

サケ放流手法の最適化を目指して

メタデータ	言語: Japanese
	出版者: 水産研究・教育機構
	公開日: 2024-07-03
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 斎藤, 寿彦
	メールアドレス:
	所属:
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2009581

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



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°C 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°C 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°C 以上の時期とされています。一方、沿岸表面海水温が 13°C 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°C 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

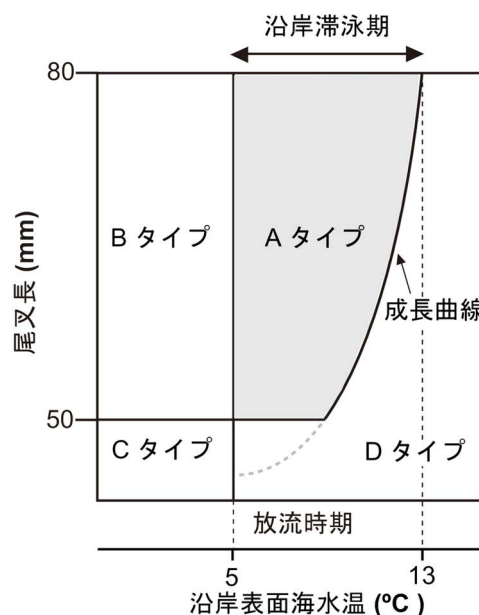


図 1. 既存の適期・適サイズ放流モデル
放流時期と放流サイズの組み合わせにより、放流は A~D の 4 タイプにカテゴリー分けが可能であり、A タイプの放流が望ましいとされる (Saito 2022 の Figure 1 を改変)。

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が、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)。

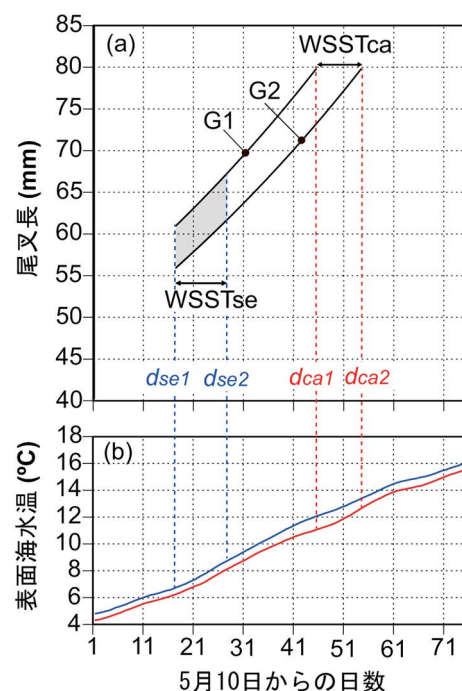


図 2. (a) 十勝川サケ 11 月採卵群を対象とした適期・適サイズ放流モデルの改変および (b) 幼稚魚の降海時期および道東昆布森沿岸域への到達時期の指標として用いた十勝川河口近傍の平均表面海水温 (青) と昆布森沿岸域の平均表面海水温 (赤) (2005~2015 年)
WSSSTse: 幼稚魚が降海する時の水温帯 $6.7-8.7^\circ\text{C}$, WSSSTca: 昆布森沿岸域に到達する時の水温帯 $11.0-12.8^\circ\text{C}$, dse1 および dse2: WSSSTse のそれぞれ初日および終日, dca1 および dca2: WSSSTca 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

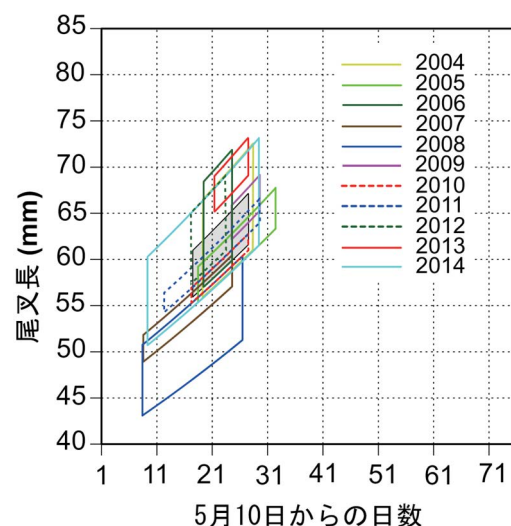


図 3. 十勝川サケ 11 月採卵群の 2004～2014 年級群が経験した 2005～2015 年の表面海水温に基づく作成した年級群別“適期・適サイズエリア”
グレイのエリア： 図 2 (a) に示した 2005～2015 年の平均表面海水温に基づく“適期・適サイズエリア”。2010～2012 年級群は耳石温度標識放流が実施されなかったことから破線でエリアを示した（Saito 2022 の Figure 6 を改変）。

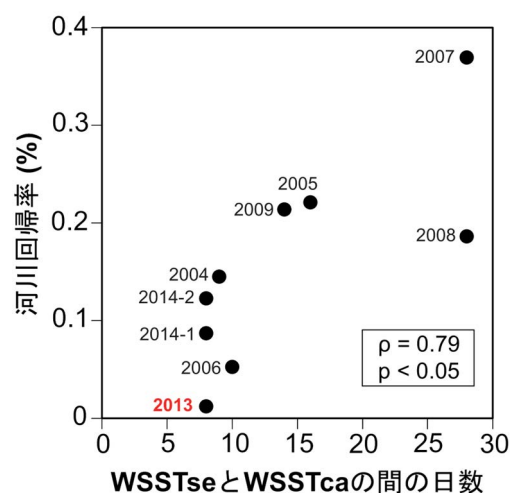


図 4. 十勝川サケ 11 月採卵群が幼稚魚時代に経験した、十勝川河口近傍の WSS Tse の期間と昆布森沿岸域の WSS Tca の期間の間の日数と、年級群別河川回帰率の関係
2014 年級群については耳石温度標識パターン異なる 2 群を 2014-1 および 2014-2 で表した（Saito 2022 の Figure 7 を改変）。

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.