

第8回 サケ学研究会 講演要旨集

*Abstracts for The Eighth Conference of
Salmon Science Society (3S)*



日時：平成26年12月21日（日）
場所：北海道大学水産学部
マリンサイエンス創成研究棟

Date: Sunday, December 21, 2014

Venue: Faculty of Fisheries Sciences,
Hokkaido University

2

2

2

2

第 8 回サケ学研究会プログラムおよび要旨集目次

The Eighth Conference of Salmon Science Society (3S)

日時 平成 26 年 12 月 21 日 (日)

場所 北海道大学水産学部 マリンサイエンス創成研究棟 1 階
オープンスペース

午前の部

10:30 開会・会長挨拶 ----- 永田光博 (サケ学研究会会長)

10:35 サケ科学奨励賞について ----- 梶山雅秀

一般講演 進行: 牧口祐也 (日大生物資源)・清水宗敬・工藤秀明 (北大院水)

*はサケ科学奨励賞対象発表

10:40 成熟期のサケ親魚に対する高水温の影響に関する基礎的調査

----- °藤原 真・隼野寛史・宮腰靖之 (さけます内水試)

10:52* カラフトマス雄における鼻曲がりの構造について

----- °木村知彰 (北大院水)・市村政樹 (北大院水・標津サーモン科学館)・
桜井泰憲・工藤秀明 (北大院水)

11:04* 海水中シロザケ親魚における GnRH アナログ投与による嗅覚応答への影響

----- °稲田 薫 (北大水)・大久保 隆 (北大院環)・上田 宏 (北大 FSC)

11:16* シロザケ稚魚の降河回遊に伴うニオイ受容体遺伝子の発現動態

----- °大久保 隆・古川直大 (北大院環)・平間美信 (水研セ北水研)・
上田 宏 (北大 FSC)

11:28* シロザケ稚魚の母川記銘に伴う脳 - 下垂体 - 甲状腺系の分子生物学的研究

----- °古川直大・土田茂雄 (北大院環)・平間美信 (水研セ北水研)・
新居久也 (道栽培公社)・飯郷雅之 (宇都宮大農)・上田 宏 (北大 FSC)

11:40* ω3 混合飼料がサクラマスの脳 - 下垂体 - 甲状腺系に与える影響

----- °中村太朗 (北大水)・片山直紀 (北大院環)・
三坂尚行 (さけます内水試)・上田 宏 (北大 FSC)

11:52* ヒメマスの嗅覚記憶に関与する NMDA 受容体に関する研究

----- °中村慎吾 (北大院環)・山本雄三 (海生研)・稲田 薫 (北大水)・
安達大輔 (北大洞爺)・佐藤信洋 (豊平さけ科学館)・上田 宏 (北大 FSC)

- 12:04* ビワマスとアマゴの鰹グルココルチコイド受容体のホルモンと塩分に対する反応
 ----- °志村遥夏・中嶋拓郎・清水宗敬（北大院水）
- 12:16* シロザケ稚魚のインスリン様成長因子-I と RNA/DNA 比に対する塩分と摂餌状態の影響
 ----- °谷山奈津美・金子信人・稲谷 祐（北大院水）・
 宮腰靖之（さけます内水試）・清水宗敬（北大院水）

12:28～13:15 昼休み

午後の部

一般講演 進行：藤本貴史（北大院水）・卜部浩一（さけます内水試）・
 市村政樹（標津サーモン科学館）

*はサケ科学奨励賞対象発表

- 13:15* ストレス条件下での飼育によるシロザケ稚魚の腸内細菌の変動
 ----- °清水恵子（北里大釜石研）・笠井宏朗（北里大海洋）・
 清水勇一（岩手県水産振興）・森山俊介（北里大海洋）
- 13:27* シロザケの卵膜軟化症発症原因の再考察
 ----- °西川恵介（北大院水）・伴 真俊（水研セ北水研）・
 笠井久会（北大院水）
- 13:39 西別川におけるカワマスの現状
 ----- 春日井 潔（さけます内水試）
- 13:51* サクラマスの海洋生活後期における遊泳行動の変移
 ----- °篠原 陽（北大院環）・宮腰靖之（さけます内水試）・
 白川北斗・宮下和士（北大FSC）
- 14:03* サケ (*Oncorhynchus keta*) 雄の精子節約と雌の体サイズの関係
 ----- °牧口祐也（日大生物資源）・市村政樹（標津サーモン科学館）・
 小島隆人（日大生物資源）
- 14:15 道東の小支流におけるカラフトマスの自然再生産
 ----- 虎尾 充（さけます内水試）
- 14:27 猛禽類によるシロザケ採食と陸域への栄養輸送
 ----- °松本 経・中山恵介（北見工大）・渡辺謙太・
 桑江朝比呂（港湾空港技術研）
- 14:39* 河川内における水生生物のサケ由来栄養塩取り込みに影響する要因
 ----- 越野陽介（北大院水）

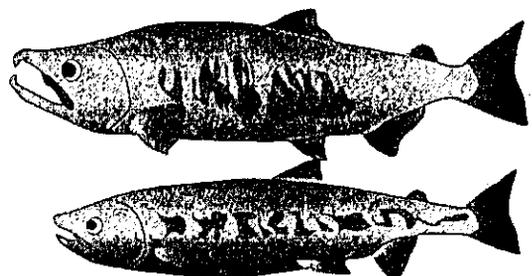
14:51～15:15 休憩（サケ科学奨励賞投票）

特集「サケ属魚類のふ化場魚と野生魚の共存は可能か？」

コンビナー：永田光博

- 15:15 1) 趣旨説明 ----- 永田光博（さけます内水試）
- 2) 日本におけるふ化場魚と野生魚の現状
- 15:25 日本系サケ資源におけるふ化場魚と野生魚の現状把握
----- 佐藤俊平（水研セ北水研）
- 15:45 都市河川における野生サケの回復事例紹介
°有賀 望（札幌ワイルドサーモンプロジェクト・札幌市公園緑化協会西岡公園）
- 16:05 北見管内を中心とする野生サケ調査の事例紹介
----- °卜部浩一・宮腰靖之・佐々木 義隆（さけます内水試）
- 3) ふ化場魚と野生魚の共存の可能性をさぐる
- 16:25 ふ化場魚と野生魚の共存を支援する為の漁業改善計画（Fishery Improvement Project）
----- 村上春二（Ocean Outcomes）
- 16:45 短期的視点からふ化場魚と野生魚の共存の可能性を探る
----- °永田光博・宮腰靖之（さけます内水試）
- 17:05 サケ属魚類のふ化場魚と野生魚の共存は「本当に」可能か？
----- 帰山雅秀（北大国際本部）
- 17:25 4) 総合討論
- 18:00 サケ科学奨励賞授与式，閉会 ----- 永田光博（サケ学研究会会長）
写真撮影
- 19:00 懇親会 ----- 居酒屋「ココ」
函館市昭和4丁目29-8, Tel: 0138-41-2196
(18:45に学部厚生会館前から無料送迎バスが出発します)
☆申し訳ございませんが事前申込者限定です（会費4,500円）

備考：一般演題は，12分間となっております。発表と質疑応答の配分は持ち時間内で自由に設定してください（2分程度は質疑応答に回していただくと幸いです）。



成熟期のサケ親魚に対する高水温の影響に関する基礎的調査

○藤原 真・隼野 寛史・宮腰 靖之(さけます内水試)

背景と目的 近年、本道に来遊するサケの来遊量は低水準で推移しており、さらに来遊時期（9月）の沿岸域での記録的な高水温が来遊時期や漁獲場所に影響を与え、水温の高い地域（日本海）では極端に来遊数が減少した地域もみられる。また、2012年秋には増殖事業現場において採卵時に未熟卵であるにもかかわらず、過熟卵と同様な形態変化（油球分布の異常等）を示すサケ卵が確認され、卵の生残率、すなわち、発眼率の低下がみられた。今後、温暖化に伴い、来遊時期の沿岸域や河川の水温上昇が進んだ場合、サケの増殖事業へどのような問題を引き起こすのか、さらに増殖手法の改善により資源減少への対策を講じることができるかなど、問題点と対応策の検討が必要となっている。そこで、本研究では室内実験によりサケ親魚への高水温の影響を明らかにすることを目的とした。

材料と方法 FRP水槽（2トン）2基のうち、1基を通常水温区、もう一基を高水温区とし、止水条件下で前者は恒温水循環装置、後者はステンレス投げ込みヒーターとデジタル温度コントローラーによりそれぞれ水温を制御し、エアレーションを行った。また、飼育水の水質変化を抑えるため、ろ過材を入れたヘッドタンクを設け、単相ポンプにより飼育水を循環ろ過すると共に、飼育水の一部を毎日交換した。試験は2回実施し、1回目の試験（以下、試験Ⅰ）では9月19日に通常水温区（11℃）へ、9月22日に高水温区（22℃）へサケ親魚雌雄各3尾をそれぞれ収容した。2回目の試験（以下、試験Ⅱ）では10月3日に通常水温区（11℃）へ、10月6日に高水温区（20℃）へ雌雄各3尾をそれぞれ収容した。なお、供試魚は千歳川で捕獲されたサケ親魚（Cブナ）を500Lタンクで活魚輸送した。収容後、適宜、水温、溶存酸素量を測定するとともにパックテストを用いてアンモニア態窒素濃度を測定した。通常水温区と高水温区の雌雄各1尾を用い、4通りの組み合わせで交配した。雌1個体の卵を2等分し、各試験区の雄親魚の精子をそれぞれ媒精した。採卵の際、ザルを載せたボールで体腔液ごと卵を受け、体腔液の温度、pH、液量をそれぞれ計測した。同時に卵の外観も観察した。媒精にはピペットを用い、精子量は1mLとした。雄親魚から採精した精子はタッパに入れ、温度、pHを測定すると共に、運動時間、運動比率（一視野あたりの運動している精子の割合）、スパマトクリットも計測した。得られた受精卵は水槽で管理し、各群の発眼率を調べた。

結果と考察 試験Ⅰでは高水温区の雌親魚が排卵前に全数斃死したが、そのうちの1個体で過熟卵と同様な形態変化を示す卵が確認された。一方、試験Ⅱでは通常水温区の雌親魚3尾と高水温区の雌親魚が2尾排卵し、4通りの交配を2回実施した。各試験区の平均発眼率は、11℃♀×11℃♂（96.6%）、11℃♀×20℃♂（68.1%）、20℃♀×11℃♂（47.4%）、20℃♀×20℃♂（41.4%）であった。11℃♀と20℃♂の交配では11℃♀と11℃♂のそれに比べて発眼率が低く、雄の影響が大きいと考えられた。一方、20℃♀では11℃♂と20℃♂の交配で発眼率に差が認められなかったことから雄の影響は少なく、むしろ、雌の卵質が大きく関与したため、40%台と発眼率が低かったものと考えられた。実際、20℃♀の1個体では過熟様の卵が全卵数の1%程度認められた。20℃の試験区では収容後、3日間で排卵したのに対して、22℃の試験区では5日間でも排卵せず、さらに未熟状態であるにも関わらず、過熟卵と同様な形態変化を示す卵が認められた。これらのことから高水温が卵成熟および排卵に影響している可能性が示唆された。20℃に収容した雌親魚の卵では発眼率にばらつきがみられ、高水温の影響にも個体差があることが確認された。今後、さらに試験データを蓄積するとともに、卵の成熟段階を客観的に評価するため、最終成熟に関与するホルモン量等についても検討が必要と考えられる。

カラフトマス雄における鼻曲がりの構造について

木村 知彰 (北大院水)・市村 政樹 (北大院水・標津サーモン科学館)
・桜井 泰憲・工藤 秀明 (北大院水)

背景と目的 サケ科魚類 (Salmonidae) 雄の第二次性徴として発現する鼻曲がりは、性成熟に伴い吻部が鉤状に伸長し、歯が牙状になる形質である。その構造については、タイセイヨウサケ (*Salmo salar*) の下顎 (カイク) において、歯骨の先端に海綿状および針状の骨組織の付加により伸長することが顕微解剖学的に示されている。サケ属魚類 (*Oncorhynchus* spp.) では、カラフトマス (*O. gorbuscha*) の頭部水平断の肉眼解剖学的観察により、前頭骨、主上顎骨および前上顎骨が伸長し拡張した間隙を軟骨組織が埋めることで上顎が発達すると報告されている。しかしながら、サケ属魚類の鼻曲がりにおける顕微解剖学的観察による構造や形成に関する研究は報告がない。本研究では、カラフトマス雄の鼻曲がりのミクロレベルでの構造と形成機序を明らかにすることを目的とし、第二次性徴の発現度合の異なる個体の吻部を組織化学的に比較した。

材料と方法 供試魚のカラフトマスは、2013年および2014年に採集した以下の1歳雄個体を用いた。①5月に北太平洋西部において採集した外洋未成熟魚、②8月に北海道東部標津町沿岸沖の定置網により漁獲され、軽度の第二次性徴が認められる成熟途上魚、③9月に標津川に産卵遡上し、顕著に第二次性徴を発現した成熟魚。上下吻部組織を10%ホルマリン水溶液またはBouin氏液により固定し、常法に従いパラフィン包埋切片を作製した。一般組織観察には、ヘマトキシリン-エオシン染色、膠原線維の検出にはマッソントリクローム染色および類骨層と骨組織の識別には Ralis の類骨染色を行い、光学顕微鏡による観察を行った。

結果と考察 前上顎骨に内包された吻部の内部には、全ての個体において周囲に小腔が認められる典型的な軟骨細胞およびマッソントリクローム染色でライトグリーン好染される豊富な細胞外基質が認められ、軟骨組織であることが明らかとなった。成熟の進んだ個体ほど、軟骨の細胞外基質の増加が認められたが、細胞活性の高い大型の軟骨細胞は沿岸の成熟途上魚で多数観察された。また、同部位における脂肪様組織は、未成熟魚では観察されたが成熟魚では観察されなかった。下顎歯骨先端内部では、その尾側腹側に成熟個体ほど肥大する海綿状構造が確認され、その海綿状構造は骨細胞および密性の骨基質に特徴付けられる骨組織で構成されていることが明らかとなった。同部位吻側では膠原線維が検出され、成熟魚では海綿状骨組織から吻側に伸長する、より緻密な海綿状構造が観察された。この構造内では、石灰化部位と離れた領域に骨化前線を示す類骨層が認められた。このことから、同組織では急速な骨形成により石灰化が追いつかない、または、遡上時の絶食等による灰分不足を反映した形態であるという2つの可能性が考えられた。以上の結果より、カラフトマスの上顎内部では、脂肪様組織の減少と共に軟骨細胞による軟骨基質の活発な増生が、上顎伸長に関与していると考えられた。一方、下顎内部は、尾側腹側に発達する海綿状骨組織および吻側の膠原線維を有する疎性結合組織から構成されており、海綿状骨組織および緻密海綿状構造の発達が下顎伸長に関与することが示唆された。

海水中シロザケ親魚における GnRH アナログ投与による嗅覚応答への影響

◎ 稲田 薫 (北大水)・大久保 隆 (北大院環)・上田 宏 (北大 FSC)

2

背景と目的 太平洋サケは、稚魚が河川で生まれ海へと降河回遊し、索餌回遊により成長し、親魚が繁殖の為に生まれた河川(母川)へと回帰する。稚魚の降河回遊時に、母川のニオイを記憶し、親魚の遡河回遊時にそのニオイを識別・想起して母川回帰するという嗅覚仮説が広く受け入れられている。近年の天塩川に回帰したシロザケ (*Oncorhynchus keta*) を用いた研究により、降河回遊時および遡河回遊時に変化しない天塩川河川水のアミノ酸組成が母川のニオイ記憶として記憶・識別されることが報告されている。さらに、千歳川に回帰したシロザケ親魚は、石狩川、豊平川、千歳川の河川水を識別できることが示唆されている。一方、太平洋サケの母川回帰には脳-下垂体-生殖腺系ホルモンが重要な役割を演じていることが明らかになっており、特に、生殖腺刺激ホルモン放出ホルモン (GnRH) が主導的な役割を果たすことが報告されている。GnRH は性成熟を促進するばかりでなく、神経修飾物質として作用することも知られており、嗅覚情報処理に関与する可能性が考えられている。しかし、GnRH がどのように嗅覚応答に影響を及ぼすかは不明である。本研究は石狩湾で捕獲された成熟途上のシロザケに GnRH アナログを投与し、河川水への嗅覚応答におよぼす影響を明らかにする目的で行った。

材料と方法 石狩湾で捕獲されたシロザケ親魚雄を実験に用いた。供試魚には GnRH アナログ (300 µg/個体) ペレットとコントロールペレットを筋中投与し、石狩湾の海水入りの生簀において水温管理して畜養した。開始時対照群, GnRH 投与後 24 時間群, 48 時間群, コントロール投与後 48 時間群の 4 群に分け、各 3 個体を用いて石狩川、豊平川、千歳川、千歳ふ化場の 4 種類の河川水を刺激水とし、刺激水に対する嗅覚応答を電気生理学的手法により測定した。嗅覚応答測定は、麻酔と筋弛緩剤により魚体を不動化し、口から海水を灌流させ、鼻孔隔皮を切除し、嗅上皮を露出させ、記録電極を設置し、テフロンチューブから鼻孔へと海水、刺激水、海水の順に刺激し、得られた応答をプリアンプにより増幅させ、Power lab (ADINSTRUMENTS, Japan) を用いてコンピュータ上に記録した。L-セリンによる嗅覚応答を相対値として測定し、相対定量により解析した。

結果と考察 成熟途上の海水中シロザケ親魚における石狩川河川水に対する嗅覚応答は、開始時対象群より GnRH アナログ投与後 48 時間群が有意に増加した。その他の河川水に対する嗅覚応答も、開始時対象群とコントロール投与後 48 時間群に比べ GnRH アナログ投与後 48 時間群に増加傾向が見られた。以上の結果、成熟途中の海水中シロザケにおいて、GnRH は母川水の嗅覚識別能力を向上させる効果があることが示唆された。今後、GnRH が母川水の想起能力に対してどのように影響しているのかの解析が待たれる。

稲田 薫
大久保 隆
上田 宏

シロザケ稚魚の降海回遊に伴うニオイ受容体遺伝子の発現動態

9 大久保 隆・古川 直大（北大院環）・平間 美信（水研セ北水研）・上田 宏（北大 FSC）

4

背景と目的 太平洋サケは、河川水のニオイを嗅ぎ分けて生まれた川（母川）へと回帰するという「嗅覚仮説」が広く受け入れられており、稚魚が降河回遊時に母川固有のニオイを記憶（母川記憶）し、親魚が遡河回遊時にそれを想起し母川回帰していることが先行研究により証明されている。近年の研究により、母川のニオイの指標として各河川に固有なアミノ酸組成が重要であることが報告されている。この母川記憶・母川回帰における河川水のニオイ受容は、嗅上皮に存在するニオイ受容体にて行われており、タイセイヨウサケ属を用いた先行研究により、記憶期に特異的に mRNA 発現量が増加するニオイ受容体が報告されている。シロザケ (*Oncorhynchus keta*) においても同様な作用を示すニオイ受容体が存在する可能性があるが、シロザケではこのようなニオイ受容体は発見されておらず、降海回遊に伴う発現動態の変化も解析されてはいない。よって、本研究ではシロザケ稚魚の降海回遊に伴うシロザケニオイ受容体 SalmOR300-2 mRNA 発現量変化について解析を行った。

材料と方法 本実験には、北海道区水産研究所千歳さけます事業所産シロザケ稚魚の浮上から放流までの 2013 年 1 月～4 月の個体、放流後の第 2 千歳橋・釜加・旧夕張川分岐点・石狩川河口・石狩湾にかけて捕獲された降河回遊中の個体を使用し、嗅上皮における SalmOR300-2 mRNA 発現量をリアルタイム定量 PCR 法により解析を行った。

結果と考察 シロザケ SalmOR300-2 mRNA 発現量は、放流後第二千歳橋にかけて発現量が増加し、石狩川河口から石狩湾にかけて劇的に発現量が増加する傾向が確認された。SalmOR300-2 mRNA 発現量の変化には、降海回遊に伴う脳一下垂体—甲状腺系ホルモン動態の変化が影響を及ぼした可能性が考えられた。また、シロザケ稚魚の降海回遊に伴う SalmOR300-2 mRNA 発現量の増加が、シロザケ稚魚の母川記憶に重要な役割を果たす可能性が示唆された。

シロザケ稚魚の母川記銘に伴う脳-下垂体-甲状腺系の分子生物学的研究

⑨古川 直大・土田 茂雄 (北大院環)・平間 美信 (水研セ北水研)・新居 久也 (道栽培公社)・
飯郷 雅之 (宇都宮大農)・上田 宏 (北大 FSC)

3

背景と目的 シロザケ (*Oncorhynchus keta*) は降河回遊に伴い銀化し、その際に母川固有のニオイを記銘すると考えられている。銀化および母川記銘には、脳-下垂体-甲状腺系ホルモン、その中でも最上流部に位置する甲状腺刺激ホルモン放出ホルモン (TRH) が主導的な役割を果たすことが提唱されている。一方、近年の研究により、記銘にはグルタミン酸受容体のひとつである N-methyl-D-aspartate 型グルタミン酸受容体 (NMDA 受容体) が重要な役割を果たすことが報告されている。しかし、いずれもその詳細は解明されていない。本研究はシロザケ稚魚の母川記銘に伴う脳-下垂体-甲状腺系および NMDA 受容体の変化を明らかにする目的で、シロザケ 0 歳魚を用いて 2013 年度と 2014 年度の 2 ヶ年における脳内の 2 種類の TRH 前駆体遺伝子 (TRHa・TRHb), NMDA 受容体必須サブユニット NR1 遺伝子および NMDA 受容体特性決定サブユニット NR2B 遺伝子の解析を行った。

材料と方法 2013 年度は北海道区水産研究所千歳さけますふ化場産シロザケ稚魚の 1 月から 4 月までの飼育個体を使用し、2014 年度は 4 月の飼育個体を使用した。放流後の個体については兩年とも第 2 千歳橋・釜加・旧夕張川分岐点・石狩川河口・石狩湾にて捕獲された個体を使用した。2013 年度は脳内の TRH a・TRHb および NR1 mRNA 発現量、2014 年度には脳内の TRH a・TRHb, NR1 および NR2B mRNA 発現量をリアルタイム定量 PCR により測定した。

結果と考察 2013 年度の実験では、TRHa mRNA 発現量は 1 月から 4 月にかけて緩やかに増加し、放流直後に最大となり有意差も検出された。一方、TRHb mRNA 発現量は 1 月から 4 月にかけてほとんど変化せず低値を示し、放流直後に激的に増加し最大となった。また、NR1 mRNA 発現量は TRHa・TRHb mRNA 発現量の増加後の釜加から増加し始め、石狩川河口にて最大となり有意差も検出された。2014 年度の実験では、TRHa mRNA 発現量は放流後に緩やかに増加し始め、石狩川河口で一度減するものの石狩湾にかけて激的に増加した。一方、TRHb mRNA 発現量は放流後に第 2 千歳橋から釜加にかけて激的に増加した。また、NR1 および NR2B mRNA 発現量は、放流後に TRHb mRNA 発現量が激的に増加した釜加にて最大となった後、旧夕張川分岐点にかけて劇的に減少し、その後石狩湾にかけて再び激的に増加した。2013 年度と 2014 年度における放流後の TRHb mRNA 発現量の激的な増加については、放流による環境の変化がシロザケ稚魚降河個体の脳-下垂体-甲状腺系に影響を与えたためと推察された。TRHa mRNA と TRHb mRNA が異なる発現動態を示すことについては、2 つの遺伝子は発現局在の違いから転写調節機構や機能が異なる可能性が示唆されており、TRHb 遺伝子の方が水質などの環境要因の変化に対する感受性が TRHa 遺伝子よりも高く発現量に変化が生じることが推察された。また、2013 年度の NR1 mRNA、2014 年度の NR1 および NR2B mRNA 発現量の降河回遊中の増加については、母川記銘期に甲状腺ホルモンが脳の神経細胞の増殖や発達を引き起こすことが報告されており、放流後の TRHb mRNA 発現量の劇的な増加による脳-下垂体-甲状腺系の活性化が NMDA 受容体の増加を引き起こすことが推察された。以上のことより、シロザケ稚魚の母川記銘能は、脳-下垂体-甲状腺系の活性化により NMDA 受容体が活性化し、嗅覚神経機能が高まることにより獲得されることが示唆された。

ω3 混合飼料がサクラマス^⑨の脳-下垂体-甲状腺系に与える影響

⑨中村 太朗（北大水）・片山 直紀（北大院環）・三坂 尚行（さけます内水試）
・上田 宏（北大 FSC）

2

背景と目的 太平洋サケの幼魚は、銀化し海水適応能を獲得して降河回遊をする時に、母川固有のニオイを記憶（母川記憶）すると考えられており、銀化および母川記憶には脳-下垂体-甲状腺系ホルモンが重要な役割を果たすことが提唱されている。一方、ヒトやマウスなどでドコサヘキサエン酸（DHA）が脳の発達や記憶学習能力に高い効果があることが注目されているが、DHA が太平洋サケの記憶に与える影響に関しては未解明である。本研究では、サクラマス (*Oncorhynchus masou*) のスマルトに ω3 混合飼料（α-リノレン酸・エイコサペンタエン酸・DHA を含む ω3 位に炭素-炭素二重結合を持つ脂肪酸）を 2 週間にわたり経口投与し、ω3 混合飼料がサクラマスの脳-下垂体-甲状腺系に及ぼす影響を検証するため、脳内の 2 種類の甲状腺刺激ホルモン放出ホルモン（TRH）前駆体遺伝子（TRHa・TRHb）mRNA 発現量変化の解析を行った。

材料と方法 実験には、洞爺臨湖実験所産サクラマスのスマルト 1 歳魚を供試魚として使用した。ω3 混合飼料（DHA 高比率含有油を餌重量当たり 5% 添加）を 2 週間連続して経口投与を行った。投与開始から 0・7・14 日後に全脳を摘出した後に各部位ごとに分断した。嗅球および視床下部を使用して、脳内の TRHa・TRHb の mRNA 発現量をリアルタイム定量 PCR により測定した。

結果と考察 投与開始から 7 日後に嗅球の TRHa mRNA 発現量が対照群に比べ約 2 倍増加する傾向がみられ、視床下部の TRHb mRNA 発現量も対照群に比べて増加する傾向がみられた。一方、14 日後には嗅球および視床下部の TRHa・TRHb mRNA 発現量はいずれも、ω3 投与群が対照群に比べあまり変化が見られない、またはコントロール群よりも低くなる傾向がみられた。サクラマスのスマルトでは ω3 経口投与から 1 週間後に、脳-下垂体-甲状腺系を活性化させる可能性が示唆された。今後、嗅覚記憶に関連していると考えられている NMDA 受容体必須サブユニット（NR1）遺伝子、下垂体の甲状腺刺激ホルモン遺伝子（TSHβ）の発現量、および血清中の T₃・T₄ 量の解析を進め、ω3 混合飼料がサクラマスの脳-下垂体-甲状腺系に与える影響をより詳細を明らかにしていく予定である。



Oncorhynchus masou

ヒメマスの嗅覚記憶に関与する NMDA 受容体に関する研究

○中村 慎吾 (北大院環)・山本 雄三 (海生研)・稲田 薫 (北大水)・安達 大輔 (北大洞爺)・
佐藤 信洋 (札幌市豊平川さけ科学館)・上田 宏 (北大 FSC)

3

背景と目的 太平洋サケは稚幼魚が降河時に母川のニオイを記憶し、その記憶を頼りに親魚が母川に回帰するという嗅覚仮説が広く一般に知られており、それに関わる数多くの電気生理学および行動学的研究がおこなわれてきた。これまで morpholine などの人工化学物質、およびアミノ酸を用いて太平洋サケのニオイ記憶を行えることが証明されている。一方、記憶には長期増強 (LTP) が関与し、N-methyl-D-aspartate 型グルタミン酸受容体 (NMDA 受容体) が LTP を引き起こすことから NMDA 受容体が記憶のメカニズムに重要であることが明らかにされてきている。魚類においても LTP や NMDA 受容体の関与が報告されており、NMDA 受容体の選択的アンタゴニストである MK-801 の終脳への注射により、金魚において空間記憶の欠損を引き起こすこと、飼育水中に溶かした MK-801 がゼブラフィッシュの記憶を阻害することなどが報告されている。本研究ではヒメマスの嗅覚記憶に関与する NMDA 受容体の作用を調べる目的として、スモルト期にアミノ酸を記憶させた個体に MK-801 を投与し、2年後の成熟期に記憶を行ったアミノ酸への嗅覚応答を調べた。

材料と方法 供試魚には洞爺臨湖実験所産ヒメマス 1 歳魚を用い、2群に分けて 2012 年 5 月に 2 週間、アミノ酸 (Glu+Pro 最終濃度 1 μ M ずつ) に曝露し記憶を行った。各群 50 尾に、記憶阻害群は脂鱗をカットし MK-801 (0.1 μ g/g BW) を 1 日おきに 4 回腹腔内投与し、対照群にはトラウトリンガーを 1 日おきに 4 回腹腔内投与した。記憶後、供試魚を洞爺臨湖実験所の小型円形水槽へ移して飼育し、2年後の 2014 年 10 月に記憶させたアミノ (Glu+Pro 1 μ M) への嗅覚応答 (EOG) を調べた。それぞれの EOG は 10⁻⁴ M L-Ser に対する EOG を用いて相対定量を行い解析した。

結果と考察 EOG 測定まで生き残った個体は各群 3 尾ずつのみであり、対照群には未成熟魚が 1 尾含まれていた。しかし、記憶阻害群においては記憶を行ったアミノ酸への EOG は対照群のものに比べ、有意に低値を示した。このことからヒメマスにおいても NMDA 受容体を介したグルタミン酸作動システムが嗅覚記憶に関与していることが示唆された。NMDA 受容体は必須サブユニットの NR1 および NR2 (A~D) から構成されるヘテロ 4 量体であり、NR2 が NMDA 受容体の特性を決定していると考えられている。刷り込みは鳥類のヒナにおいても見られる現象であり、鳥類においては脳内への甲状腺ホルモンの流入が刷り込みのトリガーとなっていることが報告されている。鳥類における視覚の刷り込みに関与する脳の領域がわかっており、そこへ投射する回路を持つ細胞における NMDA 受容体サブユニットの構成変化 (NR2B から NR2A へ) による神経活動の活性化が刷り込み学習の成立や維持に役立っている可能性が報告されている。今後はヒメマスを含む太平洋サケの嗅覚記憶に関する脳の領域の解明およびそこでの NR2 サブユニットの NR2A および NR2B の局在発現解析などの研究が必要となる。現在、記憶期のベニザケ 1 歳魚を用いて NR1 の局在解析と嗅球・終脳における NR1 および NR2B の遺伝子発現量変化について解析中である。

ビワマスとアマゴの鰓グルココルチコイド受容体のホルモンと塩分に対する反応

志村 遥夏・中嶋 拓郎・清水 宗敬 (北大院水)

背景と目的 サクラマスは、我が国に広く分布するサケ属の一種である。本種には、アマゴやビワマスといった亜種レベルに分化した系群が存在する。アマゴは春ではなく秋に海水適応能を獲得し海へ降る。ビワマスは、琵琶湖水系に長年陸封されたため、海水適応能をほとんど持たないとされている。しかし、海水に適応できない原因は不明である。海水への適応には、鰓の Na^+/K^+ -ATPase (NKA) が重要な役割を持つ。遡河性サケ科魚類では降海時期に NKA が活性化する。NKA は内分泌的には主にコルチゾル (F) と成長ホルモン (GH) による調節を受けており、それぞれグルココルチコイド受容体 (GR) と成長ホルモン受容体 (GHR) を介して作用を発揮する。本研究では、ビワマスとアマゴにおいて GR のサブタイプである *gr1* 及び *gr2* の鰓での発現パターンを比較することを目的とし、降湖・降海時期の *gr* の変化、さらに GH と F 投与と海水移行に対する *gr* の反応を調べた。

材料と方法 供試魚には、滋賀県水産試験場醒井養鱒場で飼育された 0 歳魚のアマゴとビワマスを用いた。両種の降海 (11-12 月)・降湖時期 (5-6 月) をまたぐ期間、毎月鰓を採取し、NKA 活性を測定すると共に *gr1* と *gr2* の mRNA 発現量をリアルタイム定量 PCR 法により測定した。また 5 月に、ブタ GH (8 $\mu\text{g/g}$ 体重), F (40 $\mu\text{g/g}$), GH と F (複合群), または溶液のみ (対照群) を腹腔内に投与し、1 日後および 2 日後の鰓試料を得て同様に発現を解析した。さらに別の実験で、ビワマスとアマゴを 70%人工海水へ移し、移行 1 日後および 5 日後の鰓の *gr1* と *gr2* の mRNA 量の変化を調べた。

結果と考察 アマゴでは降海時期に NKA 活性の増加が見られた。一方、ビワマスの活性は降湖する時期においても増加しなかった。鰓 *gr1* と *gr2* は、両種とも降海・降湖時期において増加しなかった。投与実験の結果、アマゴの *gr1* と *gr2* は、二日目の複合投与群で有意に高くなった。ビワマスの *gr1* は、一日目の複合投与群で対照群に対して低い傾向にあり、*gr2* では、複合投与群で有意差が認められた。また、70%海水へ移したアマゴの *gr1* は、1 日目ではほとんど変化しなかったが 5 日目では増加した。*gr2* では、5 日間かけて徐々に増加した。一方、ビワマスの *gr1* は、5 日間かけて徐々に減少した。*gr2* では、1 日目に増加したが 5 日目では移行前のレベルに戻った。これらの結果から、ビワマスとアマゴでは、鰓グルココルチコイド受容体のホルモンと塩分に対する反応性に違いがあることが示された。このような *gr* の反応性の違いは、陸封型ビワマスと降海型アマゴの海水適応能の違いの一因となる可能性が考えられた。

505 784.12 p. 5 封

シロザケ稚魚のインスリン様成長因子-I と RNA/DNA 比に対する塩分と摂餌状態の影響

谷山 奈津美・金子 信人・稲谷 祐 (北大院水)・宮腰 靖之 (さけます内水試)
 Af
 ・清水 宗敬 (北大院水)

背景と目的 シロザケは、河川で孵化して一定期間を淡水で過ごした後、1年目の春に降海する。この時、シロザケ稚魚は塩分、餌の豊度および水温等の大きな環境変化を経験する。一般に、サケ科魚類はこの海洋生活初期に、成長に依存した減耗を受けると考えられている。したがって、シロザケ稚魚の降海時期の成長状態を把握することはその後の生残を評価する上で非常に重要である。現在、生理学的な成長の指標として RNA/DNA (R/D) 比が一般的に用いられている。また、成長を促すホルモンであるインスリン様成長因子 (IGF)-I も指標になると考えられている。しかし、これらの有用性はシロザケ稚魚では検証されていない。そこで、本研究ではシロザケ稚魚が降海時に経験し得る塩分並びに摂餌状態の変化が R/D 比と IGF-I に及ぼす影響を調べ、各指標の有用性を検討した。

材料と方法 2014年5月に網走川由来のシロザケを北海道大学水産学部水槽センターに搬入し、10°Cの淡水中で1週間馴致した。実験開始時に淡水および海水移行群に分け、後者は1週間かけて100%人工海水に移行した。さらに、それぞれを給餌群と絶食群に分け、計4つの群を設けた。給餌群は1日2回の飽食給餌を2週間行い、対象群は同期間絶食した。サンプリングは飼育0, 1, 2および3週目に各群8個体ずつ行い、各個体の尾叉長と体重を測定した後、血液、肝臓および筋肉を採取した。肝臓および筋肉の R/D 比を蛍光法により測定した。また、血中 IGF-I 量を時間分解蛍光免疫測定法により、肝臓 *igf-1* mRNA 量をリアルタイム定量 PCR 法により測定した。

結果と考察 全てのパラメーターにおいて海水移行による有意な変化は見られなかった。筋肉 R/D 比は海水群において絶食2週目に減少したものの、淡水群では減少せず、塩分と絶食の相互作用が認められた。一方、肝臓 R/D 比は、淡水・海水両群において絶食の1週目に給餌群に比べ75%程、絶食2週目に60%程に減少した。血中 IGF-I 量は、両群において絶食1週目に給餌群の50%程に、絶食2週目に25%程に減少した。また、肝臓 *igf-1* mRNA 量も塩分に関わらず、1週間の絶食で60%程に減少し、2週目には25%程に減少した。以上のことから、肝臓 R/D 比、血中 IGF-I 量および肝臓 *igf-1* mRNA 量は塩分の影響を受けずに魚の摂餌状態を反映すると考えられた。また、これらの絶食に対する反応の違いから、肝臓 R/D 比よりも血中 IGF-I と肝臓 *igf-1* mRNA の方が高感度な成長指標であると考えられた。

1-3g
 10-2g
 210-1g
 → けんえいけい

ストレス条件下での飼育によるシロザケ稚魚の腸内細菌の変動

4冊

○清水 恵子（北里大釜石研究所）・笠井 宏朗（北里大海洋生命）・
清水 勇一（岩手県水産振興課）・森山 俊介（北里大海洋生命）

背景と目的 最近、魚類の腸内細菌が宿主の脂質代謝や腸上皮細胞の分化と再生に関係していることが報告されており、サケ稚魚の腸内細菌が稚魚の健康状態を定量的に示す指標になるのではないかという考えに至った。そこで、サケ稚魚にストレスを与えた場合の腸内細菌の変化について、分子生物学的手法を用いて解析を行った。

材料と方法 飼育デザイン：岩手県片岸ふ化場で飼育されていた稚魚（約 0.6 g）を北里大学三陸キャンパスに移送し、飼育試験に供した。淡水飼育を 26 日間行った後に海水移行させ、さらに、海水飼育を 19 日間行った。淡水生活期におけるストレスとして過密飼育を想定し、岩手県において基準とされている飼育密度 20 kg/m³ 以下を参考に、低密度群を 10 kg/m³、高密度群を 40 kg/m³ と設定した。各試験群について容積 45L の実験水槽を用意し、8℃に調整した淡水を毎分 1.5L でかけ流した。餌はサケ用配合飼料を用い、投餌率は 3%とした。海水生活期におけるストレスとして沿岸滞泳期の生息温度を超える高水温を想定し、適水温群を 8℃、高水温群を 15℃と設定した。淡水飼育終了後、各群から無作為にサケ稚魚を抽出し、各温度に設定した海水試験用水槽に 50 個体ずつ分け入れた。海水飼育の実験水槽は淡水飼育と同型で、水温調整した海水を毎分 1.0L でかけ流し、サケ用配合飼料を 1 日当たり 2 g 与えた。

腸内細菌の分析：淡水飼育終了後に各水槽から 10 個体、海水飼育終了後に各水槽から 5 個体を無作為に抽出して腸を摘出し、個体ごとに DNA を抽出した。抽出した DNA を鋳型にして PCR 法により 16S rRNA 遺伝子の V3 領域を増幅後、DGGE（変性剤濃度勾配ゲル電気泳動法）により分析した。優占的に見られたバンドについては塩基配列を決定し、相同性検索を行った。また、DGGE 分析で優占種として検出された細菌について、16S rRNA 遺伝子を用いた系統解析を行った。

結果と考察 淡水飼育終了後の各群の腸内細菌について DGGE 分析を行った結果、高密度群において、低密度群からはほとんど検出されないバンドが検出された。バンドの塩基配列を決定し、系統解析を行ったところ、*Clostridium* 属細菌であることが分った。海水飼育終了後の各群の腸内細菌について DGGE 分析を行った結果、高水温区において淡水飼育履歴によらず *Mycoplasma* 属細菌が優占種として検出された。一方、適水温区においては、淡水飼育履歴が高密度飼育であった群からのみ *Mycoplasma* 属細菌が検出された。これまでに高密度または注水量不足で飼育した稚魚について、海水移行試験での死亡率の上昇、魚体中の ATP 量の低下が報告されていることから、本研究において高密度区から検出された *Clostridium* 属細菌は、高密度飼育によるストレスによって健康状態が変化した稚魚の腸内に出現したことが考えられた。また、海水飼育期間中、低水温区では死亡個体が確認されなかったのに対し、高水温区においては、淡水飼育履歴が高密度飼育群で 7 個体、低密度飼育群で 10 個体であったことから、高水温区から検出された *Mycoplasma* 属細菌は、高水温によるストレスで健康状態が変化した稚魚の腸内に出現したことが考えられた。今後、サケ稚魚の状態を生化学的に検査し、稚魚の健康状態と *Clostridium* 属細菌、*Mycoplasma* 属細菌の出現の関係を明らかにする。

シロザケの卵膜軟化症発症原因の再考察

○西川 恵介 (北大院水)・伴 真俊 (水研セ北水研)・笠井 久会 (北大院水)

3

背景と目的 卵膜軟化症は、サケ養殖事業における卵期の主な減耗要因の一つである。1927年に西別鮭鱒孵化場において発症例が報告され、その後道内各地での発症が確認された。本病には細菌や水質などの関与が指摘されてきたが、100年近く経過した現在においても発症原因は解明されておらず、発症の程度を表す明確な指標も定められていない。そこで本研究では、サケ卵を様々な条件で管理し、本病の発症状況を比較して発症要因を推定するとともに、発症確認のための数値的基準を設定することを目的とした。

材料と方法 平成25年度に、北海道区水産研究所A事業所で雌雄一対のシロザケ (*Oncorhynchus keta*) の受精卵を得、A事業所および本学環境制御実験棟 (以下、北大) に収容した。A事業所には未受精卵の区も供試した。それぞれの収容場所において積算温度100℃毎に卵膜の状況を観察し、デジタルフォースゲージ (IMADA) による卵破断強度の測定を行うとともに、卵膜表面と内面の走査型電子顕微鏡 (SEM, 日本電子) 観察を行った。卵破断強度はニュートン (N) で表した。平成26年度には、同研究所B事業所で複数尾より得たシロザケ受精卵をプールし、カテキン処理 (1 mg/L, 1時間, 三井農林) 群と未処理群に分け、それぞれA事業所、B事業所および北大の3カ所に収容した。A事業所においては中空糸ろ過水 (0.20 μm) 飼育群を設け、上記の観察を行った。

結果と考察 平成25年度のシロザケ卵は、北大では発症せずA事業所でのみ発症がみられ、未受精卵にも同様に発症した。平成26年度のB事業所由来のシロザケ受精卵は、B事業所および北大では発症は認められず、A事業所で管理したカテキン未処理群のみが発症し、カテキン処理および中空糸ろ過水での飼育により発症が抑制された。積算温度毎の発症の様子を観察すると、積算温度250℃から触れただけで卵膜が破れる卵が出現し、以後はその割合が増加していった。カテキン処理群の卵破断強度は吸水後から積算温度100℃にかけて向上がみられ、その後強度が低下することなくわずかに向上した。未処理群でも同様に向上したが、その後緩やかに低下した。本病の発症が確認されたA事業所の未処理群では積算温度300℃から急激に卵破断強度が低下し、400℃では5.0 Nを下回る卵の割合が82%に達した。SEMで卵膜表面を観察したところ、積算温度100℃まで細菌は確認できなかったが、200℃から桿菌が卵表面を徐々に覆うように増殖する様子が確認された。積算温度300℃では、膜表層の溶解や小孔が複数見られ、溶解した表層部には1~2 μmの短桿菌が無数に存在していた。積算温度400℃に至ると、表層が大きく窪む様子や、大きな穴が観察された。以上の結果から、本病は水質や水温などの影響により発症するのではなく、卵表面に付着した飼育環境由来の細菌が卵膜表面を溶解することで引き起こされると考えられた。また、本病発症の基準には卵破断強度が5.0 N以下を目安とすることが出来ると考える。

一般講演

西別川におけるカワマスの現状

春日井 潔 (さけます内水試)

背景と目的 カワマス *Salvelinus fontinalis* は、日本には 1902 年に栃木県日光に移入され、そこを基点として、西別川には千歳ふ化場を経て 1935 年頃に移植されたと推定されている。在来の同属のイワナ類と容易に交雑することが知られ、長野県上高地や道内でも石狩川水系の空知川で交雑が確認されている。そのため、在来の生態系に影響を与える懸念から環境省の外来生物法では要注意外来生物、北海道のブルーリストでは A2 に指定されており、北海道では内水面漁業調整規則により移殖放流は禁止されている。さけます内水面水産試験場ではサケ科外来魚の実態把握調査を行っており、断片的ではあるが、西別川水系におけるカワマスの現状を報告したい。

材料と方法 カワマスの分布状況を把握するために、2011-2012 年に、西別川本流 3 カ所、支流 9 カ所、当幌川 1 カ所、標津川 1 カ所、風蓮川 6 カ所の計 4 水系 20 カ所において、電気漁具を用いて魚類の採捕を行った。

カワマスの繁殖時期を明らかにするため、西別川の 2 カ所において 2012 年 9 月中旬から 11 月下旬にかけて週 1 回電気漁具によって採集を行い、成熟の程度を調査した。

結果と考察 カワマスは、当幌川、標津川、風蓮川においては確認できず、西別川本流、支流シュワンベツ川において確認された。西別川本流では最上流の北水研虹別さけます事業所付近では確認されたが、そこから下流では 2003 年の調査も含めて確認できなかった。一方、支流のシュワンベツ川では源頭 (養魚場) から 3.7 km 下流のシュワン橋まで確認できた。シュワンベツ川には源頭から 7 km 下流に魚道が設置されていないシュワンダムがあるが、ダム直下では確認されなかった。一方、カワマスと同属のアメマス *S. leucomaenis*、オシヨロコマ *S. malma* がカワマスと同所的に分布している個所があり、カワマスとの交雑魚と思われる個体が確認された。

カワマスの雄は 9 月第 4 週から排精している個体が観察され、雌は 10 月第 4 週から排卵している個体が観察された。アメマスおよびオシヨロコマもほぼ同じ時期に産卵していることを確認している。カワマス♀とアメマス♂またはオシヨロコマ♂、アメマス♀とカワマス♂の間では交雑が可能であることを交雑試験から確認した。

これらの結果から、西別川におけるカワマスの分布は本流の最上流とシュワンベツ川のダム上流に限定されていると推測されたものの、交雑がどの程度まで広がっているのかは不明である。交雑の実態を把握するためには、遺伝的な調査が必要である。

シムラガ

11/22

11/22

シムラガ

11/22

サクラマス[○]の海洋生活後期における遊泳行動の推移

篠原 陽 (北大院環)・宮腰 靖之・青山 智哉・飯嶋 亜内 (さけます内水試)・
白川 北斗・宮下 和士 (北大 FSC)

背景と目的 サクラマス (*Oncorhynchus masou*) は北海道において重要な漁獲対象種となっていることから、効果的な資源管理方法が必要とされている。本種は海洋生活後期 (母川回帰時期) に、沿岸域に設置された定置網によって主に漁獲されている。そのため資源管理方法を考案する際には、本種の海洋生活後期における遊泳行動に関する知見を取得した上で、その行動と定置網の設置場所との時空間的な一致・不一致を検証する必要がある。サクラマスは道内における主要なサケ属 2 種 (サケ, カラフトマス) とは異なり、海洋生活後期 (2-4 月) においても摂餌を行い、暖流の勢力が弱い時期に沿岸域に進入するという特徴を有する。このためサクラマスは海洋生活後期には他の 2 種とは大きく異なった遊泳行動をとっていると考えられる。しかしながら、本種の海洋生活後期における長期・連続的な遊泳行動を記録した例は稀有であり、海洋生活後期にどのような深度・水温帯に分布し、それがどのように推移しているのかは不明である。本研究では、バイオロギング手法を用いて本種の海洋生活後期の遊泳行動 (遊泳深度・環境水温) の長期・連続的な記録を試みた。そしてこのデータを基に、同期間中の遊泳行動の推移とその要因を解明する事を目的とする。

材料と方法 2014 年 2 月 5 日と 11 日に、北海道南部白老町の沖において供試魚の釣獲を試みた。供試魚を釣獲し次第、データロガー (LAT-1400: 5 分毎の環境水温と遊泳深度を記録: LOTEK 社製) を背鰭基上部へと装着した。そして尾叉長と体重の測定、および魚体の撮影を行った後に放流した。また同時に放流地点の海底直上まで CTD を投下し、海洋観測を行った。なお同調査で得られた遊泳データは、放流後 8 時間を忌避行動として解析から除外した。

結果と考察 2014 年 2 月 5 日に 3 尾、11 日に 1 尾のサクラマスを釣獲し、その内 5 日に釣獲した 3 尾にデータロガーを装着して放流した。放流から 98 日後の 5 月 16 日に北海道南部川汲町沿岸の定置網において供試魚 (ID: MS03) が再捕獲された。MS03 の遊泳深度データの推移から、時系列順に表層 (深度 5m 以浅と定義) を遊泳しない期間、主に表層と 100 m 以深を行き来する期間、主に表層と 100 m 以浅を行き来する期間が確認され、それぞれの期間を便宜的に Phase 1 (2-3 月), Phase 2 (3-4 月), Phase 3 (4-5 月) として分類してから解析を行った。Phase 1 では主に深度 115 m 以深・4.7°C の環境°C を遊泳し、深度 70 m 以浅・3°C 以下の環境はほとんど遊泳していなかった。しかし Phase 2 になると昼は主に深度 1.3 m, 夜は主に深度 200 m 以深を遊泳しており、昼夜で遊泳深度に差が生じるようになったが、環境水温については昼夜とも 5.2°C 前後であった。さらに Phase 3 になると昼夜に関わらず深度 1 m 以浅を主に遊泳するようになり、環境水温も 7.3°C 前後であった。以上から 2-5 月にかけて MS03 の遊泳深度が浅く、また環境水温が高くなっていく様子が確認された。特に Phase 1 では深度 70 m 以浅をあまり遊泳していなかったのに対し、Phase 2 以降はそれ以浅の表層を遊泳するようになった。この推移の理由として、深度 70 m 以浅の水温の上昇がきっかけとなっていると推測された。そこで全遊泳期間を通して深度 70 m 以浅の環境水温と表層を遊泳する時間の関係を調べたところ、深度 70 m 以浅の環境水温が上昇すれば表層を遊泳する時間も増加するという正の相関関係が確認された。また 2 月の放流調査時における海洋観測結果から、調査海域の深度 70 m 以浅に低水温の混合層とそれ以深に相対的に水温の高い親潮水塊の存在が確認された。この事から MS03 は 2-3 月の表層水温が低い状況では深層の親潮水塊内を主に遊泳し、3-4 月にかけて表層水温の上昇がきっかけとなり表層を遊泳し始めた事が示唆された。

サケ (*Oncorhynchus keta*) 雄の精子節約と雌の体サイズの関係

⑨ 牧口 祐也 (日大生物資源)・市村 政樹 (標津サーモン科学館)・小島 隆人 (日大生物資源)

背景と目的 雄が雌へ提供する精子量を節約することで精子を効率的に使用するという現象の解明は、雄による雌の選り好みという性淘汰研究における重要なテーマである。一般に精子は卵に比べてエネルギーや時間といった生産コストが安いので、雄は有り余るほどの精子を使って多くの雌と繁殖する機会を増やそうとする。その結果、雄同士で雌を巡って闘争が起こるのに対して、雌は慎重により良い雄を選好するという違いが生じる。しかし、実際には精子の生産にかかるコストや時間はゼロではなく、雄が雌へ提供する精子量を制限することで精子を経済的に使用していることが魚類を含むさまざまな動物で報告されつつある。しかし、繁殖回数の多寡と精子節約の関係について明らかになっていない。サケ (*Oncorhynchus keta*) は産卵のため河川に遡上すると摂餌を止め、体内に蓄えられたエネルギーだけで産卵しその一生を終える一回繁殖型の魚類である。本研究ではバイオリング手法を用いて繁殖後に死亡するサケの雄が雌に提供する精子量を調節する現象を実証し、その生態学的な適応意義を解明することを目的とした。

材料と方法 2011-2013年に標津川河口で捕獲された産卵前のサケ親魚を実験に用いた。放精時の体側筋の収縮により生じる左右方向の振動を放精量の指標とするため、加速度データロガー (D2GT-190L: リトルレナルド)を用いて以下の2つの実験を行った。1) 放精時の振動時間と放精量の関係の検証: 雄16尾の背部に加速度データロガー、総排泄腔にラテックス製の袋を外科的に装着した後に、雌とともに標津サーモン科学館の観察水槽に放流した。産卵が観察されたら、5分以内に雄の袋から精子を採取した。採取した精子は水と混合しているため、予め吸光度計 (波長410 nm) と濃度の関係式を各雄で作成し、その関係式から放精量を求めた。最終的に加速度データロガーで記録した放精時の振動時間と放精量の関係について解析を行った。

2) 雌の体サイズが放精量に与える影響: 親魚 (雄34尾, 雌34尾) の背部に加速度データロガーを装着し、観察水槽で産卵行動を観察した。記録した加速度データから、放精時の振動時間、左右方向の傾き角度、雌の体サイズについて解析を行った。

結果と考察 放精時の振動時間と放精量には正の相関がみられた ($p < 0.01$)。つまり、放精時の振動時間は放精量の指標として有効であることが示された。放精量は、放精量 (μl) = $15.5 \times$ 放精時の振動時間 (秒) - 41.0 で表された。本研究では87回の産卵行動について放精・放卵時の加速度データを記録した。放精時の振動時間から推定した放精量は、雄に対する雌の体長の割合と有意な正の相関がみられた ($p < 0.01$)。雄は自分よりも大きな雌に対してより多くの量の精子を放出していることが示された。また、放精の瞬間に雄が左右方向に体を傾けていることが明らかとなった。放精時の傾き角度は雄に対する雌の体長の割合と有意な正の相関がみられた ($p < 0.01$) が、雌の左右方向への傾き角度は雌に対する雄の体長の割合と相関はみられなかった ($p > 0.05$)。つまり、雄は効率的に受精を行うため雌の大きさを認識し、左右方向へ体を雌のサイズに合わせて傾けていることが示唆された。

18-11-12

道東の小支流におけるカラフトマスの自然再生産



虎尾 充 (さけます内水試 道東)

背景と目的 カラフトマスでは野生魚資源の割合が高く漁獲の 6~8 割を占めるとされ、カラフトマスの自然再生産の状況を明らかにすることは資源動態をみる上で重要である。根室海峡に注ぐ当幌川の支流サクラ川ではカラフトマスの自然繁殖集団が確認されており、河川の規模が小さいため自然産卵によるカラフトマスの再生産を調査するのに適している。そこで、本支流においてカラフトマスの自然産卵による生産率と再生産効率の推定を試みた。

材料と方法 2012 年, 2013 年および 2014 年秋季にサクラ川の 0.8 km の区間を踏査し雌雄別に目視尾数を記録した。目視効率を評価するために河川内に設定した 20 m 調査区間の上下を網で仕切り、雌雄別に尾数を目視計数した後、区間内の全個体を取り上げて尾数と性別を確認した。目視効率調査は 3 回実施し、区間内の尾数の実数に対する目視尾数の平均値を目視効率とした。また、サクラ川における滞在日数 (生存時間) を調べるため、調査区間内において親魚にダーツタグ標識を施して放流し、原則毎日、標識魚の斃死個体を探索した。標識放流から標識魚の斃死までの平均日数を滞在日数とした。以上の野外調査データを用いて、次式によって AUC 法で遡上親魚数を推定した。

$$AUC = \sum_{i=2}^n \frac{(t_i - t_{i-1})(x_i + x_{i-1})}{2} \quad \dots \text{式 (1)}$$

ここで、AUC は遡上親魚数、 x_i は調査日 t_i の日間目視尾数である。滞在日数と目視効率で補正し遡上親魚数を推定した。推定された雌親魚数に孕卵数を乗じて産出卵数を推定した。

2013 年と 2014 年の春季にサクラ川の最下流地点においてふくべ網を用いて降下する稚魚を採集した。また、鱗切り標識魚の放流と再捕結果からふくべ網の採集効率を求めた。サクラ川における稚魚降下数を式 (1) によって推定した。AUC はサクラ川からの降下稚魚数、 x_i は調査日 t_i の日間稚魚採集数である。採集効率で補正して稚魚降河数を推定した。推定された産出卵数に対する稚魚降下数を生産率 (卵から稚魚までの生存率)、また、雌親魚 1 尾当たりの稚魚降下数を再生産効率として求めた。

結果と考察 2012 年秋季には約 3,600 尾, 2013 年秋季には約 60 尾のカラフトマス親魚が遡上し、両年級群からはそれぞれ 144 万粒および 4 万粒の卵が産出されたと推定された。両年級群の産出卵由来の稚魚降河数は 26,000 尾および 1,000 尾と推定された。生産率についてはそれぞれ約 1.8 % および 3.9 % となり、同様に雌親魚 1 尾あたりの稚魚生産数 (再生産効率) は 14 尾および 31 尾となった。サクラ川における再生産効率は低く、河床環境などが必ずしも再生産に適してはいない可能性がある。

一般講演

猛禽類によるシロザケ採食と陸域への栄養輸送

○松本 経・中山 恵介（北見工大）・渡辺 謙太・桑江 朝比呂（港湾空港技術研）

背景と目的 河川に遡上して産卵するシロザケ（以降、サケ）は他の動物に食べられることで海から陸へと栄養を運ぶ役割を果たしている。産卵場所のサケ個体を起点とした食物網によってサケ由来の栄養が流域内に供給されることになるが、北海道ではサケの捕食動物や輸送距離についてはよくわかっていない。冬期のシロザケ遡上河川ではオオワシやオジロワシが確認されてきた。ワシ個体のほとんどはロシアから飛来する渡り鳥であり、河川内に一時的・爆発的に出現した産卵個体の後始末を果たすと考えられているが、詳細は不明である。ともに季節的な出現をするサケと猛禽類の関係を明らかにすることは、産卵が冬期に及ぶサケを起点とする海と陸の間の栄養循環を理解するうえで特に重要である。

そこで本研究では、海と陸の間の栄養循環における猛禽類の役割を明らかにすることを目的とし、サケ遡上河川において猛禽類の分布と河川内での採食行動を調べ、産卵親魚の利用とサケ由来の栄養の輸送範囲について検討した。

材料と方法 北見市の常呂川支流において、目視および自動撮影カメラを利用した観察を行い、ワシ個体の分布とサケの採食を調べた。また、支流流域内の産卵区間において産卵親魚の分布を踏査して調べ、陸域への輸送速度も推定した。さらに、サケの身、動物のフン、流域内の植物に含まれる安定同位体比を計測し、サケ由来の栄養が植物に取り込まれている状況とそれに対するワシ類の輸送（排泄）の影響について検討した。

結果と考察 常呂川支流ではサケ斃死体（ホッチャレ）が最も多くなる 11 月後半にワシ類も最も多く出現した。この時期は日平均気温が氷点下となる時期でもあり、昆虫輸送者であるハエ類の活動が低下する時期であった。サケの産卵河川では昆虫類の活動が低下しても、ワシ類の飛来によってサケ由来の栄養は陸域へ輸送される仕組みとなっているのかもしれない。ワシ類の採食速度は、1 日あたり 1 羽あたりサケ 1.6 尾となった。サケの産卵場所では、ワシ類は体重の 7 割にあたる重量のサケを 1 日に採食できることになり、サケの産卵はワシ類によい採食場所を提供している。安定同位体比分析により、サケの産卵場所とワシ類の分布密度が高い場所の近くでは、植物に含まれる $\delta^{15}\text{N}$ が高かった。本研究の結果から、サケの自然産卵個体の多くは猛禽類によって採食され、排泄というかたちで陸域へ輸送された後に、陸域生態系の生産者である植物へと取り込まれていることが明らかとなった。

157 頁 / 11 / 日



河川内における水生生物のサケ由来栄養塩取り込みに影響する要因

○ 越野 陽介 (北大院水・学振 PD)

背景と目的 遡河性魚サケ属魚類 (*Oncorhynchus* spp.) は、母川に産卵遡上することにより海洋由来の栄養塩 (MDN) や有機物を河川生態系に輸送し、直接および間接的な経路を通して様々な栄養段階の生物に利用されている (Kiernan et al. 2010)。これまで、遡上親魚の死骸量が各水生生物への MDN の取り込みに影響を与える最も大きな要因であると考えられていた (Biby et al. 2001)。近年になり、河川流量 (Janetski et al. 2009) および河床の礫サイズ (Tiegs et al. 2008) などの物理環境要因により水生生物の MDN の取り込みが変化することが徐々に明らかとなってきたが、その他にどのような環境要因が影響を与えるのかは明らかとなっていない。加えて、河川はその構造と機能の変異性が高いため、広範囲の空間スケールで MDN 輸送に関する研究を行うことが提唱されるようになった (Rüegg et al. 2012)。そこで、本発表では水生生物の MDN 取り込みに影響を与える環境要因を重回帰分析により、北海道 35 河川における MDN 輸送の現状を安定同位体比を効果量としたメタ解析により評価した。

材料と方法 2007 年～2013 年の 8 月 (遡上前) および 11 月 (遡上後) に、北海道の 35 河川において、付着微生物、水生無脊椎動物および魚類を採集し、窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) 分析用の試料とした。採集試料は、60°C で 48 時間乾燥させ、脱脂および粉末化した後に錫カップに封入した。 $\delta^{15}\text{N}$ の測定には、同位体比質量分析計 (Delta plus) を使用した。測定した水生生物の $\delta^{15}\text{N}_{\text{enrichment}}$ (遡上後の $\delta^{15}\text{N}$ - 遡上前の $\delta^{15}\text{N}$) を応答変数、10 の環境要因を説明変数としたステップワイズ重回帰分析を行った。さらに、各河川における安定同位体比分析結果を統合して、MDN 輸送の効果に有意性がみられるかを判断するために、35 河川分の各生物群の $\delta^{15}\text{N}_{\text{enrichment}}$ を効果量としたメタ解析を行った。

結果と考察 良好なシロザケ (*O. keta*) の遡上が確認される白老町ウヨロ川の 14 定点で採集した各水生生物の $\delta^{15}\text{N}_{\text{enrichment}}$ を応答変数とした重回帰分析の結果、死骸密度の他に河川の径深あるいは底質サイズが選択される場合が多かった。標準回帰係数から、 $\delta^{15}\text{N}_{\text{enrichment}}$ は死骸密度よりも径深および底質サイズに影響を受けていた。一方、河川間の重回帰分析では、死骸密度が最も $\delta^{15}\text{N}_{\text{enrichment}}$ と強い相関を示したものの、選択された環境要因は水生生物毎に異なる傾向がみられた。これらのことから、水生生物の MDN に与える要因は河川内-間スケールで異なること、生物の生活史特性を受けて MDN ソースとしてのサケ属魚類死骸数と河川の物理環境の両方の影響により異なることが明らかとなった。メタ解析の結果、効果量が有意に高かったのはサケ属魚類由来栄養物質を直接的に利用できる生物に限られ、食物連鎖を通して MDN を取り込む生物では効果量は低かった。この結果から、サケ属魚類由来有機物は河床にはほとんど貯留されておらず、低次からのボトムアップ効果による MDN の取り込みはみられないと判断された。

サケ科

特集「サケ属魚類のふ化場魚と野生魚の共存は可能か？」

趣旨説明

永田 光博（さけます内水試）

漁業資源の増大や枯渇した野生資源の再生を目的としたサケ類の人工ふ化放流は世界的に行われている。特に、サケ（シロザケ）とカラフトマスは日本をはじめ、アラスカ、ロシアでも民間ベースで積極的に行われており漁業への貢献度も大きいと考えられている。一方で、ふ化場魚の増加が野生魚との置換につながっていたり、ふ化場魚の迷入が野生魚の繁殖に影響を及ぼすことなどが報告されている。また、スチールヘッド・トラウトやマスノスケなど河川生活期間の長い種では人工ふ化放流が結果的に遺伝的多様度や繁殖成功度の低下を引き起こすとのショッキングな事例も報告されている。このため北米ではふ化場魚による野生魚への悪影響を回避する対策が進んでいる。例えば、漁業資源の増大を目的としたアラスカ州の人工ふ化放流では実施場所が厳しく制限され、野生魚が生息する河川およびその周辺での放流は禁止されている（分離型ふ化放流 Segregated hatchery programs）。一方、北米西岸の希少野生資源の再生などでふ化放流を行う場合、ふ化場魚の遺伝的影響を抑制するため自然産卵集団の中のふ化場魚の割合に応じて人工交配に用いる野生魚の割合を調整する対策がとられている（統合型あるいは保全型ふ化放流 Integrated hatchery or Conservation hatchery programs）。しかし、ふ化放流が遺伝的多様度や繁殖成功度を低下させるメカニズムについては未だ十分に解明されていない。サケ人工ふ化放流は資源管理上欠くことのできない事業として北海道に定着しているが、ふ化放流が抱える生物学的課題を科学的に検証した事例は決して多くない。サケ漁業を持続的に発展させるためにもサケの生物学的健全性の維持は本質的な課題である。本特集では、ふ化放流の生物学的影響、自然産卵魚の実態、ふ化場魚と野生魚の共存の可能性等について議論を深める。

特集「サケ属魚類のふ化場魚と野生魚の共存は可能か？」

日本におけるふ化場魚と野生魚の現状

日本系サケ資源におけるふ化場魚と野生魚の現状把握

佐藤 俊平（水研セ北水研）

日本系サケ資源は、ふ化放流事業を軸に資源造成が行われてきた。その結果、現在では毎年4000万尾前後が回帰するまでになり、北日本の水産業を支える重要な資源に成長した。一方、毎年約16億尾のサケ稚魚が日本のふ化場から放流されており、それらが生態系や遺伝的多様性、野生魚の遺伝構造に影響を与える可能性が指摘されている。これまで日本に回帰するサケはほぼ全てがふ化場由来であると考えられてきた。しかし近年の研究から、日本の河川にも自然産卵由来の野生魚が少なからず回帰することが示唆されている。そのため、ふ化場魚と野生魚の現状を把握することは、今後日本系サケ資源の持続的利用を考える上で非常に重要である。本発表では、日本系サケ資源におけるふ化場魚と野生魚の現状について遺伝学的な立場から把握し、それらの資源管理を考える上で必要な情報を提供したい。

日本系サケ個体群の集団遺伝学的な分析はこれまで増殖河川由来の個体群、つまりふ化場魚を中心に行われてきた。例えば、北海道・本州太平洋・本州日本海の3地域から得られたサケ57個体群を対象に、SNPマーカー52遺伝子座を用いて分析した結果では、北海道6地域・本州2地域に分かれ、一定の地域個体群構造が存在することが明らかとなった。一方、一部の河川個体群では地理的な位置と遺伝的な特徴が一致しないものがあり、その要因の一つとして過去に行われた移殖放流の影響が考えられた。

それでは野生魚についてはどうだろうか。石狩川水系の千歳川（増殖河川）と豊平川（放流・非捕獲河川）、および近隣の新川水系琴似発寒川（非放流・非捕獲河川）の3河川に遡上したサケ親魚から遡上期間を通じて標本を採集し、千歳川と琴似発寒川では耳石温度標識でふ化場魚と野生魚を区別した後、時期別に集団遺伝学的分析を行った。通常、野生魚と比較しふ化場魚の遺伝的多様性は減少する傾向にあるとされている。分析の結果、遺伝的多様性の指標の一つである平均ヘテロ接合度の期待値はふ化場魚と野生魚でほぼ同じであったが、アレリックリッチネス（各遺伝子座における対立遺伝子数の期待値）はふ化場魚よりも野生魚で小さくなる傾向を示し、特に千歳川の野生魚で顕著だった。遺伝構造を把握するため、近隣結合法による系統樹作成および主座標分析を行ったところ、基本的に琴似発寒川群（9-10月・11月・12月）、千歳川ふ化場魚群（8-9月・10月・11月・12月）、千歳川野生魚群（11月・12月・1-2月）に分かれ、豊平川群（10-11月・12月・1月）はそれぞれ千歳川ふ化場魚群と野生群の間に位置した。以上のことは、北海道の増殖河川にも野生魚が存在し、それは遺伝的にふ化場魚とは異なる個体群として存在する可能性があること、非放流・非捕獲河川でも野生魚が再生産し遺伝的に分化した個体群を形成することなどを示唆している。この様に、ふ化場魚と野生魚の遺伝的特徴を正確に理解することは、今後野生魚を含めた日本系サケの資源管理を考える上でも重要な情報となるであろう。

特集「サケ属魚類のふ化場魚と野生魚の共存は可能か？」

日本におけるふ化場魚と野生魚の現状

都市河川における野生サケの回復事例紹介

有賀 望 (札幌ワイルドサーモンプロジェクト共同代表・札幌市公園緑化協会西岡公園)

はじめに 北海道札幌市内を流れる豊平川は、古来よりサケが遡上する河川で1930-1950年代に増殖事業が行われていた。しかし、札幌市の人口増加に伴い水質が悪化し、増殖事業は中止され、サケの遡上も途絶えた。その後、下水道が整備され水質が改善されたことから、再びサケを呼び戻そうという市民によるカムバックサーモン運動が起こり、1981年に親魚の遡上が再開した。1985年以降は、自然産卵するサケが確認され、自然産卵由来の稚魚も浮上している(有賀・鈴木2009)。一方、稚魚の放流も続けられていることから、豊平川に回帰する親魚には、自然産卵によって生まれた野生魚、豊平川から放流された放流魚および千歳川から放流された迷入魚が混在していると考えられる。そこで、水産総合研究センター北海道区水産研究所(以下北水研)と共同で放流魚を標識し、それぞれの回帰割合を調べ、自然産卵に基づく個体群の存続可能性を検討した。なお、豊平川の標識放流調査結果については、有賀ほか(2014)にまとめた。

材料と方法 豊平川に放流する稚魚について、2003-2006年級の稚魚に脂鱭切除標識を付けた。千歳川の放流魚については、北水研により耳石温度標識が付けられた。2006-2012年に回帰する親魚を捕獲し、標識の有無を確認した。親魚の遡上数については、産卵床調査より推定遡上数を算出した。

結果 豊平川に回帰するサケ親魚のうち野生魚の比率は59.2-75.8%と推定され、いずれの年級においても放流魚より高かった。大規模なふ化放流事業が行われている千歳川からの迷入魚は0.6%と非常に少なかった。放流魚の河川回帰率は0.09-0.33%で、野生魚の河川回帰率も放流魚と同等であると仮定すると、自然産卵による卵から稚魚までの生存率は7.5-22.2%、平均12.6%と推定された。繁殖時期は野生魚の方が放流魚よりも早い傾向にあり、野生魚は約60%の個体が10月までに繁殖を終えるのに対し、放流魚は翌年1月にかけて幅広い期間で繁殖した。

考察と結論 いずれの年級群においても野生魚の割合が高かったことから、豊平川に遡上するサケの大部分は、豊平川で自然産卵によって生まれた野生魚であると考えられた。1981年から復活した豊平川のサケの自然産卵は、2011年で7世代を超え、放流魚と野生魚の間には、成熟年齢や繁殖時期に相違が認められた。湧水が豊富な千歳川において12月以降は野生魚の割合が高いのに対し、豊平川では10月に最も割合が高かったことは、湧水が少ない豊平川環境に適した野生魚が定着していることが考えられた。

豊平川環境に適した野生サケの存在が明らかとなり、研究者や市民、行政らで野生サケを保全する取組『札幌ワイルドサーモンプロジェクト』が立ち上がった。これは、豊平川生まれの野生サケを優先的に保全していくことを目的とし、豊平川に遡上してくるサケが大きく減らない範囲で、放流数をコントロールする順応的管理の導入を目指す取り組みである。さらに、豊平川の野生サケの存続性を高めるために、産卵環境と稚魚の生育環境の改善を働きかけている。

引用文献

- 有賀 望・鈴木俊哉(2009) 豊平川のサケ産卵床における環境条件と浮上までの生存率. *SALMON 情報* 3: 3-5.
有賀 望・森田健太郎・鈴木俊哉・佐藤信洋・岡本康寿・大熊一正(2014) 大都市を流れる豊平川におけるサケ *Oncorhynchus keta* 野生個体群の存続可能性の評価. *日本水産学会誌* 80: 946-955.

特集「サケ属魚類のふ化場魚と野生魚の共存は可能か？」

日本におけるふ化場魚と野生魚の現状

北見管内を中心とする野生サケ調査の事例紹介

○ 卜部 浩一・宮腰 靖之・佐々木 義隆（さけます内水試）

はじめに 欧州を中心とした海外市場における水産エコラベル、中でも MSC 認証商品への関心の高まりを受け、北海道の秋サケ漁業においても MSC 認証の取得に向けた取り組みが進められてきた。認証の取得に当たっては野生個体群の生態的知見に加え、科学的な根拠に基づく野生資源の具体的な管理方策の提示が必要とされるが、本道における野生サケに関する知見は極めて乏しい。以上のことを背景とし、2008 年以降、当场では全道規模での野生サケの分布および北見管内を中心とする地域において野生サケの遡上数ならびに産卵環境に関する調査を行ってきた。本発表ではそれらの調査により得られた結果についてご紹介する。

調査の概要 本発表では以下の 4 つの調査結果についてご紹介する。1. 道内における野生サケ個体群の分布状況、2. 北見管内における野生サケの遡上数と放流魚の迷入、3. オホーツク沿海地域におけるサケの自然産卵ポテンシャル、4. 多様な野生サケ産卵群とその産卵環境。

結果 1. 2008～2009 年にかけて道内一円で行った野生サケ分布調査の結果、道内の 104 河川でサケの遡上が確認され（捕獲河川は除く）、そのうち、59 河川は過去に放流を行っていないか、かつて放流が行われていたが現在では放流されていない河川（非放流河川）であった。

2. 2010～2013 年にかけて北見管内の 9～11 河川で行った調査から、各河川に自然遡上したサケは 0～6,009 尾/年と推定された。但し、藻琴川と幌内川以外の捕獲河川では遡上数の推定を行っておらず、上記の数値にはそれらの河川での遡上数は含まれていない。耳石標識調査の結果、調査河川の一部に斜里川と徳志別川から放流した魚の迷入が確認され、その混入率は 0～18.2%であった（50 以上のサンプル数が得られた河川に限定した場合の混入率は 0～8.6%）。この結果に基づき、放流由来の迷入魚を除外し、また、放流が行われている調査河川では当該河川からの放流に由来する魚も除外して野生魚の遡上数を推定したところ、その値は管内全体で 8,778 (2013 年)～20,191 尾 (2010 年) と推定された（主要な捕獲河川は含まない）。

3. 河床勾配と水理モデルを用いて、サケの産卵適地の特定が可能になった。

4. 前期群と後期群の産卵環境評価を行った結果、前期群では砂礫堆上流部の河川表流水の浸透が卓越する場所を、後期群では砂礫堆下流部の河床間隙水が湧昇する場所を選択的に利用していた。

考察 道内の広範な地域において野生個体群（非放流河川で自然産卵している個体群）の存在が確認された。北見管内の非放流河川を中心に行った調査によると、野生魚の資源規模は放流由来のそれ（捕獲河川での捕獲数）と比較して非常に小さかった（1%前後）。但し、本調査では水系規模が大きく、野生魚を涵養するポテンシャルが高いと考えられる主要な捕獲河川での遡上数を評価できていないことに留意が必要である。野生サケ資源の適切な管理には、これら主要な捕獲河川における遡上数の評価も重要であるが、現状では技術的課題も多い。サケの産卵適地推定および野生サケ産卵群の産卵環境特性に関する調査から、野生個体群の保全・回復には遡上数の適切な管理に加え、産卵遡上障害の解消や産卵適地の形成に必要な河川地形の保全も併せて行っていくことも重要であると考えられた。

4
191km
777
640km
1772
225
にサ

北見管内
0.2 ~ 2.1%
8800 ~ 20000尾
2010年
2013年

特集「サケ属魚類のふ化場魚と野生魚の共存は可能か？」

ふ化場魚と野生魚の共存の可能性を探る

ふ化場魚と野生魚の共存を支援する為の漁業改善計画

(Fishery Improvement Project)

村上 春二 (O2/オーシャンアウトカムズ)

ふ化場魚の社会経済への貢献，そして自然生態系や野生魚に対する影響に関して現在まで多くの科学者，環境団体，政府，漁業関係者などの利害関係者間で激しい議論が交わされてきた。サケ類は世界において最も消費されている水産資源の一つであり，世界のサケ類を扱う漁業者の経済収入は約 3000 億円と，自然生態系への貢献だけではなく，消費者の日々の食生活や文化，そしてそれを供給する漁業関係者にとって太平洋サケ類は切り離すことのできない存在となっている。

そして現在，消費者や市場の力を利用して持続可能な漁業を支援するために MSC エコラベル認証を筆頭に数々の水産エコラベルが生まれている。特に北米やヨーロッパ市場の主要販売店や買い付け業者は持続可能な漁業で獲られた水産物への調達を積極的に進めており，現在ではアメリカ販売店上位 20 社のうち 17 社，カナダ販売店の上位 3 社，イギリス販売店の上位 5 社が「MSC 認証が同等の，もしくは漁業改善計画 (Fishery Improvement Project)」に携わる漁業者のみから調達することを公約している。

漁業改善計画 (Fishery Improvement Project) では多数の利害関係者が漁業・資源管理を改善する為に関わることになる。改善計画では MSC 審査基準をベースとして対象漁業を分析し，問題を解決するための改善案を特定する。そして，この改善計画が自然産卵環境の評価や過去と現在の自然産卵魚の比較などを含む，野生魚とふ化場魚の科学的な根拠に基づく生態系との関わりを深く理解する第一歩となる。加えて，これは持続可能な漁業に向けての計画であり，野生魚とふ化場魚の共存の可能性を理解する上で重要な過程となる。国や地方自治体の関わり方，さらには自然環境の違いによって，改善内容は大きく変化するが，共通項として，より多くの野生魚の生産が水産資源の持続的な利用につながり，結果として漁業と自然環境との調和を実現することになる。

そして当団体の目標は，世界的な漁業の危機に対して，あらゆる利害関係者にとって大きな価値のある永続的で地域に根差した解決策を生み出すために，漁業コミュニティ，水産業および他の利害関係者と持続的な関係を構築しながら有益な改善を利害関係者と地元コミュニティと共に促進することである。

特集「サケ属魚類のふ化場魚と野生魚の共存は可能か？」

ふ化場魚と野生魚の共存の可能性を探る

短期的視点からふ化場魚と野生魚の共存の可能性をさぐる

○永田 光博・宮腰 靖之（さけます内水試）

はじめに ふ化場魚と野生魚が共存することの意義については経済学的視点からだけでなく生物学的視点からも認識されつつある。しかし、ふ化場魚中心の資源管理を進めてきた北海道において両者の共存は容易ではない。ここでは、現在のふ化放流を大きく変更することなく両者が共存できる可能性を探るとともに解決すべき課題について検討した。また、ふ化放流がもたらす生物学的問題（例えば、適応度の低下、迷入の増加、病気の伝搬など）を回避するため、野生魚の自然繁殖にふ化場魚が可能な限り関与しないことを前提とした。

野生魚と河川環境の改善（異所的共存） アラスカ州では野生魚を保全するエリアとふ化放流を進めるエリアが大きく区分され、さらにふ化放流エリアも野生魚が生息する河川への放流は厳しく制限することで共存を可能にしている。一方、北海道は流程距離が長い大中河川を中心に全道一円でふ化放流が行われてきたが、小河川あるいは大河川の一部支流で野生魚が確認されている。しかし個体群内に一定の遺伝的変異を維持するための有効な集団サイズ（例えば 500 尾：FAO,1981）を超える河川は多くない。下流の遡上障害物を改良することで産卵エリアが拡大し個体数の増加が見られた事例があることから、障害物を除いた場合の産卵可能エリアの推定と修復の実施が共存を高める第一歩となる。

ふ化放流河川と事業の改善（同所的共存） 北海道の野生サケは 9 月～11 月に産卵する前期群と 12 月～1 月に産卵する後期群が生息していた。現在のふ化放流は一部地域を除いて前期群を中心に行われておりウライ撤去後に遡上する集団を野生魚とみなすことができる。一方ウライが設置された期間の自然繁殖は増水等によりウライを逃れた集団に限られる。余剰親魚を上流へ放流したり、ウライを上流へ移動させるなど自然繁殖を増やす工夫も一部で行われている。またウライを設置しない放流河川ではふ化場魚とは異なる自然繁殖集団の存在が明らかになっている。しかし、同一河川内に生息しふ化場魚と交流する可能性をもつ野生魚の生物学的特性については十分に解明されていない。

ふ化場魚の移殖の制限 川を分離したとしてもふ化場魚の迷入があれば野生魚との交配が進み効果は減少する。アラスカや北見管内の事例が示すように周辺へのふ化場魚の迷入は避けられない。日本のサケの遺伝的多様度は高いが集団間の差は小さいとも報告され、過去の広範囲な移殖による遺伝的攪乱が原因と考えられている。固有性の消失は環境変化に対する適応度の低下や資源の不安定化につながる可能性をもっている。したがって、迷入をある程度考慮して集団の固有性を維持するためには広範囲な移殖を避けて地域集団によるふ化放流に徹することが必要である。

科学的知見の蓄積とモニタリング 野生魚集団の生物学的特性、人工ふ化放流の遺伝学的影響、迷入の範囲と攪乱の影響など共存を進める上で解明すべき研究課題も多く産学官の連携が一層必要である。また、野生魚の個体数把握は資源管理の基盤情報でありアラスカでは州政府が大量の指標河川で遡上数算定と漁業規制を実施している。北海道の野生魚は誰が管理するのか？そろそろ考える時期に来ている。

特集「サケ属魚類のふ化場魚と野生魚の共存は可能か？」

ふ化場魚と野生魚の共存の可能性を探る

サケ属魚類のふ化場魚と野生魚の共存は「本当に」可能か？

帰山 雅秀（北大国際本部）

結論を先に述べると、両者の同所的共存は「本当に」は不可能であろう。ただし、両者の定義のしかた、種、管理方法によっては、異所的共存は可能といえるかも知れない。生活史の多くをふ化場で管理する淡水生活期間の長い種（e.g., スチールヘッドトラウト、マスノスケ、ベニザケやギンザケなど）の共存はむしろかたしかもしれない。一方、浮上直後で放流されている淡水より海洋での生活期間の方が圧倒的に長い種（e.g., シロザケやカラフトマス）ではその可能性はある程度期待できるかもしれない。「ふ化場魚」の定義はいうまでもない。長期や短期に関わらず、生活史の一端を人工ふ化放流事業を行う「ふ化場」で人工的に管理され放流された個体である。しかし「野生魚」の定義は、本当は難しい。ここでは、MSC あるいは Wild Salmon Center の定義に基づき、個体レベルの「ふ化場魚が自然再生産により産出した F1 以降の個体」も野生魚の一部とする。

日本産シロザケの遺伝的多様性は、ロシア、アラスカ、カナダおよび北米西海岸の個体群に比べて高いことは周知のとおりである（e.g., 今日の佐藤さんの発表）。しかし、果たして、日本産シロザケの「高い」多様性は、個体群の適応度や健全性の指標となり得るのか？北海道の遊楽部川シロザケの遺伝的多様度は、12月に自然産卵する野生魚が移植により攪乱された10～11月に自然産卵するふ化場魚より低く、他国の野生魚とほぼ同等である。同様の現象はほぼ全国的に観察されているようにみえる。すなわち、移植により攪乱されたふ化場魚は個体群レベルで見かけの遺伝的多様性は高いが、きわめて「固有性」に乏しいと判断される。

長期ビジョンが不明確なまま現状を追認し、将来を予測する方法をフォアキャストといい、現状を徹底的に分析し、それに基づき将来ビジョンと目標を定め、ガバナンスを変えていく方法をバックキャストという。現在、北海道では約60河川で野生魚が自然再生産している（e.g., 今日のト部さんの発表）。一般的に、野生魚は生活史を通してふ化場魚より生態的ニッチと栄養段階が高く、遺伝的多様性が高く、環境変化に対する適応力が高いといわれている。今後の気候変動に対応するためにも、自然選択に強く、環境変動への適応力の高い野性魚のリハビリテーションとレジリエンスをはかることは重要である。そのためには、魚類が息できる河川生態系の復元が基本となることは言うまでもない。サケ属魚類をはじめ生物とそれらを構成する水圏生態系を持続的に保全するためには予防原則と順応的管理からなる生態系アプローチ型リスク管理の導入がきわめて重要である。すなわち、現状を徹底的に分析し、それに基づき将来ビジョンと目標を定め、常に現状をモニターしつつ目標に向かうバックキャスト手法による生態系アプローチ型リスク管理が大切である。本気でわが国のサケ属魚類の保全を考えるのであれば、上記のような視点に立ち、長い時間をかけてでも目標にむかって進むバックキャスト手法に基づく生態系アプローチ型リスク管理の導入に踏み込むべきであろう。

（参考）2015年8月ポートランドで開かれるアメリカ水産学会では「サケ科魚類の野生魚とふ化場魚の生物学的相互作用」に関する国際シンポジウムが開催される。奮ってご参加ください。

サケ科学奨励賞規程

(目的)

第1条 この規程はサケ学研究会の研究の向上と活動の促進をはかるために、サケ科学奨励賞の受賞に関する必要な事項を定めることを目的とする。

(賞の名称)

第2条 「サケ科学奨励賞 Salmon Science Incentive Award」(以下、「サケ科学賞」という。)とする。

(受賞者の資格)

第3条 受賞者は当該年度のサケ学研究会において口頭発表あるいはポスター発表を行った満年齢40歳以下の会員とする。

(サケ科学賞選考委員会)

第4条 サケ科学賞選考委員会(以下、「選考委員会」という。)は、サケ学研究会の役員(遺伝学部門代表1名、生態学部門代表1名、生理学部門代表1名、増殖資源部門代表1名、事務局2名)により構成する。

2. 選考委員会の委員長は4部門代表の中から選ばれた会長とする。

(受賞者の選考方法)

第5条 サケ学研究会に参加した会員は、選考対象の発表をすべて聴いた上で、所定の投票用紙に1名の受賞資格者を選定し投票する。

2. 事務局は投票用紙の集計を行う。

3. 選考委員会は投票結果に基づき、最優秀な発表者を受賞者として選出する。

4. 会長は、選考委員会の議を経て受賞者をサケ学研究会の場で発表する。

(賞の授与)

第6条 賞の授与は、サケ学研究会の閉会時に行う。

2. 賞の内容は事前に選考委員会で決定する。

3. 賞に要する費用は特別経費「サケ科学奨励賞基金」の経費をもって充てる。

(改訂および改廃)

第7条 本規程の改定および改廃は選考委員会にて行う。

(付則)

第8条 この会則は2014年12月21日より施行する。

サケ学研究会

Salmon Science Society (3S)

名称:

「サケ学研究会」

会費

会費は、当面年額 500 円とする。

事務局:

北海道大学大学院水産科学研究院

組織と役員

(組織)

遺伝学部門

生態学部門

生理学部門

増殖資源部門

事務局

(役員)

目的:

サケ科魚類の科学に関する学術研究・情報の交流と普及を図り、その学術研究の発展に寄与することを目的とする。

事業:

本研究会は、目的を達成するために次の事業を行う。

1. 研究発表会および学術講演会等の開催
2. ホーム・ページの開設
3. 関連学会との連絡および協力
4. その他、目的を達成するために必要な事業

1. 会長：組織 4 部門の代表の輪番制とし、任期は 2 年とし、連続しての再任はなし。
2. 部門代表：各部門に所属する会員から選出する。部門代表の任期は 4 年とし、再任は妨げないが、連続 3 期までとする。
3. 事務局長：会長が選任することとし、任期は 2 年とし、再任は妨げない。

会員:

本研究会の目的に賛同して入会した個人を会員とする。会員は下記の組織の 4 部門のいずれかに所属する。

(入会)

入会希望者は、入会申込書を会長に提出し、各部門の代表の承認を得る。

(退会)

会員が退会しようとするときは、理由を付して退会届けを会長に提出する。

なお、会費を 2 年間未納した会員は自動的に退会とみなす。

(現在の役員)

会長: ~~上田 宏~~ ← 永田光博

遺伝学部門代表: 浦和茂彦

生態学部門代表: 帰山雅秀

生理学部門代表: 上田 宏

増殖資源部門代表: 永田光博

事務局: 工藤秀明・清水宗敬

(2014年12月19日現在)

研究発表会開催地

- 第1回 2007年9月24日 北海道大学水産学部大会議室（函館）
第2回 2008年12月13日 北海道大学水産学部マリンサイエンス創成研究棟（函館）
第3回 2009年12月5日 旧北海道立水産孵化場本場展示研修館（恵庭）
第4回 2010年12月18日 北海道大学水産学部マリンサイエンス創成研究棟（函館）
第5回 2011年12月17-18日 北海道大学学術交流会館小講堂（札幌）
第6回 2012年12月8日 北海道大学水産学部マリンサイエンス創成研究棟（函館）
第7回 2013年12月22日 北海道大学大学院地球環境科学研究院講義棟D棟（札幌）
第8回 2014年12月21日 北海道大学水産学部マリンサイエンス創成研究棟（函館）

領収書

第8回サケ学研究会要旨集代として
¥500- を領収しました。

2014年12月21日



サケ学研究会事務局
工藤秀明



サケ学研究会

会長：永田光博
遺伝学部門代表：浦和茂彦
生態学部門代表：埴山雅秀
生理学部門代表：上田 宏
増殖資源部門代表：永田光博
事務局：工藤秀明・清水宗敬

〒041-8611 函館市港町3-1-1
北海道大学大学院水産科学研究院
海洋生物資源保全管理学分野
Tel/Fax 0138-40-5602
hidea-k@fish.hokudai.ac.jp

<http://www.geocities.jp/sakekenkyukai/index.html>

発行日：2014年12月19日
発行所：サケ学研究会