

# 第 15 回 サケ学研究会 講演要旨集

## Abstracts for the Fifteenth Conference of Salmon Science Society (3S)



日時：2022年12月17日（土）

場所：札幌・大槌・ハイブリッド

Date: December 17, 2022

Venue: Hybrid (Sapporo, Ohtsuchi, Zoom)

# 第15回サケ学研究会プログラム

*The 15th Conference of Salmon Science Society (3S)*

日時：2022年12月17日（土） 13:00 ~ 21:00

場所：ハイブリッド（札幌・大槌・Zoom）

12月17日（土） 昼の部：13:00~17:35, 夜の部：19:00~21:00 （開場：12:15）

13:00~13:05 開会挨拶 佐藤 俊平（資源研）

13:05~13:35 基調講演 「サケに触れずにサケを知る ～環境 DNA の挑戦」  
荒木 仁志（北大・農）

13:35~13:50 岩手県立大槌高高等学校・活動紹介  
「大槌高校はま研究会 サケ DNA 班の活動紹介」

13:50~15:20 一般講演（サケ科学奨励賞候補者講演）

[座長：市村政樹（標津サーモン科学館）]

13:50-14:05 G1\* 日本におけるサケ・サクラマス・カラフトマスの捕食者：レビュー  
○大門純平・長谷川 功・佐藤俊平（水産機構資源研）

14:05-14:20 G2\* 遼上サケ親魚に見られる“ギラ”の特徴に迫る  
○水本寛基・大門純平・小倉裕平・佐橋玄記・渡邊久爾・長谷川功・佐藤俊平  
（水産機構資源研）

14:20-14:35 G3\* サケ稚魚の耳石安定同位体分別の温度依存性解明  
○勾玉暁（東大大海研）・樋口富彦（東大大海研）・飯野佑樹（東大大海研）・  
長坂剛志（岩手水技セ）・清水勇（岩手水技セ）・白井厚太郎（東大大海研）  
・北川貴士（東大大海研）

[座長：塚越英晴（岩手大・農）]

14:35-14:50 G4\* 知床におけるオシヨロコマの遺伝子浸透と第3イワナの生息可能性  
○小澤徹也・神戸崇・荒木仁志（北大院農）

14:50-15:05 G5\* 流域の地形特性は湖河性サケ科魚類の再生産効率を規定するか？  
○山田太平（北大院農）・ト部浩一（道さけます内水試）・  
中村太士（北大院農）

(15:05-15:20 休憩・集計)

15:20~17:05 一般講演（一般演者講演）

[座長：隼野寛史（道総研）]

15:20-15:35 G6 夏季ベーリング海におけるさけ・ます資源生態調査の紹介  
○本多 健太郎・佐藤 智希・佐藤 俊平（水産機構資源研）

15:35-15:50 G7 家魚化によって卵～稚魚期に起こること  
○長谷川功（水産機構資源研）

15:50-16:05 G8 統合プログラム（融和方策）によるサケ資源の増殖と管理に向けて

—釧路川水系での放流・野生サケ集団の統合的管理に向けた取組みの紹介—

○ト部浩一・下田和孝・小亀友也・大磯毅晃（道さけます内水試）

16:05-16:20

G9 オホーツク東部地区におけるサケマス資源回復に向けた取り組み

○宮腰靖之（北見さけます増協）・越野陽介・倉谷京介（道さけます内水試）・佐藤俊平（水産機構資源研）

[座長：笠井久会（北大・水産）]

16:20-16:35

G10 半天然魚のサクラマス幼魚は養殖魚に比べて代謝率が高い

○牧口祐也・河内潤・石井優希(日大生物資源)・八木澤優・佐藤正人(秋田県水産振興センター)

16:35-16:50

G11 心拍数を指標としたサケの代謝速度の推定

○阿部 貴晃・坂本 健太郎・北川貴士（東大大気海洋研）

16:50-17:05

G12 サケ科魚類の受精時に卵内に侵入する細菌量およびその増殖に影響を及ぼす要因の推定

○藤生智大・永田 淳・笠井久会（北大院水）

17:05~17:25

サケ科学奨励賞授賞式および総会

\*総会は研究会会員が対象ですが、非会員のオブザーバー参加は可能です。

\*大会開催時期やテーマについて、ご意見があれば総会で伺います。

17:25~17:35

昼の部・閉会挨拶、写真撮影

19:00~21:00

夜の「さけ」学研究会（オンライン交流会）

「Night PARRty Parrrt 2 ~エキサイティング・フィールド調査、時々サケ学~」

企画者：藤井和也（北大院農/福田水文センター）

演者：木戸結菜（パブリックコンサルタント）、小野拓哉（福田水文センター）、

野表 結（北海道技術コンサルタント）、齋藤義郎（北海道栽培漁業振興公社）、

丸山 緑（明治コンサルタント）

## 基調講演 「サケに触れずにサケを知る ～環境DNAの挑戦」

荒木仁志（北大院農）

サケを含む水圏生物の野外研究では、古くから捕獲数や漁獲量に基づく調査が行われてきた。しかし、種や個体群によっては捕獲が困難であるが故にその生態・動態が不明とされ、人知の及ばないまま局所絶滅のリスクにさらされている場合も少なくない。そこで本講演では河川・湖沼・海の水に含まれる環境DNAを解析することでこの問題を回避し、これまでブラックボックスとされてきた野生生物の実態を明らかにする近年の試みについて紹介する。

我々はこれまでサケ科魚類をはじめとする生物・分類群に特異的な環境DNA検出系を確立し、対象種の分布推定だけでなく移住パターンや生息環境の影響に関する理解まで、様々な時空間スケールでの研究を重ねてきた。その結果、これらの検出系は自然界にごく微量に存在するDNAを高精度に読み取ることが可能であり、それによって数日から経年に至る生物の動態を効果的に推定できることが明らかになってきた。本講演ではこれらの研究成果を共有すると共に、種間相互作用解析や種内多型解析への応用、個体群レベルでの遺伝子発現解析への展開、市民科学に基づく長期広域モニタリングへの昇華などなど、当にこれから起ころうとしている関連分野への急速な発展の可能性と意義、技術的課題について議論したい。

# 一般講演

## 日本におけるサケ・サクラマス・カラフトマスの捕食者：レビュー

○大門純平・長谷川 功・佐藤俊平（資源研）

【背景と目的】サケ科のうち、サケ、サクラマス、カラフトマスといった海面漁業対象種（いわゆる、さけます）では、幼稚魚期（河川－海洋生活初期）までに大半の個体が死亡する。この死亡の直接的な要因はおおむね被食だと考えられており、先行研究では幼稚魚期に受ける捕食圧の増加によって回帰率が変わる可能性も指摘される。一方、未成魚期から成魚期は、一部の大型生物に捕食されることがある。同時期の個体の死亡は、幼稚魚期のそれに比べて、資源・再生産への相対的な影響が大きい。特に小さな河川の、遡上親魚数が少ない個体群では、捕食圧の増加が思わぬ影響をおよぼすかもしれない。これらの理由から、さけますの有力な捕食者の把握は重要な課題である。しかし、日本において、捕食者の知見を生活史を通じて概観した研究はない。本発表では、さけます 3 種の潜在的な捕食者の知見をレビューし、各生活史段階における捕食者の整理と、今後の研究に関する提言を行う。

【結果】サケは、幼稚魚期の河川ではカジカ科 2 種、サケ科 7 種など魚類 12 種に、河口・沿岸ではサケ科 3 種など魚類 12 種および海鳥類 4 種に捕食された。未成魚期の外洋ではネズミザメとミンククジラに、成魚期の沿岸・河川では鰭脚類 2 種とオジロワシに捕食された。

サクラマスは、幼稚魚期の河川ではサケ科 3 種など魚類 4 種およびシマフクロウに、河口・沿岸ではウトウおよびネズミイルカに、成魚期の沿岸ではゼニガタアザラシに、河川（ダム湖を含む）ではオジロワシとミサゴに捕食された。

カラフトマスは、幼稚魚期の河口・沿岸ではサクラマスなど魚類 4 種に、未成魚期の外洋ではネズミザメとミンククジラに、成魚期の河川ではオジロワシに捕食された。

種不明サケ科の幼稚魚もしくは未成魚が北海道沿岸でネズミイルカに、未成魚が北西太平洋と関東－東北沖合でヨシキリザメに、成魚が北日本沿岸域で鯨類 2 種と鰭脚類 2 種に捕食された。また、カラフトマスもしくはサケの成魚が知床の河川でヒグマに捕食された。

【考察】本レビューから、種や生活史段階を限った先行研究では言及できていなかった生活史を通じた捕食者の変遷が明らかになった。知見はサケに偏ったが、3 種とも幼稚魚期はサケ科をはじめ多様な魚類や鳥類に、未成魚期はサメ類や鯨類に、成魚期以降は鰭脚類や鯨類、猛禽類に捕食される点は一致した。一方、孵化放流の現場からよく聞く捕食者が文献には記載されていない場合もあった。また、記載があった捕食者でも、捕食が報告されている地域は、種の分布域のごく一部である場合が多かった。今後、地域ごとの知見を含め、捕食者の実態を詳しく解明するためには、事業者や釣り人に対するアンケート調査や、インターネットを通じた情報収集など「市民科学」の活用が有効かもしれない。また、特定の種が捕食するサケの特徴や量をモニタリングし、環境変動に応じた捕食－被食関係の変化を明らかにすることも重要だろう。

## 遡上サケ親魚に見られる“ギラ”の特徴に迫る

○水本寛基・大門純平・小倉裕平・佐橋玄記・渡邊久爾・長谷川功・佐藤俊平(資源研)

【背景・目的】河川に遡上するサケ (*Oncorhynchus keta*) 親魚は、銀鱗に覆われた海洋生活期の“ギンケ”から、性成熟に伴って深い黄緑色の“ブナ”へと変化する。ところが全身に銀鱗を残したまま河川に遡上し再生産を行う“ギラ”と呼ばれる個体も存在する。ギラは古くから認知されており、千歳川や三面川において性比や遡上時期の偏りなどが報告されている。一方で、これらの報告以外ではギラに関する研究はほとんど行われておらず、ギラに見られる特徴の普遍性やギラの生態学的意義などは明らかになっていない。本発表ではまずサケの未知の領域であるギラについて、先行研究ではどのような特徴が報告されてきたかを共有する。続いてその特徴が普遍的なものなのかを検証すべく北海道静内川で行ったホッチャレ調査について、現在までの速報をお伝えする。最後にこれらを踏まえて遡上サケ親魚の体色の多様性やその存在意義について議論する。

【材料・方法】調査は2022年9月22日から11月18日まで半月に1回の頻度で全5回、静内川の河口から約4.1 km上流に位置する静内川の分流で行った。調査区間は約500 mとし、区間内のホッチャレを合計153個体(雄: 67個体, 雌: 86個体)収集した。収集したホッチャレはその場で雌雄およびブナかギラかの判別(体色および銀鱗の有無の確認)と写真撮影を行った後に尾叉長を測定し、鱗、組織、耳石、一部個体については胴体の輪切りも筋肉サンプルとして持ち帰った。本発表ではギラの個体数、尾叉長と雌雄、鱗の年齢査定を用いて、ギラ率や雌雄比、残卵のある個体数割合、体長組成や年齢組成を調べた。

【結果・考察】ギラは各調査で少なくとも1個体、5回の調査で合計13個体(ギラ率8.5%)採集され、そのすべてが雌であった。今回得られたギラの年齢組成は2+が2個体、3+が9個体、4+が2個体で、雌のブナの年齢組成と比較したが有意な差は認められなかった。このうち最も個体数の多かった3+を対象にブナとギラで尾叉長を比較した結果、統計的に有意ではないもののギラがわずかに小型である傾向が見られた。これ以外にもギラはブナに比べて残卵がある個体の割合が高く(ブナ: 2.7%, ギラ: 38.5%), 先行研究で指摘された鱗が脱しやすいという特徴も確認できた。一方で同じく先行研究で指摘されたギラの身色の紅さについては本研究では確認できなかった。本研究の結果、先行研究で指摘されたギラに見られる特徴が必ずしも普遍的でないことが明らかとなっただけでなく、残卵がある個体の割合が高いことは本研究で初めて明らかになった。また今回の分析には含めなかったが、本研究ではブナの体色に薄い銀鱗が散在する、両者の中間的な外見の個体(“ラメ”と呼称)も複数確認された。今後は対象河川やギラのサンプル数を増やしつつ、ギラは野生魚率が高いのか、ギラは遺伝するのか、ギラとブナとは異なる機序で生じているのかなどの疑問に取り組んでいきたい。

## サケ稚魚の耳石安定同位体分別の温度依存性解明

○勾玉暁 1・樋口富彦 1・飯野佑樹 1・長坂剛志 2・清水勇 2・白井厚太郎 1・北川貴士 1\*

1. 東大大海研 2. 岩手水技センター

【背景と目的】近年、魚類耳石の酸素安定同位体比 ( $\delta^{18}\text{O}$ ) を分析することで魚類の経験環境が推定することが可能になってきた。耳石に沈着した同位体は終生・死後も変化しないため、概日や周年リズムによって形成される輪紋と対応させることにより、魚類が経験した環境履歴を生活史全体にわたって把握することが可能である。サケ (*Oncorhynchus keta*) 耳石の  $\delta^{18}\text{O}$  を水温計 ( $\delta^{18}\text{O}$  thermometer) としての妥当性を検討するためには、温度別に同位体分別 (海水と耳石の同位体比の違い) と水温の関係を解明する必要がある。本研究では、温度区別に飼育実験を行った個体から得られた耳石を分析し、サケの  $\delta^{18}\text{O}$ -水温換算式を構築した。

【方法】供試用の本種稚魚を岩手県水産技術センターから入手した。飼育期間に成長した耳石成長量を把握するため、飼育実施前に、淡水環境で標本を 10ppm 濃度の Alizarin Complexone 溶液に一晩浸漬させ、耳石を染色し、飼育が始まる時点を特定できるようにした。稚魚を 1 日間海水馴致後、5 温度区 (9, 12, 15, 18, 20°C) で 90 日間の海水飼育を行った。週 1 回の頻度で水を採集し、水の  $\delta^{18}\text{O}$  と溶存無機炭素の  $\delta^{13}\text{C}$  の分析を行った。2 週に 1 回の頻度でサケ稚魚をサンプリングし、体長・体重を記録して -20°C で凍結保存した後、解凍して耳石を摘出した。摘出された耳石を、蛍光顕微鏡と耳石輪紋解析システムを併用して、飼育期間の耳石成長を確認し、微小領域ドリルマニピュレーター (QuickPro) を用いて同位体分析用の成長部位を 3 等分に (核から縁辺へ：中心部, 中間部, 縁辺部) 切削した。得られた耳石と飼育水を、それぞれ同位体質量分析装置 (DeltaV, Thermoscientific) と水同位体分光分析装置 (PiccaroL2120-i) で測定した。

【結果と考察】安定同位体比の分析結果、中心部の耳石  $\delta^{18}\text{O}$  値は中間部および縁辺部と比べて有意に小さかったことから、淡水期間に形成された部位の混入が考えられた。また、飼育水の  $\delta^{18}\text{O}$  値が飼育期間中に大きく変化したこと、9 と 12°C 温度区が結露の影響を受けていることが示唆された。上述の結果により耳石と海水  $\delta^{18}\text{O}$  の分別により、線形回帰分析で以下の耳石酸素同位体分別-温度換算式が得られた。

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{otolith, VPDB}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{seawater, VSMOW}} = -0.186 (\pm 0.010) \times T (^{\circ}\text{C}) + 3.219 (\pm 0.155) (9-20^{\circ}\text{C}).$$

共分散分析をした結果、得られた関係式は本研究の温度範囲内において、先行研究で明らかにされている、同位体平衡で得られたアラゴナイト式との違いがなかったことから、サケ稚魚の耳石は同位体の準平衡状態 (quasi-equilibrium) で沈殿されているものと考えられた。以上より、本換算式は、野外でのサケの経験水温や回遊経路および代謝履歴を復元するための基礎となるものと期待される。



### 知床におけるオシヨロコマの遺伝子浸透と第3イワナの生息可能性

○小澤徹也・神戸崇・荒木仁志（北海道大学農学部・動物生態）

遺伝子浸透とは、交雑個体と親種との戻し交配により一方の種内に他種の遺伝子が混入していくことである。この現象は生物進化に重要な役割を担っており、近年数多くの研究が為されてきた。例えばカナダのレイクトラウトではホッキョクイワナとの mtDNA 浸透により、水温適応能を獲得した可能性が示唆されている。

この現象は北海道の知床半島に生息するイワナ属の一種、オシヨロコマ (*Salvelinus curilus*) でも報告されている。知床半島内河川にはオシヨロコマが優占する一方、近縁種であるアメマス (*S. leucomaenis leucomaenis*) はほとんど生息していない。しかし、アメマス不在の河川においてもアメマス mtDNA の浸透したオシヨロコマが多数生息し、浸透個体の割合（浸透率）は河川間で異なることが知られている。この現象は過去の両種の交雑に由来するものと考えられているが、なぜ知床半島の河川においてのみこの現象がみられ、現在どのような状態で維持されているのかは不明である。

そこで本研究では環境 DNA を用いてハプロタイプを解析し、知床半島河川全域における遺伝子浸透の全容解明を試みた。その結果、捕獲および環境 DNA に基づく推定浸透率の間には非常に強い正の相関があり、環境 DNA のハプロタイプ解析結果からも半島内の河川間において浸透率の大きなばらつきが確認された。また、特に半島東岸の先端河川では浸透率が有意に高いこと、半島全体において低水温河川群の方が高い浸透率となる傾向がみられた。これらの結果から、知床半島内のオシヨロコマにはアメマス遺伝子浸透率の緯度ラインが存在し、水温が浸透率の決定要因の1つである可能性、遺伝子浸透個体は非浸透個体より低水温に適応的である可能性が示唆された。

さらに今回の解析では、微量ながら上記2種とは異なるイワナ属の DNA 配列が検出され、北海道より北方に生息する種の DNA 配列との一致が確認された。また過去の解析結果と合わせると、その配列は北海道のうち知床半島8河川と周辺1河川でのみ検出され、特に知床の数河川では経年的に連続して検出されていることが判明した。以上のことから、知床半島にはオシヨロコマでもアメマスでもない第3のイワナ属 mtDNA を持つ個体（以下、第3イワナ）が生息するはずである。第3イワナの実体仮説として、(1)北方種・迷入個体が知床河川に継続的に遡上、(2)知床オシヨロコマにアメマス以外のイワナ属 mtDNA が浸透、(3)新種、等が考えられる。今後は第3イワナを当該河川にて捕獲し、形態や詳細な遺伝情報を解析する必要がある。

**流域の地形特性は溯河性サケ科魚類の再生産効率を規定するか？**

○山田太平（北大院農）・卜部浩一（道さけます内水試）・中村太士（北大院農）

【背景と目的】生態系サービスの供給や生物群集の形成において重要な役割を担っている溯河性サケ科魚類（以下、サケと呼ぶ）の個体数は、世界の様々な地域で減少している。サケの由来は自然産卵と孵化放流に分かれるが、孵化放流の継続は適応度の低下や野生魚との競争の激化を招き、個体群存続に負に影響する。そのため、自然産卵に基づいた持続可能な個体群管理の実現が重要である。しかし、横断構造物による分断化が世界各地で生じており、サケの自然再生産を制限している。そのため、ダムの改良・撤去などの自然再生活動が必要であるが、闇雲に事業を展開することは費用面から現実的ではない。したがって、再生産効率が高い河川の特徴を明らかにし、優先的に自然再生活動を行なっていくことが重要である。再生産効率は水温などのいくつかの要因によって変動するが、特に洪水による河床攪乱は著しい負の影響を与える。一般的に、河床攪乱の強度は流域地形特性と関連するため、再生産効率は流域単位の不均質性を有しているはずである。そのため、流域地形特性とサケの再生産効率の関係を明らかにすることで、効果的な自然再生産に寄与することができる。そこで本研究では、カラフトマス *Oncorhynchus gorbuscha* を対象とし、流域地形特性（流域平均斜度および stream power）が再生産効率に与える影響を明らかにすることを目的とした。

【材料と方法】知床半島の 10 河川に河口から遡上限界までの調査区間を設けた。2020 年と 2021 年の 8 月から 11 月まで各河川において 7-11 日間隔で遡上数カウントを行った。また、2021 年と 2022 年の 4 月から 6 月まで各河川において 7 日間隔で流下トラップを用いた稚魚の採捕を行った。得られた遡上数と稚魚数をもとに、area-under-the-curve 法を用いて総遡上数と総降下数を算出した。再生産効率の規定要因を明らかにするために、誤差構造を負の二項分布、ランダム効果を調査河川 ID と調査年 ID とした一般化線形混合モデルを用いた。応答変数は総降下数、オフセット項は対数変換した総遡上数とした。説明変数は流域平均斜度、stream power、流域平均最大 24 時間雨量、捕食者密度、秋季平均水温（9-10 月）、冬季平均水温（12-2 月）、春季平均水温（4-5 月）、親魚 1 個体当たりが利用可能な産卵適地面積の 8 つとし、これらのうちのいずれか一つを用いてモデルを構築した。各変数の有意性は尤度比検定をもとに判断した。

【結果および考察】流域平均斜度、stream power、流域平均最大 24 時間雨量のみが有意な変数であり、いずれの変数もカラフトマスの再生産効率に対して負の影響を与えていた。これらの結果は、サケの再生産効率に攪乱が大きな影響を与え、攪乱が再生産効率に与える影響の強さは流域地形特性によって予測可能であることを示唆している。したがって、自然再生産事業は、流域平均斜度や stream power が低い流域において優先的に実施されるべきである。近年の研究によって、気候変動によって洪水の頻度が高まることが予測されており、再生産効率の将来的な低下が懸念される。本研究結果に基づく自然再生産の推進は、気候変動に対するサケ個体群のレジリエンスの向上にも寄与しうる。

## 夏季ベーリング海におけるさけ・ます資源生態調査の紹介

○本多 健太郎・佐藤 智希・佐藤 俊平（水産機構資源研）

【目的・方法】夏季ベーリング海には日本系サケを含む多くのさけ・ます類が索餌のために集まることが知られている。近年日本ではサケの来遊数が低迷しており、同海域における日本系サケのコンディションや資源状況に関する情報を基に、その後の来遊予測に繋げることが期待されている。そのため、水産資源研究所はこれらの情報を得るべく、水産庁の委託を受けて毎年夏に同海域に設定した全 17 定点で表層トロールを中心とした各種モニタリング調査を実施している。本発表ではこれまでの調査結果の概要と徐々に見えてきたことを紹介したい。

【結果・考察】カラフトマスの多くが去った夏のベーリング海ではサケ属 5 種が主に漁獲されるが、サケが毎年約 8 割を占め最も多い。次いでベニザケ（平均 16.4%）、マスノスケ（同 2.4%）と続く。これまでの結果から、サケの CPUE（一曳網当たり漁獲尾数）は年や定点によって変動することがわかってきたが、サケの多寡と表面水温や動物プランクトン生物量との間には明瞭な関係は認められていない。一方で、サケが多く獲れる定点ではベニザケも多い傾向にあり、両種共に北東の陸棚に近い定点に分布が偏る年が多い。さらに、サケ 2 年魚（海洋年齢 1 歳）の CPUE の年平均値と同年の魚体サイズに負の相関が見られ、体サイズが小さい年は肥満度も低い。このことは密度依存の資源状態を反映した結果であると推察される。とは言え、近隣の定点間で CPUE が大きく異なるケースもしばしば見られるため、近年同一定点で複数回曳網する試験を導入して CPUE の変動幅（精度）を調べている。3 年魚については、遺伝解析によるサケの系群識別の結果、日本系と推定された割合とその年の平均 CPUE を掛け合わせた値が翌年日本に回帰した 4 年魚の来遊数と正の相関関係にあることがわかっている。今後も CPUE の高精度化を目指した調査・研究に注力していきたい。

## 家魚化によって卵～稚魚期に起こること

○長谷川功（水産資源研究所さけます部門）

【はじめに】サケ科の野生魚（含、天然魚）は、それぞれの生息環境に適応しつつ個体群を維持していることから、資源の持続利用には不可欠であるとされ、さらには外見の美しさ等の付加価値が見出されることも多い。一方で、ふ化放流事業で生産される種苗や養魚場で継代飼育された魚は、飼育環境に適応する家魚化によって、野外での生残は野生魚に劣ると考えられ、実際に継代飼育サクラマス（いわゆる“池産系”）の放流効果のようにデータで示された例もある。そのため、家魚化対策は、放流効果改善だけでなく資源の持続利用さらには野生魚保全の観点からも必要性が指摘されて久しいが、そもそも家魚化の全容は未だ明らかでない。そのような折、演者はモニタリングデータ分析と形態観察という全く異なるアプローチから関連した研究成果を挙げたので、その概要を紹介したい。

【サケの卵で確認された緯度クラインの経年変化】サケ科の卵サイズ、サイズとトレードオフの関係にある卵数に緯度クラインがみられることは複数種で確認されており、日本のサケにおいても既知であった。Hasegawa et al. (2021)では、日本のサケの卵の緯度クラインが経年変化していることを示し、その原因として家魚化と温暖化の可能性を指摘した。すなわち、日本のサケにとって、野外では北方ほど寒く餌も少ないために稚魚の生残に不利であるため、稚魚を大型でふ化させる必要性から卵も大型であったが、飼育環境下では餌も十分で、生残もよいので卵は小型化させ、むしろ卵数を増やす方が適応的と考えられた。また、北方では、温暖化によって気候が穏やかになることも卵の小型化・多産化に拍車をかけると考えられた。

Hasegawa, K., Okamoto, Y. & Morita, K. (2021) *Ecological Solutions and Evidence* 2: e12107.

【サクラマス（ヤマメ）の継代飼育魚で確認された感丘数の減少】感丘（側線の点々）は、水流を感知する魚類にとって重要な感覚器官で、捕食者回避や餌の探知に関係すると考えられている。Nakae et al. (2022)では、北海道尻別川産と本州多摩川産のサクラマス（ヤマメ）稚魚を用いて、適応的意義は不明ながら総感丘数には個体群間変異があることを示した。さらに、両個体群由来の継代飼育魚では、同じ個体群由来の野生魚と比べて総感丘数が10%程度少ないことを明らかにした。その理由として、捕食者不在で、餌も十分な飼育環境下では、感丘数が少ない個体も生残し、繁殖できる（採卵に用いられる）ことがあるかもしれない。

Nakae, M., Hasegawa, K. & Miyamoto, K. (2022) *Scientific Reports*. 12: 16780.

【まとめ】サケ科の卵や稚魚は、家魚化を通じて野外での生残には不向きな姿に変貌している可能性がある。放流効果が低い種については、家魚化もその一因かもしれない。さらに、家魚化が進んだ魚との交配は野生個体群の存続に悪影響が及ぶ懸念がある一方で、野生魚との交配は家魚化を食い止める手段になるとも考えられる。また、蛇足であるが、環境教育と称した放流イベントでは、継代飼育されたヤマメのように「家魚化した魚」がしばしば用いられる。しかし、「生残の低そうな魚」をわざわざ放流する環境教育は甚だ不可解である。

## 統合プログラム（融和方策）によるサケ資源の増殖と管理に向けて —釧路川水系での放流・野生サケ集団の統合的管理に向けた取組みの紹介—

○ト部浩一・下田和孝・小亀友也・大磯毅晃（道さけます内水試）

### 【背景・目的】

北海道のサケ来遊数（沿岸漁獲数と河川捕獲数の合計）は2004年の6,058万尾をピークに右肩下がり減少し、2017年には1,740万尾にまで低下した。その数は1979年と同程度であり、極めて深刻な状況に直面している。北海道のサケ資源減少には、太平洋系資源の急減が大きく寄与しており、それには海洋環境の変化が強く影響していることが明らかになっている。また、近年急速な発達を遂げている遺伝分野の研究成果によると、ふ化放流事業によるサケの遺伝的特性の変化（劣化）も資源減少の一因として捉える必要性も明らかになってきた。

北海道ではサケ資源の回復に向け、増殖事業団体、行政機関、試験研究機関が緊密に連携し、放流技術の改良（放流時期やサイズの見直し、種苗性の向上等）に向けた取組みが進められている。加えて、オホーツク東部地域（網走市～斜里町）では、増殖事業の持続性向上を目的に、野生サケ・カラフトマス集団の保全・管理に向けた調査も始まった。

このように、危機的な状況にあるサケ資源の回復には、既存の増殖技術の改良に加え、遺伝的特性を劣化させない「新たな」資源増殖・管理技術の開発が必要との認識が高まっている。そのための方法として、私たちは野生集団を活用した資源増殖・管理システム（統合プログラム（融和方策））の構築を提案してきた。具体的には、ウライで捕獲される親魚の一部を上流に放流し自然遡上・産卵させることで一定規模の野生集団を再生する。その継続により、放流集団に野生集団の遺伝的特性が組み込まれる（ウライで捕獲される魚に野生由来の親魚が含まれるようになる）、そのような資源増殖・管理システムの構築を目指そうというものである。

この方法は、オホーツク東部地域や日高地域において、私たちが提案するよりも前から取り組まれてきた。令和2年には釧路川水系においてもウライが撤去され野生集団の再生が始まり、新たな展開を迎えている。この状況に対し、増殖事業関係者からは遺伝的劣化の防止という観点で期待の声が寄せられる一方で、自然遡上の実態が不明な中、仮にふ化場まで遡上する前に自然産卵する魚が多ければ放流用の種卵確保が難しくなるという不安の声も聞かれた。

そこで、私たちは釧路川水系において、サケの自然遡上・産卵の実態を明らかにすることを目的に、2022年秋から調査を開始した。加えて、自然産卵由来および放流由来稚魚の遺伝特性の比較分析も予定している。さらには、2023年春に放流する種苗の全数に耳石標識を施し、放流由来および自然産卵由来のサケの回帰率および集団遺伝特性のモニタリングも予定されている。本発表ではこれらの取組みについてご紹介するとともに、野生サケ集団の管理に不可欠な河川環境の保全・再生についてもグリーンインフラやEco-DRRの観点から情報提供したい。

## オホーツク東部地区におけるサケマス資源回復に向けた取り組み

○宮腰靖之（北見さけます増協）・越野陽介・倉谷京介（道さけます内水試）・  
佐藤俊平（水産機構資源研）

【背景および目的】オホーツク東部地区（斜里町および網走市）は本道でもサケおよびカラフトマスの漁業生産が多い地区であるが、近年は両種の生産量に減少傾向がみられる。資源減少の原因として、海洋環境、放流魚の質などが挙げられるが、海面や海浜域における遊漁による影響も無視できないとの指摘もある。遊漁に関しては資源への影響に加えて、漁港や海浜域での場所取り、ごみ捨てなどマナーの悪さ、漁具被害などから、漁業者や地域住民とのトラブルも多くみられる。また、遊漁者の小型ボートによる海難事故も発生している。これらを背景に、2022年8月よりオホーツク東部地区では網走海区漁業調整委員会指示により、野生魚を含めた資源保護を目的として、海面でのサケの船釣りの禁止区域の設定とライセンス制設定海域の拡大、6河川の河口域での遊漁規制あるいは期間延長が実施された。この6河川の中には、増殖事業により稚魚放流が行われていない河川も含まれる。これら遊漁規制の効果を検証するため、同地区の各河川へのサケ、カラフトマスの遡上数、海浜域における遊漁による釣獲尾数の調査を関係機関が共同で実施している。本発表ではその概要を紹介する。

## 【方法】

- 1) 2022年8月から、オホーツク東部地区を流れる19河川に調査定点を設定し、毎月1~3回の頻度でサケおよびカラフトマスの目視による計数を実施した。
- 2) カラフトマスの放流効果を検証するため、21河川に遡上した親魚の耳石を採集し、耳石に施された標識の有無を確認した。
- 3) 海浜域における遊漁によるサケおよびカラフトマスの釣獲尾数を調べるため、毎旬2回、網走市から斜里町にかけての遊漁者数をカウントするとともに、遊漁者一人あたりの釣獲尾数を調べた。

上記の各項目についての現地調査は、斜里町役場、網走市役所、ウトロ漁業協同組合、斜里第一漁業協同組合、網走漁業協同組合、西網走漁業協同組合、北見管内さけ・ます増殖事業協会の職員および役員計25名、さけます・内水面水産試験場が分担して実施している。

【結果および考察】1) 2022年は同地区へのサケの来遊は最近としては好調で、カラフトマスは極端な不漁の年であった。調査河川では遡上が非常に少ない河川がある一方、サケ、カラフトマスが多く遡上し、産卵密度が著しく高くなっていた河川もみられた。2) これまで調べたことのない河川でもカラフトマスの耳石サンプルが収集され、現在分析中である。3) 釣獲尾数調査では、9月下旬に遊漁者数および釣獲尾数のピークがみられ、時期により遊漁者が多い場所が変わっていく様子が観察された。

いずれの調査も現在継続中であるが、遊漁による資源利用や各河川への遡上数など多くの知見が集まりつつある。遊漁のルール化や野生魚の保護の重要性は以前から指摘されてきたが、資源減少に応じたライセンス制の設定や既存制度の見直し、増殖事業用の捕獲河川以外での河口規制の設定はこれまでにない動きである。このような取り組みがサケ、カラフトマスの資源管理のために重要かつ効果的な措置であるならば、同地区だけの地域的あるいは一過性のものに終わらせることなく、他地区への拡大や措置内容の強化も検討すべきと考えられる。今年度は地元関係機関が中心となって現地調査を実施しているが、継続的に実施可能な体制、手法、調査内容の精査も重要な課題であり、さらに、調査への科学的な知見の導入と評価が重要と考えられる。

# G10

## 半天然魚のサクラマス幼魚は養殖魚に比べて代謝率が高い

○牧口祐也・河内潤・石井優希(日大生物資源)・八木澤優・佐藤正人(秋田県水産振興センター)

【背景】サケ科魚類を含む多くの魚種は何世代にもわたって家畜化され、種の保存や漁業資源の増強に使用するために孵化場で維持されてきた (Fraser, 2008; Lorenzen et al., 2012)。日本では、孵化場で何世代にもわたって人工繁殖が行われたサクラマス (*Oncorhynchus masou*) が、溪流の個体群を強化するために各地で積極的に放流されている (Morita et al., 2006)。放流事業に用いられる孵化場で家畜化されたサケ科魚類は、自然環境への適応能力が低いいため、野生魚よりも生存率が低いことが報告されている (Araki et al., 2007, 2008; Berejikian & Ford, 2004; McLean et al., 2003)。日本ではこのような天然魚と養殖魚の特性の違いによって生じる放流効果を補正するために、天然魚を父親、養殖魚を母親とする半野生魚の作出が提案されている(水産庁、2018)。この半野生魚は、孵化場魚や野生魚と比較して、環境ストレスに対する生理的反応が中間的である (Solberg et al., 2013)。例えば、タイセイヨウサケ (*Salmo salar*) の自然環境での生存率に関する研究では、半野生魚は野生魚より生存率が低い養殖魚より生存率が高い (Skaala et al., 2012)。しかし、なぜ半野生魚が養殖魚より高い生存率を示すのかについては、まだ多くの未解決の問題が残されている。一つの可能性として、個体の代謝率が挙げられる。個体の代謝率は生息環境におけるヒエラルキーと強い相関が認められている (Metcalf et al., 1995)。そこで、放流によって生息地の魚類密度が高まった場合、放流された養殖魚よりも半野生魚の代謝が高いため半野生魚の階層順位が高くなり、結果として養殖魚よりも半野生魚が自然環境に定着しやすくなるという仮説を立てた。本研究では、野生魚と養殖魚の父母を同じにした半野生魚と養殖魚を人工受精により育成し、幼魚の代謝と遊泳能力について小型遊泳代謝水槽を用いて比較した。

【材料と方法】2018年および2019年に秋田県水産振興センターで飼育されていた養殖魚および阿仁川支流で捕獲した野生魚から採取した配偶子を用いて人工受精を行い、半天然魚および養殖魚の幼魚を育成した。育成した幼魚(2019年:半天然魚7尾、養殖魚7尾、2020年:半天然魚14尾、養殖魚15尾)を用いて代謝および遊泳能力を比較した。幼魚は小型遊泳代謝水槽(Loligo Systems社)で馴致させた後に強制的に遊泳させ、時間経過および速度に伴う酸素消費量を計測した。この実験から、安静時代謝率(以下、RMR)、最大遊泳代謝率(以下、MMR)、移動のエネルギーコストを最小にする遊泳速度(最適遊泳速度、以下  $U_{opt}$ ) および臨界遊泳速度(以下、 $U_{crit}$ ) をそれぞれ解析し、半天然魚および養殖魚で比較した。

【結果・考察】解析の結果、RMR、MMR、 $U_{opt}$  は、養殖魚よりも半野生魚の方が高かった。遊泳能力の指標である  $U_{crit}$  は、2つのグループ間で有意な差はみられなかった。過去の研究から、RMR はヒエラルキーの順位や餌場獲得能力と正の相関があることが報告されており、RMR の高い半野生魚は養殖魚に対して社会的地位が高い可能性がある。RMR は餌の必要量に比例するため、放流先での餌資源を考慮した放流プログラムを計画する必要がある。本研究の結果は、放流事業において放流後に養殖魚よりも半天然魚の生存率が高いことに対する説明の一つになるかもしれない。

## 心拍数を指標としたサケの代謝速度の推定

○阿部 貴晃・坂本 健太郎・北川貴士（東大大気海洋研）

【背景と目的】野外における動物のエネルギー消費量（野外代謝速度）を定量評価することは、動物の行動生態や将来への適応可能性を考察していく上で、基礎的な情報を提供できるが、その推定手法は十分に確立されていない。代謝速度は、血液の循環速度と密接に関連するため、心拍数は代謝速度の指標として有用である。特に、近年の技術革新によって、心拍数の数日～数ヶ月スケールでの記録が可能となり、心拍数は野外代謝速度の指標として期待できるようになってきた。そこで、本研究では、サケの心拍数と代謝速度を同時計測し、両者の相関関係を詳細にすることで、心拍数による代謝速度推定の可能性を模索した。

【方法】2021年12月に甲子川（岩手県釜石市）に遡上したサケ親魚を大気海洋研究所大槌沿岸センター（同県上閉伊郡大槌町）に搬入し、閉鎖型の回流水槽を用いて遊泳実験を行った。サケを回流水槽に封入する前に、背部に心電図記録計（ECG-400DT, Little Leonardo社）を装着し、正負の電極を胸部に留置した。実験水温は8、12、16、20°C（各水温区: n=3）とし、安静時から最大遊泳時、疲労困憊からの回復時の代謝速度を測定した。時系列データの処理にはIgor Pro（Ver. 8.04）を用い、心電図から心拍数の算出にはIgor Proの解析パッケージである"ECGtoHR"を用いた。全ての統計解析はR（Ver. 4.1.2）で行い、AIC（赤池情報量基準）とBIC（ベイズ情報量基準）によりモデルを選択した。

【結果と考察】心拍数を説明変数、個体差に由来する変量効果をランダム切片とした線形混合モデルにより代謝速度を推定した。心拍数の変化が緩やかな安静時では代謝速度をうまく推定できたが、最大遊泳時のような心拍数が急上昇する時間区間では当てはまりが悪かった。このことから、心拍数が緩やかに変化する時と急変化する時では、心拍数と代謝速度の相関関係は異なり、心拍数の変化量に伴って代謝速度の変化量が変わる可能性が考えられた。そこで、心拍数の変化量が代謝速度に及ぼす影響を具体的に考えるために、両者の単位時間あたりの変化量を比較したところ、心拍数が急上昇した際には、代謝速度は安静時の変化量から予測されるよりも大きく上昇していた。実際に、心拍数が急上昇した時とそれ以外で場合分けをして、代謝速度を推定すると、当てはまりがよくなった。以上の結果より、代謝速度は、心拍数の時系列データから一定の範囲で推定可能であること、推定精度を上げるには心拍数の変化量を考慮する必要があることがわかった。



## G12

### サケ科魚類の受精時に卵内に侵入する細菌量およびその増殖に影響を及ぼす要因の推定

○藤生智大・永田 淳・笠井久会（北大院水）

【背景および目的】垂直感染とは病原体が親から子へ伝播する現象であり、魚類では卵を介するものである。垂直感染の発生は、サケ科魚類の増養殖現場で依然問題となっており、発生機構の解明および防疫策の確立は重要である。サケ科魚類において、受精環境中の菌濃度が高い場合に卵門から卵内に細菌が侵入することが知られているが、卵への侵入量を定量的に評価した事例は見当たらない。また、卵内に侵入した菌は、菌種により増殖の有無が異なるため、菌侵入箇所である囲卵腔内に何らかの感染防御機構が存在する可能性がある。本研究では、サケ科魚類卵を用いて細菌の侵入量を定量的に評価するとともに、囲卵腔液に含まれる免疫関連物質を調べた。

【材料および方法】サケ *Oncorhynchus keta* およびニジマス *O. mykiss* の未受精卵（各区 30 粒）に滅菌リンゲル液（対照区）または精液（受精区）を加えた。次いで、大腸菌または黄色ブドウ球菌で卵表面を汚染した後、滅菌蒸留水を加えて吸水させ、人為的に卵内感染を誘発させた。卵表面を消毒・洗浄し、選択培地に卵ホモジナイズ液を全量塗抹して生菌数を測定した。また、サケの受精直後・発眼期およびニジマスの受精直後の卵から囲卵腔液を採取し、プロテオーム解析に供した。

【結果および考察】菌種間で侵入菌量および卵内感染率の差は見られなかったが、魚種間ではサケ卵において侵入菌量が有意に高い値となったことから、魚種ごとの卵の吸水量が侵入菌量に関与していることが示唆された。また、ニジマスと黄色ブドウ球菌の組み合わせを除く全ての区において、侵入菌量および卵内感染率が受精により有意に上昇した。このことから、受精時には菌の卵内への侵入が何らかの機構によって増加する可能性が考えられた。囲卵腔液のプロテオーム解析では、免疫関連物質であるリゾチームおよびC型レクチンが同定され、これら物質が菌の生存・増殖を抑制することが示唆された。

2022 年度第 15 回サケ学研究会  
講演要旨集

2022 年 12 月 15 日 発行

発行責任者：会長 佐藤俊平  
発行：サケ学研究会事務局  
北海道大学農学部動物生態  
〒060-8589  
札幌市北区北 9 条西 9 丁目  
TEL: 011-706-3893