

第 9 回 サケ学研究会 講演要旨集

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



日時：平成27年12月20日（日）

場所：北海道大学国際本部
大講義室

Date: Sunday, December 20, 2015

Venue: Office of International Affairs,
Hokkaido University

第 9 回サケ学研究会プログラム



The Ninth Conference of Salmon Science Society (3S)

日時 平成 27 年 12 月 20 日 (日)

場所 北海道大学国際本部 大講義室 (第 111 室)

< 午前の部 >

9:00 開 会・会長挨拶 ----- 永田光博(サケ学研究会会長)

9:05 事務連絡 ----- 清水宗敬(サケ学研究会事務局)

特集「サケの回遊とそのメカニズム」

コンビナー: 上田 宏 (北大FSC)

9:10 特集趣旨説明 ----- 上田 宏 (北大FSC)

9:15 日本系サケの海洋における分布と回遊 ----- 浦和茂彦 (水研セ北水研)

10:00 サケの成長と回遊 ----- 清水宗敬 (北大院水)

10:30~10:40 休憩

10:40 サケの嗅覚機構 ----- 工藤秀明 (北大院水)

11:10 サケの母川記銘・回帰機構 ----- 上田 宏 (北大 FSC)

11:55 総合討論

12:10~13:00 昼休み

< 午後の部 >

一般講演 (サケ科学奨励賞対象)

進行: 清水宗敬 (北大院水) ・ 工藤秀明 (北大院水)

13:00 カラフトマス鼻曲がり形成と雄性ホルモン

----- °木村知彰・瀬部光太郎 (北大院水) ・ 市村政樹

(標津サーモン科学館)・井尻成保・工藤秀明・桜井泰憲(北大院水)

13:15 サケ前脳における母川想起関連分子の探索

----- °箕輪ゆい・萩原聖士・井尻成保・
工藤秀明・足立伸次(北大院水)

13:30 サケの河口域から河川進入までの遊泳行動の解明

----- °磯田隼佑・篠原 陽(北大院環)・市村政樹(標津サーモン
科学館)・山崎忠仁(標津町役場)・津田裕一・宮下和士(北大 FSC)

13:45 甲状腺ホルモンの経口投与がシロザケ稚魚の母川記銘能に与える影響

----- °中村太朗(北大院環境)・本間伸幸(北水研千歳)・
佐藤信洋(豊平川さけ科学館)・上田 宏(北大 FSC)

14:00 北海道南西部知内川におけるサケ (*Oncorhynchus keta*) 幼稚魚の降河行動と食性

----- °越野陽介・神力義仁・青山智哉・竹内勝巳・
宮腰靖之(さけます内水試)・鈴木 慎(渡島管内さけます増協)

14:15 サクラマス生活史分岐における体サイズ閾値の可塑的变化

— 個体群構造が閾値を変える —

----- °大久保 隆(北大院環境)・高橋英佑(北大 FSC)・
小泉逸郎(北大院環境)

14:30~14:50 休憩 (サケ科学奨励賞投票)

一般講演

進行: 本多健太郎(水研セ北水研)・新居久也(栽培漁業振興公社)・
佐々木義隆(さけます内水試)

14:50 大槌湾におけるサケ回帰親魚の行動解析

----- °野畑重教・北川貴士・青木良徳・斉藤 楓・
佐藤克文・兵藤 晋(東大大気海洋研)

15:05 根室北部3河川における自然再生産サケの遡上状況

----- °實吉隼人・佐々木義隆・大森 始・宮本真人・
春日井 潔(さけます内水試)

- 15:20 陸上動物による産卵後のシロザケ死骸利用と陸域輸送パターン
 ----- °松本 経 (北見工大)
- 15:35 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Ⅱ
 ----- °藤原 真・越野陽介・下田和孝 (さけます内水試)
- 15:50 サケ稚魚における河川間の海水嗜好性の違い
 ----- °渡辺智治・安藤大成・下田和孝 (さけます内水試)
- 16:05～16:15 休憩
- 16:15 根室管内におけるサケの放流場所と河川回帰の関係
 ----- °春日井 潔・佐々木義隆・實吉隼人 (さけます内水試)
- 16:30 環境DNAを用いたサケ生態調査手法の確立
 ----- °荒木仁志・神戸 崇・鎌田頌子 (北大)・佐藤俊平 (北水研)・
 宮 正樹 (千葉中央博)・源 利文 (神戸大)・近藤倫生 (龍谷大)
- 16:45 エコラベルとサケ漁業—現状と課題の分析
 ----- °永田光博 (さけます内水試)・福田和人 (北海道ぎょれん)
- 17:00 初等・中等教育におけるサケのリテラシー
 ----- °浦野明央 (北大)・丹羽淑博・窪川かおる (東大・
 海洋アライアンス・海洋教育促進研究セ)
- 17:15 サケ学研究会新体制への移行について ----- 永田光博 (サケ学研究会会長)
- 17:30 サケ科学奨励賞授与式 ----- 永田光博 (サケ学研究会会長)
- 17:40 閉会 ----- 永田光博 (サケ学研究会会長)
 写真撮影

備考：一般講演は、今回、15分間となっております。12分発表・3分質疑応答をめぐりにしていただけると幸いです。

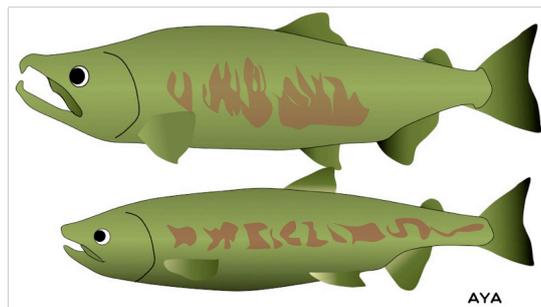
<午前の部>
特集「サケの回遊とそのメカニズム」
講演要旨

特集「サケの回遊とそのメカニズム」

趣旨説明

上田 宏（北大 FSC）

我国の代表的な太平洋サケであるサケ（シロザケ）は、体重約 1g の稚魚が生まれた川（母川）から降河回遊 downstream migration を行い、オホーツク海、ベーリング海からアラスカ湾にもおよぶ索餌回遊 feeding migration により 3~4kg に成長し、ベーリング海で性成熟の引き金が引かれた親魚が産卵回遊 spawning migration を行い、数千キロに及ぶ回遊を経て高い精度で母川回帰 homing して一生を終えるダイナミックな生活史を営む。「稚魚が降河回遊中に母川固有のニオイを記録（刷り込み imprinting）し、親魚がそのニオイを想起 retrieval して回帰する」と言う嗅覚仮説 olfactory hypothesis は、1950 年代に米国で提唱された。しかし、母川固有のニオイ成分はどのような物質であるか、稚魚の母川記録および親魚の母川回帰に関する嗅覚はどのように機能するかは長い間不明であった。また嗅覚は、母国の沿岸に回帰して数多くの河川から母川を識別する時には機能するが、外洋域での回遊に関しては不明な点が数多く残されている。本特集では、北海道で行われている「サケの回遊とそのメカニズム」に関するこれまでの研究および最先端の研究を紹介し、今後の研究方針などについて議論を深めたい。



特集「サケの回遊とそのメカニズム」

日本系サケの海洋における分布と回遊

浦和茂彦(北水研)

サケ(シロザケ、*Oncorhynchus keta*)は北日本の沿岸漁業にとって重要な魚種であり、毎年約 18 億尾のサケ稚魚が日本のふ化場より放流されている。日本系サケの回帰資源量は、1996 年に 8,859 万尾と史上最高を記録したが、最近は減少傾向にある。また、産卵回帰するサケの年齢や体サイズにも変動がみられ、海洋における環境収容力、種間や種内相互関係、気候変動の影響などが懸念されている。日本系サケの海洋生態系における位置付けや資源変動要因を究明するためには、まず海洋における回遊経路と分布域を知る必要がある。

日本系サケは北太平洋を広く回遊することが沖合での標識放流により確認されているが、沿岸を離れた幼魚の回遊経路、越冬場所、未成魚や成魚の主な摂餌場所など生残と成長に関わる分布情報は長い間不明だった。しかし、公海さけ・ます漁業が全面禁止された 1992 年以後、遠洋水産研究所(現在は北海道区水産研究所)が行った沖合分布調査と近年発達した系群(個体群)識別技術により、日本系サケの全海洋生活史を通じた移動と分布が解明されつつある。ここでは、遺伝的系群識別と耳石標識を利用して行った日本系サケの回遊経路に関する研究成果を総説すると共に、研究課題を整理した。

日本系サケは季節や発育ステージ毎に生息場所を変え、北太平洋とその周辺海域を広く大回遊する。日本系サケ幼稚魚は、春から初夏にかけて北日本沿岸の陸棚に沿ってオホーツク海まで移動し、そこで夏から秋まで生活する。11 月になると、水温の低下に伴い幼魚は西部北太平洋へ移動し、水温が 4~6℃の狭い水域で最初の越冬を行う。越冬を終えた若齢魚(海洋年齢 1 年魚)は、初夏(6-7 月)に摂餌のためベーリング海へ移動する。水温が急激に低下する 11 月になると、若齢魚(海洋年齢 1 年魚)を含む未成魚は北東太平洋へ南下し、アラスカ湾で越冬する。未成魚はベーリング海とアラスカ湾の間を季節による南北移動を繰り返し、成熟した魚は 7 月頃より順次ベーリング海を離脱し、秋から初冬にかけて日本沿岸の母川に産卵のため回帰する。

サケの母川回帰精度は極めて高い。北海道の代表的な 10 河川に遡上した耳石標識サケ親魚のモニタリング調査結果によると、迷入魚の遡上率は平均 0.24%(最大 2.2%)と推定されている。サケは北太平洋を大回遊し、総遊泳距離は数万キロに及ぶにも関わらず、生まれた河川へ正確に回帰する能力は驚異的である。母川を探しあてる方法として、嗅覚仮説が提唱されているが、ニオイを識別できる母川付近までどのように回遊するのかは依然として謎である。近年、サケ・マス類が地磁気を利用して外洋から母川まで回帰している可能性が指摘されている。回遊するサケ・マス類が体験する地磁気情報を直接観測した例はなかったが、2012 年と 2013 年に中部ベーリング海で水温・水深・地磁気(総磁力・地磁気の俯角)を記録できるアーカイバルタグをサケに装着して放流し、北海道沿岸でタグの回収に成功した。記録されたデータの解析結果から、サケは地磁気の総磁力を利用してベーリング海から日本沿岸まで回帰すると推定されている。

海洋における今後の研究課題として、最も死亡が起きやすいと考えられる降海してからオホーツク海に至るまでの時期におけるサケの初期生残機構について集中的な研究を実施すると共に、日本系サケの主要な摂餌海域であるオホーツク海とベーリング海で資源状態と生息環境に関する長期的モニタリング調査を行うことが、サケ資源の持続的な維持と利用のため不可欠と思われる。

特集「サケの回遊とそのメカニズム」

サケの成長と回遊

清水宗敬（北大院水）

サケ（シロザケ）は淡水で生まれ、河川で数ヶ月過ごした後に全ての個体が海に下る（降海回遊）。サケ稚魚は河口・沿岸域にしばらく留まるが、その後、オホーツク海、ベーリング海およびアラスカ湾で索餌回遊を行って成長する。十分に成長したサケは性成熟開始を引き金に産卵回遊に転じ、生まれた川に回帰して一生を終える。このような回遊の中で大部分が減耗するが、1年目の冬までの成長に依存した減耗が著しい。そのため、海洋生活初期のサケ稚幼魚の成長度合いを評価し、その後の生残を推定することは重要である。また、サケの索餌回遊の期間は個体によって異なる。このようなばらつきは性成熟開始年齢の違いであり、それは成長の良否に関係する。索餌回遊（成長）から産卵回遊（性成熟）への切り替えを理解することは、回帰数や年齢構成を把握する上で重要である。演者は成長が生残や回遊の切り替えに関与している点に着目し、成長の調節メカニズムの理解からこれらの問題に取り組みたいと考えている。本発表ではこれまでの成果の紹介と今後の展開について議論したい。

サケ科魚類を含む脊椎動物の成長は、成長ホルモン（GH）-インスリン様成長因子（IGF）-I 内分泌系により調節されている。特に、IGF-I は GH の作用を仲介するとともに、さまざまな器官で合成され成長を促進するため注目される。また、血中 IGF-I の活性は複数存在する IGF 結合蛋白（IGFBP）によって調節されている。これまでに演者のグループは、シロザケ稚幼魚において血中 IGF-I が個体の成長率と良い正の相関を示すことを明らかにした。さらに、IGFBP の中には成長率と負の相関を示すタイプが存在することも見いだした。現在、これらを指標（ツール）として、網走沿岸のサケ稚幼魚の成長度合いを評価する試みを行っている。これまでに、サケ稚魚は成長を高めながら離岸することや、河口には成長の悪い個体が滞留していることを示唆する結果を得ている。

成長と性成熟開始を結ぶ機構は非常に複雑である。性成熟開始には視床下部の視索前野からの生殖腺刺激ホルモン放出ホルモン（GnRH）の分泌が必須であり、GnRH 産生神経細胞を活性化する因子とカスケードの理解が現在の研究の中心となっている。その中には個体のエネルギー（脂肪）蓄積度合いや成長状態を中枢神経系に伝達する末梢器官からの情報分子も含まれる。現在のところ、体の脂肪蓄積度合いは脂肪細胞から分泌されるレプチンと呼ばれるホルモンにより伝達されていると考えられている。一方、体成長の度合いは IGF-I により伝えられていると考えられる。演者は、索餌回遊中のサケ未成熟魚の血中 IGF-I に着目し、その成長指標としての有用性と視床下部・下垂体への作用の解析を通して、索餌回遊から産卵回遊の切り替え予測とメカニズムにアプローチしたいと考えている。

特集「サケの回遊とそのメカニズム」

サケの嗅覚機構

工藤 秀明 (北大院水)

はじめに 遡河性サケ科魚類 (以下, サケ類) の回遊と嗅覚については, 1950 年代に米国の Hasler AD らが産卵遡上親魚の鼻孔閉塞放流実験により提唱した「嗅覚刷込仮説」に始まり, 「逐次刷込仮説」, 「刷込臨界期」の存在, 母川のニオイには「アミノ酸組成」が重要であること等が示されている。さらに最近では, 嗅覚とそれ以外の因子も考慮した「階層的航法仮説」なるものも提唱されている。このように, サケ類の母川回帰の終盤の母川識別 (想起) には, 降海時に刷込まれた母川のニオイ情報が重要であることは, 広く受け入れられている。ニオイに対する感覚である嗅覚は, ニオイ受容神経細胞である嗅細胞を含む嗅上皮で表面が覆われる鼻すなわち嗅房で感知され, 嗅細胞の軸索が束になった嗅神経を介して嗅覚の一次中枢である嗅球に投射され, より高次の終脳に伝達・情報処理される。これまで当研究室では, 我が国のサケ類増殖事業の重要種であるサケ (*Oncorhynchus keta*) を用いて, ニオイ情報の最初の入力部位である「嗅房」の構造とそこで発現しているいくつかの機能性分子に着目して研究を展開してきた。本発表では, これまでに嗅房レベルで得られた知見と最近, 着手し始めた中枢における解析について説明する。

生活史を通じた嗅房の形態変化 母川刷込に嗅覚が重要とされるサケ類においても, その嗅房の構造については, 成魚の比較解剖学的知見がある程度で詳細は不明であった。そこで, 各発育段階のサケの嗅房に関する顕微解剖学的解析を行い, 嗅房を構成して表面積増大に関わる嗅板の枚数の変化および嗅細胞から伸びる軸索数の分析による嗅細胞数の変化を調べた。その結果, 仔魚期に片側数枚であった嗅板数は, 幼魚期までに 18 枚前後まで増加し, その後, 一定であった。一方, 嗅細胞は体サイズに依存して増加するが, こちらも幼魚期で増加が緩やかになった。この結果より, 母川のニオイが刷込まれると推定される降海前のサケ稚魚では, 片側嗅細胞数が約 20 万細胞に対し, 想起する成熟魚では 1,400 万細胞までになっていることが明らかとなった。

嗅房における機能性分子の発現変化 サケ嗅房および嗅上皮における機能性分子として, 薬物代謝第 II 相酵素で嗅細胞の指標になる glutathione S-transferase π , 多くの脊椎動物で嗅細胞の指標として一般的に使われる olfactory marker protein, ニオイ受容のシグナル伝達に強く関わる G-protein α_{olf} , 細胞の活性化や増殖・分化に関わる thyroid hormone receptor 等について, 分子生物学的および免疫組織化学的解析を行った。全ての分子は, それぞれの機能に応じた発現を示し, 分析した稚魚から成熟魚までの全ての時期で検出された。一方, 母川刷込や想起に関わる降海時や遡上時に特異的な発現パターンは現在のところ見出だされておらず, 逆に外洋の未成熟/成熟途上魚で高い発現を示す分子があった。当然ながら嗅覚は母川刷込のみに働くものではなく, 種々の行動に関わることから, 外洋で発現が高まる分子は索餌行動等へ関与する可能性が考えられる。

嗅覚中枢における機能解析 これまでも国内外の研究グループにより, 他の生物種で長期記憶に関連することが知られる神経伝達物質受容体等について研究が進められている。現在, 当研究室では, サケの降海時期と遡上時期における嗅覚中枢「前脳 (嗅球+終脳)」での網羅的遺伝子発現解析に着手している。特に我々は, 附属練習船により新鮮な外洋個体の試料が入手可能であることから, 外洋未成熟/成熟途上の個体を母川刷込に関しては「サイレント」な時期と仮定して発現比較を実施し, 沿岸域で上方制御される, いくつかの機能別に分類出来る遺伝子を見出だしている。これらの分子の詳細な発現動態 (時期的変化や局在性等) が明らかになっていけば, 嗅覚刷込の解明に繋がるのではないかと期待している。

特集「サケの回遊とそのメカニズム」

サケの母川記銘・回帰機構

上田 宏（北大 FSC）

太平洋サケは、稚幼魚が生まれた川（母川）から海に降河回遊する時に、母川の何らかの因子を記銘（刷り込み）し、大海原を数年間索餌回遊により成長して親魚になり、性成熟の開始が引き金となって産卵回遊により母国の沿岸まで回遊し、記銘した母川の因子を想起して遡河回遊し、繁殖して子孫を残して一生を終えるドラマチックな生活史を営む。母川の因子に関しては、1950年代に米国で、母川固有のニオイであると言う嗅覚仮説が提唱された。しかし半世紀以上たった今も、稚幼魚がどのように母川のニオイを記銘し、親魚がどのようにそのニオイを想起するのか、母川固有のニオイはどのような成分であるのか、および太平洋サケが大海原をどのような感覚機能を用いて大回遊しているのか、に関しては不明な点が多く残されている。

大海原における大回遊に関しては、ベーリング海および洞爺湖（モデル海洋）などにおけるバイオテレメトリー手法を用いた研究により、視覚・磁気感覚などを用いたコンパス機能により、方向を定位して回遊している可能性が示唆されている。

太平洋サケの稚幼魚が降河回遊する時は、海水適応能を獲得するため銀化するの、銀化に関連する様々な内分泌的变化の研究が行われてきた。その中でも特に脳一下垂体－甲状腺（BPT）系ホルモンが銀化に重要な役割を演じることが報告されてきたが、母川記銘に関する研究は行われてこなかった。千歳ふ化場から千歳川と石狩川を経て石狩湾に降河回遊するサケ（シロザケ）稚魚をサンプリングして BPT 系ホルモンの動態を解析した。ふ化場から放流直後に全脳の甲状腺刺激ホルモン放出ホルモン（THR）遺伝子発現量が増加し、降河回遊中に脳下垂体を含む頭部の甲状腺刺激ホルモン（TSH） β サブユニット遺伝子発現量、および下顎中の甲状腺ホルモン（T3・T4）含有量が増加した。高等脊椎動物で記憶に関連する因子として海馬に存在する NMDA 型グルタミン酸受容体（NMDA 受容体）が重要な役割を演じていることが報告されている。NMDA 受容体の必須サブユニットである NR1 遺伝子発現量は、シロザケ稚魚の降河回遊に伴い、THR 遺伝子発現量が増加した後に増加した。シロザケ稚魚は、ふ化場から河川に放流される環境の変化が刺激になり、BPT 系ホルモンが活性化され、母川のニオイを記銘する可能性が示唆された。

太平洋サケの親魚が産卵回遊して母川回帰する時は、生殖腺の成熟と密接な関係があり、性成熟に関連する種々の内分泌学的変化の研究が行われてきた。その中でも特に脳一下垂体－生殖腺（BPG）系ホルモンが重要な役割を演じることが報告されてきたが、母川想起に関する研究は少なかった。ベーリング海から千歳ふ化場に回帰するシロザケ親魚をサンプリングして BPG 系ホルモンの動態を解析した。脳のサケ型生殖腺刺激ホルモン放出ホルモン（sGnRH）前駆体遺伝子発現量は、脳部位ごとに発現のピークが異なるが増加する傾向を示し、また雄の終脳と視床下部においてベーリング海で高い発現量を示す傾向が認められた。脳下垂体から分泌される生殖腺刺激ホルモン（LH）量および血中ステロイドホルモン（E2・T・11KT・DHP）量は、多少の雌雄差は認められるが産卵回遊および遡河回遊に伴い増減した。NR1 遺伝子発現量は、雌雄とも遡河回遊に伴い増加したが、雄の終脳においてベーリング海でも高値を示した。石狩湾において捕獲した海水中のシロザケ親魚に GnRH アナログ（GnRH_a）を投与して、石狩川水系河川水に対する嗅覚応答（EOG）を測定したところ、GnRH_a 投与した雄親魚の石狩川水と千歳川水に対する EOG が上昇した。ベーリング海からふ化場に回帰するシロザケは、ベーリング海において sGnRH が活性化して産卵回遊を開始し、遡河回遊にも sGnRH が主導的役割を果たして母川想起する可能性が示唆された。

母川固有のニオイに関しては、4種の太平洋サケ（サクラマス・ベニザケ・シロザケ・カラフトマス）を用いた Y 字水路における人工河川水の選択行動実験および種々の河川水に対する EOG 実験により、各河川で異なり、季節および年により変化しない溶存遊離アミノ酸（DFAA）組成が重要であることを確認している。また、河床の付着微生物の集合体であるバイオフィームが放出する DFAA 組成が、河川水中の DFAA 組成と同じであることから、DFAA の起源の一つはバイオフィームであると考えている。

我国の太平洋サケ資源は、先人たちの努力の成果である世界に誇れる人工ふ化放流事業により再生産されている。今回の特集で発表された最新の知見を、人工ふ化放流事業の現場で応用することにより、太平洋サケの資源量を持続的に増産することを願っている。

<午後部>
一般講演（サケ科学奨励賞対象）
講演要旨

一般講演（サケ科学奨励賞対象）

カラフトマス鼻曲がり形成と雄性ホルモン

○木村 知彰・瀬部 光太郎（北大院水）・市村 政樹（標津サーモン科学館）
・井尻 成保・工藤 秀明・桜井 泰憲（北大院水）

背景と目的 サケ科魚類雄の第二次性徴として発現する鼻曲がりとは、性成熟に伴い吻部が鉤状に伸長し、歯が牙状の繁殖歯になる形質である。第二次性徴発現の調節因子については、魚類特有の雄性ホルモンである 11-ケトテストステロン（11-KT）のベニザケ（*Oncorhynchus nerka*）雄への腹腔内投与により、鼻曲がり形成を誘導できること（Idler et al. 1961）、また、ブラントラウト（*Salmo trutta*）雄の脂鱗組織内に雄性ホルモン受容体（AR）タンパクが発現し、同ホルモンの標的部位であること（Hisar et al. 2012）が報告されている。しかしながら、鼻曲がりを構成する組織が、雄性ホルモンの標的部位であるかについては不明である。本研究では、カラフトマス（*O. gorbuscha*）雄の吻部内部組織が雄性ホルモン標的部位であり、鼻曲がり形成における雄性ホルモンの関与を明らかにすることを目的とし、吻部内部組織における AR の分子生物学的および免疫組織化学的検出を行い、組織学的変化との関連を検討した。

材料と方法 供試魚のカラフトマス雄は、2013年～2015年に、5月に北太平洋西部海域において採集した外洋未成熟魚、8月に北海道東部標津町沿岸沖の定置網により漁獲された軽度の第二次性徴が認められる成熟途上魚および9月に標津川に産卵遡上した頭著に第二次性徴を発現した成熟魚を用いた。上下顎長を含む魚体測定後、尾柄部から採血し血清を得て、血中テストステロンおよび 11-KT 濃度を時間分解蛍光免疫法により測定した。分子生物学的解析は、上顎内の軟骨組織および精巣から精製した poly (A)⁺ RNA を鋳型とし、ニジマス（*O. mykiss*）精巣の *ar* 解析（Takeo and Yamashita 1999）で用いられていた α および β アイソフォームに対するプライマーによる逆転写 PCR を行い、増幅産物を 1.5% アガロースゲル電気泳動にて確認した。免疫組織化学的解析は、上下顎組織を 0.1M リン酸緩衝 4% パラフォルムアルデヒド液により固定し、常法により矢状断方向のパラフィン包埋切片とし、ヘマトキシリン-エオシン染色とマッソントリクローム染色による組織化学およびウサギ抗 AR ポリクローナル抗体を用いた間接酵素抗体法を施行した。

結果と考察 血中 11-KT 濃度と上下顎長の間には、それぞれ有意な正の相関が認められた。*ar-beta* については、上顎軟骨および精巣で共に設計通りの約 450 bp の増幅産物が確認され、*ar-beta* 発現が確認された。しかしながら、*ar-alpha* については今回用いた手技では検出できなかった。上顎軟骨組織内の軟骨細胞に AR 免疫陽性反応が確認された。同反応は、吻端の結合組織に近い未熟な軟骨細胞でより強く観察された。下顎歯骨先端の骨組織では、より吻側の大型円形の未熟な骨細胞および骨基質縁辺の一部の骨芽細胞に AR 免疫陽性反応が確認された。しかしながら、その尾側の歯骨組織内の骨細胞では同反応が認められなかった。成熟途上魚では、吻側海綿状骨基質内の AR 免疫陽性反応を示す細胞が未成熟魚に比べ、多数観察された。以上の結果より、鼻曲がりを構成する内部組織は、雄性ホルモンの標的部位であり、特に、上顎の軟骨組織では未熟な軟骨細胞が、下顎歯骨先端から吻側に伸長する緻密海綿状骨組織では骨芽細胞と骨細胞が、AR を介して細胞の増殖および分化に関わる雄性ホルモンの調節を受け、鼻曲がりを発達させている可能性が示された。

一般講演（サケ科学奨励賞対象）

サケ前脳における母川想起関連分子の探索

○箕輪 ゆい・萩原 聖士・井尻 成保・工藤 秀明・足立 伸次（北大院水）

背景と目的 遡河性サケ属魚類 *Oncorhynchus* spp. の母川回帰の終盤には、降海時に刷込まれたニオイの記憶を頼りに母川を識別（想起）するという「嗅覚刷込」説が提唱されている（Wisby and Hasler 1954）。嗅覚の一次中枢である嗅球に入力したニオイ情報は、チューニングを受けより高次の終脳に伝達される（Satou et al. 1996）。終脳は高等脊椎動物の脳に相当し、一般に記憶に関わるとされている。これまでに、サケ属魚類の産卵遡上時に脳内で発現が増加する分子として、NMDA 型グルタミン酸受容体（Kim et al. 2015）や、神経修飾物質とされるエペンジミン（Bernier et al. 2008）等が報告されている。しかしながら、サケ属魚類が母川刷込を行う降海時や母川識別を行う産卵遡上時に脳内でどのような神経生理学的現象が起き、どのような分子が関わっているかについては、未だ不明な点が多く残されている。本研究では、サケ（*O. keta*）の嗅覚に関わる脳部位である前脳（嗅球-終脳）において、母川識別時のニオイを想起する時期に発現が消長、または大きく変化する分子を網羅的なトランスクリプトーム（RNA-seq）解析により探索し、サケ属魚類の母川刷込・想起に強く関わる嗅覚系の脳内分子を同定することを目的とした。

材料と方法 供試魚にはサケを用い、母川刷込に関係が低いと推定される外洋未成熟個体は、2014年5月に北太平洋西部海域において本学附属練習船からの手釣りにより採集、産卵遡上前の個体は、同年11月に八雲町沖において遊漁船からの手釣りにより採集、産卵遡上中および遡上後の個体は、同年11月にそれぞれ遊楽部川の下流域および上流域（産卵場付近）で電撃漁具により採集した。剖出した前脳（嗅球-終脳）からは、全RNAを抽出し、RNAの濃度と品質確認を行った。RNA-seq解析において、全RNAからのcDNAライブラリー作製、ブリッジPCRによるDNA増幅および次世代シーケンサー HiSeq2000（Illumina社）を用いたペアエンド法によるシーケンシングまでを委託分析（北海道システムサイエンス社）で実施した。読まれたリードのクオリティコントロール後、*de novo* アッセンブリによりコンティグを得てリードマッピングを行い、相対的転写物濃度（FPKM値）を用いて発現量分析を行った。分析には、沿岸および下流域の個体を想起の盛期と仮定し、外洋個体より沿岸および下流域の個体でFPKM値が高い配列に着目し、遺伝子配列データベース（NCBI）による既知遺伝子との相同性検索結果から機能を類推し、個体別の遺伝子発現を比較した。

結果 HiSeq2000により、253,715,622リードが読み取られ、226,232個のコンティグが得られた。そのうち、外洋個体より沿岸および下流域個体の方が2倍以上高いFPKM値を示した配列は550個、10倍以上高い同値を示した配列は96個であった。その96配列の類推される機能は、6配列が情報伝達、22配列が細胞骨格を含む細胞成分、8配列が細胞増殖・分化、7配列がイオン輸送、17配列がその他の機能、そして機能類推不可能な未知のものが36配列であった。一方、成熟関連と類推される遺伝子は、今回のスクリーニングでは抽出されなかった。現在、特に情報伝達に関わる遺伝子のうち、他の生物種で嗅覚への関与の報告がある上位2遺伝子の実際の転写状況の確認を進めている。

一般講演（サケ科学奨励賞対象）

サケの河口域から河川進入までの遊泳行動の解明

○磯田 隼佑・篠原 陽(北大院環)・市村 政樹(標津サーモン科学館)・山崎 忠仁(標津町役場)・津田 裕一・宮下 和士(北大 FSC)

【背景・目的】 サケ(*Oncorhynchus keta*)は北海道において重要な漁業対象種となっており、その資源の大半を人工ふ化放流事業によって維持管理されている。しかし、近年ではサケの人工ふ化放流事業を推進する上で、本種が持つ種の特性と多様性を維持する事の重要性が見直されるようになった。そのため、人工ふ化放流事業だけではなく、自然再生産を順応的に併用した増殖手法が望まれている。それ故に、本種の産卵の環境や繁殖生態に関する研究が精力的に行われてきた。しかしながら本種が再生産を行うためには河川に進入することが前提であるにもかかわらず、河口域から河川進入までの本種の遊泳行動に焦点を当てた研究事例は稀有である。そこで、本研究ではバイオロギング手法とバイオテレメトリー手法を併用した調査を実施することで、サケの河口域から河川進入までの遊泳行動を解明することを目的とした。

【材料・方法】 調査は北海道東部に位置する標津川の河口域で行った。放流調査は 2014 年 9 月から 10 月にかけて計 3 回(9 月 29 日・10 月 10 日・10 月 25 日)実施した。調査ごとに標津川河口最寄りの定置網で捕獲されたサケ 12 個体(計 36 個体)を供試魚として用いた。供試魚は遊泳深度と環境水温を 30 秒間隔で記録するデータロガー(LAT1400, Lotek 社)と ID を発信する超音波発信機(V13-1L, VEMCO 社)を装着後、成熟度の指標として用いる血液を尾部血管より注射器を用いて 1ml 採取した。海洋環境データとして供試魚が捕獲された定置網と放流地点における表層から海底直上まで CTD(CastAwayCTD, ワイエスアイ・ナノテック社)を投下して海洋観測を行った。供試魚が河川進入したタイミングは、標津川河口へ放流調査前に設置した超音波受信機(VR-2W, VEMCO 社)の受信記録から判断した。河川進入するまでの行動の特徴を明確にするために、河川進入個体と非河川進入個体間の遊泳深度の時系列データおよび遊泳深度分布図を作成し比較した。加えて、i-STAT(アイ・スタットコーポレーション社)を用いて、放流前に採取した血液の Na^+ 濃度を算出し、河川進入個体と非河川進入個体で成熟度を比較した。

【結果・考察】 放流調査の結果、標津川へ 8 個体が進入し、11 個体が河川進入せずに再捕獲された。これらの個体間で遊泳深度を比較した結果、河川進入個体は河川進入まで常に深度 1m 以浅の表層を遊泳していたが、非河川進入個体は表層から海底直上までの鉛直的な移動を繰り返していた。また成熟度の指標として用いた血中 Na^+ 濃度は、河川進入個体と非河川進入個体間で有意な差は見られなかったが、河川進入個体のほうが高い傾向を確認出来た。加えて、CTD 観測の結果から河口域の海洋環境は表層に標津川由来の水塊が存在しており、標津川由来のサケが表層で母川を発見出来る環境であったと推測された。田中(1999)の研究では未成熟なサケは鉛直移動を繰り返し、成熟したサケは表層の母川水由来の水塊を探索するために、主に表層を遊泳する事が示唆されている。したがって本研究で観察されたサケの行動は、未成熟であった非河川進入個体は表層から海底直上までの鉛直移動を繰り返しながら母川探索を行い、成熟していた河川進入個体は表層を遊泳する事で母川探索を優先して行き、かつ発見した母川水を辿りながら河川進入したために生じたと考えられる。なお供試魚の環境水温に関する結果と考察は、本要旨では省略する。

一般講演（サケ科学奨励賞対象）

甲状腺ホルモンの経口投与がシロザケ稚魚の母川記銘能に与える影響

○ 中村太朗（北大院環境）・本間伸幸（北水研千歳）・
佐藤信洋（豊平川さけ科学館）・上田宏（北大FSC）

【目的】太平洋サケは、降河回遊時に銀化して海水適応能を獲得し、その際に母川固有のニオイを記銘（刷り込まれる期間が限定され長期間保持される不可逆的な記憶）すると考えられている。銀化には様々なホルモンが関与しており、中でも母川記銘には脳・下垂体・甲状腺（BPT）系ホルモンが重要な役割を果たすことが報告されているが、太平洋サケの嗅覚記憶に関与する脳内分子については不明な点が多く残されている。一方、高等脊椎動物では、N-methyl-D-aspartate 型グルタミン酸受容体（NMDA 受容体）が記憶や学習に関与することが知られており、太平洋サケにおいても NMDA 受容体が母川記銘に重要な役割を果たす可能性が示唆されている。これまでシロザケ（*Oncorhynchus keta*）の降河回遊にともなう BPT 系ホルモンおよび NMDA 受容体の必須サブユニット（NR1）遺伝子の発現動態を調べた結果、降河開始時（ふ化場から放流直後）に BPT 系ホルモンが活性化され、その後の降河回遊にともない NR1 遺伝子の発現量が増加することから、BPT 系ホルモンの活性化が、母川記銘能を誘発している可能性が示唆された。本研究では、甲状腺ホルモン（T4）が太平洋サケの母川記銘能に与える影響を調べる目的で、降河回遊前のシロザケ稚魚に T4 を経口投与して、NR1 遺伝子の発現量変化を解析した。

【方法】北海道区水産研究所千歳さけます事業所で飼育された放流前のシロザケ稚魚を、札幌市豊平川さけ科学館に運搬して、実験を行った。餌 1g 当たり 2mg となるような T4 を混合した飼料を 1 日 1 回、14 日間給餌した。遺伝子発現量解析には、全脳を摘出し、NR1 遺伝子発現量の経時変化をリアルタイム定量 PCR により解析した。また、同時に魚体からホルモン抽出を行い、甲状腺ホルモン（T3・T4）含有量を測定した。

【結果】シロザケ稚魚の脳内 NR1 遺伝子発現量は、T4 投与開始から 4 日後に対照群と比べて有意に増加し、その後も対照群より高値を示したが 14 日後まで有意差は無かった。一方、魚体中の甲状腺ホルモン濃度（T3・T4）含有量は、T4 投与群において 4 日から 14 日目まで対照群に比べ有意に上昇し続けた。以上の結果、T4 投与により NR1 遺伝子発現量が 4 日目にピークになることが明らかになった。ふ化場産のシロザケ稚魚は河川へ放流される生息環境の劇的変化により甲状腺ホルモン分泌量が増加し、母川記銘能が誘発される可能性が示唆された。今後は、太平洋サケの甲状腺や NMDA 受容体の機能を阻害する実験により母川記銘能がどのように変化するかを調べることにより、太平洋サケの母川記銘機構のさらなる解明が期待される。

一般講演（サケ科学奨励賞対象）

北海道南西部知内川におけるサケ (*Oncorhynchus keta*) 幼稚魚の降河行動と食性

°越野陽介, 神力義仁, 青山智哉, 竹内勝巳,
宮腰靖之（さけます内水試）, 鈴木 慎（渡島管内さけます増協）

背景と目的

サケ (*Oncorhynchus keta*) のふ化増殖事業では、沿岸域が幼稚魚の生残にとって最適な環境条件を満たす時期（放流適期）に放流を行うことが重要である。そのため、放流後の河川内におけるサケ幼稚魚の摂餌・降海行動は重要な知見となる。1950年代後半～70年代までは、そのような研究は数多く行われていたが（例えば小林 1958; 帰山 1978, 1979 など）、近年は研究例が少ない。そこで、本研究では北海道南西部知内川において、サケ幼稚魚の河川滞在期間および胃内容物を明らかにした。

材料と方法

2015年3月11日、4月11日および5月1日に、知内ふ化場で飼育してそれぞれ異なる耳石温度標識を施したサケ幼稚魚を河口より約3 km 上流部に輸送放流した。その後6月までの各旬に河口から500 m 上流部に吹き流しトラップを設置してサケ幼稚魚の採集を行った。4月11日および12日には水中音響カメラ (Didson) を吹き流しトラップの10 m 上流に設置し、降河する幼稚魚の観察を行った。胃内容物分析の試料を得るために放流地点より約1 km 下流において、電気ショッカーによる幼稚魚の採集も併せて行った。両方法にて採集した幼稚魚は、計数した後に30個体を上限として取り上げて持ち帰った。実験室では、採集魚の尾叉長および体重の測定を行ってから耳石と胃を取り出した。耳石はラッピングフィルムで研磨し、温度標識の有無の確認および標識パターンから放流日の特定を行った。また、幼稚魚の摂餌状況を確認するために胃内容物指数 (SCI) および各餌生物の相対的重要度指数 (IRI) を算出した。

結果と考察

幼稚魚トラップによる採集の結果、サケ標識魚の採集尾数は放流日および翌日には顕著に多かったが、それ以降は極めて少なくなった。また、幼稚魚は日中にはほとんどトラップで採集されなかったが、夜間（特に21:00—0:00）に多く採集された。これらの結果は、サケ幼稚魚の降海行動が夜間に行われ（小林 1958）かつ河川滞在時間は短い（小林・阿部 1977）という過去の知見と一致した。その一方で、Didson で撮影した水中映像からは日中に放流後1時間程度で降海する幼稚魚の群れが確認された。このことは、①日中におけるトラップ採集は幼稚魚に回避されてしまうこと、②幼稚魚は輸送放流のストレスにより通常とは異なる降海行動を行う可能性（河村 1978）があることを示している。幼稚魚のSCIは、クロカワゲラ科のIRIが高い3月に高く、融雪出水期にあたる4—5月に低下したものの、その値は他の研究と比較すると低かった。以上の結果から、サケ幼稚魚の河川滞在期間が短く、活発な摂餌も見られない本河川では、幼稚魚放流時の沿岸における餌環境や水温を把握しておくことが重要であると考えられた。

一般講演（サケ科学奨励賞対象）

サクラマス生活史分岐における体サイズ閾値の可塑的变化 —個体群構造が閾値を変える—

○大久保 隆（北大院環境）・高橋英佑（北大 FSC）・小泉逸郎（北大院環境）

【背景・目的】

生物の表現型は、遺伝情報のみによって決定されるわけではなく、環境条件によっても左右される。異なった表現型が単一の遺伝子型から生じる現象は表現型可塑性と呼ばれており、形態が大きく異なる表現型多型を生じることもある。例えば、サケ科魚類においては川から海に降りて大型化する「回遊型」と、河川に留まり小型で成熟する「残留型」の生活史二型が知られている。

サケ科魚類における生活史の分岐に際しては、河川生活期のある時期に、「ある体サイズ閾値を超過できるか否か」という点が重要となる。また、近年の研究により、遺伝子組成、生息地の物理環境等の差異がこの体サイズ閾値を変化させ、生活史に影響を与えることも示唆されている。しかし、既存の研究は個体レベルのコンディションに着目したものが多く、個体群内における他個体の影響については検証されてはいない。例えば、ある時期までに体サイズ閾値を超過し成長した個体でも、周囲により大型の個体が多くいた場合には、その年に残留型として成熟せずに回遊型になる可能性がある。そこで本研究では、「個体間相互作用を介した個体群構造の差異により、体サイズ閾値が変化する」という仮説を立て、①密度の差異、②個体群の体サイズ組成の差異が与える影響に着目し、サクラマス (*Oncorhynchus masou*) を用いた飼育実験にて仮説を検証することにした。

【材料・方法】

供試魚として七飯淡水実験所産サクラマス 0 歳魚を使用した。実験群として、小体長・低密度群(SL 群)、小体長・高密度群(SH 群)、大体長・低密度群(LL 群)、大体長・高密度群(LH 群)の計 4 群を設定し、2015 年 5 月から 9 月にかけて七飯淡水実験所にて飼育実験を行なった。上記仮説が正しければ、小体長区では全ての個体が小さい為、絶対的な体サイズが小さくても成熟が可能となる（残留型になれる）。したがって、小体長区では大体長区に比べて体サイズ閾値が低下すると予測した。また、高密度下では個体間干渉の増加によるストレスにより成熟率が低下する、つまり体サイズ閾値が上昇すると予測した。また、供試魚にはイラストマータグによる個体識別を行ない、5 月～9 月の各月毎の尾叉長を計測することで、成長過程を記録した。各個体の尾叉長、体サイズ処理、密度処理を説明変数としたロジスティック重回帰分析を行ない、AIC を基準としたモデル選択から生活史分岐に影響を与える要因を検討した。

【結果・考察】

ロジスティック回帰式より算出された各群の体サイズ閾値は SL:146(mm)、SH:142、LL:153、LH:150 となった。密度の効果は認められなかったが、平均体サイズの大きい区では体サイズ閾値も上昇していた。また AIC によるモデル選択の結果、8 月時の尾叉長及び体サイズ処理の効果体が体サイズ閾値に影響していた。これらの結果から、サクラマス生活史分岐において、絶対的な体サイズだけではなく相対的な体サイズも影響することが示唆された。

<午後の部>
一般講演
講演要旨

大槌湾におけるサケ回帰親魚の行動解析

○野畑重教¹、北川貴士²、青木良徳²、斉藤楓¹、佐藤克文^{2,3}、兵藤晋¹
(東京大学大気海洋研究所・生理学¹、国際沿岸海洋研究センター²、行動計測生態³)

岩手県の大槌湾は三陸リアス式海岸に位置し、9月中旬から1月初旬まで大槌湾に注ぐ3河川（大槌川、小槌川および鵜住居川）にサケ親魚が回帰する。何れの河川も人工孵化放流が行われていたが、東日本大震災による大津波で甚大な被害を受け、現在は大槌川と鵜住居川で孵化放流が行われている。本研究は、①狭いエリアに3河川が注ぐ湾奥でサケがどのような水平移動で河川に遡上するのか、②回遊中に母川環境が攪乱された世代や震災年に降海した世代の回帰親魚がどのように河川に遡上するのかを明らかにするために、湾奥で捕獲された個体に超音波発信器を装着して放流し、湾奥に設置した受信器での受信結果から河口付近での行動の奇跡を推定した。

2013年12月放流した18個体は、4つの行動様式を示した。その内訳は①放流後短時間で何れかの河川に遡上する個体(6/18)、②3河川の河口付近を行き来した後に河川に遡上した個体(5/18)、③河口付近には行かずに湾口方面に行く個体(6/18)、④3河川の河口付近を行き来した後に湾口方面に行く個体(1/18)、であった。実験魚は全て4または5年魚で震災前に降海した世代であった。2014年度は11~12月に計65個体を放流し、前年と同様の行動様式であった(図1)。2年の結果から12月にはそれぞれ61および46%が大槌湾の河川に遡上したが、2014年の11月は15%のみの遡上であった。また2014年の5年魚(震災前降海)は12月になると河川への遡上が顕著に増加したが(15→50%)、4年魚(震災年降海)の遡上は大きく変化しなかった(14→28%)。4年魚の遡上率が上がらなかったことについては、大槌湾では震災のあった3月11日以降に稚魚放流されていないこと、あるいは津波によって強制的に海に流された稚魚の母川記銘に影響があったこと、が原因ではないかと考えている。

以上、大槌湾奥に回遊したサケの水平移動には4つの行動様式があり、月別で変化があることが明らかになった。震災

の影響がある可能性も認められ、今年の5年魚の行動にも注視したい。また、遡上した河川ごとに異なった行動様式が認められたのでそれについても発表する。

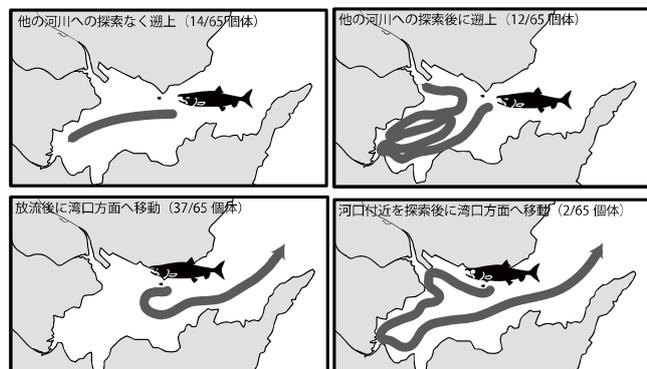


図1 大槌湾におけるサケ回帰親魚の行動様式と2014年度の結果

根室北部 3 河川における自然再生産サケの遡上状況

○實吉隼人・佐々木義隆・大森始・宮本真人・春日井 潔（さけます内水試）

【目的】これまで北海道のサケ資源の大部分が人工ふ化放流に由来すると考えられてきた。しかし、近年では多くの河川で産卵するサケが確認されており、自然産卵に由来するサケが本道のサケ資源に貢献していることが示唆されている。サケ資源の持続的利用には自然産卵個体群の保全が必要と考えられるが、それらの定量的な調査は本邦では事例が少なく、定性的な情報についても依然として不足している。そこで本研究では、根室北部地区の放流・非捕獲河川の植別川と非放流・非捕獲河川の崎無異川および古多糠川において親魚の遡上調査を行い、遡上尾数を推定した。

【方法】2011年～2014年に植別川のふ化場からアリザリンコンプレクソン（ALC）で耳石標識を施した稚魚 1,789～3,282 千尾（植別川放流の 50.2～100.0%）を放流した。2011年～2014年には9月中旬～12月下旬にかけて旬1回、植別川、崎無異川および古多糠川においてそれぞれ河口から 8km, 5km および 3km を踏査し、目視による遡上親魚の計数を行い、AUC法（Area under the curve 法）を用いて遡上親魚尾数を推定した。加えて踏査時にはホッチャレから鱗と耳石を回収し、年齢査定と ALC 標識の確認を行った。調査年の内 2014 年は放流魚全数に標識を施した 2010 年級（採卵時期：10 月下旬～11 月中旬）の 4 年魚が回帰したことから、これらについて確認した耳石に対する標識魚の割合（発見率）と 4 年魚の推定遡上尾数から放流魚と自然産卵魚の遡上数を求めた。

【結果】調査を行った 4 年間で植別川では 2,980～3,615 尾の親魚を目視により確認し 2,578～4,765 尾の親魚が遡上したと推定された。同様に崎無異川では親魚 240～555 尾を確認し、推定遡上数は 225～635 尾、古多糠川では親魚 240～422 尾を確認し、推定遡上尾数は 270～396 尾であった。植別川では 10 月上旬と 11 月中旬を中心とする遡上のピークがみられたが、崎無異川と古多糠川では遡上のピークは 11 月中旬のみであった。2014 年は植別川で耳石を回収した 4 年魚 451 尾から 203 尾の標識魚が確認された。植別川ではほぼ調査期間全てで 4 年魚のホッチャレが確認されて 1,519 尾の 4 年魚が遡上したと推定された。その内標識魚は 10 月上旬～12 月上旬にのみ発見され、放流魚の推定遡上尾数は 570 尾であった。一方で自然産卵由来のサケは全期間を通して発見されて 949 尾が遡上したと推定された。このように植別川では自然産卵魚は放流魚よりも幅広い期間に遡上することが示唆された。

陸上動物による産卵後のシロザケ死骸利用と陸域輸送パターン

松本経（北見工大）

背景と目的 産卵を終えたサケ・マス類の死骸は主に食物連鎖によって海から陸へと栄養を運ぶ役割を果たしている。産卵期が冬期に及ぶシロザケ（以降サケ）の場合、気温氷点下でも活動する鳥類や哺乳類の陸上動物によって陸上へ運ばれるプロセスが出发点として重要になる。しかし、サケを利用する陸上動物、とりわけ猛禽類は警戒心が強いいため、採食の様子を野外で目視観察することや行動を追跡することはこれまで困難であった。近年、光学機器の小型化・高機能化の急速な進展と社会的なニーズの高まりを背景に、野外調査にも活用できる監視ツールが巷で増加している。これらの監視技術は動物に警戒されずに行動を観察するうえで有用なものが数多く存在する。また、漁船に利用される船舶レーダーの中には数キロ先の上空を飛行する鳥を捉えることができるものもある。レーダーによってサケ死骸を食べる鳥類の飛行位置を測定できれば、行動範囲、つまり排泄の及ぶエリアの推定に役立つ。本研究では、サケ個体ごとに動物による採食を監視カメラを用いて調べ、鳥類の飛行位置を鳥個体ごとに測定するツールとして船舶レーダーを利用する観測システムを開発して野外で測定試験を行い、サケに由来する栄養の輸送プロセスと輸送エリアについて検討した。

材料と方法 道東大空町の藻琴川において、産卵後に死亡したサケ個体を監視カメラで一定間隔で画像を撮影し、サケを食べる動物種と採食に対する水深の影響について解析した。また、産卵場を含む約 5km 範囲の流域の上空をレーダーで観測し、上空に出現した猛禽類の位置とシロザケ産卵場からの距離を調べ、排泄の及ぶ範囲を種ごとに検討した。さらに、河畔において鳥類の排泄箇所を調べるプロットを設定し、排泄箇所の空間分布に影響を与える要因を検討した。

結果と考察 サケは 7 種の陸上動物（鳥類 5, 哺乳類 2）によって採食された。陸上への引き揚げが確認されたサケ個体のうち、オジロワシによる引き揚げが 8 割を占め、その他はオオワシ、キツネ、タヌキによるものであった。トビとカラス類（ハシボソ・ハシブトガラス）による採食も確認されたものの、水中からの引き揚げは確認されなかった。水深が深い場所のサケほど採食されるまでに長い時間を要する傾向が示されたことから、サケが陸上に運ばれるプロセスにとって河川の水深とオジロワシの存在が重要な要素になること考えられる。猛禽類の飛行位置のうち、オジロワシでは 95%が、オオワシとトビでは 46-50%が産卵場の上空であった。産卵場に集中して出現したオジロワシとは対照的に、オオワシもトビも飛行位置の約半分は産卵場よりも上流域に位置し、サケの産卵個体が確認されなくなる上流端からさらに 500m 上流までの範囲に 3-4 割の飛行位置が含まれていた。猛禽類による輸送距離に着目すると、オジロワシよりもオオワシやトビによる輸送距離は長く、種間変異が存在することが明らかとなった。産卵場の河畔林では鳥類による排泄は河道に近いほど密度が高く、立木を中心に集中分布し、立木密度の低い場所では減少する傾向が示された。この結果から、鳥類によるサケ由来の栄養輸送には森林の存在が重要であり、特に立木密度や大きさといった森林構造が要因となる可能性が考えられた。

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Ⅱ

○藤原 真・越野陽介・下田和孝(さけます内水試)

背景および目的 近年、来遊時期(9月)の沿岸域での高水温が来遊時期や漁獲場所に影響を与える現象がみられているが、2012年秋には増殖事業現場において採卵時に未排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)を示す卵成熟異常と思われるサケ卵が確認され、卵の生残率の低下が認められた。このような背景の下、成熟期のサケ親魚に対する高水温の影響を明らかにすることを目的とし、2014年に予備試験を実施したところ、高水温の影響は雄親魚より雌親魚の方が大きいと示唆される結果を得た。ただし、その影響には個体差が認められており、データ蓄積が必要と考えられた。また、サケ親魚の管理は止水条件下での循環ろ過を基本とし、飼育水の一部を毎日交換したが、水質あるいは飼育水交換の親魚への影響が懸念されたことから飼育システムの改善が必要と考えられた。以上の点を考慮し、2015年も室内試験を実施したところ、いくつかの知見が得られたので報告する。

方法 FRP水槽(3トン)2基のうち、1基を通常水温区(11℃)、もう一基を高水温区(20℃)とし、それぞれヘッドタンクを設け、単相ポンプにより飼育水を循環した。また、飼育水の水質変化を抑えるため、ヘッドタンク内のろ過材として活性炭および近年水産系廃棄物を利用して開発されたウニ殻ろ過材を用いた。さらに、恒温水循環装置およびステンレスヒーターにより水温調整した飼育水を一部加水する半閉鎖循環式とし、エアレーションを行った。試験は4回実施し、各回共に通常水温区(11℃)と高水温区(20℃)にサケ親魚雌雄各4尾をそれぞれ収容した。なお、供試魚には千歳川で捕獲されたサケ親魚(Cブナ)を用い、排卵時期を合わせるため、高水温区への収容は通常水温区の3日後とした。サケ親魚の収容後、2時間の流水馴致後(約9℃)、循環ろ過と水温調整した飼育水の注水を開始し、適宜、水温、溶存酸素量、pH、電気伝導度、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、これを4回繰り返すこととした。採卵に供した雌親魚の体腔液の温度、pH、液量、雄親魚の精子の温度、pH、運動時間、運動比率、スパマトクリットをそれぞれ計測した。雌1個体の卵を2等分し、各試験区の雄親魚の精子を1ccずつ媒精した。また、採卵に供したサケ親魚の尾柄部から採血し、遠心分離により血清を得て、ポータブル血液分析器を用いて血中Na濃度を測定した。サケ親魚への高水温の影響は卵の外観および交配して得た卵の発眼率等により評価した。

結果および考察 2014年の予備試験では20℃区の飼育水中のアンモニア態窒素濃度が最大で5.0mg/lに達したが、本研究では半閉鎖循環式としたことにより最大2.3mg/lと管理中の水質を改善することができた。4通りの組合せ交配を行うことができた6回分について得られた発眼率を2元配置分散分析により解析したところ、高水温で飼育した雄親魚の発眼率への影響は有意でなかったが($p>0.6$)、高水温で飼育した雌親魚の発眼率への影響は有意であった($p<0.001$)。これより、サケ親魚を高水温で管理した場合、発眼率への影響は雄より雌で大きいことが明らかとなった。2012年に成熟異常卵を確認した採卵場では明らかに通常より体腔液量の多い個体が多数確認されており、仮説として浸透圧調節不能による体腔液量の増加が未排卵での過熟様卵の出現に影響している可能性が挙げられた。本研究においても20℃区に収容した雌親魚(4個体)の未受精卵において過熟様卵が確認されており、20℃区に収容した雌親魚の体腔液量は11℃区に収容した雌親魚のそれより有意に多かった($p<0.05$)。しかし、血中Na濃度は高水温区と通常水温区との間で有意差は認められず($p>0.05$)、前述の仮説を検証するには至らなかった。今後、体腔液の成分について検討するとともに最終成熟の細胞学的評価およびそれに関連する血中ホルモン量の内分子的評価についても検討が必要と考えられる。

一般講演

サケ稚魚における河川間の海水嗜好性の違い

○渡辺智治・安藤大成・下田和孝（道総研さけます・内水面水産試験場）

【目的】

北海道では、シロサケ *Onchorhynchus keta* の人工孵化放流事業が全域に渡って営まれている。北海道のシロサケには遺伝的に異なる 5 つの地域集団（系群）があることが近年の集団遺伝学的研究により明らかにされており、地理や気候により系群毎に性質が異なると考えられる。またシロサケの採卵は 9～12 月に渡り、採卵時期により性質が異なると考えられる。本研究では、北海道のシロサケの系群と採卵期毎の放流時期について検証するため、稚魚期におけるスマルト化や海水適応能の発達等の降海期に海水へ対応する性質に着目し、系群と採卵期別に海水嗜好性の違いを水槽実験の行動観察により調べた。

【材料と方法】

供試魚のシロサケは、網走川、標津川、十勝川、及び千歳川の前期採卵群（9 月下旬～10 月上旬採卵）と後期採卵群（11 月下旬～12 月上旬採卵）を用いた。採卵後 10℃程に維持した河川水で卵を管理し、孵化後の稚魚を給餌飼育した。

実験は、透明アクリル板で作製した水槽（60×25×60cm）を使用した。水槽の底から順次、海水（塩分 33）、半海水（塩分 16.5）、及び淡水（塩分 0）を等量注入して、3 層に積層した。10 個体を水槽に投入してビデオカメラで撮影し、30 分間馴致後の 1 時間に、10 秒毎に水槽内の位置を層別に計数した。実験は浮上後に開始し、1 週間毎に 8 回行った。実験期間は前期採卵群が 12～2 月、後期採卵群が 2～4 月であった。

【結果】

河川間の海水嗜好性を調べた結果、海水を選択する割合は河川間で異なり、千歳川で特に高く、次いで網走川と十勝川が高く、標津川で最も低かった。また全ての河川で前期採卵群が後期採卵群より海水を選択する割合が高い傾向を示した。前期採卵群では、成長と共に海水を選択する割合が漸増する傾向がみられ、観察終了前の 2 月で最も割合が高かった。しかし、全ての河川で前後の観察日と比較して一時的に淡水または海水を選択する割合が高い観察日があった。

【考察】

北海道のオホーツク海、太平洋、及び日本海に渡る網走川、標津川、十勝川、及び千歳川の 4 系群のサケ稚魚の海水嗜好性を水槽実験により評価した結果、海水嗜好性は河川間において差異がみられて千歳川で特に高い嗜好性を示し、前期採卵群が後期採卵群より高い傾向を示した。サケ稚魚は淡水飼育期間が継続すると海水適応能が低下する知見があることから、海水適応能や海水嗜好性が低下する前に放流をする必要があり、河川や系群、採卵時期毎に個別に放流適期を検討する必要があると考えられる。

根室管内におけるサケの放流場所と河川回帰の関係

。春日井 潔 (さけます内水試)・佐々木義隆・實吉隼人 (さけます内水試 道東)

【背景・目的】北海道ではサケはおもに人工ふ化放流事業によって資源が維持されていると考えられている。人工ふ化放流事業においては、河川に遡上し、捕獲した親魚から採卵し、放流種苗を生産しており、安定的に親魚を捕獲することが求められる。

サケを含むサケ科魚類は生まれた／放流された河川に親魚として回帰するが、いくらかの個体は他の河川に迷入することが知られている。サケマス類のふ化放流事業が盛んに行われている南東アラスカではサケふ化場魚は、迷入する個体の比率は放流場所から離れるほど少なくなり、放流場所から 50 km 以内で高く、90% 近くに達することが報告されている。また、ギンザケやマスノスケは沿岸に近い河川で放流された場合、迷入が多いことが報告されている。北海道においても、沿岸に近い小さな河川でふ化放流事業を行っているふ化場は多く、河口から数百 m 上流から放流しているふ化場もあるため、遡上が少なくなり、採卵用の親魚確保に支障を来す可能性がある。本報告では、河川回帰状況を放流場所の観点から検討する。

【方法】北海道東部の根室管内の稚魚放流および親魚捕獲河川 (羅臼川, 春苺古丹川, 元崎無異川, 薫別川, 伊茶仁川, 標津川, 当幌川, 床丹川, 西別川, 風蓮川, 別当賀川) における 1984~2010 年に採卵された年級群を解析の対象とした。採卵した年の 4 年後の根室管内における沿岸漁獲尾数および河川捕獲尾数を当該年級の回帰と見なし、各河川の河川回帰率 (= 採卵から 4 年後の河川捕獲尾数 / 放流尾数) を算出した。各河川の放流場所から河口までの距離 (以下, 降河距離) を地図上で測定し、それぞれの年において河川回帰率と降河距離の対数値の間で相関分析を行った。

【結果および考察】降河距離は 0.33~100.48 km と非常に大きな範囲を示し、平均 \pm 標準偏差は 28.4 ± 32.8 km であった。各河川の放流尾数は 1,020,000~54,836,000 尾、捕獲尾数は 51~439,893 尾であった。各河川の河川回帰率は 0.000~1.536 % の範囲をとった。1984~2010 年級群の年級ごとに降河距離と河川回帰率の関係を見ると、27 年級群中 15 年級群で有意な正の相関を示した。全年級をまとめた各河川の河川回帰率の平均値と降河距離との間には有意な正の相関が認められ ($p = 0.029$, $r = 0.654$)、降河距離が短いほど河川回帰率が低かった。また、河川回帰率の変動係数と降河距離の間には有意な負の相関が認められ ($p = 0.0085$, $r = -0.745$)、降河距離が短いほど河川回帰率の年変動が大きかった。放流後の降河中の母川記銘期間の長さが河川回帰率に影響を及ぼしている可能性がある。根室管内ではサケの捕獲場も河口近くにある河川が多い。サケは河川を探索するため一時的に生まれた／放流された河川以外に遡上することが知られているので、下流で親魚の捕獲を行っている場合、一時的に探索のために遡上した魚を捕獲する可能性が高くなると考えられる。捕獲場の位置が河川回帰率の変動に影響していると考えられた。

環境DNAを用いたサケ生態調査手法の確立

- ° 荒木仁志 (北大)、神戸 崇 (北大)、鎌田頌子 (北大)、佐藤俊平 (北水研)、宮 正樹 (千葉中央博)、源 利文 (神戸大)、近藤倫生 (龍谷大)

サケを含む回遊性魚類の生態把握は困難を極める。そこで我々が現在挑戦しているのが、環境DNAを用いたサケの野外DNA検出技術である。環境水を高感度のDNA検出装置を用いて解析し、その周辺に生息する生物のDNAを検出するこの技術は、これまで微生物を中心にメタゲノミクス分野で利用されてきた。しかし近年、この技術は魚類を含む大型脊椎動物にも応用されつつある。そこで、本発表では環境DNA技術の魚類相解析における展開の現状を報告すると共に、サケの生息域における本技術の活用可能性について最新の解析結果を交えながら議論する。また、シロザケに限らず外来種であるブラウントラウトやニジマス検出、同じサケ科魚類であるカラフトマスやヒメマス、サクラマスやイトウの検出、ひいてはサケと同所的に存在する生物群集の解析など、今後環境DNA技術の応用がどのような展開を見せ得るのか、広く議論したい。

エコラベルとサケ漁業－現状と課題の分析

○ 永田光博（さけます内水試）・福田和人（北海道ぎょれん）

背景と目的 2001年以降北海道のサケ沿岸漁獲量は急増し15万トンを超えたため国内での需給バランスが崩壊し価格の低下により漁業所得は大きく減少した。北海道漁業協同組合連合会（ぎょれん）は過剰となったサケを中国経由で欧米へ輸出することで需給ギャップを解消させたが、MSC（水産エコラベル）認証を有するアラスカ産のサケとカラフトマスが中国市場に入ること競争は激化した。北海道ぎょれんはサケ定置網漁業のMSC認証取得を進めたがMSCの合格基準に達せず、これ以上継続した場合、現在の漁業並びに増殖事業への影響が避けられないと判断し審査から撤退した。人工ふ化放流が盛んなアラスカのプリンスウィリアム湾や南サハリンにおいてもMSCは不合格となっている。人工ふ化放流についてはMSC審査基準の中でも特殊な基準が適用されている。ここではMSCの審査基準が科学的根拠に基づく妥当な内容であるかを検証するとともに、国内認証であるMELJapanの国際認証としての可能性も検討した。

材料と方法 ホームページで公開されているMSCおよびMELJapanの審査結果、北海道ぎょれんからの聞き取り調査、およびMSC審査対象地域における自然産卵魚調査データなどを検討材料とした。

結果及び考察 MSC審査で不合格となったのは、1）北海道のサケは放流河川と非放流河川に由来するサケ個体群によって維持されているが自然産卵する集団（野生魚）の割合が少なく、2）ふ化場魚との交配を防ぐための対策が不十分との理由が大きかった。MSCの審査基準はFAOのガイドラインにある予防原則が基本でふ化場魚の適応度（繁殖成功度）の低さが問題となっている。これは河川生活期間の長い大西洋サケ、スチールヘッド・トラウト、マスノスケで提出された論文に基づいているが、サケやカラフトマスでの報告は見当たらない。このため審査員や外部査読者の間では意見が分かれたが審査機関が最終判断をした。一方、MELJapanは北海道の一部のサケ定置網漁業で取得されている。しかし、MSCと違って詳細な審査報告書が開示されていないことからMSC審査で問題になった野生魚の管理、ふ化場魚と野生魚の分離方法、ふ化場魚の適応度などについてのMELJapanとしての基準が不明であった。このため国際的な評価に耐えうるかは疑問である。MSC審査に向けての対応として自然産卵魚の科学データや資源管理の充実、さらにはふ化場魚と適応度に関する遺伝子レベルでの解明がまたれる。また、2020年の東京オリンピックではMSC認証漁業からの水産物を選手村に提供する可能性が高い。このため北海道ぎょれんは、審査基準の高いMSCではなくMELJapanでの認証を検討している。しかし、現状のMELJapanがMSCと同格のエコラベルとして認められるかは疑問で、審査の透明性、客観性を高めることが求められている。

初等・中等教育におけるサケのリテラシー

浦野明央（北大）・丹羽淑博・窪川かおる（東大・海洋アライアンス・海洋教育促進研究セ）

背景と目的 小中学生が海についてどのような知識を持っているか検証するために、東京大学・海洋アライアンス・海洋教育促進研究センターは、2014年8月から11月にかけて、全国の小学校6年生（約2,000人）と中学校3年生（約2,500人）を対象として、全国海洋リテラシー調査を実施した。その際の設定問の1つに、サケの回遊に関する次のようなものがあった。「<前略>…サケの一生を説明した文として正しいものを、下の(ア)～(エ)のなかから一つ選んでください。下の地図にしめしたように、説明文の中の海Aは北海道の近海を、海Bは北海道の遠洋(北太平洋)をあらわしています。

(ア)海Aで生まれ、海Bで成長し、産卵のため海Aにもどる。

(イ)海Bで生まれ、海Aで成長し、産卵のため海Bにもどる。

(ウ)北海道の川で生まれ、海Aで成長し、産卵のため北海道の川に戻る。

(エ)北海道の川で生まれ、海Bで成長し、産卵のため北海道の川に戻る。」

この設問に対する正答は(エ)であるが、解答の分布を見ると次のようになっている：

	ア	イ	ウ	エ	
小学校6年生	20.6	11.7	37.7	27.8	(%)
中学校3年生	23.7	9.3	33.0	33.2	

小学校6年生の正答率を見るとほぼ1/4であるが、これは四択だからで、正しい知識を持っているかどうかは分からないという解釈が成り立ち得る。サケが海で生まれるという解答を選択した児童・生徒が、それぞれ1/3もいるというのも考えさせられる。そこで、初等・中等教育の現場でサケがどのように教えられているかを検討してみた。

方法 学校教育は、基本的に、指導要領とそれに基づいて作成された教科書を用いて実施されているので、サケをキーワードとして、小(27冊)・中(37冊)・高(30冊)の理科の教科書を精査し、サケを扱っている箇所を抜き出した。それを指導要領中の該当箇所と照合し、サケを扱うことで何を児童・生徒に伝えようとしているのか検討した。

結果と考察 多くの出版社から出ている教科書というわけにはいかないが、いくつかの出版社の教科書にサケが登場していた。登場する主な箇所は、小学校では5年生で学ぶ動物の発生や成長に関わる項、中学校では2年生で学ぶ生物の分類と3年生で学ぶ食物連鎖の項、高等学校では生物基礎で学ぶ恒常性、とくに浸透圧調節、の項であった。これらの箇所でサケがどう扱われているかを精査したが、日本の川で生まれたサケが北洋で成長し、産卵のために生まれた川に戻る、と書いてあるものはなかった。教科書中心の学校教育だけを受けているとすれば、「背景と目的」に記した解答の分布はごく当然の結果だと言えなくもない。また、サケ研究者による初等・中等教育へのアウトリーチが決して十分ではなかったことの帰結でもあるのだろう。

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）
第9回 2015年12月20日 北海道大学国際本部大講義室（札幌）

領収書

第9回サケ学研究会要旨集代として
¥500- を領収しました。

2015年12月20日



サケ学研究会事務局
清水宗敬

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：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
水産資源開発工学分野
Tel/Fax 0138-40-8897
mune@fish.hokudai.ac.jp

http://www.geocities.jp/fishvitellogenin/ms/sake_xue_yan_jiu_hui.html

発行日：2015年12月20日
発行所：サケ学研究会