

salmon情報 No.14

メタデータ	言語: Japanese
	出版者: 水産研究・教育機構
	公開日: 2024-07-02
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者:
URL	メールアドレス:
	所属:
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2009558

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



SALMON 情報

第 14 号

2020 年 3 月

- 同じ種。でも結構違う？ ～サケ科魚類の野生魚にみられる種内の多様性～
- 希少種イトウの季節的な流域利用と行動パターン
- 石狩川上流域サケ稚魚大規模放流から 10 年
- 北海道におけるサケ稚魚の放流パターン及び回帰率の変遷 ～40 年間を俯瞰して～
- サケカウンターによるサケ (*Oncorhynchus keta*) 移動数計測
- 冬期のアラスカ湾における国際共同調査：サケは冬に死亡するのか？
- サケ科魚類のプロファイル-18 交雑魚
ほか



編集 北海道区水産研究所



国立研究開発法人
水産研究・教育機構

目 次

研究成果情報

同じ種。でも結構違う？

～サケ科魚類の野生魚にみられる種内の多様性～…………… 佐橋玄記・ほか 3

希少種イトウの季節的な流域利用と行動パターン…………… 本多健太郎 10

技術情報

石狩川上流域サケ稚魚大規模放流から 10 年…………… 福澤博明・ほか 15

北海道におけるサケ稚魚の放流パターン及び回帰率の変遷

～40 年を俯瞰して～…………… 高橋昌也 21

会議報告

さけます関係研究開発等推進会議 研究部会…………… 福若雅章・佐藤 俊平 25

さけます報告会…………… 阿部邦夫 28

第 27 回北太平洋溯河性魚類委員会 (NPAFC) 年次会議

科学統計小委員会 (CSRS) の概要…………… 佐藤俊平 31

トピックス

サケカウンターによるサケ (*Oncorhynchus keta*) 移動数計測…………… 布川雅典・ほか 34

コラム：勇払川の野生サケ…………… 森田健太郎 38

冬期のアラスカ湾における国際共同調査：サケは冬に死亡するのか？…… 浦和茂彦 40

さけます情報

サケ科魚類のプロファイル-18 交雑魚…………… 福井 翔 45

北太平洋と日本におけるさけます類の資源と増殖…………… 上田周典 49

さけます人工孵化放流に関する古文書の紹介 (6)

開拓使文書の中から…………… 野川秀樹 51

mini column

千歳川上流で自然産卵するサクラマスの子ア (10 月中旬)。サクラマスは唯一アジア側だけに自然分布するサケ属魚類であり、北はカムチャツカ半島から南は台湾まで分布します。海へ回遊する降海型 (サクラマス) と河川で一生を過ごす残留型 (ヤマメ) の 2 タイプあり、降海型は北日本に多く、逆に九州以南では残留型だけが生息します。サクラマスの産卵期は南ほど遅くなり、北海道北東部の早い地域では 8 月下旬から始まり、全道では 9 月がピーク、道南では 10 月まで見られます。本州の中部地方では 10～11 月が産卵期となります。ただし、湧水が豊富で冬でも水温が高い千歳川は、周辺の河川と比べると産卵期は遅めのようです。



研究成果情報

同じ種。でも結構違う？

～サケ科魚類の野生魚にみられる種内の多様性～

さし げんき もりた けんたろう よしやま たく
佐橋 玄記*1・森田 健太郎*1・芳山 拓*2

はじめに

サケ科魚類を見ていると、同じ種であっても川や支流ごとに姿や形が異なることがあります。つまり、同じ種内において多様性がみられる場合があるのです。では、こうした種内に生じる多様性は、漁業にどのように貢献するのでしょうか？近年、アラスカ湾のベニザケを対象に行われた研究では、河川・支流ごとに成熟年齢や回帰時期が異なるという種内の多様性が存在することで、アラスカ湾全体の漁獲量が安定するということが明らかになりました (Schindler et al. 2010)。この個々の要素よりも要素の集合体で経年変動が安定するという効果は、金融工学の世界における、複数の投資対象に分散投資すると利益が安定するというポートフォリオ効果に類似していることから、生物多様性のポートフォリオ効果として注目を集めています。つまり、種内の多様性は、漁獲物の安定供給や漁業者の安定経営を実現することで漁業に貢献する、ということが言えそうです。

上の事例で見たように、漁業は生物多様性が健全に維持されていることによって成立している環境依存型の産業と言えます (環境省 2002; 2012)。しかし、種内の多様性は、人間活動に伴って失われていきます。特に、個体群レベルの多様性の喪失速度は早く、種レベルの 1000 倍以上の速度で失われていると言われています (Hughes et al. 1997)。そのため、種内の生物多様性の形成機構を理解し、多様性を維持していくことは、持続可能な漁業を実現するためにも欠くことのできない課題であると言えます。

その中で我々は、さけます資源の種内の生物多様性の形成機構とその適応スケールを検討するために、北海道に棲む在来種のサケ科魚類サクラマス、カラフトマス、イワナ、オシロコマに注目してこれまで研究を行ってきました。今回はその中から 3 つの研究を紹介したいと思います。

研究 1：回遊コストのかかる支流ほど残留型が多く、降海型が少ない (Sahashi and Morita 2013)

北海道の東部を流れる釧路川には無数の支流が

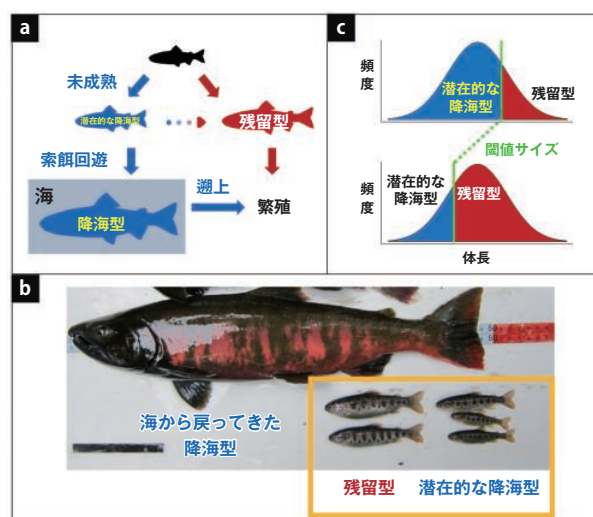


図 1. a, サクラマスとイワナの雄における生活史二型。

b, サクラマスにおける海から戻ってきた降海型、残留型、潜在的な降海型。生活史型が分岐する河川生活期の個体と比較すると (黄色枠内)、潜在的な降海型に比べて残留型のほうが体サイズが大きいことに注目。

c, サクラマスとイワナの雄における生活史二型分岐機構。閾値サイズを超えたものが成熟し残留型に、超えなかったものが潜在的な降海型になる。

存在し、その支流の多くにはサクラマスとイワナが同所的に棲んでいます。釧路川水系のサクラマスとイワナの雄には生活史二型が存在し、川で数年間を未成熟として過ごした後、海へ回遊する「降海型」と一生を川で生活し、成熟する「残留型」に生活史が分岐します (図 1a)。つまり、海へ行かずに成熟したものは残留型に、未成熟のものは潜在的な降海型になります (図 1a)。ここで、サクラマス雄の両生活史型の写真を見てみると (図 1b)、海から戻ってきた降海型は餌の豊富な海で成長したため、体サイズが 5-20 倍程度大きくなっています。しかし、生活史型の分岐時期である河川生活期の個体で比べると、潜在的な降海型は残留型に比べ体サイズが小さくなっています。こうした河川生活期に生じる両種の生活史型分岐を模式的に示すと図 1c のように表すことができ、閾値サイズ (生活史型の分岐点となる体サイズ) を超えたものが成熟し残留型に、超えなかったものが潜在的な降海型になります。また、各生活史型の割合も閾値サイズの位置により変化します。

こうした同所的に棲む種間では表現型の変異が

同調する場合があります。例えば、イノシシとニホンジカでは、両種はともに北に行くほど体が大きくなる傾向を示します(ベルクマンの法則)。したがって同所的に分布し、同じような生活史を送る種間では生活史二型の分岐は同調するのではないかと考えられます。そこで、本研究では同所的に棲むサクラマスとイワナの雄の閾値サイズを調べ、生活史二型分岐の種間同調性と要因を検討することを目的としました。

調査は2010年9月から10月に釧路川水系のサクラマスとイワナが同所的に分布している10支流で行いました。通常、川幅が狭い支流ほど水温が低いなど、水温や流速、川幅などの環境要因の間には関係性がみられることが多いのですが、本研究では環境要因の間に関係性がみられないように調査区設定を行いました。そのため、各環境要因の影響を独立に評価できるようになっています。電撃捕魚機を用いて、生活史型の分岐時期にあたる河川生活期のサクラマス計890個体、イワナ計1106個体を採集しました(海から遡上した降海型は採集していません)。得られた個体について尾叉長、体重、内臓除去重量の測定と性成熟の判別、耳石を用いた年齢査定を行いました。

釧路川水系の10支流で両種の閾値サイズを調べた結果、サクラマスとイワナの閾値サイズには種間で正の相関が見られ、種間で同調した変異をしていることがわかりました(図2a)。また、閾値サイズは海からの距離のみと負の相関を示し、海から遠くなるほど閾値サイズが小さい(≒残留型になりやすい)という傾向が見えました(図2b)。

ではなぜ海からの距離によって閾値サイズは変異するのでしょうか?海からの距離は、支流と海の間で降海と遡上を行う降海型の移動に必要なエネルギーや移動時の死亡リスクを左右する回遊のコストになります(Bernatchez and Dodson 1987; Cooke et al. 2004; Hendry et al. 2004)(図3)。そのため、海からの距離が長くなるほど、回遊コストが増加し、降海型の適応度(≒次世代に残す子孫の数の期待値)は減少するでしょう(Bohlin et al. 2001; Thorstad et al. 2012)。一方で回遊しない残留型の適応度は海からの距離により変わらないと考えられます(Bohlin et al. 2001)。以上のことから、回遊コストという選択圧が働くことで、両種の閾値サイズに多様性が生じ、回遊コストのかかる支流ほど残留型になりやすいという共通の傾向が見えたと考えられました。

研究2：回遊コストとヒグマの捕食圧に応じてカラフトマスの形態は異なる(Sahashi and Yoshiyama 2016)

カラフトマスはサケ科魚類の中でも著しく成熟

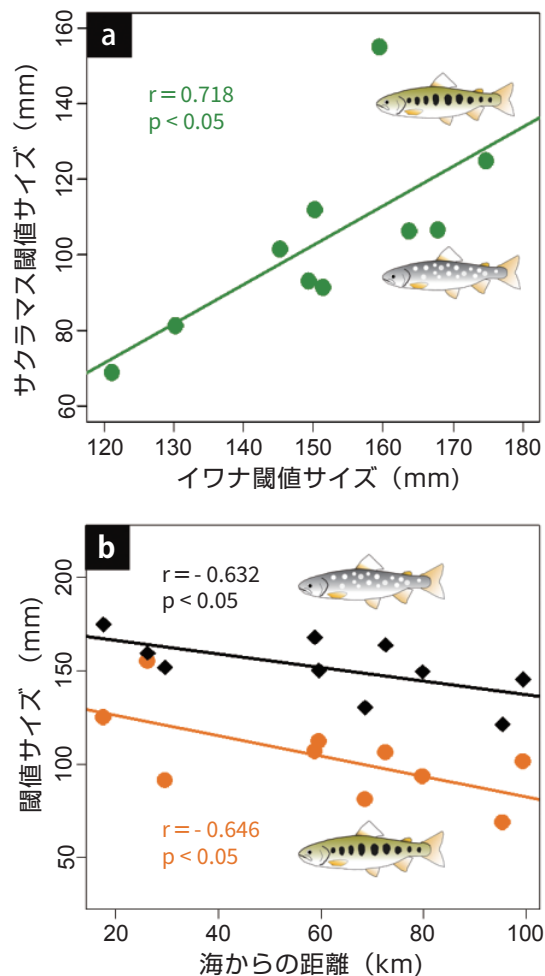


図2. a, イワナとサクラマスの閾値サイズの関係。b, 海からの距離とイワナ・サクラマスの閾値サイズの関係。

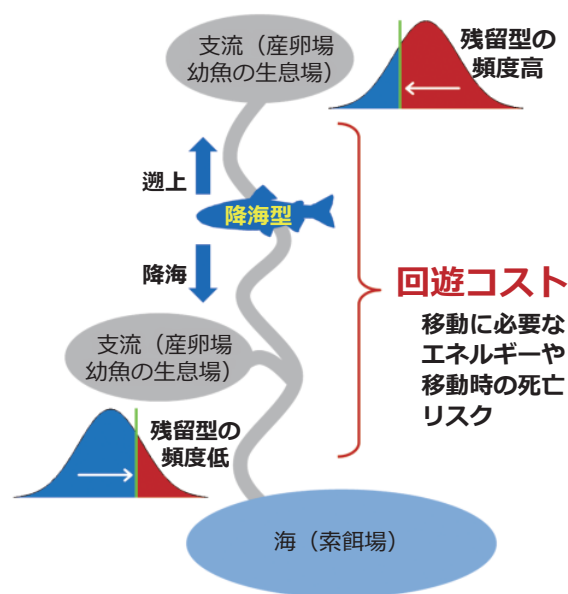


図3. 回遊コスト仮説の模式図

時の形態を発達させることが知られており、オスは上顎をカギ状に曲げ、背中を隆起させることが、メスはオスよりも成熟時の形態の発達程度は小さいのですが、より多くの卵を保持できるよう腹部を膨張させることが知られています(図4)。では、このようなカラフトマスの顕著な成熟時の形態発達はあるどのような要因によって形成されるのでしょうか。

カラフトマスは、ほぼすべての個体が2年で成熟するという特殊な生活史を持ちます(Heard 1991)。各河川の個体は浮上後、直ちに降海し、1年半を共通環境下の海で索餌回遊を行なって過ごします(Heard 1991)。そして、索餌回遊を終えたカラフトマスは、母川に遡上して繁殖後、死亡し、一生を終えます。つまり、各河川のカラフトマスは、繁殖時以外のほとんどを共通の環境下である海で過ごしている(Takagi et al. 1981)、と考えることができます。そのため、もし、カラフトマス雌雄の成熟時の形態に河川間に変異が生じるならば、各河川の繁殖環境に適応した結果ではないか、と考えることができます。

そこで、本研究では、カラフトマス雌雄の成熟時の形態の河川間変異を調べ、河川間に形態差をもたらす進化的な要因を検討しました。本研究では、特に、各河川の繁殖環境への適応という観点に注目しました。

調査は2012年の9月から10月に北海道と青森の16河川で行いました。各河川の繁殖場でカラフトマスの採捕を行うとともに、幾何学的形態測定手法の1つであるランドマーク法を用いて各個体の形態を定量化しました。

雌雄の形態はともに海からの距離のみと上に凸の関係を示しました(図5)。つまり、海から一定の距離にある繁殖場において成熟時の形態が最も発達し、海から近すぎても遠すぎても成熟時の形態はあまり発達しない傾向が認められました。また、海からの距離と他の環境要因の関係性を調べると、ヒグマの出現頻度との間に有意な相関がみられ、繁殖場が海から近い河川では、海から遠い河川に比べて、ヒグマの出現頻度が高くなっていました(図6)。

では、なぜ海からの距離とヒグマの出現頻度に応じてカラフトマスの形態は変異がするのでしょうか？海からの距離は遡上に必要なエネルギーや移動時の死亡リスクを左右する回遊コストになります(Bernatchez and Dodson 1987; Cooke et al. 2004; Hendry et al. 2004)。また、形態が発達した個体のほうが、あまり発達しない個体に比べ、遡上時の抵抗が大きくなり、回遊コストが増加するでしょう(例えば、Kinnison et al. 2003; Crossin et al. 2004)。そのため、海から遠い繁殖場で繁殖する個体ほど、形態の発達を抑制した方が適応的だろうと考えら

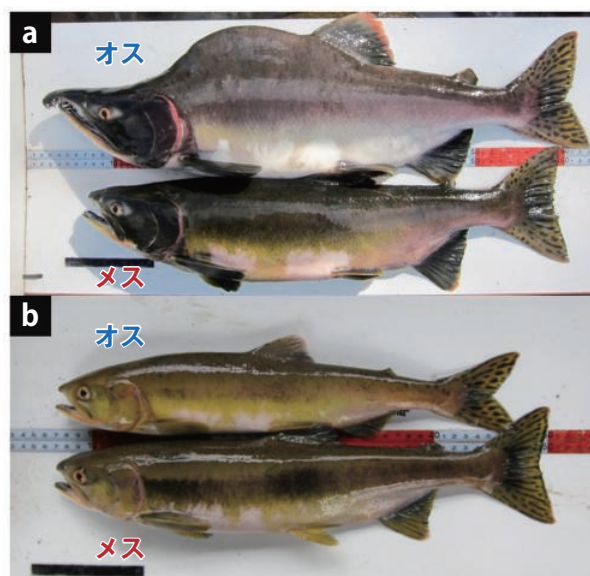


図4. 自然産卵している場所で捕獲した成熟したカラフトマスの雌雄。a. フーレップ川。b. 風連川。繁殖場が海から遠い風連川の個体には、二次性徴の発達が見られなかった。

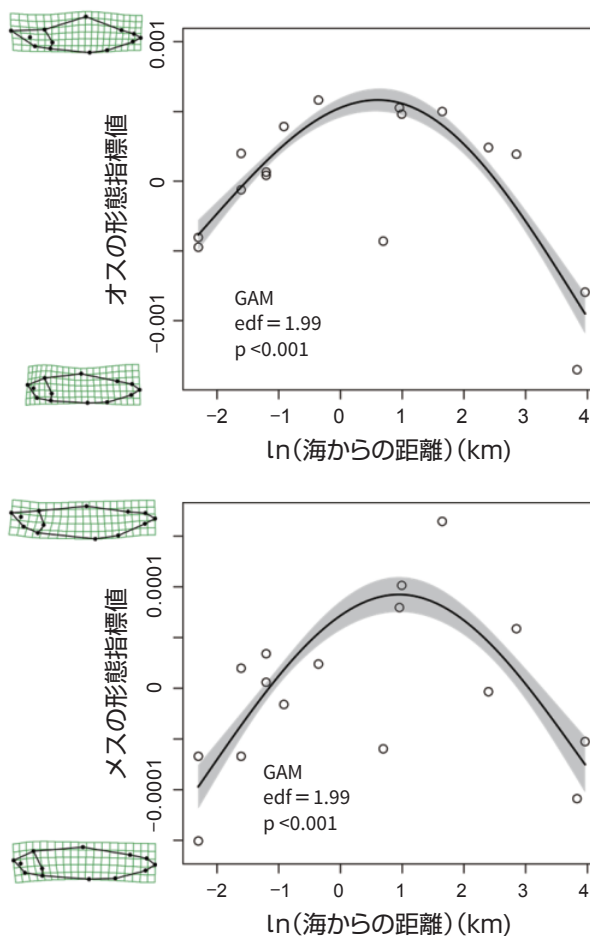


図5. 海からの距離とカラフトマス雌雄の形態指標値の関係。形態指標値の値が大きいくほど、成熟時の形態が発達していることを意味する。

れます。つまり、繁殖場が海から遠い河川における成熟時の形態の発達抑制は、回遊コストの増加に伴って生じたと考えられました。

次に、ヒグマの出現頻度についてです。本研究では、繁殖場が海から近い河川では、ヒグマの出現頻度が高く、雌雄の形態はあまり発達していませんでした。ヒグマはカラフトマスの捕食者であり、秋になると河川の河口部でサケマス類を捕食することが知られています（間野・羽澄 1988）。さらに、クマは体高の高いサケを選択的に捕食することも知られています（Carlson et al. 2009）。実際に調査した河川において熊に襲われたサケ科魚類をみても、熊に襲われた際についてと思われる傷跡は、体高が最も高くなるあたりに集中していました（図 7）。よって、クマによる捕食リスクが高い場所では、形態が発達しないほうが、カラフトマスの適応度が高くなるだろうと考えられ

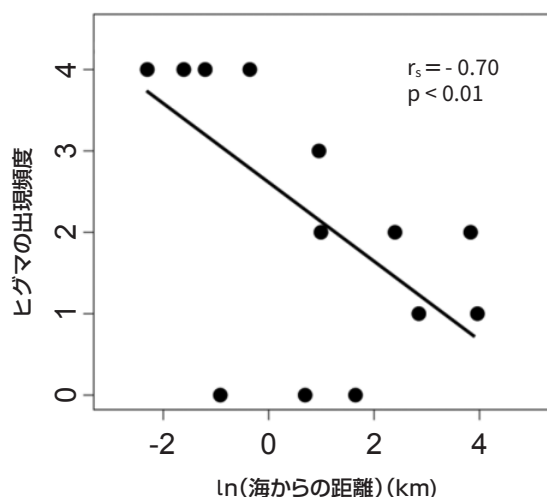


図 6. 海からの距離とヒグマの出現頻度の関係性。各河川のヒグマの出現頻度は、北海道環境科学研究センター（2000）から求めた。なお、青森県の河川のデータは本解析では除いた。



図 7. ヒグマに襲われたとみられるサケ科魚類とカラフトマスを食べるヒグマ

ます。

以上のことから、繁殖場が海から近い河川における形態発達の抑制は、ヒグマによる選択的な捕食リスクの増加に伴って生じたと考えられました。

研究 3：サクラマスに対する人為選択（ふ化放流）と自然選択（滝）の作用 (Sahashi and Morita 2018)

北海道の斜里川水系では、サクラマスとオショロコマが同所的に分布しています。サクラマスとオショロコマの雄は異なる生活史を持ちます。斜里川水系のサクラマスには研究 1 の釧路川水系と同様に生活史二型が存在し、川で数年間を未成熟として過ごした後、海へ回遊する「降海型」と一生を川で生活し、成熟する「残留型」に生活史が分岐します。一方、オショロコマの雄はすべての個体が残留型に分岐します。また、斜里川水系ではサクラマスの降海型のみを親魚に用いたふ化放流が約 80 年間に亘って行われていること、中流部に一部のサクラマス降海型のみが遡上可能な滝（さくらの滝）が存在することが知られています（図 8）。よって、サクラマスでは、①放流魚は人為選択を受け、野生魚に比べて降海型になりやすいこと（≒閾値サイズが大きくなる）、②滝上流の野生魚は自然選択を受け、滝下流の野生魚に比べて残留型になりやすいこと（≒閾値サイズが小さくなる）が予測されます。一方、降海型が生じないオショロコマの閾値サイズは、滝の影響を受けないでしょう。本研究では、同所的に棲むサクラマスとオショロコマの雄の閾値サイズの変異を斜里川の 13 支流において調べ、ふ化放流と滝の影響を検討することを目的としました。

調査は 2013 年 8 月に斜里川水系の 13 支流で行いました。電撃捕魚機を用いて、生活史型の分岐時期にあたる河川生活期のサクラマス計 1563 個体、オショロコマ計 1038 個体を採集しました（海から遡上した降海型は採集していません）。得られたサンプルについて、尾叉長、体重、内臓除去重量の測定、年齢査定（耳石）と性成熟の判別を行いました。また、放流魚と野生魚は、放流魚の耳石温度標識を元に区分しました。

サクラマス放流魚の閾値サイズは、野生魚に比べて大きくなっていました（図 9）。また、サクラマス野生魚の閾値サイズは、滝下流の支流に比べ、滝上流の支流の方が小さくなっていました（図 9）。一方、オショロコマの閾値サイズは、滝の上下で変わりませんでした。

ではなぜ滝と放流の区分によってサクラマスの閾値サイズは変異するのでしょうか？ まず、ふ化放流についてです。サケ科魚類の生活史二型分岐には、可塑的な要因に加えて (Morita et al. 2009;



図 8. さくらの滝をジャンプするサクラマス降海型。6 月頃になると、各種メディアによく取り上げられる。

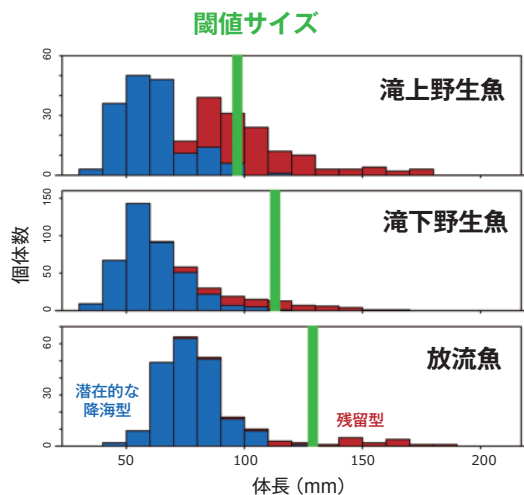


図 9. サクラマス雄の体サイズ分布と閾値サイズを個体群区分（滝上野生魚、滝下野生魚、放流魚）ごとに並べた図。青は潜在的な降海型、赤は残留型、緑は閾値サイズを示す。滝上野生魚、滝下野生魚、放流魚の順に閾値サイズが大きくなり、残留型の頻度が徐々に減少する。

Jonsson et al. 2012, 2013), 遺伝基盤が作用することが知られており (Hecht et al. 2013), 降海型の子は残留型の子に比べて、降海型になりやすくなっています。また、斜里川のサクラマス放流魚は、約 80 年間 (約 25 世代) に亘って降海型のみを親魚に用いて生産されてきました (図 10)。つまり、放流魚には 25 世代に亘って残留型が一切親魚になっていないことを意味します。そのため、サクラマス放流魚は、生活史が残留型に分岐しづらくなると考えられます。よって、サクラマス放流魚の閾値サイズが野生魚よりも大きくなり、生活史が残留型に分岐しづらくなったのはふ化放流に伴う人為選択がはたらいた結果であると考えられま

した。

次に滝についてです。滝は、海から遡上を行うサクラマス降海型の移動に必要なエネルギーや遡上時の死亡リスクの局所的な増加をもたらす回遊のコストになると考えられます。そのため、滝の存在によって、滝上流のサクラマス個体群の降海型の適応度は相対的に低くなるでしょう。一方で回遊しないサクラマス残留型やオショロコマにはこの回遊コストは影響しないと考えられます。よって、サクラマス野生魚の閾値サイズが、滝下流の支流に比べ、滝上流の支流の方が小さかったのは滝による自然選択がはたらいた結果であると考えられました。

以上のことから、人為選択（ふ化放流）と自然選択（滝）はサクラマスの閾値サイズに作用し、サクラマスが海に行くか川に残るかの生活史戦略に影響することが示唆されました。一方で、生活史二型が生じないオショロコマの閾値サイズに対しては、自然選択（滝）が作用しないことが示唆されました。

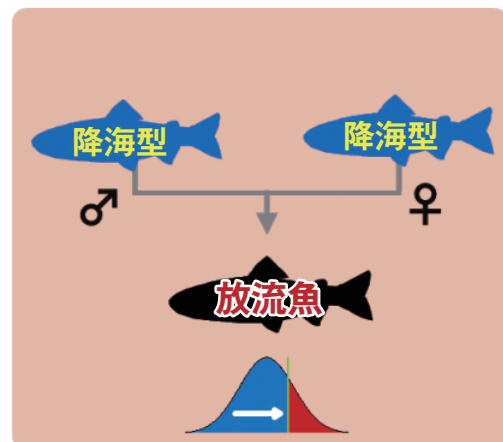
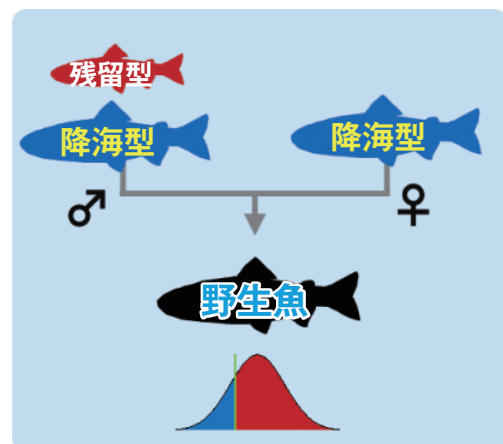


図 10. サクラマス野生魚と放流魚の再生産様式の違い。

野生魚は残留型と降海型の両方の雄が繁殖に参加できるが、放流魚は降海型雄のみが種苗生産に用いられる。斜里川のサクラマス放流魚は、約 80 年間 (約 25 世代) に亘って降海型のみを親魚に用いて生産されてきた。

おわりに

サクラマスやイワナのように、個体群内に回遊を行う降海型と回遊を行わない残留型の両方が生じる Partial migration は、プランクトンから大型哺乳類まで幅広い分類群で見られる一般的な回遊様式の 1 つです (Chapman et al. 2011)。しかし、これまで多くの先行研究が閾値サイズに多様性をもたらす種特異的な要因を明らかにしてきたものの、複数種に広く適用可能な要因を調べる統合的な試みは殆ど行われて来ませんでした。研究①では同所的に棲み、共通の生活史二型をもつ 2 種を用いて、研究③では同所的に棲み、異なる生活史をもつ 2 種を用いて、閾値サイズの多様性を生む要因の解明に取り組みました。その結果、回遊距離や滝の存在などの回遊コストの増減が Partial migration を行う動物の生活史型分岐を左右する閾値サイズの多様性を生む種間で共通の要因となることを実証的に示しました。回遊コストは回遊を行う個体に必ず生じるものなので、もしかすると回遊コストの増減に応じた生活史型の分岐機構は、サケ科魚類以外にも共通して当てはめることができる機構なのかもしれません。同時に、一連の研究はサクラマスとイワナの閾値サイズの多様性が水系内という小さな空間スケールに生じることを示しました。サクラマスとイワナの多様性を守るためには、支流単位で環境を保全していくことが重要だと考えられます。

漁業は降海型のみを漁獲するため、残留型雄は漁業資源に貢献しない、とこれまで考えられてきました (Myers 1984)。そのため、放流事業の現場では、残留型ではなく、降海型に生活史を分岐させるためにはどのような方法を取ればよいか、研究が長年進められてきました (例えば、Myers and Hutchings 1986)。しかし、近年の研究によって、残留型雄が繁殖に加わることで、個体群内の遺伝的多様性が高まる、あるいは近親交配の可能性が低下する、という新たな効果が明らかになってきました (Johnstone et al. 2013; Perrier et al. 2014)。本研究では、支流間、あるいは野生魚と放流魚の間で残留型のなりやすさが異なることを明らかにしました。今後、持続的な漁業を実現していくためには、降海型だけではなく、残留型の存在も考慮していくことが重要になると考えられます。

カラフトマスの形態に関する研究では、カラフトマス野生魚の表現型レベルの多様性と繁殖環境への適応過程を初めて明らかにしました。この知見は、集団間で唯一異なる利用空間であると想定される繁殖環境の違いに着目し、成熟時の形態との関係を定量的に調べることで得られたものです。日本系のカラフトマスでは、放流種苗の確保のために海区を超えた移植放流が行われる場合があり

ます。本研究は、カラフトマスの表現型レベルの多様性を保全するためには、河川間の移植放流を避け、河川単位の多様性を保全していくことの重要性を示唆するものだと考えられます。

引用文献

- Bernatchez, L., and Dodson, J.J. 1987. Relationship between bioenergetics and behavior in anadromous fish migrations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44: 399–407.
- Bohlin, T., Pettersson, J., and Degerman, E. 2001. Population density of migratory and resident brown trout (*Salmo trutta*) in relation to altitude: evidence for a migration cost. *J. Anim. Ecol.* 70: 112–121.
- Carlson, S.M., Rich, H.B., and Quinn, T.P. 2009. Does variation in selection imposed by bears drive divergence among populations in the size and shape of sockeye salmon? *Evolution*, 63: 1244–1261.
- Chapman, B.B., Brönmark, C., Nilsson, J.-Å., and Hansson, L.-A. 2011. The ecology and evolution of partial migration. *Oikos*, 120: 1764–1775.
- Cooke, S.J., Hinch, S.G., Farrell, A.P., Lapointe, M.F., Jones, S.R.M., Macdonald, J.S., Patterson, D.A., Healey, M.C., and Van Der Draak, G. 2004. Abnormal migration timing and high en route mortality of sockeye salmon in the Fraser River, British Columbia. *Fisheries*, 29: 22–33.
- Crossin, G.T., Hinch, S.G., Farrell, A.P., Higgs, D.A., Lotto, A.G., Oakes, J.D., and Healey, M.C. 2004. Energetics and morphology of sockeye salmon: effects of upriver migratory distance and elevation. *J. Fish Biol.*, 65: 788–810.
- Hecht, B.C., Campbell, N.R., Holecek, D.E., and Narum, S.R. 2013. Genome-wide association reveals genetic basis for the propensity to migrate in wild populations of rainbow and steelhead trout. *Mol. Ecol.*, 22: 3061–3076.
- Heard, W.R. 1991. Life history of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*). In *Pacific salmon life histories* (edited by C. Groot and L. Margolis), University of British Columbia Press, Vancouver, BC. pp. 119–230.
- Hendry, A.P., Bohlin, T., Jonsson, B., and Berg, O.K. 2004. To sea or not to sea? Anadromy versus non-anadromy in salmonids. In *Evolution illuminated: salmon and their relatives* (edited by A.P. Hendry and S.C. Stearns), Oxford University Press, New York, NY. pp. 92–125.
- 北海道環境科学研究センター. 2000. ヒグマ・エゾシカ生息実態調査報告書 IV. 北海道環境科学研究センター, 札幌市. pp. 1–118 + 21.

- Hughes, J.B., Daily, G.C., and Ehrlich, P.R. 1997. Population diversity: its extent and extinction. *Science*, 278: 689–692.
- Johnstone, D. L., O'Connell, M. F., Palstra, F. P., & Ruzzante, D. E. 2013. Mature male parr contribution to the effective size of an anadromous Atlantic salmon (*Salmo salar*) population over 30 years. *Mol. Ecol.*, 22: 2394–2407.
- Jonsson, B., Finstad, A.G., and Jonsson, N. 2012. Winter temperature and food quality affect age at maturity: an experimental test with Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 69: 1817–1826.
- Jonsson, B., Jonsson, N., and Finstad, A.G. 2013. Effects of temperature and food quality on age and size at maturity in ectotherms: an experimental test with Atlantic salmon. *J. Anim. Ecol.*, 82: 201–210.
- 環境省. 2002. 新・生物多様性国家戦略. URL: http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kankyo/kettei/020327tayosei_f.html
- 環境省. 2012. 生物多様性国家戦略 2012–2020. URL: <http://www.env.go.jp/press/files/jp/20763.pdf>
- Kinnison, M.T., Unwin, M.J., and Quinn, T.P. 2003. Migratory costs and contemporary evolution of reproductive allocation in male chinook salmon. *J. Evol. Biol.*, 16: 1257–1269.
- 間野 勉・羽澄 俊裕. 1988. 大会記録 日本哺乳類学会 1988 年大会自由集会の記録, 2. 日本産クマ類の研究の現状と今後の課題. *哺乳類科学*, 28: 80–83.
- Morita, K., Tsuboi, J., and Nagasawa, T. 2009. Plasticity in probabilistic reaction norms for maturation in a salmonid fish. *Biol. Lett.*, 5: 628–631.
- Myers, R.A. 1984. Demographic consequences of precocious maturation of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 41: 1349–1353.
- Myers, R.A., and Hutchings, J.A. 1986. Selection against parr maturation in Atlantic salmon. *Aquaculture*, 53: 313–320.
- Perrier, C., Normandeau, É., Dionne, M., Richard, A., and Bernatchez, L. 2014. Alternative reproductive tactics increase effective population size and decrease inbreeding in wild Atlantic salmon. *Evol. Appl.*, 7: 1094–1106.
- Sahashi, G., and Morita, K. 2013. Migration costs drive convergence of threshold traits for migratory tactics. *Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 280: 20132539.
- Sahashi, G., and Morita, K. 2018. Adoption of alternative migratory tactics: a view from the ultimate mechanism and threshold trait changes in a salmonid fish. *Oikos*, 127: 239–251.
- Sahashi, G., and Yoshiyama, T. 2016. A hump-shaped relationship between migration distance and adult pink salmon morphology suggests interactive effects of migration costs and bear predation. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 73: 427–435.
- Schindler, D.E., Hilborn, R., Chasco, B., Boatright, C.P., Quinn, T.P., Rogers, L.A., and Webster, M.S. 2010. Population diversity and the portfolio effect in an exploited species. *Nature*, 465: 609–612.
- Takagi, K., Aro, K.V., Hartt, A.C., and Dell, M.B. 1981. Distribution and origin of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) in offshore waters of the North Pacific Ocean. *Int. North Pac. Fish. Comm. Bull.*, 40: 1–195.
- Thorstad, E.B., Whoriskey, F., Uglem, I., Moore, A., Rikardsen, A.H., and Finstad, B. 2012. A critical life stage of the Atlantic salmon *Salmo salar*: behaviour and survival during the smolt and initial post-smolt migration. *J. Fish Biol.*, 81: 500–542.

研究成果情報

希少種イトウの季節的な流域利用と行動パターン

ほんだ けんたろう
本多 健太郎（北海道区水産研究所 さけます資源研究部）

はじめに

サケ科のイトウ *Parahucho perryi* (図 1) は現在国際自然保護連合 IUCN や環境省によって絶滅危惧種に指定され、その希少性から「幻の魚」などと呼ばれています。イトウは現在極東ロシアと北海道に分布していますが、北海道では 7 水系に安定個体群を残すのみとなっていました (Fukushima et al. 2011)。本種は北海道に生息する他のサケマス類とは異なり、秋ではなく雪が解けた春に河川の上流域で産卵し、また多くの個体が産卵後も死ぬことなく生涯に何度も産卵に参加することがわかっています。イトウは成長すると 1 m を超える国内最大のサケ科魚類ですが、成長が遅く、成熟までに 4~8 年を要します (川村ほか 1996)。寿命も 4~5 年のサケと比べて長寿であり、20 年以上生きる個体が確認されています。また、本種には降海型の存在が知られていますが、その回遊範囲は沿岸域までと考えられています (Arai et al. 2004; Suzuki et al. 2011)。このように、本種は長寿で河川への依存度が高いという特徴を持つため、人間活動 (河川改修や農地開発、外来種の移入など) によって生じた環境の著しい変化に適応できなかったことが個体数減少に繋がったと考えられています (江戸 2002; Nomoto et al. 2010; Fukushima et al. 2011)。ここまでイトウについて簡単に紹介しましたが、過去に本誌に掲載された「サ

ケ科魚類のプロファイル-13 イトウ」(福島 2015) に本種の生態や資源の利用、本種が抱える課題などについてより詳しく書かれていますので、そこらもご参照下さい。

イトウの流域利用や行動パターンを調べる

漁業者や熱心な釣り人であれば、ターゲットの魚がいつ・どこにいるのかをおおよそ知っています。イトウについても、これまでの研究成果に加え、漁獲・釣獲情報から本種が海に進出することや産卵期以外にも成魚サイズの個体が上流域に滞在することなどがわかっています。しかし、ここで疑問が浮かびます。海で見つかる個体と上流域にいる個体はそれぞれ相容れない生活史を送っているのでしょうか。それとも同じ個体がときに海に行ったり、ときに上流域に遡上したりしているのでしょうか。また、個体群レベルで考えたときに、流域の利用にはどの程度の季節性や個体差があるのでしょうか、そして、それらは何に起因するのでしょうか。イトウの保護を考える上で (優先して守るべき環境を知るために)、これらの問いに答えることは必須でありながら、これまでそのような情報が不足していました。そこで、本研究ではイトウの季節的な流域利用を個体レベルで明らかにし、それを集積することで個体群としての特性解明に繋げることを目標にしました。



図 1. 倒木の下に身を潜めるイトウ (大本謙一氏撮影)

本研究のフィールドは北海道東部に位置し、汽水湖の厚岸湖を介して、厚岸湾、太平洋へと流れ出る別寒辺牛(べかんべうし)川水系です(図2)。本水系は上流域に自衛隊の演習場があるため開発されておらず、下流域はラムサール条約登録湿地に指定されるなど、手付かずの自然が多く残されています。

筆者らは2008年から2010年の3年間の4月から11月にかけて、この川の上流域から厚岸湖に至るまでに25–28台の超音波受信機を流域全体を網羅するように配置しました。その後、上流域の産卵場から降りてきたイトウや春に厚岸湖内の定置網で漁獲されたイトウ計45尾(各年15尾、尾又長46.0–83.9 cm、成魚と想定)の腹腔内に超音波発信器を挿入して放流し、配置した受信機によって春から秋までの行動を追跡しました(Honda et al. 2012)。各受信機の捕捉範囲に発信器を付けた個体が入ると、発信器から発せられたIDとその受信時刻を受信機が自動的に記録する仕組みになっています(図3)。また、配置した受信機とは別に、毎月一台の受信機をGPSを搭載したカヌーで曳航することで、発信器付きイトウの居場所をリアルタイムで捕捉し、配置した受信機の間を補完しました。これらの手法は「テレメトリー」と呼ばれ、近年多くの水中・陸上生物の行動範囲や季節移動を調べるのに用いられています。本稿ではイトウ保護の観点から追跡個体の受信位置は記載せず、代わりに河口からの距離や河川規模などを基準に分類した「エリア」を用いてイトウの滞在場所を説明します(図2)。なお、別寒辺牛川本流とチライカリベツ川の合流点の上流側をエリア5、別寒辺牛川本流とチャンベツ川およびトライベツ川の合流点の上流側(いずれも同規模の流

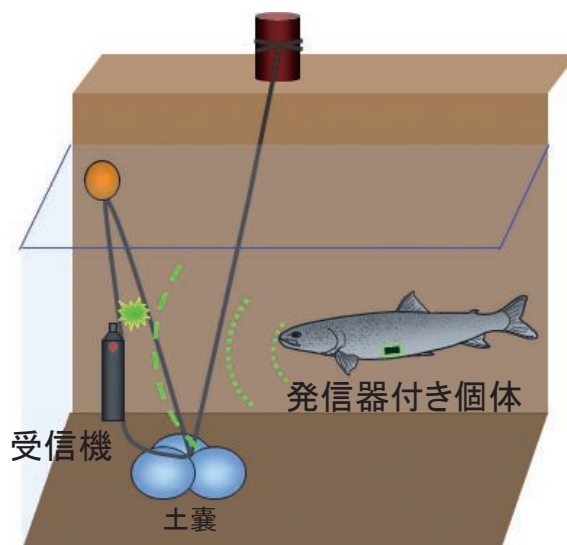


図3. 超音波発信器を付けたイトウが超音波受信機に受信される様子

量)をエリア3としたことから、便宜的にエリア1–3を上流域、4–5を中流域、6–7を下流域と定義しました。また季節については、4–6月を春、7–9月を夏、10–11月を秋としました。

季節的な流域利用

すべての受信機に記録されたデータを解析した結果、イトウは年や月に関係なく上流域から下流域までを幅広く利用することがわかりました(図4)。ただし、流域の利用には大きな個体差が存在し、追跡期間中に中上流域の特定の淵や大きな倒木付近からほとんど動かなかった個体がいいた一方で、季節を通じて上流域から下流域までを頻繁に移動する個体も複数確認されました(Honda et al. 2012)。また、下流域を利用する季節にも個体差があり、下流域に終始滞在する個体はいなかったものの、春と秋両方利用したり、春だけだったりと多様でした。他にも、別寒辺牛川の本流だけでなく複数の一次支流を利用する個体が毎年見られました。なお、本研究で追跡した個体の中で、厚岸湖から厚岸湾(海)に進出した可能性があったのは一尾のみで、それも一日に満たない時間でした(Honda et al. 2012)。本水系のイトウを対象に、耳石中に含まれる微量元素を分析した結果からも、分析に供した10尾はいずれも海に進出していないか、していたとしてもごく短期間であったことがわかっています(Honda et al. 2010a)。

本研究で2009年に追跡した個体では夏の下流域の滞在率が春や秋と大きく変わらなかったのに対して、2008年と2010年の夏では春・秋に比べてその割合が小さくなりました(図4)。別寒辺牛川では北海道の多くの河川と同様に、夏は上流域で水が冷たく、下流域ほど温かくなります(Honda

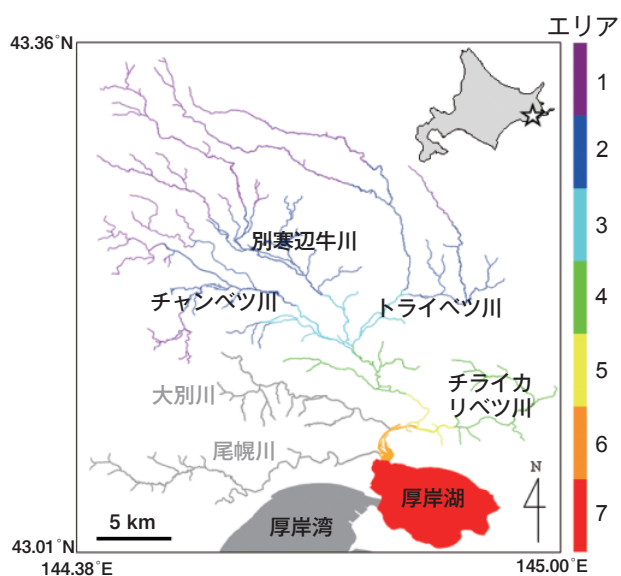


図2. 北海道東部の別寒辺牛川水系と色分けしたエリア
エリアの分類の詳細は Honda et al. (2012)を参照
灰色の水域は調査対象外

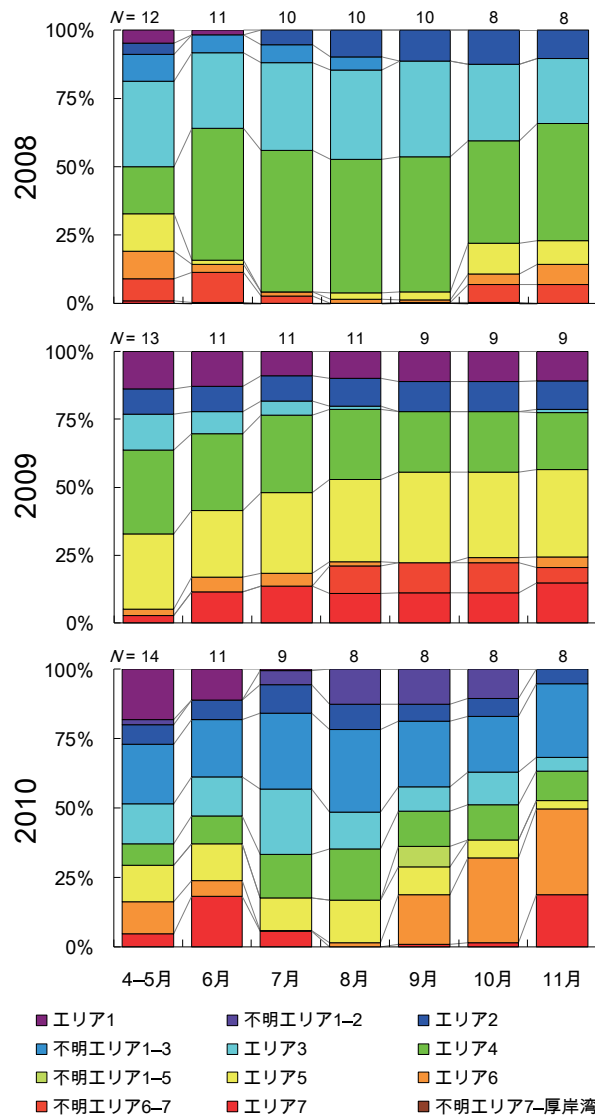


図4. 追跡したイトウが各年各月に滞在した各エリア(図2参照)における滞在率(Honda et al. 2012を改変)
全個体の滞在時間をプールして算出、Nは追跡個体数
「不明エリア」は追跡個体が受信機の配置されていない支流に入るなどの理由で滞在エリアを特定できなかった場合で、そのいずれかのエリアに滞在したことを示す
4-5月は産卵場からの降下行動終了後のデータを使用

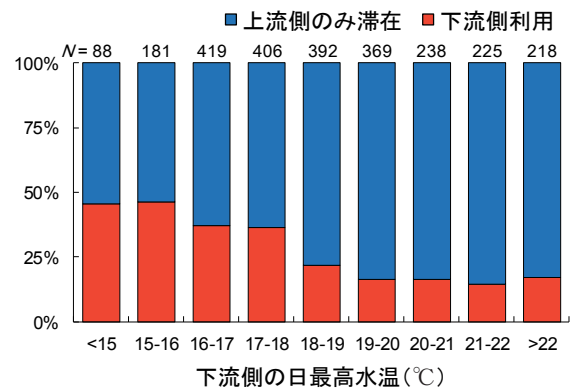


図5. 2008-2010の夏の下流側(エリア5-7, 図2参照)の日最高水温に対して、各日に上流側(エリア1-4)のみに滞在した個体と下流側を(わずかな時間でも)利用した個体の数をそれぞれ集計して求めた割合(Honda et al. 2012を基に作成)

et al. 2012)。2008年と2010年は夏の下流側(エリア5-7)の日最高水温が2009年の夏よりも平均で2℃以上高く推移し、下流側の最高水温が、冷水性であるイトウが斃死すると報告されている20℃(福田ほか1992)を超えた日数もそれぞれ26日、52日と2009年の6日よりも顕著に多かったのです。実際、夏の下流側の日最高水温が高くなると、下流側を利用する個体の割合が減り、上流側(エリア1-4)にのみ滞在する個体の割合が増える傾向にありました(図5)。

中上流域と下流域で異なる行動パターン

イトウはまた、滞在した水域の違いによって行動パターンが異なりました。中流域のエリア4-5よりも下流域のエリア6に滞在した個体の単位時間当たり移動距離(≒行動範囲)が顕著に長くなる傾向が認められました(図6)。この中上流域ではほとんど動かず、下流域で行動が活発になる傾向は、詳細な行動を記録する機械(データロガー)を動物に取り付けて動物自身にデータを取得させ

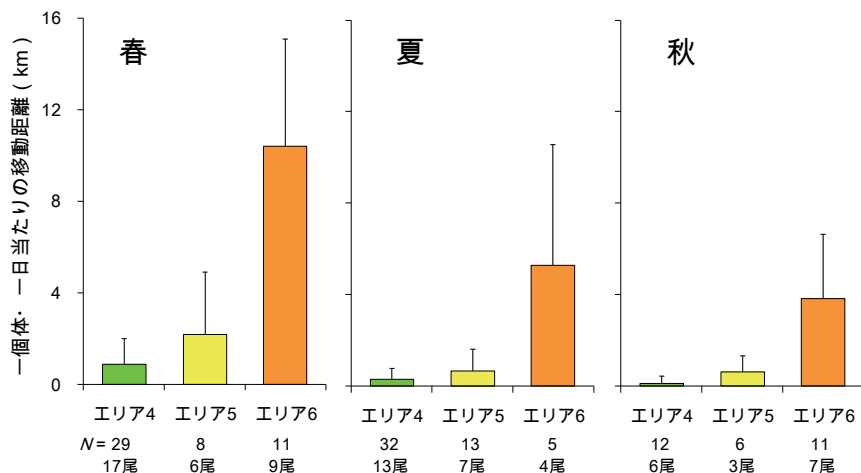


図6. 2008-2010年に追跡したイトウによるエリア4-6(チライカリベツ川を除く、図2参照)における季節別の一個体・一日あたりに換算した移動距離の平均(Honda et al. 2014を改変)
季節ごとに全個体の月別の値を集計して算出、バーは標準偏差を示す



図 7. 遊泳深度や経験水温、加速度を記録するデータロガーを装着したイトウ
朱色の物体は浮力体で、他にも電波・超音波発信器とタイマー式切り離し装置が内蔵されている
一定時間経過後に切り離し装置によって機器一式が浮力体とともに水面に浮上する仕組み
回収したロガーからデータを読み出して解析した結果の詳細は Honda et al. (2017)を参照

る「バイオロギング」と呼ばれる手法で得られた結果からも支持されました (Honda et al. 2017, 図 7)。これらの行動パターンは、イトウの採餌戦略の違いを反映していると考えられます。瀬淵構造が明瞭で、倒木などの身を隠す場所が多い中上流域では、むやみに動かない「待ち伏せ型」の採餌戦略を採用していると考えられます。なお、これも本研究で得られたデータからわかったことですが、カヌーで曳航した受信機によって特定した、イトウが中長期的に滞在する中上流域の生息場 (イトウの受信場所を中心とした 400 m の流程) は、周囲の流程と比べて河道がより蛇行し、夏以降は葉の生い茂る河畔林がより高密度でみられる傾向にありました (Honda et al. 2010b)。他にも、イトウ成魚が、水底面積や樹冠の被覆率が大きい淵を選択することが報告されています (佐川ほか 2002)。一方で、河川構造は単調である代わりに広大な空間を持ち、ゆえにイトウも餌生物も身を隠す場所が限られる下流域では、イトウは頻繁に広範囲を移動する「広域探索型」の採餌戦略を採っていると考えられました。また、春の移動距離が夏・秋よりも長くなったことについては (図 6)、越冬や産卵で消耗した体力を回復させるために、採餌や休息に適した場所を探索した結果であると推察されます。

おわりに

別寒辺牛川水系のイトウは年や月に関係なく、流域を上流域から厚岸湖まで、本流・支流の別を問わずに幅広く利用することがわかりました。シベリアやモンゴルに生息する近縁種のアムールイトウ *Hucho taimen* も最長で 90 km を超える広大な水域を利用することがわかっています (Gilroy et al. 2010)。イトウはまた、夏に下流域が高水温

になると、恐らく代謝を抑えるために水温の低い上流側を主に利用していました。さらに、中上流域か下流域かの違いに応じて行動パターンを使い分けることで、それぞれの水域の物理環境特性に見合った採餌戦略を採っていると考えられました。季節的な流域利用に顕著な個体差があったことを踏まえると、この使い分けは、水温などの環境の変化だけでなく、栄養状態などの自身のコンディションにも応じたものなのかもしれません。そして、これは推測の域を出ませんが、イトウが長寿であり且つ生息範囲が主に河川内に限られていることが、本種の流域利用にこのような選択肢を与えているようにも思えます。この考えが正しければ (そうでなくとも)、イトウがいつでも行きたい場所に行けるよう、河川内に行く手を阻む堰堤などの障害物がないことが本種を保護するための最低条件と言えます。もちろん、産卵場より下流に降った個体が産卵のために遡上できないことが最悪のシナリオであることは言うまでもありません (Fukushima et al. 2007, 2019)。同時に、別寒辺牛川水系に残されているような、上流域から下流域までを特徴づける物理環境 (自然景観) の保全・復元も重要です。なぜなら、例えば中上流域であれば、川の蛇行や河畔林によってもたらされる、身を隠すのに適した淵や倒木などがなければ待ち伏せ型の採餌戦略は採れないからです。

成魚にまで成長したイトウは河川生態系の頂点に君臨します。このような捕食者が上流域から下流域までのどこにでもあまねく姿を現す水系であれば、それは上流域や下流域の食物網の下位を占める生物も健全な状態にあることを意味するのではないのでしょうか。

引用文献

- Arai, T., Kotake, A., and Morita, K. 2004. Evidence of downstream migration of Sakhalin taimen, *Hucho perryi*, as revealed by Sr:Ca ratios of otolith. *Ichthyol. Res.* 51: 377–380.
- 江戸謙顕. 2002. 希少種保全のための調査研究 — イトウを例として —. 生物と環境 (多賀光彦 監修), 三共出版, 東京. pp 67–117.
- 福田 裕・松坂 洋・松田銀治・菊谷尚久. 1992. 親養殖魚生産技術開発試験. 平成 2 年度青森県内水面水産試験場事業報告書. pp 29–35.
- Fukushima, M., Kameyama, S., Kaneko, M., Nakao, K., and Steel, E.A. 2007. Modelling the effects of dams on freshwater fish distributions in Hokkaido, Japan. *Freshw. Biol.* 52: 1511–1524.
- 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.
- 福島路生. 2015. サケ科魚類のプロファイル-13 イトウ, SALMON 情報. 9: 35–38.
- Fukushima, M., Harada, C., Yamakawa, A., and Iizuka, T. 2019. Anadromy sustained in the artificially landlocked population of Sakhalin taimen in northern Japan. Environ. Biol. Fish 102: 1219–1230.
- Gilroy, D.J., Jensen, O.P., Allen, B.C., Chandra, S., Ganzorig, B., Hogan, Z., Maxted, J.T., and Vander Zanden M.J. 2010. Home range and seasonal movement of taimen, *Hucho taimen*, in Mongolia. Ecol. Freshw. Fish 19: 545–554.
- Honda, K., Arai, T., Takahashi, N., and Miyashita, K. 2010a. 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.
- Honda, K., Kagiwada, H., Tojo, N., and Miyashita, K. 2010b. Riverine environmental characteristics and seasonal habitat use by adult Sakhalin taimen, *Hucho perryi*, in the Bekaubeushi River system, Japan. J. Fish Biol. 77: 1526–1541.
- Honda, K., Kagiwada, H., Takahashi, N., and Miyashita, K. 2012. Seasonal stream habitat of adult Sakhalin taimen, *Parahucho perryi*, in the Bekaubeushi River system, eastern Hokkaido, Japan. Ecol. Freshw. Fish 21: 640–657.
- Honda, K., Kagiwada, H., Takahashi, N., and Miyashita, K. 2014. Movement patterns of adult Sakhalin taimen, *Parahucho perryi*, in the Bekaubeushi River system, eastern Hokkaido, Japan. Ichthyol. Res. 61: 142–151.
- Honda, K., Takahashi, N., Yamamoto, K., Kagiwada, H., Tsuda, Y., Mitani, Y., and Miyashita, K. 2017. First documentation of detailed behaviors of endangered adult Sakhalin taimen *Parahucho perryi* in the Bekaubeushi River system, eastern Hokkaido, Japan, using bio-logging and acoustic telemetry concurrently. Ichthyol. Res. 64: 35–364.
- 川村洋司・原 彰彦・寺西哲夫. 1996. 北海道編. イトウの養殖技術 (野村 稔 監修). 新魚種開発協会, 東京. pp 1–29.
- 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 red disturbance in an agricultural stream, eastern Hokkaido. Ecol. Freshw. Fish 19: 116–126.
- 佐川志朗・山下茂明・中村太士. 2002. 北海道天塩川水系一支流におけるイトウ成魚の夏季生息場所利用 —イトウ生息地保全事項の提示—. 日本生態学会誌. 52: 167–176.
- 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.



資料. 湿原の中をゆったりと流れる別寒辺牛川 (図2のエリア3に該当, 高橋伸幸氏撮影)

技術情報

石狩川上流域サケ稚魚大規模放流から 10 年

ふくざわ 福澤 ひろあき 博明*1・鈴木 えいじ 栄治*2・さかがみ 哲也*3・ばん 真俊*4・伊藤 ひろみ 洋満*5・なかじま あゆみ 歩*5・やまだ なおよし 直佳*6

はじめに

石狩川は石狩岳を源流として石狩湾へ流れ込む全国屈指の大河川です。支流の千歳川は、1888 年に本格的なサケ（*Oncorhynchus keta*）のふ化放流事業を開始したことで良く知られており、毎年、20 万尾前後のサケが遡上しています。一方、河口から上流約 150km にある旭川市周辺にもサケについての古い記録が残されています。過去には数十万尾の遡上があり（瀬川 2003）、また、明治時代には水産庁のさけますふ化場も建設され、ふ化放流事業が行われました（北海道さけ・ますふ化事業百年史編さん委員会 1988）。ところが、1964 年に河口から約 120km 上流の深川市に農業用取水堰（旧花園頭首工）が建設されたために、そこから上流域へのサケの遡上は途絶えることになりました（図 1）。

しかし、時代は変わり、石狩川上流域のサケが復活する兆しが見えてきました。石狩川では、魚がのぼりやすい川づくり推進事業（<https://www.hkd.mlit.go.jp/as/tisui/vkvvn80000000rq9.html>）により、1994 年にモデル河川の指定を受けて多くの河川横断施設に魚道が整備され、旧花園頭首工には 2000 年に右岸側、2011 年に左岸側に魚道が設置され、上流域へのサケの遡上が可能になりました（図 2）。魚道ができた頃から、大雪と石狩の自然を守る会や小学校等の市民団体による小規模な放流が始まりましたが、北海道区水産研究所（当時の水産総合研究センターさけますセンター）は、ふ化放流と天然産卵を組み合わせた石狩川上流における野生サケ資源の回復を目的として、2009 年から 2011 年の 3 カ年に大規模な標識放流試験を行いました。この試験に至った経緯や標識親魚の回帰の一部については、本誌 4 号（鈴木 2010）および 10 号（伴 2016）において報告したところですが、本稿では、石狩川上流域への標識親魚の回帰に加え、それらが自然産卵して生まれた子孫の回帰状況について紹介します。

標識放流試験と遡上親魚調査

標識放流試験として、2008 年から 2010 年の秋

に千歳川に遡上したサケから卵を採って翌年の春まで千歳さけます事業所で育てた稚魚を旭川市の市街地を流れる忠別川の支流のポン川と愛別町の愛別川下流部まで約 200km をトラックで輸送し放流しました（図 1）。旭川市周辺の市民放流では、毎年いくつかのグループが数千尾単位で放流し、合計で 3~4 万尾が放流されていますが、この試験では、両河川におよそ 25 万尾ずつ、その全てに耳石温度標識を付けて放流しました（表 1）。

そして、最初に放流した 2008 年生まれ（2008 年級）の試験放流魚の 3 年魚としての回帰が期待された 2011 年の秋から、輸送放流した場所の周辺で親魚の遡上状況を調査しています。

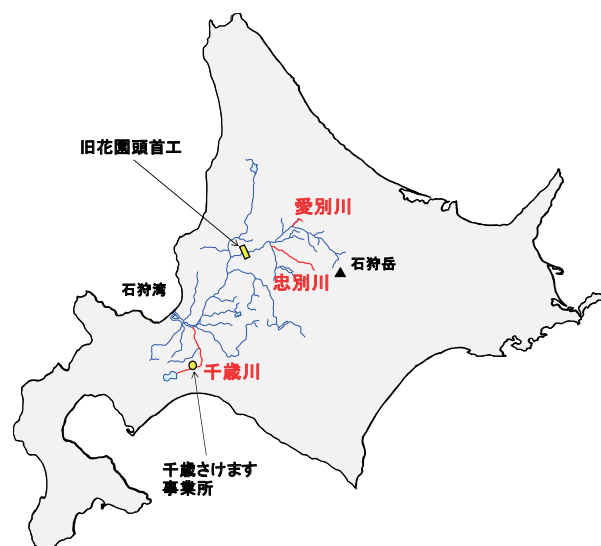


図 1. 石狩川。千歳さけます事業所産のサケ稚魚を支流の愛別川と忠別川へ輸送放流した。



図 2. 旧花園頭首工の鳥瞰写真。花園頭首工として建設されたが、現在は農業用取水堰としての役割は終えたため、旧花園頭首工と呼ばれる。

*1 北海道区水産研究所（北水研）さけます生産技術部、*2 北水研 さけます生産技術部 根室さけます事業所、*3 北水研 さけます生産技術部 伊茶仁さけます事業所、*4 北水研 業務推進部、*5 東北区水産研究所 さけます資源グループ、*6 公益財団法人 日本釣振興会北海道地区支部

調査の方法は、忠別川放流点周辺に 7 定点（約 3.3km）、愛別川周辺に 3 定点（約 1.7km）を調査区間として設定して（図 3）、遡上時期に旬 1 回程度、産卵床を計数しました。川幅は忠別川では 30m 前後、愛別川は 20m 前後、愛別川の合流点付近の石狩川本流は 50m 以上あり、川幅の広い本流の調査は愛別川合流点付近の右岸沿い（定点 AI2）とそのやや下流の右岸側の分流（定点 AI3）に限りしました。また、産卵後の親魚の死骸から鱗と耳石を採取して回帰した年齢と耳石標識の有無を調べました。これらにより、親魚の遡上量とその由来を把握しました。なお、それぞれの河川の調査区間の上流側には親魚がそれより上へ遡上しにくい河川工作物（堰堤）があることから、遡上量は比較的把握しやすいと考えました。

表 1. 愛別川と忠別川に放流された標識魚

年級	採卵日	放流日	放流場所	放流尾数 (千尾)	平均体重 (g)	耳石温度標識 (ハッチコード)
2008	2008/10/27	2009/3/25	愛別川	250	0.79	2,3-5H
			忠別川(ボン川)	250		
2009	2009/10/28	2010/3/24	愛別川	267	0.61	2,3-5H
			忠別川(ボン川)	267		
2010	2010/10/22	2011/3/23	愛別川	269	0.63	2,3-5H
			忠別川(ボン川)	268		

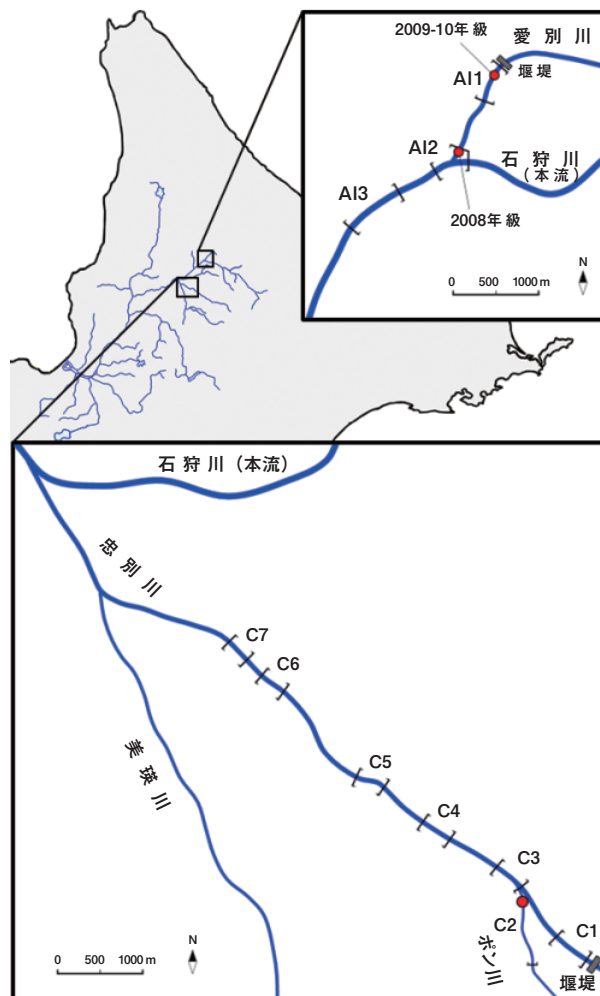


図 3. 標識放流場所（赤丸）と調査定点

大規模放流世代の回帰

2010 年以前にも旭川周辺でわずかに親魚が観察されていましたが（有賀ら 2012）、大規模放流世代の最初の 2008 年級群が 3 年魚として回帰した 2011 年以降、標識放流場所に集中して多くの親魚と産卵行動が観察されました（図 4, 5）。



図 4. 2012 年 11 月の放流点付近の様子。写真上は愛別川（矢印に親魚）、下は忠別川

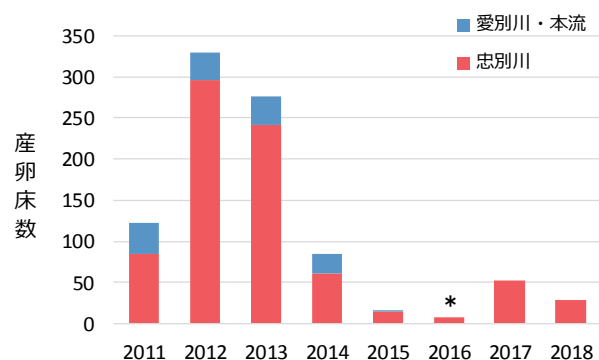


図 5. 調査定点内の産卵床数。2016 年は大型台風による長期間の増水のため調査困難（参考値）

特に 2012 年が多く、忠別川と愛別川周辺の定点内に合計 300 を超える産卵床が確認されました。雌 1 尾が一つの産卵床を造ると考え、雌雄の性比を 1:1 とすれば、定点内には産卵床の 2 倍の数の 600 尾を超える親魚が遡上したと考えられます。2008~2010 年級が 3~5 年魚として回帰した 2011~2015 年の親魚推定数に親魚の死骸の年齢割合

を乗じると図 6 のよう示されます。また、死骸の耳石分析では、2011～2013 年の親魚のほとんどが試験放流魚であることがわかり（図 7）、特に突出して多かった 2008 年級の魚は忠別川の定点内だけでも 894 尾が回帰したと推定されました。2008 年級では、千歳さけます事業所から千歳川へ本試験放流群とほぼ同時期、同サイズ（3/24、0.79g）で放流された標識放流群があり、この放流群について、千歳川に設置された捕獲装置（ウライ）によって捕獲された回帰親魚数を放流数で除した河川回帰率は 0.83% でした（北水研 未発表資料）。石狩川上流域への試験放流群もこれと同等な河川回帰率であったとすれば、忠別川と愛別川の周辺にそれぞれ 2 千尾（250 千尾×0.0083）程度の回帰があったものと思われ、忠別川の定点内では、その半数近くが確認されたことになります。愛別川周辺では忠別川に比較すると産卵床確認数は少なくなっていますが、その要因としては、調査範囲が忠別川と比べて小さかったことが挙げられます。また、愛別川の放流地点付近では、遊泳している親魚の数が多い割には確認された産卵床が少なかったことから、一旦は放流地点付近に回帰したものの産卵場所を求めて定点を離れて産卵した魚が多かったのではないかと考えられました。

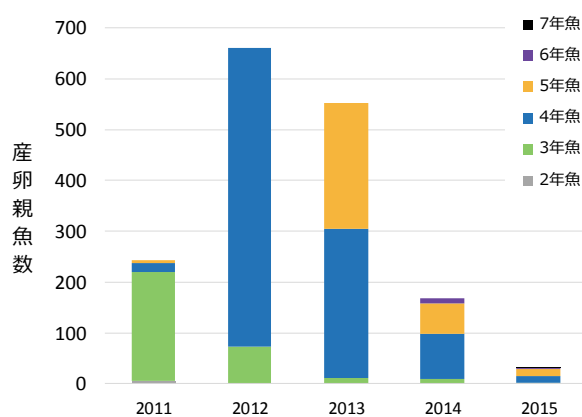


図 6. 2011 年から 2015 年に回帰した遡上親魚の年齢構成

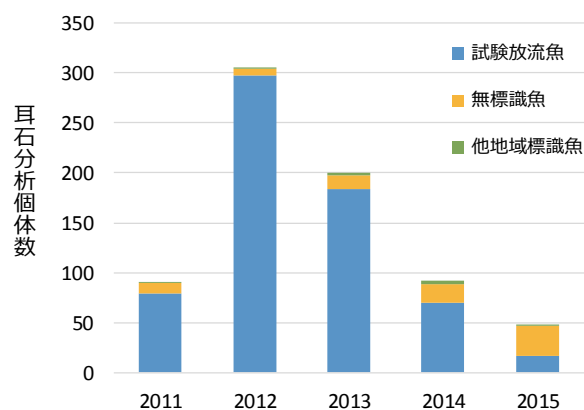


図 7. 2011 年から 2015 年に回帰した遡上親魚の耳石温度標識個体数

大規模放流世代の回帰終了後の親魚遡上

2015 年の秋は、試験放流魚の回帰が 2010 年級の 5 年魚のみとなるため、遡上数の減少が予想される一方、2011 年以降に大量に回帰した大規模放流群の自然産卵によって生まれた次の世代（第 2 世代）となる 2011 年級の 4 年魚及び 2012 年級の 3 年魚としての回帰が期待されました。しかし、定点内で確認された産卵床数は大きく減少しました（図 5）。

2016, 17 年の秋は、大量の自然産卵によって生まれた 2012, 13 年級が 4 年魚として回帰することから、遡上数の増加が期待されましたが、2016 年は 2015 年をさらに下回る産卵床数となり、2017 はそれよりやや増加しました。2016 年については、8 月に大型台風が上陸した影響で長期間濁った状態が続き、川底が見える範囲が限られたため、産卵床数が少なくなっています。確認できなかった産卵床が多くあったと思われますが、この前後の年に遡上した親魚の年齢構成からこの年の遡上数を推定してみると、多く見積もってもこの 3 倍程度であり、それほど多くは遡上しなかったようです。近年の千歳川産サケ 4 年魚の 1 尾あたりの孕卵数はおよそ 3,200 粒（北水研 未発表）であり、2012, 13 年の秋には 300 前後の産卵床が確認されたことから、定点内だけでも 100 万粒近い産卵があったと考えられますが、その生き残りはかなり悪かったものと推察されます。

2016 年以降、忠別川ではある程度の親魚の遡上・産卵がありましたが、愛別川周辺では全く確認できませんでした。サケは径 5～30mm を中心とした中型の礫の河底に産卵することが多い（佐野 1955）ですが、愛別川の放流地点周辺では、100mm もあるような大型の礫の割合が年々増加しており、産卵に適した砂利層が減少していることが第 2 世代の産卵床が確認できなかった一因と思われます。

自然産卵によって生まれた個体の回帰についての検討

ところで、2015 年以降の無標識魚について、第 2 世代という言葉を使ってしまうましたが、本当にそれは大規模放流の回帰親魚が自然産卵したものが回帰したものかを検討する必要があります。表 2 は石狩川上流域試験放流魚以外の耳石分析の結果を示したものです。

このように他地域から放流された標識魚は毎年のように見つかっていて、支流の千歳川の他に北海道日本海北部の天塩川、オホーツク海西部の徳志別川の耳石温度標識魚が確認されました。北海道の河川から放流されるサケ稚魚に標識がついて

いるのは 13～17% (<https://npafc.org/>) に過ぎないので、これらの無標識魚も他河川生まれの迷入魚である可能性があることから、無標識魚だからといってこの地域での自然産卵や市民放流に由来するものとは言えません。百万尾規模の稚魚が放流され、数万尾の親魚が遡上するような河川では、他河川生まれの迷入魚が発見されることは少ない(福澤 2016) ですが、遡上数がごく僅かな河川の中には迷入魚の割合が多い河川もありそうです。このように毎年ある程度の迷入はあるのですが、無標識魚の数だけでみると、2015 年以降増加傾向にあることから、試験放流魚が自然産卵した第 2 世代が生き残ったものも含まれるものと考えます。

表 2. 石狩川上流域試験放流魚以外の耳石分析結果。
2016 年は調査期間を通じて濁りが強かったため、
親魚の採集尾数が少なかった。

調査年	無標識魚数	他地域由来 標識魚数	放流場所
2011	11	1	天塩川
2012	7	1	徳志別川
2013	14	2	徳志別川・千歳川
2014	19	3	天塩川・千歳川(2)
2015	31	1	天塩川
2016	21*	0	
2017	79	1	天塩川
2018	64	0	

忠別川における親魚遡上の特徴

2011 年から 2018 年まで毎年、産卵床が観察されている忠別川について、少し詳しく遡上の状況を見てみます。図 8 に忠別川の 7 定点における毎年の産卵床数を示しました。最上流部である堰堤下の定点 C1 から下流に向かって、C2, C3 としていて、放流点は支流ボン川の本流合流点付近で定点 C2 に含まれます(図 3)。なお、2016 年は調査期間を通じてほとんど川底が見えなかった定点もあったので除外しました。大規模放流世代が回帰した 2015 年までは、放流点の周辺の C1～C4 に集中する傾向にありましたが、2017, 18 年はやや分散する傾向が見られました。7 定点の最上流部の C1 は上流側に魚が登りにくい堰堤の直下であることから、C1 に多くの産卵床ができると予想されましたが、C1 が特別多い傾向は見られませんでした。大規模放流世代の回帰魚は特に C2 の下流域と C3 で多く産卵しており、輸送放流された魚であっても、かなり正確に放流点付近に帰ってきている様子うかがわれました。

忠別川において産卵床が形成された時期は図 9 のように 11 月上旬をピークとする年が多い傾向にありました。産卵床の計数は、調査時点で新たに確認された数を示していて、産卵から数日後の

確認となることから、実際の産卵はこれより全体的にやや前倒しになると思われます。大規模放流世代が大量回帰した 2011～13 年は特に 11 月上旬に集中しています。放流魚は 10 月下旬に採卵した群であり(表 1)、実際の産卵のピークは、確認のピークよりやや早いと考えると、採卵時期に概ね一致しているようです。サケは自分の採卵時期と大体同じ時期に回帰する(高橋 2013)という性質は良く知られていますが、その特徴が現れています。一方、第 2 世代にあたる 2017～18 年では、10 月上旬から中旬に産卵する魚の割合が増えています。もしかしたら、この時期に産卵した魚は試験放流群の子孫ではなく、他地域からの迷入や石狩川の下流域から遡上したものなど、違った系統である可能性も考えられます。ちなみに、市民放流では、10 月下旬に千歳川で採卵されたものが多く放流されています。

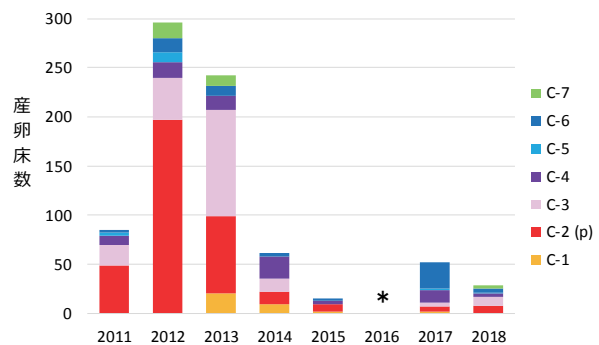


図 8. 忠別川における定点別の産卵床確認数。2016 年データは調査範囲が限られたため除外した。

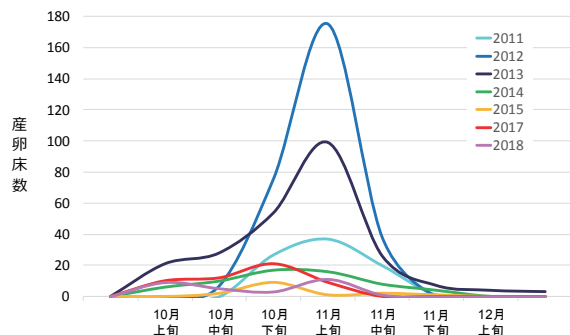


図 9. 忠別川における旬毎の新規産卵床確認数。2016 年データは調査範囲が限られたため除外した。

忠別川の産卵・生育環境

忠別川で毎年安定して産卵が見られる場所のうち、2017 年秋に造られた 6 つの産卵床の中に水温ロガー(HOBO UA-002-64)を埋設して水温を計測してみました(図 10)。厳寒期の 1～2 月の産卵床内の水温はほとんどが 1～2℃の低水温でした。一部に千歳事業所の用水の温度に近い 8℃前後の湧水が湧いている場所もありましたが、特にその

周辺に集中して産卵しているわけではありませんでした。忠別川は分流や中洲が豊富で、産卵に適した砂利層が多いのですが、水温が低すぎて、サケの卵と仔魚の発育には不向きのように思われます。実際、稚魚が泳ぎ出すはずの2～3月に産卵床を観察してみると、水温が高い産卵床付近では2月には産卵床から泳ぎ出した稚魚が観察されましたが、水温が低い産卵床内には、3月半ばにふ化してから間もない仔魚やふ化前の卵が確認されました(図11)。この臍嚢がついた魚が産卵床から出て泳ぎ出すまでは、まだ2ヶ月以上の時間を要すると考えられます。このように水温が低い産卵床で育った魚は、石狩湾周辺の沿岸水温が13℃になる沖合への移動時期(概ね6月上旬頃)までに、生き残るために必要とされる尾叉長7cm、体重3gのサイズに成長する(Mayama 1982)のは難しそうです。

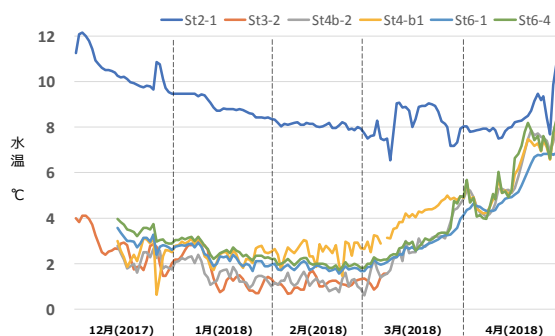


図10. 忠別川の産卵床内水温。産卵床頂点のやや後方、15cm程度の深さに水温ロガーを埋設して連続観測。凡例は定点と産卵床番号を示す。



図11. 11月上旬に形成された産卵床とその中の卵と仔魚の状態。翌年3月10日の13時に測定した産卵床内の水温は4.3℃

自然産卵個体の生き残りが悪い要因としては、大量の親魚による産卵床の掘り返し、細かい土砂の流入による産卵床の通水性の低下、水位低下に

よる産卵床の露出など、色々と考えられますが、このような低水温が、忠別川での第2世代の回帰が良くなかった要因の一つとも思われました。今回の試験で放流したサケ稚魚は千歳さけます事業所の生産上の都合により10月下旬採卵群を用いましたが、もっと早い時期の採卵群を用いることができれば、自然産卵で生まれた稚魚は離岸期までにより大きく成長でき、親魚まで生き残る割合はもう少し多くなったかもしれません。

かつては石狩川に遡上するサケのうち、盛期が10月となる前期群は本流由来、12月となる後期群は千歳川由来と考えられており(三原 1954)、旧花園頭首工が建設される前は、その近くの本流にあった音江捕獲場で9月から10月にほとんどのサケが捕獲されていました(図12)。その頃とは様々な環境が変わっていますが、早い産卵時期の魚の方がこの地域に適しているように思われます。

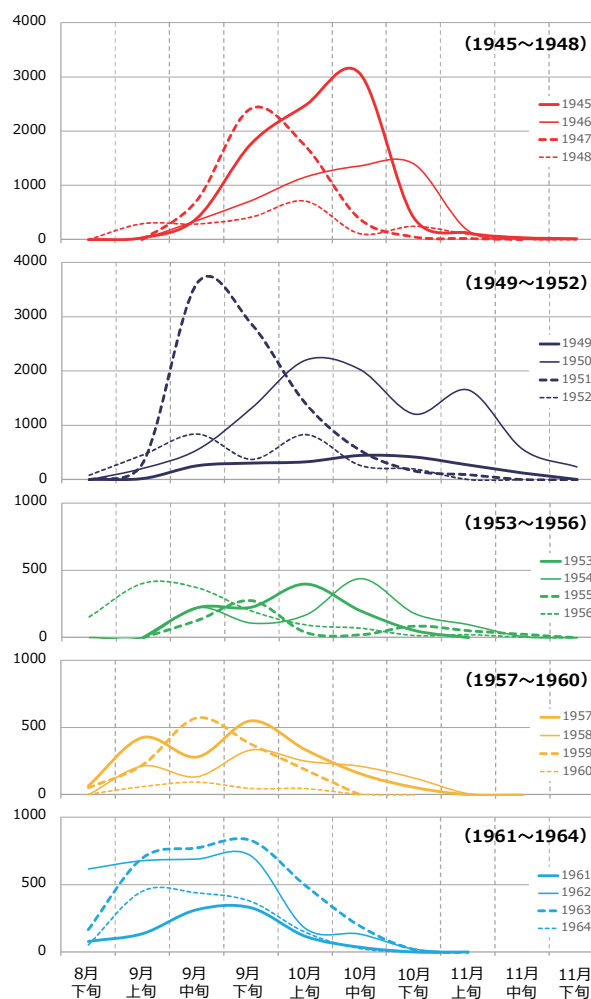


図12. 旧花園頭首工建設以前の音江捕獲場(現深川市)におけるサケ捕獲数

おわりに

本試験では、長距離を輸送して放流したにもかかわらず、多くの親魚が放流場所付近に回帰したことから、改めてサケの稚魚放流の効果の大きさと回帰能力に感心させられました。一方、石狩川上流の2箇所の放流場所周辺において自然産卵による個体が多く生き残るのは簡単ではないように思われました。愛別川では第2世代の回帰が確認できなかったことから、自然再生産はほとんど期待できないようですが、忠別川では第2世代と見られる回帰があり、自然再生産が持続する可能性があると考えられます。今後も引き続き、次世代の回帰を調査し、定着するか否かの状況を把握していきたいと思います。

最後に、本試験の実施に当たって、事前調査からいろいろな面でご協力を頂いた「大雪と石狩の自然を守る会」、ご指導・ご助言を頂いた旭川開発建設部旭川河川事務所、北海道上川支庁、旭川市、愛別町、東神楽町などの関係各位に感謝申し上げます。

引用文献

- 有賀 誠・山田直佳・伊藤洋満・有賀 望・宮下和士. 2012. 石狩川上流におけるサケ *Oncorhynchus keta* の自然産卵—大規模放流個体群回帰前の実態—. 旭川市 博物科学館研究報告, 4: 35-46.
- 伴 真俊. 2016. 石狩川上流域における野生サケ資源回復の試み. SALMON 情報, 10: 41-43.
- 福澤博明. 2016. サケの母川回帰精度について. SALMON 情報, 10: 16-19.
- 北海道さけ・ますふ化事業百年史編さん委員会. 1988. 河川別サケ・マス捕獲, 産卵, 放流数—石狩川. 北海道鮭鱒ふ化放流事業百年史統計編, 北海道さけ・ますふ化放流百年記念事業協賛会, 札幌. pp 301-303.
- MAYAMA H. 1982. Technical innovations in chum salmon enhancement with special reference to fry condition and timing of release. In Proceedings of the 11th U. S.-Japan Meeting on Aquaculture, Salmon enhancement. NOAA Tech. Rep. NMFS 27: 83-86.
- 三原健夫. 1954. 石狩川に於ける鮭捕獲時期の変遷に就て (昭和 29 年 10 月). 北海道立水産孵化場, 3 pp
- 佐野誠三. 1955. 鮭の産卵について (産卵環境). 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 10: 1-6
- 瀬川拓郎. 2003. 神の魚を追いかけて—石狩川をめぐるアイヌのエコシステム. エコソフィア, 11: 23-29.
- 鈴木栄治. 2010. 旭川でサケ稚魚 50 万尾を放流—石狩川本流サケ天然産卵資源回復試験—. SALMON 情報, 4: 22-24.
- 高橋 悟. 2013. サケの採卵時期の違いによる親魚の回帰時期と回帰年齢. SALMON 情報, 7: 16-18.

技術情報

北海道におけるサケ稚魚の放流パターン及び回帰率の変遷 ～40 年間で俯瞰して～

たかはし まさや
高橋 昌也（北海道区水産研究所 さけます生産技術部）

はじめに

放流され、沿岸に降海したサケ稚魚の生き残りを高めるためには、沿岸が稚魚の生息に適した環境になる時期に合わせて、沿岸生活に適応可能な体サイズで放流することが重要と考えられます。我が国においては、沿岸水温を指標とした「適期放流」や、その発展形である「適期・適サイズ放流」という概念に基づき、放流時期や放流魚の体サイズを意識した放流が実施されてきました。適期放流とは、具体的には「沿岸水温が 5℃前後の時期に放流を開始し、8～10℃の時期に放流を終える」という放流手法であり（小林 1977）、1970 年代後半頃から導入されました。適期・適サイズ放流は、「沿岸水温が 5℃となる時期以降に体重 1g 以上で放流することを基本とし、沿岸水温が 13℃に達する時期までに体重 3g 以上に成長することが可能な時期及びサイズで放流する」という放流手法であり（北海道さけ・ますふ化場 1996）、1990 年代半ば頃から導入されました（図 1）。

北海道においては、サケ稚魚の放流時期や放流サイズに関する記録が古くから残されています。そこで本稿では、適期放流の概念が導入された 1970 年代後半から 2015 年までの 40 年間に渡る記録を整理し、北海道 5 海区における時期別の放流割合と沿岸水温とのマッチング及び回帰率の変化について、平均放流サイズの変遷とも照らし合わせながら俯瞰してみました。

放流パターンと回帰率の変遷

北海道 5 海区における時期別放流割合、平均放流体重及び回帰率について、便宜的に年級を 1976 年級から 2015 年級まで 5 年刻みで区切り、その平均値を取りまとめました（図 2）。時期別放流割合は、年代別の変遷を俯瞰しやすいように「箱ひげ図」の形にしました。加えて、各海区において沿岸水温が 5、8、10 及び 13℃になる平均的な時期（高橋 2015、表 1）を図中に記載しました。

回帰率は、海区ごとに沿岸での漁獲数と河川での捕獲数を合わせた「来遊数」を年級ごとに求め、これを放流数で除すことで算出しました。また、各年代における主群の平均放流体重も算出しまし

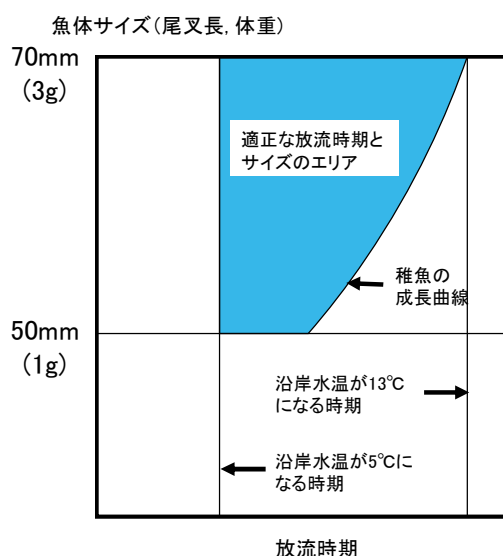


図 1. 適期・適サイズ放流エリアの概念図（北海道さけ・ますふ化場(1996)を改変）

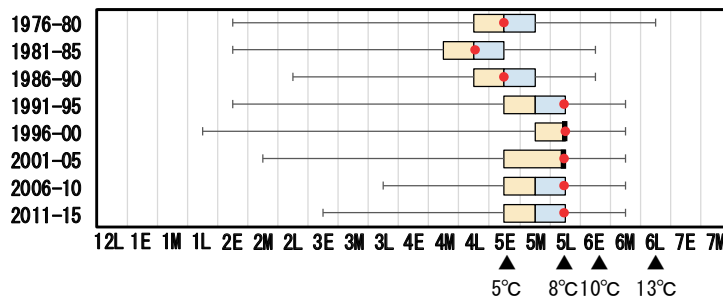
表 1. 北海道の 5 海区における、海面水温が 5、8、10 及び 13℃に到達した平均月日（1994～2010 年の平均、高橋 2015 を改変）

海区	平均到達月日(±標準偏差)			
	5℃	8℃	10℃	13℃
オホーツク	5/7(±11.6)	5/25(±10.7)	6/7(±7.9)	6/27(±6.2)
北海道日本海	4/7(±8.3)	4/30(±9.5)	5/15(±7.6)	6/5(±6.6)
根室	5/20(±12.9)	6/10(±8.6)	6/24(±7.8)	7/15(±8.9)
えりも以东	5/20(±7.6)	6/14(±8.6)	7/2(±9.3)	8/6(±18.6)
えりも以西	5/1(±11.2)	5/24(±9.8)	6/6(±9.3)	6/27(±9.5)

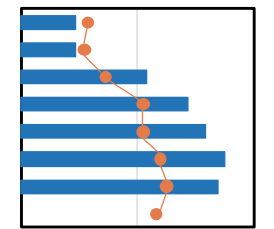
た。

オホーツク海区：主群の放流時期は、1970 年代後半から 1980 年代後半までは 4 月中下旬～5 月上旬とやや早めでしたが、1990 年代以降は 5 月上旬～下旬と遅くなるとともに、沿岸水温が 8℃に達する時期である 5 月下旬に放流のピークを迎えるパターンが定着しました。放流体重は 1980 年代から大型化し、1990 年代以降は 1g を超えていました。回帰率は 1980 年代後半に 5%を超え、主群の放流時期が 5 月上旬～下旬となり、かつ放流体重が 1g を超えた 1990 年代以降は 7%を上回る高水準が維持されていました。

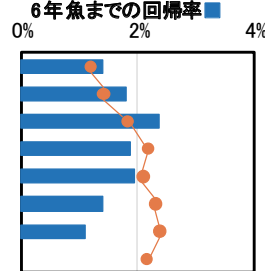
オホーツク



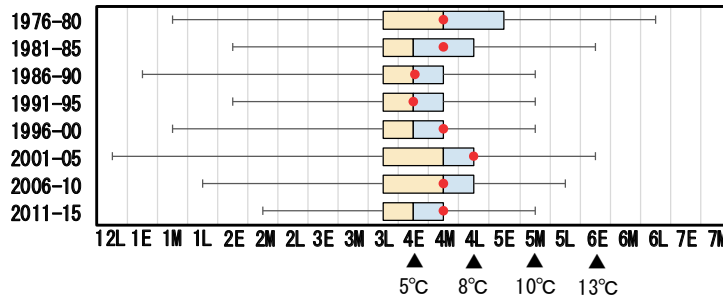
6年魚までの回帰率



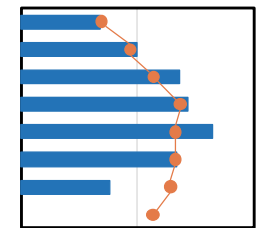
主群の平均体重(g)



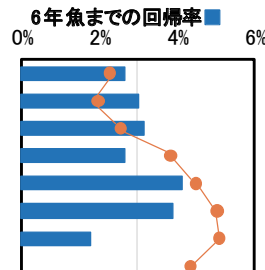
北海道日本海



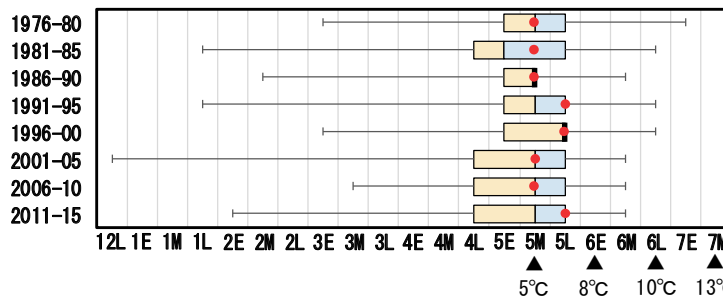
6年魚までの回帰率



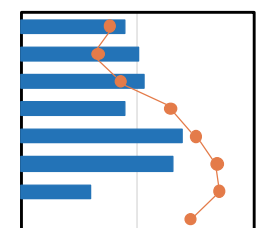
主群の平均体重(g)



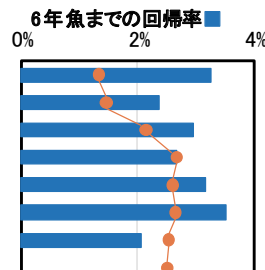
根室



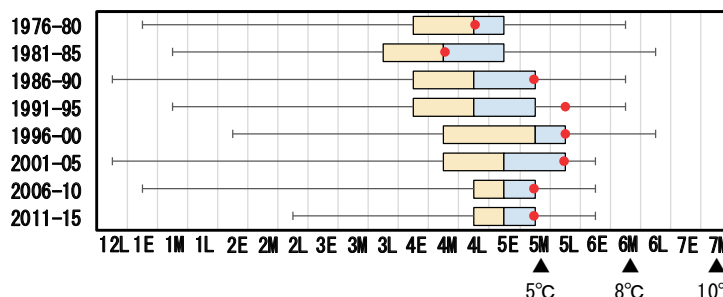
6年魚までの回帰率



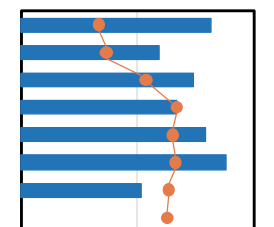
主群の平均体重(g)



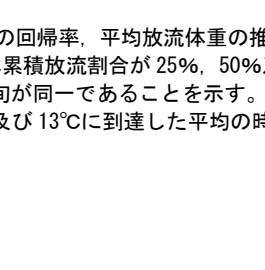
えりも以東



6年魚までの回帰率



主群の平均体重(g)



えりも以西

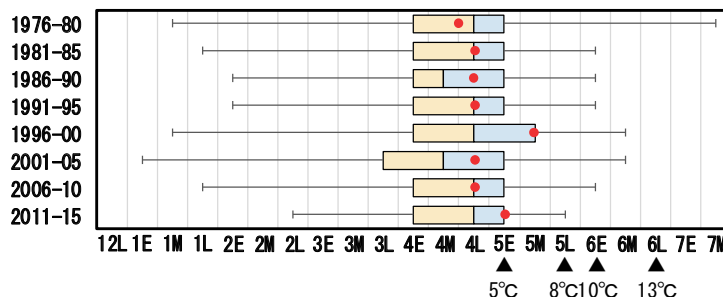


図2. 北海道の5海区における、1976-2015年級までの時期別放流割合、6年魚までの回帰率、平均放流体重の推移。箱ひげ図のひげの幅は放流が行われた期間、箱の左端、箱中の線及び右端はそれぞれ累積放流割合が25%、50%及び75%に達した時期を示す。50%を示す太線が箱の右端にある場合は、50%と75%の旬が同一であることを示す。赤丸は放流割合が最も高かった時期（放流ピーク）を、図下の▲は海面水温が5、8、10及び13°Cに到達した平均の時期（表1参照）を示す。

北海道日本海区：主群の放流時期の始まりは、すべての年代で3月下旬でした。1980年代後半から1990年代後半までは、主群の放流の終わる時期が4月中旬と早く、回帰率は1.9～2.4%と比較的高い値を示しました。放流体重は1990年代以降1gを超えていますが、回帰率は2000年代に入ってから低下する傾向にありました。

根室海区：主群の放流時期の始まりは、2000年代に入る前までは1980年代前半を除き5月上旬でしたが、2000年代以降は4月下旬と少し早くなりました。最も回帰率が高かったのは1990年代後半で、この年代は沿岸水温が5℃を超える頃と8℃に達する頃の間で当たる5月下旬に放流が集中していました。2000年代以降は回帰率が低下する傾向にありました。放流体重は1970年代後半から直線的に大型化し、1980年代後半には1gを超え、1990年代以降は約1.3gで推移していましたが、2010年代では1g強とやや小型になりました。

えりも以東海区：主群の放流時期の始まりは、1990年代前半までは3月下旬～4月上旬と早かったのが、1990年代後半から2000年代前半では4月中旬、2000年代後半からは4月下旬と、年代を追う毎に遅くなる傾向が見られました。主群の放流時期の終わりも2000年代前半までは同様に遅くなっていましたが、2000年代前半からは逆に早まり、結果として主群の放流期間が短くなりました。回帰率は1990年代前半までは3%前後で推移していましたが、1990年代後半から2000年代前半では4%前後まで向上しました。ところが、2000年代後半には回帰率が極端に低下し、2%を下回りました。放流体重は1990年代前半に1gを超え、1990年代以降は1.4g以上と、5海区の中で最も大きいサイズで放流されていますが、根室海区と同様、2010年代にはやや小さくなりました。

えりも以西海区：主群の放流が始まる時期は2000年代前半を除き4月上旬、終わる時期は1990年代後半を除き5月上旬、放流のピークも概ね4月下旬と、年代を通して放流時期の大きな変化はありませんでした。放流体重は1980年代後半に1gを超え、1990年代以降は1.3g前後と、えりも以東海区に次いで大きいサイズで放流されていました。回帰率は1970年代後半に3%を超えており、その後も3%前後で増減を繰り返すような形で推移し、2000年代前半に3.5%と最も高くなりました。しかし根室海区及びえりも以東海区と同様、2000年代後半には回帰率が極端に低下し、2.1%となりました。

放流パターンと回帰率の変遷から考えられること

オホーツク海区では、水温が5℃に達する時期である5月上旬以降に主群が1g以上のサイズで放流されるとともに、沿岸水温が8℃に達する時期である5月下旬が放流のピークとなるパターンが1990年代前半からずっと維持されており、その間は回帰率も高水準が維持されていました。このことは、適期・適サイズ放流の考え方の妥当性を裏付けるものと言えます。また、永田ら(2006)は、オホーツク海区の網走湾における調査結果から、5℃という沿岸水温は稚魚がごく岸際の生息場から生息範囲を沖側に拡大する条件としては厳しく、この時期に稚魚が放流された場合、餌不足による生息場とのミスマッチを引き起こす可能性が考えられるため、8℃を超えた水温の方が適していることを指摘しています。オホーツク海区においては、放流のピークが沿岸水温8℃の時期と一致していることも、高い回帰率の一因かも知れません。

根室海区でも、5月上旬以降に放流される主群の割合が高く、かつ1g以上のサイズで放流されていた1980年代後半から1990年代においては高い回帰率が示されていました。そして、最も回帰率の高かった1990年代後半では、8℃に達する時期の1旬前に当たる5月下旬に集中して放流されていました。このことから、根室海区においても、オホーツク海区と同様、適期・適サイズでの放流割合を増やし、かつ8℃到達時期に近いタイミングに集中して放流することが有効であった可能性があります。しかし、因果関係の有無は不明ですが、2000年代前半以降は主群の放流時期が早くなり、回帰率も低下する傾向にあります。根室海区では飼育中に原虫の寄生が見られるふ化場が多いのですが、2003年に薬事法の改正が行われたことによって、それまで稚魚の寄生虫駆除に有効であったホルマリン薬浴が禁止され(浦和 2003)、稚魚を長期間飼育することが難しくなりました。このことが放流時期が早くなった一因となっていると考えられます。

北海道日本海区においては、主群の放流が始まる時期は3月下旬で一定でしたが、回帰の良かった1980年代後半から1990年代後半にかけては、主群は3月下旬から4月中旬までの短い期間に集中して放流されていました。この時期に放流することで稚魚の生き残りが有利になる何らかの理由があるのかも知れません。

えりも以東海区は、沿岸親潮と呼ばれる寒流(磯田ら 2003)の影響で水温が遅い時期にゆっくり昇温するため、他の海区に比べ、放流適期となる時期が遅く、主群の多くは放流適期より早くに放

流せざるを得ない状況です。しかし、放流のタイミングを適期に合致させるためにはその時期まで飼育を継続しなければならないため、今よりもふ化場の規模を遥かに大きくする必要があり、現実的ではありません。えりも以東海区においては、例えば出来るだけ遊泳能力の高い大型の稚魚を放流するなど、不利な環境条件に少しでも抗えるような放流手法を考える必要があると思われます。

えりも以西海区については、放流時期のパターンは 1970 年代後半から大きく変わっていないのですが、えりも以東海区と同様の理由により、それが放流適期とマッチしているとは言えません。ただし、えりも以西海区の場合は、他の海区に比べて複雑な地理的条件を有する点について考慮する必要があります。まず、えりも以西海区には噴火湾という大きな内湾が存在します。また、東よりの日高・胆振地区側では前出の沿岸親潮の影響を受ける一方で、西よりの道南地区では日本海から流れ込む津軽暖流の影響を受ける等、場所によって環境条件が大きく異なると考えられます。今回は海区を一括りにしたデータを用いましたが、今後は海区内でさらに地域を細分化し、それぞれの地域毎にどういった放流手法が有効かを検討する必要があると考えられます。

おわりに

今回は古くからのデータが揃っている北海道において、放流パターンの変遷と回帰率をまとめ、長期的な視点で俯瞰してみました。本州においても、今後詳細なデータが積み重なっていけば同様の検証が可能になると思われます。

しかしながら、長期データを積み重ねても放流パターンと回帰率の間にはっきりとした関係が見つかるかどうかは不明です。近年の太平洋側における資源の低迷は、道内のみならず本州でも共通して見られる現象であり、これには広域的な気候変動により降海時の沿岸海洋環境が大きく変化したことが影響している可能性が指摘されています(斎藤・福若 2018)。すなわち、海洋環境が大き

く異なる条件下では、高い回帰率が得られていた年代の放流パターンを導入しても同様の回帰率が得られるとは限らないことを頭に留めておく必要があります。

一方で、過去の放流の実態とその回帰結果について把握することは、今後ふ化放流技術の向上を図る上で重要なヒントになります。今回のオホーツク海区の例は、従来から言われてきた適期・適サイズ放流の概念が的外れではないことや、8℃の水温が稚魚の生き残りに重要であることを支持するものとなりました。また、北海道日本海区やえりも以東海区の例からは、ただ単純に従来の適期・適サイズの枠に合わせるのではなく、地先の条件によって最適な放流パターンにチューンナップする必要があることも示唆されました。北海道区水産研究所では、気候変動を考慮した「地域毎に最適な放流パターンの解明」を最重要課題の一つと捉え、調査研究を進めていますので、ご理解とご協力をお願いいたします。

引用文献

- 北海道さけ・ますふ化場. 1996. 稚魚の放流. さけ・ますふ化事業実施マニュアル, 56-57.
- 磯田 豊・黒田 寛・明正達也・本田 聡. 2003. 沿岸親潮の海洋構造とその季節変化. 沿岸海洋研究, 41(1): 5-12.
- 小林哲夫. 1977. 沿岸滞泳期におけるサケ・マス幼魚期の生態. 水産海洋研究会報, 31: 39-44.
- 永田光博・宮腰靖之・藤原 真・安藤大成・澤田 真由美・嶋田 宏・浅見大樹. 2006. サケ・マス資源と沿岸環境. 月刊海洋, 38(9): 637-646.
- 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, 40(4): 319-329.
- 高橋昌也. 2015. 日本系サケ地域個体群におけるふ化放流の現状. 水産総合研究センター研究報告, 39: 49-84.
- 浦和茂彦. 2003. さけ・ます類に外部寄生する原虫類の病理と対策. さけ・ます資源管理センターニュース, 11: 1-6.

会議報告

さけます関係研究開発等推進会議 研究部会

ふくわか まさあき さとう しゅんぺい

福若 雅章・佐藤 俊平（北海道区水産研究所 さけます資源研究部）

はじめに

令和元年 8 月に「令和元年度さけます関係研究開発等推進会議 研究部会」を札幌市で開催しました。本部会は、さけます類に関する研究開発等を効率的かつ効果的に推進するために設置され、関係道県の試験研究機関等との情報交換を密にし、相互の連携強化を図ることを目的としております。

本会議は 8 月 6 日 9 時 30 分から正午に 9 道県の試験研究機関、水産研究・教育機構（以下、当機構）、およびオブザーバーとして 2 大学、3 道県の水産行政部局から合計 18 機関 60 名の参加の下で開催されました。主催者である北海道区水産研究所大迫所長の挨拶の後、議事に入りました。



写真 1. 研究部会「会議全景」

各機関の研究開発の実施状況

各道県試験研究機関および当機構の平成 31（令和元）年度のさけます関連研究開発課題の一覧表に沿って、各試験研究機関から主な課題の調査研究計画と結果概要が紹介されました。オブザーバーである各大学からも研究結果の概要が紹介され、さけます類が水産資源として非常に重要な資源であることが窺われました。

また、各試験研究機関の令和元年度さけます類の耳石標識計画の情報の共有を図りました。さらに、試験研究機関のみならず大学などでのさけます研究をより一層促進するため、資源・増殖に関するモニタリングデータを、北水研ウェブサイト（<http://salmon.fra.affrc.go.jp/zousyoku/sdb/sdb.html>）で公表することになりました。



写真 2. 主催者として挨拶する大迫所長

平成 30 年漁期におけるサケ資源状況

平成 30 年漁期のサケ来遊資源は、前年を上回ったものの最近 30 年間で 2 番目に少なくなりました。その要因を探るために検討を行いました。

まず、北水研さけます資源研究部 斎藤グループ長から東北水研・日水研と検討した平成 30 年漁期のサケ資源状況についての分析結果を報告しました。昨年の 5 年魚（平成 25（2013）年級群）は太平洋側を中心に極めて少ない結果でした。



写真 3. 平成 30 年サケ資源状況を報告する斎藤グループ長

この回帰主年齢群の来遊量が減少したことが、全体の来遊量を減少させたと考えられます。平成 25 (2013) 年級群の降海時期である平成 26 (2014) 年の春季の北日本沿岸の水温は平年と比べ低く、初夏はかなり高かったため、サケ幼魚の分布・回遊に適した水温環境が形成された期間が短かったと推測されました。このことが、平成 25 (2013) 年級群の豊度の減少に影響を与えた可能性が示唆されました。さらに、平成 30 (2018) 年漁期のサケの平均体重は、最近 30 年間で 2 番目に小さくなりましたが、これは体サイズが小さく、痩せていたことが原因と分析されました。魚体が痩せていた理由は不明ですが、平成 30 (2018) 年漁期に歴史的な高水準であったロシアのカラフトマスとの間で餌等の競合があったとする意見が紹介されました。

次いで、この報告に対する質疑応答と討議が行われました。特にロシア、日本、韓国のアジア側各国でサケやカラフトマスの魚体の小型化が観察されたことや、北水研が実施したベーリング海夏季さけます資源生態調査において昨年・一昨年とサケ未成魚がやや痩せていたという調査結果などについて、さまざまな検討を行いました。しかし、昨年漁期に魚体が痩せていた理由を特定するには至りませんでした。

昨年漁期は一昨年より資源状態がやや回復しました。しかしながら、近年、地球環境や海洋環境が大きく変化しつつある中、これらの環境変化がさけます資源状態にどのように影響するかを研究する必要があります。さらに、将来の環境変化を見通すことがますます困難になる中、環境変化が引き起こす悪影響をできるだけ軽減することを目指し、さけます資源への環境の影響の緩和方策や水産資源変動への加工業等も含めた水産業全体の適応策を検討する必要があるでしょう。

サクラマス分科会

この分科会は、研究部会の下で、より詳細にサクラマスに関する議論を進めるために設置された専門の会議です。研究部会から本分科会へは、「サクラマス資源の保全や増養殖による持続的かつ安定的な生産を実現するための、関連する試験研究および技術についての情報交換や構成者間の連携強化ならびに新たな試験研究の企画・立案」が付託されています。本分科会は研究部会に先立つ 8 月 5 日の 14 時から 17 時 30 分に開催され、8 道県の 9 試験研究機関、当機構、およびオブザーバ

ーとして水産庁の合計 14 機関から 46 名の参加がありました。

特別講演は、寿都町役場産業振興課水産係の大串伸吾技師による「サクラマスをめぐる経済学的研究の紹介」が行われ、社会経済学および環境経済学の視点からサクラマス資源の保全や利用に関する提言がなされました。この中で、サクラマス資源回復のため治山ダムのスリット化による環境改善を実施した河川をモデルとしてその経済効率性を考えた場合、サクラマス資源の増加がもたらす経済効果だけでは経済効率性は低くなるものの、地域住民がスリット化による環境改善をニーズとして持ち、必要経費をある程度負担することに合意すれば、その経済効率性は著しく増加することが示されました。この結果は、今後サクラマスをはじめとする水産資源の保全や河川環境の改善を進めていくには、漁業関係者だけではなく地域住民のニーズや意見（金銭的負担を含む）も取り入れて合意形成を図ることが鍵であることを意味しています。

次いで、各機関が実施しているサクラマス自然再生産調査の実施状況報告が行われました。ここでは各機関が行った産卵床調査や稚魚調査の結果が示され、産卵床数と翌春の稚魚密度の関係性などについて報告がありました。一方、降海型と残留型の産卵床の見極めが難しいことや稚魚密度推定が困難な場合があるといった問題点も明らかとなり、その解決に向けた議論が行われました。

サクラマスに関する話題提供では、越冬期にあるサクラマス幼魚の河川内分布パターンや生息環境の特性、サクラマス親魚の産卵生態、気候変動がサクラマスの越夏環境に与える影響調査などの報告がありました。またドローンを用いたサクラマスの産卵場所の調査や環境 DNA を利用したサクラマス資源評価の試みなど、新たな手法を用いた取り組みも紹介され、これらについて活発な議論が行われました。

近年の日本におけるサクラマス漁獲量は、1970-1980 年代と比べると全体的に減少していますが、2000 年以降は年変動は大きいものの中位・横ばいの資源状態とされています（長谷川・佐橋 2018）。一方、近年でも漁獲量が減少傾向を示す地域があることから、サクラマスに関する調査・研究の要望は多く、各試験研究機関へ大きな期待が寄せられています。この期待に応えるためにも、今後も各地域の試験研究機関が力を合わせ、サクラマスの資源回復や適切な資源管理に資する取り組みを更に進めていく必要があります。

おわりに

さけます資源は、日本の漁業資源の中でも最重要資源の一つです。最近 3 年間のよう大きな資源変動が起きると、北日本各地域の漁業、加工業や流通業など水産業全体への影響が非常に大きくなってしまいます。また、さけます類は有史以前から北半球高緯度地域の海洋、湖、河川で、貴重な食料資源として利用され、私たちの文化にも深く根付いており、水産資源としてのみならず多面的な価値を有しています。このため、北太平洋と北大西洋沿岸のさけます類が生息する国々により令和元（2019）年を国際サーモン年に制定し、今後数年間にわたり各国の科学者による国際共同調

査やさけます類の文化的、社会的、経済的価値を広くアピールすることが計画されています。私たちは、将来にわたってさけます資源の多様な価値を十分に享受するため、安定して管理できるように、道県試験研究機関等と協力して試験研究や技術開発を進める必要があると考えております。

引用文献

長谷川功・佐橋玄記. 2018. サクラマス日本系. 平成 30 年度国際漁業資源の現況（水産庁・水産研究・教育機構編）, 8pp.

会議報告

さけます報告会

あべくにお

阿部 邦夫（北海道区水産研究所 さけます生産技術部）

はじめに

さけます類のふ化放流を科学的かつ効果的に推進し、ふ化放流技術等の普及や改善を促す事を目的に開催される「さけます報告会」は、今年度で4回目の開催となりました。

今回は、さけ・ますふ化放流事業に関する行政機関、試験研究機関、増殖団体、漁業者、さけ・ますに興味ある一般の方、当機構内関係部署等244名の参加の下、令和元（2019）年8月6日に札幌市で開催しました。主催者を代表して北海道区水産研究所（以下、北水研）大迫所長の挨拶に続き、来賓を代表して水産庁増殖推進部栽培養殖課の藤田課長から挨拶をいただいた後、以下の7課題について報告を行いました。

1. 平成30年度漁期におけるサケ資源状況について

北水研さけます資源研究部の福若部長から、同日午前に開催された「さけます関係研究開発等推進会議研究部会」での検討結果について、概要報告がありました。詳細については、本誌「さけます関係研究開発等推進会議研究部会」の項を参照下さい。

2. 北太平洋におけるサケの資源状況と2018年夏季ベーリング海調査結果

北水研さけますふ化放流グループの鈴木グループ長から、北太平洋のさけます類の商業漁獲量は高水準にあり、ロシアのカラフトマスが過去の統計を通じて最高の漁獲量を記録したこと、サケの放流数が平成30（2018）年は日本、ロシアとも減少していることが報告されました。

平成30（2018）年のベーリング海調査では、表面水温は平年並みであったが、小型、大型プランクトンがともに少なかったこと、1時間曳網あたりの平均漁獲尾数が平成26（2014）、27（2015）年の調査に次いで低い水準であったこと、漁獲数の変化は日本に回帰するサケ資源の動向とも関連していると考えられ、今後も本調査結果を注視していく必要があるとの報告がありました。

国際サーモン年については、NPAFC（北太平洋溯河性魚類委員会）とNASCO（大西洋サケ保



写真1. 「さけます報告会」全景



写真2. 来賓挨拶：水産庁栽培養殖課 藤田課長



写真3. 北水研 福若さけます資源研究部長



写真4. 北水研 鈴木ふ化放流グループ長

全機構)が呼びかけ、サケの仲間たちと人との関わりや将来を考え、持続可能な資源管理に向けた研究や技術開発を推進するため、令和元(2019)年を中心年として国際機関とその加盟国が力を合わせて行動する「国際サーモン年」が制定されたこと、その一環として NPAFC 加盟 5 カ国の研究者による冬期アラスカ湾さけます国際共同調査が行われ、アラスカ湾における日本系サケの冬期海洋分布が北緯 52 度以南の海域に多かったこと、令和 2 (2020) 年 5 月に函館で第 3 回国際サーモン年ワークショップが開催されることが報告されました。

3. 令和元年度サケ来遊予測

①北海道の秋サケ来遊予測

北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場さけます資源部の隼野部長から、平成 30 (2018) 年の全道への秋サケ来遊状況は 2,317 万尾と平成以降最も少なかった平成 29 (2017) 年に次いで 2 番目に少ない来遊数となり、5 年魚の来遊数は平成以降最も少なかったこと、令和元(2019)年の来遊予測は、4 年魚が平成以降の平均来遊数の 7 割程度、5 年魚は 8 割程度で、昨年に比べ 5 年魚の来遊数が大きく上回ることが見込まれ、全体では 3,000 万尾を若干上回る来遊予測となっていることが報告されました。

②岩手県の秋サケ回帰予測

岩手県水産技術センター漁業資源部の清水主査専門研究員からは、岩手県の秋サケ資源は放流数の増加とともに増大したが、平成 7 (1995) 年級と平成 18 (2006) 年級を境に段階的に減少したこと、春季の高水温化が稚魚の生残率の低下を引き起こし、資源の減少要因になったと推察されること、令和元年の回帰予測は、平成 30 (2018) 年実績の約 9 割、震災前 5 年平均 (836 万尾) の約 4 割となる 312 万尾であることが報告されました。

4. カラフトマスにおける由来別回帰率～移殖卵の効果～

北水研伊茶仁さけます事業所の富田主任技術員からは、親魚遡上不振による種卵不足を補うための移殖卵の効果について、耳石温度標識による由来別回帰率の結果から、移殖卵(オホーツク西部地区・東部地区)由来の稚魚は放流河川に回帰するが、地場卵(根室地区)由来の稚魚の方が高い回帰率を示唆したこと、地場に近いオホーツク東部地区由来の稚魚は、地場から遠いオホーツク西部地区由来の稚魚に比べて毎年高い回帰を示すわけではないことが報告されました。



写真 5. さけます・内水面水産試験場 隼野さけます資源部長



写真 6. 岩手県水産技術センター 清水主査専門研究員



写真 7. 北水研 富田主任技術員



写真 8. 北水研 羅津主任技術員

5. 配合飼料の規格（サイズ）の違いによるサケ稚魚の成長への影響

北水研千歳さけます事業所の羅津主任技術員からは、サケ稚魚に給餌する配合飼料のサイズの違いによる成長の比較試験について、飼育開始から終了まで小さい A 号のみの給餌と大きい B 号のみの給餌、そして A 号から開始して体重 0.8 g から大きい B 号に変更して給餌した場合、各試験区とも稚魚の成長率に大きな違いが見られなかったこと、小さい A 号で飼育した方が魚体重のバラツキが少なかったこと、飼育途中で大きい B 号に切り替えるには体重 0.5g 以降で行うと成長率が高くなる可能性が示唆されたことが報告されました。

6. 石狩川上流域におけるサケ稚魚大規模放流とその後の親魚遡上

北水研さけます生産技術部の福澤主任技術員からは、石狩川上流域におけるサケ天然産卵資源の回復を図るための石狩川本流サケ天然産卵資源回復試験について、平成 21 (2009) 年～平成 23 (2011) 年の春に支流の愛別川と忠別川に毎年、それぞれ約 250 千尾の耳石温度標識を付けたサケ稚魚を放流したこと、平成 23 (2011) 年秋から多数の親魚の回帰が見られたものの、平成 26 (2014) 年以降は大きく減少していること、忠別川では自然再生産はある程度期待できることなどが報告されました。詳しい内容については、本誌の「石狩川上流域サケ稚魚大規模放流から 10 年」を参照ください。

7. 1990 年代から現在における本州・北海道のサケ繁殖形質の変遷

北水研さけます生産技術部の上田技術員からは、平成 30 (2018) 年に回帰したサケについて、各ふ化場や漁業者からの体サイズや卵サイズが小さいとの声から、北水研が行っている北海道 5 河川と本州 4 河川の雌 4 歳魚の、平成 10 (1998) 年から平成 30 (2018) 年までの繁殖形質データ（尾叉長・体重・肥満度・孕卵数・卵重）について報告されました。尾叉長・体重・肥満度について北海道ではどの項目も 2000 年代前半より減少傾向にあり、特に平成 30 (2018) 年は小型化が目立ったこと、本州においては、尾叉長は 2000 年代前半より減少傾向にあったが平成 30 (2018) 年の小型化は北海道ほどでなかったこと、肥満度は減少傾向にないが平成 30 (2018) 年は減少が目立ったこと、孕卵数・卵重について、孕卵数は、北海道、本州ともに、経年的に大きな変動は見られなかったが、平成 30 (2018) 年は本州の 1 河川を除いて少なくなっていたこと、卵重は全体的に 2000 年代前半



写真 9. 北水研 福澤主任技術員



写真 10. 北水研 上田技術員

から減少傾向が認められ平成 30 (2018) 年はかなり軽くなったこと、今のところ卵サイズや体サイズの小型による目立った弊害などはないと考えるが、今後も繁殖形質の動向に注視する必要があると報告されました。

アンケート結果

さけます報告会を今後より充実させていくため、報告会の参加者にアンケート調査を実施しました。設問 1「業務に役立つ内容でしたか」については、「はい」と答えた人が 50%、「まあまあ」と答えた人が 50%でした。設問 6「今後取り組むべき研究課題やさけます報告会への意見・要望について」は、「移殖卵の効果や配合飼料による成長への影響など、ふ化事業に使える研究」、「魚病対策」、「耳石標識結果」等多くの意見をいただきました。意見・要望については、今後の試験研究等に役立てたいと思います。

おわりに

今年度で 4 回目となる「さけます報告会」ですが、さけ・ますふ化放流事業に関係する機関や団体、さらには、さけますに興味のある一般の方々に参加いただき、さけますに関する様々な情報交換の場として、今後も開催して行く予定です。

また、参加された皆様から協力いただいたアンケート調査の意見等を踏まえ、より充実した満足のいく報告会になるよう努めてまいります。

会議報告

第 27 回北太平洋溯河性魚類委員会(NPAFC) 年次会議 科学統計小委員会(CSRS)の概要

さとう しゅんぺい

佐藤 俊平 (北海道区水産研究所 さけます資源研究部)

北太平洋溯河性魚類委員会 (North Pacific Anadromous Fish Commission, 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」に基づき設置されている国際機関です(事務局所在地はカナダ・バンクーバー)。現在は日本・アメリカ・カナダ・ロシア・韓国の 5 カ国が加盟し、その目的である「溯河性魚類(さけ・ます類: サケ・ベニザケ・カラフトマス・ギンザケ・マスノスケ・サクラマス・スチールヘッドトラウト)の系群の保存の促進」を達成するため、加盟各国が調査研究活動や条約水域(北緯 33 度以北の公海)における取締活動

で協力しています。

NPAFC では毎年 5 月に加盟各国の持ち回りで年次会議を開催していますが、本年(2019 年)はアメリカ合衆国オレゴン州にあるポートランドで 5 月 13~17 日の 5 日間の日程で開かれました(写真 1)。ポートランドは北水研さけます資源研究部がある札幌市と友好姉妹都市の関係にあり、「薔薇の町」としても有名です。ここでは、NPAFC における調査研究活動の中心となる科学統計小委員会(Committee on Scientific Research and Statistics, CSRS)で行われた議論の概要について報告します。



写真 1. 米国・ポートランド市の Embassy Suites by Hilton Portland Downtown で開催された第 27 回 NPAFC 年次会議

2018年の北太平洋におけるさけ・ます類の漁獲量と放流量

2018年の北太平洋におけるさけ・ます類の商業漁獲量は106.7万トン(6.5億尾)で、前年(2017年, 92.5万トン, 4.6億尾)よりも増加しました。NPAFCの漁獲統計が存在する1925年以降、偶数年においてさけ・ます商業漁獲量が100万トンを超えたのは初めてとなります。また、奇数年を含めた場合でも、2018年は過去3番目の商業漁獲量となっており、これまでとは明らかに異なる傾向を示しました(図1)。国別の商業漁獲量を見ると、ロシアが67.6万トン(全体の63.4%, 以下同じ)と最も多く、次いで米国が28.7万トン(26.9%), 日本が9.1万トン(8.5%), カナダが1.3万トン(1.2%), 韓国が240トン(1%以下)でした。魚種別ではカラフトマスが59.2万トン(全体の55.5%, 以下同じ)と最も多く、次いでサケが27.3万トン(25.6%)となり、この2魚種で全体の81%を占めました。その他の魚種はベニザケ17.2万トン(16.1%), ギンザケ2.5万トン(2.3%), マスノスケ4,519トン(1%以下), サクラマス1,274トン(1%以下), スチールヘッド68トン(1%以下)でした。2018年はカラフトマスが不漁の年回りですが、上述したようにカラフトマスの商業漁獲量は全体で59万トンと2017年の約1.3倍となりました。これは、ロシアの西カムチャツカでカラフトマスが歴史的な大豊漁だったことに起因しています。ここ数年、日本およびロシアではカラフトマスの豊凶サイクルが逆転していることから、このような状態が今後も継続するのか、引き続き注視していく必要があります。

2018年に北太平洋沿岸各国のふ化場から放流されたさけ・ます類の総数は、全魚種合わせて49.1億尾であり、前年(2017年, 50.6億尾)より減少したものの1988年以降ほぼ一定です。放流の国別内訳は米国21.5億尾(43.8%), 日本16.5億尾(33.6%), ロシア8.4億尾(17.1%), カナダ2.6億尾(5.3%), 韓国1,071万尾(1%以下)となりました。また魚種別の放流尾数は、サケが29.2億尾(59.5%)と最も多く、次いでカラフトマス14.4億尾(29.3%), マスノスケ2.3億尾(4.7%), ベニザケ2.1億尾(4.3%), ギンザケ8,046万尾(1.6%), スチールヘッド2,032万尾(1%以下), サクラマス722万尾(1%以下)でした。

北太平洋における耳石温度標識魚の放流状況

耳石温度標識は、発眼卵以降の卵期に飼育水温を一定間隔で上下させることで、魚の頭の中にある耳石と呼ばれる硬組織にバーコード状の任意のパターンを標識する技術です。標識を卵期に行うため、一度に大量の個体に施標することが可能となります。2018年に各国から放流された耳石温度

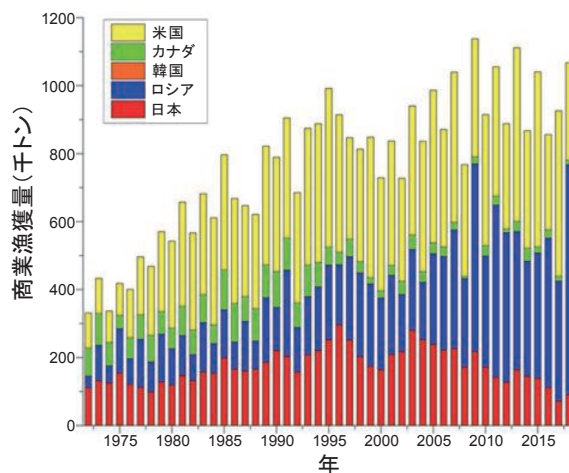


図1. 北太平洋におけるさけ・ます類の地域別漁獲量(1972-2018年)。データ出典: NPAFC

標識魚は、全魚種合わせて23.3億尾で、総放流数(49.1億尾)の約47%を占めます。その内訳はサケ11.5億尾(49.4%), カラフトマス10.5億尾(45.1%), ベニザケ7,192万尾(3.1%), マスノスケ5,007万尾(2.1%), ギンザケ1,094万尾(1%以下), サクラマス160万尾(1%以下)となり、サケとカラフトマスで総数の94.5%を占めました。国別の耳石標識魚の放流尾数は米国16.9億尾(72.5%), 日本3.9億尾(16.7%), ロシア2.2億尾(9.4%), カナダ3,620万尾(1.6%), 韓国500万尾(1%以下)でした。なお、2018年春に日本で放流されたカラフトマス(2017年級)から、すべての放流魚に耳石温度標識が施標されており、放流魚と野生魚が明確に区別できるようになりました。これらは2019年秋以降に順次回帰することから、今後耳石温度標識を利用した日本系カラフトマスに関する様々な調査・研究活動が行われ、新たな知見が加わることが期待されます。

北太平洋のさけ・ます類を取り巻く状況についての検討

冒頭に示したように、北太平洋におけるさけ・ます類の商業漁獲量は近年では歴史的に高い水準にあります。一方、海洋環境の変動や魚体重の変化といった様々な事象が生じていることが、加盟各国より数多く報告されています。例えば、2018年に日本に回帰したサケは例年に比べ小さいことが話題となりましたが、この小型化現象は日本だけでなくロシアや韓国に回帰したサケやカラフトマスでも確認されています。また日本ではサケの不漁が大きな問題となりましたが、ロシアでは前述のように、西カムチャツカにおいてカラフトマスが歴史的な大豊漁となり、2018年の北太平洋における商業漁獲量を増加させる要因となりました。北米ではアラスカ湾におけるベニザケの回帰数が減少したとの報告があります。また、河川や湖などの淡水域と海洋の両方において水温や気温の上昇や干ばつといった異常気象が確認されました。

さらにさけ・ます類の餌となる動物プランクトンの種類が脂質含有量の高い北方系から脂質含有量の少ない南方系へシフトしているという報告もあり、海洋環境の変動が直接的・間接的にさけ・ます類に影響を及ぼしているとの指摘がありました。北太平洋のさけ・ます類を取り巻く状況が、今後のさけ・ます類にどのような形で影響を与えるのか、引き続き注意深く見ていく必要があります。

CSRS と取締小委員会 (ENFO) の合同会合

今年行われた新たな試みとして、CSRS と取締小委員会 (Committee on Enforcement, ENFO) の合同会合があります。ENFO は条約海域におけるさけ・ます類の違法操業を取り締まるために様々な取り組みを行っている小委員会です。ENFO が行う取締活動をより効果的なものとするため、CSRS から科学的な情報を提供することを目的として、本合同会合は開催されました。CSRS からは①違法操業により押収されたさけ・ます類の遺伝分析による種判別の試み、②海洋環境データを利用した違法操業船の位置推定の二つの発表が行われました。さらに「どのような研究が取締活動に役立つのか」、「違法操業船から得られたどのようなデータが研究に役立つのか」について、出席者間で活発な議論がなされました。違法操業の存在は NPAFC が直面する大きな課題の一つです。違法操業が少しでも無くなるよう、今後も CSRS と ENFO がお互いに協力していくことが重要です。

国際サーモン年に関する様々な活動

これまでも本誌等を通じてご紹介してきましたが、2019 年は NPAFC と北大西洋サケ保全機構 (NASCO) により「国際サーモン年 (International Year of the Salmon, IYS)」に制定されました (IYS に関する詳細は佐藤 2018, 鈴木ら 2019 を参照)。この IYS 活動を象徴する事業として、2019 年 2～3 月には NPAFC 加盟各国の研究者が、用船した

ロシアの調査船に乗り込み、冬のアラスカ湾におけるさけ・ます類の越冬期調査を実施しました (詳しくは本誌の記事を参照)。この国際共同調査は成功裏に終了し、現在得られたデータや標本の分析が各国の研究者により分担して進められています。今後開催される IYS 関連のワークショップやシンポジウムでその成果が報告されるものと期待されます。また、今回の成功を受け、冬期だけでなく春～秋を含めたさけ・ます類の海洋生活史全体を対象にした大規模な海洋調査の実施が検討されており、2021 年の調査実現に向け、現在計画が練られつつあります。日本としても、毎年夏のベーリング海で実施している「夏季さけ・ます資源生態調査」を通じて、この大規模調査に貢献したいと考えています。

IYS 活動ではさけ・ます類を重要な水産資源と捉えるだけではなく、文化的・社会的にも我々人類と密接に関わっている魚と考えており、その重要性や面白さ等について一般の皆様にも広く伝えるためのアウトリーチ活動を積極的に行っています。その一つとして、北海道を中心に各地で行われるさけ・ます類や水産に関わるイベント、サイエンスカフェなどで IYS のポスターや IYS に関する資料の掲示・配布を行っています。また IYS の日本語版ホームページも開設しており、IYS の目的や活動内容などを知ることができます (<http://hnf.fra.affrc.go.jp/iys/index.html>)。IYS の中心年は 2019 年ですが、その活動は 2022 年まで続く予定です。今後も引き続き、IYS 活動に注目していただければと思います。

引用文献

- 佐藤俊平. 2018. 国際サーモン年 International Year of the Salmon (IYS) をご存じですか? 北の海から, 33: 2-3.
- 鈴木健吾・佐藤俊平・浦和茂彦. 2019. 国際サーモン年が始まります. Salmon 情報, 13:48-50

トピックス

サケカウンターによるサケ (*Oncorhynchus keta*) 移動数計測

めのかわ まさのり 布川 雅典*1・権田 豊*2・中村 繁人*3

はじめに

自然産卵を組み込んださけ・ます類の資源管理の必要性がこれまで求められてきました (真山 2004)。このような野生魚個体群の保全と維持には、魚道等による河川の縦断的連続性の確保は必須です。

魚道の効果は、魚類の遡上数で評価されます (Noonan et al. 2012) が、その計測はトラップ、目視およびカメラによるビデオ撮影により行われます (ダム水源地環境整備センター 1998)。しかしながら、このような調査を長期間連続で行うことは、手間と費用を考えると現実的ではありません。自動計測装置による遡上数の計測はこれらの調査に取って代わる一つの方法といえるでしょう (Welsh and Aldinger 2014)。

魚類の遡上数を計測する自動計測装置は一般的に魚カウンター (近藤・権田 2008) と呼ばれ、欧米での設置は進んでいます。種類も音響式や本稿で紹介する電極式など複数種知られ、主にサケ科魚類の移動量の測定に使われています。わが国では、サクラマス (*Oncorhynchus masou*) (権田ら 2014) やアユ (*Plecoglossus altivelis*) 稚魚 (近藤ら 2013) などを対象とした魚カウンターが開発されています。サケを対象としたカウンターは、利根川の利根大堰 (図 1, 河林 2009; 近藤・権田 2012) や信濃川の宮中取水ダム (図 2, 竹内ら 2018) の魚道に設置されています。しかしながら、これまで北海道では魚カウンターを用いて魚道におけるサケ遡上数を長期間計測したことはありません。

ところで、北海道中央部の勇払川流域美々川ではサケ野生魚の遡上が確認されています (帰山・真山 1996)、遡上数はわかっていません。また、北海道東部十勝川においては、千代田新水路に魚道があり、遡上数は人の手により計数されていますが、24 時間計測は行われていません。

そこで、本稿では、サケ親魚を対象とした魚類遡上量自動計測装置 (以下サケカウンター) の紹介をするとともに、これらを用いた遡上数計数の試みを報告します。

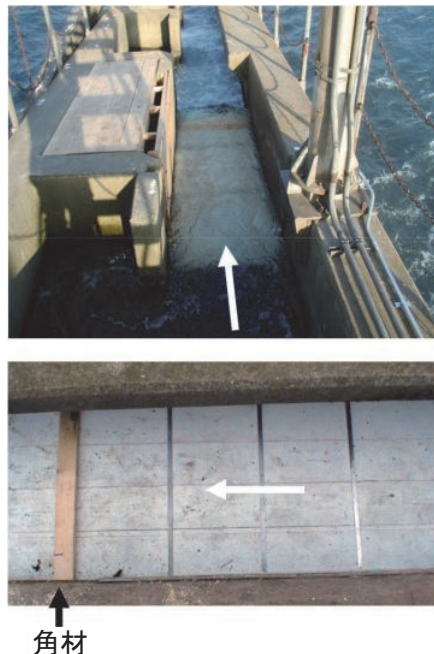


図 1. 利根川中流部 (埼玉県) の利根大堰魚道に設置された魚カウンター。センサー電極上の水深を維持するためにセンサー電極の下流側に角材を設置しています。また、計数精度検証の際に、魚体を識別しやすくするために水路床を白く塗装しています。白色矢印は流下方向を示します。



図 2. 信濃川宮中取水ダムに設置された魚カウンター。カメラ映像の自動撮影のために電極センサーが二組設置されています。映像撮影に際し、魚体の識別を容易にするために電極の下に塩化ビニル製板がはられています。白色矢印は流下方向を示します。

サケカウンター

設置したサケカウンターには、鉄骨製の架台に $2.0\text{ m} \times 0.8\text{ m}$ (長さ × 幅) の木製水路がついています (図 3a および 4a)。この架台を魚道内に設置しこの木製水路に通水して、木製魚道を遡上してきたあるいは降下したサケの数を計数します。このような木製水路を架台に乗せて設置しているのはいくつか理由があります。一つは、後述するセンサー電極の絶縁を施してセンサー回路からの電圧信号を確実に取得するためです。また、多数のサケが同時にセンサー上を移動したり、サケがセンサー電極上で滞留すると正確に遡上数や降下数が計測できません。そこで、木製水路で適切な水路幅にして正確なデータ取得を可能とするために魚道内に木製魚道を付帯した架台を設置しています。

この木製水路には 3 本のセンサー電極が、流下方向に 30 cm 間隔で設置されており、上流端と下流端の電極の間に 5.0 V の電圧を印加しています (図 3c)。これらのセンサー電極により木製水路上の流水の電気抵抗を計測します。センサー電極上を対象魚が通過すると流水の電気抵抗が変化し、センサー回路から出力される電圧信号がパルス状の波形を描きます。この形状により遡上・降下を判定して遡上数を計数します (近藤・権田 2012)。

対象魚が下流から最下流のセンサー電極に近づくとき電圧が正の値を示し、電極を通過したときに電圧が最大値を示すことでパルス波が描かれます。さらに対象魚が遡上するにつれて電圧は減少し、中央の電極を通り過ぎる時には電圧は 0 になります。つぎに対象魚が最上流の電極に達すると負の電圧値が最大になり、さらに遡上が進んで対象魚が電極から離れていくと、電圧値は再び 0 に戻ります (図 5a)。対象魚が降下した場合はこのパルス波と逆の形状の変化がみられます (図 5b)。

センサー回路から出力された信号の解析は FishCountSystem_Anlyzer03 (田村電子工房、高崎市) を使用して行いました。このソフトは、センサー回路から出力された信号の中から、センサー場を対象魚が移動した際に生じるパルス波を抽出して表示することができます。さらには遡上か降下を自動判別し計数もします。そのほかに判定不能なものも抽出して表示し、そして計数します。また、パルス波の振幅に閾値を設定し、閾値以上と未満のものをそれぞれ計数することで、サケとそれ以外の小型魚を一定の精度で計数することも可能です。今回はこの閾値を 1000 mV に設定して、パルス波の振幅が閾値を越えており、前述のソフトで遡上または降下と判断されたものをサケとして、これらの数を計数しました。

サケカウンターでは、原則として魚種の判定は

できません。ただし、前述したように体長が著しく異なるものについては判別することが可能です。サケ以外の魚種も遡上するような魚道では、カメラ撮影による映像を、サケカウンターが示す遡上時刻に確認することにより一定の精度で魚種判定が可能です。

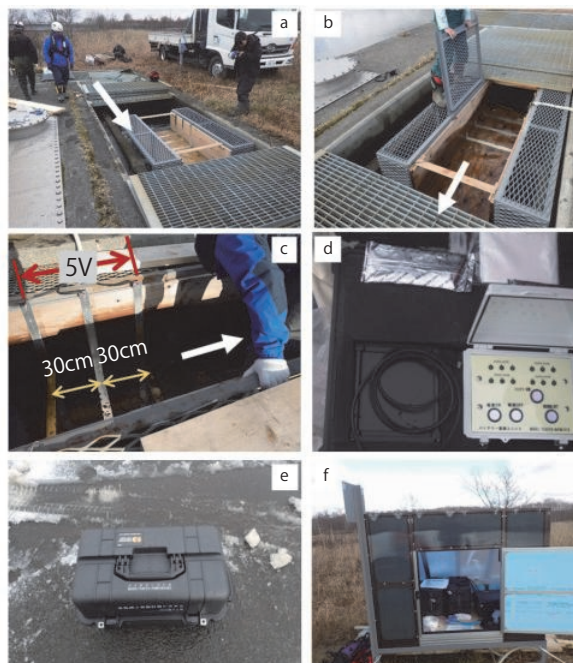


図 3. 北海道中央部勇払川のウトナイ堰魚道に設置したサケカウンター。外観 (a, b)、 5 V で印加されているセンサー電極 (c)、システム操作盤 (d)、 12 V 密閉型鉛蓄電池バッテリーが 3 個が独立した状態で収納されているバッテリーボックス (e) および計測小屋内のシステムとバッテリー (f)。a, b と c の矢印は流下方向を示します。

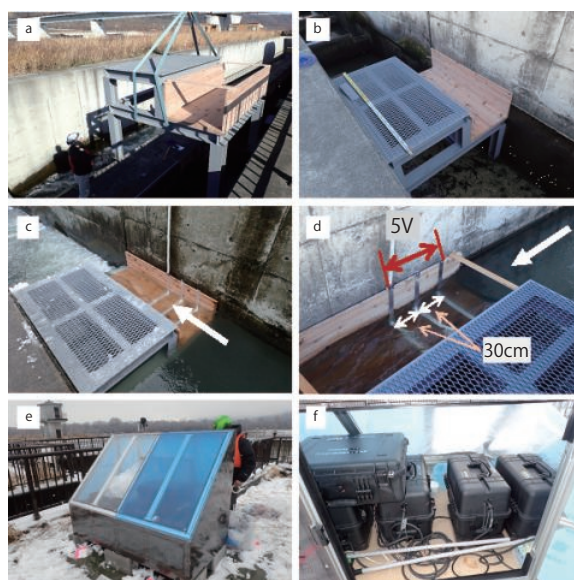


図 4. 北海道東部に位置する十勝川千代田新水路の階段魚道に設置したサケカウンター。クレーンによる設置 (a)。設置直後 (b)、通水状況 (c)、 30 cm 幅で取り付けられて、 5 V で印加されたセンサー電極 (d)、計測小屋内 (e) およびその内部のシステムとバッテリーボックス収納状況 (f)。c と d の矢印は流下方向を示します。

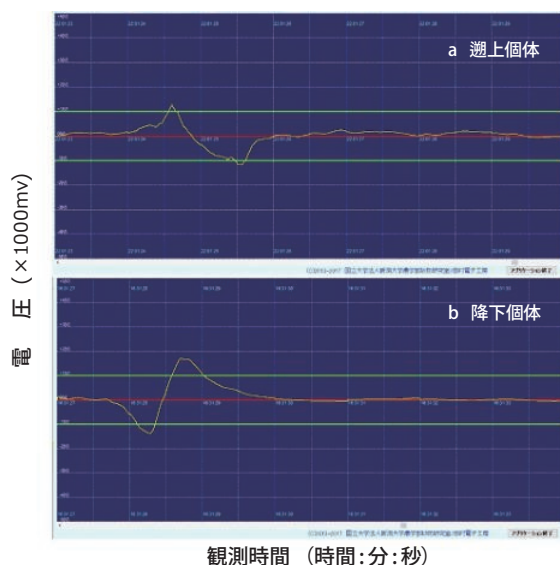


図5. 対象魚が木製魚道を遡上(a)および降下(b)した時のパルス波形。遡上個体と降下個体のパルス波形は、それぞれ2018年11月9日勇払川ウトナイ魚道および2017年11月24日十勝川千代田新水路階段魚道を通過した個体のデータを使用しています。

設置河川の概要

今回サケカウンターを設置したのは北海道中部安平川水系勇払川（流域面積219 km²）のウトナイ堰の魚道と、北海道東部十勝川流域（流域面積9,010 km²）の千代田新水路階段魚道です。

勇払川は美々川とともにウトナイ湖へ流れ込み、ウトナイ湖からは勇払川として流れでて安平川に合流します。この合流点から5.5 km上流に、ウトナイ湖の水位調整のためのウトナイ堰が、左岸側の魚道とともに設置されています。

十勝川は十勝岳から流れでて山間地を流下して十勝平野に至り、豊頃町で太平洋に注ぐ幹川流路長156 kmの一級河川です。この河川の河口から約43 km上流に位置する千代田新水路の右岸に階段魚道が設置されています。サケカウンターは、それぞれの魚道に設置しました。

勇払川ウトナイ堰魚道（以下ウトナイ魚道）では遡上が活発になる（帰山・真山1996）11月から遡上が終了する翌年1月まで（2018年11月8日10時から2019年1月31日24時まで）サケカウンターを設置し移動数を計測しました。千代田新水路階段魚道（以下新水路魚道）調査は2017年11月22日0時から12月11日24時まで行いました。

ウトナイ魚道におけるサケ遡上数の計測は北海道室蘭建設管理部苫小牧出張所と連携して行っています。また、新水路魚道へのサケカウンター設置は、北海道開発局帯広河川事務所の協力により実現しました。

計測期間中のサケの行動

ウトナイ魚道では11月の数日間（9、10および11日）に多くの遡上があったことから、11月遡上数（899個体：図6）だけで測定期間中の遡上全個体数（1,096個体）の82%を越えていました。12月までは一定量の遡上がありますが、1月はほとんど遡上しませんでした。また、魚道を降下した個体はほとんどみられませんでした。

一方、新水路魚道では11月23日および29日で20匹を越える遡上がありましたが、12月になると降下個体および遡上個体ともに減少していました。また、この新水路魚道では、遡上に対して降下する個体が多いこともわかりました（図6）。また、近くの水位計からのデータをみると、水位が上昇した日には相対的に多くの遡上がみられていました。

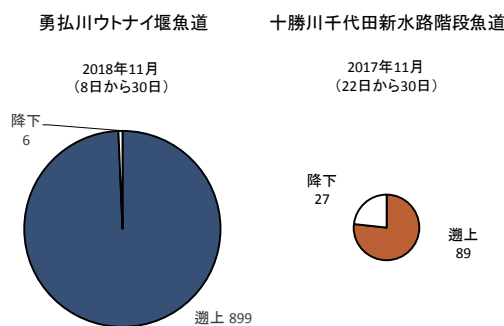


図6. ウトナイ堰魚道と千代田新水路階段魚道の遡上数と降下数。ウトナイ堰のデータは2018年11月8日から30日を、階段魚道のデータは2017年11月22日から30日を示します。それぞれの円グラフの遡上と降下の後の数字は、それぞれ遡上数と降下数を、色付きと白抜きはそれぞれ遡上と降下を表します。円の大きさの違いは移動数の違いを表しています。

夜間における移動

ウトナイ堰魚道では遡上数の多かった11月9日から11日では、全遡上数617匹のうち593匹（96%）が夜間に遡上していました。また、新水路魚道においても、11月22日から30日の遡上数の89匹のうち53匹（60%）が夜間に遡上が認められました。さらに、この魚道ではすべて夜間に降下していました。12月もこの傾向は変わりませんでした。このように、サケカウンターによる連続観測をおこなうことにより昼夜問わず遡上時間を明らかにすることができました。

おわりに

本稿で紹介したサケカウンターでウトナイ堰と千代田新水路階段魚道を移動するサケの個体数を計測することができました。勇払川でのサケ親魚遡上数の計数は、1970年代に美々川においてサケ

稚魚孵化放流が終了して以降今回の計測がおそらく初めてだと思われます。

今回の調査から夜間に遡上する個体がかかり存在することもわかりました。このようにサケカウンターは、長期間かつ 24 時間計測が可能で、遡上数や降下数を明らかにすることができます。さらに、河川の増水時には遡上数が増加することがありますが、目視やカメラ撮影による計数手法の場合、河川水の濁りの影響等で計数精度が下がると考えられます。このような悪条件にも強いのがサケカウンターの特徴です。

現在は岐阜県において、ここで紹介したカウンターの規模をかえて、中型魚のイワナ (*Salvelinus leucomaenis* : 体長 15–20 cm) のカウンターを開発中で、データ計測が行われています。このカウンターでは、木製水路の幅を約 20 cm 程度に、センサー電極の幅も約 10 cm 程度にしています。このようにセンサーの間隔や、木製水路の大きさを工夫することで、他の魚種への適応も可能です。

このようなサケカウンターを魚道等に設置することで、これまで正確には把握できなかった魚道の評価がなされ、今まで以上に効果的な魚道の設置に役立つと考えられます。おもな河川の魚道等に多くサケカウンターや魚カウンターが設置され、遡上数という基礎的でかつ重要なデータの蓄積がなされることを期待しています。

引用文献

- 河林百江. 2009. 水とともに : 水がささえる豊かな社会, 2008-2009: 26-30.
- 眞山紘. 2004. さけ・ます類の河川遡上生態と魚道. さけ・ます資源管理センターニュース, 13: 1-7.
- Noonan M.J., Grant, J.W.A., and Jackson C.D. 2012. A quantitative assessment of fish passage efficiency. *Fish and Fisheries*, 13: 450-464.
- ダム水源地環境整備センター. 1998. 最新魚道の設計—魚道と関連施設, 信山社サイテック, 東京. 581pp.
- Welsh S. A and Aldinger J. L., 2014. A semi-automated method for monitoring dam passage of upstream migrant yellow-phase American eels. *North American Journal of Fisheries Management*, 34: 702–709.
- 帰山雅秀・眞山紘. 1996. 野生産サケの復活をめざして. 魚と卵, 165: 41-52.
- 権田 豊・近藤康行・高橋直己・宮 江介. 2014. 小規模河川内を移動するサケおよびサクラマス の自動計数の試み. 水産技術, 7(1); 1–16.
- 近藤康行・権田 豊. 2008. 砂防堰堤魚道における魚カウンターの研究について. 河川技術論文集, 14: 469-473.
- 近藤康行・権田 豊. 2012. 魚カウンターによるサケの遡上計測に関する研究. 土木学会論文集 G(環境), 68(1): 1-12.
- 近藤康行・権田 豊・野村 愛. 2013. 小型魚用魚カウンターを用いた魚道での小型魚計数実験—小型魚の自動計数—農業農村工学会論文集, 81(4): 301-308.
- 竹内洋介・榎本 拓・青木克憲・奥富 誠・空閑 徹也・金子泰通・権田 豊. 2018. 宮中取水ダム魚道におけるサケ遡上数の自動計数. 応用生態工学会 第 22 回研究発表会講演集:108.

コラム

勇払川の野生サケ

もりた けんたろう

森田 健太郎（北海道区水産研究所 さけます資源研究部）

布川ら（2020）でサケ遡上数の計測が試みられた勇払川は、現在、ふ化放流事業や河川捕獲が行われておらず、サケが自然産卵だけで世代交代を続けている河川です。昭和初期から昭和 48 年ごろまではふ化放流事業が行われており、昭和 31～48 年には平均 1375 尾（範囲 197～5427 尾）のサケ親魚が捕獲されていました。当時は勇払川において調査研究も行われており、勇払川上流から降下したサケ稚魚が中流域にあるウトナイ湖に 2～3 週間滞在して成長することや、勇払川に回帰したサケ親魚は 3 年魚の割合が特異的に高かったことなどが知られていました（坂野 1964）。

当研究部資源保全グループでは、自然産卵する野生サケの生態特性の把握と遺伝サンプルを採集する目的で北海道各地の河川で調査を実施しており、勇払川でもサケ野生魚の調査を行いました。サケ稚魚の調査は、サケカウンターが設置されているウトナイ堰（ウトナイ湖の下流）およびウトナイ湖上流にあるパンケナイ川で行いました（図 1）。パンケナイ川で捕獲されたサケ稚魚は、平均体重 0.8g と小さく、野生のサケ稚魚の特徴を示していました（表 1）。一方、ウトナイ堰で捕獲されたサケ稚魚は平均体重 2.0g と大きく、給餌された放流稚魚をも上回る体サイズでした（写真 1）。坂野（1964）は、降下するサケ稚魚はウトナイ湖において 1.6～2.0cm 成長すると述べており、同様の傾向が確認されました（表 1）。また、ウトナイ堰でサケ稚魚が最も多く捕獲された 5 月下旬の河川水温は 19℃と高い状況にありました。

表 1. 2018 年に勇払川で捕獲されたサケ稚魚（平均値±標準偏差）

調査地点	調査期間	尾叉長(cm)	体重(g)	個体数
パンケナイ川 (ウトナイ湖上流)	4 月 16 日～5 月 8 日	4.3 ± 0.5	0.8 ± 0.3	54
ウトナイ堰 (ウトナイ湖下流)	4 月 26 日～5 月 24 日	5.9 ± 0.6	2.0 ± 0.6	25

サケ親魚の遡上調査を行ったパンケナイ川の上流域は、ゆったりとした流れで、止水域のような環境も見られました。また、所々に湧水（水温約 9℃）が存在し、サケは湧水の近くで産卵しているようでした。10 月下旬～11 月上旬は上流域の細流で自然産卵するサケの姿が多く見られ、11 月中旬～下旬は中流域のほとんど流れが無いような場所で自然産卵が見られました。上流や支流は産卵時期が早く、逆に本流や湖の近くでは産卵時期が遅くなる傾向はサケマス類で一般的に知られており、これは水温が低い上流域では孵化に要する日数が長くなるため、産卵時期を早めて適応していると考えられています（Lisi et al. 2013）。また、勇払川の産卵環境の特徴として、礫質が非常に細かく、粒径 5mm 以下のほとんど砂に近い河床でも多くの産卵床が確認されました（写真 2）。これは、本河川には一般的にサケの産卵に適すると考えられている礫径（16-64 mm）がほとんど無いためであると考えられます。



図 1. 勇払川の野生サケ調査地点

捕獲されたサケ親魚は、雄の方が雌よりも少し大きい傾向がありました（表 2）。また、サケ野生魚は 5 年魚の割合が多い傾向にありますが、勇払川の野生魚は 4 年魚が主体で、他の河川の野生魚よりも若干若齢の傾向にありました。これは、海に下る稚魚が大きいためかも知れません。

表 2. 2018 年に勇払川パンケナイ川上流で捕獲されたサケ親魚（平均値±標準偏差）

性別	調査期間	尾叉長(cm)	年齢	個体数
雄	10 月 23 日～11 月 29 日	64.5 ± 4.5	4.1 ± 0.6	39
雌		60.6 ± 3.5	4.1 ± 0.5	27

このように、放流が 40 年以上も行われていない勇払川でも、サケの自然産卵が継続して行われ、独特な生態をもったサケが自然産卵し、稚魚が生まれていることが分かっています。最近の研究では、北海道のサケにおいても、野生魚の方が遺伝的多様性は高く、また、河川ごとの固有性も野生魚の方が高いことが DNA 分析で明らかとなりつつあります（佐藤・森田 2019）。今後、勇払川の遺伝的特性についても解明されることが期待されます。



写真1. ウトナイ湖より下流で捕獲された野生サケ稚魚
(右下はシラウオ)



写真2. パンケナイ川上流のサケ自然産卵場

引用文献

- Lisi, P. J., Schindler, D. E., Bentley, K. T., and Pess, G. R. 2013. Association between geomorphic attributes of watersheds, water temperature, and salmon spawn timing in Alaskan stream. *Geomorphology*, 185: 78-86.
- 布川雅典・権田豊・中村繁人. 2020 サケカウンターによるサケ (*Oncorhynchus keta*) 移動数計測. *SALMON 情報*. 14: 34-37.
- 坂野栄一. 1964 勇払川に於ける鮭稚魚の降河移動 (1) ウトナイ沼での稚魚の滞留と生長. さけ・ますふ研報. 18: 17-25.
- 佐藤俊平・森田健太郎. 2019 北海道におけるサケ野生魚の遺伝的特徴. *日本生態学会誌*. 69: 209-217.

トピックス

冬期のアラスカ湾における国際共同調査:サケは冬に死亡するのか？

うらわ 浦和 しげひこ 茂彦 (北海道区水産研究所 さけます資源研究部)

はじめに

日本系サケの来遊数は、2000 年代半ばより長期的に減少傾向を示すようになり、2019 年には約 1,970 万尾 (12 月 31 日現在の速報値) と過去 40 年間で最も低くなった。日本系サケの減少要因として、初期生活期における生残率の低下が指摘されている (斎藤・福若 2018; 宮腰 2018; 春日井 2018; 川島ら 2018; 佐藤ら 2018)。一方、冬の海洋生活期にもサケマス類の死亡が起きやすいと考えられ (Nomura et al. 2000; Beamish and Mahnken 2001; Moss et al. 2005; Farley et al. 2007), サケマス類の成長に関連した海洋死亡が最初の秋から冬にかけて起き、それが年級群豊度を規定しているとの仮説 (critical-size and critical-period hypothesis) が提唱されている (Beamish and Mahnken 2001; Beamish et al. 2004)。

北太平洋東部のアラスカ湾では、1992 年、1996 年と 2006 年に水産庁の調査船「開洋丸」による冬期調査が行われ (Ueno et al. 1996; Ishida et al. 2000; Fukuwaka et al. 2006), 北米系だけでなく日本を含むアジア系サケもこの海域で越冬することが遺伝分析で明らかになった (Urawa et al. 1997, 2016; Beacham et al. 2009)。同海域にはカラフトマス、ベニザケ、ギンザケやマスノスケも生息し、アラスカ湾は太平洋サケマス類にとって極めて重要な越冬場所となっている (Fukuwaka et al. 2006; Myers et al. 2016)。しかし、過去の冬期調査では、調査海域や時期が限定され、正確な分布域や資源量などを特定できていない。謎の多い冬期のサケマス類の海洋生態を調査し、冬期死亡仮説を検証するため、2019 年 2 月 16 日～3 月 18 日にアラスカ湾で国際共同調査プロジェクト「International Gulf of Alaska Expedition」が国際サーモン年活動の一環として実施された (Pakhomov et al. 2019)。

冬期調査の概要

北太平洋溯河性魚類委員会 (NPAFC) がロシアの調査船「プロフェッサー・カガノフスキー

(Professor Kaganovskiy)」を外部資金で用船した (写真 1)。本船はウラジオストックを母港とする TINRO センターの調査船 (総トン数 2,062 トン, 乗員 30 名) で、1987 年に進水した。乗船する研究者が待つカナダのバンクーバーまで調査を実施しながら北太平洋を横断してきたが、途中猛烈な低気圧に襲われ、到着が 2 日ほど遅れた。2 月 16 日午後には船上で盛大な出港セレモニーが行われ、政府機関や報道などの関係者が多数集まった (写真 2)。加盟 5 カ国から研究者 21 名 (カナダ 6 名, 日本 1 名, 韓国 1 名, ロシア 9 名, 米国 3 名, NPAFC 事務局 1 名) が冬期調査に参加した (写真 3)。研究者は海洋観測グループ、プランクトン・栄養分析グループと魚類グループに別れ、筆者は魚類グループで耳石や遺伝標本の採集と標識放流を担当した。



写真 1. カナダのノースバンクーバーに停泊したロシア調査船「プロフェッサー・カガノフスキー」



写真 2. ロシア調査船「プロフェッサー・カガノフスキー」の甲板で行われた出航セレモニーで挨拶するプロジェクト提唱者の Dick Beamish 博士。カナダ政府、ロシア政府や BC 州などの来賓も参加した。



写真 3. 冬期アラスカ湾国際共同調査に参加した21人の研究者

調査海域はアラスカ湾(北緯47-56度, 西経137-147度)の60定点で(図1), 表層トロールによる漁獲(写真4), ボンゴとJudyネットによる動物プランクトン・マイクロネクトン採集とCTD等を用いた海洋観測を行った。また, 環境DNA分析用の採水と, 最近問題になっているマイクロプラスチックの採集も行われた(写真5)。さらに, Live Boxを装着したトロールで漁獲された活魚の標識放流を行った(写真6)。航海中は24時間体制で, 深夜や早朝など時間に関係なく, 定点に到着すると, すべての研究者が調査に参加した。

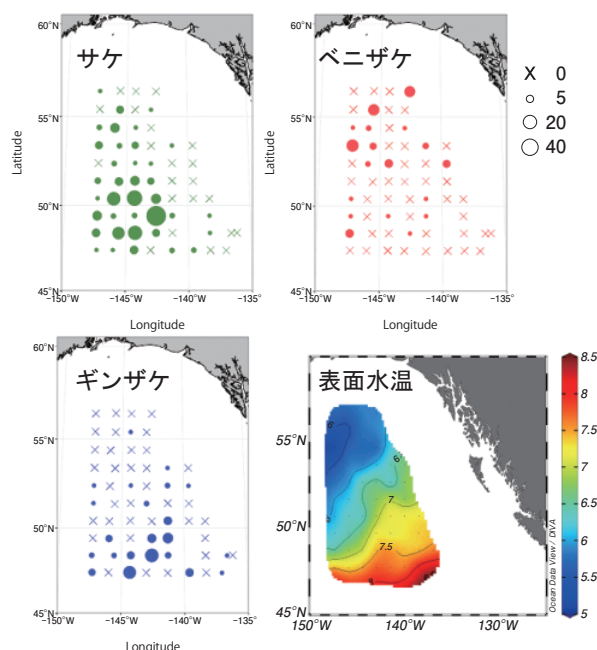


図1. アラスカ湾の調査定点にけるサケ、ベニザケとギンザケのCPUE分布と表面水温。CPUE=1時間曳き当たりの漁獲尾数。出典: Pakhomov et al. (2019)

漁獲されたサケマス類に個体識別タグ(Floy Tag)を付け, 魚種別に魚体を測定して, 鱗, 耳石と遺伝標本を採集した(写真7)。また, 摂餌状況を把握するため胃内容物を分析し, 栄養状況等を調べるために筋肉と肝臓を採集した。さらに, 成長や健康状態を把握するための採血を行うと共に, 遺伝子解析で病原体の保有状況を調べるために, 鰓, 心臓, 肝臓, 腎臓, 消化管, 脳などを細かく切り出し, 一部は組織観察用に固定保存した(写真8)。沖合における本格的な病原体検査はおそらく初めての試みで, ストレスを受けた冬期のサケマス類に病原生物がどのような影響を与えているか注目された。担当したカナダの研究者からの情報によると, サケ稚魚に頻繁に寄生し病害を起こす鞭毛虫 *Ichthyobodo salmonis* が, 沖合のサケから始めてみつかった。本種は, 淡水と海水の両方で生残り増殖可能で(Urawa and Kusakari 1990), 海洋生活期のサケにも寄生し続け, 親魚と共に母川に戻り新たな感染源になるとの仮説が提唱されている(Mizuno et al. 2017)。アラスカ湾を回遊するサケからの *I. salmonis* の発見は, この仮説を裏付けている。



写真4. トロール網の操業風景, ネットソーで網の深さや開口面積をモニタリングし, 表層から30メートルまでの深さを毎時4.4ノット(平均)で1時間曳網。



写真5. 海中に漂うマイクロプラスチックの採集作業



写真6. トロール網のコッドエンドに装着されたロシア製のLive Box。調査の最終盤に使用したため、ギンザケ2個体を漁獲し標識放流するに留まった。



写真7. 遺伝分析用に採集されたサケの鰭標本。標本はカナダ、日本とロシア用に分割し、そのままシートに貼り付け乾燥させるか99%エタノール入り標本ビンに入れて保存した。



写真8. 栄養・健康状態や病原体の検査のため、漁獲された魚から血液、筋肉や種々の臓器をコンタミを防ぎながら切り出す繊細な作業が船内で行われた。

サケマス類の海洋分布

調査した海域の表面水温は、北方で5°C、南方で7-8°Cであった(図1)。表層トロールで漁獲されたサケマス類は、サケ223個体、カラフトマス31個体、ベニザケ73個体、ギンザケ93個体、マスノスケ3個体の合計423個体だった(写真9)。1時間曳き当たりの平均漁獲尾数(CPUE)は7個体で、過去3回の開洋丸冬期調査(41-91個体)よりも少なかった。用いたトロール網の開口部が横40m、高さ30mと小さく(開洋丸はそれぞれ60m)、曳航スピードが4ノット台(開洋丸は5

ノット)と遅いことが一因と考えられた。また、漁獲された魚の種組成は昼夜で大きく異なり、サケは80%、カラフトマスは87%が昼間漁獲されたのに対し、ベニザケは89%、ギンザケは75%が夜間に漁獲された。一方、開洋丸での調査では、トロール網による漁獲作業が昼間のみ行われている。調査海域内でも魚種により分布に差がみられた(図1)。サケは水温5.0~7.6°Cの海域に広く分布していたが、南西海域で多い傾向を示した。ベニザケは北方の水温5°C台の冷たい海域に多く分布していた。海洋生活1年ほどで成熟するギンザケとカラフトマスは、大部分が水温7°C前後の南の海域に分布していた。なお、カラフトマスは北米で豊漁となる奇数年級にあたるが、漁獲尾数は僅かで、分布域を特定することができなかった。



写真9. アラスカ湾定点45(北緯49度、西経143度)で漁獲されたマスノスケ(上端)とギンザケ。船上での遺伝解析により、このマスノスケは米国コロンビア川産、ギンザケは大部分がカナダ産と同定された。

サケの地理的起源と肥満度

最近カナダで開発された新しい環太平洋SNP基準群(537 SNPs, 424 個体群)を用いた遺伝分析により、沖合で漁獲されたサケの地域起源や河川起源が高い精度で個体別に識別できるようになった。この新たなSNP分析によると、日本系サケは22%含まれ、これらの大部分は北緯52°より南の海域に分布していた。日本系以外の系群組成は、西アラスカ系14.8%、ユーコン川系5.1%、中央アラスカ系6.5%、南東アラスカ系11.2%、カナダBC系16.5%、ワシントン系3.7%、ロシア系20.2%で、多様な地域個体群起源のサケがアラスカ湾で越冬していることが確認された。また、耳石を分析したところ、サケ32個体(全体の14%)より耳石標識が検出された。これら耳石標識魚の大部分は中央アラスカおよび南東アラスカのふ化場起源だったが、当所の斜里さけます事業所および虹別さけます事業所から放流された3個体も含まれ、これら日本系耳石標識魚はいずれも北緯50度以南に分布していた。過去の調査でも、日本系



写真 10. 調査海域の南辺部（北緯 47 度、西経 144 度、表面水温 7.5°C）で漁獲された痩せたサケ。海洋年齢 3 歳の雌で、肥満度は僅か 0.756、耳石標識から北海道の斜里川由来であることが判った。このように痩せた個体が頻繁に観察された。

サケは比較的水温の高いアラスカ湾南部に比較的多く分布することが示されているが（Urawa et al. 2016）、その理由は良く判っていない。

今回の冬期調査では、痩せたサケが頻繁にみつかった（写真 10）。これらは大部分が海洋年齢 2-3 年魚で、特に海洋年齢 2 年魚の 39%が肥満度 0.9 未満だった。SNP 分析によると、日本系サケは海洋年齢 2 年魚の 40%、3 年魚の 17%が肥満度 0.9 未満であった。また、BC 系サケは海洋年齢 2 年魚の 70-75%が肥満度 0.9 未満であった。

サケの胃内容指数は、同じ海域で漁獲されたベニザケ、ギンザケやマスノスケよりも低い値を示した。冬の間、サケはあまり餌を食べず、越冬前に蓄えたエネルギーを利用して乗り切る戦略を取っているのかもしれない。冬期におけるサケの生息水温は、北西太平洋よりアラスカ湾の方が高く（Urawa et al. 2018）、そのため筋肉中の脂質含量は北西太平洋よりアラスカ湾に生息するサケの方が有意に低いことが報告されている（Kaga et al. 2006）。越冬前の栄養蓄積が十分でないと、アラスカ湾での生息水温が比較的高いので、代謝エネルギー消費量が増加し、サケは痩せて死亡するリスクが高いように思われる。また、海洋生活 1 年目の秋から冬が危険期と考えられているが（Beamish and Mahnken 2001）、2 年目以後の冬も死亡の起きる可能性が示唆された。冬期死亡仮説を検証するため、冬期とその前後の季節に連係した沖合調査を実施する必要がある。

おわりに

得られた成果は、2019 年 10 月 19-20 日にカナダのビクトリアで開催された PICES 年次会合のワークショップで報告されたほか、2020 年 5 月 23-25 日に函館で開催される NPAFC-IYS ワークショップでも取り上げられる予定である。今回は多分野の専門家が乗船したが、相互協力して多様な調

査を概ね計画通り実施できた。参加者の国籍も様々で、沖合調査における国際協力のあり方を示す良い機会となった。今回の調査をモデルケースとして、複数の調査船による大規模な国際共同調査を 2021 年に実施することが計画されている。日本からも次世代を担う若手研究者が参加し、他国研究者と共に貴重な体験を積むことを望む。

謝辞

本調査では、計画作成や外部資金獲得を先導した Dick Beamish 博士（Pacific Biological Station, DFO Canada）、調査船「プロフェッサー・カガノフスキー」乗組員や各国から参加した研究者たちの多大なる協力を得た。また、SNP 分析は Terry Beacham 博士（Pacific Biological Station）と佐藤俊平グループ長（当所さけます資源研究部）、耳石標識分析は桑木基靖係長（当所さけます生産技術部）が担当した。記して深く感謝申し上げる。

引用文献

- Beacham, T.D., Candy, J.R., Sato, S., Urawa, S., Le, K.D., and Wetklo, M. 2009. Stock origins of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in the Gulf of Alaska during winter as estimated with microsatellites. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull., 5: 15–23.
- Beamish, R.J., and Mahnken, C. 2001. A critical size and period hypotheses to explain natural regulation of salmon abundance and the linkage to climate and climate change. Prog. Oceanogr., 49: 423–437.
- Beamish, R.J., Mahnken, C., and Neville, C.M. 2004. Evidence that reduced early marine growth is associated with lower marine survival of coho salmon. Trans. Am. Fish Soc., 133: 26–33.
- Farley, E.V., Moss, J.H., and Beamish, R.J. 2007. A review of the critical size, critical period hypothesis for juvenile Pacific salmon. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull., 4: 311–317.
- Fukuwaka, M., S. Sato, S., Takahashi, S., Onuma, T., Davis, N., Moss, J., Volkov, A., Seong, K.-B., Sakai, O., Tanimata, N., and Makino, K. 2006. International salmon research aboard the R/V Kaiyo maru in the North Pacific Ocean during the winter of 2006. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Doc. 957. 12 pp.
- Ishida Y., Ueno, Y., Nagasawa, K., and Shiimoto, A. 2000. Review of ocean salmon research by Japan from 1991 to 1998. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull., 2: 19–201.

- Kaga, T., Sato, S., Fukuwaka, M., Takahashi, S., Nomura, T., and Urawa, S. 2006. Total lipid contents of winter chum and pink salmon in the western North Pacific Ocean and Gulf of Alaska. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Doc. 962. 12 pp.
- 春日井 潔. 2018. 北海道沿岸における環境変動がサケ幼稚魚の移動と生残に及ぼす影響. 海洋と生物, 40 (4): 335-341.
- 川島拓也・清水勇一・太田克彦・山根広大. 2018. 三陸沿岸におけるサケ幼稚魚の分布、生息環境と親魚回帰. 海洋と生物, 40 (4): 342-345.
- 宮腰靖之. 2018. 北海道におけるサケの資源変動. 海洋と生物, 40 (4): 330-334.
- Mizuno, S., Urawa, S., Miyamoto, M., Saneyoshi, H., Hatakeyama, M., Koide, N., and Ueda, H. 2017. Epizootiology of the ectoparasitic protozoans *Ichthyobodo salmonis* and *Trichodina truttae* on wild chum salmon *Oncorhynchus keta*. Dis. Aquat. Org., 126: 99-109.
- Moss, J. H., Beauchamp, D.A., Cross, A.D., Myers, K.W., Farley, E.V. Jr., Murphy, J.M., and Helle, J.H. 2005. Evidence for size-selective mortality after the first summer of ocean growth by pink salmon. Trans. Am. Fish. Soc., 134: 1313-1322.
- Myers, K.W., Irvine, J.R., Logerwell, E.A., Urawa, S., Naydenko, S.V., Zavolokin, A.V., and Davis, N.D. 2016. Pacific salmon and steelhead: life in a changing winter ocean. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull., 6: 113-138.
- Nomura, T., Urawa, S., and Ueno, Y. 2000. Variations in muscle lipid content of high-seas chum and pink salmon in winter. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull., 2: 43-54.
- Pakhomov, E.A., Deeg, C., Esenkulova, S., Foley, G., Hunt, B.P.V., Ivanov, A., Jung, H.K., Kantakov, G., Kanzevarova, A., Khleborodov, A., Neville, C., Radchenko, V., Shurpa, I., Slabinsky, A., Somov, A., Urawa, S., Vazhova, A., Vishnu, P.S., Waters, C., Weitkamp, L., Zuev, M., and Beamish, R. 2019. Summary of preliminary findings of the International Gulf of Alaska expedition onboard the R/V Professor Kaganovskiy during February 16–March 18, 2019. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Doc. 1858. 25 pp.
- 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変動. 海洋と生物, 40 (4): 319-329.
- 佐藤俊平・佐藤智希・本多健太郎・鈴木健吾・浦和茂彦. 2018. 沖合における日本系サケの資源動態と生息環境. 海洋と生物, 40 (4): 351-357.
- Ueno, Y., Ishida, Y., Shiimoto, A., Urawa, S., Myers, K.W., Morris, J., and Koval, M.V. 1996. Summary of wintering salmon research aboard the research vessel Kaiyo-maru in January 1996. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Doc. 213. 20 pp.
- Urawa, S., and Kusakari, M. 1990. The survivability of the ectoparasitic flagellate *Ichthyobodo necator* on chum salmon fry (*Oncorhynchus keta*) in seawater and comparison to *Ichthyobodo* sp. on Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). J. Parasitol., 76: 33-40.
- Urawa, S., Ishida, Y., Ueno, Y., Takagi, S., Winans, G., and Davis, N. 1997. Genetic stock identification of chum salmon in the North Pacific Ocean and Bering Sea during the winter and summer of 1996. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Doc. 259. 11 pp.
- Urawa, S., Beacham, T., Sato, S., Kaga, T., Agler, B.A., Josephson, R., and Fukuwaka, M. 2016. Stock-specific abundance of chum salmon in the central Gulf of Alaska during winter. N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull., 6: 153-160.
- Urawa, S., Beacham, T.D., Fukuwaka, M., and Kaeriyama, M. 2018. Ocean ecology of chum salmon. Pages 161-317 in R. Beamish, editor. Ocean ecology of Pacific salmon and trout. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.

さけます情報

サケ科魚類のプロファイル-18 交雑魚

ふくい しょう

福井 翔 (北海道区水産研究所 さけます資源研究部)

はじめに

サケ科魚類における交雑魚は、養殖事業のもとで人工生産されるものから、野外で生まれるものまで多様に存在する。養殖業界では、長野県の「信州サーモン」や、新潟県の「魚沼美雪ます」といった人工生産された交雑魚が新たな高級ブランド魚として注目され、我が国のます類養殖の発展に大きく貢献してきた。一方、野外においても交雑は自然に生じており、カナダのセントローレンス湾周辺のレイクトラウト (*Salvelinus namaycush*) 集団には、そこには現存していないホッキョクイワナ (*Salvelinus alpinus*) の遺伝子が浸透している。こうした自然交雑の事例は、過去の生殖隔離の進化を知るための貴重な題材として注目されてきた。しかし、水産資源の漁獲量の増大を目的として現在まで盛んに実施されてきた種苗放流や他地域からの移植放流によって、野外で放流魚と野生魚が交雑する機会も増えている。こうした人間活動がもたらす交雑は、天然資源の生存や繁殖効率 (適応度) の低下など、在来種が持つ固有の遺伝子組成を崩壊させる要因として懸念されている。

交雑魚の人工生産

養殖業界において、成長率や生存率が高く、肉質が良く、病気に強いことは、優良種としての重要条件であり、交雑はこうした品種を作り出すためのひとつの方法として古くから用いられてきた。サケ科魚類では、1880 年代以降に数多くの交雑研究が実施されており、欧州では、タイセイヨウサケ (*Salmo salar*) とブラウントラウト (*Salmo trutta*) の交雑が精力的に実施されている。ブラウントラウト雌×タイセイヨウサケ雄の組み合わせでは正常に受精し、その交雑魚も成熟可能である一方で、その逆の組み合わせでは受精率が極めて低いという報告がある (Day 1886)。鈴木 (1966) の総説によれば、他の研究チームが別の地域集団を用いて同様の試験を再現したところ、Day (1886) を支持する結果が得られる場合もあれば、そうでない結果も得られるなど一貫性が認められなかった。したがって、異種間で人工交配させる際には、使用した親魚の地域性も重要であると考えられている。

こうした異種間交配の試験は、我が国において

も古くから実施されてきた。例えば、カラフトマス (*Oncorhynchus gorbuscha*) とサケ (*Oncorhynchus keta*) の組み合わせでは、カラフトマス雌×サケ雄のふ化率が 81~90%、サケ雌×カラフトマス雄のふ化率が 93%以上であった (正田・横平 1964)。特に後者は、稚魚期の成長率が高く死亡率も少なかったことから、自然河川への放流が実施されていた。また、1970 年代頃には、Suzuki and Fukuda (1971, 1973, 1974) が様々なサケ科魚類を使って、交雑魚の生存率や成長、成熟率 (集団中の成熟個体の割合) を両親種や雑種一世代目 (F1 雑種)、二代目以降の雑種との間で比較している。例えば、F1 雑種と親種の成熟率を比較した結果では、イワナ属内 (イワナ (*Salvelinus leucomaenis*) ×カワマス (*Salvelinus fontinalis*)) もしくはサケ属内 (サクラマス (*Oncorhynchus masou masou*) やビワマス (*Oncorhynchus sp.*), ベニザケ (*Oncorhynchus nerka*) など) の F1 雑種は、全ての組み合わせで 2 歳の秋までに約 90%以上が成熟したものの、属間交配に由来する F1 雑種 (例えば、ブラウントラウト雌×サクラマス雄、カワマス雌×ベニザケ雄) は、2 歳の秋になっても 20%未満の成熟率しか示さなかった。こうした知見から、系統的に遠い種間で交配させることで (例えば、属間)、雑種の妊性 (子孫を残す能力) が低下する (外交弱勢) と考えられてきた。

2000 年代に入ると、人工交雑と倍数体育種の技術を併用することで、1~3kg の大型で肉質の良い交雑魚の開発が日本各地で試みられるようになった。ここで言う倍数体育種の技術とは、通常は 2 本の染色体を持つ個体 (二倍体) に対し、受精卵の時に高圧または高温処理を施すことで、3 本 (三倍体) または 4 本 (四倍体) の染色体を持つ



図 1. 長野県で生産されている信州サーモン。四倍体ニジマスの雌と二倍体ブラウントラウト雄との掛け合わせによって生まれる (写真提供: 長野県水産試験場)。

個体（全て雌になるが生殖能力を持たない）を作り出す技術のことである。例えば、長野県では四倍体のニジマス（*Oncorhynchus mykiss*）に二倍体のブラウントラウトを掛け合わせることで、三倍体の交雑魚である「信州サーモン」の開発に成功している（図 1）。「信州サーモン」は、肉質の良いニジマスと、病気に強いブラウントラウトの特徴を併せ持つ品種として人気が高い。この他にも、新潟県の「魚沼美雪ます（ニジマス雌×イワナ雄）」、山梨県の「富士の介（ニジマス雌×キングサーモン雄）」、愛知県の「絹姫サーモン（無紋型ニジマス雌×アマゴ雄またはイワナ雄）」などがブランド化に成功している（上記の交雑魚は全て三倍体）。また、食用だけでなく遊漁目的としても交雑魚は作られており、「タイガートラウト（ブラウントラウト雌×カワマス雄）」や「ジャガートラウト（イワナ雌×カワマス雄）」、「スプレイク（カワマス雌×レイトラウト雄）」、「パールトラウト（ブラウントラウト雌×ヤマメ雄）」などの二倍体交雑魚を養殖している管理釣り場も多い。このように人工生産される交雑魚は、我が国のます類養殖の発展に大きく貢献している。

野外で自然に生じる交雑

サケ科魚類における交雑は、野外でも生じている。例えば、カナダのセントローレンス湾周辺では、外見上はレイトラウトとされる全個体が、この地域ではすでに絶滅しているホッキョクイワナのミトコンドリア DNA（mtDNA）を有していた（Wilson and Bernatchez 1998）。この原因について著者らは、ホッキョクイワナの mtDNA はより低水温の環境に有利である可能性を述べている。これに類似した自然交雑の証拠は、我が国の知床半島でも見つかっている（Yamamoto et al. 2006）。知床半島にはイワナは生息していないが、複数のオシロコマ（*Salvelinus malma*）集団の中にイワナの mtDNA が浸透していることが明らかとなった。カナダのレイトラウトとホッキョクイワナの例とは異なり、集団中のすべてのオシロコマ個体がイワナの mtDNA を保有しているわけでは



図 2. サクラマス×イワナの交雑魚。北海道川汲川にて捕獲（写真提供：森田 健太郎 氏）。

なく、河川ごとにイワナの mtDNA を持つオシロコマの割合が異なっている。高水温（12℃）下では、イワナはオシロコマよりも種間競争において優位となるため（Taniguchi and Nakano 2000）、今後の地球温暖化の影響を受け、高水温により適したイワナの mtDNA の浸透が進行することが考えられるが、それを裏付ける証拠は得られておらず、今後の研究の進展が期待される。こうした事例の他にも、北海道や本州の河川ではサクラマス（ヤマメ）とイワナの属間交雑の証拠も見つかっている（加藤 1977; 図 2）。

人間活動が招く野外の交雑

サケ科魚類では、資源の増大を目的に種苗放流や他地域からの移植放流が盛んに実施されてきた。こうした背景から、移植先に生息している野生魚（もしくは在来種）と放流魚（もしくは外来種）との交雑が世界各地で問題視されている。放流魚と交雑する野生魚の運命は、「F1 雑種の妊性」と「雑種の生存率や繁殖成功率（次世代に残す子供の数）」、「交雑の方向性（母親種と父親種の組み合わせ）」に大きく依存する（Allendorf et al. 2001）。交雑の組み合わせが野生魚雌×放流魚雄で、かつ F1 雑種が不妊の場合は、母親種である野生魚の卵は子孫を残せないために浪費されるため、次世代では野生魚の数が減少し、父親種である放流魚が増加する結果となる。また、交雑の方向性にかかわらず、もし F1 雑種に妊性があれば、両種の遺伝子が混ざり合うことで純粋な野生魚が消失する恐れがある。野生魚と放流魚との交雑に関する研究は、1990 年代頃から精力的に進められてきた。欧米では、水産有用種として養殖が盛んなタイセイヨウサケやスチールヘッドトラウトを対象とした研究が多く、2000 年代には、実験下で放流魚と雑種の生存率が野生魚よりも低いこと（McGinnity et al. 2003）、野外では雑種二世目になると繁殖成功率が著しく低下することが明らかとなっている（Araki et al. 2007）。

外来種と在来種の交雑については、北米の絶滅危惧種カットスロートトラウト（*Oncorhynchus clarkii*）と移入種のニジマスとの交雑が世界で最も有名な事例のひとつである。両者の雑種は生殖可能であることから、純粋なカットスロートトラウトの遺伝的絶滅や繁殖効率の低下が懸念されている（Allendorf et al. 2001; Muhlfeld et al. 2014）。また、交雑魚が純粋なカットスロートトラウトと形態的に酷似していることから、アメリカ合衆国の内務省は、外来ニジマスの遺伝子混合率が 20% 未満である個体群（河川）を在来カットスロートトラウトの個体群として保全対象とすることが決められている（U.S. Fish and Wildlife Service 2003）。

しかし、ある河川を対象にカットスロートトラウトとニジマス、交雑魚の繁殖成功度（ここでは、稚魚まで生存できた子供の数）を比較したところ、外来ニジマスの遺伝子含有率が約20%の個体の繁殖成功度は、純粋な在来種より50%も低いことがわかった（Muhlfeld et al. 2009）。つまりこれは、ごく僅かな外来遺伝子含有率が、野外の個体群増加率を著しく低下させることを意味している。在来種の遺伝的な固有性を守るだけでなく、在来種個体群の性質を改変させないためにも、20%という保全対策方針基準の再考が求められている。

こうした交雑の問題は、日本も例外ではない。例えば、北海道の空知川水系や長野県の梓川では、カワマスとイワナの種間交雑が報告されており（図3）、外交弱勢によって純粋な親種よりも雑種の繁殖成功度の方が顕著に低いことが明らかとなった（Fukui et al. 2018）。また、北海道の然別湖への流入河川では、固有種のミヤバイワナと移植されたサクラマスの交雑魚が見つかった（Koizumi et

al. 2005; 図4）。他にも、北海道の常呂川や富山県の神通川などで報告されているサクラマスとアマゴの亜種間交雑や（田子 2002; 藤井 2008; 北西ら 2017）、サクラマスでの北海道系と関東系の集団間で生じる交雑も大きな問題になりえる。サクラマスは、河川で一生を過ごす河川残留型（残留型）と、約1年間の海洋生活を送る降海型が存在し、なかでも降海型は、北日本の沿岸漁業における重要な水産有用種となっている（長谷川・佐橋 2019）。サクラマスの降海型は本州西部から北海道にかけて出現する。南方（北陸など）では降海型の割合は低いものの、北方にいくにつれてその割合は高くなり、北海道ではほぼ100%のメスが降海型になるとみられている（待鳥・加藤 1985）。残留性の高い南方由来のアマゴや関東系のサクラマスが北日本に移植されると、交雑を介して在来集団の降海率を低下させたり（大熊ら 2016）、降海型サクラマスの小型化を招く恐れがある（田子 2002）。サクラマスの在来集団が固有に持つ遺伝子組成の崩壊だけでなく、降海型サクラマスの資源量減少や小型化を防ぐためにも、各亜種および集団が持つ遺伝構造の解明と遺伝的攪乱の実態把握が必要である。

引用文献

- Allendorf, F. W., Leary, R. F., Spruell, P., Wenburg, J. K. 2001. The problems with hybrids: setting conservation guidelines. *Trends in Ecology & Evolution*, 16: 613-622.
- Araki, H., Cooper, B., Blouin, M. S. 2007. Genetic effects of captive breeding cause a rapid, cumulative fitness decline in the wild. *Science*, 318: 100-103.
- Day, F. 1886. On the Hybridization of Salmonidae at Howietoun. *Report of the British Association for the Advancement of Science*, 55: 1059-1063.
- 藤井 真. 2008. 常呂川におけるサクラマス（ヤマメ）とアマゴの遺伝的攪乱について—第2報—。育てる漁業, 427: 3-5.
- Fukui, S., May-McNally, S. L., Taylor, E. B., Koizumi, I. 2018. Maladaptive secondary sexual characteristics reduce the reproductive success of hybrids between native and non-native salmonids. *Ecology and Evolution*, 8: 12173-12182.
- 長谷川 功・佐橋 玄記. 2019. サクラマス 日本系. 平成30年度国際漁業資源の現況, 61: 1-8.
- 疋田 豊彦・横平 与三郎. 1964. サケ科交雑種の生物学的研究—サケとカラフトマスの人工交雑について—. 北海道さけ・ますふ化場報, 18: 57-67.
- 加藤 憲司. 1977. 多摩川上流で採集されたサケ科魚類の自然雑種. 日本魚類学会誌, 23: 225-



図3. 種間交雑が報告されているカワマス(上段)、雑種(中段)、イワナ(下段)。すべて北海道空知川水系で成熟していたオス。カワマスは二次性徴が顕著である一方、イワナはそれほど顕著な二次性徴を示さず、雑種はその中間の形質を持つ。



図4. ミヤバイワナ×サクラマスの交雑魚。北海道然別湖への流入河川(止別川)にて捕獲(写真提供: 小泉 逸郎氏)。

- 232.
- 北西 滋・向井 貴彦・山本 俊昭・田子 泰彦・尾田 昌紀. 2017. サクラマス自然分布域におけるサツキマスによる遺伝的攪乱. 日本水産学会誌, 83: 400-402.
- Koizumi, I., Kobayashi, H., Maekawa, K., Azuma, N., Nagase, T. 2005. Occurrence of a hybrid between endemic miyabe charr *Salvelinus malma miyabei* and introduced masu salmon *Oncorhynchus masou masou* in the Lake Shikaribetsu system, Hokkaido, Japan. Ichthyological Research, 52: 83-85.
- 待鳥 精治・加藤 忠彦. 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.
- McGinnity, P., Prodohl, P., Ferguson, A., Hynes, R., Maoileidigh, N., Baker, N., Cotter, D., O'Hea, B., Cooke, D., Rogan, G., Taggart, J., Cross, T. 2003. Fitness reduction and potential extinction of wild populations of Atlantic salmon, *Salmo salar*, as a result of interactions with escaped farm salmon. Proceedings of the Royal Society B, 270: 2443-2450.
- Muhlfeld, C.C., Kalinowski, S.T., McMahon, T.E., McMahon, T.E., Taper, M.L., Painter, S., Leary, R.F., Allendorf, F. W. 2009. Hybridization rapidly reduces fitness of a native trout in the wild. Biology Letters, 5: 328-331.
- Muhlfeld, C.C., Kovach, R.P., Jones, L.A., Al-Chokhachy, R., Boyer, M.C., Leary, R.F., Lowe, W.H., Luikart, G., Allendorf, F.W. 2014. Invasive hybridization in a threatened species is accelerated by climate change. Nature Climate Change, 4: 620-624.
- 大熊 一正・福田 勝也・戸嶋 忠良・小野 郁夫. 2016. 関東産河川型オスサクラマスとの交配による千歳川産サクラマス種苗のスモルト化への影響. 日本水産学会誌, 82: 18-27.
- 鈴木亮. 育種学的にみた魚類の交雑. 1966. 日本水産学会誌, 32:677-688.
- Suzuki, R., Fukuda, Y. 1971. Survival potential of F1 hybrids among salmonid fishes. Bulletin Freshwater Fisheries Research Laboratory, 21: 69-83.
- Suzuki, R., Fukuda, Y. 1973. Appearance and numerical characters of F1 hybrids among salmonid fishes. Bulletin Freshwater Fisheries Research Laboratory, 23: 5-32.
- Suzuki, R., Fukuda, Y. 1974. Intercrossing and backcrossing of F1 hybrids among salmonid fishes. Bulletin Freshwater Fisheries Research Laboratory, 24: 10-30.
- 田子 泰彦. 2002. サクラマス生息域である神通川へのサツキマスの出現. 水産増殖, 50: 137-142.
- Taniguchi, Y., Nakano, S. 2000. Condition-specific competition: implications for the altitudinal distribution of stream fishes. Ecology, 81: 2027-2039.
- U.S. Fish and Wildlife Service. 2003. Endangered and threatened wildlife and plants: reconsidered finding for an amended petition to list the westslope cutthroat trout as threatened throughout its range. In Federal Register, pp. 46989-47009.
- Wilson, C.C., Bernatchez, L. 1998. The ghost of hybrids past: Fixation of arctic charr (*Salvelinus alpinus*) mitochondrial DNA in an introgressed population of lake trout (*S. namaycush*). Molecular Ecology, 7: 127-132.
- Yamamoto, S., Kitano, S., Maekawa, K., Koizumi, I., Morita, K. 2006. Introgressive hybridization between Dolly Varden *Salvelinus malma* and white-spotted charr *Salvelinus leucomaenis* on Hokkaido Island, Japan. Journal of Fish Biology, 68: 68-85.

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

う え だ し ゅ う す け
上 田 周 典 (北海道区水産研究所 さけます生産技術部 技術課)

2018 年の北太平洋

漁獲数

2019 年に公表された NPAFC 統計データによると、2018 年 1-12 月の北太平洋におけるさけます類の漁獲数は 6 億 5,130 万尾で、前年 4 億 6,067 万尾の 141%でした (図 1A)。

魚種別に見ると、カラフトマスが 4 億 6,947 万尾で最も多く、全体の 72% (前年比 156%) を占めています。次いでサケが 9,852 万尾 (構成比 15%, 前年比 124%), ペニザケが 7,380 万尾 (構成比 11%, 前年比 104%) と続き、これら 3 魚種で全体の約 98% を占めています (図 1A)。地域別では、記録的な豊漁であったロシアが 4 億 9,462 万尾 (前年比 240%) と最も多く、次いでアラスカが 1 億 1,611 万尾 (前年比 51%) と両地域で全体の 93% 以上を占めています。以下、日本 3,401 万尾、カナダ 395

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) 249 万尾、韓国 9.5 万尾と続き、各国とも前年に比べて増加したものの、分布の南限に近い日本や米国ワシントン州以南の地域では、近年減少傾向にあります (図 1B)。

人工ふ化放流数

2018 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 964 万尾で、前年 50 億 56 万尾の 97% でした (図 1C)。

魚種別ではサケが 29 億 1,516 万尾で約 6 割を占め、これに次ぐカラフトマス 14 億 3,699 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 16 億 5,954 万尾、アラスカ 18 億 3,440 万尾、ロシア 8 億 4,230 万尾、カナダ 2 億 6,173 万尾、アラスカ以外の米国 3 億 1,299 万

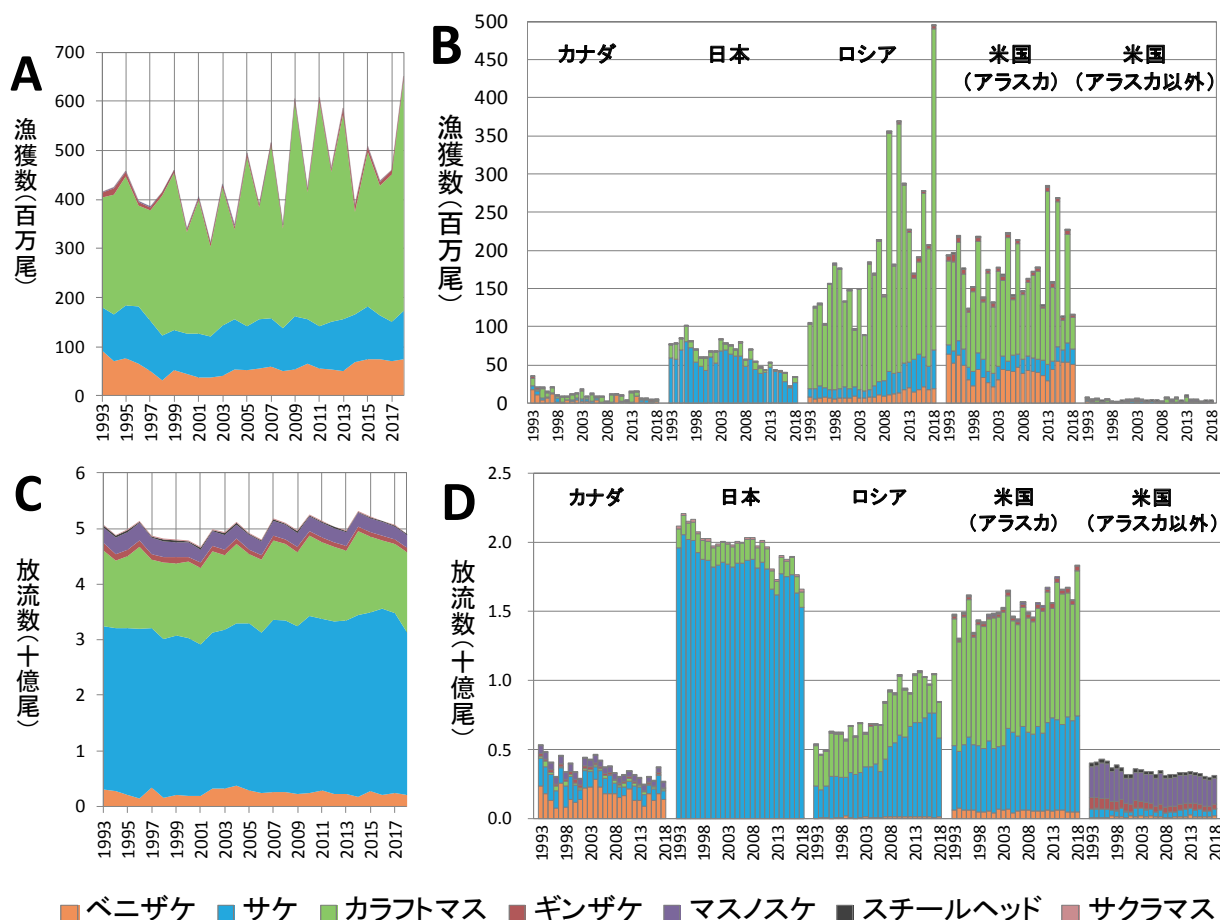


図 1. 北太平洋におけるさけます類の魚種別漁獲数 (A), 地域別魚種別の漁獲数 (B), 魚種別人工ふ化放流数 (C) 及び地域別魚種別の人工ふ化放流数 (D)

A 及び B は「NPAFC Pacific salmonid catch statistics (updated 31 July 2019)」, C 及び D は「NPAFC Pacific salmonid hatchery release statistics (updated 31 July 2019)」より作成 (参照 2019-12-10)。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。

尾, 韓国 1,071 万尾となっています (図 1D)。

2019 年漁期の日本

サケ

2019 年漁期 (2019 年 8 月～2020 年 2 月) の来遊数 (沿岸漁獲と河川捕獲の合計) は 1 月 10 日現在で 1,971 万尾, 前年同期比 66.2%となっており, 近年で最も低い来遊数となり, 引き続き低い水準となっています (図 2)。このうち北海道では 1,756 万尾 (前年同期比 76%), 本州太平洋側では 168 万尾 (前年同期比 28%), 本州日本海側では 47 万尾 (前年同期比 74%) となりました。採卵数は, 1 月 10 日現在で 15 億 5,535 万粒と, 前年同期の 78%となっています。このうち北海道は採卵計画数の 96%, 本州太平洋側では, 採卵計画数の 41%, 本州日本海側では 81%にとどまっています。全国の放流数は計画 (17 億 6,352 万尾) を大きく下回る見込みです。

カラフトマス

カラフトマスは 2 年で回帰するため, 偶数年級と奇数年級で異なる繁殖集団を形成していると考えられます。主産地の北海道における来遊数の動向を見ると, 偶数年級の来遊数は 2016 年に増加し, 昨年はやや減少したものの, 683 万尾が回帰しました。しかしながら, 奇数年級は 2007 年以降減少傾向を示しており, 2019 年漁期 (2019 年 7 月～11 月) は 94 万尾 (前年比 14%) と, 1983 年以降で最低の来遊数となりました (図 3)。採卵数は 1 億 2,777 万粒で計画数の 74%となっており, 放流数も計画 (1 億 3,840 万尾) を大きく下回る 1 億尾ほどになると見込まれます。

サクラマス

2019 年漁期の北海道における河川捕獲数は 8,990 尾 (前年度比 68%) となり, 2000 年以降の来遊数平均の 90%弱となりました。地域別には, えりも以西海区では前年比 158%と増加しましたが, オホーツク海区, 日本海区, 根室海区では前年比を下回りました。採卵数は 677 万粒で, 採卵計画数の 134%となりました。なお, 2019 年漁期の本州河川捕獲数については現在確認中です (図 4)。

ベニザケ

2019 年漁期の北海道 3 河川 (安平川・静内川・釧路川) における河川捕獲数は 2,197 尾で前年比 280%となりました。この捕獲尾数は平成に入って 2 番目に多い数値となりました。3 河川の内訳としては, 安平川の捕獲数が 2,192 尾を占めており, 静内川が 5 尾, 釧路川が 0 尾となっています。釧路川は 2015 年級, 2016 年級の放流が行えておら

ず, 2017 年級から放流が再開されていますので, 今後の河川回帰に期待したいところです。

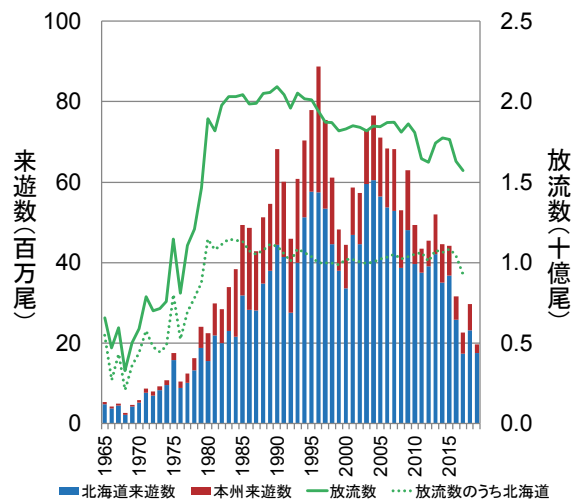


図 2. 日本におけるサケの来遊数と人工ふ化放流数 (2019 年漁期来遊数は 1 月 10 日現在)

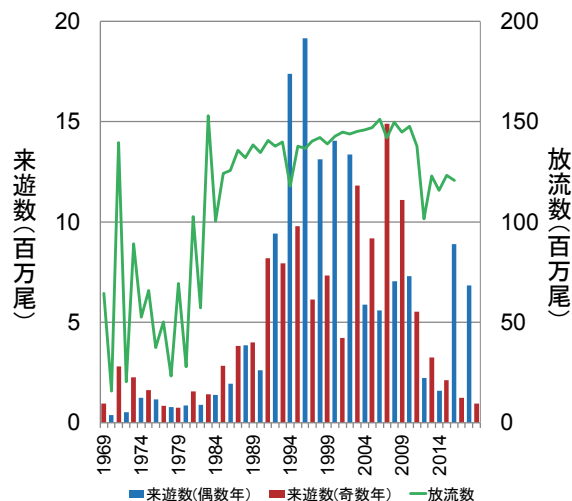


図 3. 日本におけるカラフトマスの来遊数と人工ふ化放流数

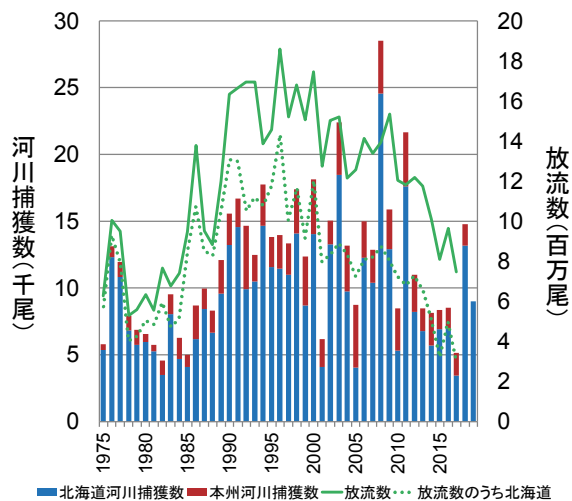


図 4. 日本におけるサクラマスの河川捕獲数と人工ふ化放流数 (2019 年漁期の本州河川捕獲数は確認中)

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(6)

開拓使文書の中から

のがわ ひてき
野川 秀樹 (北海道区水産研究所 客員研究員)

はじめに

これまで、明治期に北海道に設置された開拓使や札幌県(開拓使廃止後の行政機関として札幌県、函館県、根室県が設置される)により作成され、北海道立文書館に所蔵されている文書の中から、北海道の人工孵化放流の黎明期における文書、内村鑑三や伊藤一隆が作成した文書などを紹介してきました。今回は、統一的なテーマに基づくものではなく、開拓使が残した文書(以下「開拓使文書」)を中心に何点か紹介したいと思います。

一石はサケ何尾?

統計資料(北海道さけ・ますふ化放流事業百年史編さん委員会 1988b)によれば、北海道におけるサケ及びマス^{*1}の漁獲数は、明治初めから昭和30年頃までは現在集計に用いられている「尾」ではなく、主に「石(こく)」で集計されています。暦年で比較を行うなど単位を統一する際には多くは、サケ60尾、マス120尾^{*2}を、それぞれ1石として換算が行われています(北海道さけ・ますふ化場 1956, 北洋資源研究協議会 1956)。サケ60尾、マス120尾を1石とするこのような取扱は、いつ頃から行われるようになったのでしょうか。

「単位の辞典」(ラティス 1965)、「単位の歴史辞典」(柏書房 1989)、「度量衡の辞典」(同成社 2006)、「数える・はかる・単位の辞典」(東京堂出版 2017)など単位に関する辞典で、「石」について調べてみると、ほぼ同様のことが書かれており、要約すると、「日本では大宝令(701年)以前から最近まで用いられてきた体積の単位で、1石=10斗=100升=0.180390m³であること、木材では1石=10立方尺に相当すること、また、徳川時代の武士に給与された禄高の単位である。」と記載されています。この中には、サケ、マスは勿論のこと魚に関する記述は見当たりません。

ところが、「改修言泉」(大倉書店 1929)、「大辞典」(平凡社 1979)、「広辞苑」(岩波書店 1991)、「日本国語大辞典」(小学館 2006)などの国語辞典には、サケ、マスを数える際に使用する単位で、

サケは40尾、マスは60尾を1石とすると記載されています。「広辞苑」には「鮭鱒などを数える語。鮭は四〇尾、鱒は六〇尾を一石とする。」とあります。ただ、前述したサケ60尾、マス120尾とは異なる数字となっています。

そこで、サケやマスに関するあらゆる事柄が記述されていることで知られる「鮭鱒聚苑」(水産社 1942)や交易の歴史が記載されている「北海道漁業誌稿」(北水協会 1935)を調べてみました。広辞苑などの国語辞典に見られたサケ40尾、マス60尾に関する記述は見当たりませんでした。サケ60尾、マス120尾に関しては、文化時代(1804~1818年)における松前藩や蝦夷地の海産物の相場、数量の呼び方及び製法を記述した「松前産物大概鑑」に、その記述があることが分かりました。道立文書館に所蔵されている当該図書(北海道郷土資料研究会編 1960)の中から、サケとマスの記述を抜粋しました。

鱒ノ部

- 一 水鱒 直段^{*3} 但百石六百束積リ
一束ト申ハ二十本ニ御座候
百石ニ付金二十七両ヨリ二十五両位
是ハ買人手船ニテ場所表ニテ受取、自分ニテ塩切仕候ヲ水鱒ト唱ヘ売買仕候。
- 一 塩鱒 直段 砂金七匁二分ヲ一兩ト定
此錢四貫三百二十文ニ付
鱒二百五十本位
是ハ場所表ニテ塩切仕候分。如此束数同断百石六百束ノ積リ、数一万二千本ニ御座候。

鮭ノ部

- 一 鮭塩引 直段 場所売百石ニ付金九十両位
但塩引百石ハ三百束、一束ト申ハ二十本ニ御座候。

マスに関しては、買入人が産地で買い取って塩蔵した「水鱒」は、100石(600束、1束が20尾なので12,000尾)当たり25~27両で売買されること、産地で塩蔵された「塩鱒」も同様に、価格

^{*1} サクラマス、カラフトマスなどを合わせたものを「マス」として集計しています。

^{*2} 北海道沿岸の場合です。北洋漁業ではマス1石を160尾などと換算しています(日魯漁業株式会社 1971)。

^{*3} 「直段」とは値段のこと。

は異なるものの 100 石 (12,000 尾) 単位で売買されると記述されています。いずれも、1 石当たりマス 120 尾になります。

サケは、「塩引」が 100 石 (300 束、1 束 20 尾) なので 6,000 尾) 当たり 90 両位で売買されると書かれています。1 石当たりにするとサケ 60 尾になります。このように、北海道では古く文化年間から、サケでは 60 尾を、マスでは 120 尾を 1 石として交易が行われていたことが分かります。

次に、開拓使文書の中にこの関係が分かる文書がないか探して見ました。石狩川のある漁場における塩鮭の生産量を記録した文書「石狩郡鮭場収穫景況ノ件」(開拓使 1880b) に見ることができました。この文書に添付されていた「シヒシヒウス」と称する漁場の明治 12 年の塩鮭の生産量が、石、束、尾数で次のように記述されていました(図 1)。

字シヒシヒウス漁場

一 塩鮭 七百九拾八束貳本
此石 貳百六拾六石三升三合
内
百九拾九束拾壺本 収税済ノ分
貳百七拾壺束九本 東京輸出ノ分
拾六束拾七本 製煉場生拂ノ分
百八拾六束拾八本 第三回輸出ノ分
百五束五本 定期外収穫物地拂ノ分
小計 七百八十束
差引 拾八束貳本 現在追テ売却可相成分
右之通候也
十二年十二月

内訳の 199 束 11 尾 (収税済ノ分) から 105 束 5 尾 (定期外収穫物地拂ノ分) の合計が 780 束となる計算の過程から、1 束が 20 尾であること、そして、このことから塩鮭 798 束 2 本は 15,962 尾で、これをその総量 266,033 石で除すと、1 石当たりサケ 60 尾となります。

また、北海道庁は明治 19 年 11 月 20 日付けの「官報」(内閣官報局 1886) に石狩川のサケの漁獲状況について、「北海道石狩国石狩川ニ於テ、本年ノ鮭漁ハ、第一期即去ル九月十五日ヨリ去月十五日迄、漁獲ノ数五千四百三石 (一石ハ六十尾トス) 余・・・(以下略)」と報告していますが、その中にも 1 石は 60 尾と記述されています。

このように、サケ 60 尾、マス 120 尾を 1 石とする取扱は、北海道においては古く文化年間には行われていたこと、また、サケ 60 尾に関しては、開拓使や北海道庁においても、サケの生産量の集計に使われていたことが分かりました。

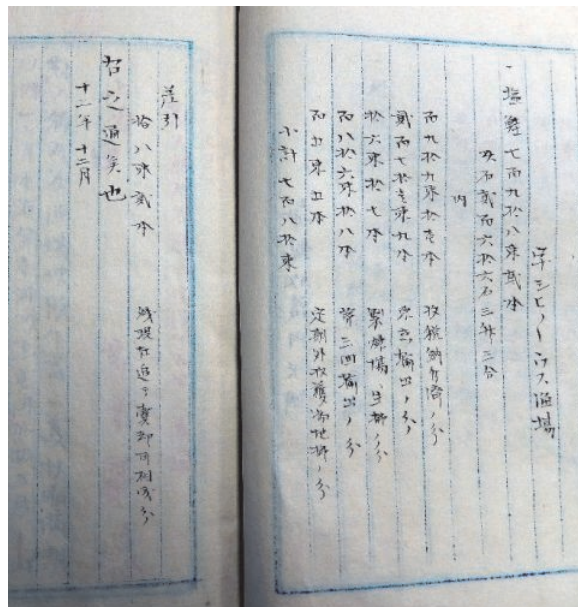


図 1. シヒシヒウス漁場の塩鮭の生産量を記した開拓使文書
※該当部分を抜粋

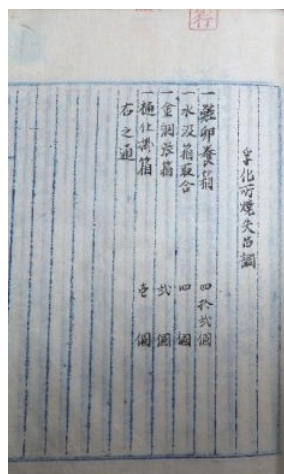
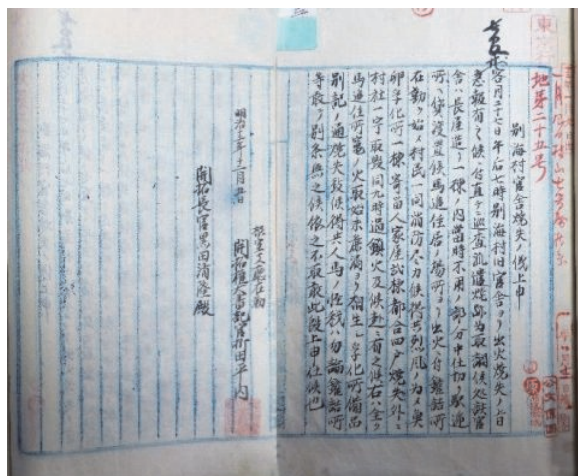


図 2. 別海孵化所の焼失に関する開拓使文書。上図は黒田長官宛の文書で、下図は上図に添付の孵化所の焼失物品の一覧
※上図は合成して作成

官設せし別海孵化所の目的は？

別海孵化所の存在と当該孵化所の焼失については、伊藤（2003）が紹介しています。筆者はそこに紹介されている文書と異なる、焼失に関する文書を目にしましたので紹介します。

それは、「別海村官舎焼失ノ儀上申」（開拓使 1879a）という件名の文書で（図 2）、明治 12 年 12 月 5 日付けで根室支庁在勤の開拓権大書記官折田平内が開拓使長官の黒田清隆に提出した文書です。明治 12 年 11 月 27 日に駅通所⁴⁴に貸していた官舎から出火し、缶詰所の職員や村民一同で消火に努めたものの、烈風のため孵化所 1 棟、家屋 2 棟を焼出し、その他に村社一棟を取り壊したと書かれています。孵化所では鮭卵養箱 42 個、水汲箱取合 4 個、金網張箱 2 個、樋仕掛箱 1 個を焼出しています。鮭卵養箱は孵化槽、金網張箱は孵化した仔魚を浮上するまで管理するために使用されたものと思われます。

別海孵化所が設置された年月日ですが、末武（1960）は、「根室千島両国郷土史」（本条 1933）に「10 月 8 日別海に鮭孵化所を設けて試験せしに翌年 8 月皆死せり」と書かれていることを紹介し、伊藤（2003）はこの末武の文書を根拠に、設置年月日は明治 11 年 10 月 8 日と結論付けています。ところが、当該図書には、正確には「○十月八日 巡査六名を増し十五名を定員とす ▲二十三日 別海に鶏卵孵化所を設け試験せしに翌年八月九日に至り皆死せり」と記述されています（図 3 の左図）。さらに、当該図書の 20 年前に出版され、書きぶりや内容がほぼ同じことから、当該図書が底本にしたと思われる「根室要覧」（近藤 1913）には、「○十月八日 巡査六名を増し十五名を定員とす ▲二十三日 別海に鮭卵孵化所を設け試験せしに翌年八月九日に至り皆死せり」と記載されています（図 3 の右図）。このことから、前者の「鶏卵孵化所」は「鮭卵孵化所」の間違い（読みは同じケイラン）であり、また、別海孵化所の設置は、末武（1960）や伊藤（2003）のいうところの 10 月 8 日ではなく、10 月 23 日が正しいと思われます。

設置場所は、消火に別海缶詰所の職員が尽力したとあることから、孵化所は缶詰所の近くにあったと思われます。缶詰所は西別川河口のすぐ近くに造られました。川のそばに作ることで原料の仕入れに便利なためでした（戸田 2008）。孵化所も人工孵化放流に必要な親魚の確保の観点から、西別川の近くに設置されたのではないかと考えられます。なお、缶詰所は、明治 11 年 7 月 8 日に開拓使が別海（現在の本別海）に設置した官営の缶

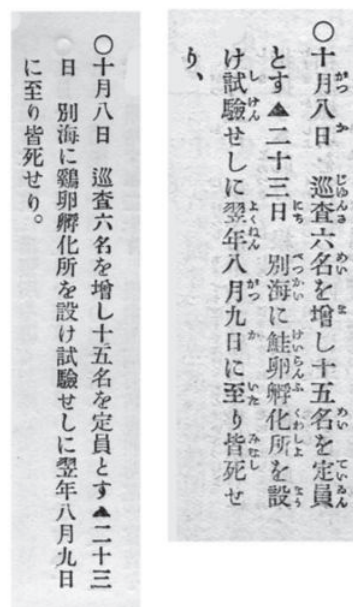


図 3. 左図は「根室千島両国郷土史」、右図は「根室要覧」における別海孵化所に関する記述
※該当部分のみを抜粋

詰所です（戸田 2008）。

ところで、北海道での最初の孵化試験が行われたのは、明治 11 年 1 月の札幌の偕楽園でのことです。そして、同年冬には西別川の上流域で天然産卵のサケ卵の採集が行われ、その一部が育成されています（開拓使 1879c）。育成場所は根室郡の「発足」と称する場所とされていますが（秋庭・末武 1984; 秋庭 1988）、別海孵化所の設置年月日や場所から、何故、卵の採集が行われた西別川河畔にあった別海孵化所で育成は行われなかったのか、育成場所は発足ではなく別海孵化所ではなかったのか、との疑問が浮かんできます。孵化所の取組は「皆死セリ」とあるように思うようには行かず、また、翌年には焼失しているからでしょうか、疑問の解決に繋がる文書は、目にすることはできませんでした。

択捉島ベニザケ卵移殖の新事実

開拓使は明治 12 年に択捉島産ベニザケ卵の偕楽園への移殖を行います。このベニザケ卵移殖は、開拓使第五期報告書（開拓使 1879b）に「択捉産紅鱒ノ卵子四万餘顆ヲ採蒐シテ帰ル途上函館ニ於テ火災アリ逆旅延焼シ卵子火熱ノ害スル所トナル者甚タ多ク遂ニ当场乎化器ニ移シテ発生ノ功ヲ奏セル者僅々一千余顆ニ減却セリ」とあり、函館大火の火熱の影響を受け、大部分が死亡したと記載されています。

また、秋庭・末武（1984）、秋庭（1988）、北海

⁴⁴ 入植者等への馬や宿泊場所の提供、貨物の輸送など重要な交通機関としての役割を担った（北海道庁 1937）。

道さけ・ますふ化放流事業百年史編さん委員会 (1988a) には、択捉島で採卵されたベニザケ卵は発眼まで発足で管理されたこと、函館大火の影響で上昇した運搬箱の温度を下げるための氷が得られず、大半を失ったことが記述されています。

このように記録されているベニザケ卵の移殖ですが、実際に移殖を行った川口祝三が書いた 6 ページに及ぶ詳細な「紅鱒卵孵化媒助法ヲ以テ運送顛末ノ件」と題する報告書 (開拓使 1880b, 図 4) が、開拓使文書に残されていました。報告書には、輸送途中、船便の確保難や積雪などの影響を受けて、多くの死亡が発生したこと、大火の影響については、火熱の直接的な影響ではなく、大火から逃れる際に運搬箱が大きく振動したことで死亡が発生したこと、などが詳述されていました。以下に川口祝三の報告書の中から時系列的に経過の概要を記述します。なお、[] の部分は筆者による注釈です。

《経過概要》

○明治 12 年 6 月、汽船玄武丸号に乗船し根室港を出航。

○7.11: 択捉島振別に到着。

[7.11 は 7 月 11 日の略, 以下同じ。]

○年萌川上流の年萌湖に注ぐ一支流に仮設の孵化場を設置。

[設置月日の記述はありません。]

○9.17~9.24: ベニザケの採卵を実施。採卵数は 7 万粒 (使用した雌は 57 尾)。

○10.24~11.10: この間に全数発眼。発眼までの死卵数は 10,860 粒。残りの 59,140 粒を運搬箱に収容。

○11.11: 孵化場から振別へ輸送 (距離 28 km)。輸送は人力で運搬箱を担いで実施。

○11.20: 汽船函館丸のランネベツ港への回港を知り、急遽午後 8 時に振別からランネベツ港へ向けて出発。途中、路上の積雪が深く、そのために運搬箱が激しく振動し死卵が多く発生。

[報告書に「箱中動揺甚シク損卵又以テ多シ」と記述されています。報告書に書かれていた運搬箱への卵の収容方法 (本稿では省略) から推察すると、振動により卵が一ところに固まり、その内部への通気が悪くなり、窒息が生じたのではないかと考えられます。]

○11.21: 午前 3 時ランネベツ港に到着 (距離 20 km)。直ちに函館丸に乗船。

○11.22: 根室港に到着。

○11.25: 函館港に向けて根室港を出発。

○11.30: 函館港に到着。小樽港への船便を待つて函館港に係留中、12.6 に函館大火に遭遇。火災から逃れるために運搬箱が大きく振動し、そのために死卵が多く発生。

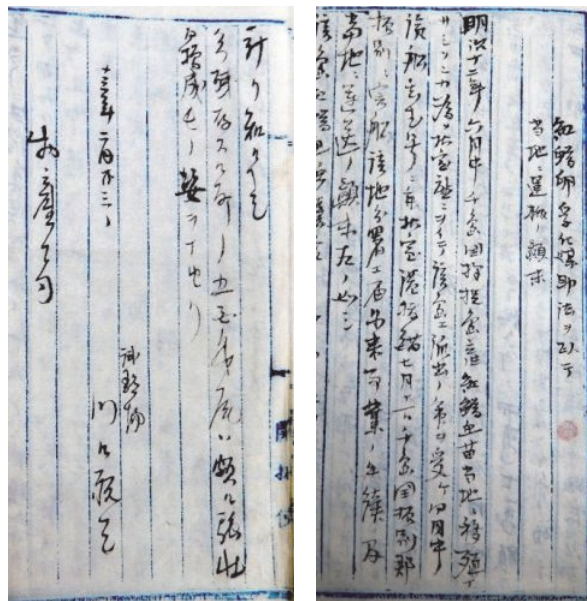


図 4. ベニザケ卵の移殖に関する報告書の冒頭部分(右)と最後のページ (左) ※一部加工して作成



図 5. ベニザケ卵の移殖に関する報告書に出てくる地名と航路。航路は「北海道移住案内」(北海道庁殖民課 1892) 及び「択捉島漁業史」(択捉島水産会 1937) を参考に作図

「急火ナルヲ以テ其運ヒ方尋常ナラス。箱中大ニ動揺ス。損卵ハ計リ知ルヘカラス」とあります。孵化が間近なことから、柔らかくなった卵膜が振動で破けるなどして、死亡が発生したのではないかと推察されます。]

○この後、気温が上昇。卵の温度を下げるための氷が入手できず、清水を注ぐなどして対応。

「是ヨリ生憎季候暖ニ及ヒ、加フルニ氷塊ナキヲ以テ、卵子ヲ納レタルマヽ是ヲ井中ノ中央ニ釣り上ケ又時ニ清水ヲ注キ冷氣ナラシメ、

斯克ナシ事十参日ヲ経テ、汽船玄武丸便ニテ小樽港ニ着シ」と記述されています。]

○12.13: 小樽港に到着。直ちに偕楽園へ輸送。死卵除去後の卵数は約 5 千粒, うち孵化したもの約 500 粒。

「[斯克減少ヲ致セシハ他ナシ。前陳ノ如ク非常ノ難ニ係リ, 加フルニ氷塊ナキ以テ計リ知ルヘシ」と書かれています。]

報告書の終わりに、「今残存スル所ノ五百余尾ハ頗ル強壯日増成長ノ姿ヲナセリ」とあり, 孵化したものは順調に成長していると書かれています。そして, 最後に, 物産局への報告日と報告者の名前が「十三年二月二十三日 試験場川口祝三」とあります (図 4 の左図)。

この詳細な報告書から, これまでの記録の中に, 発眼期まで管理された場所が実は択捉島であったことなど, いくつか誤りがあることが知られました。また, 輸送は開始から到着まで, 当時の道路事情や船便の確保難などから 1 カ月以上を要した非常に困難なものであったことも分かりました。

おわりに

開拓使文書の中から, いくつか紹介しました。別海孵化所は, 当時, 北海道東部の一大サケの遡上河川であった西別川の河畔に設置されたにもかかわらず, 何故か北海道におけるさけ・ます増殖事業の沿革を記述した図書にその名前は登場してきません。官設であることを考えると, 目的があって建てられたのではないかと思われそうですが, 開拓使文書の中にその取組を記述した文書は見当たりませんでした。

ベニザケの移殖に関する詳細な報告書が見つかり, 新たな事実を知ることができました。実際に輸送に携わった者でなければ知り得ない詳細な事実が記述されており, 貴重な報告書と思われます。

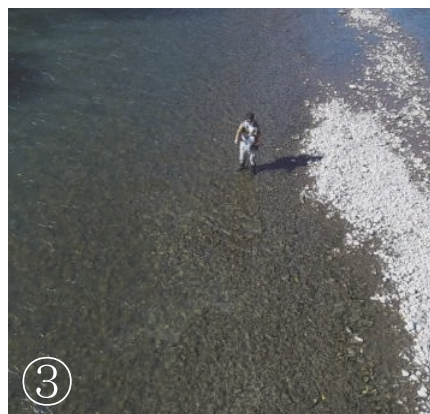
最後に, 資料の閲覧等にご協力をいただいた道立文書館に感謝申し上げます。

引用文献

- 秋庭鉄之. 1988. 鮭の文化誌. 北海道新聞社, 札幌. pp. 75-83.
秋庭鉄之・末武敏夫. 1984. 根室の鮭鱒—ふ化事業の発展—. 北海道さけ・ます友の会, 札幌. pp. 61-63.
択捉島水産会. 1937. 択捉島漁業史. 北海水産新聞社, 函館. 巻頭地図.
北海道郷土資料研究会編. 1960. 松前産物大概鑑. 32 pp.
北海道さけ・ますふ化場. 1956. 北海道沿岸に於ける

鮭鱒漁獲高. 42 pp.

- 北海道さけ・ますふ化放流事業百年史編さん委員会. 1988a. 北海道鮭鱒ふ化放流事業百年史. 北海道さけ・ますふ化放流百年記念事業協賛会, 札幌. p. 133.
北海道さけ・ますふ化放流百年史編さん委員会. 1988b. 北海道鮭鱒ふ化放流事業百年史 統計編. 北海道さけ・ますふ化放流百年記念事業協賛会, 札幌. pp. 1-43.
北海道庁. 1937. 北海道史 第四巻 通説三. 北海道庁, 東京. pp. 766-770.
北海道庁殖民課. 1892. 北海道移住案内 第 2. 北海道庁, 東京. 1 p.
北水協会. 1935. 北海道漁業誌稿. 北海道水産会, 札幌. 874 pp.
北洋資源研究協議会. 1956. 北海道沿岸に於ける鮭鱒漁獲高. 110 pp.
本条玉藻. 1933. 根室千島両国郷土史. 本条寺, 根室. p. 7.
伊藤 繁. 2003. ほっかいどう漁業史再発見. 私家版, 札幌. pp. 195-196.
開拓使. 1879a. 別海村官舎焼失ノ儀上申. 開拓使公文録 本庁上申録 明治十二年自一月至十二月 (道立文書館所蔵, 請求記号: 簿書/5902, 件番号: 3).
開拓使. 1879b. 開拓使第五期報告書 (国立公文書館所蔵, 請求記号: 記 01722100). p. 72.
開拓使. 1879c. 西別川産鮭卵子流出ノ顛末陳述ノ件. 本庁往書 共二冊 明治十二年自一月至六月 (道立文書館所蔵, 請求記号: 簿書/3661, 件番号: 111).
開拓使. 1880a. 紅鱒卵孵化媒助法ヲ以テ運送顛末ノ件. 雑録 明治十三年 (道立文書館所蔵, 請求記号: A4/107, 件番号: 10).
開拓使. 1880b. 石狩郡鮭場収獲景況ノ件. 対雁移民授産書類 明治十二年ヨリ十五年ニ至ル (道立文書館所蔵, 請求記号: 簿書/5185, 件番号: 2).
近藤亀次郎編. 1913. 根室要覧. 市川常陽堂, 根室. p. 198.
松下高・高山謙治. 1942. 鮭鱒聚苑. 水産社, 東京. pp. 259-263.
内閣官報局. 1886. 官報 第 1019 号 (明治 19 年 11 月 20 日). p. 196.
日魯漁業株式会社. 1971. 堤商会の誕生と躍進. 日魯漁業経営史 第 1 巻 (岡本信男編), 水産社, 東京. pp. 21-43.
新村 出. 1991. 広辞苑第四版. 岩波書店, 東京. p. 900.
末武敏夫. 1960. 根室地方鮭鱒ふ化事業沿革, 第 1 集. 魚と卵, 82: 28-34.
戸田博史. 2008. 特別寄稿 開拓使別海缶詰所. 北海道大学大学文書館年報, 3: 43-87.



①旭川市の市街地を流れる石狩川支流の忠別川：奥には大雪山系が見えます。

②1964年に石狩川上流（深川市）に建設された旧花園頭首工（農業用取水堰）：2000年に右岸側，2011年に左岸側に魚道が設置され，上流域へのサケの遡上が可能になりました。

③石狩川支流忠別川での産卵床確認調査：2009年から2011年の3カ年に標識放流試験を行い，2011年の秋から産卵床の確認調査を実施しています。

発行：国立研究開発法人水産研究・教育機構

編集：国立研究開発法人水産研究・教育機構 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 さけます生産技術部 技術課 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：水産研究・教育機構 北海道区水産研究所，北海道大学大学院水産科学院，
土木研究所 寒地土木研究所

SALMON 情報 編集委員会（50音順）

伊藤二美男（委員長），上田周典，川名守彦，楠茂恵一，佐藤恵久雄，高橋昌也，本多健太郎，森田健太郎

本誌掲載記事，図，写真の無断転載を禁じます。
