

研究成果情報

本州日本海側のサケ回帰率を高める放流手法の検討
～いつ・何グラムで放流すればよいか～いいだ まさや
飯田 真也 (水産資源研究所水産資源研究センター 底魚資源部)

はじめに

日本のサケ *Oncorhynchus keta* 資源の管理方策として、野生魚の保全も注目されるようになってきたものの(森田 2020; 飯田 2022), 基本的にはふ化放流事業が重点的に行われています(渡邊・本多 2025)。本州日本海側(青森県-石川県, 以下, 当海域)におけるサケ放流は, 主に内水面漁業協同組合によって行われますが, 以下の課題から現行の放流規模を維持することが困難になってきました。サケの漁獲量が比較的少ない当海域では, 放流事業経費の大半を国や県からの補助金が占めていますが, それら補助金が減額しています(新潟県を図 1A に例示)。電気・餌代が近年高騰していることと相まって, 経営状況は年々厳しさを増しています。また, 内水面漁業協同組合に関しては, 組合員の 71% が 60 代以上と漁業従事者の中でも特に高齢化が進んでおり, 30 代以下は 5% と非常に少なく, 後継者不足も顕在化しています(玉置 2021)。実際, 当海域のサケ放流数は減少の一途をたどっており, 1991 年に 2.7 億尾だったのが 2023 年には 0.9 億尾と 35% まで低下しま

した(図 1B)。これら経営的課題を踏まえると, サケ放流数が今後増加傾向に転じるのは極めて困難と考えざるを得ません。当海域のサケ資源を持続的に利用していくためには, 放流数が減少しても親魚となって帰ってくるサケの数が維持されるよう, 放流サケの回帰率をよりいっそう高めていくことが大切です。

放流サケの回帰率を高めるには, その地域に適した環境およびサイズで放流することが重要であり, この概念を「放流適期・適サイズ」と言います(関 2013)。これを明らかにするには, 異なる環境条件, 異なるサイズで放流し, それら要因の違いが回帰率に与える影響を評価する必要がありますが, 残念ながら当海域では十分検討されてきませんでした。そこで, 本研究では環境条件として放流地先の沿岸水温に注目し, 放流時の沿岸水温および放流サイズが回帰率に与える影響を標識放流調査によって調べ, 当海域の「放流適期・適サイズ」, いつ・何グラムで放流すればよいかを検討しました(Iida 2024)。以下, 概要を紹介します。

耳石温度標識魚の放流と回帰率推定

新潟県三面川鮭産漁業協同組合および富山県庄川沿岸漁業協同組合連合会が運営するふ化場において, 2011–2016 年級を対象に耳石温度標識を施したサケ稚魚を放流しました。三面川および庄川のサケ平均捕獲数は当海域のベスト 3 に入り(1997–2021 年平均, 水産研究・教育機構 2025), 両河川は当海域を代表するサケ増殖河川です。標識魚の放流時期・サイズは河川および年級で異なり, 三面川では 2 月上旬から 3 月下旬に体重 0.86–1.16 g, 庄川では 1 月下旬から 3 月中旬に体重 0.34–0.75 g で放流しました。庄川では河川水と地下水の混合水で飼育されるため, 地下水のみが用いられる三面川に比べて飼育水温が低く, 放流サイズが小さくなりました。標識魚の放流数は年級で異なり, 三面川で 1.9–4.1 百万尾, 庄川で 0.4–4.2 百万尾でした。標識魚を放流後の 1 ヶ月間における地先の沿岸表層水温の平均値(以下, 沿岸水温)は三面川では 9.7–11.9°C, 庄川では 9.9–12.1°C でした。

続いて回帰率の推定方法を簡単に説明します。標識魚は 3–5 年後, 母川回帰します。2014–2020 年 10 月下旬から 12 月上旬(2016 年級 5 年魚は

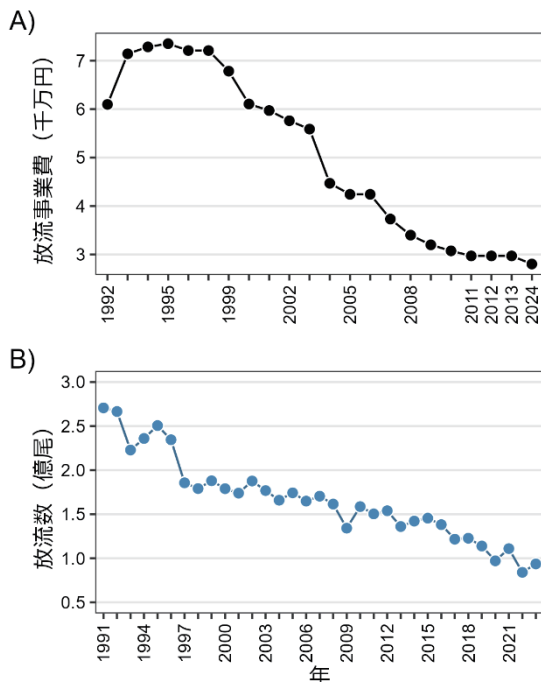


図 1. A) 1992–2024 年新潟県サケ増殖事業経費 (田嶋 2014; 新潟県農林水産業施策の概要)
B) 1991–2023 年本州日本海側(青森県-石川県)におけるサケ稚魚放流数(水産研究・教育機構 2025)

解析に含まれない), 両河川のウライで捕獲したサケ親魚 100 尾 (雌雄各 50 尾) について, 体長と体重を測定し, 鱗紋による年齢査定および耳石温度標識の査定を行いました。そして, 当該標識魚の年齢と耳石温度標識パターンから起源(いつ・何グラムで放流された標識グループ)を特定し, 各標識グループの年齢ごとの出現率を確かめました。調査句ごとに各標識グループの出現率と河川捕獲数を乗じ, それらを合算することで, 当該標識グループが3-5歳魚として回帰した尾数の合計を求めました。その合計を放流数で割った値を当該標識グループの回帰率と決めました。回帰率への影響要因を検討するため, 目的変数に対数変換した回帰率, 説明変数として沿岸水温および放流体重と放流河川の交互作用項を設定した一般線型モデルを構築しました。

回帰率と沿岸水温の関係

2011-2016 年級標識グループの推定回帰率は, 三面川では 0.06%-0.32%, 庄川では 0%-0.45% でした (図 2)。標識放流調査によって回帰率を確かめた先行研究では, 北海道で 0.01%-0.14% (實吉ら 2013; Nagata et al. 2016), 本州太平洋側で 0.03%-0.10% (佐々木ら 2018), 本州日本海側で 0.37%-1.02% (飯田ら 2018) であったことを報告しており, 本研究で得られた推定回帰率 (0%-0.45%) は先行研究の範囲内にありました。

サケは冷水性魚類であり, 稚魚が海に下ったタイミングでの好適水温は 5-13°C と考えられています (入江 1990, 関 2013)。本研究の標識魚を放流した時の沿岸水温 (9.7-12.1°C) は好適水温 (5-13°C) の範囲内にあったにも関わらず, 両河川の回帰率は沿岸水温が高いほど低下しました (図 3)。一般的に, 沿岸水温が回帰率に与える影響は海域によって異なり, 生息水温がもともと冷たい北方海域では沿岸水温が高いほど回帰率が高まり, 反対に暖かい南方海域では沿岸水温が高いほど回帰

率が低下する傾向にあると指摘されてきました (Mueter et al. 2002)。当海域はサケの分布南限にあたり, 対馬暖流の影響を受けるため, 沿岸水温が通年 8°C 以上あります (山本・今井 1990)。当海域では放流時の沿岸水温が好適水温の範囲内であっても水温がより低いタイミングで放流した方が回帰率は高まると考えられました。ただし, 本研究では沿岸水温が回帰率に影響を与えるメカニズムの解明には至っていません。本州太平洋側で行われた最新の研究では, サケ個体群増加率は海洋生活初期の沿岸水温と負の相関 ($r = -0.61, p = 0.005$), 餌となる動物プランクトン量と正の相関 ($r = 0.65, p < 0.01$) にあったものの, 沿岸水温と動物プランクトン量の間に関連が認められたために行った偏相関解析では動物プランクトン量とのみ有意な関係にあったことを指摘しています (Chang et al. 2025)。この指摘は回帰率が実質的に影響を受ける要因は沿岸水温でなく動物プランクトン量であることを示唆しており, 本州日本海側でも同様の検討を行うことが望まれます。

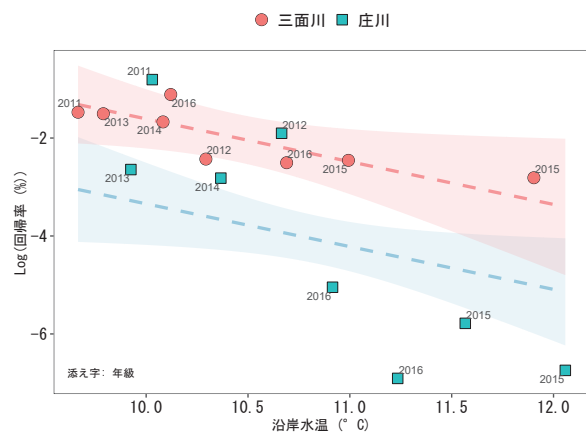


図 3. 対数変換した耳石温度標識グループの回帰率と放流時沿岸水温の関係
破線および帯は一般線形モデルに基づく平均的な体重で放流した時の回帰率の期待値と 95%信頼区間を示す (Iida 2024 の Fig. 4 を改変)。

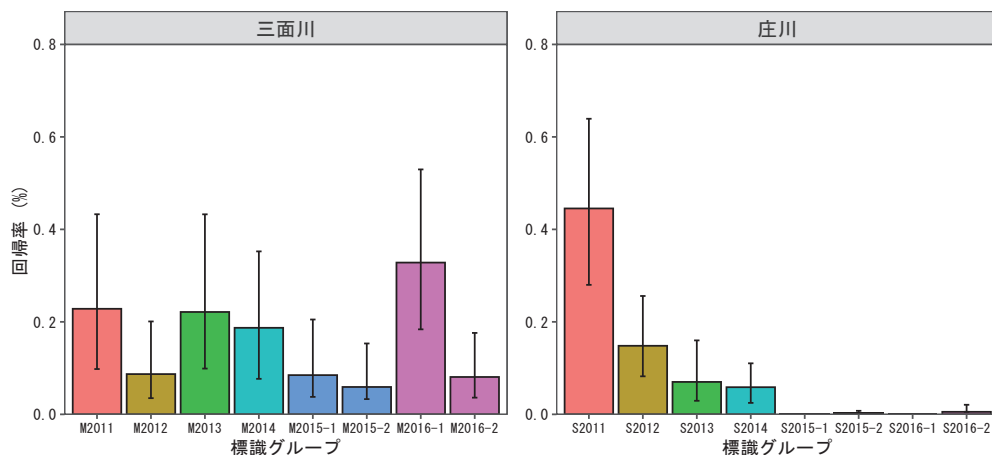


図 2. 新潟県三面川および富山県庄川に放流した 2011-2016 年級サケ耳石温度標識グループの回帰率
エラーバーはブートストラップ法に基づく 95%信頼区間 (Iida 2024 の Fig. 3 を改変)。

回帰率と放流体重の関係

回帰率は放流体重が重いほど高まる傾向にありました(図4)。先行研究では放流したサケ稚魚が小型なほど捕食者(大型魚類)に食べられやすかったと指摘しています(Hasegawa et al. 2021)。放流サケが被食されにくいよう、大きく育ててから放流した方が回帰率は高まると考えられました。ただし、三面川で認められるように、0.8 g以上で放流した場合、回帰率と放流体重の関係は明瞭でなく(図4破線の傾きが緩やか)、当海域では0.8 g以上にする必要性は低いと考えられました。なお、北海道では1 g以上のサケ稚魚を放流することが推奨されてきましたが(関 2013)、当海域では総じて施設能力(ふ化用水量や飼育池数による収容力)が高くないふ化場が多く、ひとまず0.8 gを目標サイズとすることは現実的と言えます。

回帰率を高める放流手法の検討

今回構築した一般線型モデルは、回帰率と沿岸水温(図3破線)および放流体重(図4破線)の関係を簡単な数式で表現します。この関係式に基づき、ある沿岸水温の時にある体重で放流した場合に期待される回帰率を逐次的に計算し、回帰率の期待値の等値線図を描きました(図5)。この等値線図に基づき、両河川における「放流適期・適サイズ」を検討しました。放流体重が0.8 g以上と比較的大きな稚魚を放流する三面川では、回帰率の等値線が垂直に近いことから分かるように、放流体重を0.8 g以上にしても回帰率を高める効果はあまり望めません(図5A)。したがって、稚魚が0.8 g以上に育っているのであれば、それ以上大きくする努力はせず、沿岸水温が暖くなる前に放流することが推奨されます。

三面川に比べて比較的小さな稚魚を放流する庄川では、回帰率の等値線が右肩上がりになっていることから分かるように、より大きく育てた稚魚を沿岸水温が低い時に放流することが求められます(図5B)。ただし、稚魚の大型化は飼育期間の延長、ひいては沿岸水温が高いタイミングでの放流に繋がりがかねません。庄川における「放流適期・適サイズ」を検討するのは非常に難しいのですが、体重が0.64 g以下だと、沿岸水温がいくら低くても0.1%以下の回帰率しか期待出来ないため、ひとまず0.7 g程度まで育てることを目指し、沿岸水温の立ち上がりが早そうだったら直ちに放流、立ち上がりが鈍そうであれば飼育を継続して大型にしてから放流する、といった考え方が推奨されます。

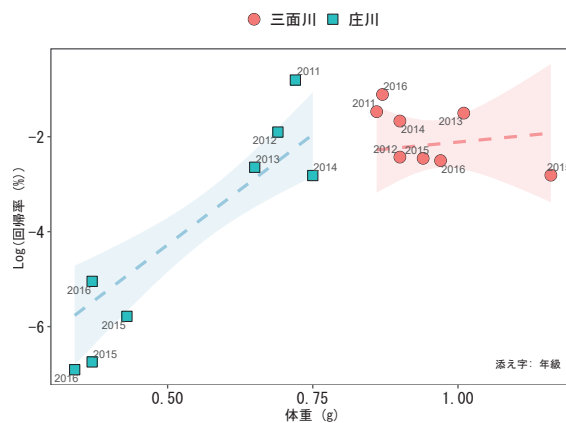


図4. 対数変換した耳石温度標識グループの回帰率と放流体重の関係
破線および帯は一般線形モデルに基づく平均的な沿岸水温で放流した時の回帰率の期待値と95%信頼区間を示す(lida 2024のFig. 5を改変)。

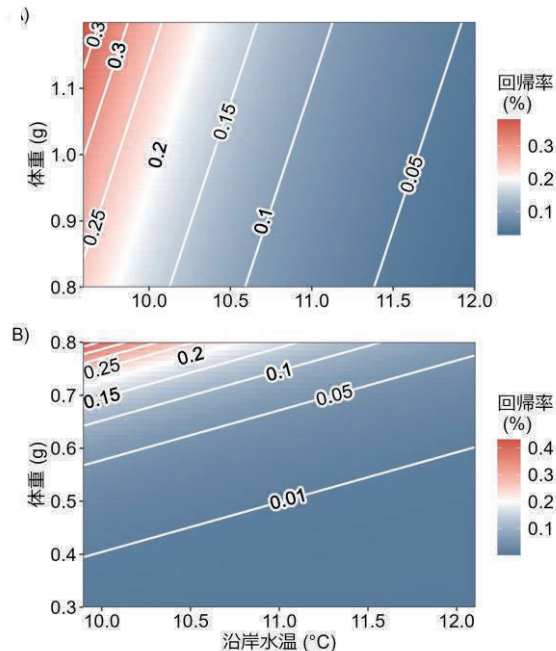


図5. 新潟県三面川(A)および富山県庄川(B)における放流時沿岸水温および放流体重の違いによる回帰率の等値線(lida 2024のFig. 6を改変)
例えば、三面川で体重1 gの稚魚を放流する時、沿岸水温が10°Cだと0.2%の回帰率が期待出来ることを表す。

結びに

本研究で得られた回帰率の等値線図(図5)は、沿岸水温が高ければ放流サケをいかに大きくしようと低い回帰率しか期待出来ないことを示しています(例えば、沿岸水温が11.5°C以上なら放流体重に関わらず0.1%未満の回帰率しか期待出来ない)。大陸に囲まれて閉鎖的な日本海は地球温暖化の影響を強く受け、表層水温の変化は全球では+0.5°C/100年であったのに対して日本海では+1.26-1.66°C/100年であったことが報告されてい

ます (井上・日比野 2007)。海に下ったサケ稚魚が生息する当海域の春期沿岸水温 (2003-2025 年) に注目すると、2011 年以降顕著な昇温傾向を示しており、海洋の温暖化が当海域のサケ資源に深刻な影響を及ぼすことが懸念されます (図 6)。当海域においてふ化場間で連携したふ化放流事業は殆ど行われてきませんでした。海洋の温暖化の影響を少しでも軽減出来るような取り組みが今後重要と考えます。例えば、各ふ化場で得た種卵を水温が比較的高いふ化場で種卵を一括管理して成長を促進し、成長促進した発眼卵を各ふ化場に分配することで沿岸水温が少しでも低いタイミングでの放流に繋げるなど、地域一帯となったふ化放流事業を推進していくことが望まれます。

引用文献

- Chang et al. 2025. Beyond lethal temperatures: Factors behind the disappearance of chum salmon from their southern margins under climate change. *PLoS One*, 20: e0330957.
- Hasegawa et al. 2021. Small biased body size of salmon fry preyed upon by piscivorous fish in riverine and marine habitats. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 8: 631–638.
- 飯田ら. 2018. 山形県月光川において異なる時期に放流したサケ *Oncorhynchus keta* の回帰率比較. *水産増殖*, 66: 137–140.
- 飯田真也. 2022. 本州日本海側における野生サケ資源の現状と保全. *SALMON 情報*, 16: 3–8.
- Iida Masaya. 2024. Relationship between in-river return rate of hatchery-origin chum salmon *Oncorhynchus keta* and coastal water temperature and body weight at release on the Japan Sea side of Honshu, Japan. *Environ. Biol. Fishes*, 107: 1247–1261.
- 井上博敬・日比野 祥. 2007. 日本海の海面水温の長期変動に関する調査. *海と空*, 83: 15–18.
- 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.
- 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.
- Mueter et al. 2002. Opposite effects of ocean temperature on survival rates of 120 stocks of Pacific salmon (*Oncorhynchus spp.*) in northern and southern areas. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 59: 45–63.
- Nagata et al. 2016. Effects of release timing on the

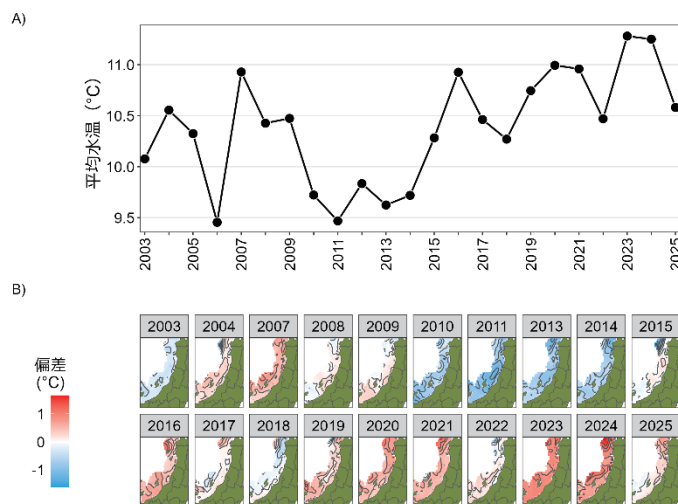


図 6. 本州日本海沿岸の 2003-2025 年 3-4 月表層水温の平均値 (A) およびその偏差マップ (B)
 FRA-ROMS II (<https://fra-roms.fra.go.jp/fra-roms/>, 参照 2025-10-16) の 0.5° メッシュ日別表層水温のうち、海岸距離 50 km 以内のデータを解析した。偏差マップでは 2003-2025 年平均値に対する当該年の差分をグリッドごとに描写した。

recovery of laterun chum salmon in the Okhotsk Sea coast of Hokkaido, Japan. *N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull.*, 6, 87–95.

- 新潟県. 2025. 農林水産業施策の概要 (令和 7 年度版), <https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/attachment/441560.pdf>, (参照 2025-10-16).
- 實吉ら. 2013. 暑寒別川における異なるサイズで放流したサケの回帰率. *北水試研報*, 83, 13–17.
- 佐々木ら. 2018. 稚魚の生残性や成長率、親魚の回帰率による評価. *月刊海洋*, 50: 519–522.
- 関 二郎. 2013. さけます類の人工ふ化放流に関する技術小史 (放流編). *水産技術*, 6: 69–82.
- 水産研究・教育機構 (編). 2025. *Salmon Database*. <https://www.fra.go.jp/shigen/salmon/sdb.html>, (参照 2025-10-16).
- 田嶋健明. 2014. 新潟県におけるシロザケ増殖事業の特質と展望に関する研究. 東京海洋大学大学院修士論文.
- 玉置泰司. 2021. 内水面漁協組合員の減少・高齢化とその対策. *機関誌ぜんない*, 59: 18–21.
- 渡邊久爾・本多健太郎. 2025. 61 サケ (シロザケ) 日本系. 「令和 6 年度国際漁業資源の現状 (水産庁編)」, 水産庁・水産研究教育機構, 東京, URL: https://kokushi.fra.go.jp/R06/R06_61_CHU.pdf, (参照 2025-10-16).
- 山本克巳・今井正直. 1990. 奥羽沿岸海域 II 物理. 続・日本全国沿岸海洋誌 (総説篇・増補編) (日本海洋学会・沿岸海洋研究部会・「沿岸海洋誌」編集委員会編). 東海大学出版, 東京, pp. 805–819.