

salmon情報 No.9

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 水産総合研究センター 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/2009563

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

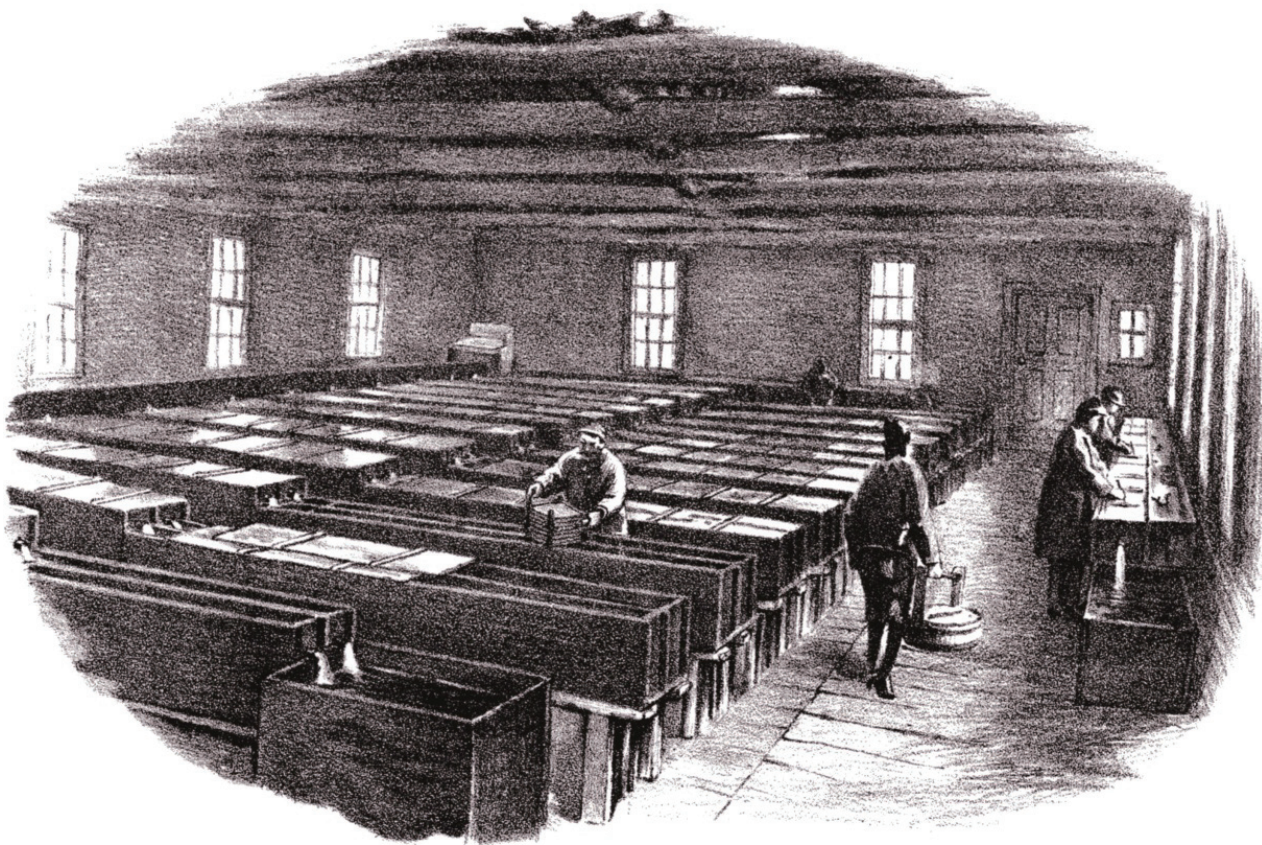


SALMON 情報

第 9 号

2015 年 3 月

- 水温に左右されるサケ科魚類の生活～地球温暖化の影響を考えるために～
- 資源管理の知識基盤として、雌雄差を理解する
- 環境の特徴に合わせたサケ放流手法の検討のために～耳石標識放流の結果から～
- サケふ化放流事業における放流と捕獲の関連性
- サハリンふ化場視察
- サケ科魚類のプロファイル-13 イトウ
- さけます人工孵化放流に関する古文書の紹介
ほか



千歳中央孵化場室内之圖

編集 北海道区水産研究所



独立行政法人
水産総合研究センター

目 次

研究成果情報

- 水温に左右されるサケ科魚類の生活
～地球温暖化の影響を考えるために～…………… 森田健太郎 3
- 資源管理の知識基盤として、雌雄差を理解する…………… 玉手 剛 12

技術情報

- 環境の特徴に合わせたサケ放流手法の検討のために
～耳石標識放流の結果から～…………… 中島 歩 15
- サケふ化放流事業における放流と捕獲の関連性…………… 安達宏泰・高橋史久 18

会議報告

- さけます関係研究開発等推進会議…………… 安達宏泰 21
- 2014 年 NPAFC 年次会議 科学調査統計小委員会 (CSRS) の概要…………… 浦和茂彦 24
- 平成 26 年度さけます資源部第 1 回連絡会議ワークショップ
「地域特性に合った増殖事業の展開に向けて」…………… 伴 真俊・ほか 26

トピックス

- サハリンふ化場視察…………… 富田泰生・江田幸玄 32

さけます情報

- サケ科魚類のプロファイル-13 イトウ…………… 福島路生 35
- さけます人工孵化放流に関する古文書の紹介…………… 野川秀樹 39
- 北太平洋と日本におけるさけます類の資源と増殖…………… 佐藤恵久雄 42



mini column

表紙絵は、前号に引き続き、明治 27 年北海道廳^{ちよう}発行「北海道鮭鱒人工孵化事業報告」に綴られたスケッチです。明治 21 年に建設された千歳鮭鱒人工孵化場（現千歳さけます事業所）の「甲号孵化室」内部を描いています。アトキンス式 2 間槽の孵化槽を 2 段 2 列一組で 11 列備え、約 500 万粒の種卵収容能力がありました。中央では受精卵を盛った孵化盆を収容しており、右では死卵を取り除く検卵作業を行っています。

また、裏表紙絵は、明治 22 年発行「北水協会報告」第 42 号の口絵です。当時の孵化場主任（場長）であった藤村信吉氏の筆による「甲号孵化室」の外観で、左が孵化室、右は事務室となっています。

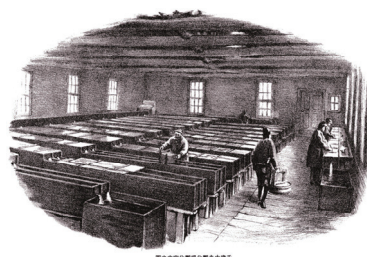


図1 千歳鮭鱒人工孵化場内部

研究成果情報

水温に左右されるサケ科魚類の生活

～地球温暖化の影響を考えるために～

もりた けんたろう

森田 健太郎（北海道区水産研究所 さけます資源部）

はじめに

我々人間は恒温動物であり、気温変化に対して体温を制御することができますが、魚類は変温動物であるので、周囲の水温に対応して体温を制御することができません（図 1）。つまり、棲み場所の水温に応じて体温が受動的に決まるため、水温は魚類の生活を大きく左右します。魚類を温度勾配のある環境下におくと、ある水温を能動的に選択することが実験的に確かめられており、魚類には適水温が存在することが分かります（Golovanov 2013）。空間的に水温が不均一である海洋に棲む海水魚では、回遊や鉛直移動によって能動的に水温を選べる機会が多くあります。一方、限られた空間に棲む淡水魚（特に川魚）では、自由に水温を選ぶことは難しいでしょう。このような背景から、水温が魚類の生息場所の選択や成長などに及ぼす影響は、古くから魚類生態学の研究テーマとなってきました。本稿では、水温がサケ科魚類に及ぼす影響について筆者が行ってきた研究を中心に紹介します。そして、近年心配される地球温暖化がサケ科魚類にもたらす影響について紹介したいと思います。

サケの生息水温～ダイナミックな移動～

① 水平的な移動

本誌でも度々紹介されていますが、日本系のサケは北太平洋全域を大きく回遊することが古くから知られています（米盛 1975; 浦和 2000, 図 2）。日本の川を下ったサケの稚魚は、まずオホーツク海で半年ほど暮らした後、冬になると南下して北西北太平洋で越冬し、翌年の夏になると北上してベーリング海で餌を食べて成長します。2 年目以降は、冬になると南下してアラスカ湾で越冬し、夏になると再び北上してベーリング海で暮らす生活を繰り返します。また、近年の DNA 分析と耳石標識魚の再捕記録から、春の中西部北太平洋に 2 歳以上の日本系サケが分布することが分かりました（Sato et al. 2007, 2009）。これは、春にアラスカ湾から移動する際、中西部北太平洋を経由するルートが存在するか、あるいはアラスカ湾以外にも越冬場所があることを示唆しています（図 2）。いずれにせよ、このようなダイナミックな移動のおかげで、生息場所の表面水温は四季を通じて 3～12℃の範囲と安定しています。このような海で

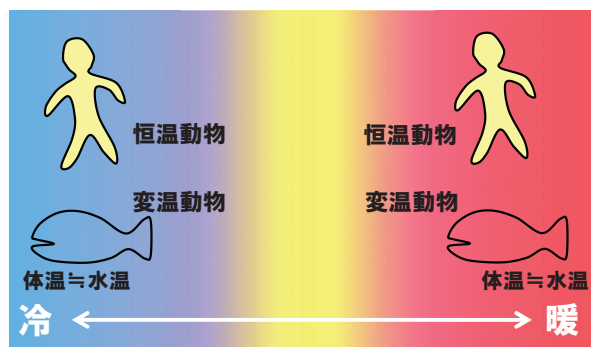


図 1. 魚類の体温と水温の関係。

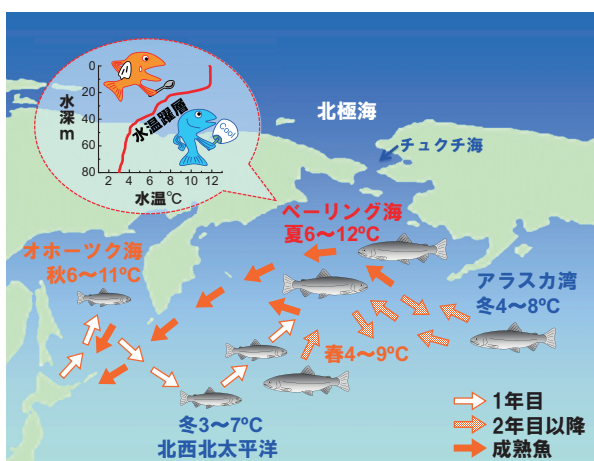


図 2. サケ（日本系）の回遊経路と生息水温（米盛 1975; 浦和 2000 を改図）。

の移動には制限はありません。人間に喩えると、夏は北海道で、冬は沖縄で暮らすようなイメージでしょう。恒温動物の人間と違い、変温動物のサケにとって、生息水温（＝体温）は代謝率などを決める重要な要素であり、生息水温の安定化はサケの恒常性を維持する上で欠かせません。

② 鉛直的な移動

北極圏に近いベーリング海といえども、夏場は表面水温が 12℃近くになります。しかし、数十メートル潜ることにより、体温を低下させることができます。サケマス類は基本的に表層に分布しており、水深 40 m 以深ではあまり漁獲されませんが（Morita 2010）、大型のサケに限っては水深 30 m 以深の中層にも分布します（Morita 2011）。夏のベーリング海では 30～40 m ほど潜ると、水

温が5~7℃くらいにまで低下します(図2左上)。
 実際、ベーリング海のスケは水深40 mくらいまで頻繁に潜ることが知られており、その目的は餌を食べるということも言われていますが、結果的に体温を著しく低下させています。このように、スケは水温躍層を跨ぐ鉛直移動によっても体温を調節することができるのです。

③体サイズ依存性

スケが生息する水温は、年齢や体サイズによっても異なります(図3, Morita et al. 2010a)。ベルクマンの法則というのを聞いたことがある人もいると思いますが、これは、寒冷な高緯度に住む動物の方が、温暖な低緯度に住む動物よりも体が大きいという現象です。魚類においても、大きい魚ほど深い場所や冷たい水を好むことが知られており、スケにおいても、北に行くほど、あるいは深い場所ほど、獲れるスケの魚体は平均的に大きくなります(Morita et al. 2010b; Morita 2011)。2009年の夏、スケの分布北限を明らかにするため、北極海の属海であるチュクチ海(図2)まで北上し調査を行いました(Morita et al. 2009a)。さすがに冷たすぎるためか、スケは僅かしか獲れませんでした。獲れたスケは大物ばかりでした(図4)。以上は野外で観察された結果ですが、体サイズの異なるブラントラウトを温度勾配のある実験環境下におくと、体サイズの大きい個体ほど冷たい水温を能動的に選択することが確かめられています(Elliott and Allonby 2013)。

なぜ、大きいスケは冷たい海を好むのでしょうか?それは、大型のスケの方が、成長を最大化する水温が低いためであると考えています(図5, Morita et al. 2010b)。北海道沿岸に分布するホッケでも似た現象が確認されており、大きいホッケ(>25 cm)は水温が低い年ほど、逆に小さいホッケ(<25 cm)は水温が高い年ほど、成長が良い傾向にあります(Morita et al. 2015a)。

水温が生活史に及ぼす影響

①成長と成熟率の関係

水温はスケ科魚類の性成熟に直接的にも作用しますが(Morita et al. 2009b)、成長を介して成熟率(回帰年齢)により大きな影響を及ぼします。先に述べたように、魚類の成長には最適な水温帯があり、水温が低すぎたり高すぎたりすると、成長が悪化します。

外洋での成長の良し悪しは、成熟時(回帰時)の体サイズに影響するだけではなく、成熟するまでに必要な年数にも影響します。つまり、外洋での成長が悪くなると、小型化するだけではなく、高齢化するようにもなります。1970年代以降に

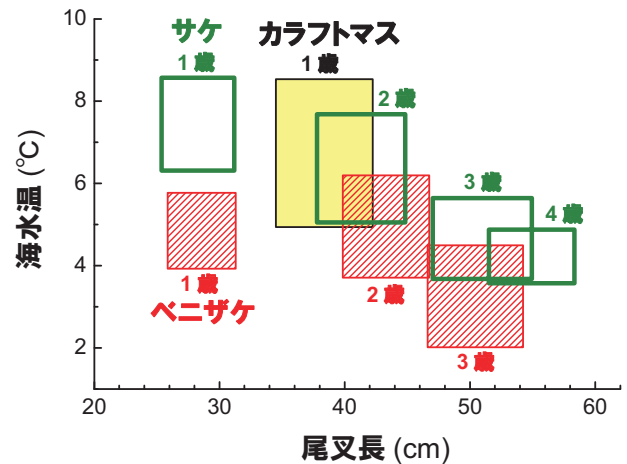


図3. 春の北西北太平洋におけるサケマス類の年齢別生息水温(Morita et al. 2010a)。高齢の大きい個体ほど冷たい海域に分布する。

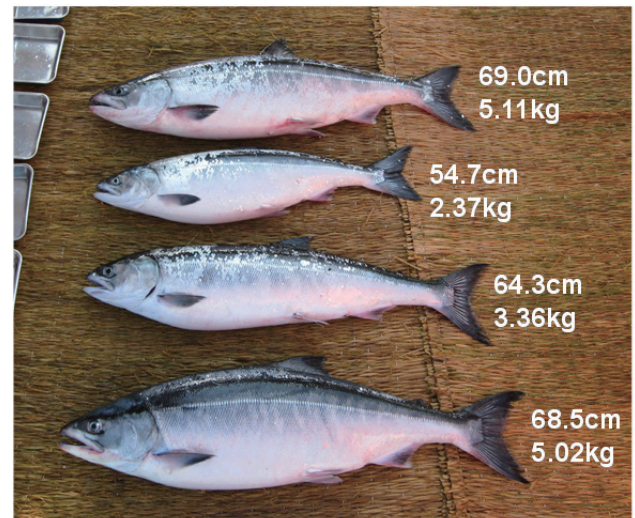


図4. チュクチ海(北緯 69°)で捕獲されたスケ(Morita et al. 2009a)。沖合を回遊中のサケマス類は皆銀色で種判別が難しいが、尾鰭の模様で種判別できる(森田 2009)。

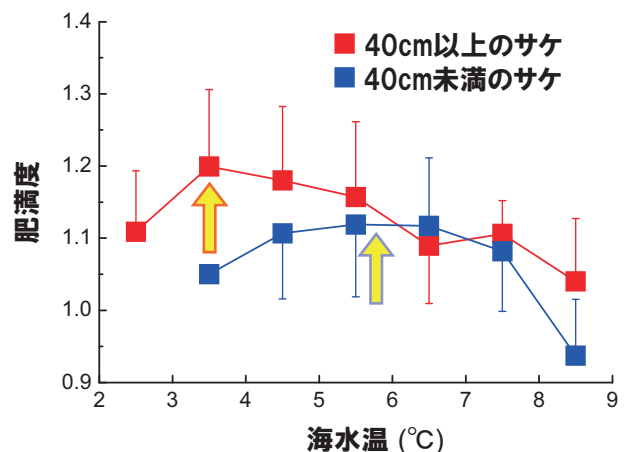


図5. 春の北西北太平洋におけるスケの生息水温と肥満度の関係(Morita et al. 2010b)。矢印は高い肥満度が観測された海水温で、大きいスケの方が冷たい海水温で肥満度が最大化される。

おきたサケの小型化・高齢化は、成長速度の変化によるものでほぼ説明できることが分かりました (Morita et al. 2005, 図 6). また、ある年に成熟 (回帰) するかどうかの決定には、前年の成長が最も強く影響することも分かりました (Morita and Fukuwaka 2006). つまり、ある年のベーリング海の水温が上昇し、成長が悪化すると、翌年に成熟 (回帰) するのをやめて、翌々年に成熟 (回帰) するようになると予想されます。

ただし、成熟 (回帰) するかどうかを決める閾値サイズは遺伝的に決まっています、その閾値サイズが変化する可能性もあります。実際、大型魚を選択的に漁獲する沖合流し網漁業が盛んであった 1970~1980 年代は閾値サイズが小型化し、200 カイリ規制により沖合漁業が衰退した 1990 年代には閾値サイズが再び大型化する傾向が見られています (Fukuwaka and Morita 2008; 森田 2015)。

②水温と回帰率の関係

幼稚魚期の沿岸水温と回帰率 (生存率) に相関があることは、日本のサケを含めて、多くのサケマス類で報告されています (Pearcy 1992; Mueter et al. 2002; Saito and Nagasawa 2009). 北米の 120 個体群を対象とした研究では、北方の個体群では沿岸水温が高いほど回帰率が高まるが、南方の個体群では沿岸水温が低いほど回帰率が高まることが報告されています (Mueter et al. 2002). これらの研究は、ある適水温帯で回帰率が高まること、そして、降海直後の沿岸域で大きな死亡があることを示唆しています。

ところが近年の研究で、放流直後に河川内で死亡する個体が相当数あり、回帰率を左右することが分かりました (Chittenden et al. 2010; Melnychuk et al. 2014). 例えば、スチールヘッドトラウト (降海型ニジマス) では、スモルト化した個体が最初のたった 3 km の区間を下る間に、放流魚は 30%~40%、野生魚は 7%~13% の個体が死亡したと報告されています。千歳川に放流されたサケでは、放流期間中の河川水温や 10 km 下流での稚魚目視数と回帰率に相関があることが分かりました (図 7). すなわち、海に到達する前に、河川内でも大きな減耗があると考えられます (Morita et al. 2015b). 今後は、河川水温と河川内での死亡についても注目する必要があるようです。

③河川水温とサクラマスの生活史

ほとんどのサケマス類は、川で生まれ、降海するまでは川で過ごします。川では限られた生息空間を利用しなければならず、基本的には受動的な水温環境に支配されます。サクラマスは 1 年以上の河川生活期を必要とするため、河川水温の影響を特に受けやすいサケマス類と言えます。サクラ

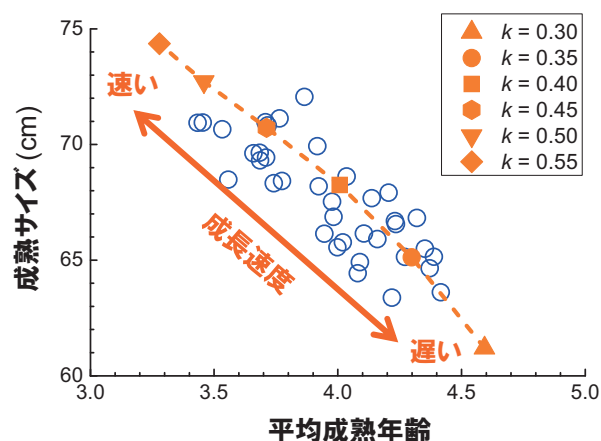


図 6. サケの平均成熟年齢 (回帰年齢) と 4 年魚の成熟サイズの関係 (Morita and Fukuwaka 2007). 青丸は観測値 (1962~1998 年級), 橙記号はサイズ構成モデル (Morita et al. 2005) によるシミュレーション値, k は von Bertalanffy の成長係数。

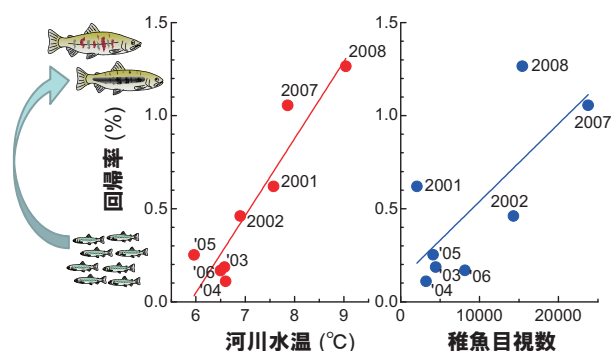


図 7. 千歳川におけるサケ放流魚の年級別の回帰率と 4 月下旬 (降下ピーク時期) の河川水温および千歳サケのふるさと館 (放流地点の 10 km 下流) における稚魚目視数の関係 (Morita et al. 2015b を改変). 注: ここでの回帰率は河川再捕率で、沿岸漁獲された個体や河川捕獲されなかった個体は含まれない。

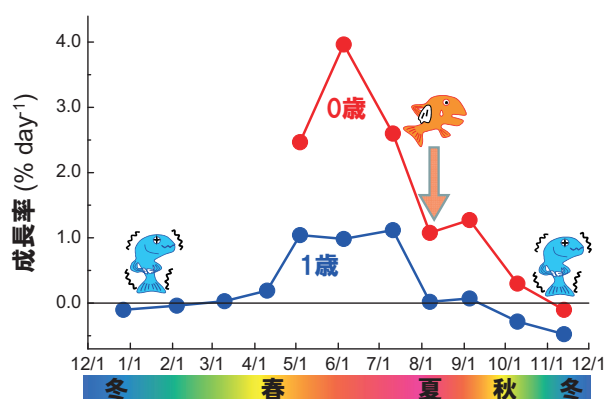


図 8. サクラマス幼魚の成長率の季節的变化 (Morita et al. 2010c).

マス幼魚の成長率と河川水温の季節変化は同調しており、水温が低下する冬季には全く成長せず、水温が上昇する春から夏にかけて成長率が高まりますが、水温が著しく高い 8 月には成長が鈍くなる傾向も認められます (図 8)。また、サクラマス幼魚の体サイズは地理的変異が大きく、河川水温と正の相関があり、負の緯度クラインを示します (図 9)。一方、サクラマスの卵サイズは正の緯度クラインを示し、稚魚期の成長条件を補償するための適応だと考えられます (Morita et al. 2009c)。

北海道の河川水温は、冬季は 0℃ 近くまで低下し、夏季は 20℃ を越えることも少なくありません。北太平洋を回遊するサケが四季を通じて 3～12℃ の範囲に生息するのと比べると、サクラマス幼魚の生息水温は相当に広範囲であると言えます。しかし、最近の研究によると、サクラマス幼魚も本流と支流を移動することによって、生息水温を安定化させる例があることが分かってきました。庶路川と釧路川で行った研究では、水温が 0℃ に近づく冬場に、本流よりも暖かい支流にサクラマス幼魚が遡上することが分かりました (Morita et al. 2011; Sahashi and Morita 2014)。これまでサクラマス幼魚の越冬場所は下流の流れが緩やかな場所とされてきましたが、上流の支流へ移動する場合もあるのです (図 10)。また、朱太川で行われた研究では、水温が上昇する夏場に、本流よりも冷たい支流にサクラマス幼魚が遡上することも報告されています (Terui et al. 2014)。

サクラマスの生活史には、海へ回遊する降海型に加え、川で一生を過ごす残留型があります (図 11)。通常、残留型になるのは雄が多く、雌の残留型は非常に稀です (森田ら 2009)。北日本を流れる 13 河川で調べた結果、河川水温が高く成長が良い川では、雄は海へ下らずに残留型となる個体が多く出現することが分かりました (図 12B)。その結果、河川水温が高い川では、降海型となる個体の性比が雌に偏りました (図 12D)。また、降海型となる場合でも、河川水温が低い川では通常の 1 歳ではなく 2 歳以上で降海する個体が多く出現することも分かりました (図 12C)。

このような河川水温と生活史の関係を取り入れた確率論的個体群モデルを構築し、水温上昇の影響をシミュレーションしました。その結果、河川水温が上昇するに従い、①残留型となる雄の割合が増えるため漁業対象となる降海型サクラマスの資源量が減る、②降海年齢が単純化するため環境確率性の影響を受けやすくなり資源変動の幅が増加する (例：極端な不漁年が生じる)、が予測されました (Morita et al. 2014)。

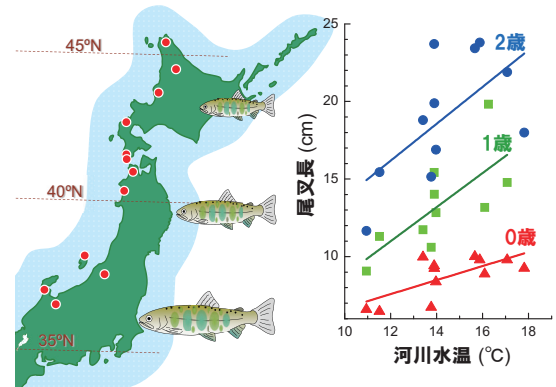


図 9. 日本海側 12 河川におけるサクラマス幼魚の年齢別尾叉長と河川水温の関係 (Morita and Nagasawa 2010)。

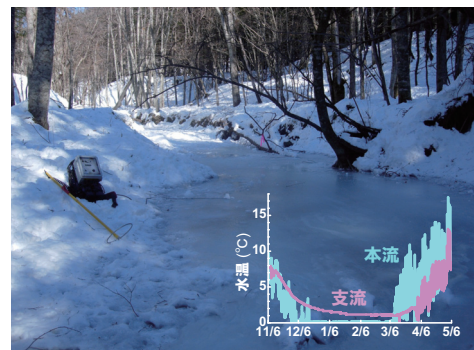


図 10. 庶路川支流 (2008 年 1 月)。表面は結氷しているが、この支流にサクラマス幼魚が越冬遡上し、翌春この支流からスモルト化して降海した (Morita et al. 2011)。



図 11. サクラマスの残留型雄 (左上) と降海型雌 (右)。白楕円内はスモルト化した個体で、海へ下る直前の降海型。

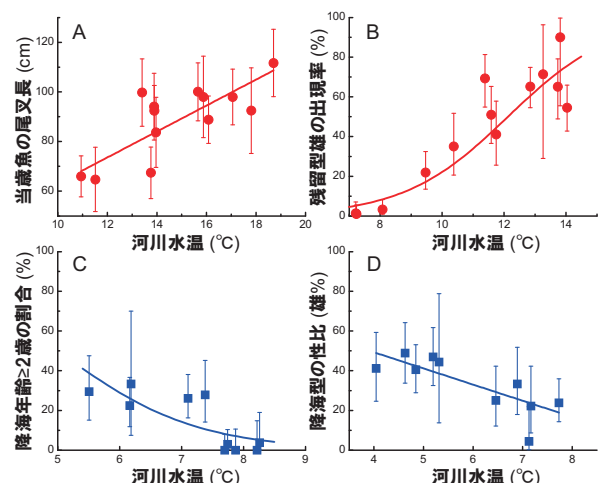


図 12. サクラマスの生活史形質と河川水温の関係 (Morita et al. 2014)。注: 水温はそれぞれの項目で時期が異なる。

コラム1

―アメマスの回遊―

アメマスはサケ科魚類ですが、産卵後も死ぬことなく、海と川を数年にわたり行き来します(森田・森田 2007)。アメマスが川に遡上する理由は、産卵だけとは限らず、越冬や越夏などの理由も考えられています。道東におけるアメマスの河川遡上は8月中旬から始まりますが、8月上旬までは親潮(寒流)の影響で海の方が川よりも冷たく、8月下旬以降は海水温が上昇するため川の方が海よりも冷たくなります。アーカイバルタグ*に記録された水温と塩分のデータから、8月下旬以降は海洋も利用するが水温の低い河川に滞在する時間の方が長いことが分かりました(図13, Morita et al. 2013)。アメマスは海水温が16℃以上になると浸透圧調節能が低下するため(Takami 1998)、低水温の河川を利用することで体温を調節している可能性があります。

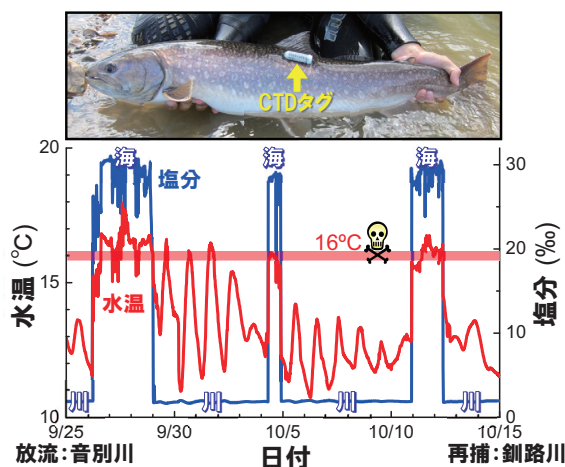


図13. アメマスに装着したアーカイバルタグに記録された水温と塩分の変化(Morita et al. 2013を改変)。

*アーカイバルタグとは、水温や水圧(水深)を記録できるデータ記録標識のことで、写真は電気伝導率(塩分)も記録できるCTDタグ(アイスランド, Star-Oddi社製)。

コラム2

―ベーリング海への回遊・渡り―

夏のベーリング海に訪れるのはサケマスだけではなく、航海中は、シャチ、オットセイ、イシイルカなどの海産哺乳類、サケの天敵であるネズミザメ(英名はSalmon shark)、サケに寄生するヤツメウナギ、降海型のオショロコマやイトヨ(Morita et al. 2009d,e)、奇妙な容姿のホテイウオ(図14)など様々な魚類に遭遇します。ホテイウオ(地方名ゴッコ)は、北海道沿岸にも産卵のために来遊し、ゴッコ汁は道南の郷土料理として有名ですが、その回遊ルートは良く分かっていません。

魚では移動のことを“回遊”と言いますが、鳥では“渡り”と言います。夏のベーリング海には、色々な渡り鳥たち、コアホウドリ、エトピリカ、ツノメドリ、フルマカモメ、ハシボソミズナギドリ、ハイイロミズナギドリなどが渡ってきます(図15)。驚くことに、ハシボソミズナギドリとハイイロミズナギドリは、夏のベーリング海へ“越冬”のために渡ってくることがアーカイバルタグを用いた研究等で分かっています(Shaffer et al. 2006; 綿貫 2013)。これらは南半球のタスマニアやニュージーランド周辺で索餌・繁殖するので、北半球であるベーリング海への渡りは越冬ということになるのです。



図14. 夏のベーリング海で混獲されたホテイウオ(ゴッコ)。大小様々なサイズが生息する。



図15. 夏のベーリング海に漂うミズナギドリ科鳥類。右上は誤って網にかかった個体。

地球温暖化の影響

温暖化すると生物にはさまざまな影響が生じると考えられています。第一にフェノロジー（開花や繁殖期などの季節的におこる自然界の諸現象）が変化する、第二に種の分布域が北上する、そして、第三に体サイズが小さくなる可能性があると言われています（Gardner et al. 2011）。

フェノロジーについては、近年サケマス類の来遊時期が世界的に早まっていることが報告されています（Juanes et al. 2004; Kovach et al. 2012, 2013）。日本ではカラフトマスでその傾向が顕著に表れており（森田ら 2014）、ロシアで報告されている来遊時期の早まりと同調しています（図 16）。日本のサケの遡上時期は、北海道から南に行くと遅くなるが、さらに南に進むと逆に早くなることが知られています（能勢 1970; 待鳥 1978; 岡崎 1982）。このように、温暖化したり、分布南限域になると遡上時期が早まる理由は、稚魚が沿岸水温の低いときに降海するための適応であると考えられています（待鳥 1978; 岡崎 1982）。つまり、親サケは自分のためではなく、子供のために（わざわざ暑い時期に）早く帰ってくると言えます。京都府を流れる由良川では、ふ化放流事業が実施される以前に野生サケに関する調査研究が行われ、南限域の野生サケは遡上時期が早く、親サケの接岸期の沿岸水温は 20~22℃という高水温であることが報告されています（藤原ら 1983）。ただし、注意すべき点として、温暖化に伴う来遊時期の早まりは進化的な応答であるという点です。可塑的な応答としては、水温が高ければ来遊時期の遅れをもたらすと考えられています。

分布域の変化については、野外データに基づく実証研究は限られていますが、表面水温のシミュレーションに基づく予測研究が幾つか行われています（Kishi et al. 2010; Abdul-Aziz et al. 2011）。それらによると、地球温暖化が進行した場合、サケの海洋分布域は全体的に北上し北極海で分布域が広がること、日本系サケの回遊ルートであるオホーツク海の生息範囲が減少すること、日本系サケの索餌海域であるベーリング海環境収容力が減少することが予測されています。ただし、サケは鉛直移動によってある程度は体温を下げるのが可能であるので（前述）、表面水温の変化だけではやや厳しめの予測になっているかも知れません。

体サイズの小型化については、既に影響が生じている可能性があります。先に述べたように、大型のサケの方が冷たい水を好むため、温暖化は大型のサケに対して負の影響を及ぼすと考えられます。実際、1970 年代からベーリング海で実施されてきた調査結果を見ると、40 cm 以上のサケの

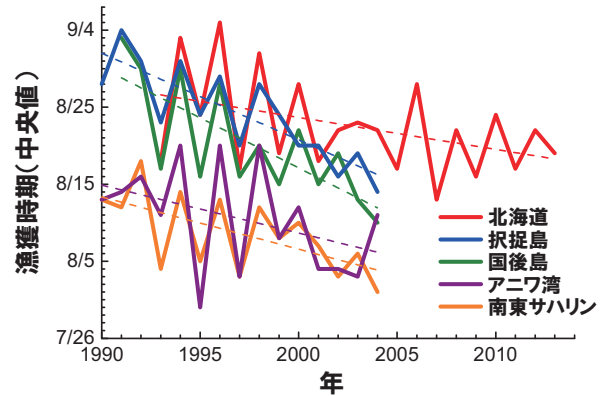


図 16. カラフトマスの来遊時期の推移 (Kaev and Romasenko 2007; Kaev et al. 2007; 森田ら 2014)。

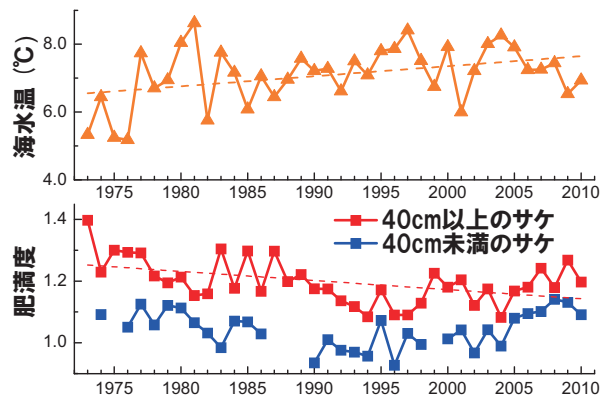


図 17. ベーリング海のサケの肥満度と海水温の推移 (Morita et al. 2010b を改変)。

肥満度が僅かながら低下している傾向にあり、他要因の効果（生息密度や年のトレンド）を考慮しても、ベーリング海の水温上昇と有意な対応を示すことが明らかとなっています（図 17, Morita et al. 2010b）。肥満度は成長率の指標となるので、沖合のサケの肥満度低下は、回帰するサケの小型化に繋がります。

おわりに

温暖化がサケ科魚類へ及ぼす影響はまだ不十分にしか把握されていません。例えば、温暖化の影響をもっとも被るのは分布南限域と考えられますが、太平洋側南限の利根川では、近年サケが急激な増加傾向にあります（齊藤 2013; 佐々木 2013）。温暖化に伴うサケ資源への影響を監視し、予測するためのデータを充実させることが大切です。一方、この分野の研究は影響評価のみに焦点が当てられる傾向にありますが、影響評価のみでは適切な対策は実現できません。今後は、温暖化が進行

することを想定し、予防的対策を講じるための研究を行う必要があります。

遺伝的多様性を守ることは温暖化対策の一つになるでしょう。サケ科魚類は、それぞれの川ごと、さらには産卵場ごとに生態や生活史が異なることがあります(ト部ら 2013; Sahashi and Morita 2013)。環境変動に対する資源変動の応答が個々の個体群によって異なれば、遺伝的に多様な個体群を守ることは気候変動に対する予防的対策となるでしょう。また、自然産卵を行う野生魚は環境変化に対する適応力が高いという指摘もあります(帰山 2012)。移植放流は行わず、それぞれの支流ごとに産卵する野生魚を保全するという試みは、温暖化対策の一つとなるかも知れません。

謝辞

ここで紹介した研究は、北海道教育庁「若竹丸」、水産庁「開洋丸」、北海道区水産研究所「北光丸」を用いた調査によって得られたもので、乗組員の方々には惜しみないご協力を頂きました。また、福若雅章氏、永沢亨氏、森田晶子氏を始めとする多くの研究者と共同で実施したものです。なお、水産庁国際資源評価等推進事業および JSPS 科研費 16780143, 19780155, 22780187, 25450293 の助成を受けて実施しました。

引用文献

- Abdul-Aziz, O.I., Mantua, N.J., and Myers, K.W. 2011. Potential climate change impacts on thermal habitats of Pacific salmon (*Oncorhynchus* spp.) in the North Pacific Ocean and adjacent seas. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 68: 1660-1680.
- Chittenden, C.M., Melnychuk, M.C., Welch, D.W., and McKinley, R.S. 2010. An investigation into the poor survival of an endangered coho salmon population. *PLoS ONE*, 5: e10869.
- Elliott, J.M., and Allonby, J.D. 2013. An experimental study of ontogenetic and seasonal changes in the temperature preferences of unfed and fed brown trout, *Salmo trutta*. *Freshwater Biol.*, 58: 1840-1848.
- Fukuwaka, M., and Morita, K. 2008. Increase in maturation size after the closure of a high seas gillnet fishery on hatchery-reared chum salmon *Oncorhynchus keta*. *Evol. Appl.*, 1: 376-387.
- 藤原正夢・大橋 徹・生田哲郎. 1983. 南限域における天然サケの産卵および降海回遊と水温との関係について. 京都海洋センター研報, 7: 1-8.
- Gardner, J.L., Peters, A., Kearney, M.R., Joseph, L., and Heinsohn, R. 2011. Declining body size: a third universal response to warming? *Trends Ecol. Evol.*, 26: 285-291.
- Golovanov, V.K. 2013. Ecophysiological patterns of distribution and behavior of freshwater fish in thermal gradients. *J. Ichthyol.*, 53: 252-280.
- Juanes, F., Gephard, S., and Beland, K.F. 2004. Long-term changes in migration timing of adult Atlantic salmon (*Salmo salar*) at the southern edge of the species distribution. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 61: 2392-2400.
- 帰山雅秀. 2012. 海魚～サケなどへの影響. モーリー, 29: 18-21.
- Kaev, A.M., and Romasenko, L.V. 2007. Possible causes and effects of shifts in trends of abundance in pink salmon of Kunashir Island, a population near the southern limit of its range in Asia. *N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull.*, 4: 319-326.
- Kaev, A.M., Antonov, A.A., Chupakhin, V.M., and Rudnev, V.A. 2007. Possible causes and effects of shifts in trends of abundance in pink salmon of southern Sakhalin and Iturup Islands. *N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull.*, 4: 23-33.
- Kishi, M.J., Kaeriyama, M., Ueno, H., and Kamezawa, Y. 2010. The effect of climate change on the growth of Japanese chum salmon (*Oncorhynchus keta*) using a bioenergetics model coupled with a three-dimensional lower trophic ecosystem model (NEMURO). *Deep Sea Research Part II*, 57: 1257-1265.
- Kovach, R.P., Gharrett, A.J., and Tallmon, D.A. 2012. Genetic change for earlier migration timing in a pink salmon population. *Proc. R. Soc. B.*, 279: 3870-3879.
- Kovach, R.P., Joyce, J.E., Echave, J.D., Lindberg, M.S., and Tallmon, D.A. 2013. Earlier migration timing, decreasing phenotypic variation, and biocomplexity in multiple salmonid species. *PLoS ONE*, 8: e53807.
- 待鳥精治. 1978. 本州日本海沿岸地方のシロザケ増殖と水温問題. さけとます, 33: 6-23.
- Melnichuk, M.C., Korman, J., Hausch, S., Welch, D.W., McCubbing, D.J., and Walters, C.J. 2014. Marine survival difference between wild and hatchery-reared steelhead trout determined during early downstream migration. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 71: 831-846.
- Morita, K., Morita, S.H., Fukuwaka, M., and Matsuda, H. 2005. Rule of age and size at maturity of chum salmon (*Oncorhynchus keta*): implications of recent trends among *Oncorhynchus* spp. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 62: 2752-2759.

- Morita, K., and Fukuwaka, M. 2006. Does size matter most? The effect of growth history on probabilistic reaction norm for salmon maturation. *Evolution*, 60: 1516-1521.
- Morita, K., and Fukuwaka, M. 2007. Why have age and size at maturity changed in Pacific salmon? *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 335: 289-294.
- 森田健太郎・森田晶子. 2007. イワナ（サケ科魚類）の生活史二型と個体群過程. *日本生態学会誌*, 57: 13-24.
- Morita, K., Sato, S., Kato, M., and Yamamoto, J. 2009a. The summer 2009 Japanese salmon research cruise of the R/V Hokko maru: exploration of the northern limit of offshore distribution and annual survey in the Bering Sea. NPAFC Doc. 1191. 12 pp.
- Morita, K., Tsuboi, J., and Nagasawa, T. 2009b. Plasticity in probabilistic reaction norms for maturation in a salmonid fish. *Biol. Lett.*, 5: 628-631.
- Morita, K., Tamate, T., Sugimoto, Y., Tago, Y., Watanabe, T., Konaka, H., Sato, M., Miyauchi, Y., Ohkuma, K., and Nagasawa, T. 2009c. Latitudinal variation in egg size and number in anadromous masu salmon *Oncorhynchus masou*. *J. Fish Biol.*, 74: 699-705.
- Morita, K., Morita, S.H., Fukuwaka, M., and Nagasawa, T. 2009d. Offshore Dolly Varden charr (*Salvelinus malma*) in the North Pacific. *Environ. Biol. Fish.*, 86: 451-456.
- Morita, K., Morita, S.H., and Fukuwaka, M. 2009e. Offshore distributions of anadromous lamprey and threespine stickleback. NPAFC Doc. 1192. 4 pp.
- 森田健太郎. 2009. 北光丸によるベーリング海のサケ資源調査. 北の海から, 第6号.
- 森田健太郎・永沢 亨・山本祥一郎. 2009. 北海道の放卵ヤマメについて. *SALMON 情報*, 3: 8-10.
- Morita, K. 2010. Vertical distribution of Pacific salmon in the central Bering Sea in summer 2007. NPAFC Doc. 1266. 4 pp.
- Morita, K., and Nagasawa, T. 2010. Latitudinal variation in the growth and maturation of masu salmon (*Oncorhynchus masou*) parr. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 67: 955-965.
- Morita, K., Fukuwaka, M., and Tanimata, N. 2010a. Age-related thermal habitat use by Pacific salmon. *J. Fish Biol.*, 77: 1024-1029.
- Morita, K., Fukuwaka, M., Tanimata, N., Yamamura, O. 2010b. Size-dependent thermal preferences in a pelagic fish. *Oikos*, 119: 1265-1272.
- Morita, K., Morita, S.H., and Nagasawa, T. 2010c. Seasonal growth patterns of wild masu salmon parr in a subarctic river. *Nat. Taiwan Mus. Spec. Publ.*, 14: 87-93.
- Morita, K. 2011. Body size trends along vertical and thermal gradients by chum salmon in the Bering Sea during summer. *Fish. Oceanogr.*, 20: 258-262.
- Morita, K., Morita, S. H., and Nagasawa, T. 2011. Seasonal changes in stream salmonid population densities in two tributaries of a boreal river in northern Japan. *Ichthyol. Res.*, 58: 134-142.
- Morita, K., Morita, S.H., Nagasawa, T., and Kuroki, M. 2013. Migratory patterns of anadromous white-spotted charr *Salvelinus leucomaenis* in eastern Hokkaido, Japan: the solution to a mystery? *J. Ichthyol.*, 53: 809-819.
- 森田健太郎・大熊一正・永沢 亨. 2014. 57 カラフトマス日本系. 「平成 25 年度国際漁業資源の現況」(水産庁編) 水産庁・水産総合研究センター, 東京. URL: <http://kokushi.job.affrc.go.jp/index-2.html>, (参照 2015-01-28).
- Morita, K., Tamate, T., Kuroki, M., Nagasawa, T. 2014. Temperature-dependent variation in alternative migratory tactics and its implications for fitness and population dynamics in a salmonid fish. *J. Anim. Ecol.*, 83, 1268-1278.
- Morita, S.H., Morita, K., Hamatsu, T., Chimura, M., Yamashita, Y., Sasaki, K., and Sato, T. 2015a. Differential effects of the environment on the growth of arabesque greenling (*Pleurogrammus azonus*): does rising temperature benefit young but not old fish? *Environ. Biol. Fish.*, 98: 801-809.
- Morita, K., Nakashima, A., and Kikuchi, M. 2015b. River temperature drives salmon survivorship: is it determined prior to ocean entry? *Royal Soc. Open Sci.*, 2: 140312.
- 森田健太郎. 2015. 漁業の特性と生物の適応. シリーズ現代の生態学第3巻 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. 150-167.
- Mueter, F.J., Peterman, R.M., and Pyper, B.J. 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: 456-463.
- 能勢幸雄. 1970. サケの遡上生態と品種改良. *化学と生物*, 8: 738-744.
- 岡崎登志夫. 1982. シロサケの集団構造. *遺伝*, 36: 61-70.
- Pearcy, W.G. 1992. Ocean ecology of north Pacific salmonids. Seattle, WA: University of Washington Press.
- Sahashi, G., and Morita, K. 2013. Migration costs

- drive convergence of threshold traits for migratory tactics. *Proc. R. Soc. B*, 280: 20132539.
- Sahashi, G. and Morita, K. 2014. Fall-winter collection of two salmonid species: seasonal changes in population densities in four tributaries of the Kushiro river system. *Ichthyol. Res.*, 61: 189-192.
- Saito, T., and Nagasawa, K. 2009. Regional synchrony in return rates of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in Japan in relation to coastal temperature and size at release. *Fish. Res.*, 95: 14-27.
- 斉藤裕也. 2013. 利根川のサケはどのように増えたのか. ぐんまの自然の「いま」を伝える報告会 2012 要旨集, 群馬県立自然史博物館. pp. 9-10.
- 佐々木牧雄. 2013. 利根川水系の鮭と環境学習, 手賀沼ブックレット No.3. たけしま出版, 千葉県柏市. 79 pp.
- Sato, S., Kaga, T. Chiba, T., Takasaki, D., Morita, K., Nagoya, H., and Urawa, S. 2007. Origins and distribution of chum salmon in the western North Pacific Ocean during the spring of 2006. *NPAFC Doc.* 1047. 9 pp.
- Sato, S., Takahashi, M., Watanabe, N., Kitatsuji, S., Takasaki, D., Chiba, T., Imai, S., Goda, Y., Katayama, Y., Kagaya, M., Fukuwaka, M., Agler, B.A., and Urawa, S. 2009. Preliminary records of otolith-marked chum salmon found in the Bering Sea and North Pacific Ocean in 2006 and 2007. *N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull.*, 5: 99-104.
- Shaffer, S.A., Tremblay, Y., Weimerskirch, H., Scott, D., Thompson, D.R., Sagar, P.M., Moller, H., Taylor, G.A., Foley, D.G., Block, B.A., and Costa, D.P. 2006. Migratory shearwaters integrate oceanic resources across the Pacific Ocean in an endless summer. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 103: 12799-12802.
- Takami, T. 1998. Seawater tolerance of white-spotted charr (*Salvelinus leucomaenis*) related to water temperature. *Sci. Rep. Hokkaido Fish Hatchery*, 52: 11-19.
- Terui, A., Miyazaki, Y., Yoshioka, A., Kadoya, T., Jopp, F., and Washitani, I. 2014. Dispersal of larvae of *Margaritifera laevis* by its host fish. *Freshw. Sci.*, 33: 112-123.
- ト部浩一・三島啓雄・宮腰康之. 2013. 十勝川水系におけるサケ・サクラマス産卵環境評価(資料). 北水試研報, 84: 47-56.
- 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.
- 綿貫 豊. 2013. ペンギンはなぜ飛ばないのか? 海を選んだ鳥たちの姿. 恒星社厚生閣, 東京. 128 pp.
- 米盛 保. 1975. 北海道起源シロザケに対する標識放流から得られた結果の分析についての試み. 北太平洋漁業国際委員会研究報告, 32: 123-151.

研究成果情報

資源管理の知識基盤として、雌雄差を理解する

たまた つよし

玉手 剛 (東北区水産研究所 沿岸漁業資源研究センター)

はじめに

多くの動物種において、成体の体の大きさなど子孫を残すうえで重要な生物特性に雌雄差（性差とも呼ばれる）がみとめられています（例えば、Blanckenhorn et al. 2006）. もし同種の、同じ個体群に属する個体が雌雄にかかわらず似たような生息環境で（同一の淘汰下で）過ごすとしたら、このような雌雄差は生じないように思えます. しかし、実際には雌雄差が存在するケースは多いので、オスとメスはしばしば異なる進化の道筋を歩んできた（異なる淘汰を経てきた）と考えるのが妥当でしょう.

近年、進化学だけでなく水産科学においても、漁業を含む人為活動が水産重要種に与える進化的影響を評価するため、「水圏生物の生活史の形成に進化的な力＝淘汰（selection）がどのように関わってきたのか」を理解することが重視されるようになってきました（Dunlop et al. 2009）. 近い将来、このような研究潮流から水圏生物における雌雄差の進化メカニズムに関する新知見も集積され、雌雄の生き方の違いを考慮した水産資源の管理手法の開発につながっていくのかもしれません.

以上の背景をふまえ、本稿では小職によるサクラマス¹の雌雄差に関する進化研究のうち、降海型親魚の体サイズにおける雌雄差の緯度間変異研究（Tamate and Maekawa 2006）を中心に紹介したいと思います.

雌雄差は地域間（緯度間）で変化するか？

サクラマスは日本海周辺域のみに（極東域にのみ）自然分布するサケ科魚類で、一生を河川で過ごす河川残留型（以下、残留型）と卵～幼魚期を河川で過ごした後、海へ下ってそこで大きく成長し、生まれた川に繁殖のため帰ってくる降海型という生活史を併せもちます. このような生活史二型を有する他のサケ科魚類同様、サクラマスにおいても同一個体群中に降海型と残留型が普通に出現しますが、このタイプの個体群は学界ではしばしば遡河回遊型個体群（anadromous population）と呼ばれています. 遡河回遊型個体群においては、メスは原則的に全ての個体が降海型となる一方、オスには降海型と残留型の両生活史型が出現します（例えば、玉手・山本 2004；図 1 参照）. ただし、オスにおける各々の生活史型の頻度は個体群の緯度位置によって変化することが知られていて、



図 1. サクラマスの遡河回遊型個体群における降海型オス親魚（上、尾叉長 53.8 cm）、残留型オス親魚（中、9.6 cm）、降海型メス親魚（下、51.5 cm）. 北海道天塩川水系河川にて捕獲・撮影（2013 年 9 月）.

例えばサクラマスにおいては遡河回遊型個体群の南限にあたる北陸ではオスの 100% 近くが残留型となりますが、北方にいくにつれ残留型の割合が下がり（オスの降海性が強まり）、北限のカムチャッカ付近では大半のオスが降海型になるとみられています（待鳥・加藤 1985）. 前置きが長くなりましたが、このような緯度位置によるオスの生活史型頻度の違いは降海型オスの親魚の体サイズ（以下、親魚サイズ）に、そして降海型の親魚サイズの雌雄差にどのような進化的結末をもたらすのでしょうか？

サクラマスに限らずサケ科魚類の降海型のオス同士は、繁殖場において交配相手のメスをめぐって噛みつき合いなどの激しい闘争をします（例えば、Fleming and Reynolds 2004）. この降海型オスの争いでは体の大きさがものをいう、つまりライバルのオスより大きいほど有利となり、多くの子孫を残すこと（多くの卵を授精させること）ができる傾向にあります. さて、このようなオス間闘争の起こりやすさはどの緯度位置でも同じでしょうか？ 前述したように、遡河回遊型個体群の南限付近ではオスのほとんどは（降海型と比べ）小さな残留型となり、降海型となるオスはごく少数で

す。つまり、そのような緯度位置では、降海型のオスは無事に母川の繁殖場まで戻ってこれさえすれば、体サイズにかかわらずメスを占有できるので、無理に危険を冒してまで体サイズを大きくするという生き方（戦略）を降海型オスに採らせる淘汰は原則的に作用しないでしょう。しかし北方にいくにつれ、降海型となるオスの頻度は増えていくので、オス間闘争とそれに関連する淘汰も強くなると考えられることから、①降海型オスの親魚サイズは北にいくほど大型化するという予測を立てることができます。一方、降海型メスの親魚サイズが緯度位置とともに変化するべき進化的な理由はあるのでしょうか？メスの場合、大型の個体ほど多くの卵を産むことができる（例えば、Tamate and Maekawa 2000）など、どの緯度位置でも繁殖においては大型のメスが有利でしょう。繁殖期以外の生活ステージにおいて、体サイズや成長速度に作用する淘汰圧が緯度間で大きく変わるとは考えにくいので、メスの親魚サイズに働く淘汰圧は緯度位置によって変化しないと想定するのが妥当であり、②緯度位置に応じてメスの親魚サイズが変わることはないという予測が得られます。そして①と②から、③降海型におけるメスに対するオスの親魚サイズ比（オスの平均体長/メスの平均体長）は北方ほど大きくなるという体サイズの雌雄差に関する予測が成り立ちます。が、実際はどうでしょうか？

予測の検証には、できるだけ多くの、そしてできるだけ広い緯度範囲のデータを集める必要がありました。データ収集のため、国内外の関係者に問い合わせ、あるいは研究機関に直接出向き、日本海側 22 個体群の、天然魚のものと考えてよいデータを収集することができました（図 2）。しかも、それらの個体群の緯度範囲は北緯 37~49 度（°N）であり、サクラマス¹の遡河回遊型個体群の分布域を南北方向において概ねカバーしているとみてよいでしょう。データを分析した結果、A) オスの親魚サイズは北方ほど大きくなる、B) メスの親魚サイズは緯度位置で変化しない、C) メスに対するオスの体サイズ比は北方ほど大きくなるという予測どおりの関係性が得られ、また、45°N 付近で大きい性が逆転する（それより南ではメスが、北ではオスが大きい傾向にある）という興味深い緯度間変異の存在を明らかにすることができました（図 3）。予想したように、サクラマスでは降海型オスの親魚サイズに作用する淘汰圧の緯度による違いが、北方地域におけるオスの親魚サイズの大型化および親魚サイズの雌雄差における緯度間変異の進化的な原動力となっていることが推察されます（Tamate and Maekawa 2006）。

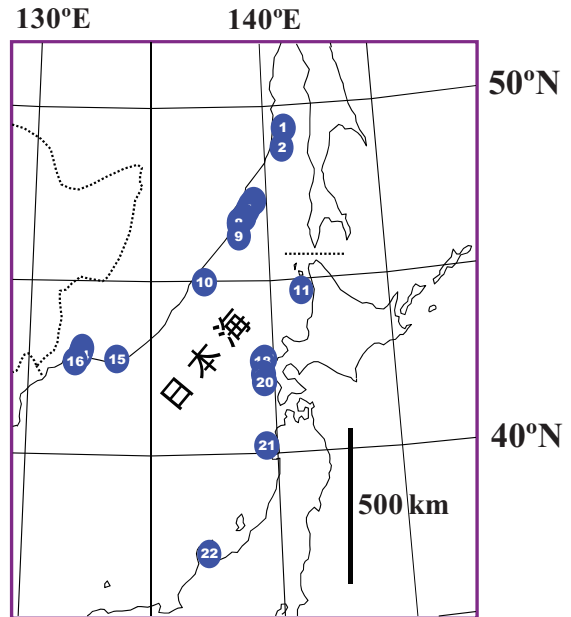


図 2. 降海型サクラマスの親魚サイズにおける雌雄差の緯度間変異研究 (Tamate and Maekawa 2006) では、青丸の個体群 (計 22 個体群) のデータを解析した。なお、青丸の位置は調査河川 (個体群) の河口の位置を示し、青丸中の数字は、北からの順序を示す。

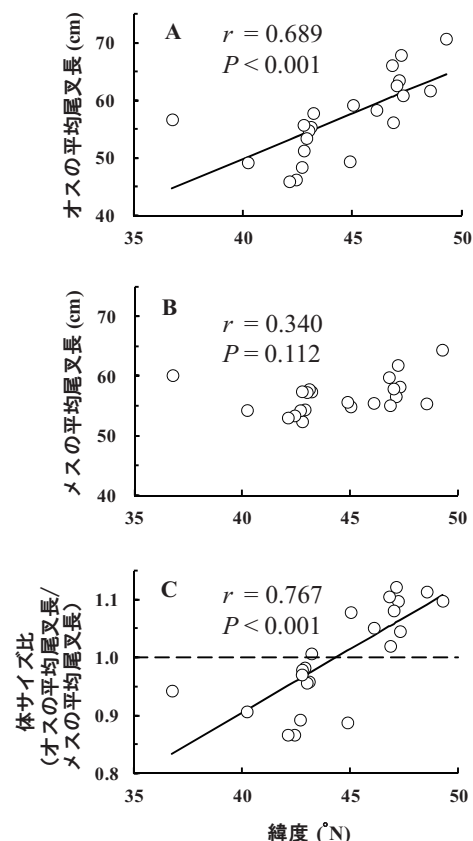


図 3. 降海型サクラマスにおける緯度とオスの親魚サイズ (A)、メスの親魚サイズ (B)、メスに対するオスの体サイズ比 (C) の関係。相関分析の P 値は、A および C では片側検定、B では両側検定の値である。C における破線は、平均親魚サイズがオスとメスで一致する線を意味する。したがって、この線より下ではメスの方が大きく、上ではオスが大きいことになる (Tamate and Maekawa 2006 を改変)。

雌雄差に関する検証中のテーマ

詳しい説明は割愛しますが、回遊性（降湖型および降海型）サクラマスを対象に「主要な成長期間である回遊生活期において、高成長をもたらす活発な摂餌行動には外敵に襲われやすくなるなど大きなリスクを伴う可能性があるため、大きい方の性は死亡率が高まるリスクを冒して他方の性より大きくなろうとしているのでは？」という仮説の検証も行ってきました。今のところ、この仮説を支持する「大きい性は死にやすい」という個体群もあれば（Tamate and Maekawa 2004; Tamate 投稿予定）、そうでない個体群もある（Tamate 投稿予定）という結果が得られており、親魚サイズおよび死亡率における両雌雄差の関係性について有力な説を提示するまでには至っていません。このテーマについては、今後も研究を継続する必要があるようです。

おわりに

以上、サクラマスにおける体サイズの雌雄差の話題を中心に紹介させていただきました。同種においても「地域や河川が違えば、大きい方の性や雌雄差の程度も異なる」ということがお分かりいただけたと思います。この現象は、見方を変えれば「雌雄それぞれが、生息地域や河川の環境に進化的に適応した結果」を示唆する一例であるといえるでしょう（玉手 2010 参照）。今日のサケ科魚類の資源管理では、このような適応現象を考慮することが求められています（例えば、山本 2011; 佐藤 2013）。ご紹介した雌雄差の緯度間変異研究は、すぐさまサクラマスの資源管理に役立つものではないですが、このような基礎的成果を糸口として雌雄の生き方の違いについて理解が進み、雌雄差を考慮した水産資源管理などの新技術につながれば、と考えています。

本稿でご紹介した研究は、MEXT/JSPS 科研費（研究課題番号 17770009, 20770011, 24570036）の助成を受けて行いました。

引用文献

- Blanckenhorn, W.U., Stillwell, R.C., Young, K.A., Fox, C.W., and Ashton, K.G. 2006. When Rensch meets Bergmann: does sexual size dimorphism change systematically with latitude? *Evolution*, 60: 2004-2011.
- Dunlop, E.S., Engerg, K., Jørgensen, C., and Heino, M. 2009. Toward Darwinian fisheries management. *Evol. Appl.*, 2: 245-259.
- Fleming, I.A., and Reynolds, J.D. 2004. Salmonid breeding system. 『Evolution illuminated—salmon and their relatives』 (A.P. Hendry and S.C. Stearns, eds.), Oxford Univ. Press, New York. pp. 295-314.
- 待鳥 精治・加藤 史彦. 1985. サクラマス (*Oncorhynchus masou*) の産卵群と海洋生活. 北太平洋漁業国際委員会研究報告, 43: 1-118.
- 佐藤 俊平. 2013. DNA から見た日本系サケの遺伝的集団構造とその多様性. *SALMON 情報*, 7: 3-7.
- Tamate, T., and Maekawa, K. 2000. Interpopulation variation in reproductive traits of female masu salmon, *Oncorhynchus masou*. *Oikos*, 90: 209-218.
- 玉手 剛・山本 祥一郎. 2004. サケ科魚類における二つの生活史～生活史分岐と生活史多型に関する進化現象について. 『サケ・マスの生態と進化』 (前川 光司編), 文一総合出版, 東京. pp 43-69.
- Tamate, T., and Maekawa, K. 2004. Female-biased mortality rate and sexual size dimorphism of migratory masu salmon, *Oncorhynchus masou*. *Ecol. Freshw. Fish*, 13: 96-103.
- Tamate, T., and Maekawa, K. 2006. Latitudinal variation in sexual size dimorphism of sea-run masu salmon, *Oncorhynchus masou*. *Evolution*, 60: 196-201.
- 玉手 剛. 2010. 極東固有サケ科魚類（サクラマス、アメマス）における生活史形質の地理的変異について. 月刊 海洋 (総特集 日本在来魚における適応的分化), 42 (6): 323-329.
- 山本 祥一郎. 2011. 溪流魚の遺伝資源および包括的資源管理を考える. *SALMON 情報*, 5: 5-8.

技術情報

環境の特徴に合わせたサケ放流手法の検討のために
～耳石標識放流の結果から～

なかしま あゆみ

中島 歩（北海道区水産研究所 さけます資源部）

はじめに

北海道におけるサケの放流は、放流開始時期を地先の沿岸水温が 5℃となる時期を目安とし、放流サイズを魚体重 1 g 以上で、沿岸水温が 13℃になる時期までに沖合移動が可能なサイズとされる魚体重 3 g 以上まで成長するように放流することが望ましいと考えられています（高橋 2010）。一方、各地域の放流数の推移は近年ほぼ一定であるにもかかわらず、回帰資源の変動には地域によって違いが見られますが、原因として近年の海洋環境の変化にも地域による違いがあること等が考えられています。

北水研さけます事業所では、1998（平成（以下、H）10）年に採卵した 1998（H10）年級の子稚魚において、はじめて一部に耳石温度標識を施して放流したのを皮切りに標識放流数を年々増大させ、2005（H17）年級以降は、放流するサケ稚魚約 1.3 億尾の全数に耳石温度標識を施しています。今回は、これらの耳石標識魚の河川における回帰確認調査の結果、集まりつつある情報から、効果的であった放流時期と放流体重の地域による違いについて紹介します。

方法

北水研さけます事業所のうち、比較的早期に耳石標識放流を開始し、回帰魚についての情報蓄積量が多い斜里さけます事業所（オホーツク海東部）、静内さけます事業所（えりも以西日高）及び千歳さけます事業所（日本海中部）の放流魚を対象としました（図 1）。これら 3 か所のさけます事業所から放流された稚魚が経験する海洋環境は大きく異なります。例えば沿岸水温は、北水研ホームページで公表している「北海道沿岸における春期の表層水温（日平均データ、1994 年以降）」によると、斜里と静内沿岸では斜里沿岸の方が若干水温の上昇が遅いものの、どちらも 5 月中旬頃に 5℃に達し、6 月末頃に 13℃に達しました。一方、厚田沿岸（千歳さけます事業所に対応）では 4 月はじめに 5℃に達し、その後、6 月初めに 13℃に達していました（図 2）。

このように環境条件が異なる中で放流された耳石標識群について、その放流日における沿岸水温を整理し、それらの河川回帰率を以下のように推

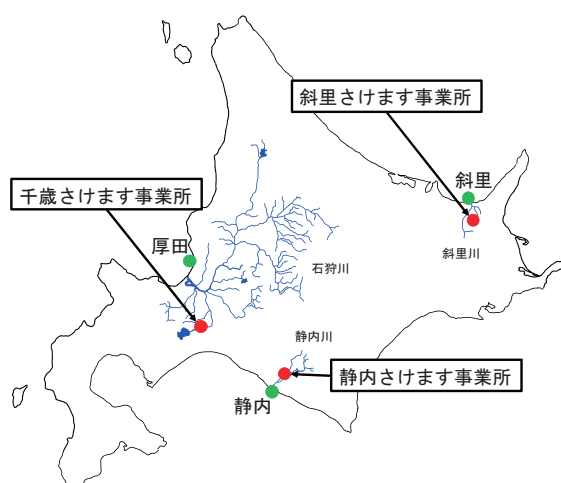


図 1. 斜里、静内及び千歳さけます事業所（赤丸）と沿岸観測点（緑丸）の位置。

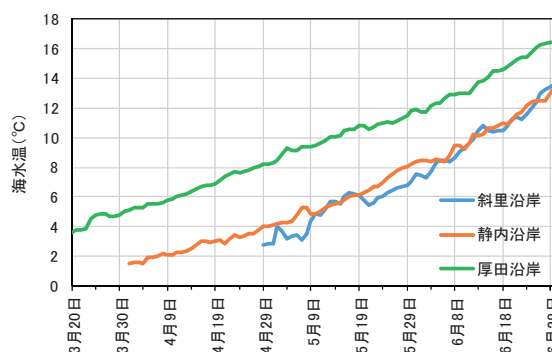


図 2. 各沿岸における平均水温の推移（水深 3 m）。斜里沿岸は 2004-2009 年、静内沿岸は 2000-2009 年（2006 年は欠測）、厚田沿岸は 2002-2009 年（2004 年は欠測）の平均（水産総合研究センター北海道区水産研究所 2014 から作製）。

定しました。

<放流日における沿岸水温>

先に紹介した「北海道沿岸における春期の表層水温（日平均データ、1994 年以降）」から各標識群の放流日における沿岸水温を読み取りました。なお、放流日が複数にまたがる場合は、重心（放

流月日毎にその放流数を掛けて放流数合計で割った加重平均) を放流時期の代表値としました。

<河川回帰率>

サケは受精してから5年後までに概ね9割以上が回帰することから、今回は2013 (H25) 年秋に5年魚が回帰した2008 (H20) 年級までを対象としました。先ず、例年、各地区の皆さんにご協力いただきながら実施している河川における耳石の標識確認で、調査対象親魚(毎旬100尾程度)に占める標識親魚の割合を算定します。次に、河川捕獲数全体にこの割合を掛ければ標識親魚の回帰数が推定できます。一つの年級について2年魚から5年魚まで4年分、この作業を繰り返して足し上げると、ほぼその年級全体の標識親魚の回帰数が推定できます。これを河川回帰率とし、河川回帰数を放流数で割ったものを河川回帰率としました。

結果

<斜里さけます事業所放流魚>

2003 (H15) ~2008 (H20) 年級について、標識群ごとの河川回帰率を図3に示します。図は横軸が放流日における斜里沿岸の水温、縦軸は標識群の平均放流体重、一つ一つの円は異なる標識群を示し、円が大きいほど河川回帰率が高いことを示しています。

稚魚は沿岸水温が10℃となるまでに放流されており、3℃から9℃台の幅広い範囲で1%以上の高い河川回帰率が見られました。また、斜里さけます事業所の用水の水温が約7.5℃と比較的高いこともあり、多くは1.5g以上と比較的大きなサイズで放流されていました。特に放流初期には大型な傾向にあるものの、1.1gから2.5gまで、さまざまな放流サイズで1%以上の河川回帰率を示しました。

2007 (H19) 及び2008 (H20) 年級では、放流時期終盤の6月上旬の単一日(前者は6月9日、沿岸水温7.7℃、後者は6月10日、同10.0℃)に異なるサイズの2群が放流されました。どちらの年級も放流体重の大きい群でより河川回帰率が高くなっていますが、その差以上に年級間の河川回帰率に大きな差が見られます(図3の赤枠で示す群)。河川回帰率が低かった2008 (H20) 年級が放流された年は沿岸水温の上昇が早く、例年であれば8℃前後である6月上旬に、すでに10℃まで昇温していました。このことから、放流の終期を決める際は沿岸水温の上昇にも注意する必要があります。

<静内さけます事業所放流魚>

沿岸水温が欠測となった2005 (H17) 年級を除

いた1999 (H11) ~2008 (H20) 年級の各標識群の河川回帰率について図4に示します。飼育用水の水温が約10℃と高く、全体的に大型の稚魚が放流されています。特に放流時期の終盤には2.5~3gと大型の稚魚が放流されており、放流日の沿岸水温が8℃前後(時期的にはおおむね5月中~下旬)の標識群で1%あまりの河川回帰率を示しました。

同一年級での試験結果では、緑枠で示した沿岸水温1℃台の時期と8℃台の時期に同程度の魚体重で放流した標識群では、8℃台の時期の方が河川回帰率が高く、一方、青枠で示した沿岸水温1℃台の時期に0.8gと2.6gと異なる魚体重で放流した標識群は、どちらも河川回帰率が低いという結果になりました(高橋 2010)。

このように静内さけます事業所における放流は放流時の沿岸水温が重要であることが窺えます。また、水温調整装置によって卵の発生を抑制して放流時の沿岸水温が4℃程度の時期(河川回帰率は0.5%程度)から7℃台の時期まで遅らせた結果、この放流群では1%という高い河川回帰率が得られました(図4の赤枠で示す群)。

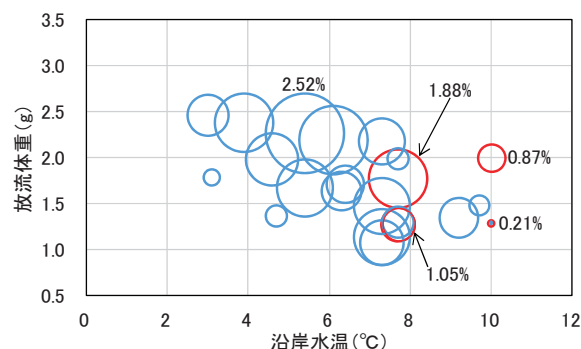


図3. 斜里さけます事業所放流群の河川回帰率(2003~2008年級)。

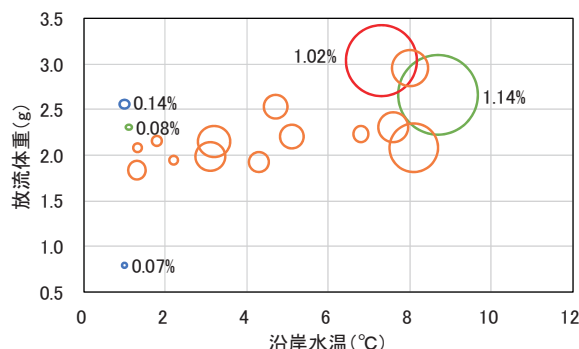


図4. 静内さけます事業所放流群の河川回帰率(1999~2008年級、ただし2005年級は除く)。

<千歳さけます事業所放流魚>

沿岸水温が欠測となった 2003 (H15) 年級を除いた 2001 (H13) ～2008 (H20) 年級について、標識群ごとの河川回帰率を図 5 に示します。千歳川産の卵は元々サイズが小さく、また前述の 2 事業所と比べると、飼育用水の水温が低いこともあって、全体的に放流体重が小さいのが特徴的です。これらの標識群は沿岸水温が 3℃台後半から 7℃台前半 (時期的には 3 月下旬から 4 月中旬) に放流されました。

グラフを概観すると、沿岸水温 6℃以上の右側のエリアには大きな円が多いのに対して 6℃以下の左側のエリアには小さな円が多く見られます。一方、サイズによって明確に区分することは困難ですが、概ね 0.6 g 以上の標識群に比較的高い河川回帰率を示す群が現れています。

前述のとおり、千歳川産の卵はサイズが小さいので、そこからふ化した稚魚は他の 2 事業所の稚魚と体重が同じでも発育段階はより進んでいると考えられます。高い河川回帰率を得るためには、いたずらに放流サイズを大きくするよりも、適切な時期に放流することがより重要であるように考えられます。

<3 事業所のまとめ>

これまでの 3 つの事業所でこれまでに効果的と考えられる放流条件を比較すると、高い河川回帰率が得られた放流時期や魚体重が、地域によって異なっていることが分かりました (表 1)。

すなわち、斜里では放流に適した時期や放流体重の範囲が他の 2 つの事業所と比較して広いのではないかと考えられました。とはいえ放流時期終盤においては、より大型な標識群で効果が高い傾向が見られ、また、年による沿岸水温の違いにも注意しておく必要があります。

静内では沿岸水温が 7～9℃の時期に 2 g 以上と大きなサイズでの放流で高い放流効果が見られました。しかし大型であっても、沿岸水温が低い時期には高い放流効果は得られないことも窺えました。

千歳では、0.6 g 前後の小型で放流された標識群にも比較的高い河川回帰率を示した群がある一方、放流された時期に沿岸水温が 6℃に達しているか否かで河川回帰率の良否が大まかに分けられるようです。また、沿岸水温が 5℃以下の時期に放流された標識群にも高い河川回帰率が見られましたが、これは千歳さけます事業所が石狩沿岸から 90 km あまり上流に位置するため、稚魚が放流されてから海に至るまでで 10 日程度の時間を要

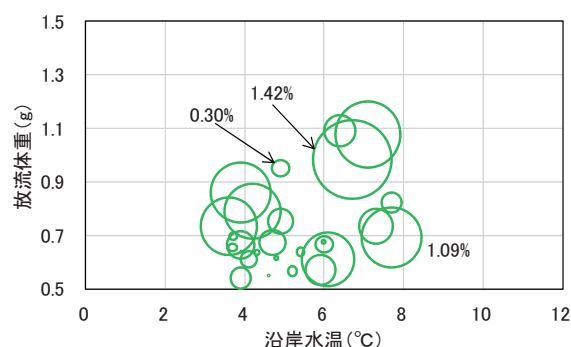


図 5. 千歳さけます事業所放流群の河川回帰率 (2001-2008 年級、ただし 2003 年級は除く)。

表 1. 3 か所の事業所で効果的と考えられる放流条件。河川回帰率 1%以上の放流群が見られた放流条件で示す。

海区 地区	事業所	放流体重 (g)	沿岸水温 (℃)	放流時期
オホーツク海 東部	斜里	1.1～2.5	3～9	4月下旬～ 6月上旬
えりも以西 日高	静内	2.5～3.0	7～9	5月中旬～ 下旬
日本海 中部	千歳	0.6～1.0	6～8	3月下旬～ 4月中旬

することも関係しているかも知れません。

おわりに

耳石標識魚の回帰調査から、効果的な放流時期や放流サイズには地域ごとに異なった特徴があることが分かってきました。北水研では今後も耳石標識魚の回帰状況を調査するとともに、必要に応じて試験的放流も実施し、地域に合わせた放流手法をさらに検討していきます。

最後に、本調査にご協力頂きました、さけます増殖団体の皆様に改めて感謝申し上げます。

引用文献

- 水産総合研究センター北海道区水産研究所, 2014: 北海道沿岸における春期の表層水温 (日平均データ), <http://hnf.fra.affrc.go.jp/>.
- 高橋史久. 2010. 耳石温度標識から得られた知見 その 2 (放流時期とサイズの検討). SALMON 情報, 4: 12-14.

技術情報

サケふ化放流事業における放流と捕獲の関連性

あ だ ち ひ ろ や す た か は し ふ み ひ さ
安 達 宏 泰 ・ 高 橋 史 久 (北海道区水産研究所 業務支援課)

はじめに

一般に北海道におけるサケの親魚捕獲・種卵確保計画は、各々の地区で定められた時期別資源造成割合（例；9 月，10 月，11 月のサケ漁獲数が 45：45：10 の割合となることをめざすなど）に基づいて策定されています。その計画は、サケが生まれた河川に、生まれた時期を目標として回帰するという過去の調査結果に基づき、ある年の時期別放流パターンが将来の時期別捕獲パターンに反映されるという考え方が前提になっていると思います。

親魚と種卵の確保はふ化放流事業の基礎となる工程であり、種卵が時期的にどのように確保されたかによって、その後の事業の進め方が大きく変わってきますので、種卵確保は先を見通して計画的に行うことが必要です。

そこで、実際のふ化放流事業において、まず時期別放流が将来の時期別捕獲にどのように反映されるか、次に種卵がどのような時期別割合で確保されたかによって飼育や放流の実施方法がどう変わるかを示したいと思います。これらが、それぞれのふ化場の時期別資源造成計画を検討する際に参考にできれば幸いです。

採卵時期と捕獲時期

採卵時期と回帰時期の関連については、これまでも SALMON 情報 No.3「これまでの耳石温度標識魚から得られた結果：高橋史久」や SALMON 情報 No.7「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：高橋悟」で紹介されています。耳石標識調査と年齢組成調査によって採卵時期が特定されたサケの回帰状況について、回帰は採卵された時期をピークとして前後に幅があり、特に前側に多いことなどが述べられていますので、詳しいことはそちらの記事をご覧ください。

サケはほとんどが採卵されてから 2 年から 7 年後に回帰しますが、その中でも割合が大きい 4 年後の回帰について、どこかのふ化場にもあるデータを用いて放流と捕獲の関連性を示したいと思います。

図 1 は千歳川における採卵旬別放流と 4 年後の旬別捕獲を示したものです。

平成（以下 H）18 年度（A）と H21 年度（D）の採卵旬別放流パターンは、時期的な増減があまりない台形に近く、その 4 年後の H22 年度と H25 年度の旬別捕獲パターンも台形に近い形になりました。一方、H19 年度（B）と H20 年度（C）の採

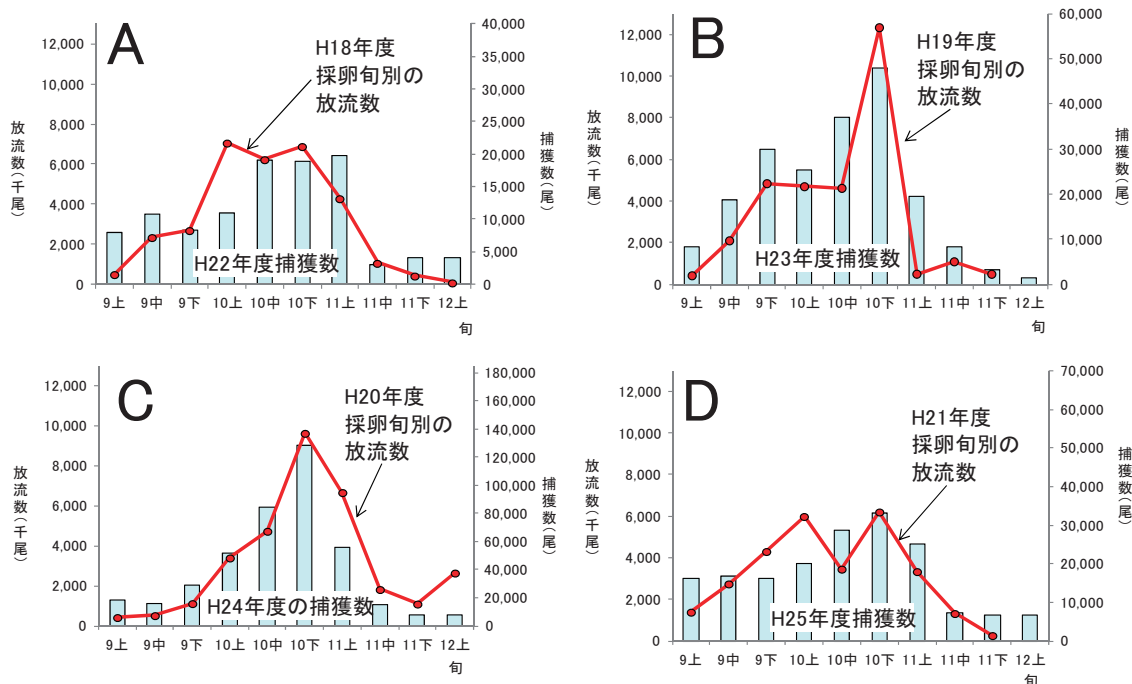


図 1. 千歳川におけるサケ採卵旬別放流数と 4 年後の旬別捕獲数。

卵旬別放流パターンは 10 月下旬に大きなピークがあり、その 4 年後である H23 年度と H24 年度の旬別捕獲パターンのピークと重なり、両者は似通った傾向を示しています。

親魚捕獲は状況に応じて臨機応変に行われるものと思いますが、このように採卵時期が捕獲時期に反映されるとすると、早い時期の捕獲状況から盛期以降の捕獲状況について、おおよその見通しを立てることができそうです。各河川においては、4 年前の放流状況を計画的な捕獲・採卵を行う参考にさせていただきたいと思います。

種卵収容と稚魚放流

次は、時期別の種卵収容状況によって、飼育や放流がどのように変わるかを示したいと思います。

図2は千歳川における採卵旬別収容卵数と旬別放流数を示したものです。

H18 年度の種卵収容 (A-1) は、10 月上旬から下旬にかけて多く、これらの種卵からふ化した稚魚の放流 (A-2) は、翌年の 2 月に僅かに行われた後、多くは 3 月上旬、3 月下旬及び 4 月中旬に放流されました。

H19 年度の種卵収容 (B-1) は 9 月からやや多いものの、特に大きなピークは 10 月下旬にあり、放流 (B-2) は 2 月にはなく、3 月中旬から始まり 4 月中旬が大きなピークになりました。

H20 年度の種卵収容 (C-1) は 9 月中は極めて少なく、10 月下旬をピークとする単峰型になり、放流 (C-2) は H19 年度と同様、3 月中旬から少数が放流され始め、4 月中旬が極めて大きなピークになりました。

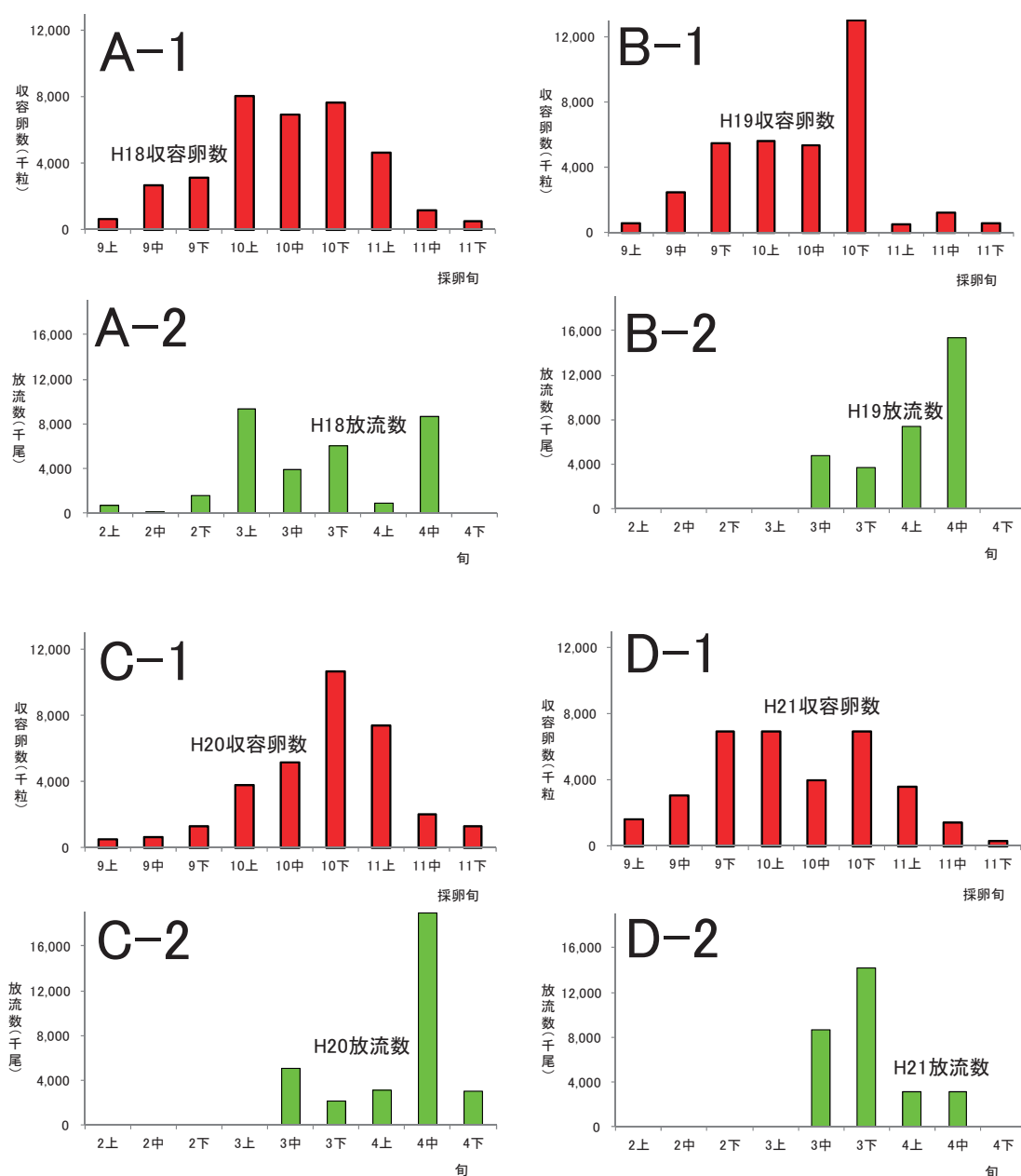


図 2. 千歳川におけるサケ採卵旬別収容卵数と旬別放流数。

H21 年度の種卵収容 (D-1) は H18 年度と似ていますが、1 旬早い 9 月下旬、10 月上旬及び 10 月下旬が同じように多く、放流 (D-2) は、3 月中旬から下旬にかけてのやや早い時期に多く行われました。

このように、飼育や放流の実施方法は種卵収容状況によって変化することがお分かりいただけると思います。

健康な稚魚を適期に放流するために

前号の SALMON 情報 No.8「健苗放流のすすめ：高橋・安達」では、ふ化場が稚魚を健康な状態で飼育できる飼育量（以下、施設能力）には限界があるので、飼育量がその限界を超える前に調整放流を行うなどして、常に良好な飼育環境を保って健苗育成を行うことが大切であることを述べました。

例えば、早い時期に採卵された種卵を多く収容した場合、当然のことながら、早い時期から飼育に必要な用水量が増えていきますので、それに対処しなければなりません。

そのような場合、千歳さけます事業所では、比較的水温が高い湧水や地下水を最大限に注水した上で、これに河川水を加えて施設能力の増加を図っています。しかし、飼育初期に低水温で飼育することには、成長の停滞や体サイズのばらつきが起きやすくなるなどのリスクが伴うので基準とす

る水温を下回らないよう河川水の混合量を制限しています。このため 9 月中のような早い時期に採卵された種卵を多く収容すると、春を迎えて河川の水温が上昇するよりも前に飼育が本格化しますが、まだ混合できる河川水の量が少ないので、施設能力が限界となるまでの期間が短くなります。元々、飼育開始が早いことに加えて飼育期間も短くなるのですから、図 2 の A-2 や D-2 に示したように、どうしても早い時期の放流は避けられませ

ん。特に河川にそ上するサケが少ないなどの理由で十分な種卵が確保できなかった場合、その翌年の採卵では用心のため早い時期に偏った種卵確保が行われがちです。しかし、施設能力とのバランスが取れていない種卵収容は、健苗育成を難しくするばかりではなく、サケは自らが採卵された時期を目掛けて回帰する傾向があるため、放流された稚魚が親魚となって回帰した時に、また同じ困難を繰り返すことになります。

高い回帰率を期待するためには、稚魚を健康な状態で、できるだけ多くを適期に放流する必要があります。そのためには、個々のふ化場の施設能力とのバランスが取れた種卵収容計画を立て、その実現に向けた捕獲・採卵を行うことが大切です。

ふ化放流をできるだけ効果的に行うため、北海道区水産研究所としてもお手伝いしたいと考えていますので、ご質問・ご要望等ありましたら、お近くのさけます事業所にご相談下さい。

会議報告

さけます関係研究開発等推進会議

あたち ひろやす

安達 宏泰（北海道区水産研究所 業務支援課）

はじめに

平成 26 年 8 月 6 日に札幌市において、「平成 26 年度さけます関係研究開発等推進会議」を開催しました。本会議は、さけます類に関する研究開発や個体群維持のためのふ化放流について、関係行政・試験研究機関及び増殖団体等との情報交換を密にし、連携強化を図ることにより、さけます類に関する総合的な研究開発等を効率的かつ効果的に推進することを目的に設置したもので、研究開発の計画・成果等に関する情報交換と連携研究の可能性等を検討する「研究部会」、研究開発等の成果普及・情報交換とニーズの把握を行う「成果普及部会」で構成されています。

研究部会

9 時 30 分から水産庁、8 道県試験研究機関、水産総合研究センター関係各研究所および 5 道県水産行政部局、2 大学の 73 名参加の下で「研究部会」を開催しました。北海道区水産研究所谷津所長の挨拶の後、議事に入りました。

・各機関の研究開発の実施状況等 北海道区水産研究所が示した各道県の試験研究機関および水産総合研究センターの平成 26 年度のさけます関連調査研究課題の一覧表に沿って、各試験研究機関から平成 26 年度研究計画の補足説明および平成 25 年度研究成果情報が紹介されました。

研究成果のトピックスとして、岩手県水産技術センターから「東日本大震災時に放流されたサケの 3 年魚回帰状況」、水産工学研究所から「岩手県山田湾におけるモニタリングシステム」が紹介され、質疑応答が行われました。

また、各試験研究機関が行った平成 25 年度の標識放流結果と平成 26 年度の標識放流計画について北海道区水産研究所が報告し、変更等があった場合には北海道区水産研究所さけます資源部へ報告していただくことが確認されました。

・特別講演 北海道大学大学院農学研究院環境資源学部門の荒木教授による「ふ化放流魚と野生魚の相互作用」と題する特別講演が行われ、サケ科魚類においても継続的種苗放流が野生魚集団への遺伝的影響は避けられないこと、対応策として「繁殖



写真 1. 「研究部会」会議全景。



写真 2. 「研究部会」の座長を務めた永澤さけます資源部長。



写真 3. 「特別講演：ふ化放流魚と野生魚の相互作用」を講演いただいた北海道大学の荒木教授。

殖成功率を下げない種苗づくり」と「ふ化放流以外の資源保全確保」への研究開発が必要との問題提起がありました。

・さけます類の来遊状況についての意見交換 各

機関から提供された情報に基づいて、平成 25 年度におけるサケ来遊状況の特徴について意見交換が行われ、当該年度における 5 年魚の増加は成長の遅れを反映したものであるとの見解で一致しました。

・その他 北海道区水産研究所から、平成 27 年 5 月に神戸で開催される NPAFC (北太平洋溯河性魚類委員会) シンポジウムを紹介し、各試験研究機関に積極的な参加を要請しました。

平成 25 年度に提示した「サケ自然再生産に関するプロジェクト」については、積極的な参加意思を示した試験研究機関が少なかったため、応募を見送ったことを報告しました。

サクラマス分科会の結果概要として、サクラマスの試験研究活性化のため、環境研究総合推進費（環境省）に「遺伝的攪乱が水産重要魚種サクラマスの生態的特性及び河川生態系へもたらす波及効果（仮題）」として応募する予定であること、サクラマスの資源評価モニタリング体制を充実させるため、共通のデータ収集フォーマットと調査マニュアルを作成すること等を報告しました。

成果普及部会

14 時から関係道県の行政機関、増殖団体、漁業団体等が加わり、209 名参加の下で「成果普及部会」を開催しました。北海道区水産研究所谷津所長の挨拶に続き、来賓を代表して水産庁増殖推進部栽培養殖課の平間栽培養殖専門官からご挨拶をいただいた後、議事に入りました。

・成果情報：地域特性を考慮した増殖事業の展開^{*1} (1) サケの地域特性

北海道区水産研究所の伴ふ化放流技術グループ長が、サケは地域によって、1) 遺伝的特性、2) 来遊数、3) 来遊時期、4) 採卵時期、5) 放流適水温が異なることから、それぞれの地域に適応した特性についての理解を深め、ふ化放流現場に活かすことが効果的な増殖事業の展開につながるとの見解を示しました。

(2) 北海道各地におけるサケ稚魚の耳石標識放流試験結果^{*2}

北海道区水産研究所ふ化放流技術グループの中島主任技術員が、1) オホーツク海区斜里川、2) えりも以西海区静内川、3) 日本海区千歳川での耳石標識放流試験の結果に基づき、サケ稚魚の生残に関わる要因は地域によって異なる可能性があり、各地域の特徴に合わせた放流手法を検討する

必要があると提言しました。

(3) 本州日本海沿岸におけるサケ放流適期の検討

日本海区水産研究所さけます調査普及グループの飯田研究員が、放流時期別に異なる耳石温度標識を施された放流群の回帰状況について、3 月中旬放流群の回帰率がその前後の放流群よりも高かったことを報告しました。このことについて、餌生物量の多寡や対馬暖流が影響しているとの推論を示しました。

(4) 岩手県におけるサケふ化放流計画見直しの試みについて

岩手県水産技術センター漁業資源部の小川上席専門研究員から、1) 岩手県のサケ回帰尾数と稚魚放流数、2) 過去の種苗生産計画見直しの事例紹介、3) 現在提案している新たな見直し、4) 直面する課題について報告されました。



写真 4. 「成果普及部会」会議全景。



写真 5. 「成果情報」での発表者。北海道区水産研究所：伴ふ化放流技術グループ長(左上)、北海道区水産研究所：中島主任技術員(右上)、日本海区水産研究所：飯田研究員(左下)、岩手県水産技術センター：小川上席専門研究員(右下)。

^{*1} 同様のテーマで開催した北水研さけます資源部ワークショップについて、本誌 26 ページに掲載しています。

^{*2} 詳しくは、本誌 15 ページを参照ください。

・情報提供

(1) オホーツク海における日本系耳石標識サケ幼魚の再捕報告

北海道区水産研究所繁殖保全グループの富田技術員が、ロシアの太平洋科学調査・漁業センターによる「2012 年オホーツク海における降河後回遊期の人工ふ化カラフトマスとサケ稚魚の割合」に掲載されたサケとカラフトマス幼魚に関する情報を紹介しました。

(2) 北太平洋におけるサケ資源の現況と来遊見込み

北海道区水産研究所の斎藤資源評価グループ長が、1) 北太平洋のサケマス資源、2) ベーリング海のモニタリング調査、3) 平成 25 年度のサケ漁獲状況、4) 平成 26 年度のサケ来遊見込みを紹介しました。特に、今年度のサケ来遊数は前年を下回る可能性があり、地域によっては沿岸漁獲および河川捕獲が低迷することも想定されるため、関係機関の連絡体制を整備し、地場資源による種卵確保に向けての対応を協議するよう注意喚起を行いました。

・意見交換

全体を通じて、沿岸来遊期のサケの遊泳行動に関する質疑応答、標識放流されたサケ親魚の再捕情報についての照会がありました。

アンケート結果

本推進会議の参加者を対象に、今後の会議をより充実させるためのアンケート調査を実施しました。質問「会議内容は業務に役立つ内容でしたか」に対し、「はい」61%、「まあまあ」39%、「あまり」または「いいえ」0%で、「配付資料は役立つ内容でしたか」に対し、「はい」59%、「まあまあ」41%、「あまり」または「いいえ」各 0%の回答でした。「業務に役立つ内容」や「取り組むべき課題」としては、主に道県機関からはサケふ化放流のあり方やオホーツク海及びベーリング海調査、民間増殖団体等からは放流適期の調査、回帰につながる増殖等が挙げられました。



写真 6. 「情報提供」での発表者。北海道区水産研究所: 富田技術員(左)、北海道区水産研究所: 斎藤資源評価グループ長(右)。



写真 7. 「意見交換」における質疑応答。

おわりに

本推進会議は、北海道区水産研究所と関係道県の試験研究機関、行政機関、団体等との情報交換を密にし、ニーズを把握して相互の連携強化を図り、さけますに関する研究開発並びに個体群維持のためのふ化放流を効率的かつ効果的に推進するために開催しているものです。さけますに関係する様々な機関や団体が一堂に会して情報や意見交換ができる貴重な機会であり、ブロック推進会議とは異なる「分野別推進会議」に位置付けて開催しています。

会議終了後には、参加された皆様にアンケート調査へのご協力をお願いしており、寄せられたご意見、ご要望を踏まえ本推進会議をより充実したものとするよう努めて参りますので、関係者の皆様には今後ともご参加いただきますようよろしくお願い致します。

会議情報

2014 年 NPAFC 年次会議

科学調査統計小委員会(CSRS)の概要

うらわ しげひこ

浦和 茂彦 (北海道区水産研究所 さけます資源部)

北太平洋溯河性魚類委員会 (North Pacific Anadromous Fish Commission; 以下 NPAFC) は、1993 年 2 月に発効した『北太平洋における溯河性魚類の系群の保存のための条約』に基づき国際機関として設立されました。NPAFC の目的は『条約区域における溯河性魚類 (さけ・ます類) の系群の保全を推進すること』で、さけ・ます類の母川を抱える加盟国 (カナダ、日本、韓国、ロシアと米国) が協力して科学調査と取締活動を実施しています。2014 年 5 月 12 日より 16 日まで米国オレゴン州ポートランドにおいて第 22 回 NPAFC 年次会議が開催されました。ここでは科学調査統計小委員会 (CSRS) の概要を報告します。

さけます類の漁獲量と放流数 (2013 年)

総漁獲量は、約 111 万トンと 2009 年 (114 万トン) に次ぐ記録となり、このうちカラフトマスが 59 万トン (53%)、サケが 35 万トン (31%) を占めました。国別漁獲量は、米国 51 万トン (46%)、ロシア 41 万トン (37%)、日本 16 万トン (15%)、カナダ 3 万トン (2.5%)、韓国 219 トン (1%以下) の順でした。ふ化場からの総放流数は、約 50 億尾で 1993 年以来ほぼ一定となっています。魚種別では、サケが 31 億尾 (63%)、カラフトマスが 12 億尾 (25%) を占めました。国別の総放流数は、米国 18.8 億尾 (38%)、日本 17.3 億尾 (35%)、ロシア 10.4 億尾 (21%)、カナダ 2.9 億尾 (6%)、韓国 971 万尾 (0.2%) でした。

耳石標識放流

耳石標識は、さけます類の発眼卵や仔魚に水温変化などを与えて耳石にバーコード状の模様を施す大量標識技術です。2013 年の耳石標識魚の総放流数は約 26 億尾で、ふ化場から放流された魚の 52% を占めました。日本はふ化場 24 カ所で 2014 年級約 2.5 億尾 (サケ 221 百万尾、カラフトマス 24.5 百万尾、サクラマス 4.2 百万尾、ベニザケ 15 万尾) に耳石標識を施して放流する計画を提出しました (Doc. 1517)。使用予定の耳石温度標識パターンは 101 種類と前年よりも 55% 増加しましたが、他国との重複のないことが確認されました。

NPAFC 科学計画に関係した研究活動のレビュー

現在の科学計画 (2011-2015 年版) で設定された 5 つの研究コンポーネント別にパネル討論を行



写真 1. 会場となったオレゴン州ポートランドのホテル。



写真 2. 第 22 回 NPAFC 年次会議の本会合。

いました。日本は 2012-2014 年に発表された関連論文 39 編の要旨集を提出し (Doc. 1536)、主要な成果を発表しました。現在の科学計画課題の進展状況を総括するため、2015 年 5 月に神戸で NPAFC 国際シンポジウムを開催します (別記参照)。

2014 年の調査船調査計画

条約に従い、日本は北海道大学調査船 (おしよろ丸) による北西太平洋調査 (5 月) と北光丸によるベーリング海さけます調査 (7-8 月) の計画書を提出しました (Doc. 1499)。また、さけます類を混獲する可能性のあるサンマ調査等の航海計画も提出しました (Doc. 1503)。なお、米国よりアラスカ大学研究者の北光丸への乗船依頼がありました。乗船の目的は、トロール網に Live-Box を装着し、採集された活魚 (マスノスケ) にポップ・アップ・タグを標識して放流し、回遊行動を調べることです。

NPAFC と PICES の協力

北太平洋における科学調査を推進するため、北太平洋海洋科学機構 (PICES) との協力関係を強化するフレームワークが作成され承諾されました。

なお、このフレームワークに従い、2014 年 10 月に韓国で開催された PICES 年次会合において、両組織が合同でワークショップ「さけます類の冬季分布と海洋環境の結び付きと気候変動の影響

(Linkages between the winter distribution of Pacific salmon and their marine ecosystems and how this might be altered with climate change)」を開催しました。また、2015 年 NPAFC 国際シンポジウム(別記参照)も共同で開催することになりました。

国際さけます年

2012 年次会議において「国際さけます年(International Year of Salmon, IYS)」を定めて外部資金を獲得し、海洋におけるさけます類の国際共同研究を推進することをカナダが提案しました。実現の可能性を検討するための検討グループ(IYS Study Group)が、プログラムの狙いと有益性、外部資金獲得の可能性とパートナーの特定、アウトリーチや研究戦略を含めた提案書を作成し、2015 年次会議で検討することになりました。

2015 年 NPAFC 国際シンポジウム

2015 年 5 月 11-15 日に神戸で開催される第 23 回 NPAFC 年次会議に続き、国際シンポジウムを 3 日間開催します。開催概要は別記の通りで、オンライン(www.npafc.org)で参加申込み出来ます。

日本が提出したドキュメント

日本が提出した科学ドキュメントは以下の通りで、これらは NPAFC ホームページ (www.npafc.org) に一般公開されています。

Doc. 1499: Proposed cruise plans of Japanese research vessels for salmon in the North Pacific Ocean in 2014 (2014 年の北太平洋における日本のさけます調査船の航海計画)

Doc. 1503: Cruise plans of Japanese research vessels involving incidental takes of anadromous fish in the North Pacific Ocean in 2014 (2014 年に北太平洋においてさけます類を偶発的に混獲する恐れのある調査船の航海計画)

Doc. 1513: Incidental catches of anadromous fishes by Japanese research vessels in the North Pacific Ocean in 2013 (2013 年に日本の調査船で偶発的に混獲したさけます類)

Doc. 1514: Results of 2013 salmon research by the *Oshoro maru* (2013 年のおしよろ丸によるさけます調査結果)

Doc. 1515: Preliminary statistics for 2013 commercial salmon catches in Japan (日本における 2013 年のさけます類漁獲量の概報)

Doc. 1516: Preliminary 2013 salmon enhancement production in Japan (2013 年のさけます類増殖事業結果概報)

Doc. 1517: Proposed otolith marks for brood year 2014 salmon in Japan (2014 年級日本産サケ類の耳石標識放流計画)

Doc. 1518: Japanese salmon research cruise of the R/V *Hokko maru* in the Bering Sea during the summer of 2013 (2013 年夏に北光丸で実施したさけます資源生態調査の概要)

Doc. 1536: Japanese bibliography in 2012-2014 for NPAFC Science Plan (NPAFC 科学計画に貢献する 2012-2014 年に出版された日本の科学文献)

気候変動下におけるさけます類の生産に関する国際シンポジウム International Symposium on Pacific Salmon and Steelhead Production in a Changing Climate: Past, Present, and Future

【開催日】2015 年 5 月 17-19 日

【場所】神戸コンベンションセンター

【目的】さけます類の生産変動のメカニズム解明と予測を行うため、さけます類の海洋生態に関する情報を集約する。

【セッション】

- ①危機的な海洋生活期におけるさけます類の移動と生残メカニズム
- ②さけます類の生産と海洋生態系に与える気候変動の影響
- ③海洋環境の指標となる主要さけます個体群の分析
- ④さけます類の資源管理のための系群識別とモデルの応用
- ⑤気候変動下におけるさけます類の生産とリンクした生態系の予測

【参加申込み】NPAFC ホームページ (www.npafc.org) より申込みを受け付ける。参加費は 200 ドル。

【主催】北太平洋溯河性魚類委員会 (NPAFC)

【共同スポンサー】水産総合研究センター、MOORE Foundation、北海道さけ・ます増殖事業協会、北海道定置漁業協会、North Pacific Research Board、Pacific Salmon Foundation、PICES



会議報告

平成 26 年度さけます資源部第1回連絡会議ワークショップ
「地域特性に合った増殖事業の展開に向けて」

伴 真俊*1・佐藤 俊平*1・浦和 茂彦*1・斎藤 寿彦*1・高橋 昌也*2・高橋 悟*3・薄 健太*4・徳田 裕志*5・坂本 準*6・小松 信治*7・小軽米 成人*8・坂上 哲也*9・桑木 基靖*10・羽賀 正人*11・吉野 州正*12・飯田 真也*12・中島 歩*1

日本のサケ資源は、長年にわたる増殖事業により高水準を維持しています。現在の基本的な増殖技術は、この間の様々な技術開発や調査結果に基づいて構築され、マニュアル化されています。しかしながら、北日本の各地に点在する増殖現場は、自然環境要因（増殖用水、河川や沿岸環境など）、生物的要因（親の年齢構成や大きさ、卵サイズ、採卵時期など）や社会環境要因（施設能力、労働力、経費など）、更にそれらが複合して発生する魚病などそれぞれ異なる地域特性を抱え、画一的な手法では対応できない状況も見受けられます。稚魚の放流についても、現在の目標値（沿岸水温

5℃、放流サイズ 1 g 以上）が全てのふ化場に当てはまる訳ではありません。このような現状において、増殖現場では地域特性に合わせた様々な対策を講じているようですが、その情報が整理・共有されているとは必ずしもいえません。

そこで、サケの生物学的特性と増殖実態を地域別に把握するとともに、過去に行った標識放流試験結果を整理し、地域特性に合った稚魚放流を検討することを目的として、内部ワークショップを企画しました。以下にワークショップの演題と発表内容の概略を紹介します。

1. サケの地域特性

- | | |
|--------------------------|-------------|
| 1) 日本系サケの遺伝的個体群構造 | 佐藤 俊平・浦和 茂彦 |
| 2) 日本系サケの生物学的特性 | 斎藤 寿彦 |
| 3) 日本系サケ地域個体群におけるふ化放流の現状 | 高橋 昌也・伴 真俊 |

2. 各地の増殖事業の現状 -地域特性に対応した工夫と課題-

- | | |
|---|--------|
| 1) 徳志別事業所における増殖用水と沿岸水温に関わる課題と工夫 | 高橋 悟 |
| 2) 北見管内の増殖事業の現状 | 薄 健太 |
| 3) 伊茶仁川におけるサケ稚魚生産体系について | 徳田 裕志 |
| 4) 低密度飼育管理による放流の実践状況 | 坂本 準 |
| 5) 北海道エリモ以東海区東部地区における増殖事業の現状 | 小松 信治 |
| 6) 増殖用水と沿岸水温に関わる課題と工夫-えりも以東海区西部地区(十勝川)- | 小軽米 成人 |
| 7) 養魚池管理における不明減耗の抑制について | 坂上 哲也 |
| 8) 千歳さけます事業所の増殖事業の現状 | 桑木 基靖 |
| 9) 本州太平洋地区のふ化場における現状について | 羽賀 正人 |
| 10) 本州日本海における増殖事業の現状 | 吉野 州正 |

3. 地域特性に合った稚魚放流の検討

- | | |
|--|-------|
| 1) 本州日本海地区における放流適期の検討 | 飯田 真也 |
| 2) 北海道各地における時期別のサケ稚魚放流試験結果：耳石温度標識放流の結果から | 中島 歩 |

*1 北海道区水産研究所（北水研）さけます資源部、*2 水産庁、*3 北水研徳志別さけます事業所、*4 北水研斜里さけます事業所、*5 北水研伊茶仁さけます事業所、*6 北水研虹別さけます事業所、*7 北水研鶴居さけます事業所、*8 北水研十勝さけます事業所、*9 北水研静内さけます事業所、*10 北水研千歳さけます事業所、*11 東北区水産研究所さけます資源グループ、*12 日本海区水産研究所さけます調査普及グループ。

1. サケの地域特性

サケの地域特性を論議する際、日本系サケの個体群構造を把握しておくことは不可欠です。サケは高い母川回帰能力を有するため、それぞれの母川や地域環境に適応した特性を持ち、遺伝的に異なる個体群が成立していると推測されることから、北海道区水産研究所（当時の北海道さけ・ますふ化場およびさけ・ます資源管理センター）では 1980 年代後半から日本系サケの遺伝的個体群構造解析を始めました。当時は遺伝マーカーとしてアロザイムを用い、20 遺伝子座を分析して個体間の系統樹を作成したところ、北海道地域は 5 地域個体群（オホーツク、根室、えりも以東、えりも以西、北海道日本海）、本州は 2 地域個体群（本州太平洋、本州日本海）に分かれること、これらの地域間では遺伝的分化が生じており、その程度は特に北海道地域と本州地域の間で大きいことが明らかとなりました。2000 年代以降のマイクロサテライト DNA や SNP^{*1}を用いた研究においても基本的には同様の結果が得られており、日本系サケには現時点で少なくとも遺伝的に異なる 7 つの地域個体群が存在することが示されました（図 1）。これら 7 つの地域個体群は、それぞれが長い時間をかけて地域に適応した結果生じたと考えられることから、地域個体群の遺伝構造を攪乱しないような形で増殖事業を展開することが重要です。また、定期的な遺伝モニタリングを通じて、日本系サケの遺伝的多様性や個体群構造に変化が生じていないか注視していく必要があります。

では、遺伝的に異なる地域個体群にはどのような違いがあるのでしょうか。日本系サケの生物学的特性における地域差について調べてみました。調査では、1994-2008 年度に上記 7 地域個体群から採集されたサケの総漁獲数、河川そ上盛期、河川そ上盛期の沿岸水温、4 年魚の尾叉長、成熟年齢、4 年魚の繁殖形質（卵径および孕卵数）を比較しました。その結果、調べた生物学的特性の全てにおいて、地域間あるいは幾つかの地域グループ間で違いが認められました。また、いくつかの特性では河川個体群の緯度経度に沿った変化があるようです。特に、日本海に沿った河川個体群における河川そ上盛期（図 2）、尾叉長、成熟年齢および卵径は、津軽海峡を境にして明瞭に変化していました。北海道では、河川そ上盛期が 1960 年代に比べて早くなっており、これは人工ふ化放流事業によるそ上時期の人為的改変の影響であると考えられます。河川そ上盛期の早期化により、

産卵回遊時のサケは沿岸域においてより高い海水温を経験するようになりました。各河川個体群の尾叉長で補正した卵径は、調査期間にわたり小型化の傾向を呈しています。このように、いくつかの生物学的特性では人為的改変の影響が認められたものの、日本系サケの生物学的特性には地域的な差異が今なお存在することが分かりました。

最後に、このような遺伝的・生物学的差異を示すサケを対象にした増殖事業の実態を、過去 20 年間にわたり海区毎に整理してみました。オホーツク海区は、2000 年代以降高い資源量を維持しています。ここでは、沿岸水温が 8℃に達する 5



図 1. 遺伝的個体群構造解析から明らかになった日本系サケの 7 個体群。

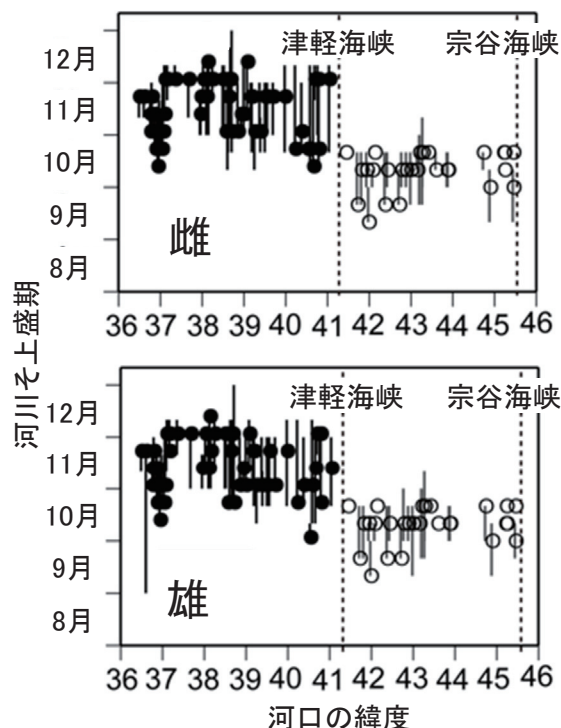


図 2. 日本海側沿岸における河口緯度と河川そ上盛期（河川捕獲数が総数の 50%に達する時期）の関係（斎藤ら 2015 を改変）。○：北海道日本海側、●：本州日本海側。

^{*1} Single Nucleotide Polymorphism（一塩基多型）：核酸の塩基配列中に認められる一塩基の変異。生物種集団内の多様性を調べる際に用いられる。

月下旬に集中して放流されてきました。放流サイズは 1990 年代の約 1.0 g から 2000 年代の 1.2 g へ漸増し、大型群ほど回帰率が高い傾向を示しています。一方、根室海区は 2000 年頃までオホーツク海区と似た資源変動を示しますが、それ以降は類似性がなくなり資源量も低下しました。採卵の盛期は 1990 年代が 10 月下旬と 11 月下旬だったのに対し、最近では 10 月下旬に集約され、放流盛期も 2000 年代後半以降は 5 月中旬へと早期化しています。えりも以東海区とえりも以西海区の資源量は類似した年変動を示します。しかし、えりも以東海区の放流盛期は主として 5 月中旬で放流サイズは 1990 年代後半以降 1.6 g 前後に大型化したのに対し、えりも以西海区の放流サイズは 1.2-1.5 g で大きな変化がなく、放流盛期は 1990 年代後半に 4 月中・下旬から 5 月に移行する等、両地域には違いが認められます。北海道日本海区は 1990 年、1995 年、2004 年に卓越した漁獲がありました。この間、採卵の盛期が 1990 年代の 10 月下旬から 2000 年代の 10 月上旬へ早期化し、放流盛期は 4 月上旬から 4 月下旬へ遅くなる等の変遷がありました。本州太平洋の資源量は 1990 年代の高水準から 2000 年代に急激な低下を示し、現在も回復の兆しはありません。放流の盛期は 1990 年代前半まで 3 月下旬でしたが、それ以降は 3 月上旬から 5 月上旬に分散しています。放流サイズは 1.2-1.5 g の範囲で推移しました。本州日本海の資源量は低位な状態が続いております。放流の盛期は一貫して 3 月下旬であり、放流サイズも 1.0-1.2 g で大きな変動はありません。このように、採卵時期、放流時期とサイズは地域毎に異なると共に、同じ地域でも変遷が認められました。これらの情報を詳細に比較することで、資源変動要因の一端が明らかになるかもしれません。

2. 各地の増殖事業の現状 -地域特性に対応した工夫と課題-

サケの増殖事業では毎年ふ化場毎に放流予定数を定め、それに向けた卵の確保と仔稚魚管理を行っています。しかし、各地のふ化場は、それぞれ施設規模や増殖用水等に制約があるなかで集約的な飼育管理を余儀なくされています。ここでは、各地域ならびに事業所が抱える問題点と、それらを解消するための創意工夫を紹介します。

徳志別さけます事業所が位置するオホーツク西部地区は、旬別平均水温が 4 月下旬に 5℃、6 月上旬に 10℃を超えます。放流は概ねこの期間に行われますが、回帰率は 5 月中旬の放流群が高く、遅くなると低下する傾向が認められます。また、放流体重 (0.9-1.3 g) でみると、大型の群ほど高回帰を示します。このことから、徳志別事業

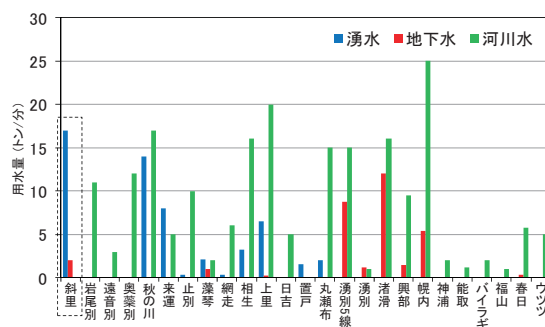


図 3. オホーツク東・中部地区におけるふ化場別増殖用水の種類。

所の放流は 5 月中旬頃に体重 1.3 g くらいで放流するのが最も効果的と考えられます。しかし、体重が 1 g に満たない群は、6 月上旬を目処に大きくしてから放流するほうが放流効果は高いようです。一方、産卵期全般にわたる種苗を最適な放流時期・体重に合わせるため、当事業所では水温が異なる 5 種類の水源を使い分けた発育調整を行っています。

オホーツク東・中部地区のサケ資源は、近年高い水準を維持しています。この地域の民間ふ化場は湧水に恵まれず、飼育用水として河川水が使われることが多いため原虫症の発生リスクが高まりますが (図 3)、塩水浴を徹底することで発症を最小限に抑えています。稚魚の放流では、間欠給餌と低水温管理をうまく組み合わせることにより、ほぼ全ての放流魚を適期内に適サイズで放流しています。一方、斜里さけます事業所は豊富な湧水で飼育を行うことが可能ですが、ミズカビ症や卵膜軟化症が発生しやすいため、ミズカビ防除剤や緑茶抽出物を用いた対応が不可欠です。また、ふ化水温は周年 7.4-7.8℃であり、稚魚の成長が早く飼育面積が不足するため、「良質な水があってもサケが飼えない」状態が発生しています。そのため、一部の魚を調整放流するなど、適切な飼育密度を保つ対策を講じています。

根室管内は来遊資源が最盛期のほぼ半分に減少しました。そのため、根室北部地区では放流適期前に稚魚をふ化場の上流域へ分散放流するなど、未利用水面を有効に活用して健苗性の高い稚魚生産に重点を置いた取り組みを進めています。また、伊茶仁さけます事業所ではサケ、カラフトマス、サクラマスの 3 魚種を扱っているため飼育用水が不足しがちです。しかし、伊茶仁川は河川生産力が高いとの調査結果もあることから、この生産力を有効に利用することで年毎に変化する環境条件に対応できる生残率の高い放流手法の開発を検討しています。

根室南部地区の虹別さけます事業所では、長年にわたって適サイズ（1g）のサケ稚魚を適期（5月上旬以降）に放流してきましたが、2002（H14）年から河川遡上数の低迷が続いています。その要因の一つとして、最近の飼育が過去に比べて高密度になっていることが考えられます。そのため、飼育密度を従来の20 kg/m³から18 kg/m³未満に低く設定し、稚魚へのダメージを軽減する飼育手法を検討しています。また、飼育日数を60日未満に設定し、駆虫処理を浮上直後と30-35日後の2回にして3回目を回避することで、稚魚へのダメージを軽減する手法を導入しました。結果として、2014（H26）年の放流群は成長が早く、餌料効率が高くなりました。この「低密度飼育管理」による放流効果を検証するため、耳石温度標識を付けて放流したサケ稚魚の分布、降下スピード、胃内容物重量指数、魚の栄養状態、および河川環境等を調査しています。

鶴居さけます事業所があるえりも以東東部の地域では、釧路川の遡上数の減少にともなう種卵不足、沿岸漁獲量の低迷にともなう漁業経営の逼迫が生じております。民間ふ化場では、健苗放流による回帰率の向上を目指し、許容量に見合った飼育管理と徹底した駆虫を励行しております。また、鶴居さけます事業所は来遊不振の原因究明を目的に、全ての時期別放流群に異なる耳石パターンを施し、釧路川と沿岸域で稚魚の降下状況や成長等を把握する予定です。

えりも以東西部地区におけるサケの来遊数は、2010（H22）年に大きく減少した後やや回復傾向にあります。この地区では、沿岸水温が5℃を超えて放流適期となる5月上旬から中旬に合わせて放流が行えるよう、水温調整装置の導入等の施設整備が進められました。そのため、以前は適期前の3月に放流が開始されていましたが、近年の放流は多くが5月上旬以降となり、70-80%の稚魚が適期内に大型のサイズで放流できるようになりました。十勝事業所でも種卵管理時の水温調整が可能となり、卵の時期別収容と水温調整を組み合わせることにより適期放流の割合を高める体制が整ってきました。今後は、飼育管理区分ごとに異なるパターンの耳石標識を付け、放流サイズや放流時期の違いによる回帰効果の比較を行う予定です。

静内さけます事業所は、仔魚期の減耗を抑制する技術開発として遮光の有無の影響を調査してきました。一般に、養魚池は全面を遮光シートで覆い、暗くすることで仔魚の安静を保ち、無駄な動きを与えない管理が良いとされています。しかし、静内さけます事業所で2009（H21）年度に行った仔魚の安静維持試験の際に、観察のため遮光シート無しで管理したところ、そちらの死亡数の

方が少ない結果となりました。この結果を踏まえ、2010（H22）年度から遮光シートと透明シート、およびシート無しで比較しましたが、やはりシートで覆わないほうの減耗が少ないという結果になりました。ただし、シート無しの池でも減耗率には幅があります。そこで、2013（H25）年度は全ての遮光シートを外し、砂利の敷設量を2009（H21）年度試験で結果の良かった通常管理の0.7倍量で管理した試験区を設けて比較しています。

千歳さけます事業所では仔稚魚の魚病等が認められることがあり、浮上直後と放流までの平均2~3回程度の食酢食塩浴を行いながら健苗育成に努めています。また、回帰率を向上させるため、これまでと時期を変えた放流を行っています。2006（H18）年級以前は2月から4月中旬までの8旬で放流していましたが、2007（H19）年級からは試験放流群を含む3月中旬から4月中旬の4旬、2012（H24）年級以降は新たに3放流群を設定し、3月上旬から4月中旬の5旬での放流を実施中です。

東北水研さけます資源グループが技術普及のために巡回している本州太平洋沿岸の5県（青森、岩手、宮城、福島、茨城）は、ふ化放流事業の運営を海面漁協か内水面漁協が行っています。北海道に次ぐ秋サケの漁獲量がある岩手県は海面漁協が運営するふ化場が多く、その他の県は内水面漁協の運営が多くなっています。近年、秋さけ来遊不振の影響で水揚げから抛出される協力金だけではふ化場の運営が困難なため、県が補助金による支援を行っています。資金面の改善には資源の底上げが不可欠ですが、今漁期から数年間は東日本大震災の影響で来遊数の減少が危惧されます（図4）。さけますふ化放流事業は4年後の資源量維持に向けた先行投資であることから、東北水研さけます資源グループは、各県、県増殖協会とふ化場が連携し、良い親魚と種卵の確保がスムーズに行えるよう助言を行っています。

本州日本海の秋サケ資源は北海道や本州太平洋と比べて低い水準にあり、放流適期の解明が急

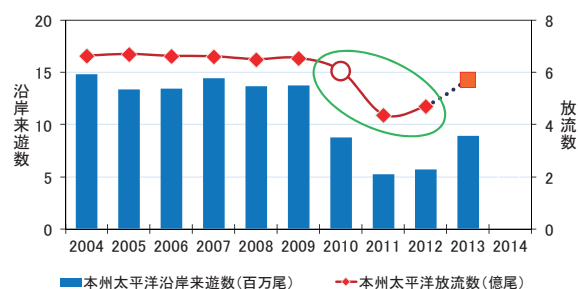


図4. 本州太平洋域の沿岸来遊数と放流数の推移。

がれています。これまでの調査から、一部の県では今までより早い時期の放流が効果的であるとの知見も得られており、今後さらに情報を集積することで新たな展開が期待されます。

3. 地域特性に合った稚魚放流の検討

稚魚を放流するにあたり、前述のとおり 1g 以上の稚魚を沿岸水温が 5-10℃の時期に放流することが推奨されています。しかし、北日本に広く点在するふ化場にはこの基準が当てはまらない場所もあることから、適期・適サイズは地域毎に把握する必要があります。この点を明らかにするため、これまでに多くの耳石温度標識魚が放流されてきました。ここでは、本州日本海と北海道における標識魚の回収結果から得られた知見を紹介します。

サケのふ化放流効果を高めるためには、その生態に適した時期に放流を実施することが重要であり、本州日本海地区においても当地区固有の放流適期を解明することが求められています。今回は、山形県月光川水系のふ化場から放流するサケについて、放流時期・サイズ別に異なる耳石温度標識を施し、それぞれの回帰率を推定しました。その結果、3 月下旬放流群に比べ、2 月下旬から 3 月中旬放流群が高い値を示しました。また、既存の知見として、当地区は対馬暖流の影響を強く受けるため、高水温、高塩分濃度、貧酸素であり、親潮域である太平洋地区に比べてプランクトン量が少ないこと、餌料生物量は対馬暖流の発達によって 4 月以降に減少する傾向があること、当地区のサケおよびカラフトマス幼稚魚は胃内容量が生息密度に依存し、密度効果による成長停滞を起こす可能性があること、等が得られています。これらの情報と今回の結果、ならびに稚魚の遊泳速度と移動先の沿岸水温を考慮すると、当地区の放流は、現在主群となっている 3 月下旬放流を分散させ、3 月中旬以前に放流する割合を高めた方が望ましいと考えられます。

北海道区水産研究所のさけます事業所では 2006 (H18) 年級以降のサケ稚魚全てに耳石温度標識が施されており、時期別・サイズ別に放流されたサケ稚魚の回帰結果が蓄積されてきました。4 ヵ所のさけます事業所（斜里、静内、八雲および天塩）から放流され、2013 (H25) 年までに回帰した標識魚の河川回帰率と、放流体重や沿岸水温の関係について調べたところ、放流時期の沿岸水温や平均放流体重が河川回帰率に強く影響している可能性が明らかになってきました^{*1}。また、効果的であった放流時期とサイズが地域によっ

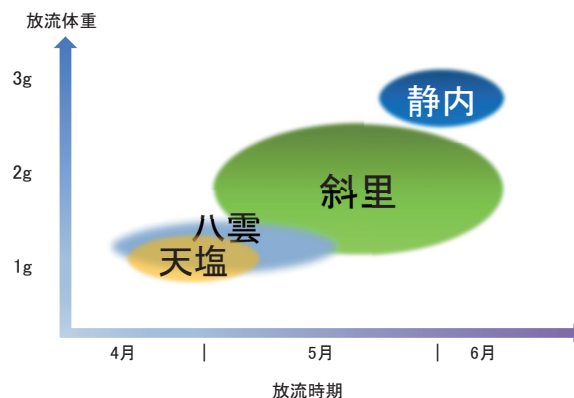


図5. 斜里、静内、八雲、天塩さけます事業所における効果が高かった放流時期とサイズのイメージ。

て異なっていたことから、サケ稚魚の初期生残に関わる要因には地域差がある可能性も示唆されました（図 5）。しかし、サケの回帰率に影響を与える要因として、沿岸水温とサイズ以外の要因にも目を向けておく必要があります。北海道区水産研究所では、得られた結果を今後より多面的に解析し、各地域の特性に合わせた放流手法を構築する予定です。

4. まとめ

今回のワークショップでは地域特性に合った増殖事業の展開に向けて、サケの生物特性、増殖事業現場の課題と対策、放流適期と適サイズに関する試験結果が紹介されました。第1部の「サケの地域特性」では、日本系のサケが遺伝的にみて7つの地域個体群に分かれること、いくつかの生物学的特性は増殖事業による人為的改変の影響が認められるものの、地域的な差異が今なお存在すること、種苗の飼育放流手法が地域で異なる変遷を遂げていること等が示されました。第2部の「各地の増殖事業の現状」では、現場の様々な課題とその対処法が示されました。中でも、増殖用水の量や質など施設状況と放流数・体サイズの関係、魚病等への対処法は今後も技術的改善に向けた取り組みが必要な課題として特筆されます。また、資金難や高齢化など、技術だけでは解決し難く、行政と連携した支援が必要な問題も提起されました。第3部の「地域特性に合った稚魚放流の検討」では、耳石温度標識魚の回収結果を整理することで、放流適期・適サイズが地域毎に異なること、放流時期の決定も沿岸環境の年変動や中長期的変化を考慮する必要があること等が

^{*1} 関連記事を本誌 15 ページに掲載しています。

明らかになりつつあります。今回のワークショップを通じて各地の増殖事業に関する認識を共有したことで、より地域の特性に合った増殖事業に向けた技術開発の必要性を再認識しました。

参考文献

斎藤寿彦・岡本康孝・佐々木 系. 2015. 日本系サケの生物学的特性. 水産総合研究センター研究報告, 39. (印刷中)

トピックス

サハリンふ化場視察

とみだ やすお
富田 泰生（北海道区水産研究所 さけます資源部）
こうだ ゆきはる
江田 幸玄（北海道区水産研究所 千歳さけます事業所）

日本とロシアの科学技術協力計画に基づいて、2014 年 11 月 19 日から 26 日の 8 日間、ユジノサハリンスク市にあるサハリン漁業海洋学研究所とサハリン南部の 3 つのサケ・マスふ化場を訪問しました。訪問したふ化場は、サハリン南西部の間宮海峡に注ぐ河川に位置するソコルニコフスキーふ化場、南部のアニワ湾に注ぐ河川に位置するタラナイスキーふ化場、南東部のオホーツク海（トナイチャ湖）に注ぐ河川に位置するオホーツキーふ化場でした（図 1）。目的はふ化放流事業に関して情報収集と意見交換を行うとともに、ロシアで開発された耳石標識手法であるドライ標識についての詳しい情報を得ることにありました。ここでは主にドライ標識についての概要をご紹介します。



図 1. 訪問したサハリン漁業海洋学研究所と 3 つのふ化場。

I. ドライ標識について

耳石標識には温度標識、蛍光標識、ストロンチウム標識、ドライ標識などがあります（浦和 2001）。

日本で用いられている耳石標識は水温を変化させて、温度差による生理的ストレスで耳石に濃いリングを形成させる温度標識と ALC（アリザリンコンプレクソン）等で耳石を染色する蛍光標識のみです。ドライ標識はロシアの Rogatnykh らが開発し、発眼卵を空気にさらすことで生理的ストレスを与えて、耳石に濃いリングを形成させて標識する手法です（Rogatnykh et al. 2001）。今回訪問したふ化場の標識方法は、ふ化器の栓を抜いて排水し、一定時間後（12 時間又は 24 時間）に栓を閉めて注水するという作業の繰り返しでした。卵を空気にさらしていた間は、ふ化器を遮光性のあるシートで覆うことによって湿度と暗さを保っていました（図 2）。これらのことから、ドライ標識は耳石標識の中で最も簡便で安価な標識手法といえます。2013 年にロシアから放流されたサケ・マス耳石標識魚のうち、約 70% はドライ標識によって施標されました（Akinicheva et al. 2013）。

II. ドライ標識の必要条件

開発者の一人である Akinicheva 氏との議論から明らかとなった明瞭なドライ標識を施標するための必要条件を示します。なお、この議論は英語とロシア語で意思疎通をするという困難な作業であ



図 2. オホーツキーふ化場のドライ標識作業の様子。ふ化器の栓を抜いて排水し、シートで覆うのみ。卵数は約 30 万粒/1 ボックスで実施しているようです。

ったため、完全な意思疎通ができたとは言えず、一部筆者個人が解釈した部分もあることを述べておきます。

1. ふ化用水の水温

水温の長期的な変動（例えば、秋から冬へのゆっくりとした水温低下等）は問題ないが、日変動（ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以上）が大きいと明瞭な標識とならないとのことでした。日変動が大きい場合は、温度標識と同じ効果で、水温変化に起因する濃いリングが標識期間中及びその前後に多数形成されるために、標識部分の識別が困難となることを理由に挙げていました。そのため、日変動が大きいふ化場では温度標識で施標しているようです。

また、ドライ標識を実施しているふ化場の水温は 4–9℃程度であり、日本のふ化場で見られる 10℃以上の水温では未知数であるとのことでした。

2. 排水と注水のタイミング

排水と注水の切替は午前 8–10 時又は午後 8–10 時に行うことが重要だそうです。今回訪問したふ化場は午前 8 時又は午後 8 時に切替作業を行っていました。

この切替のタイミングは体内時計である概日リズムを考慮しており、概日リズムを制御するメラトニンが午前 10 頃までに低下、午後 10 時頃から増加することを根拠としていました。耳石に 1 日 1 本形成される日周輪紋（通常は薄いリング）は概日リズムによって制御されていることが示唆されており、この切替のタイミングは理にかなっていると感じました。

3. 施標時期

卵の発眼後、耳石に日周輪紋が形成されるようになってから施標を開始するが、耳石の核が形成されたばかりの初期は日周性が不安定であることから適しておらず、積算温度 300–350℃の時期に標識を開始するのが望ましいとのことでした。

4. 湿度と暗さの維持

タラナイスキーとソコルニコフスキーふ化場では水中管理時に、ふ化器に遮光性のある蓋をし、排水時には遮光性のあるシートで覆って湿度と暗さを保っていました。この 2 つのふ化場の耳石標本は明瞭な標識でしたが、オホーツキーふ化場の耳石標本は明瞭な標識ではありませんでした。Akinicheva 氏は水中管理時にシートをかけずに、透過性の高い蓋をしたため、照明の明るさが卵の胚体の安静を阻害していた可能性があるとし唆していました。ただし、あくまで可能性であることを強調していました。

5. ふ化室の気温

基本的にふ化器内の気温（水温）とふ化室の気温の温度差が大きい場合は断熱材で覆うようです。しかし、今回訪問した 3 つのふ化場では温度差はほとんどないとの理由で、施標排水時にはふ化器を遮光性のあるシートで覆うのみで、断熱材等は使用していませんでした。ロガー等によりふ化室の気温の連続的な測定は実施していないようであり、もし温度差があるなら、施標中の卵はふ化室の気温の影響を受けていたことが考えられます。

6. 卵の攪拌

施標中は卵に触れないことを基本としていましたが、排水前と注水時は卵をかき混ぜていました。

排水前の攪拌は入念に実施することが必要で、卵が塊になるのを防ぐためのようです。これは卵の間隙を確保して、卵を確実に空気にさらすことを目的としているのだと感じました。この攪拌を怠ると、不明瞭な標識となる可能性があるとのことでした。注水時にも攪拌を行いますが、これは卵の間隙に溜まったエア抜きにより通水性を良好に保つためだと感じました。排水前と注水時の攪拌による刺激自体がドライ標識の隠れた必要条件かもしれません。

Ⅲ. ドライ標識標本を観察した感想

訪問したふ化場で施標されていた発眼卵の耳石標本を直接顕微鏡で観察しました。顕微鏡等の設備が異なるため、見え方は日本の設備とは若干異なりますが、良好なドライ標識であれば容易に識別できました。しかし、温度標識と比べて明瞭さという点では若干劣る場合が一部見受けられました。特に、濃いリングがぼやけたり、リングの濃さが温度標識に比べて薄く、均一ではない印象を受けました（図 3）。このようなリングが耳石に形成される野生個体との判別は筆者には難しいと感じましたが、Akinicheva 氏は判別を実施しているとのことでした。筆者は日本の温度標識に見慣れてしまっているので、このような印象を受けましたが、熟練すれば識別や判別が正確にできるのかもしれない。

ドライ標識が他の耳石標識に比べて簡便で、安価であることは疑いようありません。日本においても、温度標識と同等の明瞭な標識を安定的に施標できるドライ標識手法をふ化場の特性に応じて確立することは将来の標識手法の一つとして有効ではないかと感じました。最後にサハリン視察として、訪問したふ化場、ユジノサハリンスク市



図 3. タラナイスキーふ化場で施標したサケ発眼卵の耳石標本。ハッチコードは 4.2H で、比較的良好なサンプルだが、リング間の幅と濃さが若干不均一である印象を受けた。



図 4. サハリンのふ化場.

A: オホーツキーふ化場のふ化室. ピンクの透過性のある蓋がドライ標識に影響があるかもしれないと示唆されてました. 今回視察した3つのふ化場において, ボックスふ化器の注水量は 50-75 L/分でした.

B: ソコルニコフスキーふ化場の養魚池(兼用池). ネットリングは隙間無く敷き詰められていました.



図 5. ユジノサハリンスク市内風景. 市内を走る車のほとんどは日本車で, 人気が高いとのこと.



図 6. 大変美味しいロシア料理.



図 7. 長時間の議論を行ったメンバー. 手前左から Lapko 副所長, 江田, 富田. 女性は Akinicheva 氏. 奥は北水研の大熊繁殖保全グループ長.

内風景, 大変美味しいロシア料理, ドライ標識を議論したメンバーの写真を紹介して締めくくります (図 4-7).

謝辞

この紙面を借りて, サハリン視察の調整や手配, 滞在中に公私ともに大変お世話になった Lapko 副所長には心より感謝の意を捧げます. また, 長時間の議論をさせていただいた Akinicheva 氏や訪問させていただいたふ化場のスタッフ, サハリン漁業海洋学研究所のスタッフにも深く感謝申し上げます. 最後に, 視察の調整や手配をしていただいた水産庁難波係長には心より御礼申し上げます.

引用文献

- Akinicheva, E., Volobuev, V., and Fomin, E. 2013. Marked salmon production by the hatcheries of Russia in 2013. NPAFC Doc. 1489. 6 pp.
- Rogatnykh, A., Akinicheva, E., and Safronnikov, B. 2001. The dry method of otolith mass marking. NPAFC Tech. Rep., 3: 3-5.
- 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.

さけます情報

サケ科魚類のプロファイル-13 イトウ

ふくしま みちお
福島 路生 (国立環境研究所)

イトウ (*Parahucho perryi*, 英名 Sakhalin taimen) は北半球に 5 種生息するとされる *Hucho* 属 (いわゆるイトウ属) の 1 種とされてきた。しかし近年、遺伝子、形態、また生態が *Hucho* 属魚類と大きく異なることから、現在は *Parahucho* 属魚類とすることが主流となりつつある (Shed'ko et al. 1996)。日本最大の淡水魚で、十勝川下流で 1937 年秋に曳網により捕獲されたイトウが 2.1 m あったという話は、その真相はさておき有名である。筆者も極東ロシアのハバロフスクで、トラックの荷台に入りきらずに尾鰭を引きずりながら大物イトウを運んだという話を聞いたことがある。*Hucho* 属魚類とともに、世界最大級のサケ科魚類であることは間違いないだろう。

分布

東北地方 (青森・岩手) の 3 河川と北海道の 42 河川に生息記録が残るが、北海道にはほぼ全域に分布していた可能性が高い (福島ほか 2008)。現在国内では、北海道の 10 数河川に再生産を行う個体群が残存すると考えられる。北海道本島以外では国後島、択捉島、ロシア極東地域の日本海沿岸 (沿海地方とハバロフスク地方)、サハリン島に生息する (図 2)。サハリン島では 128 の河川と 20 のダム貯水池に生息が確認されているという (Zolotukhin et al. 2013)。北海道では、年平均気温の低い寒冷な河川にのみ生息し (その理由は後述)、そのうち比較的安定した個体群が見られるのは、いずれも最下流に海跡湖を持ついわゆる湿原河川、または河川上流域に人為的に陸封されたダム貯水池とその流入河川である (Fukushima et al. 2011)。

生活史と生態

Hucho 属魚類と異なり降海性を有する。しかし北海道で降海個体が確認されているのは道北や道東の限られた河川である。またダム貯水池などに陸封され世代交代している個体群が少ないことから、降海性は強くないと推察される。道北オホーツク沿岸流域に生息するイトウは 3 - 4 歳ではじめて降海し、その後 (産卵のため) 汽水域から河川上流への遡上を生涯にわたって繰り返すことが耳石の微量元素の分析によって示されている



図 1. オホーツク海沿岸でサケの定置網によって混獲されたイトウのオス (上: 尾叉長 90 cm, 17 歳) とメス (下: 尾叉長 92 cm, 20 歳)。年齢査定は耳石の年輪による。

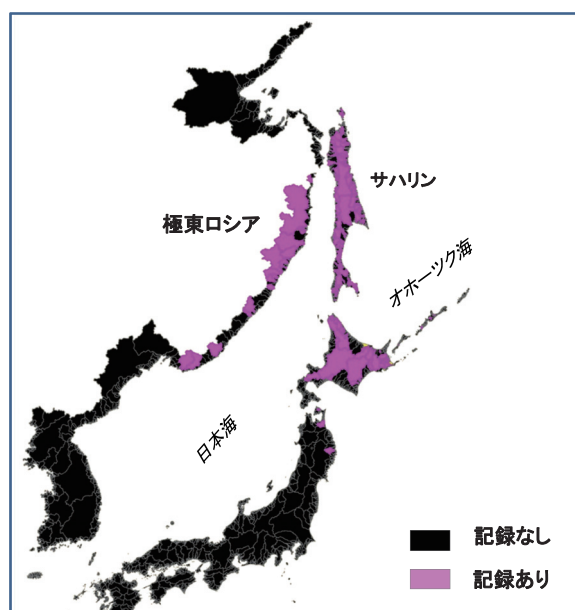


図 2. イトウの分布図 (Fukushima et al. 2011 を改変)。

(Suzuki et al. 2011)。下流域に海跡湖である厚岸湖を持つ別寒辺牛川では、イトウはこの汽水湖よりさらに塩分濃度の高い厚岸湾へ降海することはほとんどないとされている (Honda et al. 2010)。また極東ロシアのイトウも同様に、降海しても河口付近の汽水域にとどまるようである (Zolotukhin et al. 2013)。

産卵は春、北海道では4月下旬から5月初旬にかけて行われる(図3)。産卵環境は他のサケ科魚類に共通する(特にサクラマス)。一方、産卵行動はサケ属魚類などと大きく異なり、ひとつの河川内に場所を変えながら複数の瀬(瀬頭)に産卵床を設ける。そのため産卵後にサケのように産卵床を外敵から守る行動はとらない。放卵後にメスは直ちに尾ビレで卵を埋めるが、シベリアに生息するタイメン(*Hucho taimen*)は数分程度の間をおいてからこの作業にはいるとされる(Esteve et al. 2009)。イトウを新しい属 *Parahucho* に移すことが、産卵行動の違いからも支持されるようで興味深い。多回産卵性であり、多くの個体は産卵後に速やかに下流域(汽水域)まで降河するようである。性成熟後、毎春産卵するかどうかは不明である。

稚魚幼魚期の生態、行動は十分に解明されていない。産卵床から浮上した稚魚はしばらく産卵床付近の川岸付近で餌をとり、次第に流下する水生昆虫などを摂餌しながら、下流に分散していく。同所的に生息するサクラマス幼魚は流下昆虫を最も効率よく摂餌できる淵頭に定位するが、淵尻の流速の遅い場所で底に沈んだ餌をついばんでいる姿を見かける。成魚は強い魚食性を示し、自らの体長と比べてかなり大型の魚を捕食する(図4)。またネズミなどの小型哺乳類を捕食することも珍しくない(Ohdachi and Seo 2004)。

資源と利用

現在、日本では商業漁業の対象ではない。しかし古い文献によれば、かつて青森県小川原湖、また北海道の屈斜路湖などで漁獲されていた記録がある。特に屈斜路湖においては、昭和3年に設置された漁業組合が年間150–300尾ほどのイトウ(文献ではアイヌ語で「オペライベ(オビラメ)」と表記されてある)を漁獲し地元住民に販売していたこと、さらに昭和4年からはイトウの人工孵化放流も行われていたことが記されている(田中1937)。現在イトウの養殖は、観光用の特産品として阿寒湖やかつてイトウが生息した青森の一部の地域などで行われている。しかし他のサケ科魚類に比べて成熟に時間がかかり、精巣がきわめて小さいことから、水産物として大規模に増養殖の対象とされることはなかった。

サケの定置網に混獲されるイトウは現在でも少なからずいるようである。極東ロシアでは、古くから相当な数のイトウがサケマス漁の混獲物として漁獲されてきた。60年代以前、極東ロシア全域で年間45–50トンほどが水揚げされていた。特に日本海のロシア領水域では20トンを超える漁獲があったが、60年代以降著しく減少してい



図3. 婚姻色の現れたオスのイトウ。



図4. イトウの胃から出てきたカレイの仲間。

る。80年代に1–2トンにまで激減し、90年代以降の記録は途絶えている(Zolotukhin et al. 2013)。

推定生息尾数は、日本・ロシアの分布域全体で13,000–79,000尾、そのうち北海道では約5,000尾であると見積もられている(Rand 2006)。道内最大のイトウ生息河川が道北の猿払川であることはほぼ確実と言えよう。猿払川の1支流において水中音響ビデオカメラを用いて産卵期を通じて数えられたイトウの親魚は300尾を超えている(Rand and Fukushima 2014)。産卵場の分布などから、流域全体で1,000尾以上のイトウが本河川で産卵していると推定された。かなり乱暴な計算ではあるが、北海道に生息するイトウの1/5以上がこの道北の小河川に残存していることになる。

猿払川は、イトウ釣りの聖地として全国的にその名をはせているが、川村ほか(2011)はこの川で春先に釣獲されるイトウの数を $1,237 \pm 389$ 尾と推定している。これには産卵に加わらなかった個体も含まれるとのことであるが、上述の音響カメラによる推定数とほぼ同数であることから、この川のイトウが非常に高い釣獲圧にさらされていることがうかがえる。

保全・増殖手法

イトウは現在、国際自然保護連合 IUCN のレッドリストで 絶滅危惧 IA 類に指定されている。一方、日本（環境省）では絶滅の危険度が 1 ランク低い絶滅危惧 IB 類に置かれている。ロシアでもほぼこれらと同等なランクに本種を指定しているが、日本と違って釣りなどによる捕獲をきびしく制限している地域が多い。

上述のように日本におけるイトウの生息河川は著しく減少している。現在、北海道に残されたイトウ生息河川が、絶滅河川と大きく異なるのは、前者がこれまで大規模な農地開発にさらされたことがないことである (Fukushima et al. 2011)。流域面積の 5 分の 1 以上が農地化されると、イトウの絶滅確率は大幅に上昇する。実際は、農地化に伴う河川の直線化や護岸、落差工、カルバートなどの河川横断構造物がイトウを減らした要因であろう (図 5)。因みに北海道における大規模な農地・草地開発は、年平均気温が摂氏 5 度を上回る比較的温暖な地域で進行した。イトウの残存する河川が、いずれも道内の寒冷な地域に限られるのはこのためであると考えられる。

人間活動による生息地の破壊に加え、外来魚であるニジマスがイトウの脅威となりつつあることが指摘されている (Nomoto et al. 2010)。ニジマスは、イトウと同じく春産卵のサケ科魚類であるが、道東の河川では 3 割程度のイトウ産卵床が後に産卵にやってくるニジマスに掘り返されたという。両者は産卵期だけでなく、産卵環境もよく似る。さらに平均体長ではイトウがニジマスを上回るが、卵が産み落とされる礫の深さは種間でほぼ同程度である。このためニジマスのイトウへ及ぼす潜在的影響はこれまで予想された以上に大きいかもしれない。

一方、イトウにとって明るいニュースも最近聞かれるようになった。イトウ南限個体群が生息していた道南の尻別川では、一時、野生絶滅に近い状態にまで本種が数を減らしたが、2010 年春に数ペアの親魚による自然産卵がほぼ 20 年ぶりに目撃されている。さらに地元の有志団体や研究者らによって 2004 年に開始された本河川水系由来のイトウの再導入実験 (標識稚魚放流) が実を結び、2012 年に親魚となった放流魚が尻別川の 1 支流で産卵を行う姿も確認された (オビラメの会 HP より)。猿払川でも、流域に社有林を持つ王子ホールディングス (株) がその一部 (2,660 ha) を環境保全林に指定し (2009 年)、イトウの生息環境や生物多様性の保全に地元や研究者らと共に積極的に取り組んでいる (猿払イトウ保全協議会 HP より)。また極東ロシアでも、イトウが多く生息することで知られるコッピ川流域 (ハバロフス



図 5. 産卵場に向かうため、水面上に露出したカルバート(写真右上)へのジャンプを繰り返し、頭部を著しく負傷したイトウのペア(写真提供 山本牧氏)。

ク地方) に約 16,000 ha のイトウ保全地域を設定し、釣りの規制や監視を行っている (Zolotukhin et al. 2013)。

参考文献

- Esteve, M., McLennan, D.A., and Kawahara, M. 2009. Spawning behaviour of Sakhalin taimen, *Parahucho perryi*, from northern Hokkaido, Japan. *Environ. Biol. Fish.*, 85: 265-273.
- 福島路生・帰山雅秀・後藤 晃. 2008. イトウ：巨大淡水魚をいかに守るか. *魚類学雑誌*, 55: 49-53.
- Fukushima, M., Shimazaki, H., Rand, P.S., and Kaeriyama, M. 2011. Reconstructing Sakhalin taimen *Parahucho perryi* historical distribution and identifying causes for local extinctions. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 140: 1-13.
- Holčík, J., Hensel, K., Nieslanik, J., and Skácel, L. 1988. *The Eurasian Huchen, Hucho hucho*, Largest Salmon of the World. Dordrecht, The Netherlands. Dr. W. Junk Publishers.

- Honda, K., Arai, T., Takahashi, N., and Miyashita, K. 2010. Life history and migration of Sakhalin taimen, *Hucho perryi*, caught from Lake Akkeshi in eastern Hokkaido, Japan, as revealed by Sr:Ca ratios of otoliths. *Ichthyol. Res.*, 57: 416-421.
- 川村洋司・青山智哉・下田和孝. 2011. キャッチアンドリリースの効果～猿払川下流でのイトウ釣りの調査から～. *北水試だより*, 83: 9-12.
- Nomoto, K., Omiya, H., Sugimoto, T., Akiba, K., Edo, K., and Higashi, S. 2010. Potential negative impacts of introduced rainbow trout on endangered Sakhalin taimen through redd disturbance in an agricultural stream, eastern Hokkaido. *Ecology of Freshwater Fish*, 19: 116-126.
- Ohdachi, S., and Seo, Y. 2004. Small mammals and a frog found in the stomach of a Sakhalin taimen *Hucho perryi* (Brevoort) in Hokkaido. *Mammal Study*, 29: 85-87.
- Rand, P.S. 2006. *Hucho perryi*: IUCN (International Union for the Conservation of Nature) 2010 red list of threatened species, version 2010.3. IUCN.
- Rand, P.S., and Fukushima, M. 2014. Estimating the size of the spawning population and evaluating environmental controls on migration for a critically endangered Asian salmonid, Sakhalin taimen. *Global Ecology & Conservation*, 2: 214-225. DOI: 10.1016/j.gecco.2014.09.007.
- Shed'ko, S.V., Ginatulina, L.K., Parpura, I.Z., and Ermolenko, A.V. 1996. Evolutionary and taxonomic relationships among Far-Eastern salmonid fishes inferred from mitochondrial DNA divergence. *J. Fish Biol.*, 49: 815-829.
- Suzuki, K., Yoshitomi, T., Kawaguchi, Y., Ichimura, M., Edo, K., and Otake, T. 2011. Migration history of Sakhalin taimen *Hucho perryi* captured in the Sea of Okhotsk, northern Japan, using otolith Sr:Ca ratios. *Fish. Sci.*, 77: 313-320.
- 田中林蔵. 1937. 塘路湖, 屈斜路湖の養殖事業. 鮭鱒彙報, 第9年第31号: 19-24. 北海道鮭鱒保護協会.
- Zimmerman, C.E., Rand, P.S., Fukushima, M., and Zolotukhin, S.F. 2012. Migration of Sakhalin taimen (*Parahucho perryi*): evidence of freshwater resident life history types. *Environ. Biol. Fish.*, 93: 223-232.
- Zolotukhin, S., Makeev, S., and Semenchenko, A. 2013. Current status of the Sakhalin taimen, *Parahucho perryi* (Brevoort), on the mainland coast of the Sea of Japan and the Okhotsk Sea. *Arch. Pol. Fish.*, 21: 205-210. DOI 10.2478/aopf-2013-0018.

さけます情報

さけます人工孵化放流に関する古文書の紹介

の が わ ひ で き

野川 秀樹（北海道区水産研究所）

我が国における本格的なさけます人工孵化放流の開始は、明治 21 年に石狩川支流千歳川上流に豊富な湧水を利用して開設された官営の「千歳鮭鱒人工孵化場」に始まり、平成 30 年には 130 年の節目を迎える。

千歳鮭鱒人工孵化場の開設は、明治 19 年の北海道廳（昭和 22 年に現在の地方自治体としての「北海道」となるまでは、国の直轄の官庁であった）設置のわずか 2 年後のことであり、官営の水産専門機関としては北海道で最も古い組織と言える。明治 34 年には北海道水産試験場（以下、道水試）の設立に伴い、道水試の分場や支場となるが、その後、昭和 2 年に道水試から分離し、いくつかの変遷を経て、昭和 27 年にさけますの資源造成を主要な業務とする「水産庁 北海道さけ・ますふ化場」となる。一方、道水試は、昭和 25 年に国の水産研究体制の見直しにより、「水産庁 北海道区水産研究所」（以下、北水研）と北海道立水産試験場（北水試）に分離することになる。

北海道さけ・ますふ化場は、その後、さけます資源の増大や国の行政改革等により、「さけ・ます資源管理センター」への改組、独立行政法人化を経て、更に平成 23 年には北水研と統合し現在に至っている。この統合した現在の姿は、時期は異なるものの、ともに道水試から分離した組織であることを考えると、元の鞘に納まったと言えなくもないように思える。

このように、千歳鮭鱒人工孵化場を嚆矢（始まり）とする現組織は、その時代の状況や要請により態勢や役割を変遷しつつ、今日まで 130 年近い歴史を刻んできた。その歴史を物語るものとして、当所には古い文書や写真などが多数保存されている。この機会に、それらの中から明治期のものを中心に紹介してみたい。

明治期の文書綴

千歳鮭鱒人工孵化場は、上述したように幾多の組織の変遷を経る（現在は北水研千歳さけます事業所（以下、千歳事業所）となっている）とともに、事務所の移転を伴う大規模な施設整備も数回行われていることから、紛失したり廃棄されたりしたものも多かったと思われる。そのような中、明治期の文書綴が千歳事業所に保存されていた（図 1）。千歳川におけるサケの捕獲状況を上部機関である北海道廳や農商務省水産局へ定期的

に報告した文書などが綴られており、当時のサケのそ上状況などを知ることができる。

また、「明治四拾壹年度 往復綴」には「魚類命名ノ件」という文書（図 2）が綴られており、当時ヒメマスはアイヌ語で「カバチェッポ」と呼ばれていたが、この名称を「姫鱒」と命名することに決定したという内容のものである。明治 41 年 12 月 26 日付けで北海道廳から道水試に発出されている。

各種記録簿

千歳事業所に長年にわたって保存されてきた資料の一つに、明治期における千歳川のサケ及び支笏湖のヒメマスに関する捕獲採卵・孵化放流成績書、魚体測定表、気象観測表などの各種成績簿が

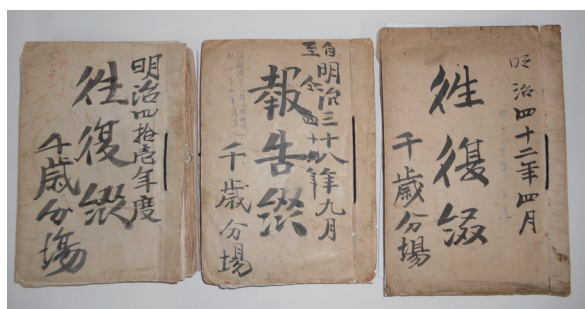


図 1. 明治期の文書綴。

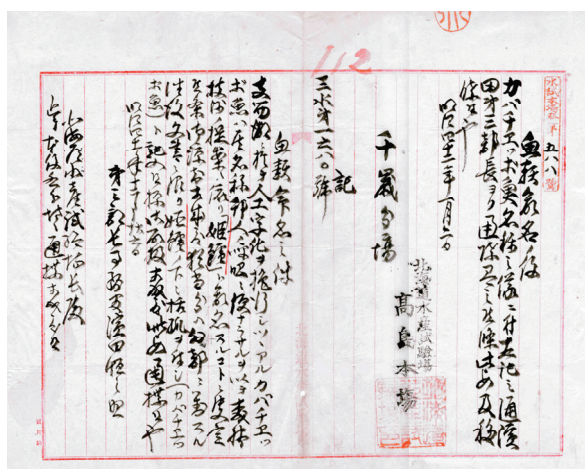


図 2. 「姫鱒」命名に係る文書。命名の理由として「名称邦人呼唱ニ便ナラサルヲ以テ森脇技師ノ提案ニ依リ姫鱒ト命名スルコトニ決定」と書かれている。

ある (図 3)。

これらの成績簿の中から貴重な記録を読み取ることができる。明治期における千歳川でのサケの捕獲期間は、その理由は紙数の関係で省略するが、現在のように 9 月から 12 月までではなく、まさに冬真っ只中の 12 月から翌年 1 月までであったことが分かる。また、孵化成績を見ると、人工孵化放流が開始されてから数年後には 90% を超える高い孵化率が記録されており、卵管理に関しては当初から高い技術を有していたことが伺える。

また、千歳鮭鱒人工孵化場の官設は明治 21 年 11 月であるが、その翌月の 12 月から孵化場での気象観測が開始され、天候、気温、孵化水温、河川水温等が測定されている。更に、記事欄には地震や洪水等の特記事項が記述されており、樽前山が噴火した明治 42 年 4 月 12 日の記事欄には「午前 11 時 45 分樽前山噴火ス音響約 1 分間宛ガラ荷馬車ノ橋上ヲ通過スルガ如シ黒煙立昇リ 0 時 10 分頃山灰飛散セリ三尺四方ノ橋上ニテ 27 個噴石ヲ拾得ス大ハ大福大小ハ栗粒大ナリ」とあり、千歳事業所の構内にまで噴石が飛んでくる大噴火であったことが分かる。

復命書

復命書も多く残されている。明治から大正初期のものから紹介したい。1 点目は酒井宮次郎 (明治 21 年の千歳鮭鱒人工孵化場の開設に当たり、函館近辺の民営の茂辺地川孵化場から経験をかわれて招聘された技術者) の「復命書」(図 4) で、明治 25 年のものである。これには、当時、サケの卵の輸送に欠かすことのできなかった水苔の採集場所や採集方法が記述されている。水苔は卵の輸送の際に保湿等のために用いられたが、必要な量を確保するのは難しく、当時は貴重なものであったようである。

2 点目は大正 6 年に千歳川のサケ密漁状況を調査した復命書 (図 5) である。これからは、密漁の方法や場所だけでなく、当時の河川改修前の川筋の状況やアイヌ語地名などを知ることができる。

次に紹介するのは、ニジマス発眼卵の移植に関する復命書 (図 6) である。ニジマスは明治 10 年に初めて我が国にアメリカから移植された。北海道への初めての移植は大正 6 年のことで、その移植は、当時の帝室林野局中宮祠湖養魚場 (現増養殖研日光庁舎) から道水試千歳支場 (現千歳事業所) へと行われた (農林省水産局 1927)。この復命書には、運搬の方法や行程が詳述されている他、道水試西別支場 (現北水研虹別さけます事業所) にも同時に 3 千粒のニジマス発眼卵が移植されたことが記述されていた。千歳支場に移植されたニジマスはその後継代飼育され養鱒業者等へ発眼卵が分与されることになる。西別支場に移植さ

れたニジマスに関しては、その後の記録は見当たらない。

写真

孵化場やサケの親魚を採捕する捕獲場の写真も数多く残されている。明治期の古い写真については、本誌の巻頭写真でこれまでも何点か紹介されている。ここでは冊子に掲載されている写真の中から人工孵化放流の技術史的な観点から 2 枚の写真を紹介する。

人工孵化放流が開始された当初、採卵は当時欧米で実施されていた方法、成熟した雌の腹を圧迫



図 3. 明治期の各種成績簿。



図 4. 酒井宮次郎の復命書。

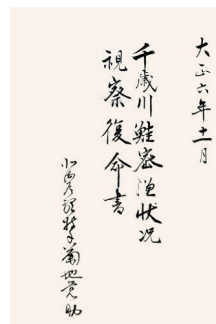


図 5. 千歳川の密漁状況に関する復命書。

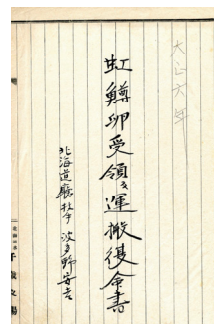


図 6. ニジマス発眼卵の移植に関する復命書。

して卵を絞り出す、いわゆる、搾出法で行われていた。それを示すのが図 7 である。一人が雌の頭を持って、もう一人が腹を絞り出している。これは明治 20 年代の写真とされ(水産庁北海道さけ・ますふ化場 1959), 千歳川上流部(千歳鮭鱒人工孵化場付近)での採卵の様子と思われる。

2 枚目は明治 33 年に紹介された採卵の様子(図 8)である(北海道廳水産課 1900)。一人が座って小刀のようなもので雌の腹を切り開いている。いわゆる、切開法で卵を取り出している。明治 30 年に千歳川での比較試験により、切開法が採卵作業の迅速化、受精率の向上等に関して搾出法より優れていることが確かめられたことで(北海道廳水産課 1900), 切開法が導入されることとなり、現在でもこの方法により採卵が行われている。写真は先程の千歳川上流部から 10 km 程下流の西越と呼ばれる捕獲場での採卵風景であり、切開法の開発は、この捕獲場の下流部への移転が深く関わっている。移転により孵化場までの卵の運搬時間が大幅に増え、それに伴って増加した卵への影響や人への負担を軽減するため、迅速な採卵技術の開発が必要となったのである(北海道鮭鱒保護協会 1938)。

図書

明治期の貴重な図書としては、明治 24 年に新潟県の河川における魚類の減耗要因や減耗防止策等を記録した「北越河漁調査報告」(松原新之助 1892)、我が国における人工孵化放流事業の沿革や事業内容等を綴った「北海道鮭鱒人工孵化事業報告」(北海道廳 1894)、「千歳鮭鱒人工孵化事業報告」(北海道廳 1900)、「日本鮭鱒養殖誌」(松原新之助 1912)、そして、当時の孵化放流の実施マニュアルとも言える「鮭鱒人工養殖法」(森房次郎 1897)などが所蔵されている。この他にも道水試の明治期の試験報告など、いずれも貴重な図書である。

おわりに

平成 26 年 8 月に北海道立文書館が所蔵している「開拓使」(明治 2 年～15 年に北海道に置かれた)が残した文書類が、国の重要文化財に指定されたこと(北海道立文書館 2014a)、明治 42 年の北海道廳舎の火災で明治 19 年から明治 40 年頃の文書類のほとんどが焼失していること(北海道立文書館 2014b)を考えると、当所に残されている明治期のさけます人工孵化放流に関する文書類は、その歴史を後世に伝えるものとして貴重なものであり、将来にわたって保存していくことが重要と



図 7. 明治 20 年代の採卵状況。



図 8. 明治 33 年頃の採卵状況。

考えられる。また、現在の孵化放流技術の多くは明治期に取り組みされた様々な試行錯誤を土台として構築されてきたものであり、技術史的な観点からも貴重な資料である。

これらの資料が広く利用され、さけます類の適切な資源管理や孵化放流技術の高度化等に役立つことを期待しているところである。

引用文献

- 水産庁北海道さけ・ますふ化場. 1959. HATCHERY. 水産庁北海道さけ・ますふ化場, 札幌. 34 pp.
- 北海道鮭鱒保護協会. 1938. 鮭鱒彙報, 第 10 年第 38 号, 115 pp.
- 北海道廳水産課. 1900. 千歳鮭鱒人工孵化場事業報告. 北海道廳水産課, 札幌. 83 pp.
- 北海道立文書館. 2014a. 赤レンガ 北海道立文書館報, 第 49 号, 4 pp.
- 北海道立文書館. 2014b. 開拓使文書のさがし方. 文書館利用講座資料, 8 pp.
- 農林省水産局. 1927. 外国産優良水族移植成績. 水産増殖調査書(特別). 農林省水産局, 東京. pp. 327-352.

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

さとう えく お
佐藤 恵久雄（北海道区水産研究所 業務支援課）

2013 年の北太平洋

漁獲数

2014 年の NPAFC 科学調査統計小委員会 (CSRS) における各国の報告によると、2013 年 1-12 月の北太平洋の漁獲数は 5 億 8,602 万尾で、前年 4 億 6,482 万尾の 126% でした (図 1A)。

これを魚種別に見ると、カラフトマスが最も多い 4 億 1,827 万尾で全体の 71% を占めています。次いでサケが 1 億 641 万尾 (構成比 18%, 前年比 110%), ペニザケが 4,956 万尾 (構成比 8%, 前年比 91%) と続き、これら 3 魚種で全体の約 98% を占めています。ギンザケとマスノスケは、それぞれ 1,010 万尾 (前年比 178%), 163 万尾 (前年比 111%) となりました (図 1A)。地域別では、アラスカがカラフトマスの記録的な豊漁により 2 億 8,325 万尾と最も多くなり、以下、ロシア 2 億

2,657 万尾、日本 5,233 万尾、カナダ 1,445 万尾、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) 931 万尾、韓国 10 万尾と続いています (図 1B)。

人工ふ化放流数

2013 年 1-12 月に各国から人工ふ化放流された幼稚魚数は 49 億 5,186 万尾で、前年 50 億 2,995 万尾の 98% でした (図 1C)。

魚種別ではサケが 31 億 1,216 万尾で 6 割以上を占め、これに次ぐカラフトマス 12 億 5,419 万尾と合わせると全体の 9 割近くを占めます (図 1C)。地域別では日本が 17 億 2,852 万尾、アラスカ 15 億 6,192 万尾、ロシア 10 億 3,906 万尾、アラスカ以外の米国 3 億 1,917 万尾、カナダ 2 億 9,348 万尾、韓国 971 万尾となっています (図 1D)。

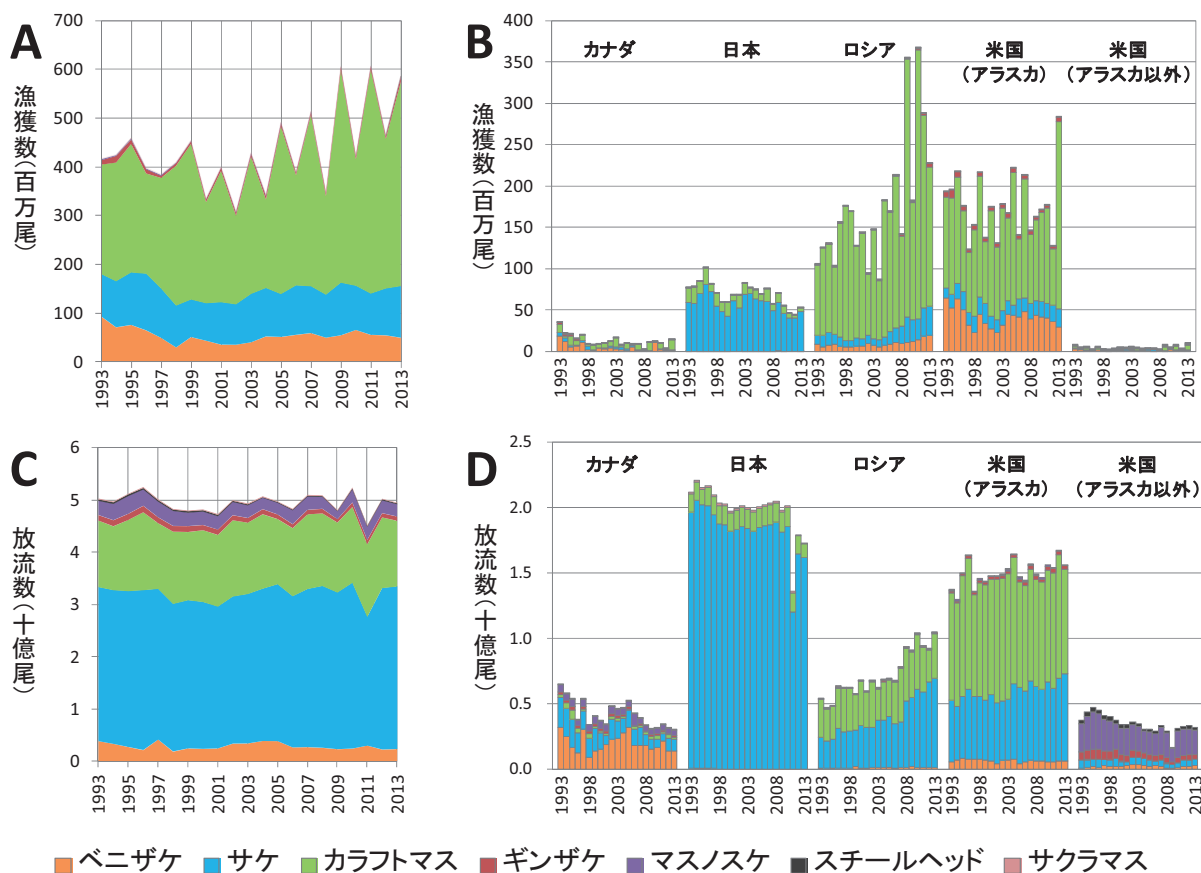


図1. 北太平洋におけるさけます類の魚種別漁獲数 (A), 地域別魚種別の漁獲数 (B), 魚種別人工ふ化放流数 (C) 及び地域別魚種別の人工ふ化放流数 (D). 1993-2010年は「NPAFC Statistical Yearbook」による確定値。2011-2013年はNPAFC年次報告等で示された暫定値。1998年までのロシアにはEEZ (排他的経済水域) で他国が漁獲したものを含む。アラスカ以外の米国はワシントン、オレゴン、カリフォルニア、アイダホ州の合計。韓国は他国に比べ漁獲尾数・放流尾数ともわずかなため図中では省略している。

2014 年度の日本

サケ

2014 年度の来遊数（沿岸漁獲と河川捕獲の合計）は 12 月 31 日現在で 4,444 万尾、前年度同期比 86%となっています（図 2）。今年度は、東日本大震災で被災した年級が 4 年魚として回帰するため、本州で大幅に減少する懸念がありましたが、幸い前年度並みの来遊がありました。総採卵数は 12 月 31 日現在で 20 億 3,010 万粒、前年同期の 100%となっており、計画を満たす採卵数が確保されていることから、放流数も計画（約 17 億 4,000 万尾）と同等数になるものと見込まれます。

カラフトマス

主産地の北海道における 2014 年度来遊数は 161 万尾で前年度比 49%でした。カラフトマスは来遊数が隔年で変動する特徴があり、2003 年度以降、奇数年は豊漁年、偶数年は不漁年にあたります。今年度は不漁年の年回りですが、そのなかにあっても特に少なく、来遊数が 200 万尾を割り込むのは 1986 年度以来のことです。総採卵数は 1 億 3,200 万粒と計画数の 78%に留まっており、放流数も計画（約 1 億 3,600 万尾）を下回る約 1 億 1,000 万尾ほどになると見込まれます（図 3）。

サクラマス

2014 年度の北海道における河川捕獲数は 5,677 尾で前年度比 84%となりました。2000 年度以降の捕獲数に大きな年変動が見られ、今年度は前年に続き、比較的少ない捕獲数でした。採卵数は 495 万粒でそ上系サクラマスの計画数 392 万粒を充分満たす数となりました。なお、2011-2014 年度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

2014 年度の北海道 3 河川（安平川・静内川・釧路川）における河川捕獲数は 271 尾で前年度比 75%となりました。

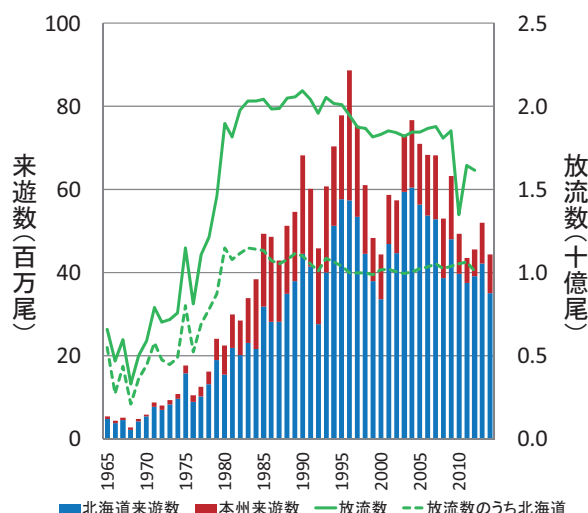


図2. 日本におけるサケの来遊数と人工ふ化放流数。2014 年度来遊数は12月31日現在。2010年度の放流数は岩手県、宮城県を含まない。

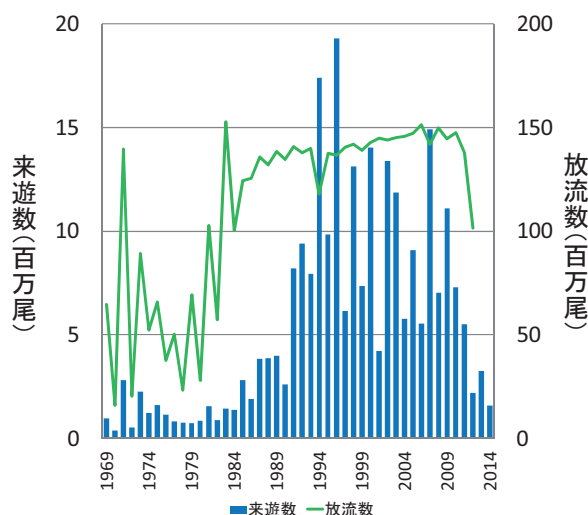


図3. 日本におけるカラフトマスの来遊数と人工ふ化放流数。

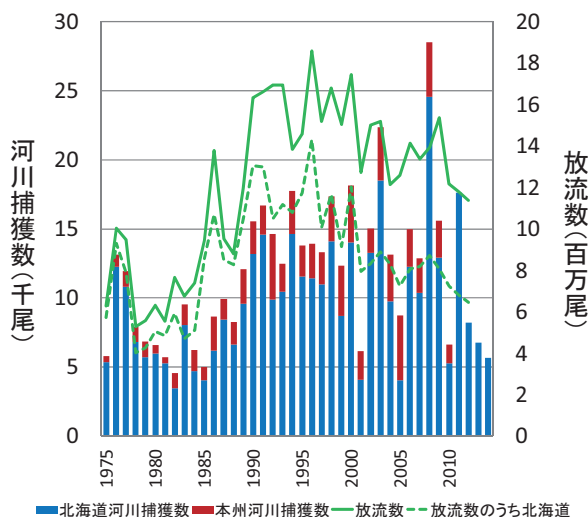


図4. 日本におけるサクラマスの河川捕獲数と人工ふ化放流数。2011-2014年度の本州河川捕獲数は確認中。



明治 21 年に建設された千歳鮭鱒人工孵化場「甲号孵化室」

発行：独立行政法人水産総合研究センター

編集：独立行政法人水産総合研究センター 北海道区水産研究所

〒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 業務支援課 011-822-2161

FAX 代表 011-822-3342

URL <http://hnf.fra.affrc.go.jp/>

E-mail www-hnf-info@ml.affrc.go.jp

執筆：水産総合研究センター 北海道区水産研究所，東北区水産研究所，日本海区水産研究所，
水産庁，国立環境研究所

SALMON 情報 編集委員会

安達宏泰(委員長)，江連睦子，佐藤恵久雄，平林幸弘，矢野 豊，中島 歩，森田健太郎

本誌掲載記事，図，写真の無断転載を禁じます。
