

salmon情報 No.17

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 水産研究・教育機構 公開日: 2024-07-02 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2009555

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

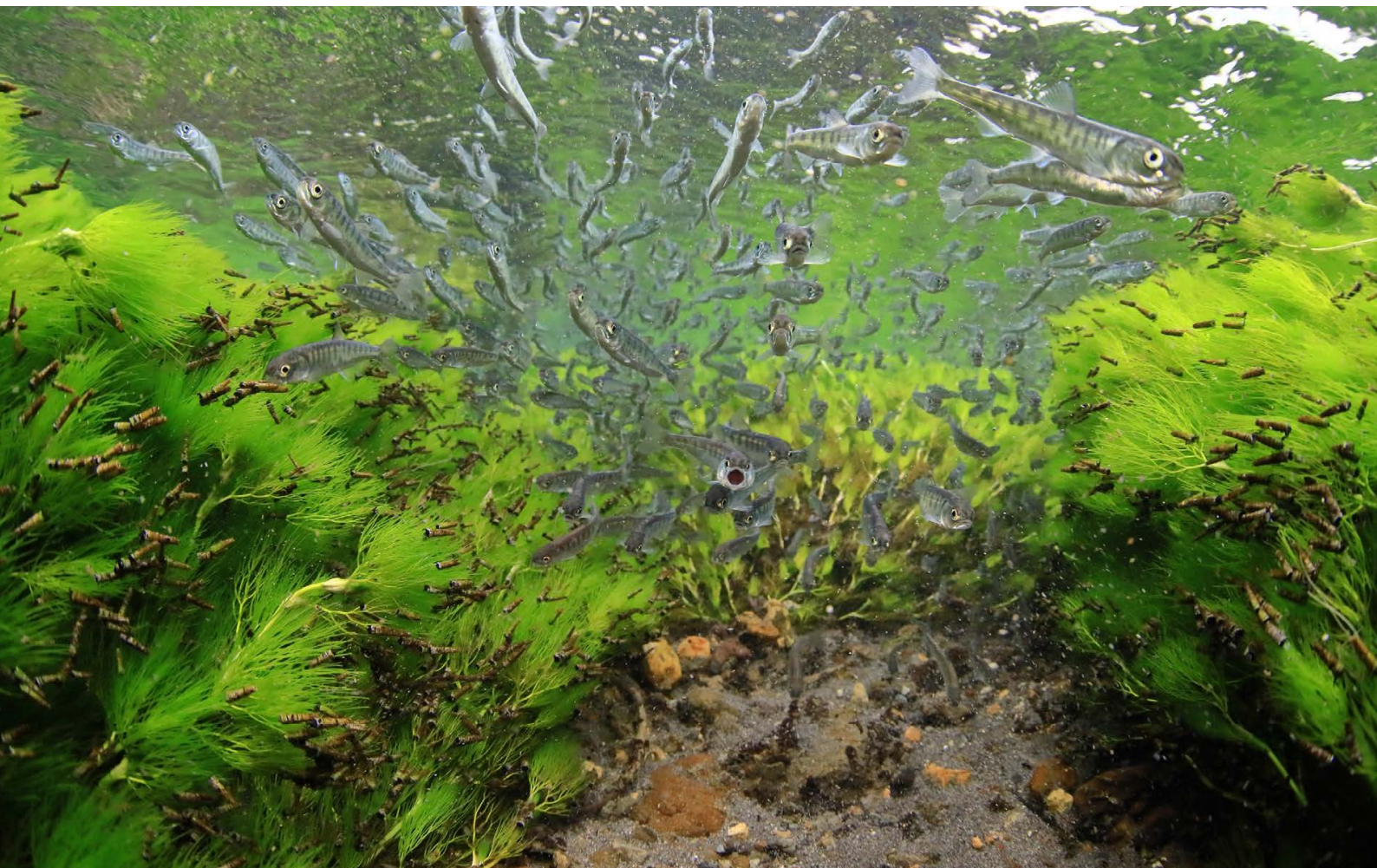


SALMON 情報

第 17 号

2023 年 3 月

- サケ放流手法の最適化を目指して
- ふ化放流の効果を高めるためには野生魚の保全が重要だった
- カラフトマスの採卵時期及び育成条件の見直しによる放流時期の適正化
- 岩手県における吸水前消毒によるサケの冷水病防除に関する取り組み
- 海鳥ウトウによるサケ幼稚魚の捕食
- 本州日本海由来サケ稚魚の移動経路
- さけの遡^かる川-3 石狩川（北海道）
ほか



編集 水産資源研究所さけます部門



国立研究開発法人
水産研究・教育機構

目次

研究成果情報

- サケ放流手法の最適化を目指して…………… 斎藤寿彦 3
- ふ化放流の効果を高めるためには野生魚の保全が重要だった：
- 野生魚は放流稚魚の回帰率を改善する…………… 佐橋玄記 9

技術情報

- カラフトマスの採卵時期及び育成条件の見直しによる放流時期の適正化
…………… 羽賀正人・増川則雄 13
- 岩手県における吸水前消毒によるサケの冷水病防除に関する取り組み
…………… 小林俊将・高橋憲明 17

会議報告

- さけます関係研究開発推進会議…………… 本田 聡・佐藤俊平 21
- さけます報告会…………… 高橋昌也 24

トピックス

- 海鳥ウトウによるサケ幼稚魚の捕食…………… 大門純平 27
- 本州日本海由来サケ稚魚の移動経路
～山形県から放流されたサケ稚魚を宗谷海峡で初確認～…………… 今井謙吾 30

さけます情報

- さけの遡^{かえ}上る川-3 石狩川（北海道）…………… 有賀 望 32
- 北太平洋と日本におけるさけます類の資源と増殖…………… 外山義典 35

コラム

- サケと「SDGs」～これまでの貢献とこれからの課題～…………… 藤井徹生 37

mini column

サケの放流が行われている河川では、放流したふ化場の下流でサケ稚魚が群れをなす様子を見ることができます。

北海道東部を流れる西別川の源流は、摩周湖の水が地下に浸透して湧き出たものと言われており、付近には2つのふ化場が存在しているほか、良好な水質の指標とされるバイカモが繁茂し、サケ稚魚の餌となる水生昆虫も多く生息しています。2つのふ化場から放流されたサケ稚魚は、暫しの間バイカモの間で元気に泳いだ後、約80km下流の河口をめざして川を下り始めます。



（撮影：大本謙一氏）

研究成果情報

サケ放流手法の最適化を目指して

さいとう としひこ
斎藤 寿彦（水産資源研究所さけます部門 資源生態部）

はじめに

毎年春になると、サケ (*Oncorhynchus keta*) の稚魚を放流するニュースが北日本各地から届きます。サケの放流は、北日本に住む私たちにとって、すっかり春の風物詩のひとつになっていると言えます。日本で初めてさけます類の人工ふ化放流が行われたのは今から約 150 年前の 1876 年、茨城県の那珂川でのことでした。那珂川に続き、北海道でも人工ふ化放流が開始されましたが、漁業資源の維持培養を目的としたふ化放流は、1888 年に石狩川支流の千歳川上流に「千歳中央孵化場」が開設された時に始まったと言われています（小林 2009）。それ以降、130 年を超えるふ化放流の歴史の中で、ふ化放流技術は試行錯誤を繰り返しながらも発展し、近年の高い資源水準を支えるまでになりました（野川 2010）。ところが、ここ最近ではサケの不漁が毎年のように続いています。特に 2016 年以降の漁獲低迷は著しく、ふ化場で採卵に使う親魚も不足してしまい、北日本各地で放流数が計画数を大きく下回る年も見られるようになっています（外山 2022）。ただ、不漁が続いているとは言うものの、日本のサケの漁獲はふ化放流で造成された資源に大きく依存しています。そのため、今後もふ化放流を継続するとともに、“より回帰の期待できる放流”を実践することが喫緊の課題のひとつになっています（不漁問題に関する検討会 2021）。サケのふ化放流事業では、「適期・適サイズ放流」という放流方法が提唱されており（野川 1992）、この放流方法は民間ふ化場を含めた増殖現場で広く知られています。今回、沿岸域で再捕された耳石温度標識サケ幼稚魚の降海・成長履歴から既存の「適期・適サイズ放流モデル」を改変し、ふ化放流現場の放流を評価する方法を検討しました。本稿では、“より回帰の期待できる放流”の開発に向けたアイディアのひとつとして、Saito (2022)の概要を紹介したいと思います。

適期・適サイズ放流モデル

適期・適サイズ放流の考え方が導き出された背景は、関 (2013) に詳しく記載されています。ここではその背景を詳しく述べることはしませんが、適期・適サイズ放流の考え方は、サケ幼稚魚の発生学的知見や、沿岸域におけるサケ幼稚魚の調査で明らかになった生態学的知見に基づいて生み出

されました。図 1 に適期・適サイズ放流モデルを示します。横軸は放流時期の目安となる沿岸域の表面海水温を示します。サケ稚魚は水温が 5℃ 以上になると摂餌行動が活発になること、サケ稚魚の降海盛期の水温が 5～8℃ であることから、放流の開始時期は沿岸域の表面海水温が 5℃ 以上の時期とされています。一方、沿岸表面海水温が 13℃ 以上になるとほとんどサケ幼稚魚の分布が認められなくなることが知られています。そのため、日本沿岸域におけるサケ幼稚魚の沿岸滞泳期間は表面海水温が 5～13℃ の時期とされています。図 1 の縦軸はサケ幼稚魚のサイズ（尾叉長）を示します。帰山 (1986) によれば、サケは尾叉長 50 mm に達すると稚魚期から前期幼魚期と呼ばれる発育段階に移ります。この時期になると鱗が形成され硬骨形成が始まり、汽水域や海浜域に分布を広げて海洋生活を始めます。また、多くのサケ稚魚は河川ではほとんど成長することなく降海行動を示すことが知られています。そのため、放流サイズは海洋での生活に適した尾叉長 50 mm 以上が望ましいと考えられています。一方、尾叉長 80 mm に成長した幼魚は尾骨の骨化が完了し、摂餌と遊泳に関する機能が著しく発達するとともに、大型の動物プランクトンなどを採って広域探索型の摂餌行動をとるようになります。そして、この

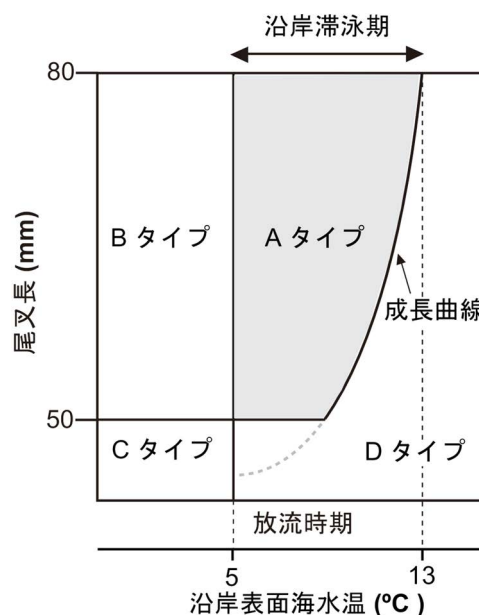


図 1. 既存の適期・適サイズ放流モデル
放流時期と放流サイズの組み合わせにより、放流は A～D の 4 タイプにカテゴリー分けが可能であり、A タイプの放流が望ましいとされる（Saito 2022 の Figure 1 を改変）。

採餌行動の結果、海浜域を離れて活発に日本沿岸域を移動するようになります。ここで思い出して欲しいのは、“日本沿岸域では表面海水温が 13℃ 以上になると、ほとんどサケ幼稚魚の分布が認められなくなる”という事実です。つまり、沿岸域の表面海水温が 13℃ に到達するまでに、サケ幼魚は沿岸域の移動に適した尾叉長 80 mm 以上に成長する必要があります。そこで、表面海水温が 13℃ の時に尾叉長 80 mm に到達可能な、沿岸域でのサケ幼稚魚の成長曲線が図 1 には加えられています。これまで日本沿岸各地で実施されたサケ幼稚魚の標識放流と再捕の知見から、沿岸域での平均的なサケ幼稚魚の瞬間成長係数は 0.01/日と見積もられており、図 1 の成長曲線にもこの値が採用されています。ここで、瞬間成長係数とは単位時間当たりの尾叉長の増加率のことで、0.01/日に 100 をかけてパーセントに換算すると、1 日当たり 1% 尾叉長が増えることを意味します。

このような考え方に基づいて導き出された適期・適サイズ放流モデル（図 1）ですが、放流時期と体サイズの関係から、放流パターンを A から D の 4 タイプに分類することが可能です（水産庁さけ・ます資源管理センター 1998）。まず A タイプは、“放流に適した体サイズで、沿岸滞泳期間内に放流され、同滞泳期間内に沿岸域の移動に適した体サイズに成長できるもの”を表します。また、B タイプは“放流に適した体サイズで、沿岸滞泳期間以前に放流されたもの”、C タイプは“放流に適した体サイズ以下で、沿岸滞泳期間以前に放流されたもの”、そして D タイプは“A～C タイプ以外のもの”をそれぞれ意味します。このように適期・適サイズ放流モデルは、これまでの知見を上手に模式化したわかり易い概念であると同時に、放流のパターン分けができるようになったことで放流の適・不適を判断するモノサシとして利用することが可能になりました。

適期・適サイズ放流モデルの問題

ところが、この適期・適サイズ放流モデルを実際のふ化場からの放流に当てはめようとする、様々な問題に直面します。例えば、サケ幼稚魚は降海した母川周辺の海域から日本沿岸の陸地沿いの海域を長距離移動することが知られています（入江 1990）。放流時期の目安となる沿岸表面海水温ですが、一体どの海域の水温を参照するのが良いのでしょうか。また、本州などでは、そもそもサケ幼稚魚の放流時期の表面海水温の下限が 5℃ 以上ある地域も珍しくはありません。さらに、沿岸域を活発に移動し始める時の尾叉長は 80 mm とされていますが、石狩湾などでは尾叉長 70 mm ほどで湾を離れて北上回遊し始めるとされており（真

山ら 1982）、沖合を目指して移動し始める体サイズとして尾叉長 80 mm を絶対視する必要はないのかもしれません。成長曲線に用いる瞬間成長係数は 0.01/日に固定されていますが、成長ですから年や海域によって変動するのが普通であり、瞬間成長係数そのものが変化すると考えるのが妥当でしょう。また放流のタイプ分けが可能になったことは事実ですが、適期・適サイズ放流モデルを使った放流の評価は野川（1992）や過去の冊子版サーモンデータベースに散見されるのみであり、これまで積極的に放流の適・不適を評価する目的で当該モデルが利用されることは多くありませんでした。加えて、これら放流の評価が実際の回帰と関連したのかしなかったのかについて検討した事例はほとんど存在しません。このように、適期・適サイズ放流モデルを実際のふ化場の放流に応用し利用していくためには、様々な検討やふ化場ごとのアレンジが必要になります。

十勝川サケ 11 月採卵群の降海・成長履歴

この研究では、十勝川サケの 11 月採卵群 2004～2014 年級群を対象に、適期・適サイズ放流モデルの改変を検討しました。これらの年級には当該採卵群を特定可能な耳石温度標識がつけられており、沿岸域の幼稚魚では耳石を、河川に回帰した親魚では耳石と鱗の年齢を調べることにより、どの年級群の 11 月採卵群なのかを特定することが可能です。毎年、約 300 万～561 万尾の 11 月採卵群由来の幼稚魚（平均: 334 万尾/年）が水産資源研究所の十勝さけます事業所から放流されました。ただし、2010～2012 年級については、11 月採卵群を特定できる耳石温度標識がつけられていなかったため（他の月の採卵群と同一の耳石温度標識だった）、後述する幼稚魚の降海・成長履歴の推定や回帰親魚の河川回帰率の推定を行うことができませんでした。

水産資源研究所さけます部門では、1997 年から道東釧路町昆布森の沿岸域でサケ幼稚魚の採集調査を長年続けてきました。この海域は、日本系サケ幼稚魚がオホーツク海を目指して通過する回遊経路になっており、北海道から本州の太平洋沿岸の河川から放流されたサケ幼稚魚を中心に、毎年、様々な地域由来の耳石温度標識魚が再捕されています（Honda et al. 2017; 本多 2019）。この昆布森の幼稚魚採集調査において、2004 年級群、2006～2009 年級群および 2014 年級群の十勝川サケ 11 月採卵群の標識魚が合計 79 尾再捕されました。また、標識放流はあったものの、2005 年級群と 2013 年級群の標識魚は昆布森沿岸域では採集されませんでした。これら昆布森で再捕された 79 尾の耳石温度標識魚のうち、63 尾について耳石日

周輪解析を行い、個体ごとの降海月日、降海時の尾叉長、降海から昆布森で再捕されるまでの瞬間成長係数および沿岸滞泳期間を既往の方法で推定しました (Saito et al. 2007, 2009; Honda et al. 2017, 2019)。昆布森で再捕された時の標識魚の平均尾叉長±標準偏差 (以下, SD) は 79.8 ± 5.6 mm でした。これらの標識魚は 5 月 17 日から 6 月 13 日に降海したと推定され、降海時の平均尾叉長±SD は 58.8 ± 5.6 mm と計算されました。降海してから再捕されるまでの瞬間成長係数の平均値±SD は、 $(9.60 \pm 2.22) \times 10^{-3}$ /日と推定され、平均の沿岸滞泳期間は 32 日 (範囲: 15-50 日) でした。つまり、十勝川サケ 11 月採卵群の幼稚魚は、平均尾叉長 58.8 mm で川から海へ出て、沿岸域で 32 日間過ごす間に瞬間成長係数 9.60×10^{-3} /日で成長し、昆布森に到達した時には平均尾叉長 79.8 mm に達していたと解釈することができます。また、これらの測定値 (推定値) のうち、再捕時の尾叉長、降海時の尾叉長および瞬間成長係数のヒストグラムは、各々の平均値付近の値を示す個体数が最も多く、平均値から大小両方向に遠ざかるにつれて個体数が減少し、結果的に平均値を中心に左右対称の個体数分布を呈する、いわゆる正規分布を示していました。このことは、それぞれの平均値を有したような個体が昆布森沿岸域で最も出現しやすい (最も再捕されやすい) ということを示しています。

降海日・再捕日の表面水温

標識魚の降海月日が推定できたので、次に降海した時の沿岸表面水温を調べることにしました。使った表面海水温データは、気象庁が公表している MGDSST という全球 0.25° メッシュごとの日別表面海水温であり、降海時の表面海水温として十勝川河口に最も近い 0.25° メッシュの値を参照しました。ただし、推定された降海月日のうち 19 尾については降海月日が実際の放流月日より早く推定されてしまい (平均: -3.6 日, 範囲: -1~-11 日)、降海月日には推定誤差が含まれる可能性が考えられました。平均で降海月日が約 -4 日ズレている可能性があるということは、+4 日ズレている可能性もあり得ると考え、耳石日周輪解析で推定された降海月日に相当する表面海水温のほか、降海月日前後 4 日の表面海水温を考慮し、計 9 日間の表面海水温の平均値をその個体の降海時の表面海水温としました。同じような方法で、昆布森沿岸域で標識魚が再捕された月日の表面海水温も MGDSST から取得しました。降海月日と違い、標識魚の再捕月日 (すなわち調査月日) は推定値ではなく観測値なので、当該月日の調査海域を含む 0.25° メッシュの表面海水温をそのまま再捕時の表

面海水温として使用しました。得られた降海時の表面海水温と再捕時の表面海水温は、先ほどの再捕時の尾叉長などと違い、どちらも正規分布を示していませんでした。そこでデータを小さいほうから順番に並べて、下位 25% と上位 25% に相当する個体のデータを除いた 25-75 パーセンタイルの水温範囲を求めました。その結果、降海時の表面海水温の 25-75 パーセンタイルは $6.7-8.7^\circ\text{C}$ 、再捕時の表面海水温の 25-75 パーセンタイルは $11.0-12.8^\circ\text{C}$ となりました。すなわち、供試魚のうち半数 (50%) の個体は、降海時に十勝川河口付近で $6.7-8.7^\circ\text{C}$ の海水温を、昆布森沿岸域での再捕時には $11.0-12.8^\circ\text{C}$ の海水温をそれぞれ経験していたことになります。以降の分析では、これら表面海水温の 25-75 パーセンタイルを水温ウィンドウと捉えて、降海時の表面海水温 $6.7-8.7^\circ\text{C}$ を WSSSTse、再捕時の表面海水温 $11.0-12.8^\circ\text{C}$ を WSSSTca とそれぞれ呼ぶことにします。

適期・適サイズ放流モデルの改変

ここからは前章で明らかにした十勝川サケ 11 月採卵群の降海・成長履歴を利用して、当該採卵群由来の幼稚魚が昆布森沿岸域に到達するための適期・適サイズ放流モデルを考えていきます (図 2)。

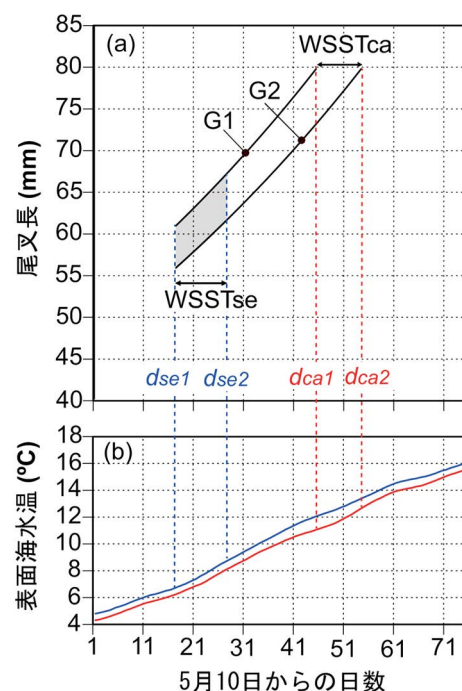


図 2. (a) 十勝川サケ 11 月採卵群を対象とした適期・適サイズ放流モデルの改変および (b) 幼稚魚の降海時期および道東昆布森沿岸域への到達時期の指標として用いた十勝川河口近傍の平均表面海水温 (青) と昆布森沿岸域の平均表面海水温 (赤) (2005~2015 年)
WSSSTse: 幼稚魚が降海する時の水温帯 $6.7-8.7^\circ\text{C}$, WSSSTca: 昆布森沿岸域に到達する時の水温帯 $11.0-12.8^\circ\text{C}$, dse1 および dse2: WSSSTse のそれぞれ初日および終日, dca1 および dca2: WSSSTca のそれぞれ初日および終日, G1 および G2: 成長曲線, グレー部分: “適期・適サイズエリア” (Saito 2022 の Figure 5 を改変)。

まず、昆布森沿岸域に到達するサケ幼稚魚は、当該海域の表面海水温が WSSTca (11.0-12.8°C) の期間に尾叉長 79.8 mm になっていると想定します。幼稚魚は、降海してから昆布森海域に到達するまでの間、瞬間成長係数 9.60×10^{-3} /日 で成長するものとし、昆布森海域の表面海水温が WSSTca の始点となる 11.0°C になった月日 (図 2: dca1) と尾叉長 79.8 mm の交点と、同海域の表面海水温が WSSTca の終点となる 12.8°C に到達した月日 (図 2: dca2) と尾叉長 79.8 mm の交点から、それぞれ瞬間成長係数 9.60×10^{-3} /日の成長曲線 G1 および G2 を描き下ろします。一方、十勝川河口付近に眼を移すと、幼稚魚は表面海水温が WSSTse (6.7-8.7°C) の期間に十勝川から海へ移動すると考えます。すると、先ほど描き下ろした 2 つの成長曲線と、WSSTse の期間 (図 2: dse1 および dse2) で囲まれた領域、すなわち図 2 のグレー部分、を特定することが出来ます。この図 2 に示したグレーの部分こそ、十勝川サケ 11 月採卵群の幼稚魚が、昆布森の沿岸水温が WSSTca の期間に尾叉長 79.8 mm で到達するための降海サイズと降海時期の範囲を示しており、以後、“適期・適サイズエリア”と呼ぶことにします。降海サイズというふ化場から放流された後の話になるので、「人為的に制御できるのだろうか？」と思われる読者もいるかもしれませんが。一般に、河川内でサケ幼稚魚はほとんど成長せず、放流盛期の魚は速やかに降海することが知られているため、ふ化場からの放流サイズをコントロールすることで降海サイズの制御は可能と考えられます。事実、本研究で扱った年級群のうち 2008 年級群の放流サイズは尾叉長 63-64 mm と最も大きかったのですが、耳石日周輪から推定された降海サイズも平均尾叉長 $\pm$ SD が 63.2 ± 4.6 mm と、他の年級群の降海サイズに比べて最も大きい結果になっていました。

改変した適期・適サイズ放流モデルの利活用

前章で紹介した適期・適サイズ放流モデルの改変方法をベースに、2004~2014 年級が降海した 2005~2015 年の表面海水温 (MGDSST) から各年の WSSTse と WSSTca の期間を求めて、年級群ごとの“適期・適サイズエリア”をグラフ化してみました (図 3)。本当ならば各年級群の瞬間成長係数の推定値を使いたかったのですが、昆布森沿岸域で再捕され耳石日周輪解析に使用できた供試魚の数が元々多くなく、年級群ごとに分離してしまうとわずかな数個体の瞬間成長係数で年級群の成長を代表せざるを得なくなってしまうたり、再捕のない年級群では瞬間成長係数そのものが推定できなくなってしまうことから、今回は瞬間成長係数の平均値である 9.60×10^{-3} /日を使うこと

にしました。前述したように今回推定された瞬間成長係数自体は正規分布を示していたことから、昆布森沿岸域に到達した個体が示した平均的な瞬間成長係数を使うことは、年級群ごとの値を使用することが困難な今回のケースでは妥当であると考えました。各年の表面海水温の変動を反映した結果、得られた“適期・適サイズエリア”は年級群ごとに形状や大きさがかなり違っていました。特に、2013 年級群の“適期・適サイズエリア”は面積が小さい上に降海サイズも尾叉長 65 mm 以上になっており、昆布森海域に到達するための条件が他の年級群に比べてかなり厳しかったことが窺えました。実際の 2013 年級群の放流サイズは尾叉長 56-57 mm であったことから、降海時に尾叉長 65 mm 以上に達するという条件はクリアするのが極めて難しい状況だったと言えるでしょう。このような背景を反映してか、2013 年級群の十勝川サケ 11 月採卵群は昆布森沿岸域で全く再捕されませんでした。もしかしたら沿岸域の生息環境が厳しく、2013 年級群の幼稚魚は昆布森海域に到達する前に十分なサイズまで成長することができず、その結果大きく減耗してしまったのかもしれない。

もし複数年級群の“適期・適サイズエリア”に重複部分が認められるならば、その重複部分を目指して放流することでサケ幼稚魚が昆布森海域に到達する確率を高めると同時に、その確率の年変動を小さくすることが出来るかもしれません。このような放流時期と放流サイズの“ターゲット放流”が実現できれば理想なのですが、図 3 の“適期・適サイズエリア”を見る限り、多くの年級群に共通した“適期・適サイズエリア”の重複部分を見出すのは難しそうです。そのような意味では、昆布森海域に到達可能な放流時期と放流サイズというのは年々の海洋環境の変化を反映した移動標的 (moving target) であると言えます。放流時期と放流サイズは移動標的であるが故に、放流前にそれを的確に予測することは困難です。そのため海外のふ化放流では、生残りに適した時期と思われる天然魚が降海する期間に、放流タイミングや放流場所を色々とずらして放流するスタッグリング放流 (staggering release ; stagger とは、“よろめかせる”、“時間などをずらす”といった意味) が推奨されることもあるようです (例えば、Irvine et al. 2013)。複数年に共通した放流時期と放流サイズを追求する“ターゲット放流”と放流タイミングなどをずらす“スタッグリング放流”のいずれが優れているのかここでは議論しませんが、本研究で示したような方法で“適期・適サイズエリア”を可視化することは、今後の放流時期と放流サイズの改善を目指す上でも有用かもしれません。

適期・適サイズエリアの特性と河川回帰率の関係

図 3 に示したような各年級群の“適期・適サイズ”の形状の違いは、それぞれの年級群の親魚としての回帰数の多寡に係るのでしょうか。このことを検討するため、“適期・適サイズエリア”の面積や重心などといった様々な特性を抽出し、河川回帰率（同一年級群のうち 2～5 年魚として十勝川に回帰した 11 月採卵群由来の親魚数を当該年級群の 11 月採卵群の放流数で割った値のパーセント）との関係を検討しました。その結果、検討した“適期・適サイズエリア”の特性の多くは河川回帰率と統計学的な関連が認められなかったのですが、各年級群の WSS Tse と WSS Tca にそれぞれ対応する月日の間隔（日数；dca1-dse2）と河川回帰率との間に統計学的に有意な正の相関が認められました（図 4：スピアマンの順位相関、 $\rho = 0.79$, $p < 0.05$ ）。上述のように WSS Tse は十勝川河口付近における表面海水温 $6.7\text{--}8.7^{\circ}\text{C}$ の範囲、WSS Tca は昆布森沿岸域における表面海水温 $11.0\text{--}12.8^{\circ}\text{C}$ の範囲でした。両者に対応する月日の間隔ということは、十勝川河口付近の表面海水温が WSS Tse の上限 8.7°C に達してから昆布森沿岸域の表面海水温が WSS Tca の下限 11.0°C になるまでの日数のことを意味しており、それが短い（長い）と親魚の河川回帰率が低い（高い）関係にあることを図 4 は意味しています。十勝川付近の表面海水温が 8.7°C になってから昆布森海域の表面海水温が 11.0°C になるまでの日数が短いということは、沿岸海水温の昇温が早いことと同義です。昨今の北海道から本州にかけての太平洋沿岸でサケの不漁を引き起こした 2012-2013 年級群について、降海年の沿岸表面海水温が春先の平年より冷たい状態から初夏に向かうに連れて平年よりも高い状態へと昇温し、そのような急激な沿岸水温の変化が幼稚魚の大量減耗を引き起こし、結果的に回帰親魚の数に影響した可能性が指摘されています（斎藤・福若 2018）。本研究でも 2013 年級群の河川回帰率の低さが沿岸水温の昇温の早さと関連するという関係が得られ（図 4）、先の研究の指摘を支持する結果となっています。

おわりに

我が国のサケのふ化放流現場で長年にわたり知られてきた適期・適サイズ放流モデルは、これまでふ化放流事業に携わってきた先人の技術者や研究者が積み上げてきた知見を形にしたものでした。長引くサケの不漁から脱却するため、“より回帰の期待できる放流”の実践を目指して、現行のふ化放流方法をバージョンアップしていくことがふ

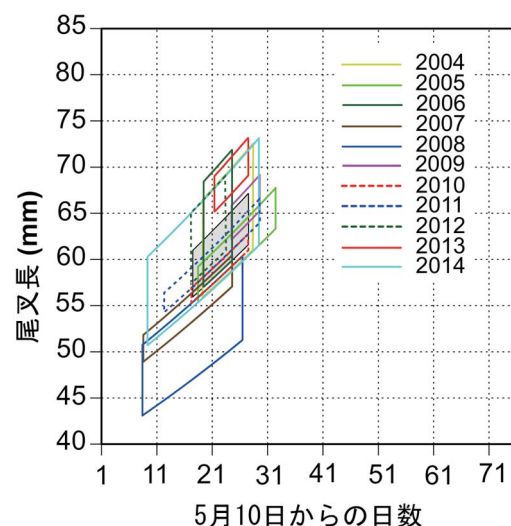


図 3. 十勝川サケ 11 月採卵群の 2004～2014 年級群が経験した 2005～2015 年の表面海水温に基づく作成した年級群別“適期・適サイズエリア”
グレイのエリア：図 2 (a) に示した 2005～2015 年の平均表面海水温に基づく“適期・適サイズエリア”。2010～2012 年級群は耳石温度標識放流が実施されなかったことから破線でエリアを示した（Saito 2022 の Figure 6 を改変）。

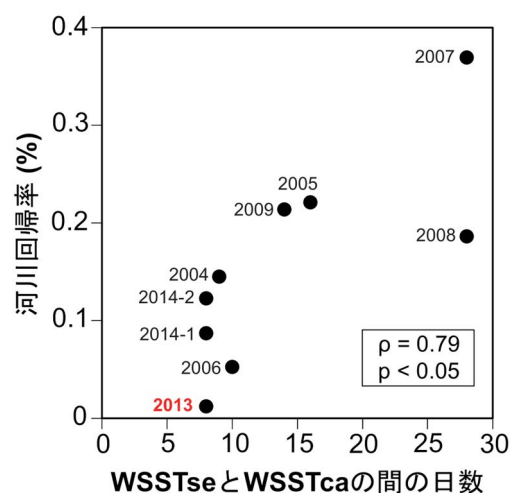


図 4. 十勝川サケ 11 月採卵群が幼稚魚時代に経験した、十勝川河口近傍の WSS Tse の期間と昆布森沿岸域の WSS Tca の期間の間の日数と、年級群別河川回帰率の関係
2014 年級群については耳石温度標識パターン異なる 2 群を 2014-1 および 2014-2 で表した（Saito 2022 の Figure 7 を改変）。

化放流の現場には期待されています。先人たちの時代と違い、現在のふ化放流事業に携わる私たちには“耳石温度標識”という放流種苗の大量標識技術があります。現在、水産資源研究所のふ化場だけでなく、北日本各地の民間ふ化場でも水産庁の各種事業等を通じて耳石温度標識魚の放流が実施されています。これら標識魚の放流と回帰のデータが蓄積されていけば、将来的には地域あるい

は河川ごとにふ化放流方法の改善が検討できるようになるものと期待されます。確かに、現在のサケの不漁には海洋環境等の変化が大きく影響しているものと思いますが、そのような条件下であっても“より回帰の期待できる放流”を目指すことは可能だと考えます。事実、耳石温度標識放流の歴史の長い水産資源研究所のサケについて標識魚の放流履歴と河川回帰の関係を検討すると、ほぼ全ての河川で放流手法（放流時期や放流サイズ）と河川回帰の間に関連が認められます（斎藤 未発表）。つまり、増減の幅はさておき、ふ化放流のやり方を見直すことで将来戻ってくるサケ資源を増やすことも減らすことも可能です。今回の研究では、十勝川サケ 11 月採卵群をテストベットの（試験用プラットフォーム）として用いましたが、適期・適サイズ放流モデルを改変した考え方自体は他の河川の耳石温度標識魚にも応用可能です。今後、北日本各地のふ化場で放流手法の改良を検討する際、本稿で示したような方法論もあることを思い出していただければ著者として嬉しい限りです。

最後になりますが、本研究では長年水産資源研究所がモニタリング調査として実施してきた昆布森沿岸調査や十勝川における回帰親魚のモニタリング調査で得られたデータを使用しました。これらのモニタリング調査は、地元の昆布森漁業協同組合や十勝釧路管内さけ・ます増殖事業協会の皆様のご協力により実施されています。この場を借りて長年の調査へのご協力に感謝申し上げます。また、昆布森沿岸調査の一部は水産庁委託事業である「太平洋サケ資源回復調査事業」として実施された調査を含んでいます。

引用文献

- 不漁問題に関する検討会. 2021. 不漁問題に関する検討会とりまとめ ～中長期的なリスクに対して漁業を持続するための今後の施策の方向性について～. 水産庁, 東京. URL : https://www.jfa.maff.go.jp/j/study/attach/pdf/furyou_kenntokai-19.pdf (参照 2022-10-24) .
- 本多健太郎. 2019. 成長が速いサケ幼稚魚は生き残りやすい. SALMON 情報, 13: 20-22.
- Honda, K., Kawakami, T., Saito, T., and Urawa, S. 2019. First report of growth rate of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* captured in the Sea of Okhotsk offshore. Ichthyol. Res., 66: 155-159.
- Honda, K., Kawakami, T., Suzuki, K., Watanabe, K., and Saito, T. 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.
- 入江隆彦. 1990. 海洋生活初期のサケ稚魚の回遊に関する生態学的研究. 西水研報, 68: 1-142.
- Irvine, J. R., O'Neill, M., Godbout, L., and Schnute, J. 2013. Effects of smolt release timing and size on the survival of hatchery-origin coho salmon in the strait of Georgia. Prog. Oceanogr., 115: 111-118.
- 帰山雅秀. 1986. サケ *Oncorhynchus keta* (Walbaum) の初期生活に関する生態学的研究. さけ・ますふ化研報, 40: 31-92.
- 小林哲夫. 2009. 日本サケ・マス増殖史. 北海道大学出版会, 札幌. 310 pp.
- 真山 紘・加藤 守・関 二郎・清水幾太郎. 1982. 石狩川産サケの生態調査-I 1979 年春放流稚魚の降海移動と沿岸帯での分布回遊. さけ・ますふ化研報, 36: 1-17.
- 野川秀樹. 1992. 本州日本海沿岸におけるサケ増殖と資源動態. 魚と卵, 161: 29-43.
- 野川秀樹. 2010. さけます類の人工ふ化放流に関する技術小史（序説）. 水産技術, 3: 1-8.
- Saito, T. 2022. Optimum timing and size at release of chum salmon: Improving survival by modifying hatchery practices. Fish. Oceanogr., 31: 416-428.
- 斎藤寿彦・福若雅章. 2018. 北太平洋におけるサケ属魚類の資源動態. 海洋と生物, 237: 319-329.
- Saito, T., Kaga, T., Seki, J., and Otake, T. 2007. Otolith microstructure of chum salmon *Oncorhynchus keta*: formation of sea entry check and daily deposition of otolith increments in seawater conditions. Fish. Sci., 73: 27-37.
- Saito, T., Shimizu, I., Seki, J., and Nagasawa, K. 2009. Relationship between zooplankton abundance and the early marine life history of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* in eastern Hokkaido, Japan. Fish. Sci., 75: 303-316.
- 関 二郎. 2013. さけます類の人工孵化放流に関する技術小史（放流編）. 水産技術, 6: 69-82.
- 外山義典. 2022. 北太平洋と日本におけるさけます類の資源と増殖. SALMON 情報, 16: 35-36.
- 水産庁さけ・ます資源管理センター. 1998. サケ種苗放流モニタリング. Salmon Database, 6(2). 118 pp.

研究成果情報

ふ化放流の効果をもとめるためには野生魚の保全が重要だった:野生魚は放流稚魚の回帰率を改善する

さし げんき
佐橋 玄記 (水産資源研究所さけます部門 資源生態部)

はじめに

日本では、さけます類について、野生魚^{※1}はほとんど資源に貢献していない、あるいは貢献していてもわずかである、と考えられてきました。しかし、最近になり、野生魚が資源に大いに貢献していることが認識されるようになってきました。また、近年はサケが歴史的な不漁に陥ったことに伴い、野生魚を適切に保全し、活用しようという機運も高まっています。今回は、野生魚がふ化放流事業の親魚に加わることによって、放流された稚魚の回帰率が向上していた、という驚くべき結果が明らかになりましたので、紹介したいと思います (元論文: Sahashi and Morita 2022, オープンアクセス, <https://doi.org/10.1002/fee.2457>)。

どのような研究内容だったの?

さけます類のふ化放流という行為は、生物をその一生の少なくとも一部において飼育環境下で繁殖・飼育する、という広義の「飼育下繁殖」に含まれます (参照: Araki et al. 2008)。こうした飼育下繁殖は、保全や生物資源管理の観点から世界中の多くの種で行われてきました (Frankham et al. 2002, Laikre et al. 2010)。一方で、日本ではあまり認識されていないものの、世界では飼育環境への適応や近交弱勢 (近親交配による弊害) の影響によって、野外における適応度の低下が広く懸念されています (例えば, Araki et al. 2007, Boakes et al. 2007, Christie et al. 2012)。この問題の解決策として、飼育下繁殖個体群に野生個体群の遺伝子を導入することが提案されてきましたが (例えば, Frankham and Loebel 1992, Frankham 2008, Williams and Hoffman 2009)、この手法がどのような効果をもたらすか不明でした。本研究では、水産研究・教育機構が実施したサケとサクラマス^{※2}の長期標識放流データを用いて、親世代の野生遺伝子の割合がふ化放流個体群の野外における生存率に及ぼす影響を評価しました。

用いたデータは、サケで 6 河川の計 40 年級群分、サクラマスで 4 河川の計 29 年級群分です (図 1)。これらの河川で水産研究・教育機構が放流する放流魚には、耳石温度標識が付けられているため (浦和 2001, 宮内 2016)、この標識の有無で野

生魚と放流魚^{※2}を判別することができます。また、ふ化放流に用いる野生魚の割合は、捕獲された河川回帰親魚に含まれる野生魚の割合から、野外の生存率は、放流数と河川回帰数の関係から推定しました (図 2)。さらに、河川と年級の効果は、統計モデルに組み込むことによって考慮しました。

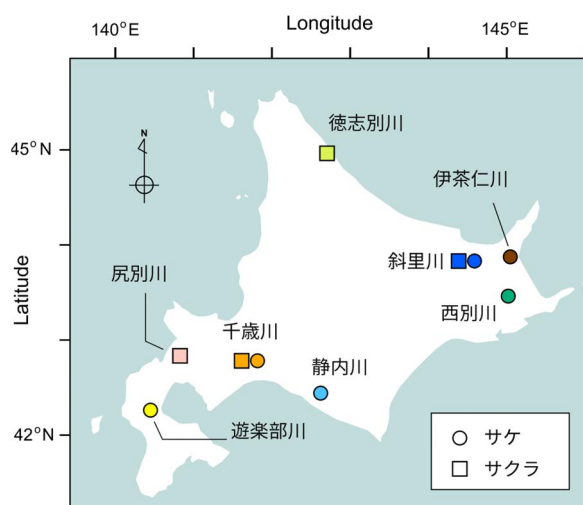


図 1. 研究データを取得した北海道の 8 河川
丸印はサケの調査河川、四角印はサクラマスの調査河川を示す。

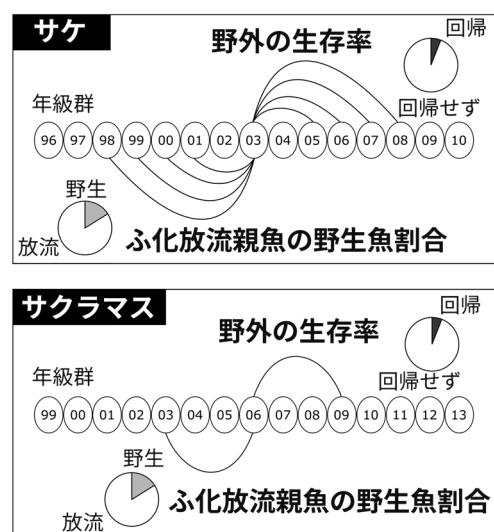


図 2. ふ化放流の親魚に用いる野生魚の割合と野外の生存率の算出イメージ
サケは 2003 年級群, サクラマスは 2006 年級群の例を示した。

※1 野生魚: 自然産卵で生まれた魚。その両親が野生魚か放流魚かは問わない (森田・大熊 2015)。

※2 放流魚: ふ化場から野外に放流された魚。人工授精に用いられた両親は野生魚か放流魚かは問わない (森田・大熊 2015)。

研究の結果、両種において、ふ化放流に用いる野生魚の割合が高いほど、ふ化放流で生まれた子の野外における生存率が高いことがわかりました（図3）。つまり、野生魚がふ化放流事業の親魚に加わることによって、放流された稚魚の回帰率が向上していたわけです。さらに、サケではふ化放流に用いる野生魚の割合を20%から40%にできれば、河川回帰率は1.9倍にもなることがわかりました。

では、なぜこのような結果となったのでしょうか？飼育環境への適応や近交弱勢の影響により、飼育下繁殖された個体の野外における適応度は低下することが知られています。一方で、飼育下繁殖個体群に野生個体群の遺伝子を導入すると飼育環境への適応（Frankham and Loebel 1992）や近交弱勢の影響が減少することも知られています（Duchesne and Bernatchez 2002; Waters et al. 2020）。よって、ふ化放流に用いる野生魚の割合が高いほど、放流魚の回帰率が高かったのは、飼育環境への適応や近交弱勢の影響が減少したためだと考えられました。これらの知見は、ふ化放流事業の効果を高めるためにも、自然繁殖によって生まれる野生魚の保全が有効であることを示唆します。

野生魚の保全を実現しよう

これまで、野生魚を適切に保全することで、降下稚魚の大幅な増加や親魚不足のリスク低減につ

ながるなど、多くのメリットがあるということが明らかにされてきました（森田 2020）。今回の研究では、これまでの知見に加えて、野生魚がふ化放流事業の親魚に加わることによって、ふ化放流で生産された稚魚の回帰率向上にも貢献することを明らかにしました。

日本系のサケ資源について、2022年度は豊漁の地域もあったのですが、長期的に見れば、資源状態は低位で、資源動向は減少傾向と言わざるをえません（渡邊ら 2022）。そのため、こうした資源状態を踏まえ、先進的な地域では野生魚の保全につながる取り組みが行われています。例えば、日高管内増殖協会では、ふ化放流に用いる親魚を捕獲するために河川下流部に設置していたヤナを撤去し、上流の支流にあるふ化場まで親魚を遡上させる取組をおこなっています（NHK web サイト 1, 2）。この取組の結果、卵がふ化する確率や稚魚の生存率が向上しただけでなく、川のいたる場所で自然産卵が見られるようになりました。また、斜里地方の漁師さんらは、自ら河川を歩くことで、さけます類の河川遡上の障害となっている河川工作物を発見し、魚道清掃や手作り魚道の設置を行う取り組みや、行政機関に働きかけを行うことで魚道をつける取り組みなどを行っています（北海道新聞記事 1, 2; NHK web サイト 3）。

しかし、こうした先進的な取組を地道に行っている方々がいる一方で、日本全体を見渡すと残念ながら野生魚が適切に保全されていない状況にあ

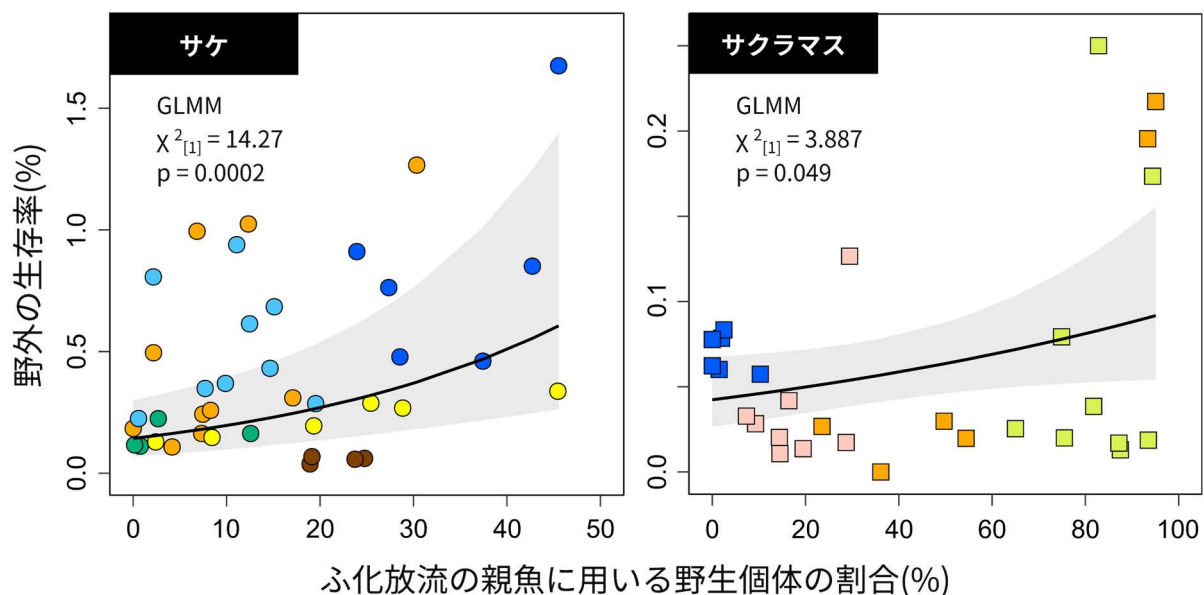


図3. ふ化放流の親魚に用いる野生個体の割合と野外の生存率の関係

プロット点の色は、図1の河川に対応する。黒線は回帰直線、グレーの網掛けは95%信頼区間を示す。

ると言わざるを得ません。例えば、北米などでは一定量の自然産卵親魚を取り残すという資源管理が当たり前に行われていますが、日本では自然産卵親魚を取り残すという資源管理が存在しません(森田 2020)。つまり、放流が行われている河川に遡上した親魚は全てふ化放流事業のために捕獲することができ、自然産卵親魚は居なくて良いという資源管理が現状の日本では採用されています(大熊ら 2016; 長谷川ら 2019; 渡邊ら 2022)。また、ふ化放流事業のために捕獲される親魚は、必ずしも全てが採卵・受精に用いられるわけではありません。例えば、北海道では雌親の使用率は3~4割に留まっており(森田 2015)、実際にはふ化放流事業のために必要な親魚数を大幅に超過した捕獲が行われています。そのため、野生魚は危機的な状況に追い込まれてしまっています(森田・大熊 2015)。

今回、ふ化放流に用いる野生魚の割合を上げると放流される稚魚の回帰率が大幅に向上することが示されました。しかし、日本でこの手法を用いるために、自然産卵親魚を取り残す管理方策やふ化放流に使用しない親魚の河川への再放流など、自然産卵で生まれる野生魚を保全する当り前の取り組みを実現することが必要です。より効果的なふ化放流事業を実現する手段として、また不漁に苦しむサケ漁業を救う手段として、野生魚保全の取組を始めるのか、我々を助けてくれている野生魚に、皆さんはどのように向き合いますか？

引用文献

- Araki, H., Berejikian, B. A., Ford, M. J., and Blouin, M. S. 2008. Fitness of hatchery-reared salmonids in the wild. *Evol. Appl.*, 1: 342-355.
- Araki, H., Cooper, B., and Blouin, M.S. 2007. Genetic effects of captive breeding cause a rapid, cumulative fitness decline in the wild. *Science*, 318: 100-03.
- Boakes, E.H., Wang, J., and Amos, W. 2007. An investigation of inbreeding depression and purging in captive pedigreed populations. *Heredity*, 98: 172-82.
- Christie, M.R., Marine, M.L., French, R.A., and Blouin, M.S. 2012. Genetic adaptation to captivity can occur in a single generation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 109: 238-42.
- Duchesne, P., and Bernatchez, L. 2002. An analytical investigation of the dynamics of inbreeding in multi-generation supportive breeding. *Conserv. Genet.*, 3: 45-58.
- Frankham, R. 2008. Genetic adaptation to captivity in species conservation programs. *Mol. Ecol.*, 17: 325-33.
- Frankham, R., Briscoe, D.A., and Ballou, J.D. 2002. *Introduction to conservation genetics*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Frankham, R., and Loebel, D.A. 1992. Modeling problems in conservation genetics using captive *Drosophila* populations: rapid genetic adaptation to captivity. *Zoo Biol.*, 11: 333-42.
- 長谷川功・江田幸玄・佐橋玄記. 2019. ギジュ川・トゥムニン川(ロシア) 訪問記. *SALMON 情報*, 13: 38-43.
- 北海道新聞記事 1. 逆風の秋サケ漁好転へ斜里一丸環境変化に強い「野生魚」を育成. URL: <https://www.hokkaido-np.co.jp/article/747794/>, (参照 2022-11-30).
- 北海道新聞記事 2. カラフトマス、石組み魚道を遡上 昨年設置の斜里で確認 漁業関係者、資源増に期待. URL: <https://www.hokkaido-np.co.jp/article/731816/>, (参照 2022-11-30).
- Laikre, L., Schwartz, M.K., Waples, R.S., et al. 2010. Compromising genetic diversity in the wild: unmonitored large-scale release of plants and animals. *Trends Ecol. Evol.*, 25: 520-29.
- 宮内康行. 2016. 耳石温度標識パターン数の増加に向けた取り組み. *さけ・ます資源管理センターニュース*, 10: 20-22.
- 森田健太郎. 2015. 漁業の特性と生物の適応. 人間活動と生態系(日本生態学会・森田健太郎・池田浩明編), 共立出版, 東京. pp. 149-166.
- 森田健太郎. 2020. サケを食べながら守り続けるために. *日水誌*, 86: 180-183.
- 森田健太郎・大熊一正. 2015. サケ: ふ化事業の陰で生き長らえてきた野生魚の存在とその保全. *魚雑*, 62: 189-195.
- NHK web サイト 1. サケの卵が徐々に軽く小さく 生育環境が影響している可能性も. URL: <https://www3.nhk.or.jp/sapporo-news/20220930/7000051100.html>, (参照 2022-11-30).
- NHK web サイト 2. サケのふ化放流に"新たな"一手. URL: <https://www.nhk.or.jp/hokkaido/articles/slugged5e9a291464>, (参照 2022-11-30).
- NHK web サイト 3. サケ日本一のまち 斜里町で web 後編. URL: <https://www.nhk.or.jp/hokkaido/articles/slugin49f84abf1eb7>, (参照 2022-11-30).
- 大熊一正・長谷川功・佐藤俊平・岸大弼・市村正樹・飯田真也・森田健太郎. 2016. 野生魚を活用した持続可能なさけます漁業と増殖事業. *SALMON 情報*, 10: 30-37.
- Sahashi, G., and Morita, K. 2022. Wild genes boost the survival of captive-bred individuals in the wild. *Front. Ecol. Environ.*, 20: 217-221.

浦和茂彦. 2001. さけ・ます類の耳石標識：技術と応用. さけ・ます資源管理センターニュース, 7: 3-11.

渡邊久爾・水本寛基・本多健太郎・佐藤俊平. 2022. 61 サケ（シロザケ）日本系. 「令和 3 年度国際漁業資源の現況」水産庁・水産研究・教育機構, 東京. URL: https://kokushi.fra.go.jp/R03/R03_61_CHU.pdf, (参照 2022-11-30).

Waters, C.D., Hard, J.J., Fast, D.E., et al. 2020. Genomic and phenotypic effects of inbreeding across two different hatchery management regimes in Chinook salmon. *Mol. Ecol.*, 29: 658-72.

Williams, S.E., and Hoffman, E.A. 2009. Minimizing genetic adaptation in captive breeding programs: a review. *Biol. Conserv.*, 142: 2388-400.

佐橋玄記研究員，「若手農林水産研究者表彰」にて 農林水産技術会議会長賞を受賞！

本稿の元論文である「Wild genes boost the survival of captive-bred individuals in the wild (Sahashi and Morita. 2022. *Frontiers in Ecology and Evolution*)」を含む以下の業績により，水産資源研究所さけます部門の佐橋玄記研究員が，令和 4 年度（第 18 回）「若手農林水産研究者表彰」にて，農林水産技術会議会長賞を受賞しました。

- ・業績名：多様な野生魚を守って活用する：
サケ資源回復方策の開発



写真：自然産卵で生まれたサケ野生魚

技術情報

カラフトマスの採卵時期及び育成条件の見直しによる放流時期の適正化

は が まさと ますかわ のりお
羽賀 正人*1, 増川 則雄*2

はじめに

カラフトマス (*Oncorhynchus gorbuscha*) は 8 月から 9 月にかけて主に北海道のオホーツク海や根室海峡の沿岸で漁獲され、「オホーツクサーモン」の呼称で秋の味覚として親しまれている魚種ですが、近年の来遊数は減少傾向にあります (図 1)。また、カラフトマスの来遊時期の後半はサケ (*Oncorhynchus keta*) の来遊時期 (9~12 月) の前半と重複することから、カラフトマスのふ化放流事業ではサケ定置漁業との競合を避けることを目的に、早い時期に来遊する資源の造成に取り組んできました (加賀 2005)。その結果、親魚の河川遡上盛期は 1980 年代よりも 2 旬ほど早まり、現在では 8 月下旬から 9 月上旬となっています。また、カラフトマスは河川水が浸透する砂礫底の河床に産卵しますが (小林 1968b)、現在のふ化放流施設においては、主要魚種であるサケの生態に合わせ、卵期から仔魚期にかけては河川水よりも高温でかつ温度変化の少ない湧水や地下水を使用することが前提となっているため、カラフトマスに関しては自然界よりも発育が早くなる場合が多くなっています。

現在のカラフトマスのふ化放流事業は、上記のような理由により自然再生産魚の降河時期よりもかなり早い時期に放流してしまっていると考えられ、それが資源低下の一因になっている可能性があります。水産資源研究所さけます部門 (以下、さけます部門) と一般社団法人北見管内さけ・ます増殖事業協会 (以下、北見管内増協) は共同で、自然界の産卵床環境に倣い、ふ化放流施設において、卵期から仔魚期にかけての管理を河川水のみを用いて実施することで、自然界に近い時期での放流が可能になるかを実証する試験を行いました。またそれと同時に、採卵時期の違いによる回帰時期及び回帰数の違いについての検証を試みました。ここではそれらの結果について紹介します。

材料と方法

カラフトマスは 2 年魚で回帰する特性があり、奇数年級群と偶数年級群の間で交配することがないことから、それぞれで異なる繁殖集団を形成し

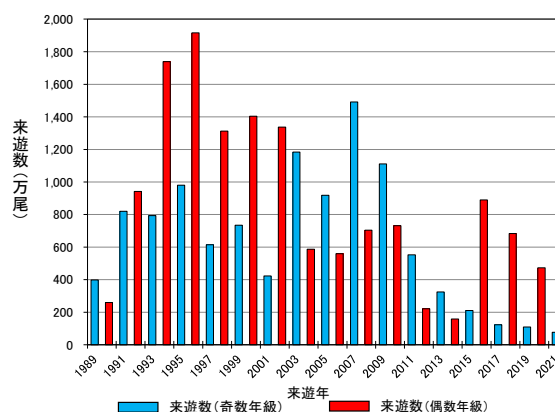


図 1. 北海道におけるカラフトマス来遊数の推移

ています (加賀 2005)。今回は両群それぞれで複数回検証を行うために、2015 年級群から 2018 年級群の 4 年級群で試験を行いました。

各年級群における実証試験は、採卵時期の違いによる回帰時期及び回帰率の違いの検証を行うことも含めて、現在の主群である 9 月上~中旬採卵群 (以下、前期群) と、かつての主群に近い 10 月上~中旬採卵群 (以下、後期群) の 2 群を用いて行いました (表 1)。

河川水管理の実証試験は、北見管内増協所属の秋の川ふ化場及び遠音別 (おんねべつ) ふ化場で行いました (図 2)。各年級群において、前期群・後期群とも、採卵・受精直後からふ化直前までの卵期を秋の川ふ化場で、ふ化直前から浮上までの仔魚期を遠音別ふ化場で、いずれも河川水のみを用いて管理しました (表 1)。遠音別ふ化場では、浮上した稚魚に餌を与えず、排水部の金網を外し、自然に池から降下させる形で遠音別川に放流しま

表 1. 両試験群の採卵数、採卵・ふ化・浮上月日及び耳石温度標識パターン

年級群	試験区分	卵期 (秋の川ふ化場)			仔魚期 (遠音別ふ化場)		
		採卵月日	採卵数 (千粒)	耳石標識パターン	秋の川へ遠音別への移動月日	ふ化月日	浮上 (放流開始) 月日
2015	前期群	9月7日	2,695	2.5nH	11月19日	12月6日	4月26日
	後期群	10月1日	1,105	2.6nH	12月22日	1月6日	5月2日
2016	前期群	9月12日	2,540	2.5nH	11月24日	12月18日	5月1日
	後期群	10月11日	1,300	2.6nH	12月30日	1月19日	5月10日
2017	前期群	9月6日	2,692	2.5nH	11月22日	12月15日	4月20日
	後期群	10月11日	1,498	2.6nH	12月25日	1月3日	5月3日
2018	前期群	9月10・15日	2,675	2.5nH	11月26日	12月2日	4月23日
	後期群	10月16日	1,126	2.6nH	1月5日	1月14日	5月7日



図 2. 秋の川ふ化場、遠音別川、遠音別ふ化場、知布泊漁港の位置図（上）及び遠音別川下流部の様子（下）

した。遠音別ふ化場は遠音別川の河口から約 300 m 上流に立地しており、放流した稚魚は直ぐに海へ下ると考えられます。また、ふ化場から直ぐ上流には堰堤もあり、回帰親魚がそれ以上上流へ遡上することが出来ません。加えて、堰堤より下流は河床が岩盤のため自然産卵が困難です（図 2）。このため、自然再生産由来の稚魚は極めて少ないと考えられ、放流試験による比較に都合が良いことから、本試験の実施場所を選定しました。

両群を区別するため、それぞれに異なる耳石温度標識を施しました（表 1）。放流時は試験群毎に浮上魚の降下開始から終了までの期間とそのピークを把握するため、池の排水部に受け網を設置し、降下した稚魚の数を毎日計測しました。

サケの場合、放流に適した時期（放流適期）は、沿岸水温が 5℃に達する時期以降と考えられています（小林 1977, 北海道さけ・ますふ化場 1996）。カラフトマスについては具体的な放流適期の考え方は示されていませんが、道東の西別川における調査結果では、カラフトマスの降海時期とサケ稚魚の降海時期が重複していることが知られています（小林・原田 1966）。そのことから、カラフトマスの放流適期をサケと同じ沿岸水温 5℃到達以降の時期と考え、管理した稚魚が適正な時期に降下出来たかを判断する目安としました。それに伴い、放流時の沿岸水温を把握するために、河口近隣の知布泊漁港（図 2）内に記録式水温計を設置

して連続観測を行いました。

放流した魚が回帰する 2017 年から 2020 年までの 4 年間、遠音別川で捕獲したカラフトマス親魚について、捕獲開始から終了までの期間、毎旬最大 400 尾の親魚から耳石を採取し、標識の確認を行いました。

結果

卵期・仔魚期の管理は、4 つの年級群いずれにおいても大きな問題は起きず、順調に行われました。浮上した稚魚の降下時期は、前期群で概ね 4 月下旬～5 月中旬（14～21 日間）、後期群で概ね 5 月上旬～下旬（14～22 日間）となり、降下のピークはそれぞれ 4 月下旬及び 5 月上旬頃でした（図 3、表 2）。両群の採卵時期には約 30 日の開きがありましたが（表 1）、浮上・放流開始時点では 15 日以内にまで短縮され、降下する期間にも重複が見られました。また、対象年級が放流された 2016～2019 年に沿岸水温が 5℃に達した時期は 4 月 23 日～5 月 11 日であり、その時期以降に

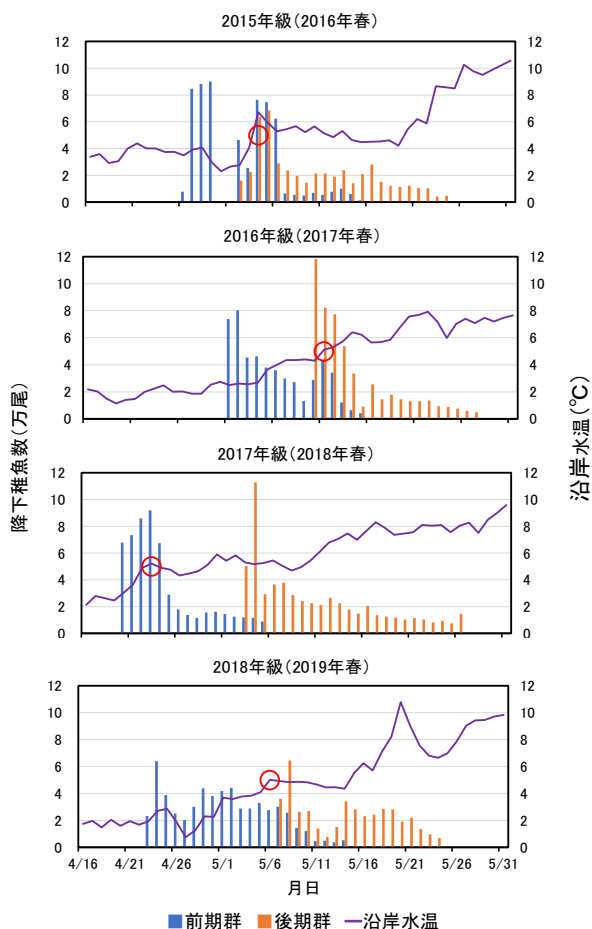


図 3. 各年級群における両試験群の日別降下数及び沿岸水温
赤丸は沿岸水温が 5℃に到達した時点を示す。

表 2. 両試験群の放流時期及び放流数 (A)、知布泊漁港における水温 5°C 到達日、到達日以降に降下した稚魚数 (B)、推定河川回帰数 (C) 及び河川回帰率 (全体の放流数 (A) で除した場合と、5°C 到達日以降の降下数 (B) で除した場合)

年級群	試験区分	放流開始 月日	降下終了 月日	降下に要 した日数	放流尾数 (千尾) (A)	沿岸水温 5°C到達 月日	5°C到達日以 降に降下した尾 数(千尾)(B)	5°C到達日以 降に降下した割 合(%) (B/A)	推定河川回 帰数(尾)(C)	河川回帰率 (C/A)	河川回帰率 (C/B)
2015	前期群	4月26日	5月15日	19	2,438	5月3日	1,068	43.8%	124	0.005%	0.012%
	後期群	5月2日	5月24日	22	972		895	92.1%	399	0.041%	0.045%
2016	前期群	5月1日	5月15日	14	2,079	5月11日	403	19.4%	1,756	0.084%	0.435%
	後期群	5月10日	5月27日	17	1,046		810	77.4%	3,172	0.303%	0.392%
2017	前期群	4月20日	5月5日	15	2,199	4月23日	1,291	58.7%	120	0.005%	0.009%
	後期群	5月3日	5月26日	23	1,148		1,148	100.0%	117	0.010%	0.010%
2018	前期群	4月23日	5月14日	21	2,358	5月6日	514	21.8%	161	0.007%	0.031%
	後期群	5月7日	5月24日	17	854		854	100.0%	324	0.038%	0.038%

降下した稚魚の割合は前期群で 19.4%~58.7%、後期群は 77.4%~100%でした (表 2)。

2017~2020 年に遠音別川へ回帰したカラフトマス親魚の耳石温度標識を確認した結果、90%以上が遠音別川由来の放流魚ではなく、無標識魚の他、オホーツク海区から根室海区にかけての広い範囲から放流された標識魚でした (図 4)。遠音別川由来の親魚の割合は、2017 年 (2015 年級) の 7.8%が最大であり、2020 年 (2018 年級) では 1.9%と非常に少ない割合でした (図 4)。河川への回帰が確認された期間は、前期群では 9 月上旬以前の短い期間だった一方、後期群では調査開始当初から 10 月上旬までの長期間にわたりました (図 5)。両群の推定河川回帰率を比較すると、前期群が 0.005~0.084%、後期群が 0.01~0.303%であり、後期群の方が約 2~8 倍高くなっていました。また、沿岸水温 5°C 到達以降に降下した稚魚数を元に回帰率を試算し、同一年級の前期群と後期群とで比較した結果、2015 年級群以外では大きな差は見られませんでした (表 2)。

考察

今回、自然界に倣い卵期~仔魚期にかけて河川水による管理を実施した結果、浮上・放流の時期は前期群で 4 月下旬~5 月中旬、後期群で 5 月上旬~下旬となりました。小林 (1968a) は、遠音別川の近隣に位置する岩尾別川において、10 月上旬に自然産卵したカラフトマス由来の稚魚の降海時期が 5 月上旬~下旬であったことを報告しています。今回の後期群での結果はそれとよく符合しており、河川水管理によって稚魚の降下時期を自然界での降下時期にマッチさせることが出来たと考えられます。

前期群と後期群との回帰率の比較では、後期群の方が 2~8 倍高い結果となりました。両者の大きな違いは前述のとおり浮上・放流のタイミングであり、後期群の方が生き残りに有利な時期に降海出来たことが回帰の差につながった可能性があ

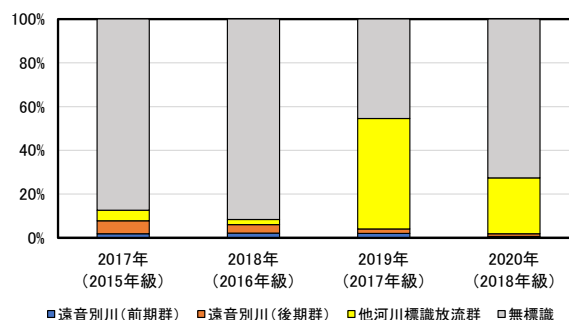


図 4. 遠音別川におけるカラフトマス親魚の標識別推定河川捕獲割合

2019年に標識魚の割合が急増しているが、これは、2017年級から放流するカラフトマスの全数に標識が施されるようになったためと思われる。

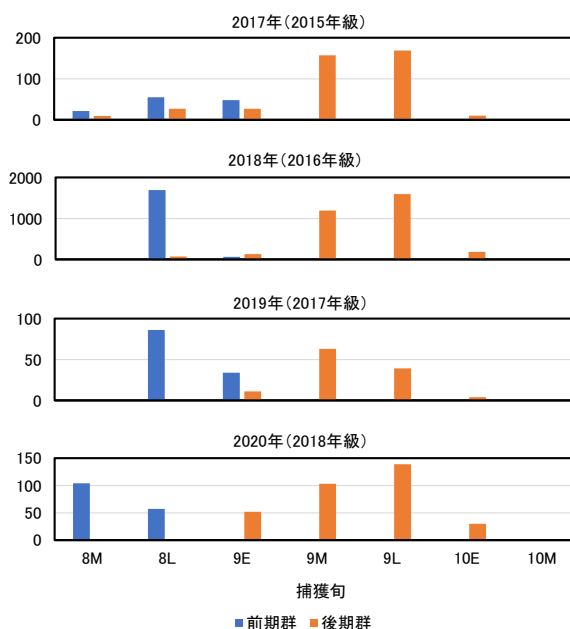


図 5. 遠音別川に回帰した両試験群の時期別推定河川捕獲数

ります。今回、カラフトマスの放流適期を、サケに倣い沿岸水温 5°C 到達の時期とおきましたが、この地域では概ね 5 月上旬がその時期に該当して

います。また、今回の後期群や前述の岩尾別川での降海時期と一致していること、前期群においても沿岸水温 5°C 到達以降の放流数で回帰率を試算した場合は後期群と大きな差が見られないことから、放流適期の目安としての外れではないと思われます。さらに、河川水管理によって、採卵時には 30 日ほどの開きがあった前期群と後期群の差が、浮上・放流時には 15 日以内にまで縮まったことにより、より多くの稚魚を放流適期に放流出来たとも考えられます。

採卵時期の違いによる河川回帰時期の比較では、調査年全てにおいて前期群は捕獲開始から短期間で集中的に回帰したのに対し、後期群では捕獲初期から捕獲終了までの幅広い期間で回帰しました。サケの場合は、概ね採卵された時期をめがけて河川に回帰し、その中でも採卵された時期が遅くなるほど比較的早めに回帰する傾向が見られますが（高橋 2013）、カラフトマスでも同様の回帰特性が見られることがあらためて確認されました。一方、遠音別川で捕獲された親魚の 90%以上が遠音別川からの放流魚由来ではなかったことから、カラフトマスが母川回帰指向の低い魚種であることもあらためて確認されました。

今回、両群の比較に用いた回帰率は、遠音別川に母川回帰した少数の標識魚の回帰結果のみを用いて算出しました。他河川由来の親魚が遠音別川で多く捕獲されていることから、逆に遠音別川由来の親魚が他の河川で捕獲されている可能性も高いと考えられます。今後同様の調査を行う場合には、もっと幅広い範囲で回帰親魚の調査を行うことが望ましいかも知れません。ただ、4 カ年を通じて後期群の回帰率が高かった事は、後期群の優位性を裏付ける事実と言えるでしょう。

おわりに

カラフトマス資源を持続的に利用するためには自然産卵の助長に加えて、資源の底支えのためのふ化放流事業の継続が必要です。今回の実証試験の結果は、今後のカラフトマスふ化放流事業の参考となるものと思われます。カラフトマス資源は放流地区周辺だけでなく、広域的に利用されることから、北海道全体の回帰資源の底上げを念頭に置いた上で、来遊時期や管理方法を再検討し、適切かつ効果的なふ化放流を行っていく必要があります。

引用文献

- 北海道さけ・ますふ化場. 1996. 稚魚の放流. さけ・ますふ化事業実施マニュアル, 56-57.
- 加賀敏樹. 2005. サケ科魚類のプロファイル-7 カラフトマス. さけ・ます資源管理センターニュース, 15: 12-13.
- 小林哲夫・原田 滋. 1966. 西別川におけるサケ・マスの生態調査Ⅱ. カラフトマス稚魚の降海移動, 成長, 食性. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 20: 1-10.
- 小林哲夫. 1968a. カラフトマス稚魚の降海期について. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 22: 1-5.
- 小林哲夫. 1968b. サケとカラフトマスの産卵環境. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 22: 7-13.
- 小林哲夫. 1977. 沿岸帯泳期におけるサケ・マス幼魚期の生態. 水産海洋研究会報, 32: 39-44.
- 高橋 悟. 2013. サケの採卵時期の違いによる親魚の回帰時期と回帰年齢. SALMON 情報, 7: 16-18.

技術情報

岩手県における吸水前消毒によるサケの冷水病防除に関する取り組み

こばやしとしまさ 小林俊将(岩手県水産技術センター), たかはしのりあき 高橋憲明(岩手県沿岸広域振興局水産部宮古水産振興センター)

はじめに

近年、我が国のサケ *Oncorhynchus keta* 増殖事業では、放流種苗の回帰率の低下が大きな問題となっており、その対策の一環として健苗生産が求められています。サケ科魚類では受精後の吸水時に卵表面の冷水病菌 *Flavobacterium psychrophilum* が卵門から侵入して卵内感染することが明らかになっており (Kumagai and Nawata 2010; 小原ら 2018)、親魚から稚魚へ垂直感染することが問題となっています。また、河川に遡上したサケ親魚が高率で冷水病菌を保有していることが報告されており (Misaka and Suzuki 2007; 畑山ら 2018)、サケふ化場での冷水病菌の垂直感染が懸念されています。

サケ科魚類における冷水病菌の卵内感染を防ぐ方法として、受精卵の吸水前消毒の有効性が報告されています (熊谷 2015)。これは等張液で希釈したポビドンヨード剤で吸水前の受精卵の表面を消毒することにより、吸水時の冷水病菌の卵内感染を防除する手法で、多くのサケ科魚類の種苗生産において導入が進められています。事業規模が大きいサケふ化場では吸水前消毒はほとんど行われていませんが、岩手県では 2018 年から一部のサケふ化場で、事業規模 (数千万粒/年) での吸水前消毒が実施されています (小林・高橋 2020)。今回は岩手県内の田野畑村さけふ化場 (明戸川ふ化場) での取り組みを中心に、吸水前消毒による

サケの冷水病防除について紹介します。

親魚の冷水病菌の保菌について

岩手県内のふ化場で吸水前消毒に取り組むにあたり、ふ化場で使用する親魚の保菌状況を調べました。

2018 年秋季に明戸川ふ化場で採卵に使用したサケの雌親魚から体腔液を採取し、冷水病の保菌状況を調べた結果、表 1 に示すように、河川遡上親魚のみでなく海産親魚からも冷水病菌が検出されました。特に 12 月の調査では定置網で採捕された時点で排卵していた海産親魚から淡水の飼育池で蓄養する前に体腔液を採取しており、これらの個体は海面の定置網で採捕された時点で冷水病菌を保有していたと考えられます。

近年のサケ回帰率の低下に伴う親魚不足から岩手県内のふ化場では海産親魚の使用が増加していますが、河川遡上親魚と同様に、海産親魚においても冷水病菌の垂直感染の防除が必要なことが明らかとなりました。

事業規模での吸水前消毒の実践と効果

2018 年秋季に明戸川ふ化場で交配した受精卵は一部の対照区を除き、全て吸水前消毒を実施しました。受精卵の吸水前消毒は熊谷 (2015) の手法を参考に、ふ化場での採卵作業工程に合わせて

表 1. 明戸川ふ化場で使用した雌親魚の体腔液中の冷水病菌の検出率

検体採取日 (2018 年)	陽性個体数/検査個体数 (陽性率%)	
	河川遡上親魚	海産親魚
9月27日	0/3 (0.0)	0/8 (0.0)* ¹
10月 2日	9/11 (81.8)	3/19 (15.8)* ¹
10月31日	13/17 (76.5)	13/30 (43.3)* ²
11月21日	11/12 (91.7)	40/40 (100.0)* ²
12月 4日	—	6/28 (21.4)* ³

*1: 淡水で 2 週間蓄養後に検体採取

*2: 淡水で 1 週間蓄養後に検体採取

*3: 淡水で蓄養せずに検体採取

河川遡上親魚は採捕当日の親魚及び蓄養期間が不特定の親魚から検体を採取。

以下①～⑨のとおり実施しました（図1）。

- ①鑑別：蓄養中の雌雄親魚の熟度を鑑別し、その日の採卵用親魚数を確定。
- ②採卵：雌親魚を約8尾ずつ開腹し、排卵している未受精卵を約2万粒ずつ受卵盆に採卵。
- ③等張液洗卵：未受精卵が入った受卵盆に等張液3Lを加えて攪拌した後にザルで等張液を濾す方法で洗卵した後、シャワーによる洗卵を行う。等張液は標準等張液（水10Lあたり、NaCl 90.4 g, KCl 2.4 g, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 3.4 g）を使用。
- ④受精：4～5尾の雄の精液12～15 mLを媒精し、攪拌した後に等張液3 Lを加えて受精。

- ⑤洗浄：精子が混ざった等張液をザルで濾し、再度、等張液3Lを加えてザルで濾して、余分な精子を除去（2回）。
- ⑥吸水前消毒：等張液で200倍に希釈したポビドンヨード剤中に受精卵を浸漬して15分間卵表面を消毒。均一に消毒されるように、消毒液中の卵を5分ごとに緩やかに攪拌。消毒卵数は消毒液10Lに対して卵2万粒を上限。
- ⑦洗浄：消毒後、受精卵を真水で洗卵。
- ⑧吸水：卵を吸水槽に収容し、真水で約1時間吸水。
- ⑨収容：卵重、卵サンプルを計量し、採卵数を確定させた後、ふ化槽に収容。



洗卵工程全体図（採卵から吸水前消毒までの動線を直線状に配置）



①鑑別（雌親魚は4～5尾ずつバットに収容）



②採卵（洗卵するため、卵は受卵盆の5分目程度の収容とする）



③等張液洗卵（3L程度の等張液を受卵盆に濯ぎ洗卵後、シャワー洗卵を実施）



④受精（媒精し、等張液により受精させる）



⑤洗浄（3L程度の等張液を受卵盆に濯ぎ洗卵、2回）



⑥吸水前消毒（等張液ポビドンヨード液に15分間浸漬）

その後は、通常の採卵工程と同様、⑦洗浄（真水）、⑧吸水（真水で1時間）後にふ化槽に⑨収容する。

図1. 吸水前消毒の工程

同

年に明戸川ふ化場で吸水前消毒を実施しない対照区を設け、吸水前消毒を実施した試験区との冷水病菌の検出率を比較しました(表2)。吸水前消毒を実施した試験区では4回の検査の全ての発眼卵において卵内から冷水病菌は検出されませんでした。吸水前消毒を実施しなかった対照区では10月31日の採卵群で60粒の発眼卵のうち23.3%にあたる14粒の卵内から冷水病菌が検出されました。なお、この年の明戸川ふ化場で吸水前卵消毒をした卵の平均発眼率は92.4%(最低84.6%~最高97.5%)であり、対照区の平均発眼率93.4%と同程度で、ふ化後の発生に異常は認められませんでした。

表2. 明戸川ふ化場で使用した雌親魚の体腔液中の冷水病菌の検出率

試験区	採卵日 (2018 年)	検体採取日	積算水温 (℃・日)	発眼卵における卵内感染率 陽性個体数/検体数 (%)
吸水前 消毒区	9月27日~10月2日	11月 1日	375-409	0/50 (0.0)
	10月31日	11月21日	266	0/60 (0.0)
	10月31日	12月 4日	422	0/60 (0.0)
	11月21日	12月21日	369	0/60 (0.0)
対照区	10月31日	11月21日	266	14/60 (23.3)
	11月 9日	12月 4日	313	0/60 (0.0)
	11月24日	12月21日	333	0/60 (0.0)

作業工程の簡略化について

2018年秋季に、明戸川ふ化場では累計で約2,117万粒の卵を吸水前消毒しました。作業人数は7人で、一日で処理した卵数は最大96万粒、その際、採卵から収容までの所要時間は約6時間でした。前述の作業工程による吸水前消毒は受精卵表面の冷水病菌の卵内感染を防ぐ手法として有効ではあるものの、通常の採卵作業と比較して多くの労力を必要とします。大本(2017)はサケの採卵時の等張液洗卵により卵表面の生菌数が減少することを報告しており、吸水前卵消毒を実施できないふ化場においても、受精前の等張液洗卵を行うことにより垂直感染のリスクを低下させることが期待されます。

岩手県内での技術普及にあたっては、ふ化場の実情に合わせて等張液での洗卵のみ行う等の簡略化した工程での取り組みも行われています。これらの簡略化については事業規模での十分な検証ができていないわけではありませんが、2019年~2020年に著者らが行ったモニタリング調査では、吸水前消毒を実施した5箇所のふ化場だけでなく、等張液洗卵のみ実施した3箇所のふ化場でも、発眼卵から冷水病菌は検出されませんでした。

今回紹介した明戸川ふ化場では、その後、簡易的なシャワー洗卵の機器を試作する等、継続的に技術改良に取り組んでいます(図2)。また、岩手

これらの取り組みから親魚が冷水病菌を保有しているサケふ化場では実際に冷水病菌の卵内感染が生じることが明らかになるとともに、事業規模での吸水前消毒の有効性が示されました。たとえ少数でも卵内感染している卵が存在すると、それらがふ化した際には、ふ化槽内に多くの冷水病菌が放出されることになり、多くの稚魚が冷水病菌に感染することが懸念されます。特に岩手県内のサケふ化場で多く用いられている浮上槽方式は、飼育池に発眼卵を撒く直撒式より高密度で発眼卵が収容されていることから、ふ化直後の感染リスクは高まると考えられます。

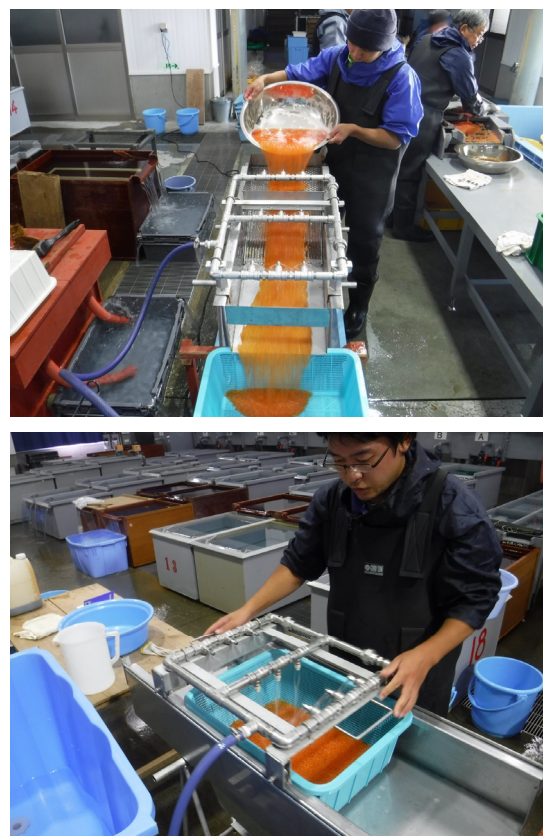


図2. 簡易的な洗卵の機器(上: 採卵後, 下: 受精後の洗卵に使用)

県内の他のふ化場においても、現場の実情に合わせて吸水前消毒や等張液洗卵が取り組まれています。

おわりに

ここ数年の急激な回帰率の低下により岩手県内のサケふ化放流事業では親魚不足が深刻化しており、限られた卵から、いかに効率良く健苗を生産するかが重要な課題となっています。吸水前消毒は冷水病菌の垂直感染防除のみでなくその他の病原菌に対しても一定の除菌効果があることが期待されます。限られた卵を大切に育てる技術の一つとして吸水前消毒の普及が期待されます。

引用文献

畑山 誠・藤原 真・水野伸也. 2018. サケ回帰親魚の体腔液中の冷水病原菌 *Flavobacterium psychrophilum* 濃度 (短報). 北水試研報. 93: 89-92.

小林俊将・高橋憲明. 2020. シロサケ回帰親魚の細菌性冷水病原菌 *Flavobacterium psychrophilum* の保有とふ化場での垂直感染の防除. 魚病研究. 55: 42-45.

小原昌和・野村哲一・笠井久会・吉水 守. 2018. 走査型電子顕微鏡によるニジマス未受精卵および吸水卵の卵門形態の観察. 魚病研究. 53: 90-93.

Kumagai, A., and Nawata, A. 2010. Mode of the intra-ovum infection of *Flavobacterium psychrophilum* in salmonid eggs. Fish Pathol., 45: 31-36.

熊谷 明. 2015. 冷水病菌の卵内感染防除のための新しいサケマス卵消毒法 (後編). 養殖ビジネス. 緑書房, 東京. 52: 22-26.

Misaka, N., and Suzuki, K. 2007. Detection of *Flavobacterium psychrophilum* in chum salmon *Oncorhynchus keta* and virulence of isolated strains to salmonid fishes. Fish Pathol., 42: 201-209.

大本謙一. 2017. サケの採卵における等張液を用いた未受精卵の洗卵の効果. SALMON 情報. 11: 8-11.

会議報告

さけます関係研究開発推進会議

ほんだ さとし さとう しゅんぺい
 本田 聡・佐藤 俊平（水産資源研究所さけます部門 資源生態部）

はじめに

令和 4 年 8 月 9 日に札幌市内会議場にて「令和 4 年度さけます関係研究開発推進会議」（以下、推進会議）を開催し、会場ならびに Web 会議システムを通じて、水産庁、11 道県の試験研究機関と水産研究・教育機構（以下、当機構）から合計 17 機関 47 名の参加がありました。本会議は、関係道県の試験研究機関等との情報交換を密にし、相互の連携強化を図ることにより、さけます類に関する研究開発等を効率的かつ効果的に推進することを目的としております。昨年、一昨年と新型コロナウイルス蔓延の影響によりメール会議形式での開催が続いておりましたので、実際に会議形式で行われるのは 3 年振りとなりました。

当機構水産資源研究所さけます部門の藤井部門長により、主催者である水産資源研究所桑原所長の挨拶が代読された後、議事に入りました。

サケ資源状況

当機構から、サケ（北太平洋全体及び日本周辺各海域）の資源状況ならびに環境条件の推移について説明を行いました。ここ数年、北太平洋のい

ずれの海域においてもサケの漁獲量が減少傾向にあります。日本においても、北海道および本州の太平洋側海域ではここ数年来遊尾数の減少が著しく、更に本州日本海における 2021 年の来遊数は前年 2020 年漁期の 45%に留まるなど、多くの海域で来遊数の減少・低迷が見られました（図 1）。

続いて、日本におけるサケの回帰率の変動、特に近年の低迷と環境要因との対応がみられる例として、岩手県沖の海洋環境調査結果から得られた「暖水比」を紹介しました。「暖水比」は、春季の岩手県沿岸～沖合域における暖水の出現比で示され、「暖水比」が高い年は黒潮続流やそこから派生する暖水塊が、逆に「暖水比」が低い年は親潮や沿岸親潮水が、岩手県沖を広く占めていたことを示します。そしてこの値と、その春に岩手県から放流・降海したサケが 3 年後に 4 歳魚として来遊する際の回帰率との間に負の比例関係があることが近年報告されています（Wagawa et al. 2016）。その後も当機構の海洋環境部がその計算を継続して実施しております。近年では 2016-2018 年にかけて三陸沿岸の暖水比は高い値を示しましたが、その期間に放流されたサケ稚魚が 4 歳魚として来遊する 2019-2021 年の岩手県におけるサケ単純回帰率は 0.2%あるいはそれを下回る極めて低い値で

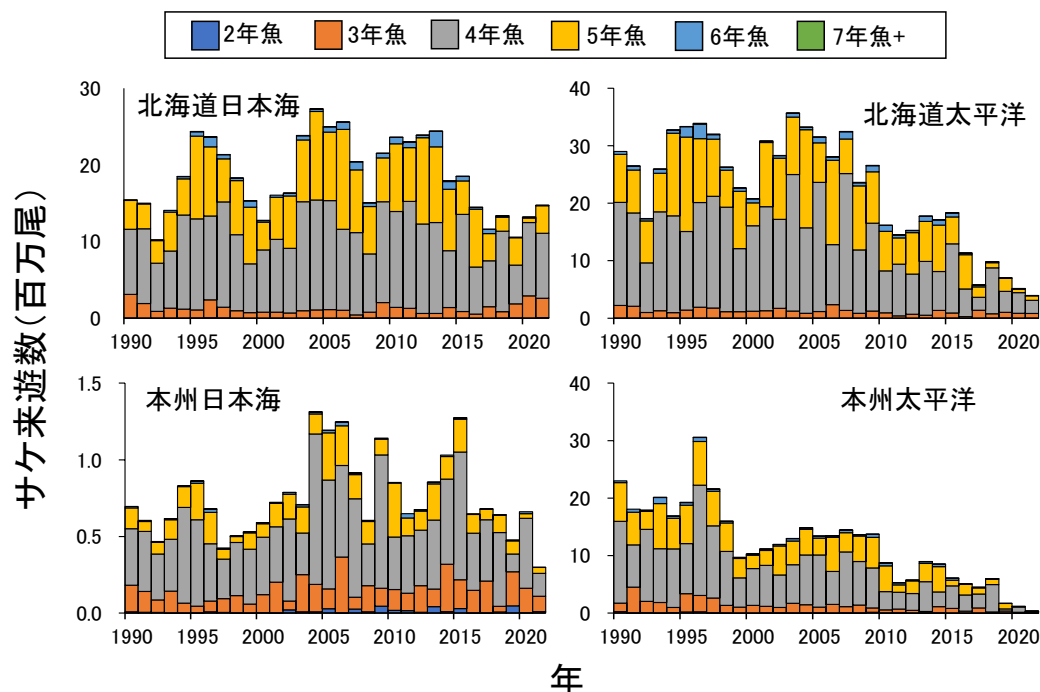


図 1. 年別地域別年齢別サケ来遊数の推移

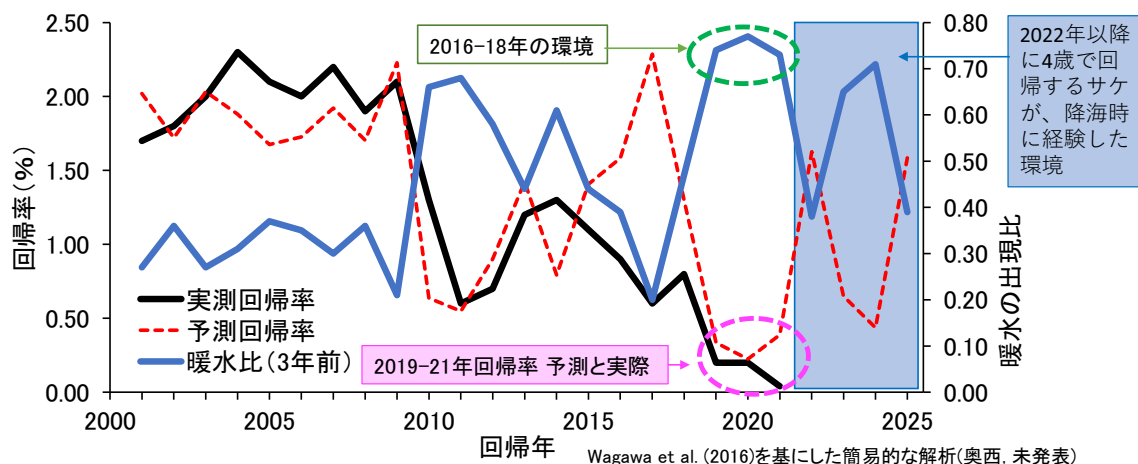


図 2. 三陸沿岸～沖合域における「暖水比」と、その3年後の岩手県におけるサケ4歳魚の回帰率との関係

推移し、この負の比例関係は近年においても認められています（図 2）。2019 年以降の暖水比は、2019、2022 両年の暖水比は低めの値に、その間の 2020-21 両年は高めの値で推移しました。もしこの負の関係が今後も維持されるならば、2019、2022 両年春に降海したサケが4歳魚として岩手県沿岸に来遊する 2022、2025 両年の回帰率はこれまでよりも上昇することが期待されることから、今漁期以降はその結果を検証することになります。

説明に続き、海洋環境とサケの回帰の関係について質疑応答を行いました。説明の中で触れた、水塊による餌生物組成の違いの影響の可能性に加えて、過去に同様の環境条件だった時期があったならばその時代の回帰がどうであったか、サケ稚魚が泳ぐ水温の違いがエネルギー収支に与える影響、暖水比では説明しきれない別な環境要因の関与の可能性、本州日本海側の 2021 年の不漁と環境との関係など、様々な質問や議論が提起されました。特に各研究機関が持つ情報の共有の重要性については、複数の機関から指摘があり、この点については本推進会議ならびに各事業検討会その他の場所を用いるなどして、今まで以上に円滑に情報共有が進むような場を設けて参ります。

各機関の研究開発の実施状況

各道県試験研究機関および当機構が実施する令和 4 年度さけます関連研究開発課題計 43 件について、担当する各研究機関より今年度実施概要ならびに次年度の計画概要が紹介されました。

これら各課題のうち、さけ野生魚を対象とした研究課題、サケ回帰予測の精度向上、降海後のサケ稚魚の調査における観測項目、また本年度より始まった水産庁委託事業「さけ・ます不漁対策事業」について、関係する質疑が行われました。

サクラマス分科会

本分科会は、サクラマス資源に関する議論をより深めるため、推進会議の下に設置された専門の会議です。推進会議からは「サクラマス資源の保全や増養殖による持続的かつ安定的な生産を実現するため、関連する試験研究および技術についての情報交換や構成者間の連携強化ならびに新たな試験研究の企画・立案」が付託されています。

本分科会はこれまで基本的に推進会議の前日に開催されていましたが、過去 2 年間は新型コロナウイルス感染拡大防止の観点から、一昨年はメール会議形式、昨年はオンライン会議形式による開催となっていました。今年度は親会議である推進会議が対面とオンラインの併用となることから、本分科会もそれに合わせて推進会議前日の 8 月 8 日に対面（水産資源研究所札幌庁舎）とオンライン（Zoom）を組み合わせたハイブリッド形式による開催となりました。今年度は 7 県の 8 試験研究機関、オブザーバーとして水産庁および 1 民間団体、ならびに水産研究・教育機構（水産資源研究所および水産技術研究所）の合計 12 機関から 32 名の参加がありました。このうち、対面での参加者が 12 名、オンライン参加者が 20 名でした。

最初の議題は特別講演で、水産資源研究所さけます部門資源生態部の佐橋玄記研究員から「資源としてのサクラマス」と題して発表が行われました。サクラマス資源を増やす取り組みは多くの道県で行われており、多くは種苗放流ですが、その効果は芳しくないのが現状です。本講演では、放流によるサクラマス資源の増加は難しく、逆に放流による負の影響が懸念されること、サクラマス資源の安定的な利用には川と海との連続性を回復させ、野生魚を守る取り組みが重要であることが、豊富な科学的知見をもとに紹介され、その後活発

な質疑応答が行われました。

続いて、サクラマス資源研究の推進状況の報告と情報交換として、水産資源研究所さけます部門資源生態部より 2 件の話題提供が行われました。1 題目の長谷川功主任研究員による「捕食に関する話題提供」では「どのような放流種苗が食べられやすいか」という疑問に対する調査結果が報告され、より小型の放流種苗が捕食者（今回は大型サケ科魚類）に多く食べられていること、その要因として食べられる側の捕食者回避行動の差が現れたのではないかと考察が紹介されました。2 題目は八谷三和主任研究員による「岩手県安家川のサクラマス産卵床調査」で、2015～2018 年に同河川で行われた調査結果のうち、特に産卵床数と河川の屈曲率（河道の曲がり具合）の関係に注目した分析結果が報告され、安家川のサクラマスは通常さけます類が産卵しやすい屈曲部だけでなく、直線区間においても産卵可能であることが紹介されました。

その後、「サクラマス資源研究を進める上での問題点の抽出と対応策の検討」ならびに「サクラマス資源に関する新規プロジェクト研究や共同研究の検討」の二つの議題について検討されました。この中で、山形県内水面水産研究所からサクラマス親魚の遡上限界に関する研究アイデアが紹介されました。今後、本分科会参加者の間でこの研究アイデアについて議論が進み、新たな共同研究等に発展することが期待されます。また、「さけます関係研究推進会議からの付託事項への対応」については、本分科会開催までに推進会議からサクラマス資源研究に関する要望や提案は特にありませんでした。

2000 年以降の日本におけるサクラマス漁獲量は、年変動は大きいものの「中位・横ばい」の資源水準を維持しているとされています（長谷川ら 2022a）。一方で、その資源動向や経年変化は地域により増加・減少・横ばいと異なっていることも明らかになってきました（長谷川ら 2022b）。今後は、各地域の試験研究機関や水産研究・教育機構がサクラマス資源に関する調査・研究を協力して実施していくとともに、サクラマス分科会等の機会を通じて緊密に連携することで、日本全体のサクラマス資源の回復や適切な資源管理に資する必要があります。

研究開発ニーズへの対応

令和 4 年度は、本推進会議に対する新たな研究開発ニーズの報告が 2 件ありました。1 件目は北

海道総研さけます・内水面水産試験場より「野生資源を活用した増殖手法の開発」として 3 点の重点研究内容が、2 件目は福島県水産海洋研究センターより「サケ回帰減少要因の解明等」として 2 点の重点研究課題が提起され、それぞれのニーズについて、当機構より具体的な対応方針を示させて頂きました。

おわりに

今年度は、3 年振りに関係者が会議場に集まり互いに顔を合わせる中で推進会議を開催することが出来ました。特に質疑応答などは、昨年のメール会議に比べると大変活発に行われ、主催者サイドとしても大変嬉しく感じました。一方で、サケ資源に関わる多くの方々が、現在のサケ資源に対して危機感を抱いていることも、議論を通じて強く感じられたところです。

2021 年漁期、多くの海域においてサケの回帰率は前年を更に下回りました。またこれまで安定した回帰が見られていた海域においても、回帰が大きく落ち込む現象もみられました。サケの資源減少、回帰率低下の原因がどこにあるのかを明らかにし、そこに人間の手が及ぶプロセスがあるならば、何とか工夫して生残のチャンスを増やし、回帰率を底上げする方策を探す努力を続けなければなりません。道県試験研究機関間の情報・成果の共有・交換をこれまで以上に積極に行いながら、サケ資源の維持・回復に向けての試験研究・技術開発を進めて参ります。

引用文献

- 長谷川 功・福井 翔. 2022a. 62 サクラマス日本系. 「令和 3 年度国際漁業資源の現況」水産庁・水産研究・教育機構, 東京. URL: https://kokushi.fra.go.jp/R03/R03_62_CHE.pdf (参照 2022-8-26).
- 長谷川 功・佐藤正人・佐藤俊昭・鈴木悠斗・吉澤良輔・南條暢聴・静 一徳・粕谷和寿・工藤充弘・福井 翔・佐藤俊平. 2022b. 地域間で異なるサクラマス沿岸漁獲量の経年変化. 日水誌. 88: 339-344.
- Wagawa, T., Tamate, T., Kuroda, H., Ito, S., Kakehi, S., Yamanome, T., and Kodama, T. 2016. Relationship between coastal water properties and adult return of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) along the Sanriku coast, Japan. Fisheries Oceanography, 25: 598-609.

会議報告

さけます報告会

たかはし まさや
高橋 昌也（水産資源研究所さけます部門 資源増殖部）

はじめに

「さけます報告会」は、さけます類のふ化放流を科学的かつ効果的に推進し、ふ化放流技術等の普及や改善を促すことを目的に、2016 年から毎年開催して来ました。しかし、新型コロナウイルスの影響により、2020 年、2021 年と 2 年連続で開催を見合わせていました。2022 年は、コロナの感染状況を見据えつつ、会場での参加人数を出来るだけ少なくするとともに、Web 中継による参加を併用することで、何とか 3 年ぶりの開催に漕ぎつけることが出来ました。

今回は、さけますふ化放流事業に関係する行政機関、試験研究機関、増殖団体、漁業者、当機構内関係部署等 230 名（会場参加 80 名、Web 参加 150 名）の参加の元、2022 年 8 月 9 日に札幌市を会場として開催しました。主催者である水産資源研究所さけます部門（以下、さけます部門）藤井部門長の挨拶に続き、来賓を代表して水産庁増殖推進部栽培増殖課の櫻井課長からご挨拶をいただいた後、7 つの課題について報告を行いました。

1. 2021 年漁期におけるサケ資源状況について

水産資源研究所さけます部門資源生態部の本田部長から、同日午前で開催された「さけます関係研究開発推進会議」における昨年漁期のサケ資源状況にかかる議論の概要が報告されました。詳細については、本誌「さけます関係研究開発等推進会議 研究部会」の項を参照下さい。



写真 1. 「さけます報告会」全景



写真 2. 主催者挨拶：さけます部門 藤井部門長



写真 3. 来賓挨拶：水産庁栽培増殖課 櫻井課長



写真 4. さけます部門 本田資源生態部長

2. 北太平洋におけるさけます資源状況と 2021 年夏季ベーリング海調査結果

さけます部門資源管理グループの佐藤グループ長から、北太平洋における 2021 年のさけます類

の商業漁獲は前年よりも 39.4 万トン多い 100.0 万トンとなり、特にカラフトマスについては統計が残っている 1925 年以降最多となったことが報告されました。

2021 年のベーリング海調査では、サケの採集尾数が 2007 年の調査開始以降最小となり、その要因として 2 年魚の採集尾数が前年の 54% 程度と大きく減少したことが考えられること、採集したサケの起源を遺伝学的手法で推定した結果では、ロシア系が 62.7% で最も多く、次いで日本系が 29.9% であったこと等が報告されました。

3. 今年の秋サケ来遊見通しについて（北海道）

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の畑山部長から、2021 年の全道への秋サケ来遊数は 1,863 万尾であり、前年よりも僅かに増加したこと、年齢別に見ると 4 年魚（2017 年生まれ）及び 5 年魚（2016 年生まれ）はともに平成以降 3 番めに少ない値だった一方で 3 年魚（2018 年生まれ）は平成以降の平均値を 19% 上回ったことが報告されました。また、2022 年の来遊見通しは、4 年魚が平成以降の平均値の 6 割程度、5 年魚が同じく 3 割程度となり、全体では 2,052 万尾と、前年を若干上回る見込みであること等が報告されました。

4. 近年の北日本周辺における海洋環境について

水産資源研究センター海洋環境部寒流第 1 グループの黒田グループ長から、主に北海道太平洋海域における近年の海洋環境に関して、主要な海流の状態ならびに近年頻発する特異現象という視点からの報告がありました。海流の状態に関しては、2010 年代中盤以降、北西太平洋における西部亜寒帯循環が強くなっている一方で、その循環境界が南に張り出さないため、夏～秋季に道東陸棚斜面を横切る親潮の弱勢が続いていること、一方冬～春季の東樺太海流及び沿岸親潮については、2010 年代中盤に最も強くなり、1980 年代に匹敵する低水温となったこと、その強勢の傾向は 2016 年以降解消されたと思われていたが、2022 年に再び強まったこと等が報告されました。近年頻発する特異現象に関しては、2016 年に観測された極端に接岸する暖水塊と記録的な豪雨、2021 年に観測された観測史上最大級の海洋熱波と道東海域における前例のない大規模な赤潮の発生についての報告がありました。



写真 5. さけます部門 佐藤環境保全グループ長



写真 6. さけます・内水面水産試験場 畑山さけます資源部長



写真 7. 水産資源研究センター 黒田寒流第 1 グループ長

5. 耳石標識で得られた知見を活用した取り組みについて

さけます部門資源増殖部技術課の高橋課長（注：本稿の筆者）から、我が国で行われてきたサケの耳石温度標識放流の経緯と、蓄積されたデータを元に、さけます部門所属の事業所で取り組んでいる回帰効果向上のための取り組みについての報告がありました。



写真 8. さけます部門 高橋技術課長

6. サケの回帰状況と放流への取り組み～伊茶仁・十勝さけます事業所～

さけます部門根室さけます事業所の江田主任技術員から、北海道根室海区及びえりも以東海区におけるサケの回帰状況と、伊茶仁さけます事業所及び十勝さけます事業所における回帰効果向上のための取り組みについての報告がありました。

7. 千歳川における耳石標識試験からわかってきたこと

さけます部門千歳さけます事業所の富田主任技術員から、千歳さけます事業所で放流した耳石温度標識魚の回帰状況からわかってきた、回帰率の高い放流時期やサイズに関する知見と、それらを踏まえた今後の取り組みについての報告がありました。

意見交換

最後に、藤井部門長を座長とし、当日紹介したすべての課題を対象とした意見交換が行われ、ベーリング海調査に関する現時点での最新情報や、北日本周辺の海況環境と黒潮大蛇行との関連性、これからの資源造成にプラスとなるような新しい知見の紹介に対する要望、資源の減少が著しい本州太平洋における取り組みの状況や支援の必要性などが話題となりました。

アンケート結果

さけます報告会をより充実させていくため、会場での参加者を対象にアンケート調査を実施しました。「業務に役立つ内容だったか」との問いに対し、「はい」と答えた人が 63%、「まあまあ」と答えた人が 33%、「あまり」と答えた人が 4%でした。

「今後取り組むべき研究開発課題やさけます報告会への意見・要望」に関しては、「本州域に関する情報の充実」、「海洋環境の変動予測」、「稚魚のサイズや成長速度等に関するデータの共有」、「Web 中継方式での参加の継続」等の意見をいただきました。これらについては、今後の研究開発や報告会の運営に役立てたいと思います。



写真 9. さけます部門根室さけます事業所 江田主任技術員



写真 10. さけます部門千歳さけます事業所 富田主任技術員

おわりに

今回のさけます報告会は、新型コロナウイルスの影響を考慮し、従来とは違う方式を取り入れての開催となりましたが、参加者各位のご理解とご協力により、特にトラブルも無く、無事に開催することができました。この場を借りてお礼申し上げます。次回以降、どのような形式とするかは未定ですが、今回の経験を糧に、さけますに関する様々な情報交換の場として今後も開催して行きたいと思います。また、皆様から寄せられたご意見・ご要望を踏まえ、より充実した内容となるよう努めてまいります。

トピックス

海鳥ウトウによるサケ幼稚魚の捕食

おおかど じゅんぺい
大門 純平 (水産資源研究所さけます部門 資源生態部)

はじめに

魚類では一般的に、幼稚仔の死亡率がきわめて高く、この時期の生き残りによって、その後の資源加入数は大きく変わります。このような生活史初期の死亡数の多さは、サケの仲間でも同様です。日本のサケ *Oncorhynchus keta* は、春に河川から降海し、沿岸を滞泳・成長しながら移動し、夏以降にオホーツク海に入りますが、放流魚の9割前後はオホーツク海に入るまでに死亡するとも推定されます (Urawa et al. 2018)。この死亡について、水温など沿岸環境の影響が指摘されますが (Saito et al. 2011)、直接的な要因はおおむね被食だろうと考えられています。そのため、どのような幼稚魚が食べられやすいのか、どの生物が主要な捕食者なのか、など被食の実態解明には古くから関心が持たれてきました (Quinn 2018)。しかし、いずれのサケの仲間でも、被食の研究は、調査がしやすい河川や河口域で行われることが多く、さらに成長した幼稚魚の被食に関する知見はあまりありません。また、日本のサケでは、河川や海洋を問わず、「この種がサケを食べていた」という捕食者の記載が中心であり (Nagasawa 1998)、捕食の影響を定量的に評価した研究はほとんどありませんでした。

海鳥は、海洋で動物プランクトンやイカ類、小魚などを食べる高次捕食者で、大型魚類や海棲哺乳類と同様に、サケ幼稚魚の主要な捕食者であると考えられています。海鳥は、離島などで数十個体~数百万個体が集まって繁殖するのが特徴であり、繁殖中の親鳥は基本的に繁殖地周辺でエサをとります。そのため、大規模な繁殖地の周辺海域ほど、海鳥によって、一時的に、莫大な量のエサが消費されることが考えられています。

ウトウ *Cerorhinca monocerata* は、北海道周辺で広く繁殖する海鳥で、体のサイズはハトをひとまわり大きくしたほどです (図1)。繁殖中の親鳥は、繁殖地から150 kmほどの範囲で、10-20 mほどの潜水を繰り返して、オキアミ類やイカ類、イワシ類などを捕食します。このエサには、サケ幼稚魚が含まれることもあり、その繁殖個体数の多さ (北海道全体で50-80万個体) から、ウトウはサケの主要な捕食者ではないかと目されてきましたが (Nagasawa 1998)、具体的な影響の大きさはよくわかっていませんでした。今回の記事では、北海道東部の大黒島で繁殖するウトウのサケ捕食量を

定量的に評価した研究 (Okado et al. 2020) を中心にご紹介したいと思います。

大黒島のウトウによるサケ幼稚魚の捕食

ウトウの集団によるサケ幼稚魚の捕食量を推定するには、1羽の親鳥あるいはヒナが1日あたりに必要とするエサの量 (代謝エネルギー量から換算)、エサの構成、集団の個体数といった情報があれば、比較的簡単に計算できます。ざっくり言えば、ウトウの親鳥とヒナが1日あたりにどれほどのサケを食べるか推定し、それを集団の個体数さらには対象期間とかけあわせるという手法です。

私たちが調査を行った大黒島は、北海道東部の厚岸町から約4 kmほどにある周囲5 kmほどの島で (図2)、ウトウをはじめ多くの海鳥の集団繁殖



図1. ヒナのためのエサ (ニシン稚魚) をくわえたウトウ

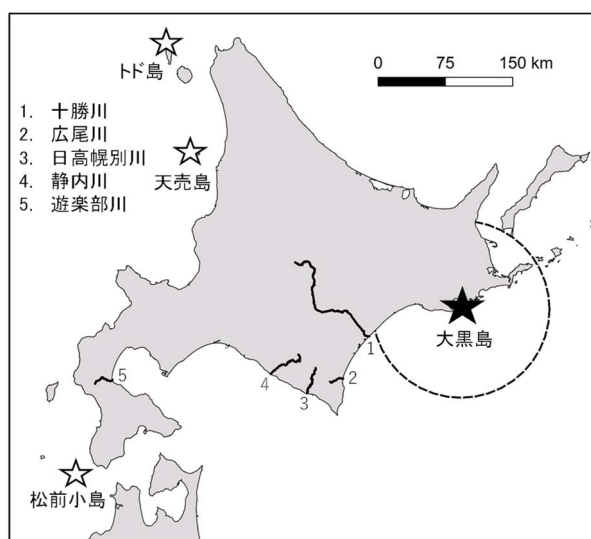


図2. 図中の番号は大黒島のウトウのエサに含まれたサケの放流河川 (黒実線)
星は、本文で示したウトウの繁殖地 (黒: 大黒島, 白: 大黒島以外)。大黒島のまわりの破線円は子育て中のウトウの採餌範囲 (Sato et al. 2022)。Okado et al. (2020) から一部改変。

地となっています。無人島なので、もちろんライフラインはなく、調査の際は数泊分の食材や水を持ち込んでキャンプ生活をします(図3)。子育て中のウトウは、日中に海上でエサをとり、日が暮れたところにヒナのためのエサを持って繁殖地に帰ってきます(図1)。私たちは、2014-2015年の大黒島において、夜に帰ってきた親鳥を捕まえ、くちばしにくわえたヒナのためのエサと、親鳥の胃内容物(親鳥自身のエサ)を採集しました。海鳥では、親鳥とヒナのエサの種類が異なることがしばしばあるため、正確に食性を知るためには、両者のエサを分けて調べる必要があります。

調査の結果、大黒島のウトウは2014年、2015年ともに、ヒナのためのエサとしてサケを多く利用していました(図4,5)。一方、親鳥自身のエサには、2014年はサケが比較的多く含まれましたが、2015年は全く含まれませんでした(図5)。ウトウが捕食したサケの平均尾叉長は、96-100mmであり、これは母川周辺での滞泳を終え、オホーツク海(海洋生活1年目夏から秋の成育場)への回遊を始める80mm(入江1990)を大きく超えています。また、ウトウのエサから採集したサケ66個体の耳石を摘出して、温度標識のパターンを分析した結果、北海道太平洋側の南部から東部の複数の河川由来の個体が見つかりました(遊楽部川1個体、静内川1個体、日高幌別川1個体、広尾川1個体、十勝川2個体、図2)。これらは、北海道太平洋側の河川から降海し、オホーツク海に向けて回遊中のサケ幼稚魚をウトウが捕食していることを示します。エサの調査と先行研究の情報をもとに、大黒島のウトウ集団(93,280個体の親鳥+46,640個体のヒナ、大門ら2019)が、6月後半-7月前半の26.5日間(サケが繁殖地周辺に分布する期間)に食べるサケの捕食量を推定しました。



図3. 大黒島でのキャンプ地での筆者(2014年当時)
(写真: 菊地デイル万次郎)



図4. ウトウのヒナのエサから採集した尾叉長100mm前後のサケ幼稚魚(写真: 菊地デイル万次郎)

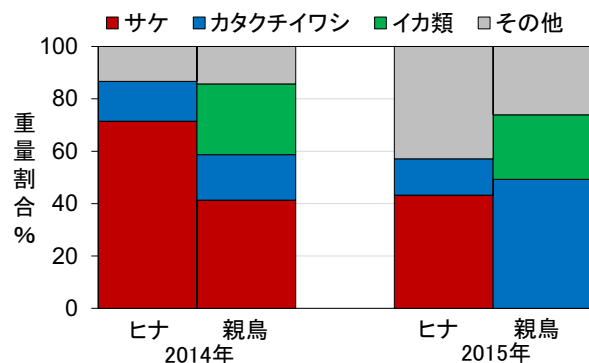


図5. 2014年と2015年の大黒島におけるウトウの親鳥とヒナのエサ構成(Okado et al. 2020をもとに作図)

その結果、サケ幼稚魚の捕食量は、2014年が316.6t(幼稚魚1個体の重量で割ると、3,909万個体)、2015年が11.7t(145万個体)と推定されました。これらの推定捕食数は、各年に北海道太平洋側から放流された幼稚魚数(4.2-4.3億個体)の9.2%および0.3%に相当します。2015年のサケ捕食量が少ないのは、親鳥自身のエサにサケが含まれなかったためです。親鳥の全捕食量は、ヒナの全エサ量の25-26倍であり、集団の捕食量には親鳥自身のエサが大きく影響します。この捕食量は、さまざまな仮定を置いて推定したものです。誤差はもちろんあると思いますが、ウトウは年によっては、降海直後の減耗をくぐり抜けて回遊をはじめたサケ幼稚魚にとって、主要な捕食者であることがわかりました。

大黒島以外での捕食

北海道周辺では、太平洋側の大黒島以外にも、日本海側のトド島、天売島、松前小島などでウト

ウが繁殖しています(図2)。では、これらの島でもウトウはサケ幼稚魚をよく食べているのでしょうか。私たちは、2016-2017年に大黒島を含めた4島でヒナのためのエサの採集を行い、いずれの島のウトウもサケを利用していることを確かめました(大門ら 2021)。ただし、エサにサケが含まれた割合は大黒島では 53.8-73.8%であった一方、それ以外の3島では 0.4-5.1%とわずかでした。これは北海道の日本海側で放流されるサケ幼稚魚の数(約2億個体)が、太平洋側(約4億個体)に比べて少ないことが関係するのかもしれません。

おわりに

今回の研究は、ウトウが、回遊中のサケ幼稚魚の主要な捕食者であることを示唆しました。しかし、ウトウによる捕食が、各地域のサケの回帰率を左右するような影響を持つのかは検証できていません。サケでは、集団の中でも成長のよい個体や、サイズの大きい個体が生き残りやすいことがしばしば示されています(たとえば Honda et al. 2017; Hasegawa et al. 2021)。また、ウトウが捕食したサケ科幼稚魚は集団の中でも比較的サイズが小さくやせている個体のようだ、という報告もあります(Tucker et al. 2016)。つまり、ウトウが捕食するサケは、そこで食べられるかどうかに関わらず、いずれは死亡する可能性が高かった個体なのかもしれません。今後は、ウトウがどのような環境条件(海水温、他のエサの有無など)で、どんな特徴のサケを捕食するのか、また、その捕食量の増減と回帰率の関係などを詳しく検証していく必要があるでしょう。

勘の鋭い方はすでにお気づきかもしれませんが、この研究は最初から狙ったわけではなく、偶然生まれたものです。最初に調査を行った2014年当時、私は別の研究テーマで卒業研究を行っており、その調査の一環で大黒島に来ていました。そのため、サケが大量に採集された際も、ああ、サケが大黒島のウトウのエサなんだ、くらいにしか思っていないませんでした。ところが、キャンプ地で指導教員の綿貫豊さんとウイスキーを飲みながら話していた際に、このサケはどこから来たのか、という話になり、気づけば、耳石温度標識の分析、さらには被食数の推定に取り組んでいました。人生の分岐点をたどればキリがないのですが、あのとき、大黒島のウトウがサケを食べていなければ、私が現在の職場で働かせていただくことはなかったでしょう。ウトウ、サケ、そして多くの方がつないでくれた縁に感謝し、少しでもその恩を返せるようにコツコツ頑張りたいと思います。

引用文献

- Hasegawa, K., Honda, K., Yoshiyama, T., Suzuki, K., and Fukui, S. 2021. Small biased body size of salmon fry preyed upon by piscivorous fish in riverine and marine habitats. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 78: 631-638.
- Honda, K., Kawakami, T., Suzuki, K., Watanabe, K., and Saito, T. 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.
- 入江隆彦. 1990. 海洋生活初期のサケ稚魚の回遊に関する生態学的研究. 西水研研報. 68: 1-142.
- Nagasawa, K. 1998. Fish and seabird predation on juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in Japanese coastal waters, and an evaluation of the impact. *N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull.*, 480-495.
- 大門純平・伊藤元裕・綿貫 豊. 2019. 北海道大黒島における海鳥の現状. 山階鳥学誌. 51: 95-104.
- Okado, J., Koshino, Y., Kudo, H., and Watanuki, Y. 2020. Consumption of juvenile chum salmon by a seabird species during early sea life. *Fish. Res.*, 222: 105415.
- 大門純平・伊藤元裕・長谷部 真・庄子晶子・林はるか・佐藤信彦・越野陽介・渡辺謙太・桑江朝比呂・綿貫 豊. 2021. 北海道周辺の4つのウトウ繁殖地における餌および雛の体重の違い. 日鳥学誌. 70: 37-51.
- Quinn, T.P. 2018. The behavior and ecology of Pacific salmon and trout, second edition. University of Washington Press, Seattle. 547 pp.
- Saito, T., Kaga, T., Hasegawa, E., and Nagasawa, K. 2011. Effects of juvenile size at release and early marine growth on adult return rates for Hokkaido chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in relation to sea surface temperature. *Fish. Oceanogr.*, 20: 278-293.
- Sato, T., Yabuhara, Y., Okado, J., Watanuki, Y., Yamauchi, A., and Kawaguchi, Y. 2022. At-Sea habitat use of rhinoceros auklets breeding in the shelf region of eastern Hokkaido. *Zoolog. Sci.*, 39: 261-269.
- Tucker, S., Hipfner, J.M., and Trudel, M. 2016. Size- and condition-dependent predation: A seabird disproportionately targets substandard individual juvenile salmon. *Ecology*, 97: 461-471.
- Urawa, S., Beacham, T.D., Fukuwaka, M., and Kaeriyama, M. 2018. Ocean ecology of chum salmon. In *Ocean ecology of Pacific salmon and trout* (edited by R.J. Beamish), American Fisheries Society, Bethesda. pp. 161-317.

トピックス

本州日本海由来サケ稚魚の移動経路～山形県から放流されたサケ稚魚を宗谷海峡で初確認～

いまい けんご (水産資源研究所さけます部門 資源増殖部)

はじめに

春に日本各地の河川から降海したサケ稚魚たちは、夏から秋をオホーツク海で過ごした後、ベーリング海、北太平洋東部を回遊し、再び生まれた河川へ帰ってくると考えられています(浦和 2000)。また、各地域からオホーツク海へ至るまでの回遊経路については、北海道の各河川を降海した稚魚は降海後沿岸を通過してオホーツク海へ、本州太平洋由来の稚魚は沿岸を北上し北海道太平洋岸を通過してオホーツク海へ、本州日本海由来の稚魚は北海道日本海側へ出る群と津軽海峡を通過し太平洋側へ出る群に分かれ、それぞれ沿岸を移動しオホーツク海へ達すると想定されています(入江 1990)。

近年、耳石温度標識技術が導入され、大量の放流稚魚に標識が付けられるようになったことから(浦和 2001)、沿岸域で採集された稚魚が、どのふ化場から、いつ、どんなサイズで放流されたかが解るようになり、沿岸における回遊の実態が把握できるようになってきました。ここでは、2021年に宗谷港で行った稚魚採集調査において過去に推定された回遊経路の裏付けとなる結果が得られたので紹介します。

北海道沿岸におけるサケ稚魚追跡調査

水産資源研究所さけます部門では、水産庁委託事業により、サケ稚魚の移動時期・経路・体サイズの変遷などを把握するため、北海道沿岸域において幼稚魚採集調査を実施しています。北海道のいくつかの定点で行われている稚魚採集調査のひとつ、宗谷海峡に面する宗谷港での採集調査では、毎年、5月から6月にかけて、夜間に集魚灯下でたも網を用いて稚魚を採集しています(図 1,2)。

港内における稚魚採集調査では近隣河川から降海したと思われる小型の稚魚が多く採集される傾向にありますが、宗谷港では少し離れた北海道日本海側の天塩川や石狩川で放流されたサケ標識魚やカラフトマス稚魚なども採集されます(図 3)。宗谷海峡における調査は 2015 年から実施しており、当初は宗谷港内の採集調査に加えて宗谷岬周辺で曳網による採集調査を実施していましたが、曳網調査ではほとんど稚魚を採集することができ

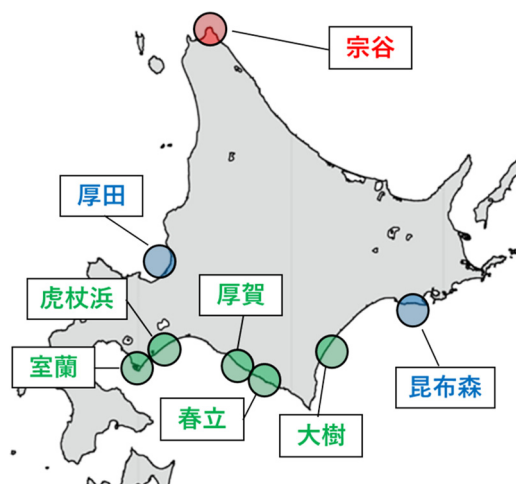


図 1. さけます稚魚採集調査地点
地点○の青は曳き網、赤は港内、緑は春定置網内でのたも網採集。

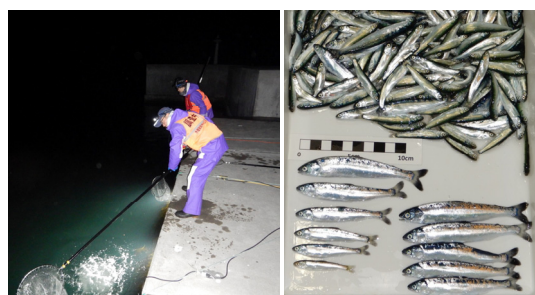


図 2. 宗谷港採集調査の様子(左)と 5 月 27 日に採集された幼稚魚(右)

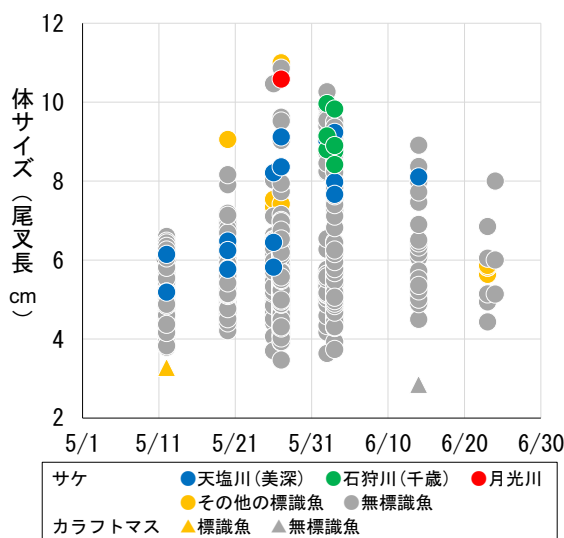


図 3. 2021 年春に宗谷港で採集されたさけます稚魚の体サイズおよび由来

なかったことから、現在は港内でのみ調査を継続しています。

本州日本海由来サケ稚魚の再捕

本州日本海側を起源とするサケ標識稚魚については、これまで北海道太平洋側の調査定点である虎杖浜、厚賀、春立で、秋田県川袋川や山形県月光川などから放流された稚魚の再捕が報告されていますが、北海道日本海側での再捕報告はありませんでした（表 1）。宗谷港での調査開始から 7 年目の 2021 年 5 月 27 日、ようやく本州日本海由来の標識魚が発見されました。この個体は山形県月光川由来で、再捕時のサイズは、尾叉長 10.6 cm、体重は 11.94 g あり、同年に採集された稚魚の中でも非常に大きな個体でした。この標識は 3 月 26 日に平均 0.86 g で放流された群と 3 月 29 日に平均 1.01 g で放流された群に付けられており、再捕された標識魚がいずれの放流群に属するのかわかりませんが、放流からおおよそ 60 日で約 12 倍に成長したことがわかりました。この個体は月光川から宗谷岬までの直線距離約 780 km を北海道日本海側を通して移動したと考えられ（図 4）、入江（1990）が推定した本州日本海由来の稚魚の北海道日本海側への移動経路が正しいことを立証する重要な結果が得られました。

おわりに

北海道日本海側で本州日本海由来の稚魚がなかなか採集できない原因としては、北海道太平洋側に比べて採集地点が少ないこと、採集数が少ないことが考えられますが、実際に津軽海峡を通過する稚魚の方が多いのかも知れません。なお、2022 年にも調査を実施し、サケ 1,192 尾、カラフトマス 20 尾を採集しましたが、解析した結果、本州日本海由来の耳石標識魚は再捕されませんでした。今後、さらに本州日本海由来の稚魚が発見されサンプル数も増えていくと、稚魚の回遊の実態がより鮮明になっていくでしょう。

引用文献

- 北海道区水産研究所. 2014. 沿岸定置網春期稚魚調査. 平成 25 年度太平洋サケ資源回復調査委託事業調査報告書, 3-29.
- 北海道区水産研究所. 2016. 春定置に混入するサケ稚魚モニタリング調査. 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, 35-43.
- 北海道区水産研究所. 2018. 春定置に混入するサケ稚魚モニタリング調査. 平成 29 年度サケ資源回帰率向上調査事業調査報告書, 68-83.

表 1. 調査地点における本州日本海由来サケ標識魚の由来県と再捕数（北海道区水産研究所 2014, 2016, 2018, 2019, 2020）例えば「青森 1」は、青森県の河川から放流された稚魚が 1 尾再捕されたことを示す。

調査年	宗谷	虎杖浜	厚賀	春立
2013		青森1		秋田1
2014				
2015				秋田2
2016				
2017			秋田1	
2018			秋田1, 山形2	
2019			秋田1, 富山1	秋田5, 山形4
2020				
2021	山形1			

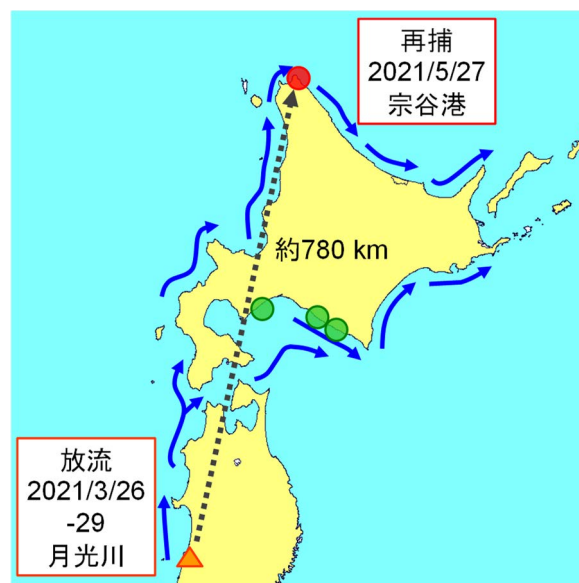


図 4. 本州日本海由来サケ稚魚の再捕地点（○）と移動経路（青矢印）の想定図（入江 1990 を改変）

北海道区水産研究所. 2019. 北海道における沿岸環境・幼稚魚追跡調査（厚田、昆布森、えりも以西・以東定置網、宗谷海峡）. 平成 30 年度さけ・ますふ化放流抜本対策事業調査報告書, 22-70.

北海道区水産研究所. 2020. 北海道における沿岸環境・幼稚魚追跡調査（厚田、昆布森、えりも以西・以東定置網、宗谷海峡）. 令和元年度さけ・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, 40-92.

入江隆彦. 1990. 海洋生活初期のサケ稚魚の回遊に関する生態学的研究. 西海区水産研究所研究報告, 68:1-142.

浦和茂彦. 2000. 日本系サケの回遊経路と今後の研究課題. さけ・ます資源管理センターニュース, 5:3-9.

浦和茂彦. 2001. さけ・ます類の耳石標識：技術と応用 さけ・ます資源管理センターニュース, 7:3-11.

究所さけます部門（当時の水産総合研究センターさけますセンター）は、石狩川上流に個体群を復元させようと、2009 年から 2011 年にかけて大規模な標識放流試験を実施しました。石狩川上流域の取り組みについては、SALMON 情報第 14 号で紹介されています。

豊平川

1800 年代後半の豊平川は、流れが蛇行し、流路がいくつにも分かれた網状流路が発達し、扇状地が作られていました。扇状地は、勾配がきつくと、砂礫によって構成されているため、降った雨水は地下に浸透し、扇状地が終わる扇端部から湧き水が出ていました。札幌市内の約 1,000 年前の河川跡の遺跡からは、サケの骨やテシと呼ばれる捕獲施設が出土されており、古くから多くのサケが遡上し、人々に利用されていました。かつて多数のサケが遡上した石狩川の河口は、蝦夷地随一のサケの一大漁場でした。豊平川は、1878 年にサケの人工ふ化試験が実施されたり、産卵を保護する目的で種川（サケの自然産卵を保護する河川）に指定されたこともありましたが、1937 年～1953 年にはふ化事業が行われていましたが、札幌市の人口増加に伴う水質の悪化や飼育水の不足により、増殖事業は終了しました。その後、下水道の整備により豊平川の水質は改善されましたが、すぐにはサケの遡上は回復しませんでした。そこで、1978 年に札幌にサケを呼び戻そうという市民運動（カムバックサーモン運動）が起きました。当時は増殖河川以外へのサケの放流は前例がなく、市民による都市河川への放流の道のりは困難を極めました。有志の熱意と市民の盛り上がり、関係機関の連携により、1979 年に札幌市民による稚魚放流が実現しました。

現在、豊平川と支流の真駒内川を含め、年間 1,000 尾～2,000 尾の親ザケが遡上し、全て自然産卵します（図 3）。2003 年級から 2006 年級に実施した標識放流調査により、豊平川に遡上するサケ



図 3. 豊平川に遡上するサケと札幌の夜景（西野正史撮影）

の約 7 割が自然産卵由来の野生魚であることが判明しました（有賀ら 2014）。人口 190 万人が住む大都市にサケが遡上し、自然再生産していることは、世界的に見ても稀であり、豊平川のサケの将来を考えたとき、人間が手を加え続けなくても個体群が維持されることが望ましいという考えに至りました。そこで、市民、河川管理者、研究者、行政らが連携し、豊平川に野生のサケを増やすために『札幌ワイルドサーモンプロジェクト (Sapporo Wild Salmon Project: SWSP)』が発足しました。SWSP では、主に「放流数の順応的管理」、「自然産卵の環境改善」、「野生魚の普及啓発」を行っています。

豊平川での野生サケ保全の取り組み

これまで豊平川では、毎年約 20 万尾を目標に稚魚を放流していましたが、野生魚をさらに増やすため、放流数の削減を検討しました。放流数を削減した際の個体群の維持については未知であったため、遡上数の目標を定め、放流数の順応的管理を実施した際の豊平川サケ個体群の動向をシミュレーションにより検討しました（森田・有賀 2017）。その結果、放流を減らしても個体群は絶滅せず、目標となる遡上数が達成されることが予測されたため、2016 年から稚魚の放流は、採卵実習や体験放流など市民が関わる「普及放流」のみの約 8 万尾に減らしました。さらに、回帰した親ザケの野生魚割合をモニタリングするため、すべての放流魚に耳石温度標識を施標しています。札幌市豊平川さけ科学館と水産資源研究所との間で共同研究契約を結び、施標状態やサンプリング個体の耳石確認や技術指導の協力を受けています。また、豊平川では、遡上するサケの数と産卵場所の把握のため、1990 年以降、産卵床調査を続けており、産卵後のホッチャレ（死体魚）から、雌雄、年齢、尾叉長等を記録し、DNA 標本、耳石を採取しています。さらに、自然産卵から生まれる野生稚魚の降下数を調べるため、2016 年から降下する稚魚の調査を始めています。自然産卵による再生産が成功しているかは、今後もモニタリング調査を続け、検証する必要があると考えています。

自然産卵由来のサケが半数以上を占めますが、過去の調査で卵から稚魚までの生存率は平均 12% で、自然河川の千歳川の半分程度しか生き残らない結果でした（有賀ら 2014）。豊平川におけるサケの自然産卵環境は、遡上の障害となっていた床止めには魚道が付けられ、1994 年から 1999 年にかけて大きく広がりましたが、近年、上流域での河床高は低下する傾向にあり、産卵範囲は狭くなっています。また、サケの産卵が集中する下流域では、河川地形の変化により、産卵適地が減少し

ました(有賀ら 2021)。そこで、SWSP では、目詰まりした河床を耕起してサケが河床を掘りやすくしたり、後期群の産卵が集中していた分流を復元させたりする、産卵環境改善の取り組みを 2015 年から行っています。重機を使った流路の復元は、河川工事を請け負う施工業者の地域貢献(ボランティア活動)で実施されています。この取り組みは、河川管理者、施工業者、研究機関などが『豊平川に野生のサケを増やしたい』という同じ思いの中で協同したことにより実現しています(図4)。野生サケの保全のためには、野生サケの存在を知り、将来のサケのあり方について共に議論する市民を増やすことが重要であると考えています。そのためには、札幌市内でサケが遡上し、自然産卵の様子を実際に見て、感動してもらうことが一番であると考え、水辺を歩きながら、サケの生態や、産卵環境改善の取り組みなどを紹介するイベ



図4. サケの産卵環境改善の取り組み
河川管理者、工事業者、研究者らが、サケの自然産卵のためにできることを模索し、調整、工事、調査など、それぞれができることを実施する。

ントを実施しています。また、川で見つけたサケの情報を集める市民参加型サケ調査「みんなでサケさがそ！」(<https://www.sapporo-wild-salmon-project.com/minnadesakesagaso/>) ※下記参照」を 2015 年から運営しています。2022 年までに寄せられた情報からは、石狩川水系では、上記の河川以外にも、内大部川、総富地川、須部都川、茂漁川、漁川、厚別川、山鼻川、創成川などにもサケが遡上していることが確認されています(図1)。石狩川の多くの支流でサケの自然再生産が見られることは、流域全体のサケ個体群にとって重要であると考えます。各河川の産卵環境が今後も維持されることを期待したいです。

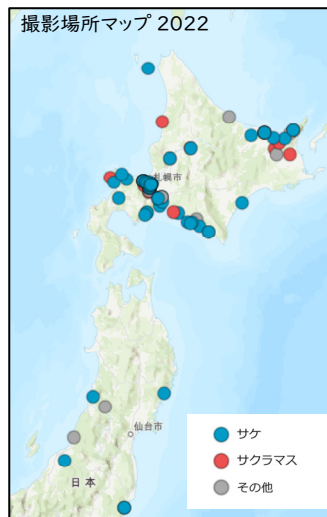
引用文献

- 有賀 誠・山田直佳・伊藤洋満・有賀 望・宮下和士. 2012. 石狩川上流におけるサケ *Oncorhynchus keta* の自然産卵—大規模放流個体群回帰前の実態—. 旭川市博物科学館研究報告, 6: 21-36.
- 有賀 望・森田健太郎・鈴木俊哉・佐藤信洋・岡本康寿・大熊一正. 2014. 大都市を流れる豊平川におけるサケ *Oncorhynchus keta* の野生個体群存続可能性の評価. 日本水産学会誌, 80: 946-955.
- 有賀 望・森田健太郎・有賀 誠・植田和俊・渡辺恵三・中村太士. 2021. 大都市を流れる豊平川における河川地形の経年変化とサケ産卵環境への影響について. 応用生態工学, 23-2: 295-307.
- 森田健太郎・平間美信・宮内康行・高橋 悟・大貫努・大熊一正. 2013. 北海道千歳川におけるサケの自然再生産効率. 日本水産学会誌, 70: 718-720.
- 森田健太郎・有賀 望. 2017. オペレーティングモデルを用いた豊平川のサケ放流数を決める管理方式の検討—野生魚保全と個体数維持の両立を目指して—. 保全生態学研究, 22: 275-287.



川に遡上したサケは、釣ったり、捕ったりすることが禁止されているため、一般市民にとって身近に感じにくいですが、サケは誰もが知っている魚で、大きく、浅瀬での産卵行動は河岸や橋の上から見つけやすく、写真にも写しやすいです。また、スマートフォンを利用して撮影すれば、位置情報も簡単につけることができます。

そこで、川でサケを探し、見つけたら、写真や動画を投稿してもらうシステムを作りました。参加する人には、サケに愛着を持ち、身近に感じてもらえ、その情報を見たより多くの人の関心につながると期待しています。



さけます情報

北太平洋と日本におけるさけます類の資源と増殖

そとやま よしのり
外山 義典 (水産資源研究所 さけます部門 資源増殖部)

2021 年の北太平洋

漁獲数

2022 年に公表された NPAFC 統計データによると、2021 年 1-12 月の北太平洋におけるさけます類の漁獲数は 6 億 6,015 万尾で、前年 3 億 2,252 万尾の 205%でした (図 1A)。

魚種別に見ると、カラフトマスが 5 億 2,721 万尾で最も多く、全体の 80% (前年比 260%) を占めています。次いでベニザケが 7,083 万尾 (構成比 11%, 前年比 119%), サケが 5,476 万尾 (構成比 8%, 前年比 103%) と続き、これら 3 魚種で全体の約 99%を占めています (図 1A)。地域別では、ロシアが 4 億 394 万尾 (前年比 226%) と最も多く、次いでアラスカが 2 億 3,531 万尾 (前年比 198%) と両地域で全体の 96%以上を占めています。

す。以下、日本 1,836 万尾 (前年比 85%), アラスカ以外の米国 (ワシントン, オレゴン, カリフォルニア, アイダホ州) 181 万尾 (前年比 215%) カナダ 66.8 万尾 (前年比 27%), 韓国 6.8 万尾 (前年比 125%) と続いています。ロシアとアメリカ, 韓国の漁獲数は増加しましたが、日本とカナダは前年に比べて減少し、近年の減少傾向が目立ちます (図 1B)。

人工ふ化放流数

2021 年 1-12 月に各国から人工ふ化放流された幼稚魚数は 50 億 71 万尾で、前年 50 億 9,884 万尾の 98%でした (図 1C)。

魚種別ではサケが 32 億 7,243 万尾で全体の 65% を占め、これに次ぐカラフトマス 12 億 2,650 万尾と合わせると全体の 90%近くを占めます (図 1C)。

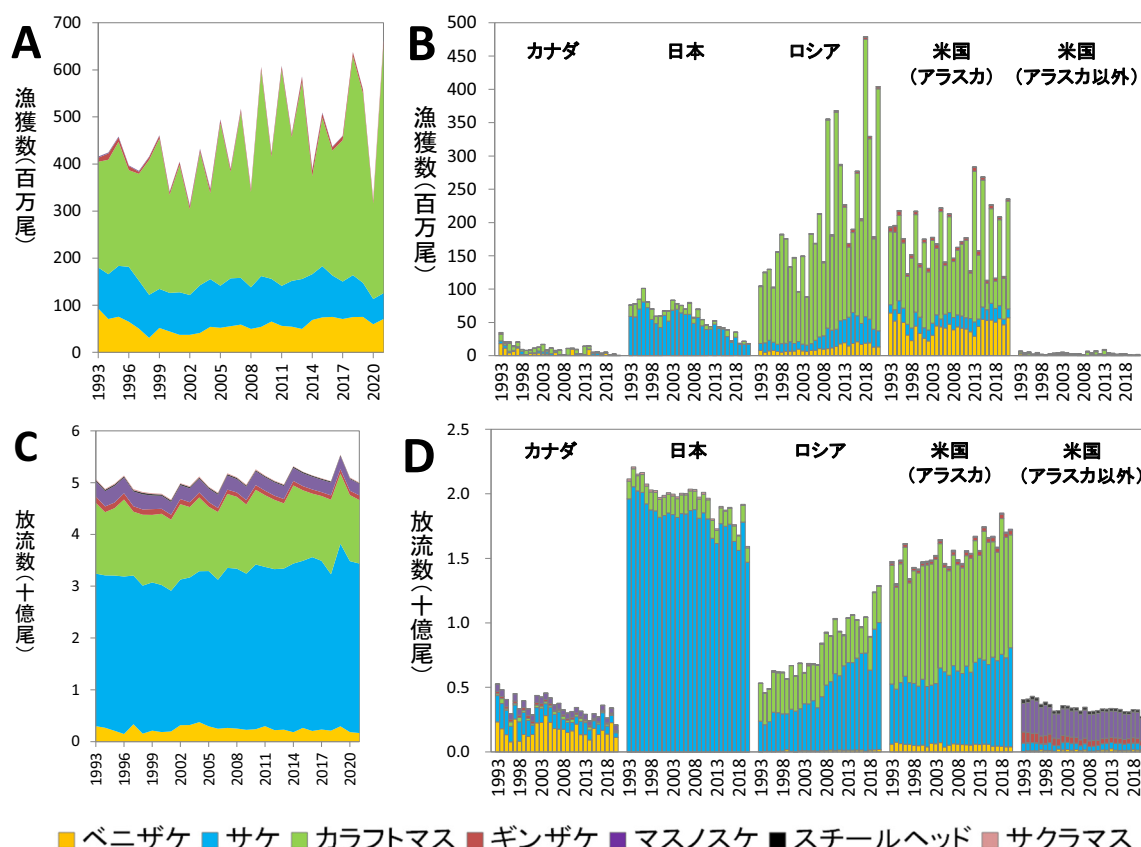


図 1. 北太平洋におけるさけます類の魚種別漁獲数 (A), 地域別魚種別の漁獲数 (B), 魚種別人工ふ化放流数 (C) 及び地域別魚種別の人工ふ化放流数 (D)

A 及び B は「NPAFC Pacific salmonid catch statistics (updated 21 June 2022)」, C 及び D は「NPAFC Pacific salmonid hatchery release statistics (updated 21 June 2022)」より作成 (参照 2022-11-8)。アラスカ以外の米国はワシントン, オレゴン, カリフォルニア, アイダホ州の合計。韓国は他国に比べ漁獲尾数・放流尾数とも僅かなため図中では省略。

地域別ではアラスカ 16 億 7,858 万尾、日本が 15 億 2,116 万尾、ロシア 13 億 1,736 万尾、アラスカ以外の米国 2 億 7,502 万尾、カナダ 1 億 9,822 万尾、韓国 1,038 万尾となっています（図 1D）。

2022 年漁期の日本

サケ

2022 年漁期（2022 年 8 月～2023 年 2 月）の来遊数（沿岸漁獲と河川捕獲の合計）は 1 月 31 日現在 3,431 万尾（前年同期比 178%）で、7 年ぶりに 3,000 万尾を超えました（図 2）。このうち北海道では 3,347 万尾（前年同期比 180%）、本州太平洋側では 39 万尾（前年同期比 116%）、本州日本海側では 45 万尾（前年同期比 151%）と、いずれも前年を上回っていますが、本州は引き続き低い水準となっています。採卵数は 1 月 31 日現在で 15 億 3,610 万粒（前年同期比 132%）となっており、放流数は計画（12 億 8,381 万尾）を上回ることが見込まれます。

カラフトマス

カラフトマスは 2 年で回帰するため、偶数年級と奇数年級で異なる繁殖集団を形成していると考えられます。主産地の北海道における来遊数の動向を見ると、偶数年級の来遊数は 2016 年に増加しましたが、2018 年から減少傾向を示し、2022 年漁期（2022 年 7 月～11 月）は 57 万尾（前年比 68%）と、1974 年以降で最低の来遊数となりました（図 3）。奇数年級は 2007 年以降減少傾向を示しており、2021 年は 84 万尾となりました。採卵数は 2,799 万粒で計画数の 18%となっており、放流数も計画（1 億 2,540 万尾）を大きく下回ると見込まれます。

サクラマス

2022 年漁期の北海道における河川捕獲数は 11,471 尾（前年比 90%）となり、2000 年以降の平均の 107%となりました。地域別には、オホーツク海区で前年比 151%、日本海区で 58%、根室海区で 181%、えりも以西海区で 16%と、オホーツク海区と根室海区では前年を上回りましたが、日本海区とえりも以西海区では前年を大きく下回りました。採卵数は 683.8 万粒で、計画数の 105%となりました。なお、2022 年漁期の本州河川捕獲数については現在確認中です（図 4）。

ベニザケ

2022 年漁期の北海道 3 河川（安平川・静内川・釧路川）における河川捕獲数は 699 尾で前年比 110%となりました。

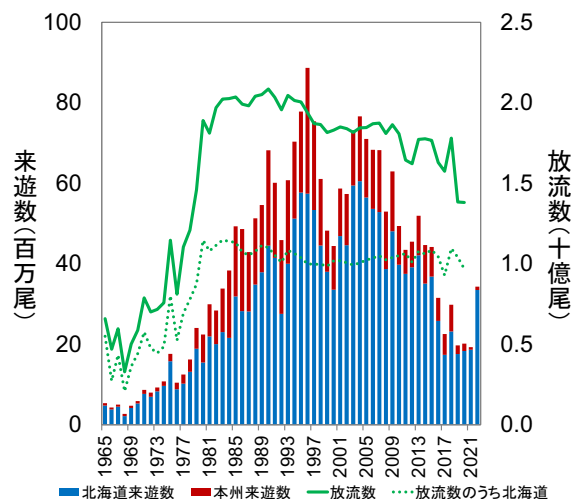


図2. 日本におけるサケの来遊数と人工ふ化放流数（2022 年漁期来遊数は 1 月 31 日現在）

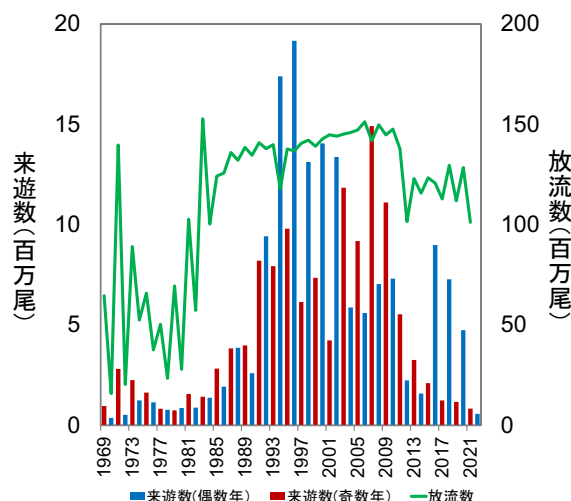


図3. 日本におけるカラフトマスの来遊数と人工ふ化放流数

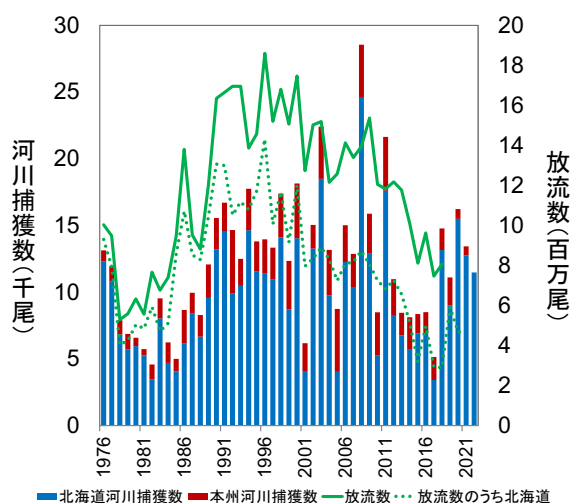


図4. 日本におけるサクラマスの河川捕獲数と人工ふ化放流数（2022年漁期の本州河川捕獲数は確認中）

コラム

サケと「SDGs」～これまでの貢献とこれからの課題～

ふじい てつお

藤井 徹生（水産資源研究所 さけます部門長）



「人類の進歩と調和」という言葉をご存知でしょうか。昭和 45 年に大阪で開催された万国博覧会のテーマです。近年、国連が定めた持続可能な開発目標（SDGs）に則った取り組みが盛んになっていますが、「進歩と調和」という考え方は、SDGs を先取りしたものであったと感じています。当時小学校低学年であった筆者は、「進歩と調和」という言葉を通して、公害も交通事故もない、戦争も貧富の差もない未来を夢見ていました。その頃に出会った言葉が「つくり育てる漁業」でした。当時は日本の漁獲量は右肩上がりの時代でしたが、「とる漁業から育てる漁業へ」というタイトルで、サケのふ化放流、栽培漁業、そして養殖について述べられていたことを鮮明に覚えています。これが筆者の原点です。昭和 40 年代末のオイルショックと食糧危機、さらに昭和 50 年代に入っのいわゆる「200 海里時代」の到来にますます意を強くした筆者は、迷わず水産の道に進み、増殖分野を志したのでした。

就職してから約 30 年間、日本海、瀬戸内海、そして東南アジアで「つくり育てる漁業」に関わってきました。その間、ずっと目標にしてきたのがサケでした。長い間、サケの回帰率（放流尾数に対する帰ってきたサケの割合）は全国平均で 3% くらいが相場でした。自然の再生産では、1 対の親魚から約 3,000 粒の卵が産み出され、2 尾が帰って来れば資源は維持されます。ふ化放流事業では、3,000 粒の卵から約 2,500 尾の稚魚が生産され、75 尾が帰って来れば回帰率 3% です。近年、全国平均の回帰率は 1% 台前半にまで低下しましたが、それでも 1 対の親魚から 30 尾くらいが帰って来ていることになります。1 g で放流された稚魚は、3 kg（3 千倍！）になって帰って来ます。平成の終わり頃には全国で年間約 16 ～ 18 億尾（1 尾 1 g として約 1.6 ～ 1.8 千トン）のサケ稚魚が放流されましたが、これが令和 3 年は 5 万トン、令和 4 年は 8 万トンになって帰って来ました。サーモン養殖は飼料転換効率が高いことが知られていますが、それでも 8 万トンを生産するためには 10 万トンくらいの配合飼料が必要になります。一方、18 億尾の稚魚を仕立てるのに必要な配合飼料は 2 千トンくらいです。自然の恩恵の大きさに驚くばかりです。自然の恩恵にあずかる生産方式というのは得てして費用対効果に問題を抱える場合が多いのですが、サケのふ化放流事業は漁業者が漁獲金額の数%を拠出することで成り立ってきました。これまで栽培漁業の費用対効果の計算で冷や汗を流し続けてきた身からすると、夢のような世界です。

このように、サケのふ化放流は「つくり育てる漁業」のトップランナーであり優等生であり続けてきたのですが、近年いくつかの壁にぶつかっています。先ほども述べましたように、平成 12 年前後には全国平均の回帰率が 4% を超えた年もありましたが、平成 28 年以降は 1% 台に低迷しています。特に北海道の根室地区から本州の太平洋沿岸にかけての低下が著しくなっています。その大きな原因は、近年の海洋環境の変化だと考えています。サケは冷たい水を好む魚ですが、長い目で見て我が国周辺を含む北太平洋の海水温は上昇しており、特にこの 10 年くらいは大きく上昇しています。太平洋を挟んだ反対側、カナダやアメリカ本土でもサケの漁獲量は減少傾向です。我が国周辺では、特に北日本の太平洋沿岸において親潮の勢いが弱まるとともに、黒潮や対馬暖流に由来する暖かい水が沿岸を覆うことが多くなり、サケ稚魚の放流適期が短くなってきています。これまで培ってきた放流適期、放流適サイズの考え方が通用しなくなっているのです。また、放流されたサケは自然の恵みを受けて育つため、人間が餌を与える必要はありませんが、海の中の生物を食べて育ちます。沿岸だけでなく、オホーツク海やベーリング海、はたまたアラスカ湾においても、餌が十分でないといけません。さらに、ふ化放流がサケにおよぼす遺伝的な影響にも注目が集まっています。サケのふ化放流が真に「持続的」であるためには、これらの壁を越えていかねばなりません。

私たち水産研究・教育機構では、水産資源保護法に定められた個体群維持のためのふ化放流だけでなく、環境変化に適応したふ化放流技術の開発、沿岸や沖合（ベーリング海も含む）の環境の調査、野生魚も活用した資源回復に関する研究などに取り組んでいます。サケの「つくり育てる漁業」が真に持続的なものになるように、子々孫々にわたって美味しいサケを食べられるように努めてまいりますので、これからもご指導、ご鞭撻をよろしくお願いいたします。



写真：比布大橋付近から旭川市を流れる石狩川上流（右上），札幌市内を流れる石狩川支流豊平川（左，写真提供：豊平川さけ科学館）、水産資源研究所千歳さけます事業所構内を流れる石狩川支流千歳川（右下）
石狩川については，本誌 P32～34 の「さけの遡上(かえ)る川」で紹介していますので，ご覧ください。

発行：国立研究開発法人水産研究・教育機構

編集：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

〒062-0922 北海道札幌市豊平区中の島 2 条 2 丁目 4-1

TEL 代表 011-822-2131 資源増殖部 技術課 011-822-2161

FAX 代表 011-822-3342

URL <https://www2.fra.go.jp/xq/水産資源研究所/>

SALMON 情報 編集委員会（50 音順）

高橋昌也（委員長），江連睦子，佐藤恵久雄，長谷川功，福澤博明，八谷三和，吉田梓佐，渡邊久爾

本誌掲載記事，図，写真の無断転載を禁じます。
