

# 第16回 サケ学研究会 講演要旨集

## Abstracts for the 16th Conference of Salmon Science Society (3S)



日時：2023年12月9日（土）、10日（日）  
場所：札幌・ハイブリッド

Date: December 9th-10th, 2023  
Venue: Hybrid (Sapporo, Zoom)

# 第16回サケ学研究会(魚類系統研究会ジョイント大会)

## プログラム

*The 16th Conference of Salmon Science Society (3S)*

日 時: 2023年12月9日(土) 13:30-10日(日)12:30

場 所: ハイブリッド(札幌・北海道大学大学院環境科学院 & Zoom)

Zoom URL: 参加登録者宛に研究会 Eメールでお知らせします。

- |             |  |
|-------------|--|
| 12月9日(土)    | 特別講演: 13:30-17:00(D201教室、開場13:00)                                  |
| 13:30-13:40 | 魚類系統研究会ジョイント大会 開会挨拶(会長 佐藤 俊平)                                      |
| 13:40-14:20 | 近年の北日本の海洋環境: 海洋熱波と海洋寒波<br>黒田寛(水研機構 水産資源研究所)                        |
| 14:20-15:00 | 水循環モデルを用いた流域地質の違いによる水温の将来予測<br>鈴木啓明(道総研 エネルギー・環境・地質研究所)            |
| 15:00-15:15 | 休憩   |
| 15:15-15:55 | 山地河川において流域地質は Climate-change refugia の形成に寄与するか?<br>石山信雄(道総研 林業試験場) |
| 15:55-16:45 | 総合討論   |
| 16:45-17:00 | 特別講演 閉会挨拶(会長 佐藤 俊平)  |

交流会\* 18:00-22:00 会場: eight Ricefield café(札幌駅北口店)<https://eight-8.owst.jp/>

(\*事前申し込み制)

12月10日(土) 一般講演 9:00-12:35(D101教室、開場 8:30)

9:00-9:10 事務連絡 佐藤 俊平(資源研)

一般講演(サケ学奨励賞候補者講演)

[座長:市村政樹(標津サーモン科学館)]

9:00-9:30 G1\* 知床半島沿岸域の水温躍層がシロザケ遊泳パターンに与える影響

○李心怡・山口紘(北大環院)・白川北斗・佐藤信彦(水産資源研究所)・  
宮腰靖之(北見さけます増協)・南憲吏・朱研卉・宮下和士(北大 FSC)

9:30-9:50 G2\* ウトウによるサケ幼魚捕食の年変動およびサイズ選択的な捕食

○大門純平(資源研)・綿貫豊(北大院水)・伊藤元裕(東洋大)・  
越野陽介(道さけます内水試)・藪原佑樹(徳島大)・河口洋一(徳島大)・  
森下匠(資源研)・本多健太郎(資源研)

9:50-10:10 G3\* 真駒内川の落差下流への石積みによる河床の上昇と産卵環境の造成

○中村慎吾(札幌市豊平川さけ科学館)

(10:10-10:30 休憩・集計)

一般講演(一般演者講演)

[座長:隼野寛史(道総研さけます内水試)]

10:30-10:50 G4 サケ野生稚魚の降河生態

○大磯毅晃・下田和孝・卜部浩一・小亀友也(道さけます内水試)・  
齋藤義郎(道栽培公社)

10:50-11:10 G5 千歳川水系ママチ川のブラウントラウト 6. 産卵期および産卵場所選択

○河村 博(北海道立総合研究機構フェロー)

11:10-11:30 G6 TensorFlow を用いた畳み込みニューラルネットワークによるサケ鱗画像の  
年齢査定の試行

○鈴木健吾・多賀悠子・大井邦昭・井上誠章(水産機構水技研水産工学部)

[座長:卜部浩一(道総研さけます内水試)]

11:30-11:50 G7 「バーブエ」によるサケの産卵環境改善の取り組み

○市村政樹・仁科斎・西尾朋高(標津サーモン科学館)・平井敏雄・  
織田美登志(標津漁業協同組合)・平澤勝秋(根室管内さけ・ます増殖事業協会)・

大畑真吾・増田慎司(標津町水産課)・岩瀬晴夫・渡辺恵三(株式会社 北海道技術  
コンサルタント)

11:50-12:10 G8 【Mini Review】海洋環境と回帰時のサケの生理機能

○浦野明央(北大・生命科学院)

12:10-12:30 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。

12:30-12:35 閉会挨拶、写真撮影

# 特別講演

## 近年の北日本の海洋環境: 海洋熱波と海洋寒波

黒田寛

(水研機構 水産資源研究所)

2010年代中盤以降、全球平均表面気温の上昇が再加速をはじめ、その年平均値は毎年のように観測史上最高を更新している。一方、地球上のある場所では、地球温暖化にもかかわらず、気温の低下が観測されることもある。同様の現象は海水温についても観測されている。本講演では「海洋熱波」「海洋寒波」の観点から、主に、近年の北日本周辺太平洋海域の海洋環境を概説する。

気象庁による日別海面水温客観解析値(MGDSST, 全球 0.25°格子)を用いて、北海道周辺における1982年以降の季節別海面水温の変化率を見積もった。その結果、夏秋季については北海道周辺全域で顕著な水温上昇がみられ、過去40年間あたりの変化率は+1°C/40年を超える。また、夏季の太平洋道東沖親潮域では+3°C以上/40年の水温上昇も確認される。一方、冬春季については、北海道周辺で顕著な水温上昇が検出されない海域もあり、冬季の北海道太平洋沿岸域では最大-1°C以上/40年の水温低下がみられる。

夏季の太平洋道東沖親潮域での水温上昇については2010年以降に顕在化している夏季の高水温と関係がある。また、この道東沖での高水温は『海洋熱波』として解釈され、典型的には5日~数か月程度継続する海洋の極端現象として理解されている。ただし、その発生要因は一つではなく、(1)1998/1999年以降の温暖レジームの継続、(2)2010年代以降の夏季気温の上昇、(3)夏季霧日数の減少による日射遮蔽効果の減少、(4)黒潮暖水塊の道東沿岸への接近・停滞、(5)夏季を中心とした親潮の弱体化が複合的に作用している。これに加えて、2021年夏の海洋熱波では偏西風の極端な北上を引き金とした大気による海洋表層の急激な加熱や、2023年夏の海洋熱波には黒潮続流の極端な北上が関係しており、大気や海洋の極端現象が海洋熱波という極端現象と関連している。さらにもう一つの要因の可能性として、講演時には対馬暖流の近年の状態についても言及したい。

一方、冬季の北海道太平洋沿岸域で検出された水温低下については、冬季気温の低下に加えて、冬季オホーツク海の風成循環強化との関係が考えられ、『海洋寒波』と呼ばれる極端現象の発生と関連している。冬季のオホーツク海ではオホーツク海をめぐる反時計回りの風が卓越し、これがオホーツク海陸棚域で反時計回り循環流(海流)を形成する。さらにこの循環流によりオホーツク海北部を起源とする極低温・低塩分の水塊が樺太東岸沖を南下し、この水塊が太平洋陸棚域に漏れ出すことで北海道太平洋沿岸域の海面水温を低下させる。この風成循環が2010年代前半に特に強化され、冬季の太平洋道南海域では1980年代に匹敵する低水温が観測された。一方、2016年以降、この循環が弱体化しており、黒潮暖水塊等の影響も加わり、太平洋道南海域では高水温化する冬が多い。

## 水循環モデルを用いた流域地質の違いによる水温の将来予測

鈴木啓明

(道総研 エネルギー・環境・地質研究所)

気候変動に伴い、水環境・水資源分野への様々な影響が予測される。その中には、気温上昇や降水の変化に伴う河川流量及び水温の変化が含まれる。河川水温の変化は、サケ科魚類を含む冷水性種に影響を与えることが懸念されている。

河川水温を左右する要因の一つに、地下水の流入の程度が挙げられる。Ishiyama et al. (2023) は、一般に地下水流入が多いとされる日本の火山岩分布域で、夏期の平均水温が相対的に低く保たれることを報告し、過去の夏期水温と気象要素の関係から、流域地質に応じた将来の河川水温を予測した。一方、流域地質に応じた河川水温をプロセスベースのモデルで推定する手法はなかった。そこで本研究では、流域の地質の違いを考慮できる、プロセスベースの河川流量と水温の推定モデルを開発し、気候変動に伴う水温の将来変化を定量的に示すことを目的とした。

北海道の空知川上流域を対象に、気象要素を入力値として、第四紀火山岩と中生界の2つの地質に応じて流量と水温を推定するモデルを開発した。モデルによる計算結果を観測値と比較した後、将来気候データを用いて、気候変動が進行したIPCC RCP 8.5シナリオにおける21世紀末の予測計算を行った。その結果、複数年にわたる観測値が良好に再現されることが確認され、地下水の流出の寄与が大きい第四紀火山岩分布域では中生界分布域に比べ、将来気候においても夏期の水温が低く保たれ (Suzuki et al., 2022)、日平均水温が20°Cを超える頻度は少ないと予測された。

今後、気象条件との関係を含めて生物への影響を精査することにより、地下水流出量の大きい流域を優先的に保全する必要性の判断など、冷水性種の生息環境の保全・再生に研究成果を活用可能と考えられる。

謝辞：本講演は室蘭工業大学 中津川 誠 教授に指導頂きながら、(地独)北海道立総合研究機構 林業試験場 石山 信雄氏らとともに、国土交通省河川砂防技術研究開発公募 地域課題分野(河川生態)の助成(FY2018~FY2022)を受けて実施した共同研究の成果に基づいています。

### 参考文献

Ishiyama et al. (2023): Underlying geology and climate interactively shape climate change refugia in mountain streams, *Ecological Monographs* 93, 2, e1566.

Suzuki et al. (2022): Climate change impacts on stream water temperatures in a snowy cold region according to geological conditions, *Water* 14, 14, 2166.

## 山地河川において流域地質は Climate-change refugia の形成に寄与するか？

石山信雄  
(道総研 林業試験場)

気候変動の影響を受けづらい地域 (Climate-change refugia) を特定することは、地球温暖化の河川生態系への影響を軽減するための重要な適応策である。しかしこれまで、地下に広がる景観である「地質」が気候勾配に沿ってその形成にどのようなに寄与するかは明らかになっていなかった。

そこで本研究では、まず、火山岩割合 (流域面積に占める火山岩の割合) を地下水涵養量の代替指標として用い、河川生態系における気候勾配に沿った地質の重要性を明らかにすることとした。中部から北海道地方の計 140 の山地河川に気温および水温ロガーを設置し、日本列島の気候勾配に沿って火山岩割合と夏季平均水温との関係を調べた。気候、火山岩割合、河川地形、土地利用など複数の環境要因を用いて夏季平均水温を予測するモデルを作成した結果、夏季平均水温は、特に気候 (気温、降水量) および流域地質の独立効果に加えて、流域地質と気候間の相互作用によって説明された。火山岩割合が増すほど夏季平均水温は低くなっており、その傾向は夏季総降水量が少ない、または夏季平均気温が低い河川ほど顕著であった。この冷却効果は、火山岩が涵養する豊富で冷涼な地下水の影響によってもたらされていると考えられた。

上記のように、数多くある流域内の河川群の中でも火山岩河川が特に冷水環境を提供することが分かってきた。そこで我々は次に、河川生物の分布が、流域地質が作り出す水温パターンと対応するかを調査した。魚類および水生昆虫を対象とした群集解析の結果、火山岩河川は非火山岩河川と比較してより豊富な冷水性種から構成され、明瞭に異なる河川生物群集によって特徴づけられていた。さらに、複数の気候モデルと代表的濃度経路 (RCP) に基づくシナリオ分析により、気候変動下での冷水性種・ハナカジカ (*Cottus nozawae*) の好適な温度域の流域地質に関連した消失パターンが示された。非火山岩河川は、最も排出量の少ないシナリオ (RCP 2.6) のもとでも、本種にとって好適な温度域 (夏季平均: 16.1°C以下) が急速に減少する一方、ほとんどの火山岩河川では、特に低・中排出シナリオ (RCP 2.6, 4.5) において好適な温度域が維持されると予測された。これらの結果は、現在から将来にかけて、火山岩河川が温暖化に頑強な Climate-change refugia として機能することを示唆している。

今回の研究から、流域地質が山地河川間の水温の時空間的なばらつきを生んでおり、流域内でも特に火山岩河川が温暖化時の冷水性魚類の Refugia として機能する可能性があることが明らかとなった。このことから、温暖化下での冷水性種の効果的な保全のためには、標高だけでなく地質の違いに着目して河川ネットワーク管理を行うことが重要だと考えられる。具体的には、生息地として不適になる可能性が高い火成岩以外の河川から Refugia となる火成岩河川への個体の移動を保全・再生する適応策が必要と言えるだろう。



# 一般講演

## 知床半島沿岸域の水温躍層がシロザケ遊泳パターンに与える影響

○李心怡・山口紘（北大環院）・白川北斗・佐藤信彦（水産資源研究所）・宮腰靖之（北見さけます増協）・南憲吏・朱研卉・宮下和士（北大 FSC）

【背景・目的】シロザケは、日本と北太平洋の重要な生態系および経済的な種群であり、知床半島はシロザケの主要な産地の一つである。シロザケの帰巢期において、半島沿岸域では宗谷暖流（SWC）と東樺太海流（ESCW）が強く相互作用し、季節的な冷水水温躍層が形成される。シロザケは水温耐性が狭い変温動物であり、成魚は体温調節のために、海の水温構造に合わせて行動戦略を適応させることが実証されている。そのため半島沿岸域の水温躍層はシロザケの行動パターンを変える可能性があると考えられているが、それについては明らかにされていない。そこで本研究では、水温躍層がシロザケの行動にどのような影響を与えるかを明らかにすることを目的とし、バイオリギング手法を用いたシロザケの鉛直行動の計測および水温との関係について解明した。

【材料・方法】環境調査は2012年9月22~23日、および2013年9月18~19日に実施し、CTD（19plus V2 SeaCAT, SEABIRD）を用いて知床半島西側および東側の水温・塩度を記録した。放流実験は2012年9月3日と2013年9月6日にそれぞれ実施した。放流に用いたサンプル個体はウトロ海域で釣りによって捕獲し、背ビレ基部に穿孔チューブを通し、タイダウストラップでDatalogger（Lat 1400, LOTEK Inc.）を固定した。経験水温と経験深度を1分ごとに記録し、シロザケの遊泳行動を連続的に取得した。また、放流先の環境データもCTDで記録した。水温躍層の有無に基づいてシロザケの経験水温分布・経験深度分布・潜水頻度・水温躍層の通過頻度をそれぞれ比較し、水温躍層がシロザケの行動に与える影響を確認した。

【結果・考察】環境調査の結果、2012年の知床半島西側のみで深度50メートルで水温躍層が確認された。塩分濃度から見て、この水温躍層は宗谷暖流と東樺太海流が交差して形成されたものと考えられた。放流実験の結果、水温躍層が形成されていない海域では、シロザケは主に110メートル以深での遊泳行動が見られた。一方、水温躍層が形成されていた海域では、シロザケの遊泳深度は海面付近と深度210-220メートルの双峰分布となり、水温躍層が形成されていない海域に対して潜水活動は約四分の一に減少し、深度50メートルの通過率も約四分の一に低下した。過去の研究により、急激な水温の低下は、魚類の生理的・健康的な側面に悪影響を与え、極端な場合は死亡に至ることが示されている。2012年の半島西側のシロザケは水温躍層を回避するために行動パターンを変えていた可能性が考えられ、水温躍層がシロザケの行動パターンに影響を与えていることが示された。

## ウトウによるサケ幼魚捕食の年変動およびサイズ選択的な捕食

○大門純平（資源研）・綿貫豊（北大院水）・伊藤元裕（東洋大）・越野陽介（道さけます内水試）・藪原佑樹（徳島大）・河口洋一（徳島大）・森下匠（資源研）・本多健太郎（資源研）

サケは春に河川から降海して、沿岸を滞泳した後（前期幼魚期：尾叉長 50–80 mm）、離岸し、オホーツク海まで回遊する（後期幼魚期：80–120 mm）。この間に、多くの個体は捕食によって減耗するとされる。しかし、後期幼魚期では、具体的な捕食者の知見が乏しく、どのような条件の年に、どんな個体が実際に捕食されているのかは未詳である。私たちは、後期幼魚期のサケの重要な捕食者であるウトウの餌を7年にわたって調べ、1) 餌に含まれるサケの割合の年変動、2) 捕食されたサケの特徴、を調べた。

2014–2019/2023 年の 6 月下旬–7 月中旬に大黒島でウトウから餌（丸ごとの魚）を採集し、個体ごとに種同定、尾叉長、体重を測定した。餌の年変動を調べるため、餌の重量割合を年ごとに算出した。ウトウから採集されたサケ幼魚（以下、捕食幼魚）の特徴を調べるため、大黒島から 30 km 西にある昆布森沿岸（距岸 12 km 以内）で 2014–2019/2023 年の同時期に表層トロールで採集されたサケ幼魚（以下、漁獲幼魚）と比較した。尾叉長が採集法で異なるかを、年をランダム切片とした一般線形混合モデル（LMM）で調べた。次に、同じ尾叉長でもやせている個体の方が捕食されやすいかを、体重を応答変数、採集法、尾叉長、両者の交互作用を説明変数、年をランダム切片とした LMM で調べた。後者の LMM は、尾叉長の大小で傾向が変わる可能性を考えて、各個体を尾叉長 97.1 mm（各年漁獲幼魚の平均の平均）を境に小クラス、大クラスに分けて行った。

ウトウの餌は、2014–2017 年はサケが主だったが、2018 年以降はマイワシが増え、2023 年はカタクチイワシも利用された。LMM の結果、捕食幼魚は漁獲幼魚よりも尾叉長が小さかった。さらに、小クラスの個体は体重によらず捕食され、大クラスの個体はやせている個体の方が捕食されやすい傾向があった。

北海道東部では、マイワシの漁獲量（6–7 月）が 2018 年から急激に増えているほか、カタクチイワシの分布数も 2022 年以降に増加傾向があり（道総研 5–6 月浮魚調査）、ウトウの餌の年変化と一致した。両餌種は、サケよりもエネルギー密度が高く、雛の成長を高める好適な餌である。ウトウは好適な餌が多く存在する場合にはそれらをもっぱら狙うとされており、これらが少ない時にサケを代替の餌として捕食する可能性がある。小型な幼魚や大型でもやせている幼魚は遊泳力が低く、ウトウに捕食されやすいのかもしれない。今回の結果は先行研究で生残個体の特徴から推測された減耗メカニズムを支持する。本研究は、海洋生活初期のサケの捕食減耗について、他の餌魚種の豊度に応じた捕食者側の餌選択を考慮する重要性、後期幼魚期に実際にサイズ選択的な減耗が起きている可能性、を示した。

## 真駒内川の落差下流への石積みによる河床の上昇と産卵環境の造成

○中村慎吾（札幌市豊平川さけ科学館）

札幌市豊平川さけ科学館は豊平川と真駒内川の間位置する施設で、1984の開館以来豊平川やその支流の真駒内川へのサケ稚魚の放流を行ってきている。豊平川での野生魚の割合を増やすために放流数の削減が開始された2016年以降も5~8.5万尾の放流を行っているが、生まれ育ったさけ科学館を目指して遡上してきたサケが産卵できるような環境はあまりない。そのため、放流されたサケのほとんどは回帰後、真駒内川よりも豊平川で産卵しており、野生魚との競合が起こっていることが推測される。野生魚への影響を考えた場合、さけ科学館の近くの真駒内川に放流されて戻ってきたサケが産卵できる環境があることが望ましい。

さけ科学館が位置する辺りの豊平川やさらに上流域では上流に存在するダム群による礫の供給不足のため、河床が低下し、年々、豊平川の滝や支流への遡上が難しくなっている。真駒内川でも下流部に作られた帯工が本流の豊平川の河床低下により、落差が生じており遡河性魚類の遡上障害となっている。サクラマスに比べてジャンプ力の弱いサケはこの落差を飛び越えることが難しく、近年、落差の上ではサケの遡上や産卵がほとんど見られていなかった。特に2020年からは落差の下流のプールの右岸側半分がコンクリートブロックでふさがれたため、これまでになく落差上流への遡上が困難になっていた。

そこで私は2020年の5月頃に真駒内川の落差の約50m下流に巨礫を逆U字の右半分のような形で並べ、巨石よりも上流側の水位の上昇を目指した。巨石は両岸側を開けて設置し、巨石の右岸からも左岸からも遡上ができるようにした。その後の増水の度に巨石を置いた右岸側に礫がたまり河床が上昇したので、2022年11月に右岸側の流れを遮るように巨石を追加し、さらに水位と河床を上昇させた。巨石の上流側に礫が堆積すると落差までの40mほどの区間で産卵環境が造成された。この区間では、サケやサクラマス、ニジマス、アメマスの産卵が確認された。水位が上がったことにより落差下流の右岸側におかれたブロックへのサケの遡上が可能となったため、2023年にはそこへ布式魚道が設置され、久しぶりに落差の上までサケが遡上し、産卵できるようになった。加えて2021年11月の増水で、巨礫を並べた30m下流でも淵、平瀬、早瀬の環境が生じ、平瀬の区間で新たに産卵に適した環境ができた。

巨礫を置いてから3年半が経ち、これまで様々な規模の出水を経験したが、巨礫を置いた上流の区間では産卵に適した環境が現在も保たれている。

真駒内川の落差は近いうちに改修される予定であるが、現在ある産卵環境が残るような方法で改修するように河川管理者との意見交換会では希望を出している。

## サケ野生稚魚の降河生態

○大磯毅晃・下田和孝・卜部浩一・小亀友也（道さけます内水試）・齋藤義郎（道栽培公社）

北海道ではサケ(*Oncorhynchus keta*)の人工ふ化放流事業の急速な拡大により、サケ資源の多くは放流由来（放流魚）であると考えられてきたが、近年北海道内の広範囲で野生魚（親の由来に関わらず自然産卵で生まれた個体）が存在することが明らかとなった。さらに、野生魚がサケ資源に占める割合や、野生魚の存在がふ化放流事業へ正の影響を与えていることが報告されるようになり、野生魚の重要性や価値が注目されてきている。しかしながら、放流魚に関する知見は多く見られる一方で、野生魚の基礎的な生態はほとんど知られていない。

本研究では、野生魚の降河に関する基礎的な知見を得るため、野生魚と放流魚の出現時期及び尾叉長を調べた。調査は北海道釧路川において、下流域（河口から1km上流地点）及び上流域（産卵場所付近）の2地点を対象としてサケ稚魚の採集を行った。下流域では2022年4月中旬から6月上旬、上流域では2023年3月下旬から5月下旬にかけて、旬に1回の頻度で採集を行った。

下流域において、野生魚が初めて出現した4月下旬では、野生魚は放流魚に比べ尾叉長が有意に小さかった。ところが、放流魚は調査期間を通じて尾叉長の大きな変化は見られなかった一方で、野生魚の尾叉長は旬を追うごとに大きくなり、5月下旬には放流魚とほぼ同じ尾叉長となった。一方、上流域では、野生魚の尾叉長は下流域の野生魚と比べ有意に小さく、調査期間を通して変化は見られなかった。

以上より、ほとんどの野生魚は、浮上後速やかに降河を開始しており、降河しながら成長していることが示唆された。また、調査旬ごとの尾叉長の差異は、浮上時期や降河速度の違いによるものかもしれない。

## 千歳川水系ママチ川のブラウントラウト 6. 産卵期および産卵場所選択

○河村博（北海道立総合研究機構フェロー）

千歳川水系ママチ川の外来種ブラウントラウト *Salmo trutta*（以下 BT とする。）の卵巣卵発達および産卵床形成動態を調べ BT 個体群の産卵特性を明らかにすることを試みた。

**材料と方法 卵巣卵発達**：河川残留型卵巣卵の卵径観察に基き産卵期を明らかにするため、2018 年 1 月から 2021 年 3 月にかけて毎月 1~3 回、2022 年と 2023 年は春から秋まで月 1 回、餌釣りで採集した BT 卵巣の前方部分をハサミで切り取り、物差し上で切り分けデジタルカメラで撮影した。卵巣画像を PC により 10~20 倍に拡大して奇形を除く最大卵径を計測した。さらに排卵および排精を示す生殖腺に基き産卵期を推定した。

**産卵床調査**：2010 年 11 月から 2023 年 5 月にかけて 3 組の産卵床調査を実施した。(1) 広域産卵床調査：2010 年から 2019 年のうち 7 シーズンでママチ川流域の BT 産卵床分布を調べるため、10 月から翌年 3 月にかけて月 1 回産卵床の位置と数を目視踏査した。一部の産卵床はその構造を計測記録した。(2) 春季産卵床調査：2020 年から 2023 年の 4 月および 5 月に(1)と同様の方法で旬 1 回産卵床を踏査した。(3) 特定区間調査：2020 年および 2022 年の 12 月から翌 3 月まで中流域に特定区間 (L:760m) を設けて、旬 1~2 回次のとおり調査を実施した。調査項目は、瀬・淵スケールにおける産卵床の形成時期と数、位置、床構造の計測、重複産卵の発生頻度とした。産卵床サイズから産卵 BT の phenotype を分類するため、Cresp (1999) の関係式に基き得たメス推定尾叉長から、FL: 43 cm 以上を降海型、未満を河川残留型（以下残留型。）に分類した。

**産卵場所選択**：産卵床形成を促す外部環境要因を明らかにするため、特定区間調査の瀬・淵スケール毎の床形成頻度および瀬・淵構造と河岸の土地形状の特性を調べた。2023 年 3 月にデジタル水温計により産卵床マウンド内の水温を測定し、ピット底（河床水温）のそれと比較した。

**結果 産卵期**：延べ 11 シーズンの調査から総数 148 の産卵床が見出され、BT 産卵期が 11 月から翌春 5 月までの半年間超継続することが明らかになった。ただし 11 月および 4・5 月の産卵床数は著しく少数であり、これらのメス親魚は残留型とみなせた。特定区間調査からこの流域の産卵期が 12 月 5 日から 3 月 6 日にわたり、産卵期間が残留型および降海型で一致すること、それぞれの産卵盛期が 12 月下旬から 1 月に含まれることが明らかにされた。一方 phenotype による産卵場所の隔離は観察されず、両者による重複産卵の累積頻度は 40.3%（72 床中 29 床）に達していた。

**産卵場所選択**：BT 産卵床は 1 例を除いてすべて平瀬に形成された。瀬・淵スケールの産卵床形成頻度は一様でなく、高頻度の形成が特定の瀬・淵スケールで認められた。これらの瀬・淵スケールでは右河岸に地下水の染み出しや湧出する土地形状が観察された。また瀬・淵スケールの淵構造が深く複雑なことが、親魚のハビタット利用を高めて産卵床形成に関係することが示された。3 月の産卵床マウンド内水温は、河床水温より 0.2~1.8°C 低い値を示した。これらは、BT の産卵場所選択に地下水供給および淵構造が関わることを示している。

**考察**：ママチ川 BT の長期産卵期に関わる要因について、原産地ヨーロッパの産卵期、サケ科魚の繁殖に関わる系統進化およびママチ川の地下水性環境、さらに phenotype 間の産卵場所利用の視点で考察する。

## TensorFlow を用いた畳み込みニューラルネットワークによるサケ鱗画像の 年齢査定の試行

○鈴木健吾・多賀悠子・大井邦昭・井上誠章（水産機構水技研水産工学部）

### 【背景と目的】

魚類の資源管理において、漁獲物の年齢構成は重要な情報である。増殖事業により資源が維持されているサケにおいても、放流魚の生残状況を年級別に把握するために、鱗を用いた回帰親魚の年齢査定が行われており、種苗生産技術や放流手法を検討するための基本情報として用いられている。今日では、サケの回帰状況に対する社会的な関心も高く、水産研究・教育機構ではさけます来遊速報を発表して情報提供を行っているところであり、このような情報提供体制を維持するためにも、年齢査定の省力化・迅速化の技術が求められている。

サケの鱗の画像から年齢を判定するための人工知能については、過去にニューラルネットワークを用いた研究が行われているが、計算時間が膨大となるため実用化には至っていなかった。しかし、近年では、高速化された画像演算素子（GPU）を搭載したパーソナルコンピューターの普及により、画像認識 AI の応用が進み、様々な分野で利用されている。

そこで、本研究では、サケ鱗の画像による年齢査定を、現在の PC および AI 技術で検討し、その実用性について検証することを目的とした。

### 【材料および方法】

研究材料として、2008 年から 2010 年の間に沿岸定置網で漁獲されたサケ 1,898 個体の鱗レプリカ（鱗拓）および年齢査定結果を水産資源技術研究所さけます部門資源増殖部より提供いただいた。鱗画像の取得は、USB カメラを用いた実体顕微鏡と鱗拓の大きさに合わせたスリット照明の組み合わせにより、コントラストの高い撮影方法を検討した。撮影した画像の加工には、画像処理パッケージ OpenCV を用いた。また、画像データと年齢査定結果の突合を行い、各画像データについて年齢によるラベリングを行った。

畳み込みニューラルネットワーク（CNN）のプログラムは、プログラミング言語 Python で記述し、深層学習のライブラリである Keras を用いて作成した。モデルの構造は、第 1 層、第 2 層が ReLU 関数を活性化関数とした畳み込み層とし、第 3 層をプーリング層、第 4 層を全結合層、第 5 層を softmax 関数を活性化関数とした出力層とした。最適化アルゴリズムは Adam を用いた。

### 【結果および考察】

USB カメラを用いて十分明瞭な映像を取得することができた。取得した鱗画像は、画素数を 640×480 ピクセルの画像として保存した。全データの中からランダムに選択した 7 割のデータを使用してネットワークの学習を行い、残り 3 割の画像データを検証データとして年齢を推定した。計算の結果、Epoch 数が 10 程度でネットワークの学習が収束するものの、検証データでの正答率は 6 割を若干上回る程度となり、実用可能な水準には至らなかった。

大西洋サケの鱗を対象とした先行研究においても年齢推定における正答率は必ずしも高くないため、鱗の輪紋判読が難しいのは対象物の輪郭だけでなく、細部の情報を利用する必要があるからかもしれない。画像認識 AI によるサケ鱗画像からの年齢査定の自動化には、まだ解決すべき課題があり、さらなる研究の進展が望まれる。今後は鱗レプリカアーカイブの電子データ化により、蓄積された資料の有効利用を促進する必要がある。

## 「バープエ」によるサケの産卵環境改善の取り組み

○市村政樹・仁科斎・西尾朋高（標津サーモン科学館）・平井敏雄・織田美登志（標津漁業協同組合）・平澤勝秋（根室管内さけ・ます増殖事業協会）・大畑真吾・増田慎司（標津町水産課）・岩瀬晴夫・渡辺恵三（株式会社 北海道技術コンサルタント）

**背景と目的** 「標津町サケマス自然産卵調査協議会」は、標津漁業協同組合、標津サケ定置漁業部会、標津町、根室管内さけ・ます増殖協会、標津サーモン科学館によって2012年に立ち上げた組織である。この協議会の設置目的は、現在のふ化放流事業に加え、自然産卵による漁業資源の増加であり、これまで標津町内5水系で、各河川におけるサケ *Oncorhynchus keta* の自然産卵状況、自然産卵による卵の発眼までの生残率（発眼時生存率）などの調査を行ってきた。その結果、標津川孵化場横を流れるシュラ川（標津川水系武佐川支流）では、産卵場所が孵化場横の直線河道の左岸側に集中しており、発眼時生存率が著しく低いことが確認された。また、ポー川水系伊茶仁川では孵化場（伊茶仁さけます事業所）横の直線河道区間の前後では産卵個体が多数確認されたが、直線河道区間では、均一な浅い瀬が続き、サケの産卵はほとんど確認できなかった。両河川ともに、産卵に適した河床材料はあるものの、1970年代に土地改良事業の整備により河道が直線化されたため、産卵に適した河川形態ではないと推察された。そのため、サケの自然産卵による漁業資源の増加を図る上で、この直線区間の整備が必要であると考えられた。

**材料と方法** 河道が直線化された区間の産卵環境を改善するため「バープエ」による工事を地元の若手漁業者を中心とする協議会メンバーで実施した。「バープエ」は、川の流れに対して、河岸から上流側に向けて突き出して設置する高さの低い水制で、土砂を捕捉し寄り州を形成する工法であり、結果として直線河道内の流路を蛇行させることが可能である。シュラ川（川幅約22m、河床勾配1/150程度）のバープエは、2017年に2基、60m間隔に設置した。バープエの突き出し長は12m、現地の礫を樹脂ネットで包み、木杭で固定した。伊茶仁川（川幅約5m、河床勾配1/250程度）には、2018年に3基、2022年に8基のバープエを約8m間隔に設置した。バープエの突き出し長は2~3m、現地の礫を耐候性土のうに詰め、ネットや木杭等を用いて固定した。

**結果と考察** バープエ設置後は両河川ともに、流路が蛇行し淵と瀬が形成された。シュラ川の直線河道におけるサケの発眼時生存率は、バープエ設置前が22.9%（2012~2016年、毎年N=10）であったが、バープエ設置後には60.0%（2018~2021年、N=6~15）と高くなった。伊茶仁川では、2022年にバープエを8基設置した区間のサケの産卵床数は、0~3箇所（2016~2021年）であったが、バープエ設置後には53箇所（2022年）に増加した。このようにサケの産卵に不適な直線河道内における産卵環境改善には「バープエ」が有効な手段の一つであると考えられる。



## 【Mini Review】海洋環境と回帰時のサケの生理機能

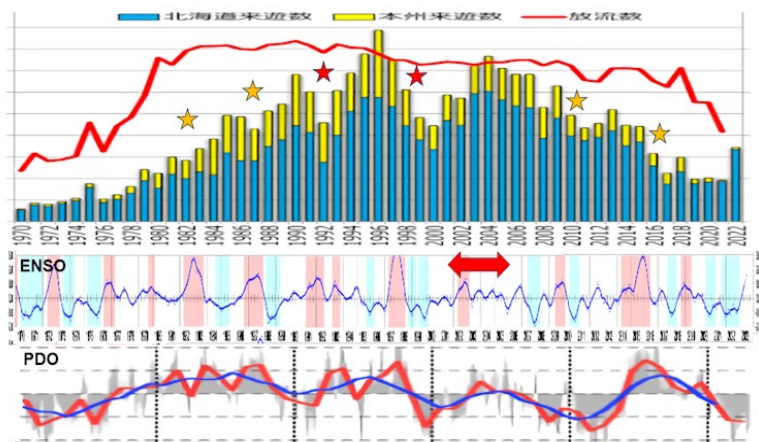
○浦野明央（北大・生命科学院）

【背景・目的】気象庁によれば、今冬はスーパーエルニーニョの発生が予想されている。エルニーニョの発生時には北太平洋の海面水温 (sea surface temperature, SST) が上昇するので、サケ資源さらにはサケの生理機能への影響が懸念される。演者は、1992年から2005年にかけて、SSTから見た沿岸の海洋環境の変動が、回帰時のサケの生理機能、とくに生殖機能と体液浸透圧の調節に与える影響を念頭において研究を進めてきたので、それによって得られた結果がより広範囲な海洋環境の変動、すなわちエルニーニョ南方振動 (ENSO) および太平洋十年規模振動 (PDO) と関係あるか検討してみた。

【材料と方法】生理機能の解析に用いたシロザケは、岩手県の大槌水系および北海道の石狩水系の定点で採捕した雌雄で、採捕時に体長と体重の測定、採血（血中ホルモンおよび塩濃度の定量）、脳と下垂体の液体室素による凍結保存（ホルモンの定量と遺伝子発現の解析）、生殖腺重量の測定と組織標本作製のための固定、肝重量の測定、鱗の採取などを実施した。発表では酵素抗体法により定法にしたがって定量した血中ステロイドホルモン濃度およびNa<sup>+</sup>濃度を、それぞれ生殖機能および浸透圧調節機能の指標として議論を進める。なお、サケの来遊数および海洋環境の変動のデータはそれぞれ水産研究・教育機構と気象庁のホームページによった。

【結果・考察】1970年以降のサケの来遊数を ENSO および PDO と対応させたところ、図に示されるように、来遊数の減少時 (☆) にエルニーニョが発生していること、またそれと合致するように PDO 指数が正の値をとることが示された。

データを取得した1992年から2005年の間で ENSO および PDO の変動が小さく来遊数



も安定していた2001～2005年（図中の赤い矢印部）にかけては、石狩川に溯上した雌雄において、性成熟の経過および性ステロイドホルモンの血中濃度の変化が、年によらず一定のパターンを示した。また、体液浸透圧の調節の指標である血中塩濃度は、5年間、海水域である沿岸で上昇した後は徐々に低下して、汽水域で淡水レベル近くに達していた。この5年間は、SSTの分布から見た沿岸の海洋環境が安定していた。ところがエルニーニョが連続した1992年から1995年にかけての三陸沿岸では、年毎に親潮の到達の様相が異なっていた。沿岸に親潮が到達せずSSTが高かった年に採捕した個体では、SSTが低かった年の個体に比べ、より成熟の進行度が大きく、海水中で成熟してただけでなく浸透圧調節にも変調をきたしていた。ENSOの振動が大きかった1995年から2000年にかけて石狩水系で得られた結果も、沿岸のSSTの変動が、溯上時の成熟の進行や淡水適応などに好ましからざる影響を与えることを示していた。

2023年度第16回サケ学研究会  
講演要旨集

2023年12月3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