帯での分布回遊. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 1-17.

斎藤寿彦ほか. (2021) 3)-1-4. 【サケ幼稚魚の耳石日周輪解析】令和2年度さけ・ます等栽培対象資源対策事業 さけ・ますふ化放流抜本対策 調査報告書.53-55.

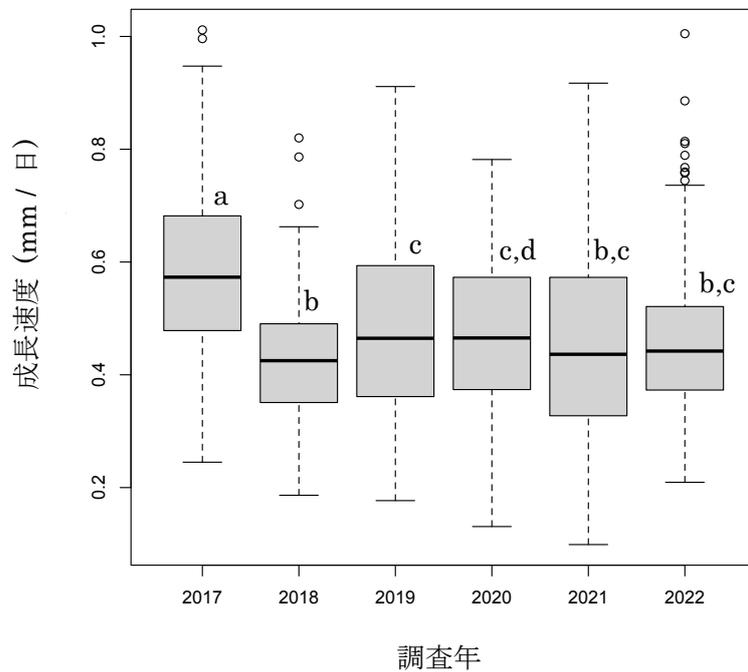


図 1. 厚田沿岸域で採集された石狩川産耳石温度標識サケの成長速度（箱ひげ図）
 グラフ中のアルファベットは統計学的な有意差を表す。

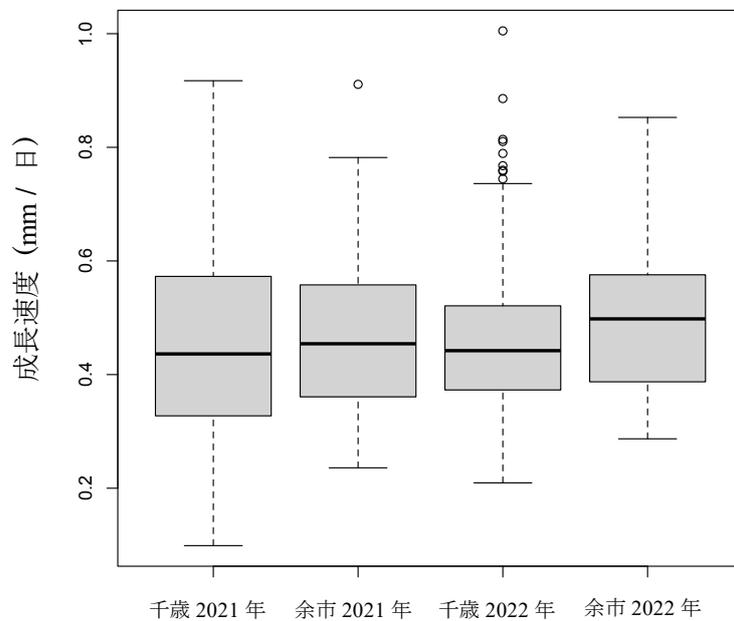


図 2. 2021～2022 年の厚田沿岸調査で採集された石狩川産耳石温度標識魚と余市川産耳石
 温度標識魚の成長速度
 いずれの成長速度にも統計学的な有意差は認められなかった。

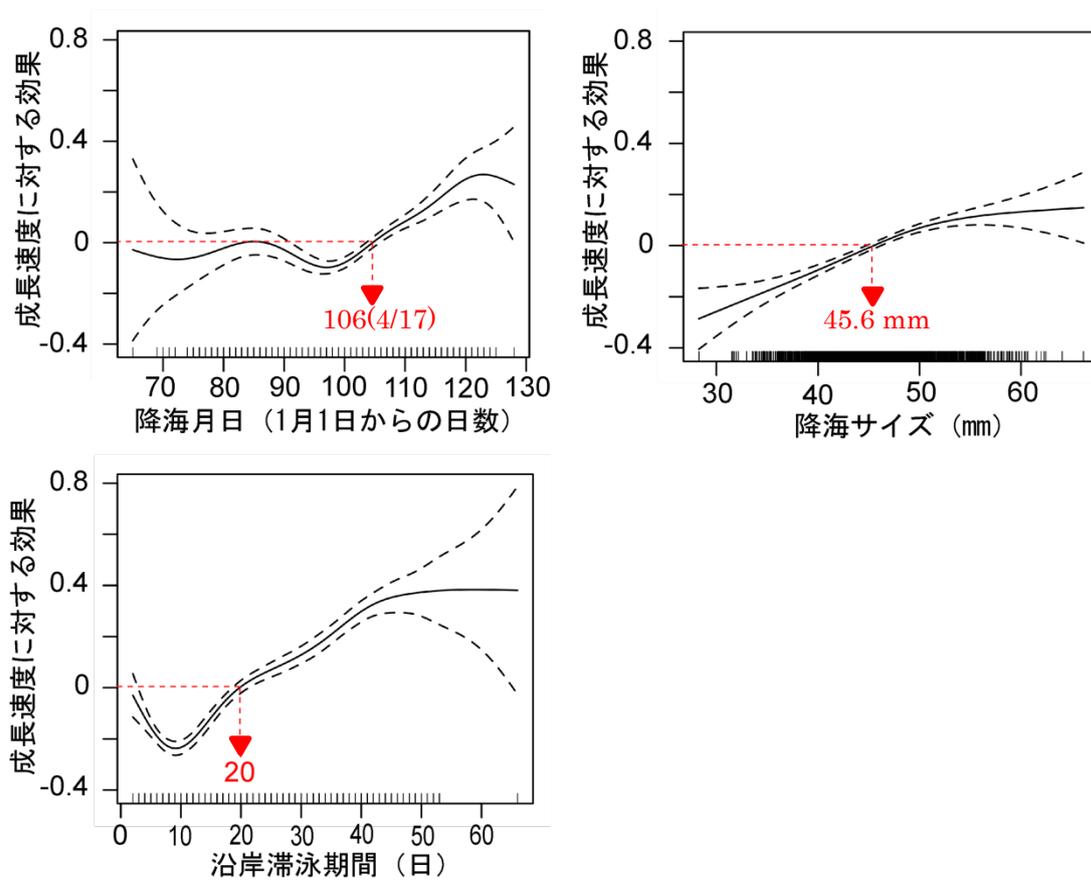


図3. 厚田沿岸で2017～2022年に採集された石狩産サケ幼稚魚の成長速度に影響を及ぼす要因
 表2のモデル#58において認められた、降海月日、降海サイズ及び沿岸滞泳期間と成長速度の関係を示す。それぞれ説明変数が赤字以上の値のとき、成長速度にプラスの効果が発作用する。

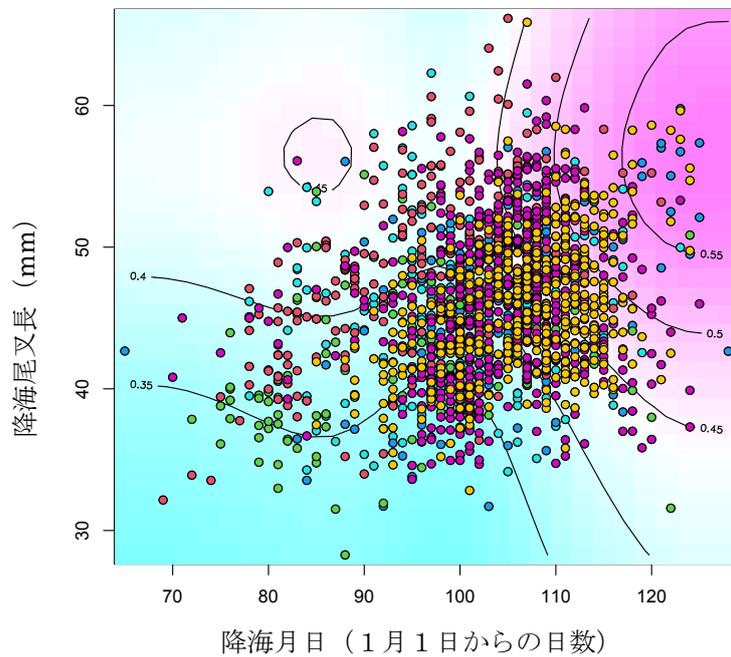


図4. 表2モデル#58において、標識の効果および沿岸滞泳期間の効果を一定に固定した場合の成長速度の予測値（コンター図：単位 mm/日）
 コンター図において、暖色系の色は成長速度の大きいことを、寒色系の色は成長速度の小さいことをそれぞれ意味する。図中の赤丸、緑丸、青丸、水色丸、バイオレットおよび黄色丸は、それぞれ2017年、2018年、2019年、2020年、2021年および2022年に採集された供試魚の降海月日と降海尾叉長を表す。

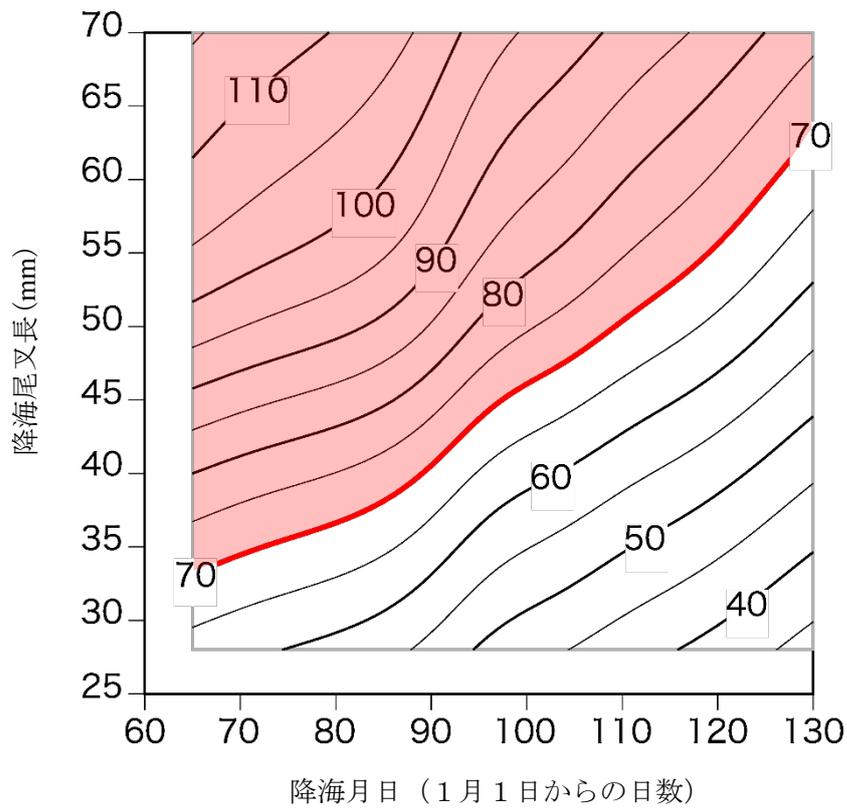


図5. 表2モデル#58において、各調査年の成長速度の予測値を使って5月25日までに到達可能な尾叉長を推定したコンター図（標識の効果は一定値に固定）
5月25日までに尾叉長70mm以上に成長するためには赤網掛けで示した降海月日および降海尾叉長が必要になることを意味する。

表 1. 2022 年厚田沿岸域で採集された石狩川および余市川起源の標識サケの放流履歴、採集履歴および日周輪解析結果

| 水系 | ハッチ コード | 放流履歴 | | | 厚田での採集履歴 | | | 耳石日周輪解析の結果 | | | | |
|-----|-------------|----------------|-----------------|-------------|----------|-----|------------------------|------------------------|-------|--------------------|------------------------|------------------------|
| | | 放流月日 | 放流サイズ*1 (mm) | 放流数 (千尾) | 採集月日 | 再捕数 | 再捕サイズ*1 (mm) | 回収率*3 | 標本数 | 推定降海日*1 | 推定降海*1 サイズ(mm) | 成長速度*1 (mm/日) |
| 石狩川 | 2-1, 4H | 2022/4/20 | 46.87 | 5,508 | 4/14~6/1 | 204 | 58.38 (41.00-81.57) | 37.04 | 114 | 4/23 (4/7-5/2) | 47.60 (39.32-58.61) | 0.49 (0.24-1.00) |
| | 2-2-3H | 2022/4/9 | 45.17 | 6,477 | 4/14~6/1 | 192 | 55.15 (34.68-75.76) | 29.64 | 119 | 4/16 (4/3-5/4) | 45.52 (32.83-58.32) | 0.45 (0.21-0.76) |
| | 2-3-2H | 2022/4/23 | 48.00 | 1,016 | 5/6~5/25 | 17 | 52.05 (42.22-74.61) | 16.73 | 17 | 4/26 (4/17-5/4) | 43.64 (39.95-54.71) | 0.46 (0.23-0.77) |
| | 2-3, 3H | 2022/4/20 | 45.56 | 1,039 | 5/6~6/1 | 47 | 55.24 (46.85-79.49) | 45.24 | 40 | 4/24 (4/13-5/4) | 46.45 (40.84-55.58) | 0.47 (0.23-0.76) |
| | 2, 2n, 3H | 2022/3/3 | 46.00 | 1,295 | 4/14~5/6 | 2 | 56.32 (51.13-61.50) | 1.54 | 1 | 3/26 | 41.91 | 0.49 |
| | 2, 3-3H | 2022/3/23~4/9 | 43.97 | 11,396 | 4/8~6/1 | 224 | 52.75 (38.06-82.27) | 19.66 | 137 | 4/16 (3/30-5/3) | 44.77 (35.50-65.87) | 0.44 (0.21-0.79) |
| | 2, 4n, 3H | 2022/3/15 | 48.00 | 1,377 | 5/6~5/25 | 4 | 63.06 (53.40-69.31) | 2.90 | 4 | 4/16 (4/4-4/26) | 50.33 (47.99-54.20) | 0.45 (0.27-0.57) |
| | 2, 6n, 3H | 2022/3/24 | 46.00 | 1,368 | 4/8~5/6 | 10 | 48.16 (40.57-61.55) | 7.31 | 10 | 4/3 (3/26-4/5) | 42.73 (37.46-47.39) | 0.35 (0.24-0.51) |
| | 2-3, 2H | 2022/3/14, 4/1 | 54.00*2 | 1,967 | 4/8~5/6 | 9 | 63.58 (46.32-77.38) | 4.58 | 8 | 4/6 (3/28-4/9) | 51.62 (40.32-57.32) | 0.63 (0.39-0.85) |
| | 余市川 | 2, 2, 1, 4H | 2022/4/8 | 52.00 | 1,042 | 5/6 | 12 | 64.93 (58.17-76.74) | 11.52 | 9 | 4/11 (4/6-4/16) | 51.16 (47.49-55.23) |
| | 2, 2, 1, 5H | 2022/3/11, 22 | 49.56 | 2,036 | 4/8~5/6 | 7 | 58.35 (50.16-76.15) | 3.44 | 6 | 3/30 (3/18-4/3) | 52.25 (46.00-57.12) | 0.38 (0.29-0.53) |

*1：表中の数値は測定値あるいは推定値の平均を、括弧内はその範囲をそれぞれ示す。降海日が放流日より早く推定されたケースを含む。

*2：一部放流群の放流サイズの情報を欠く。

*3：回収率= (再捕数/放流数) × 10⁻⁶

*4：同一ハッチコードの群が複数日にわたって放流されている場合は放流数による加重平均で放流サイズを算出。

表 2. 2017～2022 年に厚田沿岸域で採集した石狩川産サケ幼稚魚 (n = 1,836) における成長速度を従属変数とする一般化加法モデル (モデル選択)

全モデル 64 のうち上位 7 モデルを示す。説明変数の “+” はモデルに採択された変数を表す。HC はハッチコードの違いを、s () はスプライン関数をそれぞれ示す。モデルの誤差項はガンマ分布を仮定。

| モデル# | 説明変数 | | | | | | | GCV | AIC | ΔAIC | モデルにより説明された デビアンس% | 統計学的に有意 (p < 0.05) な説明変数 |
|------|---------|-----|----------|-----------|----------|---------|----------|---------|-------|--------|---|--------------------------|
| | HC | 調査年 | 動物プランクトン | s(沿岸滞泳期間) | s(降海サイズ) | s(降海月日) | | | | | | |
| 58 | -0.8830 | + | | + | + | + | 0.050616 | -3162.8 | 0 | 54.40% | HC, s(沿岸滞泳期間), s(降海サイズ), s(降海月日), 定数 | |
| 60 | -0.6064 | + | + | + | + | + | 0.050616 | -3162.8 | 0 | 54.40% | 調査年, HC, s(沿岸滞泳期間), s(降海サイズ), s(降海月日), 定数 | |
| 62 | -0.9652 | + | + | + | + | + | 0.050616 | -3162.8 | 0 | 54.40% | HC, 動物プランクトン, s(沿岸滞泳期間), s(降海サイズ), s(降海月日), 定数 | |
| 64 | -0.9059 | + | + | + | + | + | 0.050616 | -3162.8 | 0 | 54.40% | HC, s(沿岸滞泳期間), s(降海サイズ), s(降海月日), 定数 | |
| 61 | -0.8124 | | + | + | + | + | 0.050967 | -3148.4 | 14.38 | 52.20% | 動物プランクトン, s(沿岸滞泳期間), s(降海サイズ), s(降海月日), 定数 | |
| 63 | -0.6784 | + | + | + | + | + | 0.050967 | -3148.4 | 14.38 | 52.20% | 調査年, 動物プランクトン, s(沿岸滞泳期間), s(降海サイズ), s(降海月日), 定数 | |
| 59 | -0.5703 | + | + | + | + | + | 0.050967 | -3148.4 | 14.38 | 52.20% | 調査年, s(沿岸滞泳期間), s(降海サイズ), s(降海月日), 定数 | |

GCV: 一般化クロス・バリテーション規準

AIC: 赤池情報量規準

ΔAIC: AIC 最小モデルとの当該モデルの AIC との差

1)-d)-② 北海道太平洋沿岸

執筆者：水産資源研究所 さけます部門 資源生態部 本多健太郎

【目的】

耳石日周輪解析による降海・成長履歴の把握や調査データの分析などを通じて、放流魚（耳石温度標識魚）の生残条件について検討する。北海道太平洋沿岸域では、これまでのモニタリング結果から、降海後河口の西側海域で採捕されるサケ幼稚魚の存在が知られていた（Saito et al. 2013）。しかしながら、何割の個体が、どのような個体が西側に向かうのか、どこまで行くのか、そしてその内何割が東側に戻って来られるのかといった生態学的な知見は皆無である。近年親魚の来遊不振が続く北海道太平洋側では、幼稚魚の生残を考える上でこのような知見の集積が欠かせない。

【方法】

北海道太平洋沿岸域で採捕された耳石温度標識の付いたサケ幼稚魚を供試魚とした。同一河川起源且つ同一年級で河口の東西の採捕地点で10尾以上採集された群のみを対象とした。十勝川起源で2005年、2010年、2016年、2019年に西側海域（白老、室蘭、虎杖浜、厚賀、春立）と東側海域（昆布森）で採捕された群（以降、西側・東側採捕群）と2019年、2020年、2021年の静内川起源の西側（室蘭、虎杖浜）・東側（昆布森）採捕群が該当した（図1）。Honda et al. (2017) による耳石の日周輪解析手法に倣い、個体ごとに降海履歴〔降海時の尾叉長（以降、FL）と降海月日〕を推定し、降海後の成長速度〔（採集時 FL-降海時 FL）/降海から採捕までの日数〕を求めた。各年各河川起源のそれらの値と採捕時の肥満度を東西の採捕地点間で比較し、それぞれの特徴の有無を調べた。また、各群の降海・採捕履歴を沿岸海表面水温（以降、SST）と照合した。

【結果及び考察】

西側採捕群は総じて東側採捕群よりも早く降海する傾向にあった。特に十勝川起源群では2016年を除き、SSTが5℃（サケ幼稚魚の好適水温の下限）に達する前に降海したと推定された個体が大半を占めた。西側採捕群の中には小型FLで降海後に短期間で採捕された個体も多数認められ、それらは同海域を西向きに流れる沿岸親潮に対して受動的に移動したと想定された。東側採捕群は西側採捕群と比べて成長が速く偏った一方で、採捕時の肥満度は低い傾向にあった。これらは、東側採捕群が沿岸親潮に逆らって長距離を移動中に成長依存の減耗が生じた上、相応のエネルギーを消費したためと考えられた。さらに、西側採捕群の採捕時のSSTが13℃（好適水温の上限）付近であったケースが多数認められた。近年、北海道太平洋沿岸域では来遊数の低迷と好適水温の出現期間の短期化が指摘されており（Kuroda et al. 2020）、西側に移動した個体の死滅回遊の増加が危惧される。なお、本結果の詳細については現在取り纏め中である。

【引用文献】

- Honda K., et al. (2017) Growth rate characteristics of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* originating from the Pacific coast of Japan and reaching Konbumori, eastern Hokkaido. Fish. Sci. 83: 987-996.
- Kuroda H., et al. (2020) Unconventional sea surface temperature regime around Japan in the 2000s–2010s: Potential influences on major fisheries resources. Front Mar Sci 7:574904
- Saito T., et al. (2013) The dispersal pattern of juvenile chum salmon in the Pacific Ocean off the Coast of Hokkaido, Japan. NPAC Tech. Rep. 9: 21-22.

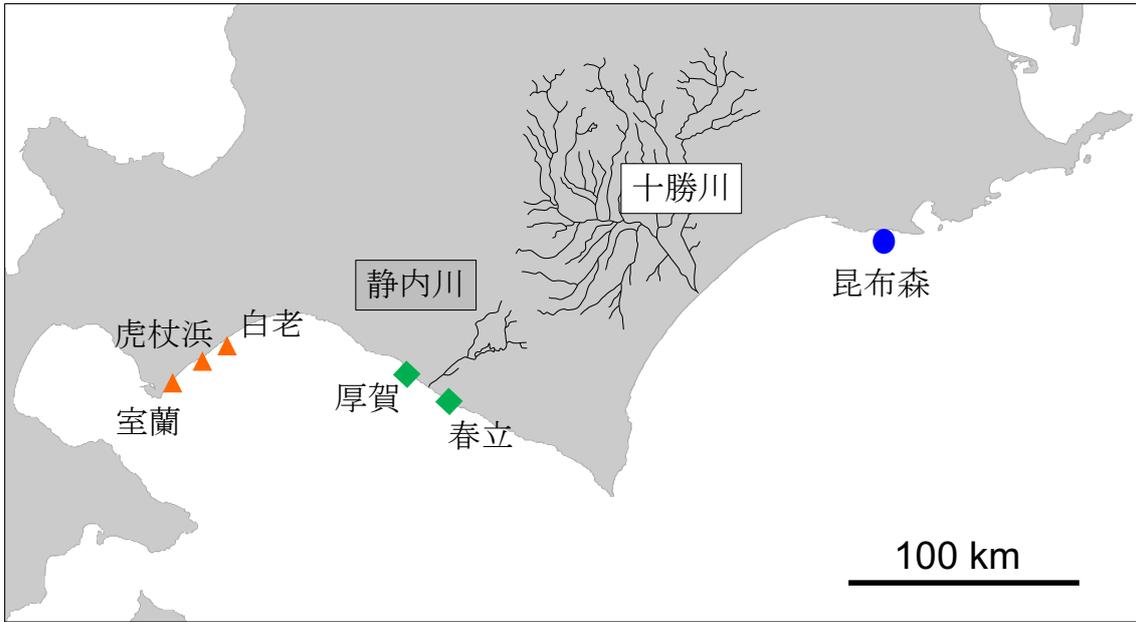


図 1. サケ幼稚魚の起源河川と採集地点

e) 北海道における定点環境観測及び稚魚採捕調査 2

執筆：北海道立総合研究機構 さけます・内水面水産試験場 大森始、實吉隼人、伊藤雅浩

① 津軽海峡海域における海洋観測及び稚魚採捕調査

実施機関及び担当者

北海道立総合研究機構 さけます・内水面水産試験場 さけます資源部：

大森始、小亀友也、下田和孝

同

道東センター：實吉隼人

渡島管内さけ・ます増殖事業協会：柳元孝二、鈴木 慎

【目的】

近年のサケ漁業は深刻な不漁が続き、増殖現場からはサケ資源の早期回復に向けた取り組みが望まれている。道南地区の津軽海峡海域は多くの増殖河川を有し、知内川や戸切地川などでは様々な試験放流が行われており、放流されたサケ稚魚の経路となる海洋環境の把握は重要と考えられる。そこで、放流後のサケ稚魚の移動や栄養状態などを調査するため、サケ稚魚が通過すると考えられる漁港で採捕調査を行った。また、沿岸の海洋観測から当地域の放流時期などに関する情報を蓄積した。本事業の油脂添加餌料による回帰率向上効果の検証において、知内川に 2023 年春に放流された標識魚の追跡を行った。

【方法】

放流日は 2023 年 4 月 10 日であり、その翌日と放流から 3 日後、5 日後に知内町の中の川漁港と北斗市の上磯漁港において夜間にタモ網を用いて 15 分間のサケ稚魚採集を行った（図 1）。また、両漁港において日中に目視による稚魚の分布状況についても調べた。採集したサケ稚魚は 100 尾を上限に冷凍して実験室へ持ち帰り、魚体測定をした後に耳石標識を確認した。標識魚が確認された際には肝臓中のグリコーゲン含量と筋肉中のトリグリセリド含量を市販の測定キットを用いて測定を試みた。上磯漁港と中の川漁港の一部の稚魚は、5%中性ホルマリンで一晩固定した後に 70%エタノールに置換し、魚体測定、耳石標識の確認をした。

2023 年の 2 月下旬から 6 月上旬まで毎旬 1 回、北斗市上磯地区沿岸において海洋観測を行った（図 1）。観測は上磯地区の戸切地川河口に位置する上磯漁港の 0.5 km 沖合の地点（St. 1）と 2 km 沖の地点（St. 2）で表面水温、透明度などの測定と St. 2 ではノルパックネットによる動物プランクトンの採集を行った。

【結果及び考察】

中の川漁港では調査期間中にサケ稚魚を採集することができなかった。日中に目視できたサケ稚魚も放流から 3 日後の 4 月 13 日に 2 尾、放流から 5 日後の 4 月 15 日に 1 尾と極めて少なかった。上磯漁港では調査期間中に 126 尾のサケ稚魚を採集することができたが、他河川由来の標識魚が 4 月 15 日に 1 尾確認されたのみであり、他は総て無標識のサケ稚魚であった（図 2）。これらのことから、知内川から放流されたサケ稚魚は漁港には滞在せず速やかに沖に移動したと考えられた。

上磯沿岸の St. 2 における表面水温は 3 月上旬から、放流の目安とされる 5 °C を概ね上回り、4 月上旬には沿岸での分布の適水温である 8 °C に到達し、その上限である 13 °C は 5 月下旬に超えた（図 3）。上磯地区沿岸の St. 2 における動物プランクトンの湿重量は 2021 年は 4 月中旬に、2022 年は 4 月下旬に増加する傾向にあったが、2023 年は明瞭な増加が見られず、調査期間中低位で推移した（図 4）。2023 年に放流したサケ稚魚（2022 年級）の放流後の餌環境は良くなかったと推察され、数年後に回帰するサケ資源への影響が懸念

される。動物プランクトンの分類群組成を湿重量比で示した（図5）。カイアシ類、枝角類及び尾虫類が調査期間を通して出現し、カイアシ類ではアカルチア *Acartia hudsonica*、枝角類ではウミオオメミジンコ *Podon leuckarti*、尾虫類ではサイズチボヤ *Fritillaria borealis* が優先した。

これまでの調査結果から、知内川から放流されたサケ稚魚は近隣の漁港に滞在しても数日で移動したり、漁港を経由せず速やかに沖へ移動する傾向にあった。当地区のサケ稚魚の放流時期については、海水温の観測結果から見ると3月中の放流も可能ではあるが、動物プランクトンが増加するのは4月に入ってからなので、現在行われている4月上旬の放流は概ね適切と考えられた。

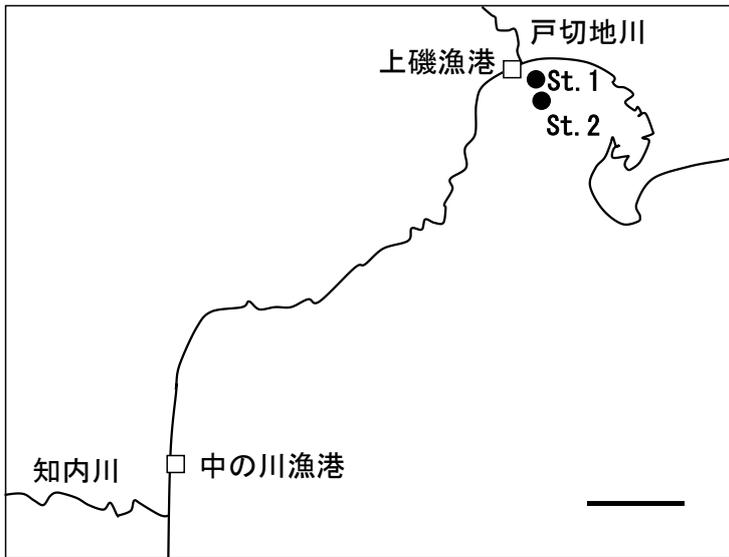


図 1. 津軽海峡海域の調査地点

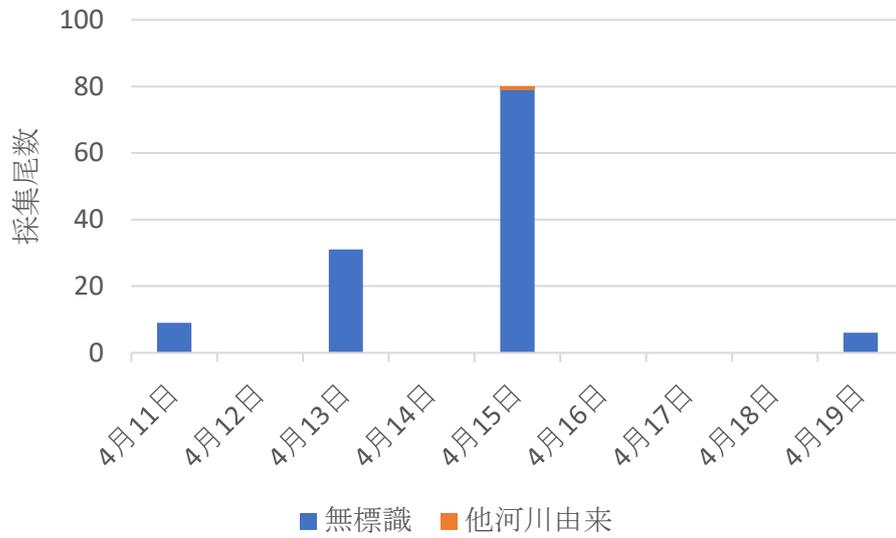


図 2. 上磯漁港におけるサケ稚魚採集尾数の推移

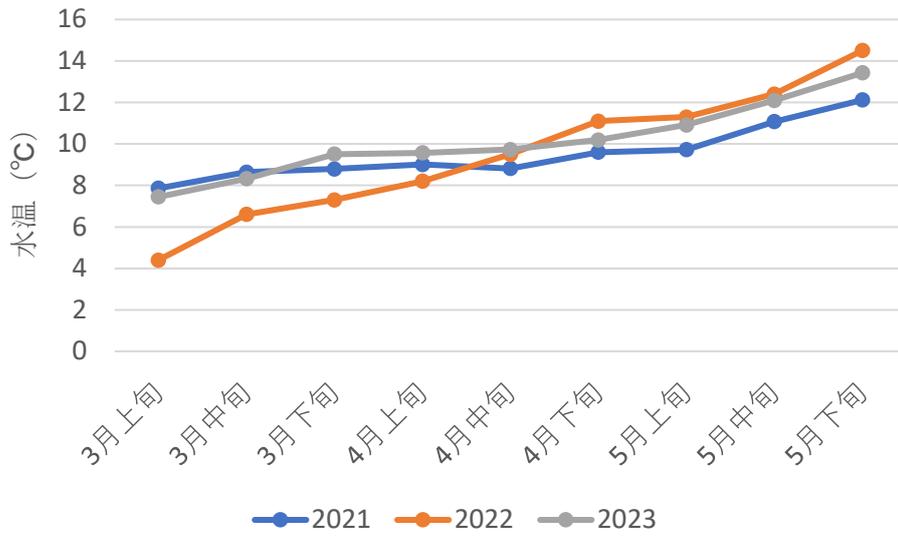


図3. 上磯沿岸水温の推移

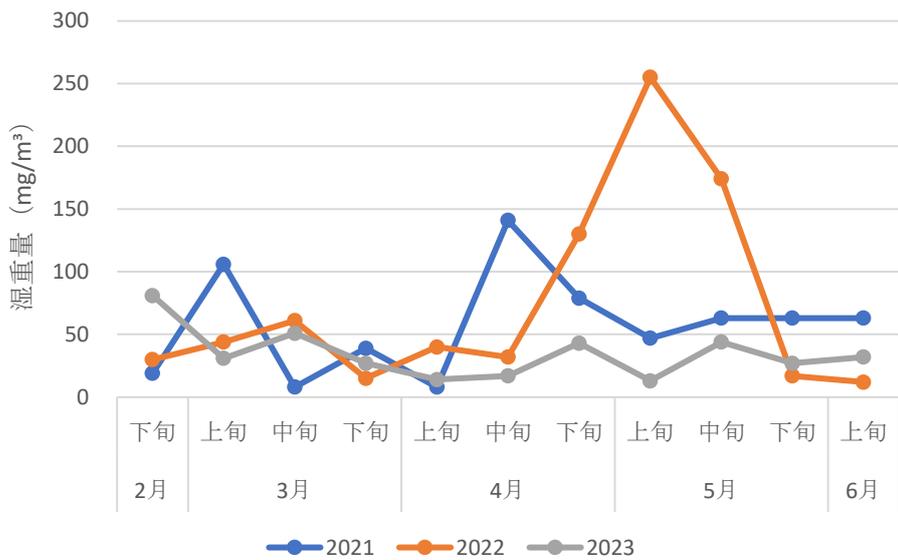


図4. 上磯沿岸の動物プランクトンの湿重量

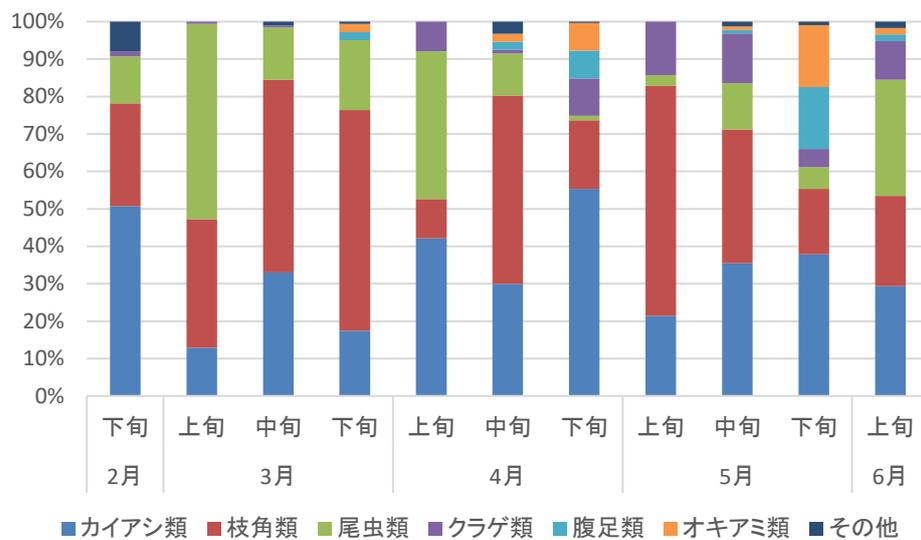


図 5. 上磯沿岸の動物プランクトンの分類群組成

② 根室湾～太平洋における海洋観測

実施機関及び担当者

北海道立総合研究機構 さけます内水面水産試験場 道東センター：春日井潔、實吉隼人、伊藤雅浩

【目的】

えりも以東東部根室半島沿岸および根室南部別海沿岸における、サケ幼稚魚の生息適期を把握する。

【方法】

えりも以東東部地区の歯舞沿岸（歯舞漁港沖合）1 km、4 km 沖の地点で2023年4月上旬から7月中旬に毎月1回、根室南部地区の別海沿岸（西別川河口沖合）1 km、7 km 沖の地点で4月上旬から6月下旬に毎月1回、海洋観測を実施した（図1）。なお、歯舞沿岸の5月中旬から6月上旬、別海沿岸の5月下旬から6月中旬は欠測となった。各地点において表面水温と透明度の観測、CTDによる水温・塩分の鉛直観測を行うとともに、動物プランクトンを採集した。動物プランクトンは単位体積当たりの湿重量を測定した後、カイアシ類は種レベル、その他の動物は目レベルまで同定を行い、それぞれの分類群の個体数および湿重量を求めた。また、歯舞漁港および別海漁港においても調査時に表面水温の測定およびCTDによる鉛直観測を実施した。

【結果及び考察】

歯舞沿岸の4月上旬の表面水温は漁港で3.7℃、1 km 沖で3.4℃、4 km 沖で2.1℃であり、いずれの地点でも5月上旬にサケ稚魚放流の目安とされる5℃に達した。その後、観測を再開した6月中旬には沿岸分布の適水温である8℃を超えており、1 km 沖で7月上旬、4 km 沖では7月中旬に13℃に達して適水温の範囲を上回った（図2）。水深5 mの塩分は期間を通じて33 psu以下を示し、4月上旬から沿岸親潮（水温2℃以下、塩分33 psu以下）が分布していた（図2）。透明度は4月から5月上旬にかけて両地点とも6 m前後で、6月中旬以降はやや低下し5 m前後となっていた。

動物プランクトンの湿重量の合計は1 km 沖で4月下旬、4 km 沖で5月上旬に最大となった（図3）。1 km 沖では4月に十脚類（クモガニ科ほか）の幼生がきわめて多く出現した。カイアシ類は期間を通じて出現し、4月から5月にかけては冷水性の *Pseudocalanus* 属の種が多く、6月以降は沿岸性・汽水性の *Acartia* 属の種が多かった（図4）。4 km 沖は期間を通じてカイアシ類が中心の組成となり、7月以降はミジンコ類も増加した。1 km 沖と異なり、6月以降も *Pseudocalanus* 属がカイアシ類の大半を占めた（図4）。*Neocalanus* 属に代表される大型のカイアシ類も少数ながら見られた。

別海沿岸の表面水温は、4月上旬で1 km 沖が5.4℃、7 km 沖は4.0℃であった。4月下旬まで6℃以下にとどまり、5月上旬に8℃に達して適水温の範囲に入った。その後、観測を再開した6月下旬には両地点とも13℃を超えていた（図5）。水深5 mの塩分は31–32 psuで、特に4月から5月上旬にかけ低下した（図5）。透明度は、1 km 沖で期間を通じ3.5–4.5 m、7 km 沖で4月に6.5–7 m、5月以降4.5–5 mであった。

動物プランクトンの湿重量は1 km 沖で5月中旬、7 km 沖で5月上旬に最大となった（図6）。1 km 沖では4月中はクラゲ類やフジツボ類が中心だったが、5月上・中旬は *Acartia hudsonica* をはじめとした沿岸性のカイアシ類が60%以上を占めていた（図7）。7 km 沖では4月中旬まで *Pseudocalanus newmani* を中心に冷水性の小型カイアシ類が多かった一方、4月下旬以降はクラゲ類の占める割合が増加した（図7）。汽水性・沿岸性のプランクトンが多く外洋に生息する大型種が少なかったこと、塩分濃度が低いことをふまえると、別海沿岸の海洋環境は河川水の影響を受けていることが推察される。



図1. 歯舞沿岸および別海沿岸における調査定点

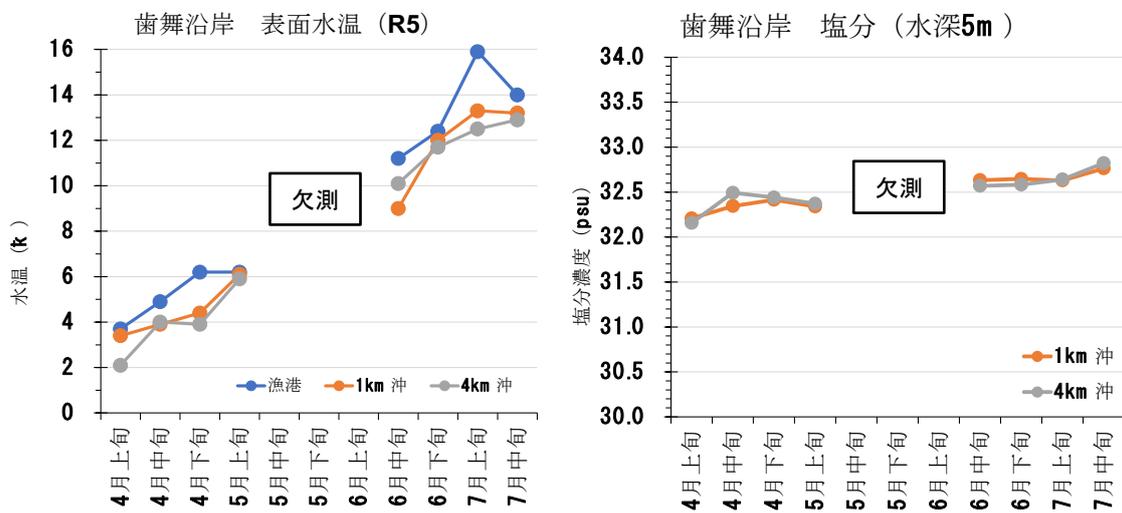


図2. 歯舞沿岸の表面水温 (左) および塩分濃度 (右)

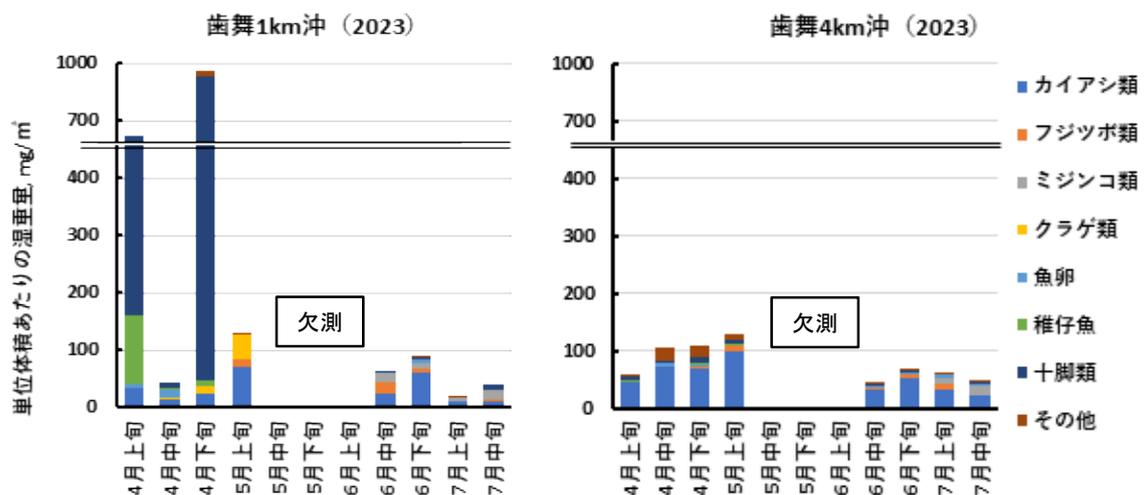


図3 歯舞 1km 沖 (左) と 4km 沖 (右) の動物プランクトン湿重量

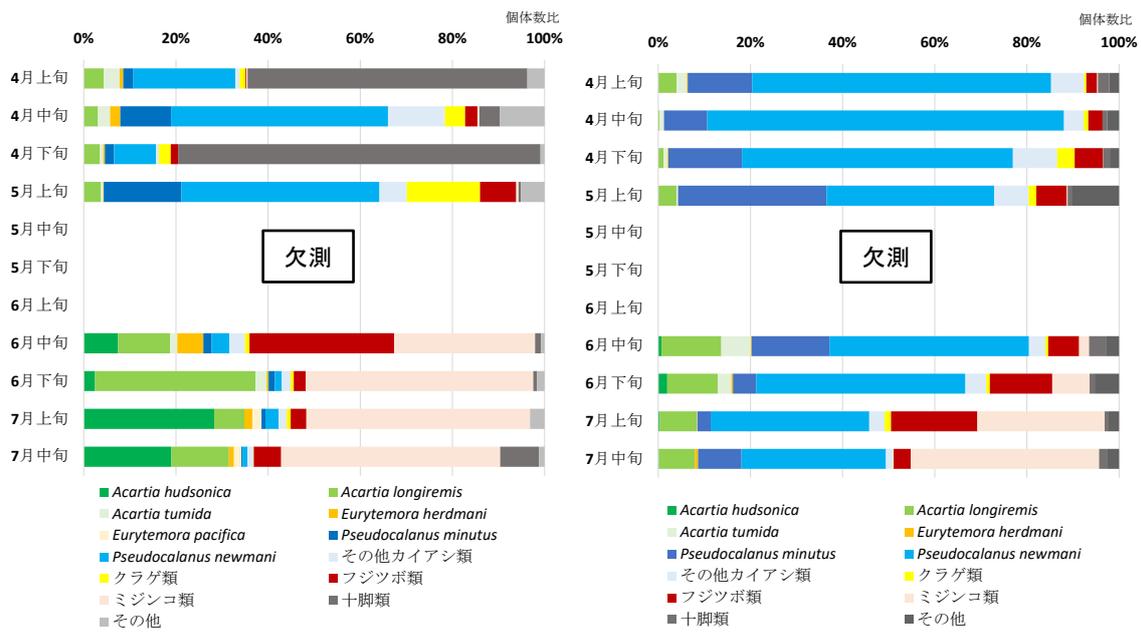


図 4. 歯舞 1 km 沖 (左) と 4 km 沖 (右) の主要な動物プランクトン組成 (個体数比) カイアシ類については主要な種を記載した。

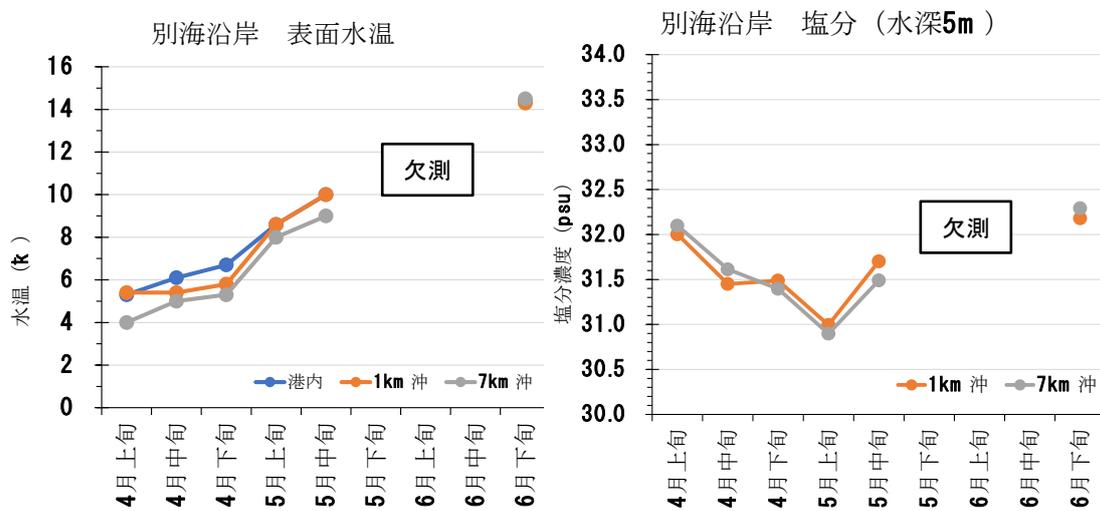


図 5. 別海沿岸の表面水温 (左) および塩分濃度 (右)

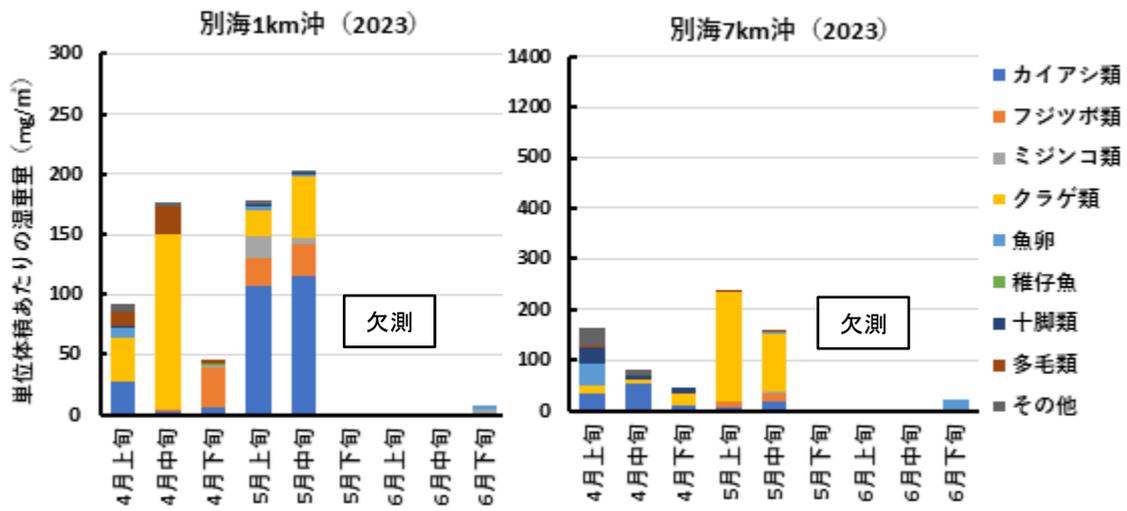


図 6. 別海 1 km 沖 (左) と 7 km 沖 (右) の動物プランクトン湿重量

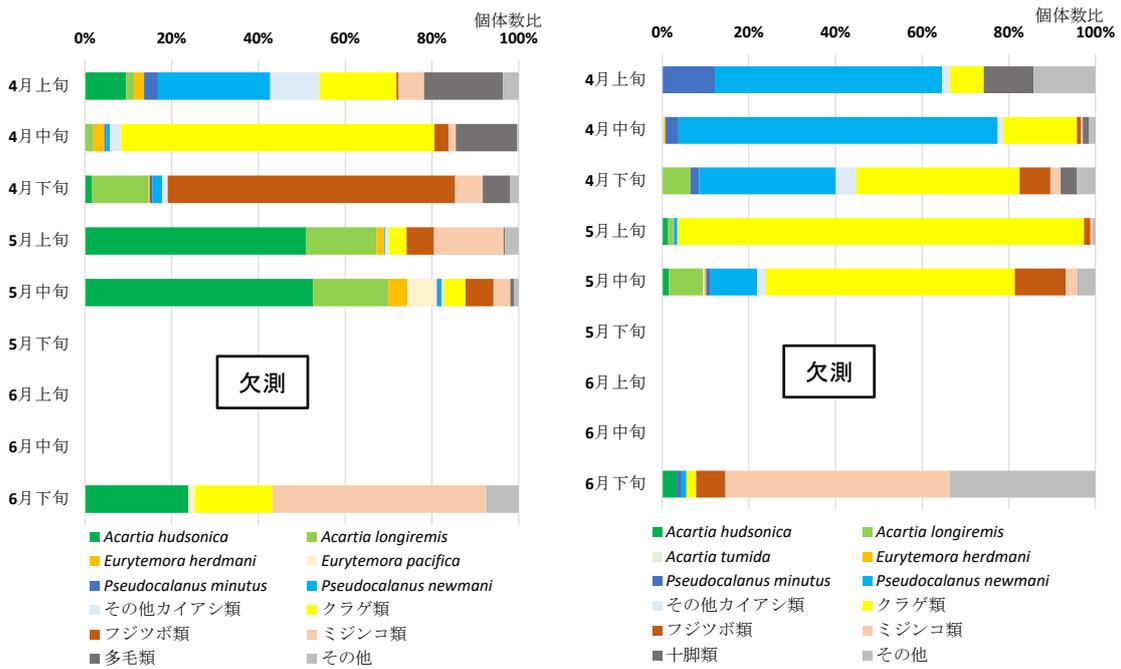


図 7. 別海 1 km 沖 (左) と 7 km 沖 (右) の主要な動物プランクトン組成 (個体数比)
カイアシ類については主要な種を記載した。

③ 根室湾沿岸における稚魚採捕調査

実施機関及び担当者

北海道立総合研究機構 さけます内水面水産試験場道東センター：春日井 潔、實吉隼人、
伊藤雅浩、刀裨和樹

根室管内さけ・ます増殖事業協会

【目的】

本事業の根室地区における最適な放流時期の検証において放流された、耳石温度標識を施したサケ稚魚を採集調査により追跡し、それらの移動や成長について把握する。

【方法】

2023年の4月中旬から6月下旬にかけて概ね旬1回、根室管内の羅臼地区、標津地区、野付地区、別海地区、根室半島地区のそれぞれ4~5カ所、計21カ所の渚帯や漁港において、地曳網によるサケ稚魚採集調査を行った(図1)。また、別海地区の別海漁港と根室半島地区の幌茂尻漁港、トーサムポロ漁港、瑠瑠瑠漁港においては5月上旬から6月上旬にかけて旬1回程度、夜間にたも網による30分間のサケ幼稚魚採集調査を行った。それぞれの調査時には表面水温を測定した。夜間の採集調査時には塩分についても観測した。採集した稚魚の一部を実験室に持ち帰り、魚体測定、胃内容物重量の測定および耳石標識の確認を行った。

【結果及び考察】

地曳網による調査では各地区で幼稚魚が採集され、およそ2,600尾を採集してそのうち869尾の耳石標識を確認した。本事業の標識魚については、4月26日に放流した4月下旬放流群(ハッチコード:2,3,5H)が5月上旬に根室地区のトーサムポロ漁港で1尾、5月下旬に別海地区の走古丹漁港で2尾が確認された(図2)。5月11日に放流した5月中旬放流群(ハッチコード:2,9H)の再捕はなかった。また、西別川より北側の野付地区、標津地区、羅臼地区では両標識群の再捕はなかった。

漁港での夜間の稚魚採集では、別海地区の別海漁港では5月上旬から6月上旬にかけて442尾の稚魚を採集して345尾の稚魚の耳石標識を確認した。本事業の標識魚については4月下旬放流群が5月上旬に6尾、5月中旬に2尾確認され、5月中旬放流群(ハッチコード:2,9H)は5月中旬に3尾、5月下旬に1尾が確認された(図2)。根室地区では5月上旬から6月上旬に幌茂尻漁港で44尾、トーサムポロ漁港で62尾、瑠瑠瑠漁港は6月上旬のみの調査で26尾、合計で132尾の稚魚を採集して耳石標識を確認した。4月下旬放流群が5月下旬にトーサムポロ漁港で2尾確認された。

両調査から4月下旬放流群は5月上旬には沿岸に出現して5月下旬まで分布し、5月中旬放流群は放流した5月中旬から沿岸に現れて5月下旬まで分布することが示された。標識魚を採集した別海漁港、走古丹漁港、トーサムポロ漁港の水温は、4月下旬から稚魚の沿岸における分布の適水温である8℃に達し、6月上旬にその上限の13℃を超えた。どちらの群の標識魚も概ね適水温の範囲内に出現していた(図3)。別海漁港とトーサムポロ漁港の水深1mにおける塩分は、期間を通じて31から32psu以下を示し、大きな変化はみられなかった。

図4には採集した標識稚魚の魚体測定の結果について示した。両調査で再捕した各標識稚魚の平均尾叉長は4月下旬から5月下旬まで50mm前後で推移し、放流時の平均尾叉長(4月下旬放流群:51.0mm、5月中旬放流群:50.0mm)から大きな変化はみられなかった。ただし、5月29日に走古丹漁港での地曳網調査で再捕した4月下旬放流群の稚魚2尾の尾叉長は71.3mmと65.9mmで、他の標識魚よりも大型であった。平均体重についても同様で、両標識群ともに1g前後で放流時から大きな変化なく推移していたが、5月29日の4月下旬放流群2尾が3.2gと2.5gで大型であった。平均肥満度は放流時(4月

下旬放流群：9.05、5月中旬放流群：8.80）に比べると低いが、4月下旬放流群では8前後、5月中旬放流群では7.5前後で推移し、大きな低下はみられなかった。5月29日再捕の4月下旬放流群2尾の肥満度は、8.79と8.86で放流時に近い値となっていた。各個体の胃内容物重量と体重から求めた胃充満度（胃内容物重量÷体重×100）は、4月下旬放流群では5月中旬に3%を超えて最大となり5月下旬には1%台に低下した。5月中旬放流群の胃充満度については、5月中旬は2%で5月下旬は1個体であるが3%を超えた。5月29日に再捕された4月下旬放流群の胃充満度は、1.29%と4.14%であった。両標識群ともに時期による体サイズの変化は小さく、降海してきた稚魚が入れ替わり出現した可能性が考えられる。移動経路については不明だが、4月下旬放流群が5月下旬までに尾叉長70mmまで成長する事例が示された。肥満度や胃充満度については。両標識群ともに大きな低下はみられなかった。



図1. 根室沿岸における幼稚魚採集調査地点



図2. 根室沿岸における標識魚の再捕状況

f) 東北から北海道太平洋における海洋環境観測及び稚魚採捕調査

執筆者：岩手県水産技術センター 岡部聖

実施機関及び担当者

岩手県水産技術センター：清水勇一、岡部聖、太田倫太郎

北海道大学大学院水産科学研究院：向井徹、長谷川浩平、閻乃筆

水産研究・教育機構 水産技術研究所 水産工学部：澤田浩一、福田美亮、鈴木健吾、
山本晋玄、松裏知彦

【目的】サケ稚魚の北上回遊期における東北から北海道太平洋沿岸域の海洋環境を把握し、サケ稚魚の移動実態や成長履歴等を明らかにする。

【方法】岩手県沿岸及び北海道太平洋沿岸において、岩手県所属の漁業指導調査船「岩手丸」を用いて、海洋観測とサケ稚魚の採捕調査を行った。サケ稚魚の採捕は、昼間は表層トロール、夜間は集魚灯及びタモ網を用いて実施した。採捕したサケ稚魚から耳石を採取し、耳石温度標識によりその由来を確認したほか、耳石から成長履歴を確認した。また、山田湾の氷場に音響プロファイラーを設置し、課題ア-3)-b)で放流した稚魚の成育環境のモニタリングを行った。なお、本調査は、課題ア-1)-a)及び課題ア-3)-b)で放流した稚魚の追跡調査も兼ねる。

【結果及び考察】

岩手丸による岩手県沿岸調査は、令和5年4月21日、24日、5月29日、30日及び6月1日に実施した。稚魚の採捕はなく、令和元年級以降、採捕がない状況である（図1）。令和5年調査時の表面海水温は9.8～15.7℃で、5、6月調査時の動物プランクトンは4月調査時に比べて減少した。5月下旬の閉伊埼定点における表面海水温及び動物プランクトン湿重量の過去10年間の推移を比較すると、いずれも平均的であった（図2）。

北海道太平洋沿岸調査は、令和5年6月23日、24日に実施し、計146尾のサケ稚魚を採捕した。そのうち27尾に耳石温度標識が認められ、北海道由来が26尾、岩手県由来（サケ大規模実証試験施設由来）が1尾であった。耳石から標識魚の成長履歴を調べると、5月に60mm以上で海水移行した個体が多く出現しており、平均成長速度は7.0mm/日と速い傾向であった。また、岩手県由来の1尾は令和5年5月8日に平均尾叉長88.2mm、平均体重5.0gで放流された試験区の個体であり、海水移行時の推定サイズは64.1mmと、平均よりも小さかった。採捕地点の表面水温は9.8～15.4℃で、動物プランクトンの密度は少なかった。なお、採捕した稚魚は課題イ-1)-c)における解析調査に供し、無標識魚を含め、DNAから由来を確認した。

氷場に設置した音響プロファイラーについては、設備の故障により、動物プランクトン密度の正確なデータを得ることはできなかった。また、令和5年1月から5月にかけての水温および塩分は、ともに高めに推移し、津軽暖流の影響が強く見られた（図3）。

本事業とは別に、岩手県の湾内を対象として、漁業指導調査船「北上丸」による火光利用敷網調査も実施している。当該調査は、令和5年3月23～24日、4月19～20日、5月1～2日、18～19日、26日及び6月5～6日に唐丹湾、山田湾及び釜石湾で実施し、計216尾のサケ稚魚を採捕した。そのうち26尾に耳石温度標識が認められ、流速強化試験区及び対照区（課題ア-1)-a)）が各3尾、海中飼育試験対照区（課題ア-3)-b)）が9尾確認された一方、海中飼育大目網試験区は確認されなかった。

今後もサケ稚魚の追跡調査と海洋環境のモニタリングを継続し、サケの北上経路の実態を把握する必要がある。

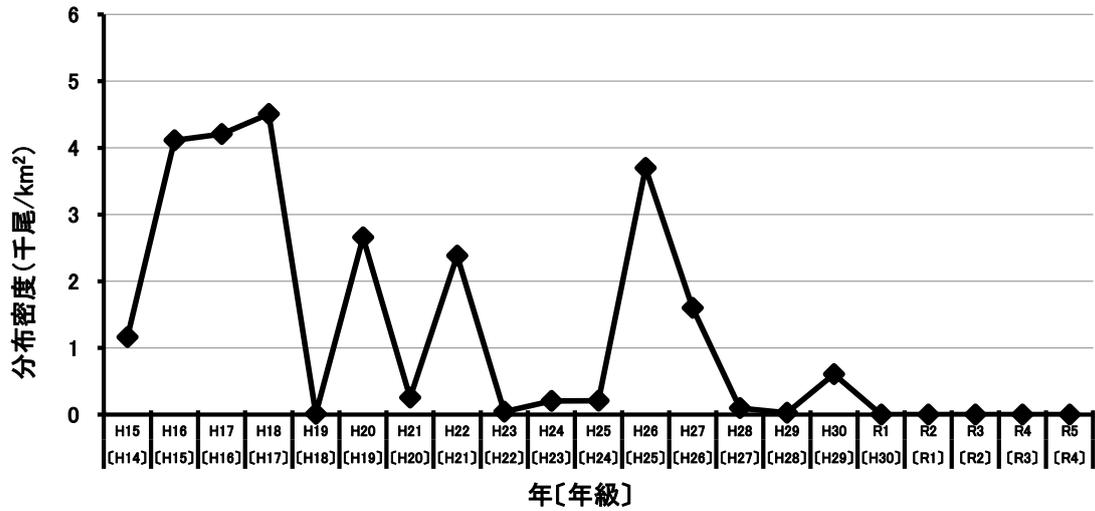


図1. 岩手県沿岸表層トロール調査による稚魚採捕結果（[]内は年級を示す）

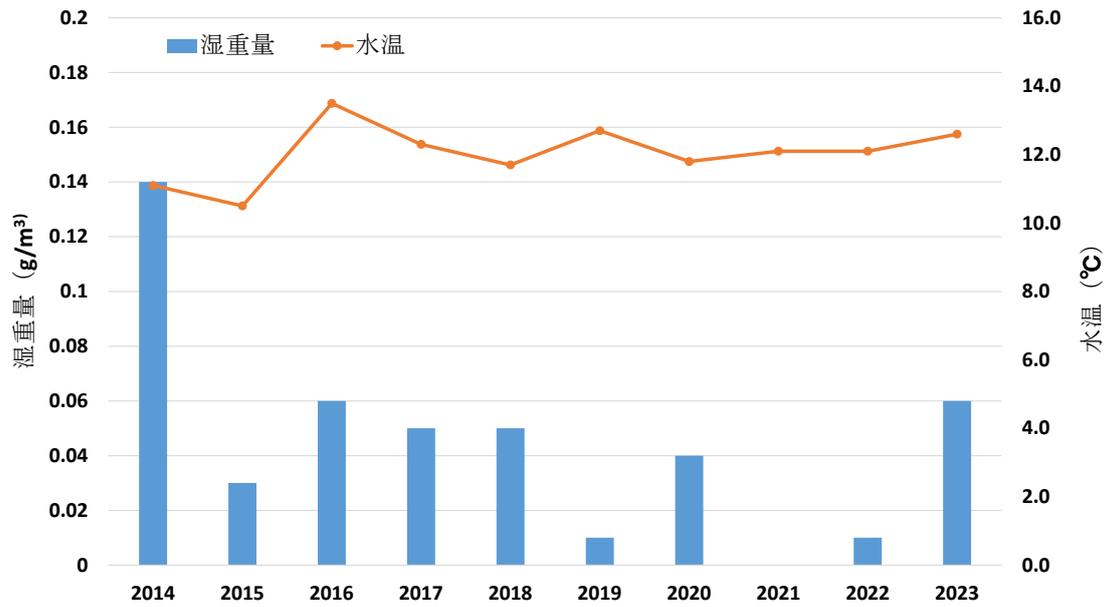


図2. 5月下旬の閉伊埼定点における表面海水温及び動物プランクトン湿重量の推移

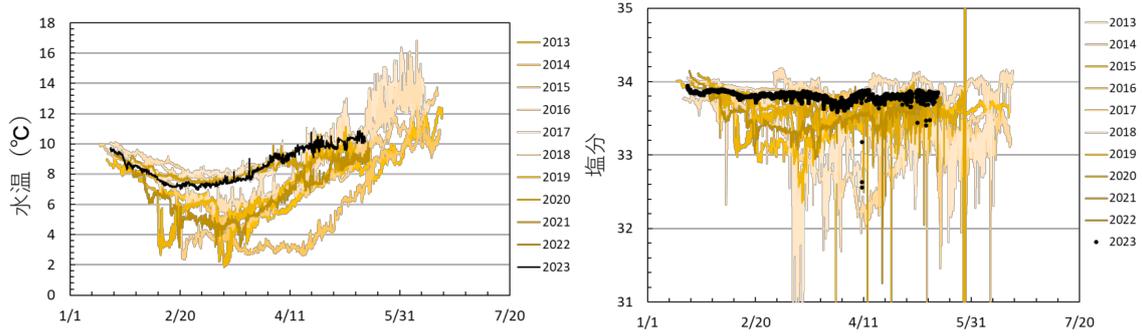


図3. 山田湾氷場における水温及び塩分の推移

g) 東北日本海における環境観測及び稚魚採捕調査と耳石日周輪解析

執筆者：山形県水産研究所 粕谷和寿

実施機関及び担当者

山形県水産研究所 海洋資源調査部：高澤俊秀

浅海増殖部：粕谷和寿

東北大学大学院農学研究科：片山知史

【目的】

山形県のサケ資源は昭和終期から平成初期にかけての大きく落ち込んだものの、その後は回復基調に移り、比較的良好な回復（2008～2015年の平均では来遊19万尾、単純回復率0.59%）を維持してきたが、平成28年～令和4年（2016～2022年）の平均は14万尾と低迷している。サケの減耗は放流から沿岸生活期にかけて最も大きいとされていることから、降海期の2～5月にかけて沿岸域において耳石温度標識魚（以下、標識魚）を追跡再捕し、本州日本海における幼稚魚の初期生態（移動、成長）を把握するとともに沿岸水温や動物プランクトンなど海洋環境との関係を解明することにより、放流魚の生残条件についての検討を行う。

【方法】

秋田・山形県境海域において山形県漁業試験調査船「最上丸」による曳網採集を主とする調査であり、併せて水温・塩分測定、動物プランクトン採集を行った（図1）。採集されたサケ幼稚魚は冷凍保存し、後日、魚体測定のほか、標識魚の識別、耳石日周輪解析等に供した。2023年の沿岸稚魚調査では、大型魚を採集するため高速曳も実施した。詳細は次のとおりとした。

1) 沿岸稚魚調査 2022年級

時期：2023年2月下旬～5月中旬（各旬1日）

場所：山形県遊佐町吹浦沖の1km、秋田県にかほ市象潟沖の1、2kmの3定点。小型漁船調査は吹浦沖0.5km、高速曳は、吹浦沖の1、2、5kmの3点。

採集方法：表層トロール（ニチモウ製D-LC-3型表中層網、袖網間隔7m、袖網高さ1.5m）を用いた往復表層曳き（曳網速度2.0knot、片道時間30min）（高速曳の曳網速度5knot）

項目：幼稚魚採集数、体サイズ、耳石温度標識のコード判別、耳石日周輪解析 他

2) 沿岸環境調査

時期：2023年2～5月

水温：前記の3定点における水深別CTD測定

県栽培漁業センター（鶴岡市三瀬）の用水温測定

塩分：前記の3定点等における水深別CTD測定

動物プランクトン：前記の3定点におけるNORPACネットによる鉛直曳き採集と分析

3) 耳石日周輪解析

①2020年級群

②2021年級群

2020年級群については2021年春に、2021年級群については2022年春に沿岸稚魚調査で再捕した標識魚について、コード判別のため作製した耳石プレパラートを用い、日周輪解析を行い、放流・降海チェックの判定や縁辺部輪紋の計数を試み、再捕までの経過日数や放流後の成長について解析した。

【結果及び考察】

1) 沿岸稚魚調査

①調査実施日と往復曳網数

最上丸による調査は2023年2月27日、3月6日、3月15日、3月28日、4月5日、4月11日、5月2日、5月11日の計8日間実施し、往復曳網数は計24回となった。これとは別に小型漁船による曳網採集を吹浦沖0.5 kmの地点において3月21日と3月30日の計2日間実施し、高速曳として4月6日に3回実施した。

②調査日別の採集数（図2、表1）

最上丸による調査の採集数は計3,688尾と前年よりも多くなった。2月27日～3月28日は101～1,938尾/日で3月28日がピークであった。4月5日～5月11日は12～37尾/日と少なかった。採集数のピークは5カ年連続で3月中にあり、4月中下旬が採集ピークであった30年程前の調査結果と異なる様相を示した。小型漁船による調査は3月21日に39尾、3月30日に446尾が採集された。また、4月6日の高速曳き（片道曳）での採集数は計51尾であった。

③調査定点別の採集数（図3）

最上丸による調査（高速曳きを除く）では、吹浦沖1 km、象潟沖1 kmはそれぞれ計739尾、計2,329尾であり、象潟沖2 kmは計569尾であった。最も多かったのは3月28日の象潟沖1 kmで1,509尾であった。高速曳では、吹浦沖1 km、2 kmはそれぞれ47尾、4尾であり、5 kmでは採集されなかった。

④体サイズ（図4）

調査期間中の体サイズは体重0.16～4.1 g(平均0.89 g)/尾、尾叉長26～75 mm(平均45 mm)/尾であった。採集数が10尾未満であるときを除けば、調査定点の体サイズは0.8～1.0 g/尾・日の範囲にあった。高速曳きでの体サイズは吹浦沖1 km、2 kmそれぞれ0.41～1.44 g(平均1.00 g)/尾、0.22～0.73 g(平均0.54 g)/尾であり、大型魚の採捕はなかった。

⑤標識魚の放流状況と再捕数（表1）

標識魚の放流は秋田県の川袋川、本県の月光川と赤川、新潟県の三面川、富山県の黒部川と神通川の6水系で実施された。これらの放流数は発眼卵で100千粒、稚魚は計13,147千尾であった。放流時期は2月中旬～3月中下旬、その体サイズ（平均体重）は0.5～1.9 g/尾の範囲にあった。

最上丸による調査で再捕された標識魚は924尾で混在率は13～32%（10尾未満の地点を除く）であった。放流水系別の再捕数は調査海域に近い川袋川と月光川の2河川はそれぞれ283尾、468尾であり、赤川、三面川、富山県の河川（黒部川若しくは神通川）はそれぞれ57尾、8尾、1尾であった。

3月下旬の小型漁船調査では120尾の標識魚が再捕され、混在率は24%であった。放流水系別では川袋川37尾、月光川71尾、赤川7尾、三面川3尾、富山県（黒部川若しくは神通川）1尾であった。

⑥標識魚の再捕日と体サイズ（図5～8）

放流水系別の再捕数と体サイズ（調査日平均）の推移については、川袋川（放流日：1月19日、3月4日、3月13日）は3月6日から再捕され、3月15日が最も多く（168尾）、0.7～1.4 g/尾であった。月光川は（放流日：2月18日、2月20日、3月11日、3月17日、3月24日、3月25日）は2月27日から再捕され、3月28日が最も多く（402尾）、0.8 g/尾であった。赤川（放流日：3月10日）は3月15日と同月28日で、1.1 g/尾、同1.4 g/尾であった。三面川（放流日：2月18日、3月3日）は3月6日から再捕され、3月28日が最も多く、1.0～2.0 g/尾であった。

2) 沿岸環境調査 (図 9～11)

2023年2月27日～5月11日の調査日の表層水温(水深2m)は吹浦沖1kmでは8.0℃から14.0℃、象潟沖1kmでは9.2℃から14.2℃へと上昇した。調査海域から約50km南に位置する県栽培漁業センター(鶴岡市三瀬)の用水温(距岸640m、水深5mにおいて取水)は月平均で2月は9.3℃、3月は10.3℃、4月は12.2℃、5月は14.9℃であり、1991年から2020年までの過去30年平均(9.1℃、9.3℃、10.8℃、14.2℃)に対して、それぞれ0.2℃、1.0℃、1.4℃、0.4℃高かった。

調査日の動物プランクトン量(湿重量)は、吹浦沖1kmが2.0～90.6 mg/m³(平均19.7 mg/m³)、象潟沖1kmが3.1～49.9 mg/m³(同16.5 mg/m³)、象潟沖2kmが3.8～324.8 mg/m³(同57.3 mg/m³)であった。3地点ともにピークは5月(5月2日又は5月11日)に入ってからであった。この5年間(2019～2023年)の動物プランクトン量を3月の吹浦沖1kmの平均値と比較すると、2019年は60.8 mg/m³、2020年は25.4 mg/m³、2021年は33.1 mg/m³、2022年は7.2 mg/m³と低下傾向で、本年は9.2 mg/m³も前年に次ぐ少なさであった。

3) 耳石日周輪解析

①2020年級群 (図12)

2021年2月25日～4月2日に再捕した三面川の標識魚30尾について耳石観察を行った。放流後6～35日であり、海洋移動後6～19日と推定された。平均尾叉長は、採集時の56mm/尾に対し、放流時は48.7mm/尾、海洋移動時は54.6mm/尾と推定された。また海洋移動後の日間成長速度は0.289mm/dと推定され、他の海域と遜色のない成長速度であると判断された。

②2021年級群 (図13、14)

2022年3月1日～4月7日に再捕した最上川水系(小国川12尾、鮭川8尾)を含めた標識魚68尾について耳石観察を行った。再捕に要した日数は、標識魚全体では、放流後3～21日であり、海洋移動後4～13日と推定された。最上川水系の標識魚についてはそれぞれ、放流後3～19日、8日であり、海洋移動後0～12日、4～8日であった。

平均尾叉長について、標識魚全体では、採集時の51.1mm/尾に対し、放流時は47.7mm/尾、海洋移動時は49.6mm/尾と推定された。支流別では、小国川は、採集時の56.4mm/尾に対し、放流時52.6mm/尾、海洋移動時54.8mm/尾、鮭川は、採集時の47.6mm/尾に対し、放流時は44.3mm/尾、海洋移動時は46.4mm/尾と推定された。

また、海洋移動後の日間成長速度は標識魚全体で0.201mm/dと推定され、2020年級群の0.289mm/dよりも明らかに低い成長速度であった。2022年春は沿岸域の動物プランクトン分布密度が低く、餌環境が影響したものと推察された。

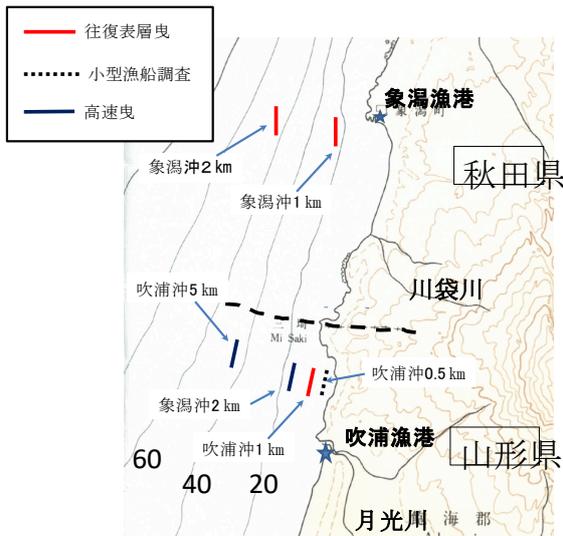


図 1. 沿岸調査の位置 (2023 年春)

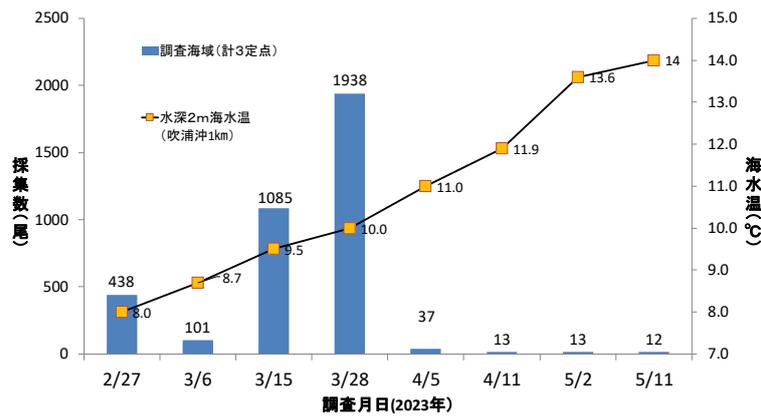


図 2. 調査日別の採集数 (2023 年)

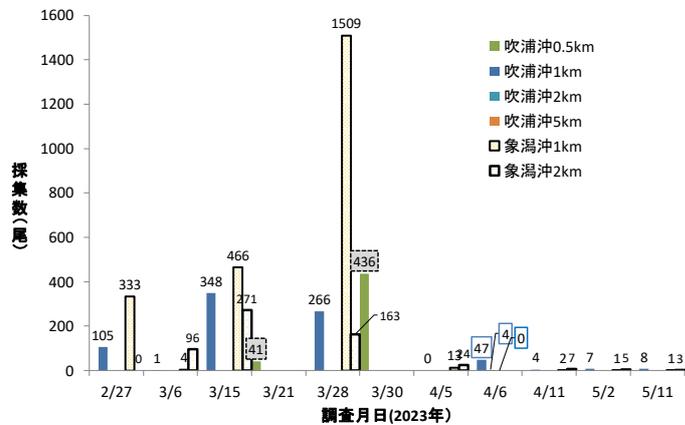


図 3. 調査定点別の採集数 (2023 年春)

データラベルは、小型漁船を網掛け、高速曳を囲みで示す

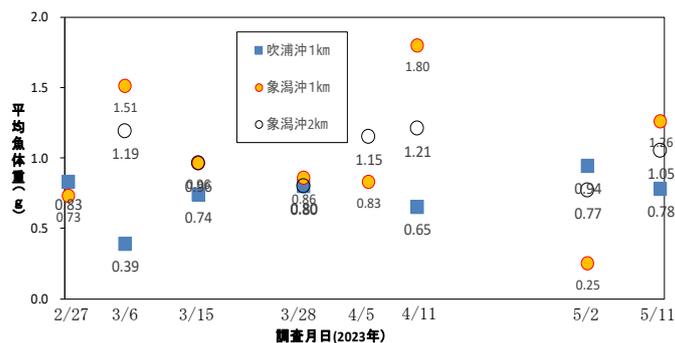


図 4. 調査定点別の体サイズの推移 (2023 年)

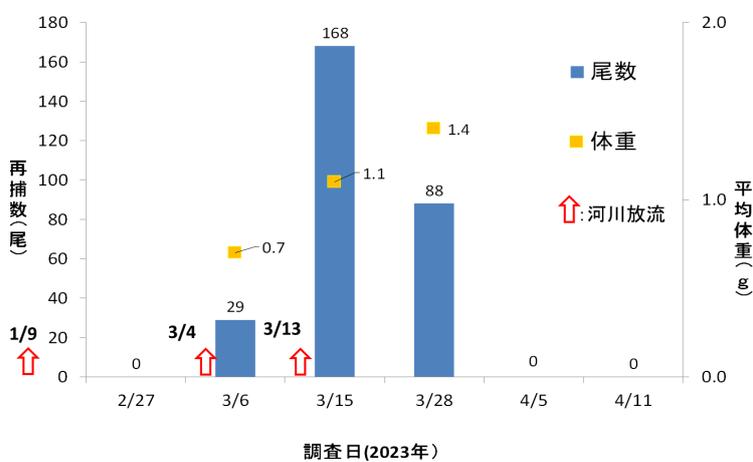


図 5. 川袋川水系の標識魚の再捕状況 (2023 年)

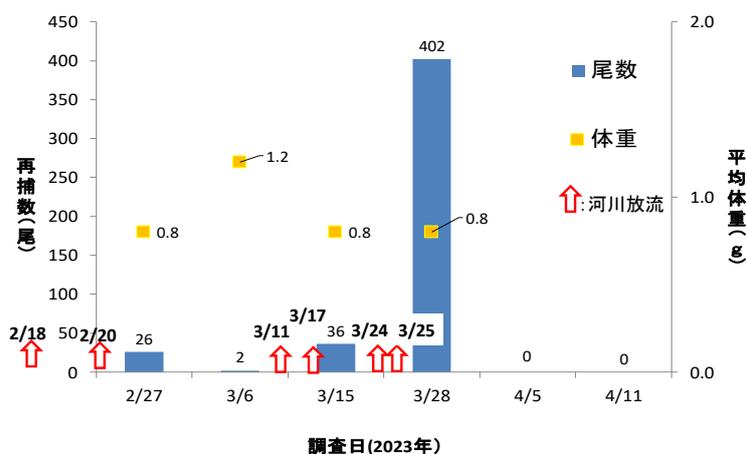


図 6. 月光川水系の標識魚の再捕状況 (2023 年春)

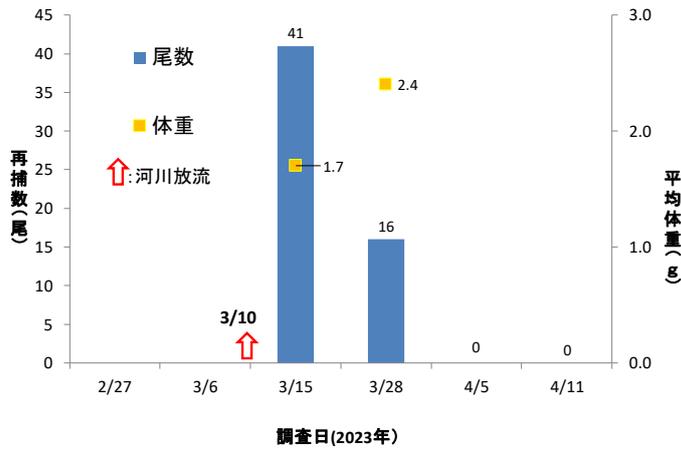


図 7. 赤川の標識魚の再捕状況 (2023 年)

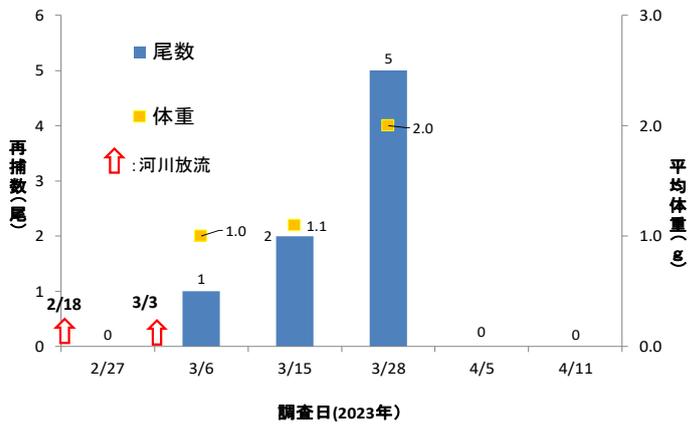


図 8. 三面川水系の標識魚の再捕状況 (2023 年)

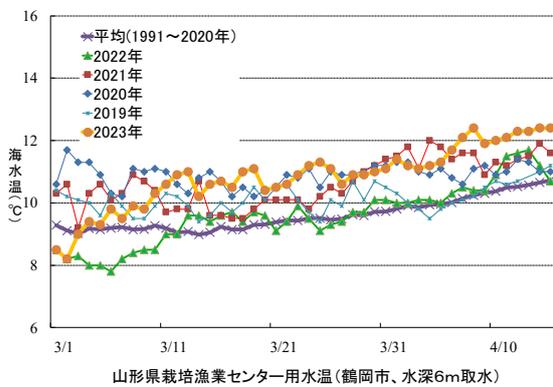


図 9. 沿岸表層の海水温の推移 (2019~2023 年)

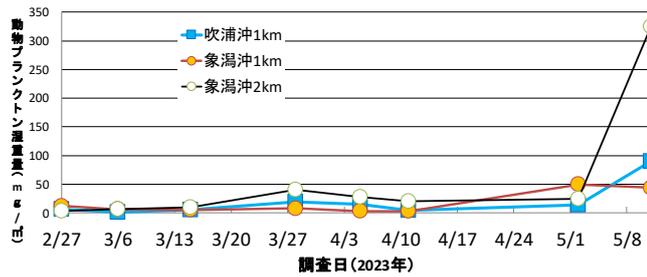


図 10. 調査定点別の動物プランクトンの推移 (2023 年)

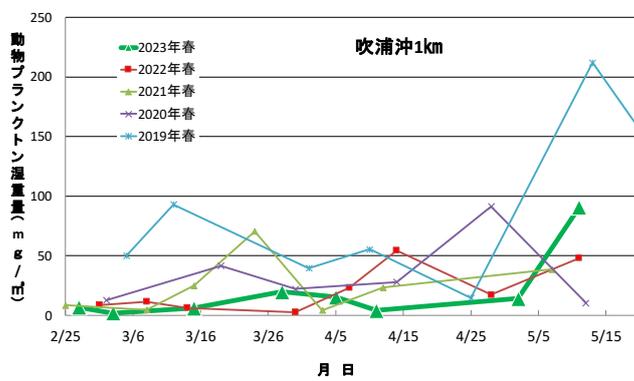


図 11. 動物プランクトンの推移 (2019~2023 年)

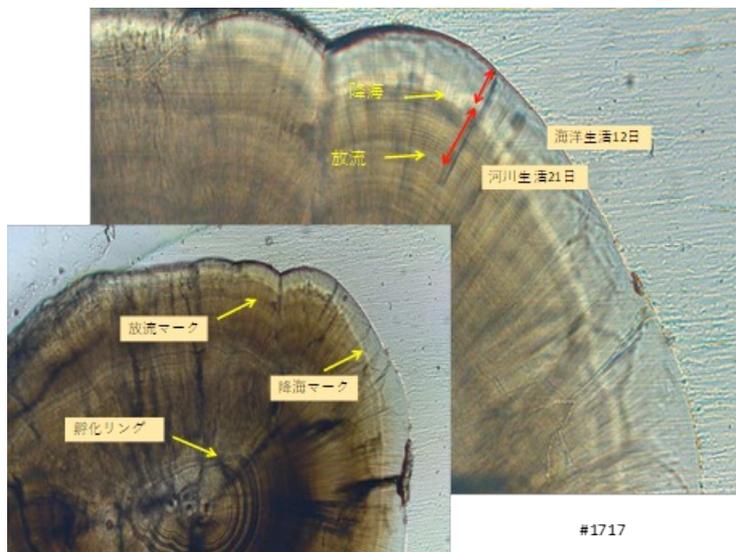


図 12. 日周輪解析に供した標識魚の耳石 (2021 年 3 月再捕)

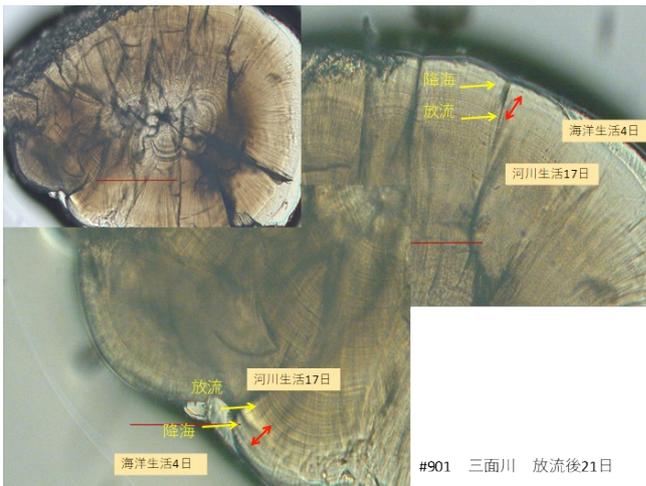


図 13. 日周輪解析に供した標識魚の耳石（2022 年 3 月再捕）

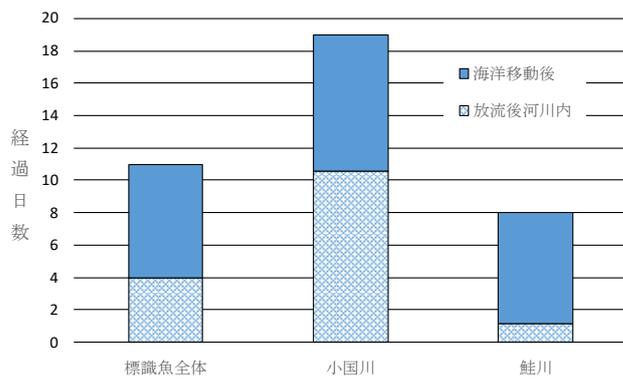


図 14. 耳石日周輪解析による最上川水系の放流後の経過日数（2022 年春）

表 1. 標識魚の放流と再捕結果の概要 (2022 年級)

| 県名 | 事業名 | 耳石コード | 試験設定 | 河川名 | 放流日 (開始日) | 平均体重 (g) | 放流数 (千尾) | 採集数 (最上丸※) | 採集数 (小型船※) | 備考 (最上) |
|---|----------------|----------|-----------|----------|---|----------|----------|------------|------------|--------------------|
| | 県単独 (発眼卵放流) | 2,6H | 低コスト区 | | 23/01/09 | - | 100千粒 | 2 | 0 | 3/15採捕 平均0.7g |
| 秋田県 | 転換事業 | 2,1,2,2H | 通常放流群 | 川袋川 | 23/03/04 | 1.02 | 2,344 | 209 | 28 | ~3/28採捕 3/15 最多 |
| | | 2-1,2H | 大型群放流 | | 23/03/13 | 1.95 | 1,380 | 74 | 9 | ~3/28採捕 3/15 最多 |
| | | 2,1-2H | 2月中旬放流群 | 月光川(牛渡川) | 23/02/18 | 0.89 | 765 | 30 | 0 | ~3/28採捕 2/27 最多 |
| | | | | 月光川(滝瀬川) | 23/02/20 | 0.97 | 787 | | | |
| | 転換事業 | 2,3nH | 3月中旬放流群 | 月光川(牛渡川) | 23/03/17 | 1.03 | 746 | 71 | 18 | 3/15、28採捕 |
| 山形県 | | | | 月光川(滝瀬川) | 23/03/11 | 1.17 | 784 | | | |
| | | 2,2-1,2H | 3月下旬放流群 | 月光川(牛渡川) | 23/03/25 | 0.74 | 794 | 367 | 53 | ~4/5採捕 3/28 最多 |
| | | | | 月光川(滝瀬川) | 23/03/24 | 0.93 | 804 | | | |
| | 不漁対策 | 2-2,1,2H | 大型放流群 | 赤川 | 23/03/10 | 1.92 | 404 | 37 | 4 | 3/15、28採捕 |
| | | 2,2,1-2H | 小型放流群 | | | 1.41 | 312 | 20 | 3 | |
| 新潟県 | 転換事業 | 2-3H | 早期従来サイズ放流 | 三面川 | 23/02/18 | 1.06 | 1,554 | 3 | 1 | 3/28採捕 平均2.1g |
| | | 2,1,3,2H | 従来時期従来放流 | | 23/03/03 | 0.96 | 1,728 | 5 | 3 | ~3/28採捕 平均1.3g |
| 富山県 | 転換事業 | 2,4nH | 従来密度 | 黒部川 | 23/02/20 | 0.59 | 477 | 1 | 1 | 4/5採捕 2.6g |
| | | | 従来密度2中 | 神通川 | 23/02/22 | 0.50 | 268 | | | |
| ※1 山形県漁業調査船 最上丸 (198トン) による採集調査 調査海域：山形・秋田の県境海域 (主に距岸2km以内) 調査日：2月27日、3月6日、3月15日、3月28日、4月5日、4月6日、4月11日、5月2日、5月11日 | | | | | ※2 小型漁船 (4トンクラス) による採集調査 調査海域：山形県の吹浦沖 (距岸0.5~2.0km) 調査日：3月21日、3月30日 | | | | | |

小課題 2) 数理モデルを用いた大型サケ稚魚の行動様式の検証

a) 粒子追跡実験による稚魚の移動経路シミュレーション

執筆者：水産資源研究所 水産資源研究センター 海洋環境部 東屋知範

実施機関及び担当者

水産研究・教育機構 水産資源研究所 水産資源研究センター 海洋環境部：東屋知範、
黒田寛

【目的】

先行事業で取り組んできた本課題において、稚魚の大型化を要素に加えたシミュレーションを行い、大型化の効果を検討する一助とする。

【方法】

(日本海側における 2019 年～2022 年の粒子追跡実験)

2019 年～2022 年の 3 月 1 日～7 月 31 日の期間について、高解像度海洋循環モデル再解析値を用いて、石狩川河口付近から毎日 1680 個の粒子を投入する粒子追跡実験を行う。日本海側の場合、投入する粒子には遊泳効果を考慮せず、各粒子の位置、経験水温、オホーツク海への到達有無を記録する。そして投入日ごとに、投入数に対するオホーツク海 (45 ° N、142 ° E 以東) に到達数の割合 (到達率) を調べる。

(太平洋側の粒子追跡実験)

現実的なサケ稚魚の遊泳速度を再現するため、餌密度の効果や遊泳速度による代謝を定量的に考慮したサケ稚魚生物エネルギーモデルを導入する。(Megrey et al. 2002、Kamezawa et al. 2007、Yoon et al. 2015)。水温、塩分値は高解像度海洋循環モデル再解析値を使用し、餌密度は 3 次元低次生産生態系モデル NEMURO⁺ (Takagi et al. 2022) から出力される動物プランクトン濃度を変換して使用する。ただし、サケ稚魚の捕食効果は NEMURO⁺ の動物プランクトン濃度に影響しないと仮定する。本年度は、2012 年を例に NEMURO⁺ によってサケ稚魚生物エネルギーモデルを駆動し粒子追跡実験を行う。

【結果及び考察】

【日本海側の結果及び考察】

2019 年から 2022 年の石狩湾から投入した粒子のうち、オホーツク海に到達した粒子の到達率を図 1a に示す。横軸には投入日、左縦軸には到達率、右縦軸には投入地点である石狩湾の水温変化を示す。青棒はオホーツク海に達したが 2.7 °C より低い水温を経験した割合、緑棒は良好な経験水温でオホーツク海に達した割合 (2.7 °C ≤ 経験水温 ≤ 15.7 °C)、赤棒はオホーツク海に達したが 15.7 °C より高温を経験した割合、黒棒はオホーツク海に達しない割合をそれぞれ示した。2019 年同様に 2020 年も相対的に緑棒が高く多く、良好な経験水温でオホーツク海までの到達率が他の年より高い。更にこれら 3 年は、沿岸水温 8 °C～13 °C になった時にサケ稚魚が離岸しても良好な経験水温でオホーツク海に到達できることが注目される。ところが、2020 年を経験した稚魚の石狩川への回帰量は、2019 年の回帰量よりかなり少なかった。2019 年の粒子の軌跡と 2020 年のそれを比べると、2020 年の粒子の軌跡は北海道日本海沿岸においてより沖側へ広がり、更にオホーツク海では宗谷暖流域から離れて北方の沖合へ広がった (図 1 b)。このような粒子の移動過程の差異が来遊数減少の要因になったのかもしれない。

【2012 年の太平洋側の観測結果】

2012 年の北海道太平洋沿岸の釧路川、十勝川、静内川起源の稚魚の放流地点と再捕地点の時空間関係と沿岸水温 8 °C～13 °C 帯の時空間変動を図 2 に示した。このときの沿岸域の

流向・流速は西向きで約 $10\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ であった。釧路川、十勝川起源のサケ稚魚は、流れの下流側に位置する虎杖浜、春立、上流側に位置する昆布森（静内川は下流側の虎杖浜、上流側の春立、昆布森）で再捕された。これら3河川起源のサケ稚魚の再捕時期はどれも水温が $8^{\circ}\text{C}\sim 13^{\circ}\text{C}$ になる時期と対応していた。2012年の釧路川からのサケ稚魚の放流期間は4月16日～5月29日で、そのサケ稚魚が虎杖浜で6月5日に再捕された。このことは、虎杖浜の沿岸水温が $8^{\circ}\text{C}\sim 13^{\circ}\text{C}$ になる前（観測時期前）には、釧路川起源のサケ稚魚が虎杖浜まで移動していたことを意味する。その場合、釧路川から虎杖浜までのサケ稚魚の移動速度は約 $10\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ と見積もられ、同時期の流速とはほぼ一致する。以上の観測結果から、サケ稚魚は降海後に水温 8°C なるまでは受動的に移動し、水温が 8°C 以上になると能動的に移動（自泳）することが推測される。2012年における $8^{\circ}\text{C}\sim 13^{\circ}\text{C}$ 温度帯の東方への伝搬速度は約 $10\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}\sim 20\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ なので、サケ稚魚が西向きの流れに逆らって東方に移動するには、約 $30\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上の遊泳速度が必要になる。2012年放流時のサケ稚魚の平均尾叉長は6cmであることから、遊泳速度 $30\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ は尾叉長5倍に相当する。2012年に虎杖浜、春立、昆布森で再捕された十勝川と静内川起源のサケ稚魚の尾叉長の組成を図3に示した。虎杖浜と春立で再捕された同じ河川起源のサケ稚魚でも、尾叉長が7-10cmとなっており、サイズにばらつきがみられた。死亡によるサイズ選択性がないと仮定すれば、放流時期、移動過程の違いが、再捕サケ稚魚サイズのばらつきの要因と考えられる。

【太平洋側粒子追跡モデルの変更と設定】

これまで太平洋側に適用してきた粒子移動アルゴリズムでは、サケ稚魚が放流位置から東西に分布することや、再捕サケ稚魚サイズがばらつくことを再現できなかった。このような観測結果を再現できるように、モデルの粒子移動アルゴリズムを次のように変更した。①粒子の経験水温が 8°C より低温の場合には粒子の移動を受動的にし、経験水温が 8°C 以上の場合には流れの逆方向に能動的（自泳）にする。そのとき自泳速度は尾叉長の5倍とする。②NEMURO+と生物エネルギーモデルでサケ稚魚の成長を計算し、それにともない自泳速度も変化させる。

本年度では、太平洋側サケ稚魚粒子実験における粒子の投入地点を、静内川、十勝川、釧路川の河口域とした。それぞれの河川の投入時期は2012年のサケ稚魚放流開始時期以降とし、毎日1回投入し続ける。虎杖浜、春立、昆布森の経度ラインを通過する粒子数とその時の尾叉長を記録する。粒子投入時の尾叉長は2012年の放流時の平均尾叉長の6cmとする。

【太平洋側のモデル結果】

比較のために受動的移動のみのケースと自泳のみケースの粒子追跡実験結果を図4a, bに示した。受動的移動のみのケースの粒子追跡実験結果では、3河川から投入した粒子は河口から北海道沿岸に沿って西方向に流され、下流に位置する春立や虎杖浜まで達する（図4a）。しかし粒子は流れの上流に位置する昆布森に達しない。このケースでは流れの下流に位置する春立や虎杖浜での再捕の可能性を示すが、昆布森での再捕の可能性を示さない。また粒子は沖合にも多く輸送されてしまう。このように受動的移動のみのケースは観測結果を再現できない。自泳のみのケースの粒子追跡実験結果では、3河川から投入した粒子は沿岸に沿って東方向へ移動し、流れの上流に位置する昆布森まで達するが、流れの下流に位置する春立、虎杖浜には粒子は達しない（図4b）。自泳のみのケースでも観測結果を再現できない。コントロールでは3河川から投入した粒子は、虎杖浜、春立、昆布森にそれぞれ達しており、観測結果をよく再現した（図4c）。軌跡の色分布からわかるように、下流の道南海域ほど暖色系になり尾叉長のサイズが大きい。ここでは示さないが、自泳速度を尾叉長の1倍にしたケースでは、粒子は下流の虎杖浜、春立まで達するものの、上流の昆布森には達しない。一方、受動的移動から自泳に切り換える経験水温を 3°C にしたケースでは、釧路川、十勝川からの投入粒子は下流の虎杖浜まで到達しなかった。これ

らの粒子追跡実験結果から、水温が約 8°C に昇温するまでサケ稚魚は流れによって受動的に移動し、約 8°C 以上の水温になると自泳する、その自泳速度は尾叉長の 5 倍という仮定は妥当のようである。

図 5 に静内川、十勝川、釧路川の 3 河川の投入時期と、それぞれを起源とする粒子が虎杖浜、春立、昆布森の再捕地点を通過する時空間関係を示す。投入期間を約 10 日ごとに、前半、中半、後半と色で区分し示した。虎杖浜、春立、昆布森で実際に再捕されている時期に、モデル結果でも各河川からの投入粒子が到達した。前半投入粒子は、実際の再捕時期より早く投入地点より下流に位置する再捕地点に到達・通過することや、同一の粒子が各再捕地点を通過していないことがわかった。

図 6 に各再捕地点を通過した粒子の尾叉長の頻度分布を示した。釧路川からの投入粒子は青色、十勝川からの投入粒子は緑色、静内川からの投入粒子は赤色で示した。虎杖浜を通過してゆく粒子のうち、十勝川、静内川投入粒子の尾叉長分布は 6.5cm の小型サイズと 11cm の大型サイズがみられ、観測結果の様にサイズにばらつきがある。釧路川からの投入粒子の尾叉長は 9~10.5cm の大型サイズのみであった。春立を通過する粒子の尾叉長をみると、釧路川、十勝川からの投入粒子の尾叉長は 6cm の小型サイズと 11cm の大型サイズがみられ、静内川からの投入粒子にはその中間サイズもある。昆布森を通過する粒子の尾叉長分布をみると、釧路川からの投入粒子は 8~11cm のサイズで、十勝川からの投入粒子は 11cm の大型サイズのみであった。本モデルは、同じ河川起源のサケ稚魚でも再捕サイズがばらつくことを再現した。

沿岸回遊中のサケ稚魚の尾叉長は、降海（投入）からの時間そして移動過程によって変動することがモデルで明らかになった。モデルのサケ稚魚の成長率を調べると、自泳時より受動的移動時に成長率は大きくなった。この理由は、自泳時より受動的移動時の方が遊泳による代謝エネルギーが小さいからである（成長に回すエネルギーが大きくなる）。したがって受動的移動と自泳の期間差がサケ稚魚の尾叉長を左右すると予想できる。もし温度環境が 2012 年の場合より低（高）くなると、投入時から受動的移動期間が相対的に長（短）くなり尾叉長は大きく（小さく）なると考えられる。しかし、前者の場合には、サケ稚魚が道南海域に輸送されてしまい、尾叉長は大きいものの再び道東海域に移動することが不利になるかもしれない。一方、後者の場合では、サケ稚魚は道南海域に流されないが、尾叉長が小さい状態で自泳を開始しなければならない。このことから、サケ稚魚にとって水温環境の大きな変動は不利になると考えられる。

【引用文献】

Kamezawa Y., et al. (2007) A fish bioenergetics model of Japanese chum salmon (*Oncorhynchus keta*) for studying the influence of environmental factor changes. Bull. Jpn. Soc Fish. Oceanogr. 7, 87–95.

Megrey, B.A., et al. (2002) A generalized fish bioenergetics/biomass model with an application to Pacific herring. PICES Scientific Report 20, 4–12.

Takagi S., et al. (2022) Controlling factors of large-scale harmful algal blooms with *Karenia selliformis* after record-breaking marine heatwaves. Frontiers in Marine Science. 9. 939393. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.939393>

Yoon S., et al. (2015) Potential habitat for chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in the Western Arctic based on a bioenergetics model coupled with a three-dimensional lower trophic ecosystem model. Progress Oceanogr. 131, 146–158. DOI:10.1016/j.pocean.2014.12.009

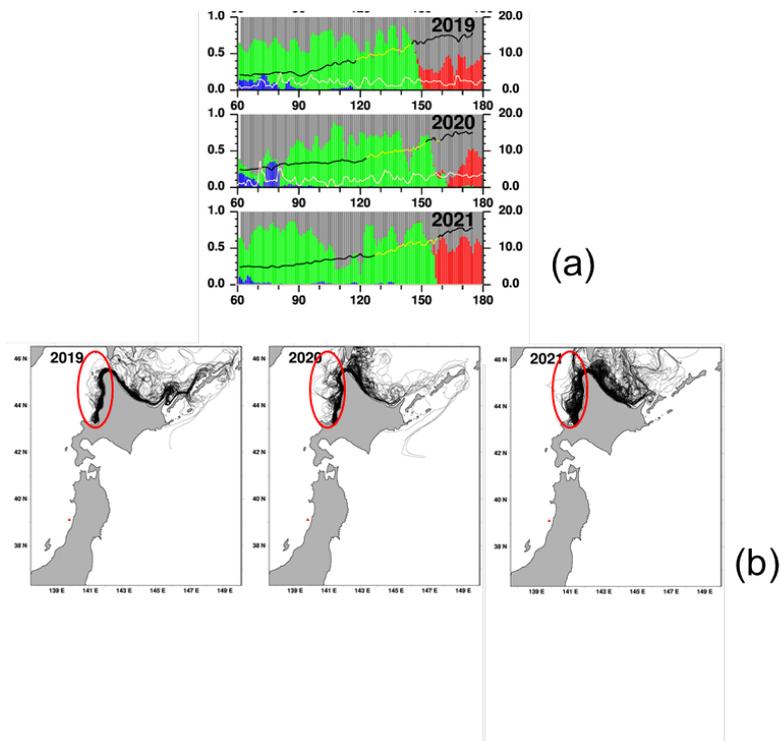


図 1. 2019 年～2021 年の日本海側粒子追跡実験結果

- (a) 2019 年～2021 年の石狩湾から投入した粒子のうち、オホーツク海に到達した粒子の到達率。横軸は投入日、左縦軸は到達率、右縦軸は投入地点の石狩湾の水温。青棒はオホーツク海に達し $2.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ より低い水温を経験した割合、緑棒は良好の経験水温でオホーツク海に達した割合 ($2.7\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \text{経験水温} \leq 15.7\text{ }^{\circ}\text{C}$)、赤棒はオホーツク海に達し $15.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ より高温を経験した割合、黒棒はオホーツク海に達しない割合を示す。
- (b) 2019 年～2021 年の粒子の軌跡。

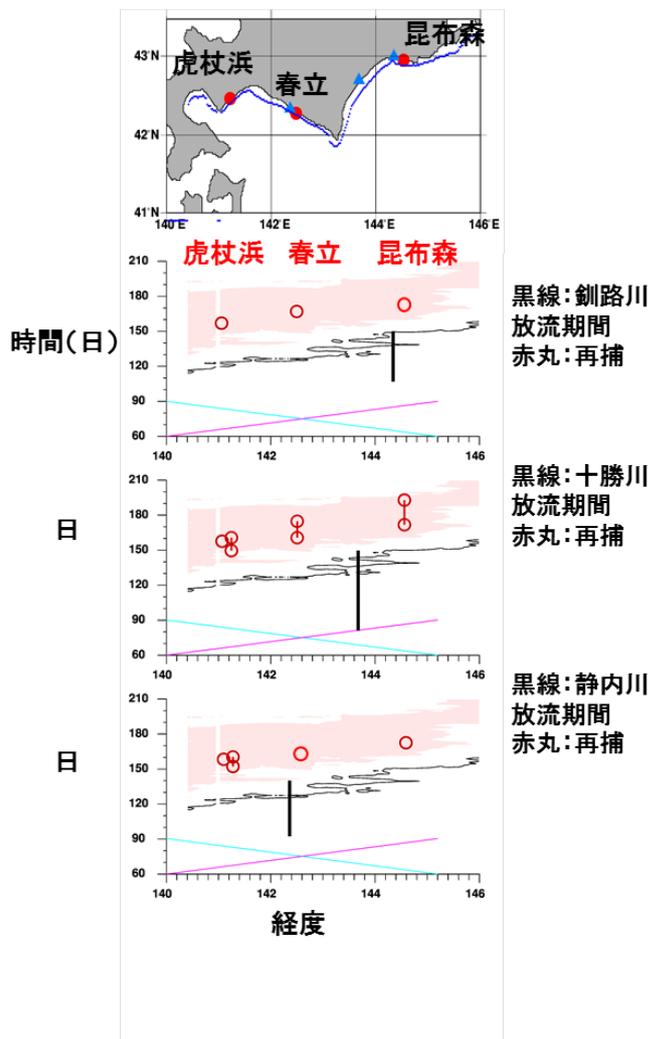


図 2. 2012 年の北海道太平洋沿岸の釧路川、十勝川、静内川を起源とする稚魚の放流地点・期間と再捕地点・時期の時空間関係
赤丸: 再捕時期と地点。三角: 放流河川。ピンク: 水温 $8^{\circ}\text{C} \sim 13^{\circ}\text{C}$ 帯。黒細線: 水温 5°C 。水色、紫色直線: $10\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ を示すライン。縦軸: 時間 (60 日が 3 月 1 日)、横軸: 経度。

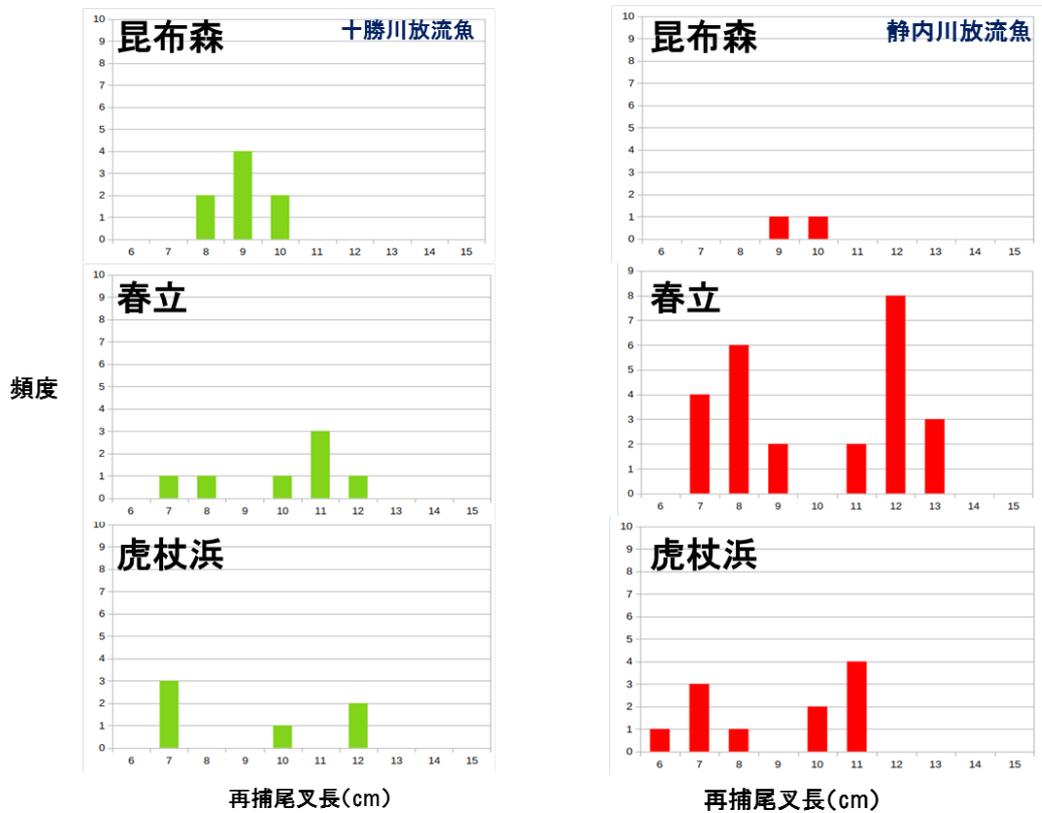


図 3. 2012 年に虎杖浜、春立、昆布森で再捕された十勝川と静内川起源のサケ稚魚の尾又長の頻度分布
 緑：十勝川、赤：静内川放流魚。

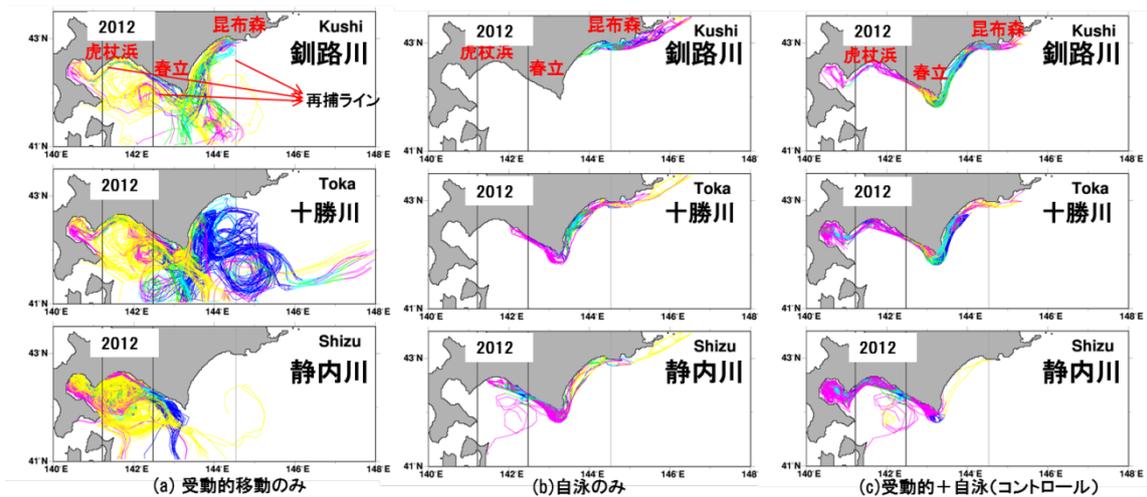


図 4. 2012 年の粒子追跡実験結果 (a) 受動的移動のみのケース、(b) 自泳のみのケース、(c) コントロールのケースの粒子追跡実験結果
 上から釧路川、十勝川、静内川投入粒子の軌跡。軌跡の色は尾又長（暖色ほどサイズが大きい）。

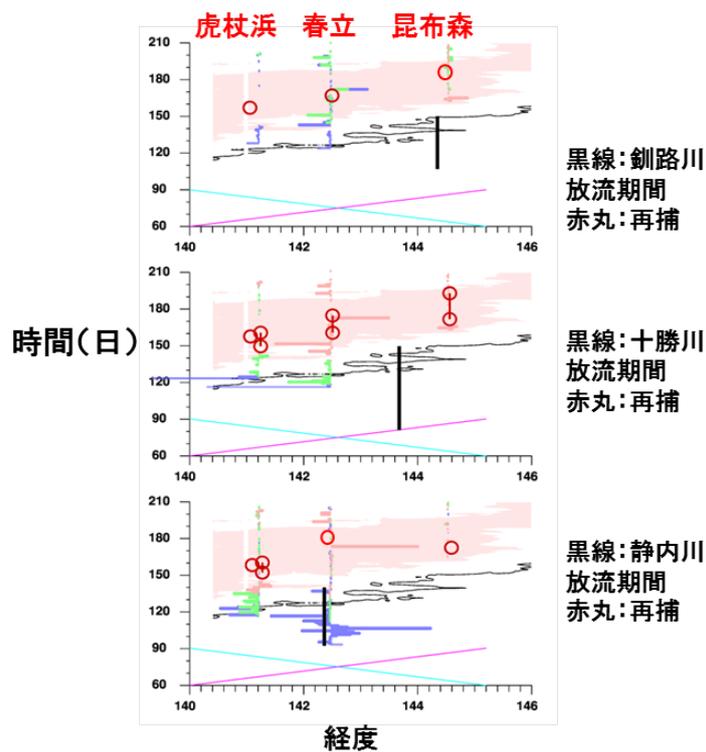


図 5. 釧路川、十勝川、静内川の投入時期（縦黒線）とそれを起源とする粒子が虎杖浜、春立、昆布森の再捕地点を通過した時空間関係
 縦軸：時間（60 日が 3 月 1 日）、横軸：経度。赤丸：再捕時期と地点。ピンク：水温 $8^{\circ}\text{C} \sim 13^{\circ}\text{C}$ 帯。黒細線：水温 5°C 。水色、紫色直線： $10\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$ を示すライン。縦軸：時間（60 日が 3 月 1 日）、横軸：経度。青色バー：投入時期前半、緑色バー：投入時期後半、ピンク色バー：投入時期後半、バーの向きは粒子が通過する方向で、バーの長さは相対的通過粒子数。

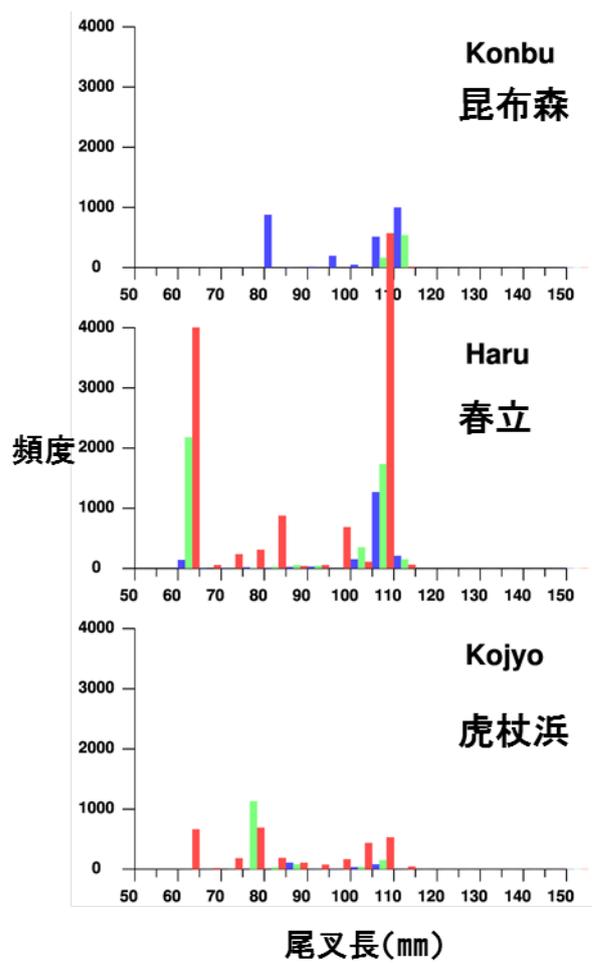


図6. 虎杖浜、春立、昆布森の各再捕地点を通過した投入河川別粒子の尾叉長の頻度分布
 青：鉏路川、緑：十勝川、赤：静内川投入粒子。

小課題 3) 回帰親魚の標識確認調査

a) 北海道（釧路川（雪裡川）、静内川、知内川、余市川）

執筆者：水産資源研究所 さけます部門 資源生態部 河村眞美
資源増殖部 小役丸隼人

実施機関及び担当者

水産資源研究所 さけます部門 資源生態部：河村 眞美

水産資源研究所 さけます部門 資源増殖部：日田和宏、小役丸隼人、中島歩、大橋亮介、
下平幸太、加藤雅博、石原剛

北海道立総合研究機構 さけます内水面水産試験場道東センター：村上豊、大森始

十勝釧路管内さけ・ます増殖事業協会：新出幸哉、林紀幸、佐藤友春、外崎祐太

渡島管内さけ・ます増殖事業協会：柳元孝二、鈴木慎、中村昌睦

日本海さけ・ます増殖事業協会：安藤孝雄、安藤雅規、佐藤猷二郎、赤城伸哉

【目的】

先行の水産庁委託事業において標識放流した魚が放流河川へ回帰することから、放流パターン別回帰状況を解析し、ふ化放流手法の改良に活用する。

【方法】

釧路川（雪裡川）、静内川、知内川、余市川へ溯上する親魚から鱗及び耳石を採取し、年齢及び耳石標識パターンを解析することで、標識放流群毎の河川回帰率を算出した。

併せて、回帰率向上につなげるため、これまで行ってきた各放流条件の結果を評価する必要がある。そのため、釧路川と静内川の 2013 年級から 2017 年級のデータを使用し、応答変数 Y を 5 歳時までの推定河川捕獲数とし、説明変数 X として年級（連続変数）、放流サイズ、放流月日の 3 つを選び、各河川で一般化加法モデルを構築した。また、放流尾数が応答変数に大きく影響を与えるのは明らかのため、対数変換した後、オフセットとしてモデルに組み込んだ。3 つの説明変数の組み合わせの違いで 7 モデルを（表 4）作成し、分散分析を行って、応答変数の変動を最もよく説明するモデルを各河川で選択した。選択されたモデルのチェックとして、データの非線形性の有無、誤差の相関の有無、外れ値の有無の確認、誤差の分散不均一性の有無の確認を行った。なお、誤差の分散不均一性への対処のため、応答変数を平方根変換した。

【結果】

・釧路川

1) 溯上状況

本流：2023 年の釧路川本流での捕獲は 9 月上旬より開始され、捕獲終了となる 11 月下旬までに 10,183 尾（前年比 171%）であり、旬別では 10 月中旬の 2,051 尾が最も多い捕獲数となった。

支流雪裡川：2023 年の雪裡川での捕獲は 8 月下旬より開始され、捕獲終了となる 11 月下旬までに 26,323 尾（前年比 155%）であり、旬別では 10 月下旬の 4831 尾が最も多い捕獲数となった。

雪裡川へ 8 月下旬から 11 月下旬までに溯上したサケ親魚から旬毎に雌雄 50 尾程度の鱗及び耳石を採取し、再生鱗等を除く解析可能な 895 尾分の年齢及び耳石温度標識パターンを解析した。

2) 耳石標識解析状況

耳石温度標識放流を行った芦別ふ化場産の標識魚(3~5 年魚)の耳石標識解析結果について

て報告する。

「さけ・ますふ化放流抜本対策事業」で放流された5年魚(2018年級)では、3つの標識パターンのうち、油脂未添加給餌群・自然放流区 2n,2n-2H 標識が3尾、油脂添加給餌群・自然放流区 2n-2n,2H 標識が7尾、油脂添加給餌群・輸送放流区 2n-2n,3H 標識群が2尾確認された。

「さけ・ますふ化放流抜本対策事業」で放流された4年魚(2019年級)では、3つの標識パターンのうち、油脂未添加給餌群・自然放流区 2n,2n-2H 標識が43尾、油脂添加給餌群・自然放流区 2n-2n,2H 標識が54尾、油脂添加給餌群・輸送放流区 2n-2n,3H 標識群が32尾確認された。

「さけ・ますふ化放流抜本対策事業」で放流された3年魚(2020年級)では、3つの標識パターンのうち、油脂未添加給餌群・自然放流区 2n,2n-2H 標識が16尾、油脂添加給餌群・自然放流区 2n-2n,2H 標識が13尾、油脂添加給餌群・輸送放流区 2n-2n,3H 標識群が7尾確認された。

2年魚(2021年級)の標識は発見されなかった。

3) モデルの検討

釧路川で選択されたモデルは以下の通り。s()はスプライン関数を示し、自由度4と設定を統一した。

$$\sqrt{\sum} 5 \text{歳時までの推定河川捕獲数} = s(\text{放流月日}, 4) + \text{offset}(\log \text{放流尾数}) \quad (p < 0.00001)$$

図3に、選択されたモデルの5歳時までの推定河川捕獲数に対する放流月日の効果を示す。5歳時までの推定河川捕獲数は、4月後半から5月前半につれて(4/21-5/17)、緩やかに増加傾向を示した。

・静内川

1) 遡上状況

2023年の静内川での捕獲は9月中旬より開始され、捕獲終了となる11月下旬までに51,572尾(前年比52%)であり、旬別では10月下旬の12,383尾が最も多い捕獲数となった。静内川へ9月中旬から11月下旬までに遡上したサケ親魚から旬毎に雌雄50尾程度の鱗及び耳石を採取し、再生鱗等を除く解析可能な798尾分の年齢及び耳石温度標識パターンを解析した。

2) 耳石標識解析状況

耳石温度標識放流を行った豊畑ふ化場産の標識魚(3~6年魚)の耳石標識解析結果について報告する。

「サケ資源回帰率向上調査事業」で放流された6年魚(2017年級)では、5つの標識パターンのうち、11月採卵区、2018/5/6~24放流群 2-3,1,3H 標識が1尾発見された。

「さけ・ますふ化放流抜本対策事業」で放流された5年魚(2018年級)では、5つの標識パターンのうち、9月下旬採卵区、2019/4/9放流群 2,3,1,2H 標識が18尾、10月上・中旬採卵区、2019/4/8放流群 2,3,1,3H 標識が15尾、10月下旬採卵区、2019/5/9放流群 2,3,1,4H 標識が24尾、9月下旬採卵区、2019/4/9放流群 2,3,1,5H 標識が14尾、11月採卵区、2019/5/22放流群 2-3,1,3H 標識が4尾発見された。

「さけ・ますふ化放流抜本対策事業」で放流された4年魚(2019年級)では、5つの標識パターンのうち、9月下旬採卵区 2020/04/20放流群 2,3,1,2H 標識が55尾、9月下旬採卵区 2020/04/20放流 2,3,1,5H 標識が74尾、10月中旬採卵区 2020/4/11~4/16放流群 2,3,1,3H 標識が46尾、10月下旬採卵区 2020/4/27~5/11放流群 2,3,1,4H 標識が65尾、11月採卵区 2020/5/21~5/26放流群 2-3,1,3H 標識が15尾発見された。

「さけ・ますふ化放流抜本対策事業」で放流された3年魚(2020年級)では、5つの標識パターンのうち、9月下旬採卵区、2021/4/15放流群 2,3,1,2H 標識が5尾、10月上・中旬採卵区、2021/4/12~15放流群 2,3,1,3H 標識が15尾、10月下旬採卵区、2021/4/12~5/7放流群 2,3,1,4H 標識が44尾、9月下旬採卵区、2021/4/15放流群 2,3,1,5H 標識が13尾、11月採卵区、2021/5/11~25放流群 2-3,1,3H 標識が27尾発見された。

2年魚(2020年級)の耳石標識解析結果は、「さけ・ます放流体制緊急転換事業」での放流となるので掲載しない。

3) モデルの検討

静内川で選択されたモデルは以下の通り。s()はスプライン関数を示し、自由度4と設定を統一した。

$$\sqrt{\sum} 5 \text{歳時までの推定河川捕獲数} = s(\text{放流月日}, 4) + \text{offset}(\log \text{放流尾数}) \quad (p < 0.00001)$$

図4に、選択されたモデルの5歳時までの推定河川捕獲数に対する放流月日の効果を示す。5歳時までの推定河川捕獲数は、4月後半(4/25以降)になるにつれて増加傾向を示し、5/5を過ぎると急激に減少する傾向が見られた。

・知内川

1) 遡上状況

2023年の知内川での捕獲は9月下旬より開始され、捕獲終了となる11月下旬までに4,633尾(前年比17%)であり、旬別では11月上旬の1,391尾が最も多い捕獲数となった。知内川へ9月下旬から11月下旬までに遡上したサケ親魚から旬毎に雌雄50尾程度の鱗及び耳石を採取し、再生鱗等を除く解析可能な628尾分の年齢及び耳石温度標識パターンを解析した。

2) 耳石標識解析状況

耳石温度標識放流を行った知内ふ化場産の標識魚(3~5年魚)の耳石標識解析結果について報告する。

「さけ・ますふ化放流抜本対策事業」で放流された5年魚(2018年級)では、2つの標識パターンのうち、油脂添加飼料による健苗性向上試験 油脂添加区、2-2,3H 標識が32尾、油脂添加飼料による健苗性向上試験 未添加対照群 2,3-2H 標識が31尾発見された。

「さけ・ますふ化放流抜本対策事業」で放流された4年魚(2019年級)では、2つの標識パターンのうち、油脂添加飼料による健苗性向上試験 油脂添加区、2-2,3H 標識が9尾、油脂添加飼料による健苗性向上試験 未添加対照群 2,3-2H 標識が10尾発見された。

「さけ・ますふ化放流抜本対策事業」で放流された3年魚(2020年級)では、2つの標識パターンのうち、油脂添加飼料による健苗性向上試験 油脂添加区、2-2,3H 標識が13尾、油脂添加飼料による健苗性向上試験 未添加対照群 2,3-2H 標識は同じく13尾発見された。

2年魚(2021年級)の標識は発見されなかった。

・余市川

1) 遡上状況

2023年の余市川での捕獲は9月中旬より開始され、捕獲終了となる10月下旬までに33,600尾(前年比50%)であり、旬別では9月下旬の10,928尾が最も多い捕獲数となった。余市川へ9月中旬から10月下旬までに遡上したサケ親魚から旬毎に雌雄50尾程度の鱗及び耳石を採取し、再生鱗等を除く解析可能な490尾分の年齢及び耳石温度標識パターンを

解析した。

2) 耳石標識解析状況

耳石温度標識放流を行った余市ふ化場産の標識魚(2~6年魚)の耳石標識解析結果について報告する。

「サケ資源回帰率向上調査事業」で放流された6年魚(2017年級)では、3つの標識パターンのうち、放流時期の違いによる放流効果検討 4月上・中旬放流区 2018/4/17放流群 2,2,1,4H 標識が1尾、同試験 3月下旬・4月上旬放流区 2018/4/9放流群 2-3,2H 標識が1尾発見された。

「さけ・ますふ化放流抜本対策事業」で放流された5年魚(2018年級)では、3つの標識パターンのうち、放流時期の違いによる放流効果検討 3月下旬放流区 2019/03/27放流群 2,2,1,4H 標識が21尾、同試験、4月中旬放流区 2019/4/19放流群 2,2,1,5H 標識が83尾、同試験、4月上旬放流区 2019/4/3放流群 2-3,2H 標識が20尾発見された。

「さけ・ますふ化放流抜本対策事業」で放流された4年魚(2019年級)では、3つの標識パターンのうち、北海道における回遊経路追跡用標識稚魚の生産 4月中旬放流区 2020/4/13~2020/4/20放流群 2,2,1,4H 標識 54尾、同試験 3月下旬放流区 2020/3/2~2020/3/16放流群 2,2,1,5H 標識が87尾、同試験 4月上旬放流区 2020/3/19~2020/3/24放流区 2-3,2H 標識 88尾発見された。

「さけ・ますふ化放流抜本対策事業」で放流された3年魚(2020年級)では、3つの標識パターンのうち、放流時期の違いによる放流効果検討 4月上旬放流区 2021/4/8~2021/4/15放流群 2,2,1,4H 標識 11尾、同試験 3月下旬放流区 2021/3/15~2021/3/19放流群 2,2,1,5H 標識が11尾、同試験 4月上旬放流区 2021/3/25~2020/3/29放流区 2-3,2H 標識 43尾発見された。

「さけ・ますふ化放流抜本対策事業」で放流された2年魚(2021年級)では、3つの標識パターンのうち、放流時期の違いによる放流効果検討 3月下旬放流区 2022/3/14~2022/4/1放流区 2-3,2H 標識が1尾発見された。

年級(年齢)毎の旬別標識発見数を表1に示した。また、各河川の雌雄別旬捕獲数に各標識放流群の混入率を乗じて標識放流群毎の回帰親魚数を推定し、過年度調査分とともに表2-1及び表2-2に示し、その中で本年度に回帰した年齢までの累積数を放流数で除して河川回帰率を算出した。

図1に調査河川と放流ふ化場、図2と表3に2023年調査河川における年別捕獲数を示した。

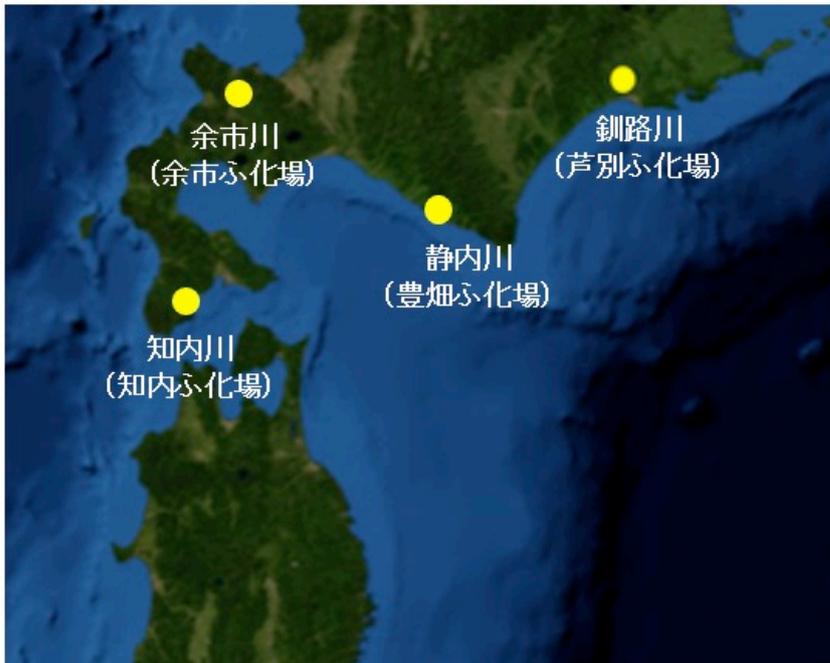


図 1. 2023 年回帰親魚調査河川と放流ふ化場

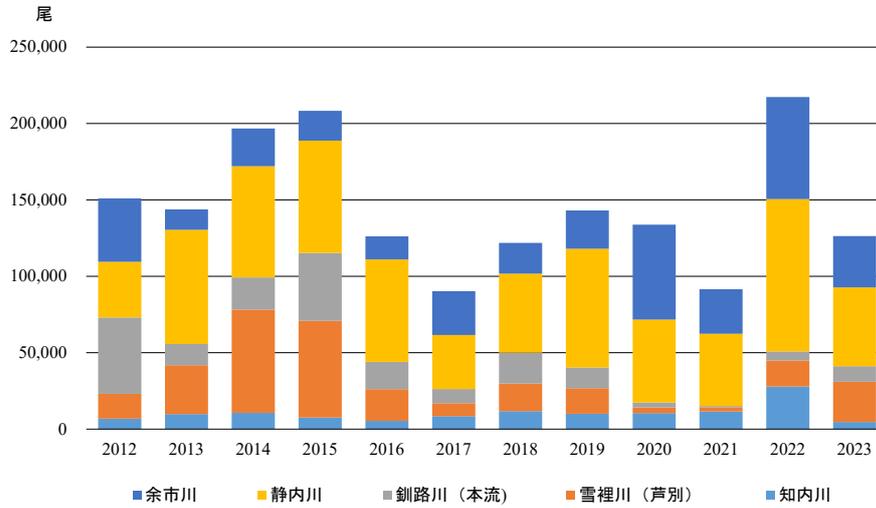


図 2. 調査河川における河川別捕獲数

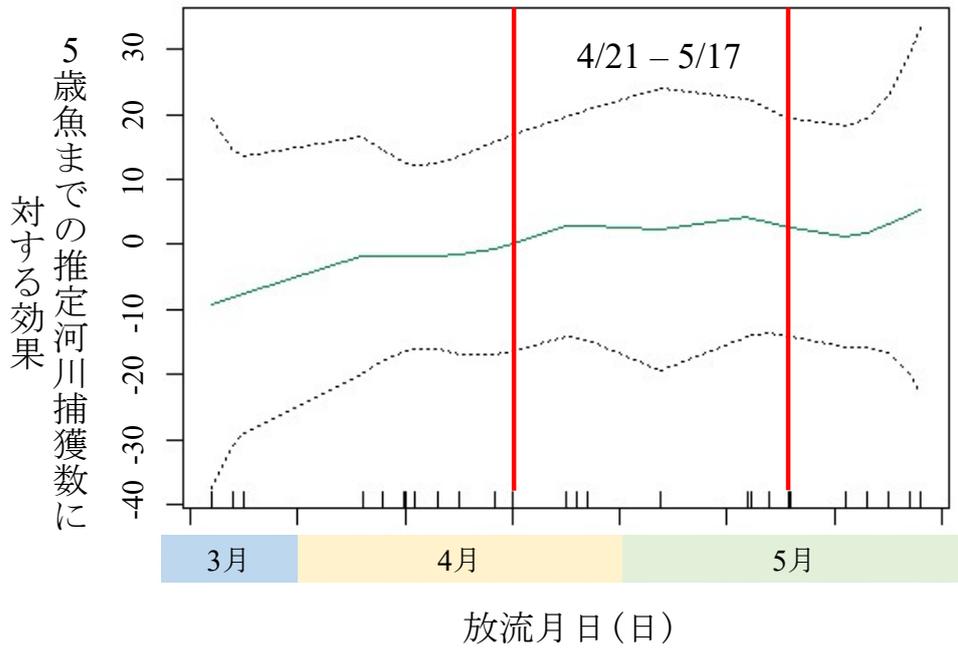


図3. 鉤路川における選択されたモデルによる5歳時までの推定河川捕獲数に対する放流月日の効果

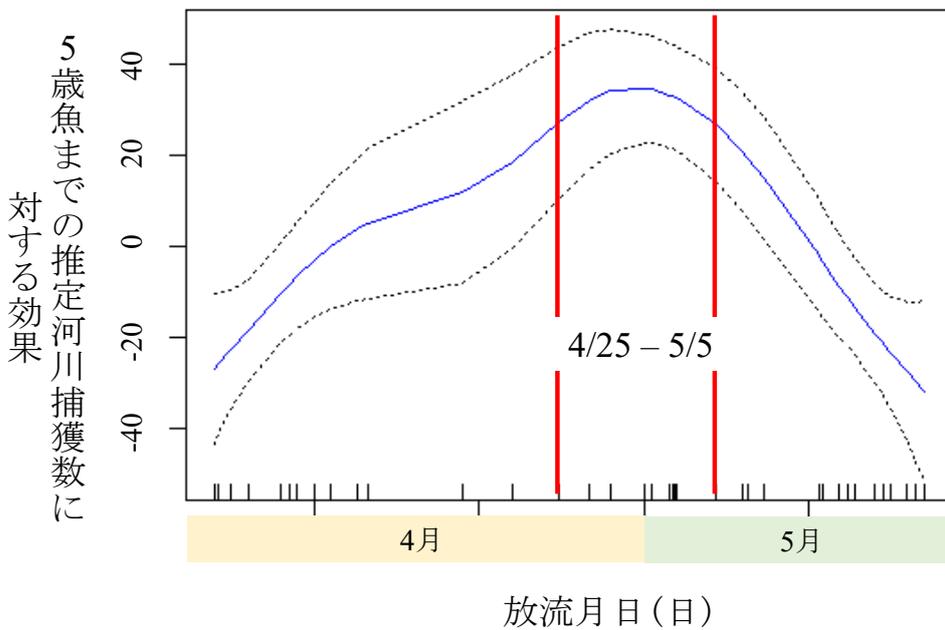


図4. 静内川における選択されたモデルによる5歳時までの推定河川捕獲数に対する放流月日の効果

表 1. 調査河川における 年級（年齢）毎の旬別標識発見数（単位：個）

| 調査河川 | 耳石標識コード | 抜本対策事業 | | | | | 回帰率 向上事業 |
|-------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|
| | | 2年魚 | 3年魚 | 4年魚 | 5年魚 | 6年魚 | |
| | | 2021年級 | 2020年級 | 2019年級 | 2018年級 | 2017年級 | |
| 釧路川 (芦別) | 2n,2n-2H | 0 | 16 | 43 | 3 | 0 | |
| | 2n-2n,2H | 0 | 13 | 54 | 7 | 0 | |
| | 2n-2n,3H | 0 | 7 | 32 | 2 | | 標識未実施 |
| | 2n-3n,2H | 0 | 0 | | | | 標識未実施 |
| 静内川 | 2,3,1,2H | | 5 | 55 | 18 | 0 | |
| | 2,3,1,3H | | 15 | 46 | 15 | 0 | |
| | 2,3,1,4H | 未掲載 | 44 | 65 | 24 | 0 | |
| | 2,3,1,5H | | 13 | 74 | 14 | 0 | |
| | 2-3,1,3H | | 27 | 15 | 4 | 1 | |
| 知内川 | 2,3-2H | 0 | 13 | 10 | 31 | | |
| | 2-2,3H | 0 | 13 | 9 | 32 | | 標識未実施 |
| 余市川 | 2,2,1,4H | 0 | 11 | 54 | 21 | 1 | |
| | 2,2,1,5H | 0 | 11 | 87 | 83 | 0 | |
| | 2-3,2H | 1 | 43 | 88 | 20 | 1 | |

表 2-1. 2023 年度回帰親魚調査で確認された耳石標識放流魚標識別推定回帰率

| 河川 | 事業名 | 年級 | 耳石温度 コード | 標識推定尾数(尾) | | | | | | 放流尾数 (千尾) | 推定河川 回帰率 | 放流旬 | 放流 魚体重 (g) |
|--------|---------------------|------|-------------|-----------|-------|--------|-------|-------|--------|--------------|-------------|------|------------------|
| | | | | 2年魚 | 3年魚 | 4年魚 | 5年魚 | 6年魚 | 累計 | | | | |
| 知内川 | ふ化放流 抜本対策 事業 | 2018 | 2,3-2H | 0 | 1,109 | 3,651 | 334 | | 5,094 | 1,500 | 0.340% | 4月中旬 | 1.43 |
| | | | 2-2,3H | 0 | 1,590 | 6,247 | 276 | | 8,113 | 1,404 | 0.578% | 4月中旬 | 1.56 |
| | | 2019 | 2,3-2H | 0 | 35 | 101 | | | 136 | 1,319 | 0.010% | 4月下旬 | 1.40 |
| | | | 2-2,3H | 0 | 76 | 71 | | | 147 | 1,425 | 0.010% | 4月中旬 | 1.23 |
| | | 2020 | 2,3-2H | 0 | 101 | | | | 101 | 1,379 | 0.007% | 4月中旬 | 1.56 |
| | | | 2-2,3H | 17 | 71 | | | | 88 | 1,392 | 0.006% | 4月中旬 | 1.39 |
| | | 2021 | 2,3-2H | 0 | | | | | 0 | 1,456 | 0.000% | 4月中旬 | 1.26 |
| | | | 2-2,3H | 0 | | | | | 0 | 1,518 | 0.000% | 4月中旬 | 1.14 |
| 余市川 | サケ資源 回帰率向上 調査 | 2017 | 2,2,1,4H | 54 | 1,294 | 1,603 | 154 | 82 | 3,187 | 1,295 | 0.246% | 4月中旬 | 0.67 |
| | | | 2,2,1,5H | 83 | 1,928 | 2,443 | 733 | 0 | 5,187 | 1,275 | 0.407% | 3月中旬 | 0.94 |
| | | | 2-3,2H | 186 | 4,937 | 3,576 | 0 | 66 | 8,765 | 1,793 | 0.489% | 4月上旬 | 1.31 |
| | ふ化放流 抜本対策 事業 | 2018 | 2,2,1,4H | 0 | 1,406 | 3,751 | 1,406 | | 6,562 | 1,417 | 0.463% | 3月下旬 | 1.13 |
| | | | 2,2,1,5H | 0 | 3,005 | 20,896 | 5,935 | | 29,836 | 1,943 | 1.536% | 4月中旬 | 1.18 |
| | | | 2-3,2H | 295 | 4,173 | 10,087 | 1,363 | | 15,918 | 1,805 | 0.882% | 4月上旬 | 1.00 |
| | | 2019 | 2,2,1,4H | 0 | 3,234 | 3,397 | | | 6,631 | 1,627 | 0.408% | 4月中旬 | 1.01 |
| | | | 2,2,1,5H | 0 | 2,650 | 6,968 | | | 9,618 | 2,033 | 0.473% | 3月上旬 | 1.15 |
| | | 2020 | 2-3,2H | 161 | 6,260 | 6,370 | | | 12,791 | 2,354 | 0.543% | 3月中旬 | 1.03 |
| | | | 2,2,1,4H | 0 | 712 | | | | 712 | 1,476 | 0.048% | 4月上旬 | 1.11 |
| | | 2021 | 2,2,1,5H | 93 | 564 | | | | 657 | 2,001 | 0.033% | 3月中旬 | 1.04 |
| | | | 2-3,2H | 93 | 1,988 | | | | 2,081 | 1,946 | 0.107% | 4月下旬 | 1.04 |
| | | 2021 | 2,2,1,4H | 0 | | | | | 0 | 1,042 | 0.000% | 4月中旬 | 1.32 |
| | | | 2,2,1,5H | 0 | | | | | 0 | 2,036 | 0.000% | 3月中旬 | 1.14 |
| 2-3,2H | 45 | | | | | | 45 | 1,967 | 0.002% | 3月下旬 | 1.11 | | |

○標識発見数と河川捕獲数から標識回帰尾数を推定し、放流数に乗じて推定回帰率を示した。

表 2-2. 2023 年度回帰親魚調査で確認された耳石標識放流魚標識別推定回帰率

| 河川 | 事業名 | 年級 | 耳石温度 コード | 標識推定尾数(尾) | | | | | | 放流尾数 (千尾) | 推定河川 回帰率 | 放流旬 | 放流 魚体重 (g) |
|-------------|-----------------|----------|-------------|-----------|-------|-------|-------|--------|--------|--------------|-------------|------|------------------|
| | | | | 2年魚 | 3年魚 | 4年魚 | 5年魚 | 6年魚 | 累計 | | | | |
| 静内川 | サケ資源回帰率 向上調査 | 2017 | 2,3,1,2H | 103 | 230 | 1,920 | 0 | 0 | 2,253 | 930 | 0.242% | 4月上旬 | 1.98 |
| | | | 2,3,1,3H | 231 | 298 | 1,408 | 0 | 0 | 1,937 | 1,417 | 0.137% | 4月中旬 | 1.50 |
| | | | 2,3,1,4H | 10 | 1,111 | 1,637 | 0 | 0 | 2,758 | 2,038 | 0.135% | 4月下旬 | 1.92 |
| | | | 2-3,1,3H | 0 | 298 | 1,392 | 0 | 124 | 1,814 | 1,521 | 0.119% | 5月上旬 | 1.73 |
| | ふ化放流抜本 対策事業 | 2018 | 2,3,1,2H | 0 | 1,251 | 3,840 | 861 | | 5,952 | 457 | 1.302% | 4月上旬 | 1.93 |
| | | | 2,3,1,3H | 0 | 2,237 | 4,552 | 924 | | 7,713 | 1,496 | 0.516% | 4月上旬 | 1.89 |
| | | | 2,3,1,4H | 123 | 5,929 | 8,084 | 2,000 | | 16,136 | 2,016 | 0.800% | 5月下旬 | 2.23 |
| | | | 2,3,1,5H | 0 | 800 | 2,663 | 780 | | 4,243 | 453 | 0.937% | 4月上旬 | 1.64 |
| | | 2-3,1,3H | 0 | 3,340 | 2,105 | 159 | | 5,604 | 1,505 | 0.372% | 5月下旬 | 2.64 | |
| | | 2019 | 2,3,1,2H | 0 | 665 | 3,262 | | | 3,927 | 487 | 0.806% | 4月中旬 | 2.32 |
| | | | 2,3,1,5H | 0 | 544 | 3,995 | | | 4,539 | 486 | 0.934% | 4月中旬 | 2.23 |
| | | | 2,3,1,3H | 113 | 635 | 3,238 | | | 3,986 | 1,474 | 0.270% | 4月中旬 | 2.13 |
| | 2,3,1,4H | | 0 | 1,182 | 5,634 | | | 6,816 | 1,782 | 0.382% | 5月中旬 | 2.41 | |
| | 2-3,1,3H | 0 | 47 | 1,181 | | | 1,228 | 1,718 | 0.071% | 5月下旬 | 2.12 | | |
| | 2020 | 2,3,1,2H | 0 | 256 | | | | 256 | 440 | 0.058% | 4月中旬 | 2.11 | |
| | | 2,3,1,3H | 0 | 1,248 | | | | 1,248 | 1,522 | 0.082% | 4月中旬 | 2.37 | |
| 2,3,1,4H | | 0 | 4,174 | | | | 4,174 | 1,767 | 0.236% | 5月上旬 | 2.79 | | |
| 2,3,1,5H | | 0 | 749 | | | | 749 | 440 | 0.170% | 4月中旬 | 2.09 | | |
| 2-3,1,3H | 0 | 1,495 | | | | 1,495 | 1,864 | 0.080% | 5月下旬 | 2.52 | | | |
| 釧路川 (芦別) | サケ資源回帰率 向上調査 | 2017 | 2n,2n-2H | 0 | 16 | 235 | 66 | 0 | 317 | 1,861 | 0.017% | 3月下旬 | 1.01 |
| | | | 2n-2n,2H | | 37 | 135 | 81 | 0 | 253 | 1,842 | 0.014% | 4月下旬 | 1.46 |
| | ふ化放流抜本 対策事業 | 2018 | 2n,2n-2H | 0 | 50 | 798 | 93 | | 941 | 1,256 | 0.075% | 3月下旬 | 1.66 |
| | | | 2n-2n,2H | 0 | 3 | 973 | 174 | | 1,150 | 1,372 | 0.084% | 3月下旬 | 1.35 |
| | | | 2n-2n,3H | 0 | 0 | 35 | 74 | | 109 | 1,348 | 0.008% | 4月上旬 | 1.09 |
| | 2019 | 2n,2n-2H | 0 | 184 | 1,474 | | | 1,658 | 1,344 | 0.123% | 3月下旬 | 1.63 | |
| | | 2n-2n,2H | 0 | 258 | 1,640 | | | 1,898 | 1,344 | 0.141% | 3月下旬 | 1.60 | |
| | | 2n-2n,3H | 0 | 40 | 1,156 | | | 1,196 | 1,366 | 0.088% | 4月上旬 | 1.40 | |
| | | 2n-3n,2H | 0 | 0 | | | | 0 | 1,156 | 0.000% | 4月中旬 | 1.34 | |
| | 2020 | 2n,2n-2H | 0 | 555 | | | | 555 | 1,281 | 0.043% | 4月上旬 | 1.81 | |
| | | 2n-2n,2H | 0 | 463 | | | | 463 | 1,297 | 0.036% | 4月上旬 | 1.77 | |
| | | 2n-2n,3H | 0 | 285 | | | | 285 | 1,291 | 0.022% | 4月中旬 | 1.34 | |
| | | 2n-3n,2H | 0 | 0 | | | | 0 | 1,156 | 0.000% | 4月中旬 | 1.34 | |
| | 2021 | 2n,2n-2H | 0 | | | | | 0 | 1,323 | 0.000% | 4月上旬 | 2.10 | |
| 2n-2n,2H | | 0 | | | | | 0 | 1,321 | 0.000% | 4月下旬 | 1.90 | | |
| 2n-2n,3H | | 0 | | | | | 0 | 1,255 | 0.000% | 4月中旬 | 1.75 | | |
| 2n-3n,2H | | 0 | | | | | 0 | 1,250 | 0.000% | 4月中旬 | 2.00 | | |

○標識発見数と河川捕獲数から標識回帰尾数を推定し、放流数に乗じて推定回帰率を示した。

表 3. 調査河川における河川別捕獲数

| 調査河川/ 年別捕獲数 | 単位:尾 | | | | | | | | | | | |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 |
| 知内川 | 6,834 | 9,865 | 10,693 | 7,591 | 5,422 | 8,521 | 11,813 | 10,079 | 10,480 | 11,522 | 27,934 | 4,633 |
| 雪裡川(芦別) | 16,218 | 31,947 | 67,568 | 63,252 | 20,727 | 8,409 | 18,031 | 16,678 | 3,748 | 2,783 | 16,965 | 26,323 |
| 釧路川(本流) | 50,034 | 13,892 | 21,012 | 44,470 | 17,888 | 9,308 | 20,173 | 13,612 | 3,204 | 818 | 5,940 | 10,183 |
| 静内川 | 36,395 | 74,737 | 72,710 | 73,419 | 66,971 | 35,311 | 51,718 | 77,627 | 54,269 | 47,309 | 99,684 | 51,572 |
| 余市川 | 41,549 | 13,387 | 24,686 | 19,528 | 15,159 | 28,714 | 20,096 | 25,101 | 62,053 | 29,058 | 66,742 | 33,600 |

表 4. 静内川および釧路川で作成したモデル一覧

両河川ともにモデル 2 が選ばれた。Y=5 歳時までの推定河川捕獲数、s()はスプライン関数を示し、自由度 4 で統一した。

| モデル | モデル式 |
|-----|--|
| 1 | $Y = \text{年級} + \text{offset}(\log(\text{放流尾数}))$ |
| 2 | $Y = s(\text{放流月日}, 4) + \text{offset}(\log(\text{放流尾数}))$ |
| 3 | $Y = s(\text{放流サイズ}) + \text{offset}(\log(\text{放流尾数}))$ |
| 4 | $Y = \text{年級} + s(\text{放流月日}, 4) + \text{offset}(\log(\text{放流尾数}))$ |
| 5 | $Y = \text{年級} + s(\text{放流サイズ}) + \text{offset}(\log(\text{放流尾数}))$ |
| 6 | $Y = s(\text{放流月日}, 4) + s(\text{放流サイズ}) + \text{offset}(\log(\text{放流尾数}))$ |
| 7 | $Y = \text{年級} + s(\text{放流月日}, 4) + s(\text{放流サイズ}) + \text{offset}(\log(\text{放流尾数}))$ |

b) 東北太平洋（織笠川、熊野川）

執筆者：岩手県水産技術センター 岡部聖

実施機関及び担当者

岩手県水産技術センター：清水勇一、岡部聖、太田倫太郎

【目的】海中飼育試験及び流速強化試験の放流魚が回帰するため、放流河川に遡上する親魚から鱗及び耳石を採取し、耳石温度標識パターンから試験区毎の河川回帰率を算出する。

【方法】織笠川及び熊野川に遡上した雌雄の親魚について、各旬 20～50 尾から鱗及び耳石を採取し、年齢査定と耳石温度標識パターンの確認を行い、試験区毎の放流数から河川回帰率を算出した。なお、回帰率の算出には、回帰の主群となる 3～5 歳魚を用いた。

【結果】織笠川では令和 5 年 10 月 13 日から令和 6 年 1 月 4 日までに 656 尾から耳石を採取し、耳石温度標識の確認を行った。山田湾海中飼育試験の年級別の放流状況を表 1 に示した。なお、短期海中飼育群では、海中生簀へ移動後、およそ 2 週間で放流した。大目網の試験は平成 30 年級から開始し、令和 5 年度時点で平成 30 年級の 3～5 歳魚、令和元年級の 3、4 歳魚及び令和 2 年級の 3 歳魚の回帰が確認された。平成 30 年級の回帰率は、大目海中飼育群で 0.0086%、海中飼育群で 0.0323%、短期海中飼育群で 0.0083%、河川放流群で 0.0180% となり、海中飼育群が河川放流群を上回った（図 1）。大目海中飼育群は河川放流群を下回ったが、平成 30 年級の当該群は海中生簀移送直後に逃避しており、実質的に小型サイズでの海中放流となったことが影響していると考えられる。また、令和元年級の暫定回帰率は、大目海中飼育群で 0.0055%、海中飼育群で 0.0098%、短期海中飼育群で 0.0048%、河川放流群で 0.0133% となり（図 2）、令和 2 年級の暫定回帰率は、大目海中飼育群で 0.0085%、海中飼育群で 0.0083%、短期海中飼育群で 0.0008%、河川放流群で 0.0005% となった（図 3）。

熊野川では令和 5 年 10 月 30 日から同年 12 月 22 日までで 129 尾から耳石を採取し、耳石温度標識の確認を行った。流速強化試験の年級別の放流状況を表 2 に示した。流速強化試験区は平成 30 年級の 3～5 歳魚、令和元年級の 3、4 歳魚の回帰が確認された。平成 30 年級の回帰率は、流速強化区が 0.0034%、対照区が 0.0121% となり、対照区が流速強化区を上回った（図 4）。平成 30 年級の流速強化区は飼育環境が悪化し稚魚の成育に悪影響を及ぼした可能性があり、その傾向に同調する結果となった。また、令和元年級の暫定回帰率は、流速強化区が 0.0023%、対照区が 0% となり、流速強化区が対照区を上回った（図 5）。なお、令和 2 年級の当該試験区の 3 歳魚は確認されなかった。

今後も、回帰親魚の鱗及び耳石温度標識の調査を継続し、各試験の効果の検証を行う。

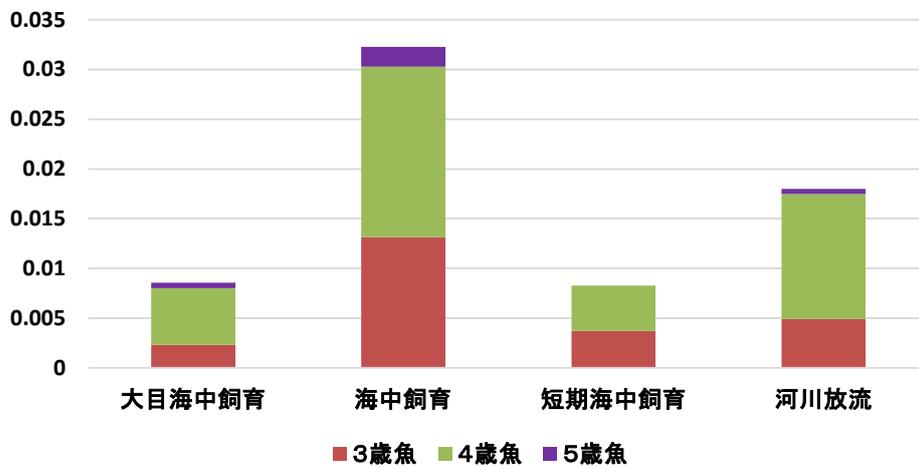


図1 織笠川における平成30年級の回帰率（3～5歳魚）

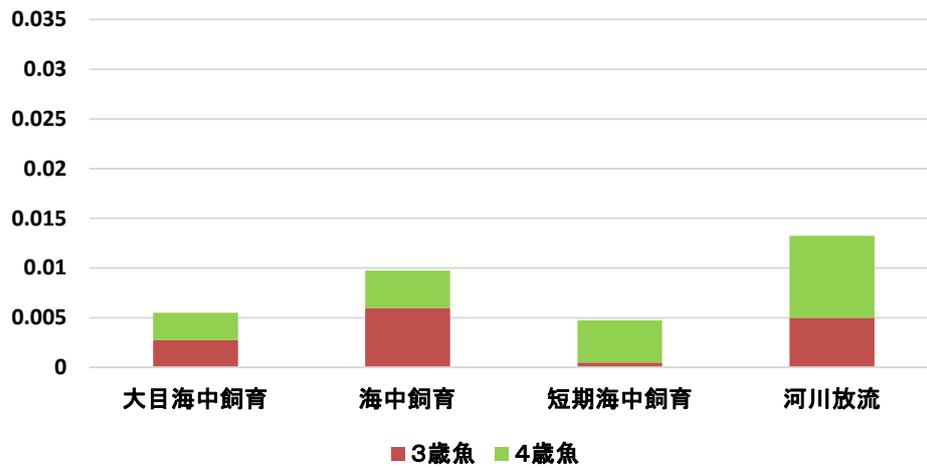


図2 織笠川における令和元年級の暫定回帰率（3～4歳魚）

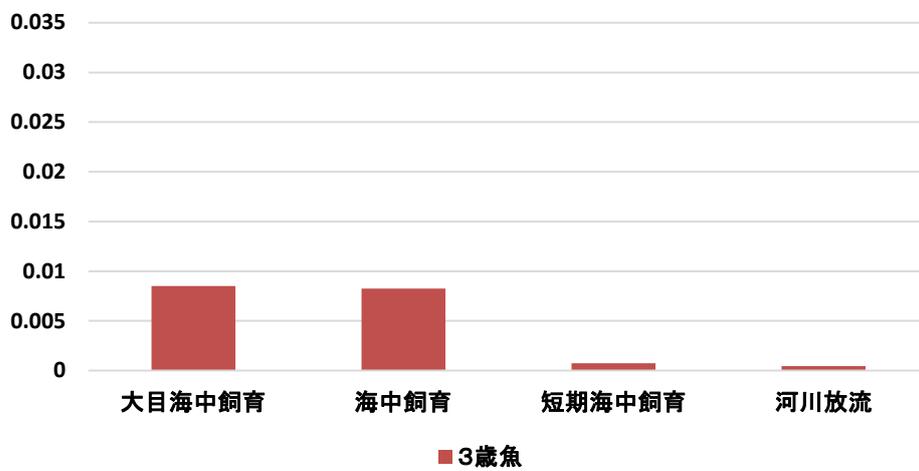


図3 織笠川における平成30年級の暫定回帰率（3歳魚）

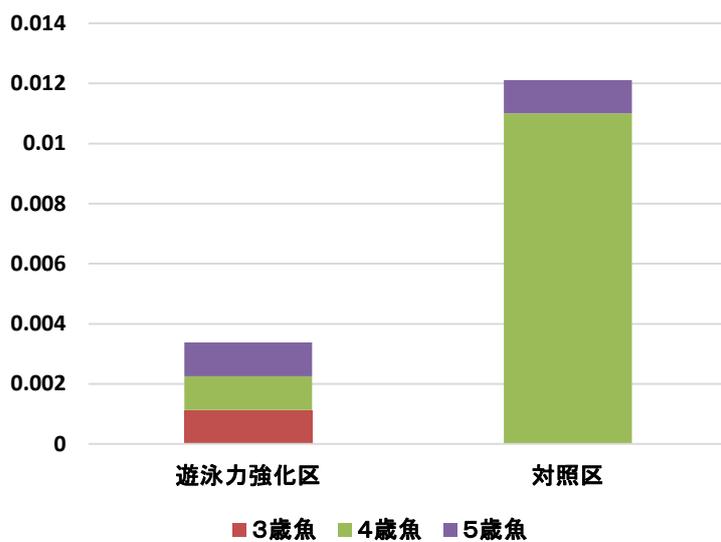


図4 熊野川における平成30年級の回帰率（3～5歳魚）

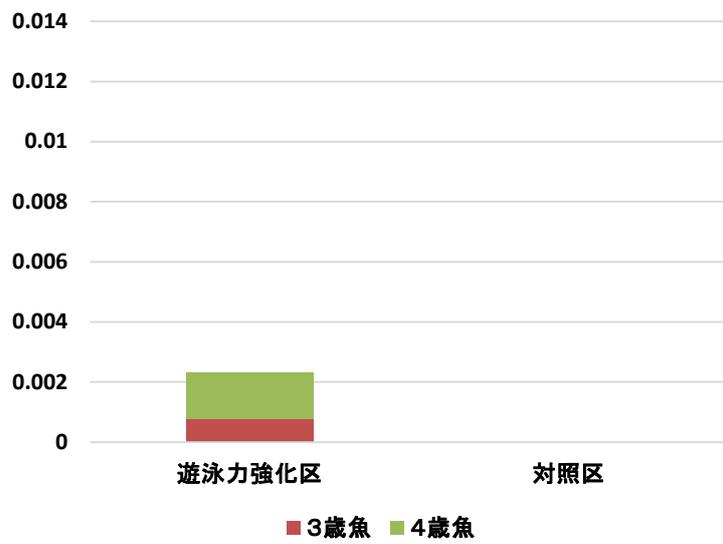


図5 熊野川における令和元年級の暫定回帰率（3～4歳魚）

表1 山田湾海中飼育試験の年級別の放流状況（平成30～令和2年級）

| 年級 | 試験群 | 標識 | 採卵日 | 海面移動日 | 海面移動サイズ | | 放流日 | 放流サイズ | | 標識放流尾数 (尾) |
|-------|---------|--------|---------------|-----------|---------|-------|-----------|---------|-------|---------------|
| | | | | | 尾叉長(mm) | 体重(g) | | 尾叉長(mm) | 体重(g) | |
| H30年級 | 海中飼育群 | 2-2.2H | 2018/11/22.23 | 2019/3/8 | 51.5 | 0.93 | 2019/4/8 | 59.3 | 1.75 | 350,000 |
| | 短期海中飼育群 | 2.2nH | 2018/11/22.23 | 2019/3/9 | 51.2 | 0.98 | 2019/3/22 | 53.7 | 1.14 | 350,000 |
| | 大目海中飼育群 | 2.5H | 2018/11/22.23 | 2019/3/9 | 49.6 | 0.95 | - | - | - | 350,000 |
| | 河川放流群 | 2n-2H | 2018/11/27 | - | - | - | 2019/3/24 | 58.7 | 1.52 | 200,000 |
| R1年級 | 海中飼育群 | 2-2.2H | 2019/11/27 | 2020/3/24 | 50.9 | 0.98 | 2020/4/22 | 70.6 | 3.06 | 400,000 |
| | 短期海中飼育群 | 2.2nH | 2019/11/29 | 2020/3/24 | 52.0 | 1.00 | 2020/4/7 | 58.8 | 1.51 | 400,000 |
| | 大目海中飼育群 | 2.5H | 2019/11/25 | 2020/3/23 | 53.2 | 1.06 | 2020/5/13 | 85.4 | 5.29 | 400,000 |
| | 河川放流群 | 2n-2H | 2019/11/30 | - | - | - | 2020/4/20 | 66.7 | 2.24 | 400,000 |
| | 海中飼育群 | 2.2nH | 2020/11/28 | 2021/3/5 | 44.3 | 0.58 | 2021/4/20 | 74.2 | 3.39 | 400,000 |
| | 短期海中飼育群 | 2-2.2H | 2020/11/25 | 2021/3/5 | 47.5 | 0.73 | 2021/3/16 | 51.9 | 0.97 | 400,000 |
| R2年級 | 大目海中飼育群 | 2.5H | 2020/11/28 | 2021/3/5 | 46.4 | 0.68 | 2021/5/11 | 99.3 | 7.89 | 400,000 |
| | 河川放流群 | 2n-2H | 2020/12/18 | - | - | - | 2021/4/27 | 66.0 | 2.14 | 400,000 |
| | 河川放流群 | 2n-2H | 2020/12/23 | - | - | - | 2021/5/25 | 68.7 | 2.56 | 700,000 |

表2 流速強化試験の年級別の放流状況（平成30～令和2年級）

| 年級 | 試験群 | 標識 | 採卵日 | 放流日 | 放流サイズ | | 標識放流尾数 (尾) |
|-----|-------|-------|------------|-----------|---------|-------|---------------|
| | | | | | 尾叉長(mm) | 体重(g) | |
| H30 | 対照区 | 2.5H3 | 2018/12/11 | 2018/4/22 | 59.1 | 1.63 | 90,836 |
| | 流速強化区 | 2.5H2 | 2018/12/11 | 2018/4/22 | 59.9 | 1.70 | 88,682 |
| R1 | 対照区 | 2.5H3 | 2019/12/20 | 2020/4/24 | 60.6 | 1.78 | 129,826 |
| | 流速強化区 | 2.5H2 | 2019/12/20 | 2020/4/24 | 60.9 | 1.64 | 130,379 |
| R2 | 対照区 | 2.5H3 | 2020/12/14 | 2021/5/10 | 67.9 | 2.83 | 76,437 |
| | 流速強化区 | 2.5H2 | 2020/12/14 | 2021/5/10 | 68.1 | 2.91 | 72,812 |

c) 東北日本海（最上川（鮭川、最上小国川、寒河江川）ほか海面）

執筆者：山形県水産研究所 粕谷和寿

実施機関及び担当者

山形県内水面水産研究所 内水面水産振興部（以下、山形内水研）：齋藤哲

山形県水産研究所（以下、山形水研）海洋資源調査部：高澤俊秀

浅海増殖部：粕谷和寿

【目的】

先行事業（さけますふ化放流抜本対策事業）において最上川に放流した 2018～2021 年級の標識魚（表 1）は 2022 年から順次回帰する。その回帰状況と稚魚期の沿岸環境との関係を分析し、ふ化放流事業の改善に活用する。本年度は 2018～2020 年級群がそれぞれ 4 歳、3 歳、2 歳魚として回帰する年であり、これら 3 群の回帰状況を捉える。

【方法】

1) 河川親魚調査（山形内水研 担当）

時期：①2022 年回帰群 2022 年 10 月中旬～11 月下旬

②2023 年回帰群 2023 年 10 月中旬～11 月下旬

場所：最上川水系支流である寒河江川、最上小国川、鮭川の採捕場（図 1）

項目：魚体測定、鱗による年齢判別、耳石温度標識のコード判別

目標検体数：各河川 100～200 尾

2) 海面親魚調査（山形水研 担当）

時期：①2022 年回帰群 2022 年 10 月中旬～12 月上旬

②2023 年回帰群 2023 年 10 月中旬～12 月上旬

場所：山形県漁業協同組合由良総括支所（鶴岡市由良） 他

項目：魚体測定、鱗による年齢判別、耳石温度標識のコード判別 他

目標検体数：定置網水揚げ個体 600 尾（各旬 100 尾）

【結果及び考察】

①2022 年回帰群（表 2、3）

2022 年度は同様の調査を寒河江川、最上小国川、鮭川で行い、それぞれ 3 回ずつの調査で寒河江川は 61 尾、最上小国川は 219 尾、鮭川（支流の真室川での刺網採捕親魚も含む）は 213 尾を調査した。その結果、寒河江川では 2019 年級の標識魚が 2 尾、最上小国川では 2018～2020 年級の標識魚が 21 尾、鮭川（真室川も含む）では 2018～2019 年級の標識魚が 22 尾含まれており、先行事業で放流した標識魚の回帰が確認された。

②2023 年回帰群

1) 河川親魚調査

(1) 寒河江川：当該採捕場において 2023 年 10 月 17 日、10 月 24 日、11 月 2 日の 3 日間で、計 34 尾を調査した。

(2) 最上小国川：当該採捕場において 10 月 24 日、11 月 2 日、11 月 9 日の 3 日間で、計 198 尾を調査した。

(3) 鮭川：当該採捕場（ウライ）において 11 月 9 日、11 月 16 日、11 月 22 日の 3 日間で、計 98 尾を調査した。他に支流の真室川で刺網による河川採捕も行っており、この親魚 13 尾も調査した。

今後、上記の 3 河川の合計 343 尾は採取した鱗から年齢査定を行うとともに、耳石コード判別を国立研究開発法人水産研究・教育機構 水産資源研究所さけます部門に依頼する。これらの結果をもとに 3 支川への最上川放流群の回帰状況を明らかにする。

2) 海面親魚調査 (表 4)

①2022 年回帰群

耳石コード判別の結果、437 尾の検体中、標識魚は 40 尾であった。

放流水系別では、最上川は 3 尾 (2020 年級)、月光川は 8 尾 (2018 年級 5 尾、2019 年級 3 尾)、その他の水系は 29 尾 (2018 年級 15 尾、2019 年級 11 尾、2020 年級 3 尾) であり、このうち、迷入魚を思われる太平洋側の岩手県笠川水系の標識魚が 1 尾 (2018 年級) あった。

②2023 年回帰群

10 月 24 日～11 月 15 日に計 226 個体の検体を入手した。魚体測定や採取した鱗からの年齢査定を行うとともに耳石を摘出した。摘出した耳石は国立研究開発法人水産研究・教育機構水産資源研究所さけます部門に送付した。

10月中旬～12月上旬

1 沿岸（定置網）調査（水研）

山形県漁業協同組合
由良総括支所

2 河川調査（内水研）

最上川水系 3 支流
（鮭川、最上小国川、寒河江川）



図 1. 河川親魚調査及び海面親魚調査の位置

表 1. 最上川水系各河川への放流尾数

| 年級 | 標識コード | 放流河川(支流名) | | 尾数(千尾) |
|------|---------------------------------------|-----------|-------|--------|
| | | 鮭川 | 本流 | |
| 2018 | 2n-2n,2H | | 真室川 | 100 |
| | | | 最上小国川 | 200 |
| | | | | 350 |
| | 2,2-1,2H | 寒河江川 | | 380 |
| 2019 | 2-2,1,2H (一部2-2,1,3H 2-2,1,3nH) | 寒河江川 | | 312 |
| | | 最上小国川 | | 312 |
| | | 鮭川 | 泉田川 | 406 |
| 2020 | 2-2,1,2H | 寒河江川 | | 345 |
| | | 最上小国川 | | 345 |
| | | 鮭川 | 泉田川 | 400 |
| 2021 | 2-2,1,2H | 寒河江川 | | 290 |
| | | 最上小国川 | | 320 |
| | | 鮭川 | 泉田川 | 404 |

表 2. 河川親魚調査概要 (2022 年)

| | 調査日 | 調査尾数 (尾) |
|-------|---------------------|----------|
| 寒河江川 | 10月18日、10月26日、11月1日 | 61 |
| 最上小国川 | 10月27日、11月1日、11月7日 | 219 |
| 鮭川 | 11月8日、11月15日、11月22日 | 213 |

※ 鮭川は支流の真室川における刺網採捕の親魚 24 尾も含む

表 3. 河川親魚調査における標識魚及び無標識魚尾数 (2022 年)

| | 寒河江川 | | 最上小国川 | | 鮭川(真室川) | |
|--------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|
| | 標識魚(尾) | 無標識魚(尾) | 標識魚(尾) | 無標識魚(尾) | 標識魚(尾) | 無標識魚(尾) |
| 平成30年級 | 0 | 19 | 9 | 78 | 1(7) | 82(13) |
| 令和元年級 | 2 | 39 | 11 | 111 | 14(0) | 84(4) |
| 令和2年級 | 0 | 1 | 1 | 9 | 0(0) | 8(0) |

※ 括弧内の数値は真室川の結果

※ 最上川放流魚の他、三面川、川袋川、石狩川、山田湾の放流魚が確認され、それらは無標識魚として集計した

表 4. 鶴岡市北部の定置網において漁獲されたサケの放流水系 (2022 年、耳石コード判定)

| 調査月 | 放流河川 | 年齢 | 年級 | 成熟度 | 耳石コード | 雌雄 | まとめ |
|-----|------|----|------|-----|----------|----|---|
| 10月 | 月光川 | 3 | 2019 | A | 2,3nH | ♂ | 標識魚 月光川 5尾 最上川 1尾 その他 25尾 混在率 12% |
| | | | | | 2,1-2H | ♂ | |
| | | 4 | 2018 | A | 2,1-2H | ♂ | |
| | | | | | 2,1-2H | ♀ | |
| | 最上川 | 2 | 2020 | A | 2-2,1,2H | ♂ | |
| 11月 | 月光川 | 4 | 2018 | A | 2,1-2H | ♀ | 標識魚 月光川 3尾 最上川 2尾 その他 5尾 混在率 7% |
| | 最上川 | 2 | 2020 | A | 2-2,1,2H | ♂ | |
| | 月光川 | 3 | 2019 | A | 2,3nH | ♂ | |
| | | 4 | 2018 | A | 2,3nH | ♂ | |
| | 最上川 | 2 | 2020 | B | 2,2,1-2H | ♂ | |

d) 本州日本海（富山県神通川水系）

執筆者：富山県農林水産総合技術センター 水産研究所 野村幸司

実施機関及び担当者

富山県農林水産総合技術センター 水産研究所：野村幸司、古川嵩恭

【目的】

富山県ではサクラマス資源維持のため、稚魚放流やスマルト放流を継続しているが、河川、海面ともに漁獲量の低迷が続いている。サクラマスは河川生活期間が長く、スマルト放流を行う場合は1年半もの期間飼育する必要があり、多大な労力とコストを要していることから、増殖手法の抜本的な見直しが必要である。このことから、ヤマメでは一定の増殖効果が確かめられた発眼卵放流（岸・徳原 2017）をサクラマスに応用し、回帰状況を検証する。

【方法】

(1) 2019 年埋設群

標識魚の試験放流は、神通川水系黒川および井田川において、2019年11～12月に埋設放流（試験区：A1H）および2020年3月に稚魚放流（対照区：黒川稚魚放流 3H 井田川無給餌放流 2,2nH）により実施した。サクラマスの回帰年度である2022年10-11月に神通川水系で増殖用親魚として富山漁業協同組合により採捕されたサクラマス親魚5個体の耳石を解析した。

(2) 2020 年埋設群

標識魚の試験放流は、神通川水系黒川において、2020年11-12月に埋設放流（試験区：A1H および A2H）および2021年4月に稚魚放流（対照区：3H）により実施した。サクラマスの回帰年度である2023年10-11月に神通川水系で増殖用親魚として富山漁業協同組合により採捕されたサクラマス親魚を収集した。

(3) 2021 年埋設群

標識魚の試験放流は、神通川水系黒川において、2021年11-12月に埋設放流（試験区：A1H）および2022年4月に稚魚放流（対照区：3H）により実施した。サクラマスの降海年度である2023年3-4月に神通川河口付近の四方市場において、定置網で漁獲されたサクラマススマルト魚を収集し耳石を解析した。

【結果及び考察】

(1) 2019 年埋設群

捕獲したサクラマス親魚の耳石を解析したところ、標識魚は確認されなかった。当該年級の親魚捕獲数は記録のある限り最低の尾数（5尾）であった。

(2) 2020 年埋設群

サクラマスの回帰年度である2023年10-11月に神通川水系で採捕したサクラマス親魚76個体を回収した（図1）。今後、これらの耳石を解析する予定である。

(3) 2021 年埋設群

四方市場で31尾のサクラマススマルトを入手し、そのうち2尾が2021年級の対照区由来であった。

【引用文献】

岸 大弼・徳原哲也（2017）ヤマメ稚魚放流個体および発眼卵放流個体の残存状況と費用対効果の比較. 岐阜県水産研究所研究報告, 1-7.

課題ウ 事業検討協議会

【目的】

外部専門家を含む検討会を開催し、本調査の実施計画および調査結果について検討する。

【結果】

令和5年度は、2023年7月20日に第1回検討会を、また2024年1月25日に第2回検討会をそれぞれ札幌市内会議場にて開催した（下記）。第1回目は今年度の計画ならびに前年度第2回の検討会時点で実施中であった課題の結果報告を、第2回目は今年度の調査結果の暫定的結果が出ている課題を中心に、その報告と検討を実施した（現在実施中あるいはこれから年度を跨いで実施される課題については翌年第1回目の協議会にて報告予定）。

外部専門家からは、

- ・過去10年にわたり実施した試験研究の結果を、現在の事業・課題にどの様に加味し、あるいは反映させているのかを分かる形で検討する必要がある。また2022年漁期におけるサケの来遊の「地域差」がなぜ生じたのか。地域毎に様々な異なる沿岸環境に合わせた放流の検討を。餌料への油脂添加については、その方法と効果（どのような種類を長期間給餌するのか、一定期間だけで効果があるのか、等）について、情報共有とともに検討を（第1回検討会）
- ・4点ほどお伝えしたい：1) 孵化場における改善すべき給餌方法・種類などについて少し先が見えてきた感がある。引き続き、これらのデータの整理を進めてほしい。2) 放流後の餌環境が変化している現状においても、なおサケ幼稚魚の生残率を高める方法の検討を続けて欲しい。3) これまでの事業で放流された試験群の回帰結果を数理モデルに適用することで、任意の手法で放流した群の回帰率を予測することにつながるのではないかと是非検討を。4) これまでの事業で得られた研究成果をいかに現場に伝えるかが重要。孵化場の人たちに使ってもらえるような解りやすいマニュアルの作成なども考えて作業を進めて頂きたい。

本事業も10年目を迎え、各研究機関が密に連携し非常に興味深いデータが得られ始めている。今後もその努力を続け、少しでも明るい光が見られるようになることを期待する。

（第2回検討会）

といった講評・御指摘を頂いた。

記

・令和5年度第1回検討会

- ① 日時：2023年7月20日（木）13:00~17:30
- ② 場所：第2水産ビル 4階 4S 会議室（札幌市中央区北3条西7丁目1番地）
- ③ 外部専門家：上田 宏 名誉教授（北海道大学）
- ④ 出席者：外部専門家1名、水産庁増殖推進部栽培養殖課2名、共同研究機関12機関39名の計42名（これに加えてオブザーバ2名が参加）
- ⑤ 議事内容：下記に従って、実施計画の説明および質疑応答を行った。

議事次第

1. 挨拶
会議主催者（水産資源研究所さけます部門長）
事業委託元（水産庁増殖推進部栽培養殖課）
2. 出席者紹介
3. 全体計画説明（水研機構水産資源研究所さけます部門資源生態部長）
4. 細部計画・前年度結果説明：
ア 大型種苗等飼育技術及び放流手法技術開発

- 1) 成長促進効果等を高めるための管理技術の開発ならびに改善
 - a) 流速管理による健苗生産技術の検討 [岩手水技セ]
 - b) サケの成長が最大となる環境条件の把握 [技術研養殖部門]
 - c) 大型種苗等育成のための既存管理技術の改善 [資源研さけます部門]
 - 2) 成長促進効果等を高めるための餌料・餌料添加物の開発と実証
 - a) ビタミンC添加等による高温耐性向上効果の検証 [富山水研]
 - b) サケ稚魚の成長・代謝特性の解明と魚油添加の効果検証 [道総研]
 - 3) 海中飼育技術の活用によるサケ種苗の大型化及び実証のための放流
 - a) 海中飼育によるサケ種苗の大型化にかかる管理技術の開発 1:北海道 [資源研さけます部門]
 - b) 海中飼育によるサケ種苗の大型化にかかる管理技術の開発 2:本州太平洋 [岩手水技セ]
 - 4) 放流手法の開発ならびに適正化の効果検証
 - a) 油脂添加餌料による回帰率向上効果の検証 [道総研]
 - b) 北海道根室地区における最適な放流時期の検証 [道総研]
 - c) 北海道東部における放流サイズや放流時期等の適正化の検討 [資源研さけます部門]
 - d) 東北日本海における放流サイズや放流時期等の適正化の検討 [山形水研]
- イ 沿岸稚魚・幼稚魚追跡調査及び移動経路の解明調査
- 1) 稚魚沿岸滞泳期における沿岸環境調査及びサケ幼稚魚追跡調査
 - a) 北海道における定点環境観測及び稚魚採捕調査 1 [資源研さけます部門]
 - b) サケ幼稚魚の餌料環境と食性 [資源研さけます部門]
 - c) サケ幼稚魚の地理的起源推定 [資源研さけます部門]
 - d) サケ幼稚魚の耳石日周輪解析 [資源研さけます部門]
 - e) 北海道における定点環境観測及び稚魚採捕調査 2 [道総研]
 - f) 東北から北海道太平洋における海洋環境観測及び稚魚採捕調査 [岩手水技セ]
 - g) 東北日本海における環境観測及び稚魚採捕調査と耳石日周輪解析 [山形水研]
 - 2) 数理モデルを用いた大型サケ稚魚の行動様式の検証
 - a) 粒子追跡実験による稚魚の移動経路シミュレーション [資源研資源研究セ]
 - 3) 回帰親魚の標識確認調査
 - a) 北海道(釧路川(雪裡川)、静内川、知内川、余市川) [資源研さけます部門]
 - b) 東北太平洋(織笠川、熊野川) [岩手水技セ]
 - c) 東北日本海(最上川(鮭川)、最上小国川、寒河江川)ほか海面) [山形水研]
 - d) 本州日本海(富山県神通川水系) [富山水研]
5. 連絡事項
 6. 外部専門家講評
 7. その他

・令和5年度第2回検討会

- ① 日時：2024年1月25日(火) 13:00~17:45
- ② 場所:第2水産ビル 4階 4S会議室(札幌市中央区北3条西7丁目1番地)
- ③ 外部専門家：上田 宏 名誉教授(北海道大学)
- ④ 出席者：外部専門家1名、共同研究機関10機関45名の計48名(これに加えてオブザーバ3名が参加。参画機関のうち北海道大学および北里大学は欠席。また委託元の水産庁増殖推進部栽培養殖課からは出席を予定していたものの、荒天による交通障害により不参加となった)
- ④ 議事内容：下記に従って、調査結果の報告および質疑応答を行った。
- ⑤
- ⑥

議事次第

1. 挨拶
会議主催者（水産資源研究所さけます部門長）
事業委託元（水産庁増殖推進部栽培養殖課）
2. 結果報告
ア 大型種苗等飼育技術及び放流手法技術開発
 - 1) 成長促進効果等を高めるための管理技術の開発ならびに改善
 - a) 流速管理による健苗生産技術の検討 [岩手水技セ]
 - b) サケの成長が最大となる環境条件の把握 [技術研養殖部門]
 - c) 大型種苗等育成のための既存管理技術の改善 [資源研さけます部門]
 - 2) 成長促進効果等を高めるための餌料・餌料添加物の開発と実証
 - a) ビタミンC添加等による高温耐性向上効果の検証 [富山水研]
 - 3) 海中飼育技術の活用によるサケ種苗の大型化及び実証のための放流
 - b) 海中飼育によるサケ種苗の大型化にかかる管理技術の開発 2: 本州太平洋 [岩手水技セ]
 - 4) 放流手法の開発ならびに適正化の効果検証
 - a) 油脂添加餌料による回帰率向上効果の検証 [道総研]
 - b) 北海道根室地区における最適な放流時期の検証 [道総研]
- イ 沿岸稚魚・幼稚魚追跡調査及び移動経路の解明調査
 - 1) 稚魚沿岸滞泳期における沿岸環境調査及びサケ幼稚魚追跡調査
 - a) 北海道における定点環境観測及び稚魚採捕調査 1 [資源研さけます部門]
 - b) サケ幼稚魚の地理的起源推定 [資源研さけます部門]
 - c) サケ幼稚魚の耳石日周輪解析 [資源研さけます部門]
 - d) 北海道における定点環境観測及び稚魚採捕調査 2 [道総研]
 - e) 東北から北海道太平洋における海洋環境観測及び稚魚採捕調査 [岩手水技セ]
 - f) 東北日本海における環境観測及び稚魚採捕調査と耳石日周輪解析 [山形水研]
 - 2) 数理モデルを用いた大型サケ稚魚の行動様式の検証
 - a) 粒子追跡実験による稚魚の移動経路シミュレーション [資源研資源研究セ]
 - 3) 回帰親魚の標識確認調査
 - a) 北海道(釧路川(雪裡川)、静内川、知内川、余市川) [資源研さけます部門]
 - b) 東北太平洋(織笠川、熊野川) [岩手水技セ]
 - c) 東北日本海(最上川(鮭川、最上小国川、寒河江川)ほか海面) [山形水研]
 - d) 本州日本海(富山県神通川水系) [富山水研]
3. 連絡事項
4. 外部専門家講評
5. その他

第2章 成果の要約

本事業では、さけ・ます人工ふ化放流事業における飼育・放流技術の高度化、特に大型のサケ稚魚を生産・放流する為の技術開発に主眼を置くとともに、その稚魚が北上回遊する過程での生残や環境との関係を解明すべく各種課題を設定し、実施している。本年度得られた成果のうち主要な成果について、以下にその要約を記す。

なお、秋に産卵し翌年の春に降海するサケの生活史の特徴のため、本報告書作成時点ではまだ本年度の試験が始まっていない、あるいは試験中の課題（現在その実験に用いるサケ稚魚を飼育準備中）や、前年度末から本年度前半に掛けて実施した調査・試験の報告を含む。

課題ア 大型種苗等飼育技術及び放流手法技術開発

小課題1) 成長促進効果等を高めるための管理技術の開発ならびに改善

ア-1)-a) 流速管理による健苗生産技術の検討

流速5 cm/秒で飼育する流速強化区と、流速0.5 cm/秒で飼育する対照区の2群について、魚油添加餌を給餌したうえで遊泳力を比較したところ、流速強化区の方が高い持続遊泳力を示した。令和5年度は飼育流速の強化に加え、高エネルギー餌を給餌する大規模飼育試験を行い、その効果を検証中である。

ア-1)-b) シロザケの成長が最大となる環境条件の把握

白・赤・緑・青のLED光および環境光下で稚魚を飼育したところ、短波長光を含む白・緑・青色区において環境光および長波長光の赤色より成長が良い傾向が示された。これらの稚魚を、淡水から直接海水へ移行すると、短波長寄りの緑色と青色で飼育した個体で血漿浸透圧の上昇ピークが長波長を含む白・赤および環境光より早かった。このことから、短波長光での飼育は海水順応への反応性を高める可能性が示唆された。しかし、鰓のNKA活性の測定結果と完全には一致しないことから、今後はNKAアイソフォームの遺伝子発現レベルでの分析が必要となることも考えられる。

ア-1)-c) 大型種苗等育成のための既存管理技術の改善

i) サケ標準給餌率の再検討に関する試験

サケ標準給餌率に対して1割増、2割増で給餌する区を設定し比較することで、放流までにより効果的に大型化に繋がる給餌手法を検討した。飼育水温7.5℃(鶴居)および飼育水温9.0℃(静内)の試験結果から、飼育開始から魚体重0.9gに達する前後までは、現状のサケ標準給餌率を目安として飼育管理を行うことで、稚魚の餌要求に見合った無駄のない給餌ができると考えられた。さらに魚体重0.9g前後以降試験実施範囲では、標準給餌率の2割増しの給餌量を与えることで、稚魚の成長をより促進できると考えられた。飼育水温8.0℃(伊茶仁)については、2回目の試験において、他で実施した結果とは異なり、2割増区が他の2区分と比較して飼料効率が低く、試験終了時の魚体重が有意に小さい結果となった。この原因は明らかではないが、試験終了直前の原虫症の発症が影響した可能性が考えられた。

ただし単年度の結果であり、今後もデータの蓄積が必要であることから、令和5年度についても引き続き、鶴居、伊茶仁、静内事業所で事業規模の試験を継続している。

ii) 給餌開始時の再検討に関する試験

特に、飼育開始が遅く飼育期間が短くならざるを得ない後期採卵群について、従来よりも早期に浮上させ給餌を開始することでより長い飼育期間を確保し、従来よりも大型サイズでの放流が可能となるか検証した。2事業所で実施した結果から、通常よりも早期に浮上させ給餌を開始することで、同一日数の管理期間の中で給餌日数を増やすことができ、結果としてより早期に大型化させることができた。また、浮上時の消化管の基本構造に顕著な差はなく、試験終了時の稚魚の状態にも問題点は見当たらなかったことから、サケ稚魚を早期に大型化する管理手法となりえると考えられた。ただし、早期浮上の手法は、従来基本としてきた手法とは異なるものであることから、今後もデータの蓄積が必要である。そのため、令和5年度についても引き続き、鶴居、八雲事業所で事業規模の試験を継続している。

iii) 降下日数短縮による飼育期間延長に関する試験

飼育期間延長を図ることを目的に、稚魚を下流へ輸送し放流することで河川での降下期間の短縮が可能かどうか検証した。いずれの放流区分においても、放流日から最も近い調査日での採捕数が最大となったことから、遊楽部川において放流された稚魚は、放流場所に関わらず、大部分の稚魚が河川に滞留せず直ちに降下し、河口まで達することが示唆された。

小課題 2) 成長促進効果等を高めるための餌料・餌料添加物の開発と実証

ア-2)-a) ビタミン C 添加等による高温耐性向上効果の検証

ビタミン C 添加餌料を与えた試験区および対照区の 2 群でサケ稚魚を飼育し、2024 年 3 月に放流した。また同様に飼育した群の冷海水での飼育試験では、試験区の成長が良好であった。採卵時期別の表層海水での飼育試験では、後期群の生残率および成長が早期群と比較して良好であった。

ア-2)-b) サケ稚魚の成長・代謝特性の解明と魚油添加の効果検証

水温と摂餌量の異なる条件下で海水移行後のサケ稚魚の成長を調べたところ、飽食条件では 16°C 前後に最適な成長水温があると考えられた。摂餌量が制限されると最適成長水温は低い方にシフトした。最適な放流条件の探索には水温とともに餌生物現存量の評価も必要である。

小課題 3) 海中飼育技術の活用によるサケ種苗の大型化及び実証のための放流

ア-3)-a) 海中飼育によるサケ種苗の大型化にかかる管理技術の開発 1: 北海道

えりも以東海区 (i) では、十勝川で捕獲したサケ親魚から採卵、授精し、更別第 1 ふ化場にて飼育管理した稚魚を「海中飼育通常放流群」として令和 5 年 4 月 12 日に平均体重 1.2 g で、また札内ふ化場にて飼育管理した稚魚を「海中飼育大型群」として令和 5 年 4 月 11 日に平均体重 1.6 g で、それぞれ厚内漁港に設置した海中生け簀へ移送し、海中飼育へ移行した。その後、令和 5 年 5 月 1 日に海中飼育通常放流群 1,040 千尾を平均体重 1.64 g で、また海中飼育大型放流群 1,060 千尾を平均体重 2.09 g でそれぞれ放流した。

北海道日本海区 (ii) では、余市川で捕獲したサケ親魚から採卵、授精し、古平ふ化場で飼育管理した稚魚を分割し、一部を令和 5 年 3 月 14 日に平均魚体重 0.97 g で古平漁港内に設置した海中生け簀へ移送し、海中飼育へ移行、令和 5 年 4 月 4 日に平均魚体重 1.62 g、1,542 千尾を放流した。同じく古平ふ化場で飼育管理した稚魚の残りは「自然放流群」として、同じく令和 5 年 4 月 4 日に平均魚体重 1.15 g、1,598 千尾を放流した。

令和 5 年級についても現在同様の試験を行うべく各ふ化場にて飼育管理を実施中である。

ア-3)-b) 海中飼育によるサケ種苗の大型化にかかる管理技術の開発 2: 本州太平洋

岩手県山田湾に目合を組み合わせた海中生簀を設置し、サケ稚魚が成長により大型化する過程で大目合への切り替えを行う大目網群と、目合を変えずに飼育する通常群の 2 群を飼育した。大目網にすることで、成長促進と特に消化管へのトリグリセリドの蓄積による遊泳力の向上が見られた。消化管のトリグリセリド含有率については、海水移行後に 1 ヶ月程度減少する傾向があり、個体差も大きかったことから、給餌方法に改善の余地があると考えられた。また、飼育密度について、大目網群での音響プロファイラーによる目合切替前後の魚群密度推定結果から、約 8% (3.2 万尾) の稚魚が逃避した推定された。耳石日周輪解析から、大目網群の網目切替により、大型魚ほど逃避した可能性が高く、成長促進は、小型魚の逃避による見かけ上のものではないことが分かった。

令和 4 年度より、魚群の遊泳水深と活動量を計測できる AI 自動給餌機を導入しており、海水生簀移行後の稚魚の TG 含有率低下を緩和し、効率的に、確実に海中飼育を行う方法を検討していきたい。

小課題 4) 放流手法の開発ならびに適正化の効果検証

ア-4)-a) 油脂添加餌料による回帰率向上効果の検証

フィードオイルを添加した餌料を用いて飼育したサケ稚魚（以下油脂群）は、肝臓中のグリコーゲン含量には差はみられなかったが、筋肉中トリグリセリド含量は対照群に比べて有意に高い値を示し、フィードオイルの添加が栄養状態の向上に効果があると考えられた。遊泳力、海水投入後の平均血中グルコース量、飢餓耐性については両群間で有意な差はみられなかった。

ア-4)-b) 北海道根室地区における最適な放流時期の検証

北海道西別川においてサケ稚魚 2 群を時期を変えて放流し、追跡により成長・生残を調べることを目標とし、2022 年級群を放流し、2023 年級群の稚魚は飼育中である。

ア-4)-c) 北海道東部における放流サイズや放流時期等の適正化の検討

北海道釧路川支流に同サイズで放流時期を変えたサケ稚魚 2 群を放流し、追跡により成長・生残を調べることを目標とし、令和 4 年級のサケ稚魚を令和 5 年 4 月上旬、下旬にそれぞれ 2.43 g、2.46 g サイズで放流した。令和 5 年級についても同様に放流するためにサケ稚魚の飼育を実施中である。

ア-4)-d) 東北日本海における放流サイズや放流時期等の適正化の検討

山形県赤川にサイズの異なるサケ稚魚 2 群を放流し、追跡調査により成長・生残を調べることを目標とし、放流用サケ稚魚の飼育を実施中である。

課題イ 沿岸稚魚・幼稚魚追跡調査及び移動経路の解明調査

小課題 1) 稚魚沿岸滞泳期における沿岸環境調査及びサケ幼稚魚追跡調査

イ-1)-a) 北海道における定点環境観測及び稚魚採捕調査 1

水産機構さけます部門が主体となり、北海道各地の沿岸域（厚田沖、昆布森沖、えりも以西およびえりも以東地区の春定置網、昆布森漁港周辺ならびに宗谷港）にてさけ・ます類幼稚魚の分布状況や生息環境を把握する調査を実施した。採集したサケ幼稚魚の耳石標識から、太平洋側各地では北海道太平洋側の河川から放流された個体が、また日本海側の調査地では北海道日本海側の河川から放流された個体がそれぞれ検出された。昆布森沖及びえりも以西の春定置網では本州太平洋側または本州日本海側のふ化場から放流された個体が合計 10 尾確認された。

イ-1)-b) サケ幼稚魚の餌料環境と食性

課題イ-1)-a)で得られた厚田沿岸域および昆布森沿岸域における動物プランクトン試料を用いて、生物量、個体群密度および分類群組成を調べた。両地域とも動物プランクトン生物量および個体数密度は過去と比較して低い傾向にあった。分類群組成は、これまで優占していた体長 2 mm 以下のカイアシ類の占める割合が低く、ベントス浮遊幼生が優占していた。胃内容物指数は、厚田沿岸域において 2016 年以降で最も低かった。一方で、昆布森沿岸域においては、最近 2 年と比較して幾分高い傾向にあった。

イ-1)-c) サケ幼稚魚の地理的起源推定

課題イ-1)-a)およびイ-1)-f)で得られたサケ幼稚魚について、耳石標識ならびに遺伝分析により地理的起源を調べた。耳石標識が確認された 1,828 個体中、1,507 個体がえりも以西地域、186 個体がえりも以東地域、1 個体が根室地域、9 個体が本州太平洋地域、3 個体が本州日本海地域のふ化場を由来としていた。遺伝的系群判別の結果、小型魚（尾叉長 10cm 未満）および大型魚（尾叉長 10cm 以上）の双方において、本州太平洋系および本州日本海系が一定割合推定された。以上の結果から、2023 年は本州太平洋系サケがある程度北海道太平洋沿岸まで到達できていた可能性が示唆された。

イ-1)-d) サケ幼稚魚の耳石日周輪解析

日本海側の厚田沿岸域で 2022 年に採集されたサケ幼稚魚の耳石日周輪解析結果から得られた成長速度を従属変数とする一般化加法モデルを検討した。推定した成長速度の予測値を用いて、サケ幼稚魚が離岸する 5 月下旬までに北上回遊に適した FL 70 mm 以上

に成長することを可能とする放流サイズと時期の「ウインドウ」を示した。

北海道太平洋沿岸では降海後東西の海域に移動した個体の降海履歴や成長速度を求め、両方で比較した。結果、西側採捕群は総じて東側採捕群よりも早く降海する傾向にあった一方で、成長は東側採捕群の方が速く偏った。

イ-1)-e) 北海道における定点環境観測及び稚魚採捕調査 2

道総研さけます内水試が主体となり、北海道各地の沿岸域（津軽海峡の北海道沿岸、根室半島沿岸、根室湾、歯舞沿岸）にてさけ・ます類幼稚魚の分布状況や生息環境を把握する調査を実施した。2022年級群については津軽海峡沿岸では3月中旬、根室では5月上旬に、歯舞は6月中旬までに適水温の8℃に達した。4月下旬と5月中旬に放流した標識魚がそれぞれ13尾と4尾、根室南部地区で5月下旬まで再捕された。

イ-1)-f) 東北から北海道太平洋における海洋環境観測及び稚魚採捕調査

岩手県沿岸及び北海道太平洋沿岸において、岩手県所属の漁業指導調査船を用いて海洋観測と稚魚の採捕調査を行った。岩手県沿岸調査（4月下旬及び5月下旬）では稚魚を採捕できなかったが、北海道調査（6月下旬）では146尾の稚魚を採捕し、耳石温度標識を確認したところ、北海道由来の稚魚26尾と岩手県由来の稚魚1尾を採捕した。

イ-1)-g) 東北日本海における環境観測及び稚魚採捕調査と耳石日周輪解析

秋田・山形両県沿岸にて表層トロールにより採集したサケ稚魚の耳石標識を分析した結果、秋田県の川袋川、本県の月光川と赤川、新潟県の三面川、富山県の神通川及び黒部川の6水系起源の標識魚計924尾を確認した。沿岸観測の結果、動物プランクトンの分布密度は少ない状況であった。耳石日周輪分析の結果、2022年春の成長速度は低く、動物プランクトン分布密度の低さが成長に影響したものと推察された。

小課題2) 数理モデルを用いた大型サケ稚魚の行動様式の検証

イ-2)-a) 粒子追跡実験による稚魚の移動経路シミュレーション

高解像度海洋循環モデル再解析値を用いて、2019年～2021年の3～7月にかけて石狩川河口付近から毎日粒子を投入する粒子追跡実験を実施した。石狩湾から投入した粒子は、3年共に良好な水温を経験し、オホーツク海への到達率も高いことが示された。2019年の実験結果は、2022年千歳川の回帰量の増加の要因である可能性を示す。しかし、稚魚時に2020年を経験したサケの回帰量は2019年の回帰量よりかなり少なかった。2020年のオホーツク海までの粒子の移動経路は、2019年より沖合へ広がった。これが2023年の回帰量の減少要因になったのかもしれない。太平洋沿岸域におけるより現実的なサケ稚魚の経路を推定するために、NEMURO+とサケ稚魚生物エネルギーモデルを粒子追跡モデルに結合し、2012年を例にシミュレーションを行った。粒子の移動は受動的移動と能動的移動（自泳）を採用した。観測から、太平洋沿岸におけるサケ稚魚は放流域から東西に分布し、同一起源のサケ稚魚でも再捕時の尾又長にばらつきがみられた。本モデルによる粒子の時空間分布及び再捕地点の尾又長の構成は、観測結果と似ていた。モデルでは、サケ稚魚の成長率は自泳している時より受動的移動の時の方が大きい。そのため放流から再捕されるまでの時間や移動過程の違いによって、同起源サケ稚魚でも再捕時の尾又長に違いが生じることがわかった。

小課題3) 回帰親魚の標識確認調査

本小課題については、過去に実施された先行事業で実施された多岐にわたる各種試験放流の結果に関連しており、かつその量も膨大であることから、ここでは一部を除き実施内容のみを記載し、結果については記載しない。詳細については本文をご覧ください。

イ-3)-a) 北海道（釧路川（雪裡川）、静内川、知内川、余市川）

先行事業で放流されたサケの回帰率を算出すべく、北海道内4河川に溯上した親魚から鱗及び耳石を採取して年齢及び耳石標識パターンを把握し、試験群毎の回帰率を算出した。併せて、釧路川と静内川の2013年級から2017年級のデータを使用し、応答変数

Y を 5 歳時までの推定河川捕獲数、説明変数 X として年級（連続変数）、放流サイズ、放流月日の 3 つを選び、一般化加法モデルを構築することで、両河川での放流条件の検討を実施した。結果、放流時期が 4 月後半になるにつれて 5 歳時までの推定河川捕獲数が増加し、5 月初頭を過ぎると減少していく傾向が両河川でみられた。

イ-3)-b) 東北太平洋（織笠川、熊野川）

先行事業で放流されたサケの回帰率を算出すべく、岩手県内 2 河川に溯上した親魚から鱗及び耳石を採取して年齢及び耳石標識パターンを把握し、試験群毎の回帰率を算出した。

イ-3)-c) 東北日本海（最上川（鮭川、最上小国川、寒河江川）ほか海面）

先行事業で最上川に放流されたサケの回帰率を算出すべく、山形県沿岸ならびに最上川水系 3 河川で採捕した親魚から鱗及び耳石を採取した。2022 年回帰群については、最上川起源の標識魚 3 尾の他、月光川起源の標識魚 8 尾等確認した。2023 年回帰群については、今後、採捕魚の年齢及び耳石標識パターンの解析ならびに回帰状況についての検討を行う。

イ-3)-d) 本州日本海（富山県神通川水系）

先行事業で神通川水系河川に埋設放流したサクラマス¹の状況を検証すべく、回帰親魚の耳石を解析した。2019 年の埋設群については、採捕した親魚からは標識魚が確認されなかった。2020 年埋設群については親魚が 76 個体回収されており、今後その耳石を解析する。

報告書とりまとめ担当：

本田聡（水産研究・教育機構水産資源研究所さけます部門資源生態部）