

# 第2回 サケ学研究会 講演要旨集

## *Abstracts for Second Conference of Salmon Science Society (3S)*



日時：平成20年12月13日(土)

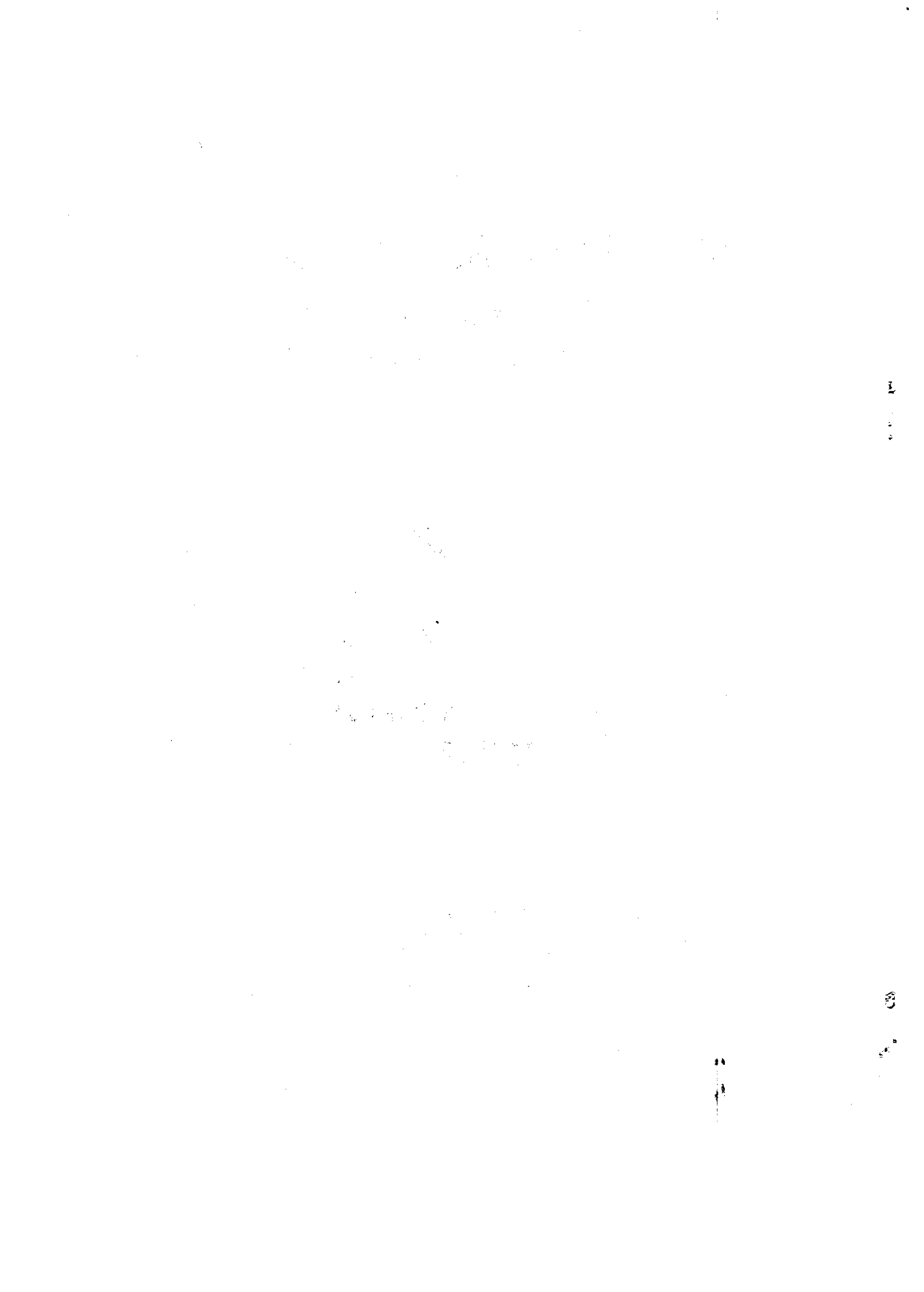
場所：北海道大学水産学部

マリンサイエンス創成研究棟

Date: Saturday, December 13, 2008

Venue: Faculty of Fisheries Sciences,

Hokkaido University



# 第2回サケ学研究会プログラムおよび要旨集目次

## Second Conference of Salmon Science Society (3S)

日時 平成20年12月13日(土)

場所 北海道大学水産学部

マリンサイエンス創成研究棟 オープンスペース

### 午前の部

10:30 開会・会長挨拶 ----- 阿部周一 (サケ学研究会会長)

### 特別セッション『サケマス資源の持続的利用に向けた取り組みの現状と課題』

座長 宮腰靖之(道孵化場)

10:35 サケ・マス増殖の課題と展望 ----- °宮腰靖之(道孵化場)

10:50 サケ資源造成の現状と課題 ----- °春日井 潔(道孵化場道東)

11:05 サケの放流効果調査の現状と課題 —日本海北部におけるサケの試験放流を例に—  
----- °實吉隼人(道孵化場道北)

11:20 カラフトマス増殖研究の現状と課題 ----- °虎尾 充(道孵化場道東)

11:35 サクラマス増殖研究の現状と課題 ----- °ト部浩一(道孵化場)

12:50 網走地区での秋サケ漁業と漁場環境保全の取り組み  
----- °新谷哲章(網走漁協漁場環境保全委員会・網走合同定置)

12:05 北太平洋におけるサケ属魚類の生産トレンドと環境収容力の現況  
----- °埴山雅秀(北大院水)

12:20 特別セッション総括

12:30～13:30 昼休み (13:00～ 2005年12月13日 鮭神社献鮭祭の様子DVD上映)

### 午後の部

一般講演(遺伝) 座長 阿部周一 遺伝部門代表(北大院水)

13:30 DNAマーカーを用いた遊楽部川シロザケ(*Oncorhynchus keta*)の集団構造  
----- °横谷亮太・東 典子・工藤秀明・阿部周一・埴山雅秀(北大院水)

13:40 DNAマーカーによるサクラマスの分子集団遺伝学的解析  
----- °劉 正南・東 典子・阿部周一(北大院水)

13:50 SNPs マーカーを用いたベニザケ (*Oncorhynchus nerka*) の集団構造解析

-----°小倉優一郎・James E. Seeb (ワシントン大)・工藤秀明・梶山雅秀(北大院水)

一般講演 (生態1) 座長 梶山雅秀 生態部門代表 (北大院水)

14:00 Population Dynamics of Asian Chum Salmon in Relation to Climate Change during 1943-2005

-----°徐 賢珠・工藤秀明(北大院水)・Suam Kim (釜慶大)・梶山雅秀(北大院水)

14:10 カラフトマスの摂餌と動物プランクトンの分布パターンとの関係

-----°三尾郁恵・工藤秀明(北大院水)

14:20 休憩

一般講演 (生態2) 座長 今野 哲 (山形内水試)

14:40 道東別寒辺牛川水系に生息するイトウ (*Hucho perryi*) 成魚の季節的分布変動について

-----°本多健太郎 (北大院環)・野田裕二 (北大院環)・

津田裕一 (長大海七)・宮下和士 (北大 FSC)

14:50 知床半島ルシャ川におけるカラフトマスの産卵遡上動態

-----°横山雄哉・越野陽介・吉原啓太・工藤秀明・梶山雅秀 (北大院水)

15:00 サケ属魚類による世界自然遺産地域ルシャ川河畔林生態系への物質輸送

-----°越野陽介・横山雄哉・吉原啓太・工藤秀明・梶山雅秀 (北大院水)

一般講演 (生理1) 座長 工藤秀明 (北大院水)

15:10 豊平川の床止工がシロザケの遡上行動に及ぼす影響

-----°今野義文・牧口祐也 (北大院環)・坂下 拓・

新居久也・中尾勝哉(北海道栽培漁業振興公社)・岡本康寿(豊平川さけ科学館)・

津村 憲・谷野賢二(東海大生物理工)・上田 宏 (北大 FSC)

15:20 ECG ロガーを用いたシロザケの産卵行動時における心拍変動解析

-----°牧口祐也・今野義文 (北大院環)・市村政樹 (標津サーモンパーク)・永田鎮也・

村田秀樹 (大日本住友製薬)・小島隆人 (日大生物資源)・上田 宏 (北大 FSC)

15:30 天塩川のアミノ酸組成の年変動がシロザケ親魚の河川水選択行動に与える影響

-----°山本雄三 (北大 FSC)・Nina Ileva (北大院環)・上田 宏 (北大 FSC)

15:40 Functional-MRI を用いたサケ科魚類嗅覚中枢神経の神経活動解析の試み

-----°坂東 洋 (北大院環)・黄田 育宏 (北大院歯)・上田 宏 (北大 FSC)

15:50 休憩

一般講演（生理2） 座長 上田 宏 生理部門代表（北大FSC）

16:10 遡河性サケ属3種の嗅覚器官の発達に関する形態学的研究

-----°神藤真和・工藤秀明・埴山雅秀（北大院水）

16:20 サクラマス性のフェロモンにおけるプライマー効果

-----°小倉隆平・山家秀信（東農大生物産業）

16:30 サクラマスの性フェロモンにおけるリリーサーフェロモン副成分の検索

-----°飯田 匠・山家秀信（東農大生物産業）

16:40 ニジマス排卵雌尿中の性フェロモンの単離精製

-----°三原徹大・山家秀信（東農大生物産業）

16:50 休憩

一般講演（生理3・その他） 座長 清水宗敬（北大院水）

17:10 Effects of Fighting Experience on the Occurrence of Downstream Migratory Behavior and Olfactory Imprinting in Masu Salmon, *Oncorhynchus masou masou*

-----°李世彬（北大院環）・上田 宏（北大FSC）

17:20 Environmental Study on the Dissolved Free Amino Acid Composition in the Teshio River Watershed, North Hokkaido

-----°Nina Y. Ileva（北大院環）・柴田英昭・上田 宏（北大FSC）

17:30 河川水中のアミノ酸の起源に関する環境生物学的研究

-----°石沢清華（北大院環）・傳法 隆・上田 宏（北大FSC）

17:40 放射性同位体を用いたバイオフィルムが生産するアミノ酸に関する環境生物学的研究

-----°板垣英祐（北大院環）・工藤 勲（北大院環・水）・上田 宏（北大FSC）

17:50 閉会 -----永田光博（道孵化場道東）

各自移動（送迎バスは18:45正面玄関発）

19:00 懇親会 -----居酒屋ココ大門口

（函館市松風町4-4, Tel 0138-27-0006）

要 事前申込 当日午前までスタッフにお知らせ下さい

# 午前の部 特別セッション要旨

## 特別セッション 1

### サケ・マス増殖の課題と展望

—特別セッション「サケ・マス資源の持続的利用に向けた取り組みの現状と課題」に向けて—

宮腰 靖之（北海道立水産孵化場 さけます資源部）

北海道におけるふ化放流によるサケ・マス増殖の取り組みは百数十年の長い歴史を持つ。その間、最初の数十年は試行錯誤を繰り返したが、1950年代以降は国が主導する形で事業が行われるとともに増殖技術は発展を遂げた。最近では、サケの来遊数は歴史的に見ても高い水準で推移し、サケ漁業は本道の水産業を支える基幹漁業となっている。1997年以降、本道におけるサケ・マス増殖事業は民間組織主体の実施体制へと移行した。現在は道が毎年策定する「さけ・ます人工ふ化放流計画」に沿って、全道9地区のさけ・ます増殖事業協会が中心となって増殖事業を実施している。

サケは栽培漁業の優等生と称され、サケ・マス類のふ化放流による増殖技術は確立されたようにも思われるが、増殖技術の改善に向けた課題は依然として多く、民間組織主体の運営となったことから事業の効率化を図ることも必要である。サケ・マス類とひとくくりにされることも多いが、生態、漁業、増殖効果などは魚種ごと（サケ、カラフトマス、サクラマス）、地域ごとに異なる。そのため、個別の現状を踏まえ、調査事例を蓄積した上で増殖および資源管理技術の向上を図ることが重要である。最近では種苗放流に対して、放流魚の遺伝的多様性の減少や野生魚あるいは生態系への影響など、様々な問題点を指摘する研究も多く見られる。サケ・マス類の産卵と稚魚の成育の場である河川環境の保全が意識されるようになり、実際の取り組みも多く見られるようになった。サケ・マス資源を持続的に管理、利用してゆくために、様々な分野で得られた研究成果や提案を弾力的に検討して、今後の望ましいサケ・マスの増殖と資源管理の手法を構築していくことが必要である。そのためには大学、試験研究機関、漁業・増殖関係機関、行政など多くの機関の情報交換と連携が必要である。

そこで、第2回サケ学研究会の特別セッション「サケ・マス資源の持続的利用に向けた取り組みの現状と課題」では、サケ・マス資源増殖、環境保全、調査研究の現状と課題などを紹介して、今後の展望について議論したい。

## 特別セッション 2

### サケ資源造成の現状と課題

春日井 潔 (北海道立水産孵化場 道東支場)

北海道における秋サケの回帰資源は、ほぼ全部が人工種苗による孵化放流事業によって支えられていると考えられる。近年は 5000 万尾前後と高水準の資源状態にあるが、今年のように回帰資源の急減が起こることから、短期的には沿岸漁業における自主規制などの適正な資源管理を行うとともに、中長期的には期別の孵化放流比率の見直しや放流方法の見直しなど、資源造成の方法を改善し、資源の安定化を図る必要がある。この発表では、北海道のサケの資源造成における問題点を以下のトピックに絞って紹介したい。

**期別の資源造成** 北海道における秋サケの来遊資源量は、1970 年代以前の 300 万尾程度から、80 年代に急激に増加し、近年では 3000 万～6000 万尾の高水準に到達した（1998～2007 年の平均 4953 万尾）。資源の増加が図られてきた裏側で、来遊資源の構造は大きく変化した。1980 年代以前では、前期と後期に 2 つのピークを示す来遊資源であったが、1980 年代から前期群の資源を増加させるため、海区間で大規模な卵の移植を行った上、後期資源の削減（特々採）を行った結果、数年間で前中期にピークをもつ単峰型の来遊資源へと変化した。このような資源構造は、漁獲が短い期間の来遊資源に集中するため、資源の安定と平準化を目指す上では問題がある。資源造成の点でも、資源量の多い中期群では採卵のための親魚を確保しやすいが、前・後期群においては親魚を十分確保できない事態が生じる可能性がある。また、前・後期群では限られた施設における種苗生産や放流においてもそれぞれに問題があり、それらの資源を不安定なものにしている可能性がある。

**海中飼育放流** 海中飼育放流は、陸上施設の不足を補うために、放流に適した河川がない地域で始められた。しかし、近年では、種苗の大型化や前浜への回帰による資源造成の目的で行われるようになり、北海道におけるサケの放流尾数の約 1 割を占めるようになった。海中飼育放流においては、回帰した親魚は放流した港湾などに回帰し、河川にほとんど遡上しないことが知られている。そのため、海中飼育放流を増加させることにより、河川への遡上資源を減少させ、種苗生産のための親魚確保に支障をきたす可能性がある。



## 特別セッション 3

### サケの放流効果調査の現状と課題

#### —日本海北部におけるサケの試験放流を例に—

實吉 隼人 (北海道立水産孵化場 道北支場)

北海道におけるサケの増殖事業は 1888 年に始まり、国、道、民間の手によって今日まで続いている。北海道へのサケの来遊数は 1970 年代に入り、著しく増加した。この原因には 1960 年代から始まった給餌飼育や適期放流といった増殖技術の向上、1970 年代の海洋環境の好転、1990 年代の公海漁業の終了などが挙げられる。これらの原因が生じた時期には重なる部分も多く、それぞれ個別の効果について検証は必ずしも十分ではない。

放流効果を検証する上で、全道規模での検証も重要ではあるが、来遊数や放流数の変動を見ると地区によって違いがあり、河川単位での放流効果を検証することも重要と考えられる。今回は、道立水産孵化場道北支場(以下、道北支場)が放流を行う日本海北部地区の暑寒別川について、その効果を検証する。

**河川単位での放流効果の検証** 暑寒別川での放流数と捕獲数のデータを取りまとめることにより同河川での放流効果を検証した。

暑寒別川における増殖事業は、民間の運営で 1938 年から始まった。その後、国、民と受け渡り、1973 年に道立水産孵化場道北支場が設立されて現在に至っている。道北支場は設立時から加温装置を使い、真冬には 0℃に低下する河川水を加温してサケの飼育用水として使用している。稚魚の放流サイズ(放流時の平均魚体重)と単純回帰率(採卵から 4 年後の河川捕獲数を放流数で割ったもの)の関係をみると、支場が設立されて給餌飼育が本格化した 1973~1985 年級群では放流サイズ(0.4~0.86g)と単純回帰率に正の相関がみられた。1985 年に飼育池を増設した後は飼育密度が下がり、1986 年級以降の放流サイズは概ね 1g 前後と大型化した。しかし、1986~1999 年級群の大型化した稚魚では放流サイズ(0.75~1.33g)と単純回帰率の間に相関はみられなかった。

**放流群単位での放流効果の検証** 放流サイズと回帰率の関係を調べるため、1996~1997 年に暑寒別川から放流した稚魚 1,300 万尾(1995 年級群および 1996 年級群)のうち、一部を ALC(アリザリン・コンプレクソン)により耳石に標識して放流した。2 ヶ年とも放流サイズの異なる 2 つの標識群を飼育し、同時に放流した。標識群の放流サイズと放流数は、1995 年級群:小型群 0.95g(112.3 万尾)、大型群 1.32g(113.8 万尾)、1996 年級群:小型群 0.77g(128.4 万尾)、大型群 1.09g(126.4 万尾)、であった。

1998 年から 2001 年にかけて 3、4、5 年魚として暑寒別川に回帰し、捕獲されたサケの耳石を回収して、回帰した標識魚の尾数から各放流群の河川への回帰率を推定した。河川回帰率は 1995 年級群では小型群、大型群ともに 0.04%とほぼ同じであったが、1996 年級群では小型群 0.06%、大型群 0.08%となり、大型群のほうが高い値となった。

日本海北部での放流効果の検証からは、1g 未満の小型の稚魚で放流サイズが回帰率に強く影響することが確認され、この地区での飼育目標サイズは 1g が妥当と考えられた。放流効果を更に明らかにしていくには、放流稚魚の健苗性や放流時期の影響についても検証する必要がある。

## 特別セッション 4

### カラフトマス増殖研究の現状と課題

虎尾 充（北海道立水産孵化場 道東支場）

本発表では、カラフトマスの生物学的特性・北海道における漁獲動向・増殖事業の概要をまとめ、現在のカラフトマス増殖研究の問題点の抽出を試みるとともに、今後の方向性について考察する。

**カラフトマスの生物学的・資源特性** カラフトマスはほとんどの個体が2年で成熟・産卵し、異なる年級群間で遺伝的交流が生じないとされる。このような年級群間の差異は、沿岸来遊の時期や漁獲量についてもみられ、偶数年と奇数年で豊漁と不漁を繰り返す、時にはそれが逆転するなど特異な資源動態を示す。日本ではカラフトマスの漁獲量はサケに次いで多く、北海道沿岸では漁獲尾数750万尾、漁獲量1万トン、漁獲金額20億円（2004-2008年平均）の重要魚種である。沿岸漁獲の約90%をオホーツク海区における漁獲が占めている。一方で、根室海区では2000年代に入って資源が減少傾向にあり、年によっては増殖事業用の種卵が不足し、遡上親魚確保のために沿岸定置漁業者による漁獲の自主規制が行われることもある。また、種卵が不足する場合にはオホーツク海区からの種卵の移殖も行われており、遺伝的攪乱も懸念される。カラフトマスにおいても回帰資源安定化のため稚魚放流が継続的に行われており、1980年代以降、全道で毎年約1億4千万尾（放流尾数の比率はオホーツク海区66%、根室海区29%、えりも以東海区5%）の稚魚が放流されているが、依然として隔年の資源変動がみられる。この要因として、回帰資源に占める天然産卵由来の魚の割合が高いことが考えられている。また、稚魚の標識放流試験によって、回帰時の他地区河川への迷入も確認されており、サケに比べると母川回帰性は低いことが示唆されている。

**増殖事業の基本方針と問題点** 増殖事業の実施にあたり、北海道では5年間ごとに「北海道さけ・ます人工ふ化放流計画中期策定方針」（以下、「中期方針」）を策定し、これに基づき毎年「北海道さけ・ます人工ふ化放流計画」が策定され、民間主体によりふ化放流事業が実施されている。「中期方針」では、1.サケとの漁獲時期重複を避けるための早期来遊資源の造成、2.天然再生産魚の資源維持への寄与に言及しつつ、現状の資源維持のため現在の放流規模を維持すること、3.母川回帰性と河川間の遺伝的分化が弱いことから、隣接海区間の移殖も検討可能とすること、4.海中飼育は、あくまで陸上施設の補完的な手段と位置づけ、放流尾数の割合も制限することなどが基本的な方針として示されている。しかし、カラフトマスでは、資源管理・増殖事業の実施に必要な科学的知見が充分とは言えない。このため、「中期方針」は科学的根拠に基づくというよりはむしろ、放流実態に合わせた方向性として打ち出された面が否めない。カラフトマス資源の適正な管理のためには、方針を裏付ける（あるいは改善する）研究データを積み重ねる必要がある。

**増殖研究の方向性** 上記の問題点と対応して、次の4点については、早急な調査研究が必要と考える。1.回帰親魚における天然魚と放流魚の割合、放流効果の評価。2.母川回帰性・遺伝的特性などを含めた北海道のカラフトマス資源構造の把握。3.種苗生産技術・種苗性評価と効果的な放流方法の開発（魚病対策、海中飼育放流、放流適期・放流適サイズなど）4.来遊資源予測手法の開発（地区別の予測など）。発表では、これらの課題に関連する既往の知見や現在進行中の調査研究について紹介する。これらの研究が進めば、増殖河川や放流河川の集約化、海区間の種卵移殖の制限、適性放流尾数の設定、各管内が負担する増殖費用の負担割合など、現在の増殖事業を改善できる可能性もある。そのため、戦略的な調査研究と十分なデータの積み重ねが必要である。

## 特別セッション 5

### サクラマス増殖研究の現状と課題

ト部 浩一 (北海道立水産孵化場 さけます資源部)

**人工孵化放流による資源増殖の歴史と成果** サクラマスの人工孵化放流事業は、サケ(シロザケ)のそれとほぼ同じ時期(1870年代)にスタートし、過去100年以上にわたって、孵化放流による資源増殖の取り組みが進められてきた。

サクラマスの資源増殖に関する研究はサケと同様、1950年代以降に急速に発展した。これらの研究から得られた知見を通じ、孵化放流技術の向上が図られ、また、1970年代には池産系(卵から親魚までの完全養殖)による種苗生産体制の確立に伴い、種苗の安定確保が可能となり、本格的なサクラマス資源の増殖が展開されるに至った。その後は、大型スモルトの放流により回帰率の向上が図られるなど、より効果的な増殖手法の開発が進められ、その結果、漁獲量の回復にまでは至らないものの、放流魚が漁業資源の底支えに貢献してきたことが明らかにされている。

**増殖研究の課題** 一定程度の放流効果が確認されているにも関わらず、北海道における沿岸漁獲量は1970年代から現在まで減少の一途をたどっている。漁獲量の変化を地域別にみると日本海沿海地域で顕著な減少が確認されている一方、他の地域では変化がないか、むしろ増加傾向にある。このことから、北海道沿岸のサクラマス漁獲量が減少した要因は、全道漁獲の大半を占めていた日本海地域の漁獲量が大きく減少したためであることが明らかになった。さらに、近年では、北海道で漁獲されるサクラマスの7割以上が野生魚由来であることが明らかにされ、漁獲量の減少には野生資源の減少が強く関わっているものと考えられている。このため、サクラマス資源の増殖を進めていくためには、野生資源を回復させる手法の確立が急務であり、近年では野生サクラマスの再生産(河川)環境の復元や保全による、野生資源の増殖手法の確立にむけた研究も行われている。しかしながら、河川環境の復元には多くの時間と経費が必要となるため、急速な野生資源の回復は期待できない。また、これまで行われてきた研究の大半が放流魚を対象としてきたことから、現段階では野生資源量の評価手法も確立されていないという技術的な問題もある。このため、現状では孵化放流により資源の底支えを図りつつ、早急に野生資源の回復手法及びその効果の評価技術の確立に向けた研究を進める必要がある。ただし、1990年代以降の放流数の半数以上を占める池産系種苗では、遺伝的多様性の低下や行動面の変化が生じていることも指摘されており、放流魚が野生個体群固有の生態的特性に影響を与えることが懸念されていることから、健全な野生資源の回復に支障を来さない放流手法の検討も急務である。これらを背景とし、本発表では、サクラマス資源の増殖に関する課題を整理するとともに、今後、サクラマス資源の増殖を進める上で不可欠と考えられる研究について議論したい。

## 特別セッション 6

### 網走地区での秋サケ漁業と漁場環境保全の取り組み

新谷 哲章

網走市河川等漁場環境保全対策協議会長・網走漁業協同組合漁場環境保全委員長・  
網走合同定置漁業副代表理事

**網走の漁業** 網走市は世界遺産・知床半島の付け根に位置する農業・漁業を主体とした一次産業のまちであり、我々は世界遺産のふとこで漁業を生業としている。平成 19 年の水揚げは海面・内水面を合わせて約 127 億円であり、その中でもさけの水揚げは 13,000 トン、約 45 億円 (H19 年) と高いウェイトを占めている。

網走のさけ定置漁業は過去には 6 経営体 13 ヶ統 11 隻体制で経営していたが平成 6 年からはさらに協業化・合理化を進め 1 経営体 12 ヶ統 (1 ヶ統は廃統) 5 隻 (ほかに予備船 2 隻) 体制で効率的に経営をおこなっている。今日の網走のサケ漁業が豊かな漁業として成立しているのは孵化放流事業の成功によるものであるが、それと同時に「健全な漁場環境」があるからこそ成立するものだと考えている。

**網走の漁業を取り巻く環境** 漁業とは自然の再生産力のうえに成立する産業である。漁場とそれにつながる環境の保全は漁業にとって必須である。しかしながら現状の豊かな水揚げとは裏腹に「流域からの過剰な栄養や土砂の流入」「河川改修による河川環境の単純化」「河川構造物による連続性の喪失」さらに「網走湖の無酸素層上昇」など網走の漁業を取り巻く環境は非常に厳しい状況におかれている。またオホーツク海ではサハリンでの油田開発に伴うタンカー事故を含む油汚染の脅威、アムール川流域からの汚染物質の流入など豊かな漁業を崩壊に追い込む要素が多数存在している。

**漁業の取り組み** このようななか、網走漁協・西網走漁協・網走市を会員に、道立水産試験場・孵化場・指導所、支庁水産課・漁連・東京農大を助言者として「網走市河川等漁場環境保全対策協議会」を平成 14 年に設立し、漁場環境の保全に取り組んでいる。具体的には、「漁業から考えた河川環境保全についての指針」の作成、各種河川関連工事に関する協議、河川パトロールの実施や水質観測、研修会や先進地視察を実施している。網走川の河川改修工事では、国と道から平成 18 年 19 年の 2 ヶ年で岩盤河床掘削を含む約 5 km の工事を提示された。従来の同様な工事では河川環境に重大な影響を与えていることから、近自然工法の第一人者である福留脩文氏 (注 1) を漁業サイドが招聘し、国・道に福留氏監修による近自然工法を採用した工事を受け入れてもらった。結果として河川環境の修復と悪影響の低減が図られた。またかねてから大きな疑問があったコンクリートダムに依存した治山事業や森林管理について道と協議を重ね、本年度より「網走川流域森林整備・治山検討会 (事務局：網走東部森づくりセンター)」が設立され、これらの諸問題について有識者が検討する場が道内で初めて整えられた。

**サケの自然産卵の重要性** 現状の高水準なサケ資源は「孵化放流事業」の成果であり「漁業」として必要不可欠である。しかし効率的な増殖手法を追い求めた結果、私たちの目は川や流域に向かなくなり、同様にサケが遡上しなくなった河川から流域の人々の目は離れていった。人の目が向かなくなった流域では国策による大規模な農地開発・河川の排水路化が実施され河川環境は悪化した。そして我々はいま、漁場につながる河川環境の重要性や、遺伝的な多様性を保全するために河川で自然産卵の必要性、さらにサケが担う海から森へのエネルギー環流システムの大切さを考えている。しかし川に目を向けたとき、サケが自然産卵できない樋のような川が多くなっており、これを時間を掛けて改善していく必要があると考えている。

**地域連携** 河川環境を保全するには上流と下流の河川環境に対する共通認識が不可欠である。そのためには上流の産業である農業と下流の産業である漁業が河川を共通の財産として認識する必要がある。いま網走川ではお互いの産業が河川環境保全をキーワードに持続的に発展するための模索をJA津別町と下流両漁協が一緒になって始めつつある。我々が目指すのは、河川に関わりが強い農業・林業・漁業などの一次産業が自然と共存して持続的に発展する事である。

注1) 福留 脩文 (フクドメシュウブン) (株)西日本科学技術研究所所長であり近自然工法の第一人者  
詳細は <http://www.ule.co.jp/>

## 特別セッション 7

### 北太平洋におけるサケ属魚類の生産トレンドと環境収容力の現況

梶山 雅秀 (北海道大学大学院水産科学研究院)

今年もサケ属魚類に関連する国際シンポジウムが数多く開催された。その中から The 5<sup>th</sup> World Fisheries Congress (横浜), PICES Meeting (大連)およびNPAFC International Symposium (シアトル)で発信あるいは受信してきた情報について紹介する。サケ属魚類の1925-2006年の漁獲データ (Eggers 2004, Kaeriyama & Edpalina 2004, NPAFC Docs.) をベースに、推定遡上率からバイオマスを求め、リッカー型再生産曲線の replacement point から環境収容力を推定した。その結果、①最近の漁獲量はカラフトマスとシロザケは増加傾向、ベニザケ、ギンザケおよびサクラマスは減少傾向を示すこと、②バイオマスの90%以上を占めるサケ属3種 (カラフトマス、シロザケおよびベニザケ) の環境収容力は長期的な気候変動 (ALPI) とよくリンクし、最近減少傾向へ転じつつあることが分かった。また、③各種のバイオマスに占める孵化場魚の割合は、1970年代後半以降増加傾向にあり、シロザケが60%、カラフトマスが20%に近づきつつあること、④環境収容力とバイオマスの差である残存環境収容力と体サイズおよび成熟年齢との間には、それぞれ、顕著な正および負の関係が観察され、密度依存効果の結果とみなされることなどが分かった。これらのシンポジウムを通して、今後のサケ属魚類の生態系ベース持続的資源保護管理に関する課題として、次のような研究トピックがあげられる：①長期的な気候変動と関連したバイオマスおよび環境収容力の時系列変化、②野生魚と孵化場魚の生物学的相互作用、③地球温暖化に対する将来予測、④密度依存効果および⑤生残率に關与する幼魚の生物学の重要性。

**午後の部**  
**一般講演要旨**

## 一般講演 (遺伝)

### DNA マーカーを用いた遊楽部川シロザケ (*Oncorhynchus keta*) 集団構造に関する研究

○横谷亮太・東典子・工藤秀明・阿部周一・梶山雅秀 (北大院水)

**研究背景・目的** サケ属魚類 (*Oncorhynchus* spp.) は母川回帰性を有するため (e.g. Quinn et al. 1987), 各河川集団間で遺伝的分化がおこりやすい (e.g. Beacham et al. 2004)。近年では、検出力の高いミトコンドリア DNA (mtDNA) やマイクロサテライト DNA (msDNA) などの DNA マーカーを用いることで、サケ属魚類のより詳細な集団構造が明らかとなっている (Sato et al. 2004, Beacham et al. 2006)。本研究の対象河川である北海道南部の遊楽部川は、シロザケ (*O. keta*) が自然産卵するわが国でも数少ない河川である。一方、本河川の上流域に位置する孵化場では、これまで北海道内の他河川から大量のシロザケ卵を移入してきた。そのため、遊楽部川固有のシロザケ集団は移植集団により遺伝子が攪乱された可能性が高い。一般にサケ属魚類の回帰時期は遺伝的に固定されているといわれている (Quinn 2000)。また、現在では遊楽部川を含む北海道南部のシロザケ回帰時期は、北海道の他地域よりも遅いことが知られている (Nagata and Kaeriyama 2004)。さらに、遊楽部川では上流産卵集団と下流産卵集団で二次性徴の発現度合いが異なるという報告もされている (今井ら 2007)。これらのことから遊楽部川シロザケは、遡上時期や産卵場所により遺伝的分化が起こっている可能性が考えられる。よって本研究では、遊楽部川シロザケの集団構造の時空間変異について DNA マーカーを用いて検証するとともに、移植集団が固有集団に与える遺伝的影響について明らかにすることを目的とした。

**材料・方法** 2005-2007 年の 10-12 月にかけておよそ 10 日間毎に遊楽部川の産卵後シロザケ親魚より採集した背鰭を標本とし、DNA を抽出後、mtDNA 調節領域および msDNA3 座位 (OKM4, 5, 8) を用いて解析を行った。遺伝的分化指数 ( $F_{ST}$ ) の算出や系統樹の作成は Alrequin ver. 3.0.1. や Phylip ver. 3.66 などの解析ソフトウェアにより行った。また、移植集団の遺伝的影響について検討するため、主な移入元の 3 河川集団 (千歳川, 十勝川および西別川集団) について、mtDNA データは Sato et al. (2001) より、msDNA データは Yoon et al. (2007) より引用した。なお、遊楽部川シロザケについては遡上時期や産卵場所によって集団を区分して解析を行った。

**結果・考察** mtDNA 分析: mtDNA 分析により、合計で 8 種類のハプロタイプが検出された。10 月産卵集団は 11 月, 12 月産卵集団よりも高いハプロタイプ多様度を示し、その値は他河川集団と類似した。遊楽部川の 6 産卵集団と他河川 3 集団の計 9 集団について、Pairwise  $F_{ST}$  を算出し遺伝的分化について検討したところ、遊楽部川 12 月産卵集団は 10 月産卵集団との間に有意な遺伝的差異が観察された ( $P < 0.01$ )。また、遊楽部川の 10 月・11 月産卵集団は多くの場合、他河川 3 集団との間に差が観察されなかったのに対し、12 月集団は他河川 3 集団と有意に異なり ( $P < 0.05$ )、系統樹においても  $F_{ST}$  を支持する結果が得られた。一方で形態の違いがみられた上流・下流産卵集団間には遺伝的差異は検出されなかった。

msDNA 分析: msDNA を用いて 2006-2007 年の早期・後期遡上集団 4 集団において遺伝的差異を検討したところ、mtDNA 分析ほどの顕著な差はみられなかったものの、早期・後期集団間の  $F_{ST}$  は比較的高い値を示した。他河川 3 集団との Pairwise  $F_{ST}$  も、後期産卵集団 (0.018-0.028) は早期産卵集団 (0.002-0.019) よりも比較的高い値を示した。また系統樹は、後期集団間の遺伝的距離が比較的近い一方で、早期遡上集団間の遺伝的距離が比較的離れているといった特徴を示した。これらのことから、遊楽部川シロザケは遡上時期によって遺伝的分化がおこっており、(1) 10-11 月集団は移植集団により遺伝的に攪乱され、(2) 12 月集団は移植集団よりも遡上時期が遅いことから固有集団の遺伝子組成を維持していることが示唆された。



## 一般講演 (遺伝)

### DNA マーカーによるサクラマス分子集団遺伝学的解析

○劉 正南・東 典子・阿部周一 (北大院水)

**背景** DNA 解析は、個体の年齢や体サイズなどに関わりなく応用できるという利点がある。しかし、そのような分子マーカーを用いた魚類の集団レベルの解析はまだ魚種が限られており、特に極東にのみ分布するサクラマスについては、1980 年代に酵素タンパク多型を指標に行われた研究が散在するだけであり、分子集団遺伝学的研究はほとんどない。

**目的** そこで、日本やロシアなど極東におけるサクラマス (*Oncorhynchus masou masou*) の遺伝的集団構造や多様性の把握を目的として、マイクロサテライト DNA (msDNA) とミトコンドリア DNA (mtDNA) マーカーを用いて集団遺伝学的分析を行った。

**材料と方法** 北海道の 7 河川、本州の 2 河川、ロシアの 7 河川 (サハリン 5 河川、沿海州 1 河川、カムチャッカ 1 河川) から、計 1078 尾の遡上個体標本を得て分析した。msDNA 分析は、サクラマスで開発された Oma02 と同属魚種から開発された Oma3ke, Oma4my, Ots520, One111, Omi87TUF の 6 座を用い、mtDNA は ND5 の 5' 側前半約 561 塩基の配列を調べた。

**結果と考察** 既にサクラマスにおける PCR 増幅が確認・報告されている Oma02, Oma3ke, Oma4my, Ots520 に加えて、One111 と Omi87TUF についても新たに増幅が確認できた。遺伝子座ごとの多様性は、対立遺伝子数が Oma4my の 8 から Oma02 の 29, 期待ヘテロ接合度が Oma4my の 0.748 から Ots520 の 0.878 だった。遺伝子多様度は、日本集団が 0.813, ロシア集団が 0.807 で、両者に違いは見られなかった。一方、地域ごとにみた場合、オホーツク海集団は 0.816, 日本海集団は 0.798 で、わずかながら差が認められた。これらの結果から、用いた 6 座のマーカーはいずれも本種の集団解析に有効なことが示された。

また、mtDNA ND5 の解析から、塩基置換、挿入などの塩基変異が 20 箇所につき、19 種類のハプロタイプが確認された。このうち、ハプロタイプ 1 が最も高頻度で、全体の 75% を占めていた。ハプロタイプの分布は、日本集団では 12 ハプロタイプ、ロシア集団では 7 ハプロタイプが認められた。また、ハプロタイプ多様性も日本の集団がロシア集団より高かった。ハプロタイプネットワークを作成したところ、主要な 4 種類のハプロタイプグループ (H1, H3, H4, H11) を確認することができた。H3 系のハプロタイプは、斜里川集団以外の全ての日本集団で確認することができたが、ロシア集団では見られなかった。このことから、H3 系のハプロタイプは日本集団に特徴的であるといえる。対象とした 19 集団のハプロタイプ多様度や塩基多様度からサクラマス集団内の遺伝的変異は高いこと、さらに  $F_{ST}$  値から集団間の遺伝的分化が同一地域内でも大きいことが示唆された。19 集団の AMOVA 分析から、日本とロシアの間で有意な遺伝的差異は認められなかったが、日本海とオホーツク海の間では有意な差が認められた。このことは、地域的な集団構造の存在を示唆している。これらの結果から、サクラマスの mtDNA ND5 領域 5' 側前半部はマーカーとして十分な配列多型を含むことが分かった。

今回の解析結果から、両マーカーによる分析結果はよく一致した。今後は、マーカーの検討もしながら、さらに標本を増やして集団遺伝学的解析を進めて行く。

## 一般講演 (遺伝)

### SNPs マーカーを用いたベニザケ (*Oncorhynchus nerka*) の集団構造解析

○小倉優一郎 (北大院水)・James E. Seeb (ワシントン大)・工藤秀明・埴山雅秀 (北大院水)

**背景と目的** 支笏湖では、湖沼性ベニザケ (ヒメマス) 個体群の崩壊により、1925 年—1940 年にかけて択捉島ウルモベツ湖の降海型ベニザケ発眼卵が移植された (埴山 1991)。一時、支笏湖ヒメマスは 1925 年級群以降、阿寒湖産ヒメマスからウルモベツ湖産降海型ベニザケに変わった可能性が高いと考えられていた (埴山 1991)。しかし、アロザイム分析の結果 (Winans and Urawa 2000)、支笏湖と十和田湖のヒメマス、安平川に回帰する支笏湖起源の降海型ベニザケの 3 集団間の遺伝的距離に有意な差がみられず、支笏湖ヒメマスと択捉島降海型ベニザケとの間に顕著な遺伝的隔離が観察された。したがって、現存する支笏湖ヒメマスは阿寒湖起源である可能性を否定できない。また、Beacham ら (2006) は、日本、カムチャッカ半島、西アメリカおよびカナダ沿岸などの環太平洋ベニザケ集団のマイクロサテライト DNA (msDNA) 分析を行い、安平川降海型ベニザケ集団の遺伝的多様性が他集団に比べて著しく低いことを報告している。北海道の降海型ベニザケやヒメマスは、遺伝的多様性が低く、絶滅危機種に指定されている (北海道レッドデータブック 2001) にも関わらず、その分子遺伝学的研究例は上記 2 例のみで極めて少ないのが現状である。阿寒湖ヒメマスにおいては、分子遺伝学的研究は全く行われていない。本研究では、ヒメマス集団の保全と回復に関わる遺伝的多様性の基礎的知見を得ることを目的とし、これまでに未解明の阿寒湖産ヒメマスの分子遺伝学的特性を把握するとともに、国内外に分布するベニザケ集団の遺伝学的特性を分子遺伝学的手法により明らかにすることとした。

**材料と方法** 本研究では SNPs (single nucleotide polymorphism: 一塩基多型) マーカーを用い、ベニザケ集団内、集団間の遺伝的多様性を明らかにした。標本は国内外のベニザケ合計 11 集団 721 個体を使用した。各サンプルから抽出した DNA は TaqMan Chemistry によって SNPs の特定を行った。得られた SNPs の情報は Biomark Genotyping Analysis によって分析し、GenePop, FSTAT ver. 2.9.3. などで解析を行った。

**結果と考察** 国内ベニザケ集団全体の  $F_{st}$  は 0.0206、イリアムナ湖集団の  $F_{st}$  は 0.0304 であり、国内集団の遺伝的多様度はイリアムナ湖集団のそれよりも低かった。Pairwise  $F_{st}$  値は、94 年の安平川と 04 年の十和田湖、04 年の阿寒湖と 08 年の阿寒湖後期、04 年の阿寒湖と 03 年の支笏湖、08 年の阿寒湖早期と 08 年の支笏湖、03 年の支笏湖と 08 年の支笏湖に有意な差がないことを示した。橋湖のヒメマス集団は他の国内集団と比べ、遺伝的隔離が著しかった。また、SNPs の 1 つである One\_serpin において、特異的な遺伝型 (2/2 の Homozygosity) が存在した。以上の結果、(1) 支笏湖ヒメマス集団は、阿寒湖ヒメマス集団と非常に近縁であること (2) 阿寒湖の部分集団が広く各湖沼に移植された結果、我が国のベニザケ集団の遺伝的多様性は低いこと (3) 橋湖ヒメマス集団は、遺伝的多様度は低い、独自の遺伝的分化を遂げている可能性が高いこと (4) デンドログラムより主座標分析の方が各集団の隔離を明確に示したことは、湖沼間の人為的な複数回あるいは相互の移植の結果であること、(5) SNPs の One\_serpin は、アジア集団とアメリカ集団を区別する指標の一つとして利用できる可能性がある、などが考えられた。



*Oncorhynchus nerka*

## Population Dynamics of Asian Chum Salmon in Relation to Climate Change during 1943-2005

○Hyunju Seo<sup>1</sup>, Hideaki Kudo<sup>1</sup>, Suam Kim<sup>2</sup>, and Masahide Kaeriyama<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Graduate School of Fisheries Sciences, Hokkaido University, 3-1-1 Minatocho, Hakodate, 041-8611 Hokkaido, Japan; E-mail, uagiri@fish.hokudai.ac.jp

<sup>2</sup> Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

To clarify the effect of climate change to the population dynamics of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in the North Pacific, we examined the causal linkage between growth and survival of Asian chum salmon in relation to climate change index (PDO; Pacific Decadal Oscillation) in past 6 decades. Variability in growth at age-1 to -4 of chum salmon was estimated by back-calculation method using scales of age-4 adult returning to the Ishikari River (Kaeriyama et al. 2007) in Japan during 1943-2005 and the Namdae River (Seo et al. 2006) in Korea during 1984-1998. Japanese chum salmon migrates to the Okhotsk Sea after short residing in coastal waters of Japan. Their survival rate would be decided by body size at the seaward migration and growth in the Okhotsk Sea (Kaeriyama et al. 2007). They stay in the Bering Sea during summer and fall, from age-2 until maturation age (Urawa 2000). Growth anomaly at age-1 of Japanese population had negative values during periods of the mid-1940s and the 1970s, but positive values during period of the 1980-1990s. Growth anomalies at age-2 and -3 in the Bering Sea showed opposite trends to that of age-1. Their population size was positively correlated with growth at age-1 ( $r=0.54^{**}$ ), and negatively with growth at age-2 ( $r=-0.48^{**}$ ) and -3 ( $r=-0.61^{**}$ ). However, fork length of adult was negatively correlated with growth at age-1 ( $r=-0.39^*$ ), and positively with growth at age-2 ( $r=0.64^{**}$ ) and -3 ( $r=0.78^{**}$ ). The PDO was correlated with growth at age-1 (cross-correlation;  $r=0.43^{**}$ ) and -3 ( $r=-0.43^{**}$ ) without time-lag, but not correlated with growth at age-2 significantly ( $r=-0.05NS$ ). Results of the multiple regression analysis, however, indicated that the survival rate was affected by growth at age-1 (partial regression coefficient:  $0.2^*$ ) relating to the size-related mortality (Beamish and Mahnken 2001) despite irrelevance with the PDO ( $-0.03NS$ ). On the contrary, their growth at age-3 was influenced by population size (partial regression coefficient;  $-0.06^{**}$ ) relating to the survival, but not affected by PDO ( $-0.25NS$ ), indicating density-dependent effect (Kaeriyama 1998, Kaeriyama et al. 2007). In age-3, Japanese chum salmon had less growth than Korean population, despite no differences in growth at age-1, -2, and -4. Namely, Japanese chum salmon showed stronger population density-dependent effect than Korean salmon did. The survival of Asian chum salmon, therefore, will be affected by climate change in the first marine life period, and the subsequent growth may be influenced by population density-dependent effect in the Bering Sea.

## 一般講演 (生態)

### カラフトマスの摂餌と動物プランクトンの分布パターンとの関係

○三尾郁恵・工藤秀明 (北大院水)

**背景と目的** 北西北太平洋は、アジア系カラフトマスにとって春季～夏季にかけての主な索餌海域となっている (高木ら 1982)。北西北太平洋においてカラフトマスは主にカイアシ類, オキアミ類といった動物プランクトンを摂餌しており, これらの動物プランクトンはしばしば胃内容物中に層状をなして含まれる (Allen and Aron 1958; 伊藤 1964; 竹内 1972)。動物プランクトンはそれぞれ種独自の鉛直分布を示し, 例えば *Neocalanus cristatus* は昼夜共に 25m 以深 (Mackas et al. 1993) に, *Euphausia pacifica* は日中が 100m 以深, 夜間が水深 0~50m (Taki 2008) に分布することが明らかになっている。一方, カラフトマスの鉛直分布域は, 日中が水深 0~50m, 夜間が 10~20m であると言われている (Walker et al. 2007)。これまで餌生物の鉛直移動の関係からサケ属魚類の摂餌生態を研究した例はほとんどない。また動物プランクトンが層状をなしている胃内容物の評価を試みた研究例もみられない。本発表では, 胃内容物における動物プランクトンの層状分布を評価し, 動物プランクトンの日周鉛直移動の関係からカラフトマスの摂餌生態に検討を加えることとした。

**材料と方法** カラフトマスは, 2007 年の春季から夏季に, 北西北太平洋において北海道大学練習船おしよる丸の流し網および釣り調査により採集した。胃標本は各定点において 20 個体を上限として採集した。環境中の動物プランクトンはボンゴネットにより, カラフトマスの鉛直分布域内の動物プランクトン組成を評価するため, 日中約 60m 深から, 夜間約 30m 深から傾斜曳きにより採集した。胃は幽門垂から食道にかけて最後部, 後部, 中間部および前部の 4 部位に分け, 各部位ごとに胃内容物分析を行った。胃内容物は可能な限り種レベルまで分類し重量を測定した。各餌生物の出現頻度 (F) と重量頻度 (W) から RI ( $RI = W \cdot F$ ) を算出し, 各餌生物の RI から胃内容物組成を求めた。環境中の餌生物も可能な限り種レベルまで分類し重量を測定した。

**結果と考察** カラフトマスの胃の最後部と後部では, *N. cristatus* が約 90% を占めた。中間部と前部では *N. cristatus* が約 65%, オキアミ類が約 13% であった。今回は, ボンゴネットをカラフトマスの鉛直分布域 (Walker 2007) で採集しているため, カラフトマスの餌環境を反映していると考えられる。日中の餌環境は, 小型カイアシ類が約 70%, *N. cristatus* が約 20%, ヤムシ類が 3% を占めた。一方, 夜間の餌環境は小型カイアシ類が約 70%, *N. cristatus* が約 10%, オキアミ類が約 5%, ヤムシ類が約 3% を占めた。従って, (1) オキアミ類は餌環境中では夜間にしか採集されなかったこと, (2) *N. cristatus* の餌環境中に占める割合は日中より夜間の方が小さいことから, カラフトマスの餌環境は動物プランクトンの鉛直移動に影響を受けていると考えられた。すなわち, カラフトマスの分布域における餌環境はカイアシ類 (Mackas et al. 1993) と *E. pacifica* (Taki 2008) の鉛直分布域が一致したためと考えられた。今回, カラフトマスは夜間または日の出ごろに採集されたことから, オキアミ類はカラフトマスによって日没頃から日の出頃の間, 最後部から後部に含まれるカイアシ類はオキアミ類が浮上してくる以前, すなわち日没前に摂餌されたと考えられた。このように, 胃内容物層状分布解析と餌環境分布パターン分析は, 魚類の摂餌行動の時系列分析に有効と考えられた。

道東別寒辺牛川水系に生息するイトウ (*Hucho perryi*)  
成魚の季節的分布変動について

○本多健太郎 (北大院環)・野田裕二 (北大院環)・  
津田裕一 (長大海七)・宮下和士 (北大FSC)

**背景・目的** イトウ *Hucho perryi* は、サケ科イトウ属に属し、全長1m以上に成長する日本最大の淡水魚である。本種の分布は、現在では北海道南部の一部と日高地方を除く、北海道の河川および湖沼に限られている。現在、本種はIUCNの絶滅危惧種IA類に登録されているが、分布や移動範囲といった保護方策を策定する上で必要な生態情報が少ないため、効果的な保護方策の導入まで至っていない。本研究では、個体群が安定している別寒辺牛川水系のイトウをモデルに、音響テレメトリー手法を使って、イトウ成魚の産卵後の降下行動及び季節的な移動・分布状況を把握し、環境と対応させることでその要因を明らかにすることを目的とした。

**材料・方法** 2007年5月に、別寒辺牛川水系二支流上流域において、産卵後のイトウ成魚5個体を小型定置網で捕獲し、腹腔内に超音波発信器を装着して放流した。イトウの通過を記録する受信ステーションとして、超音波受信機を、別寒辺牛川支流合流点を中心に上流から下流までに任意13箇所に水温ロガーとともに設置した。また、毎月カヌーで受信機を曳航し、受信ステーション間のイトウの位置情報を補完した。河川が凍り始める11月下旬までに得られた移動データは、河川水温データと比較・検討した。

**結果・考察** 放流後、5個体すべてからデータが得られ、総受信回数は37,683回であった。産卵後の追跡個体は、約2-3日で平均 $33.4 \pm 12.5$  km (Mean  $\pm$  SD.) 降下した。その降下速度と産卵期以外の下流への降下移動速度の間には有意差は認められなかった (産卵後:  $1.20 \pm 0.45$  km/h, 非産卵期:  $1.38 \pm 0.18$  km/h,  $P > 0.05$ )。産卵降下後の追跡個体には、調査期間中にほとんど移動しない個体や、頻繁に移動を行う個体など個体差がみられたが、全体的には、春季(5・6月)は中流域から河口域、夏季(7・8月)は中上流域から中流域、秋季(9・10・11月)は下流域から河口域に分布する傾向があった。また、移動頻度が高まる時間帯は、春季では夜間、夏季では日出・日入時付近であり、秋季では特徴はみられなかった。また、夏季に下流域の水温が $19^{\circ}\text{C}$ から $23^{\circ}\text{C}$ に急上昇した時期と、下流域に分布した個体が中流域までの約13 kmを24時間で遡上した時期は一致していた。イトウ受信時に記録した最高水温が $17.1^{\circ}\text{C}$ であったことを考慮すると、夏季の $20^{\circ}\text{C}$ 前後の高水温は、イトウ成魚にとってひとつの移動の誘因になっていることが示唆された。



## 一般講演 (生態)

### 知床半島ルシャ川におけるカラフトマスの産卵遡上動態

○横山雄哉・越野陽介・吉原啓太・工藤秀明・梶山雅秀 (北大院水)

**背景・目的** サケ属魚類 (*Oncorhynchus* spp) は海洋起源物質 (MDN) を陸域生態系へ運ぶ (e. g., Gende et al. 2002; Naiman et al. 2002; Schindler et al. 2003; 梶山・南川 2008) が, その影響を定量的に評価するためには産卵遡上動態の正確な把握が基本となる (Gende et al. 2001)。ロシア, カナダおよびアラスカでは, 自然再生産するサケ属魚類の産卵遡上評価法が確立している (e. g., Irvine et al. 1992; Hilborn et al. 1999; Gallagher and Gallagher 2005) が, わが国には自然再生産する野生魚そのものが少ないことから, そのような研究はこれまでほとんど行われていない。カラフトマス (*O. gorbuscha*) は河口域を中心に下流域に産卵し (e. g., 小林 1968), 遡上密度が高いときには産卵床の掘り返し頻度も増加する (Fukushima et al. 1998)。本発表では, 知床半島ルシャ川におけるカラフトマスの産卵遡上動態とその評価法について紹介する。

**材料・方法** 2006~2008年の8月下旬~10月中旬, ルシャ川定点において, 単位時間当たり (8時から16時まで, 2時間毎に20分間カウント) におけるカラフトマス親魚の遡上数および降下数を計数した。カウント調査日数は, それぞれ, 2006年が19日間, 2007年が19日間, 2008年が16日間であった。その結果から, 台形近似法 (AUC法; Irvine et al. 1992) と最尤法による遡上数評価モデル (MLA法; Hilborn et al. 1999) を用いて遡上数を推定した。カラフトマスの産卵流域を6区間に区分し, 1区間の調査域における産卵床数と流域面積から産卵床密度を計測した。また, 流速計 (AEM1-D, ALEC ELECTRONICS社製) を使用し, 河床流速を測定した。

**結果・考察** AUC法およびMLA法による推定遡上数は, それぞれ, 2006年が58千個体と53千個体, 2007年が36千個体と35千個体, 2008年が10千個体と7千個体であった。AUC法の推定遡上数における誤差は, 2006年と2007年が22%, 2008年が30%であった。産卵床密度は, 2006年が0.047床 $m^{-2}$ , 2007年が0.063床 $m^{-2}$ , そして2008年が0.060床 $m^{-2}$ であり, アラスカのそれ (1床 $m^{-2}$ ; Heard 1991) に比べて著しく低かった。ルシャ川の産卵床直上における流速 ( $0.16 \pm 0.08 mS^{-1}$ ), アラスカのそれ ( $0.05-0.07 mS^{-1}$ ) に比べ著しく速い結果となった。また, 2006年と2007年の産卵床数の時系列変化は遡上親魚数の増加に伴って一定値に漸近したのに対し, 2008年のそれは遡上終期まで増加し続けた。2006年と2007年に産卵床の掘り返しが起こっていたと推察された。今回の研究結果は, わが国における野生サケ属魚類の産卵遡上動態評価技術の確立に貢献できるものと考えられる。



*Oncorhynchus gorbuscha*

## 一般講演 (生態)

### サケ属魚類による世界自然遺産地域ルシャ川河畔林生態系への物質輸送

○越野陽介・横山雄哉・吉原啓太・工藤秀明・埴山雅秀 (北大院水)

**背景と目的** 海洋から淡水へ産卵遡上するサケ属魚類 (*Oncorhynchus* spp.) は、水生昆虫、魚類、鳥類および哺乳類などの貴重な餌資源となっている (Bilby et al. 1998; Reimchen 2000) ばかりでなく、その死骸の分解を通して河川内の biofilm や河畔の植生に海由来の栄養塩 (MDN) を大量に輸送する (e.g. Kline et al. 1990; Wipfli et al. 1998; Helfield and Naiman 2002)。2005 年に世界自然遺産に指定された知床半島は、シロザケ (*O. keta*) とカラフトマス (*O. gorbusha*) が自然再生産するわが国でも数少ない地域である。知床半島では、サケ属魚類により MDN が様々な経路で河川生態系はもとより陸域生態系に取り込まれている (埴山・南川 2008) が、その詳細は十分に明らかではない。本発表は、知床半島におけるサケ属魚類が河畔林生態系にもたらす MDN の動態を明らかにすることを目的とする。

**材料と方法** 2006 年と 2007 年の 7 月～11 月、サケ属魚類の遡上河川としてルシャ川、非遡上河川としてシロイ川の河川および河畔林において水生昆虫、魚類、ヒグマ (*Ursus arctos*) の毛および河畔から 10m 以内の植物の窒素と炭素の安定同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$  と  $\delta^{15}\text{N}$ ) を同位体比分析質量計 (MAT 252) により分析した。ヒグマの毛は Growth Section Analysis (GSA; Mizukami et al. 2005) を用いた。オシヨロコマ (*Salvelinus malma*) およびヤマメ (*O. masou*) の胃内容物も併せて分析した。

**結果と考察** 安定同位体比分析の結果、ルシャ川の水生昆虫、魚類および河畔植物はシロイ川のそれらよりも高い栄養段階を示した (U-test:  $P < 0.01$ )。ルシャ川の子マスはオシヨロコマよりも低い  $\delta^{15}\text{N}$  を示し、これは種間の餌資源分割 (Miyasaka et al. 2002) の結果と考えられた。ルシャ川で採取されたミミコウモリ (*Cacalia auriculata*) は他のルシャ川の植物と比べ非常に高い  $\delta^{15}\text{N}$  値 (6.55‰) を示し、baer midden 付近のトウヒ (*Picea glauca*) の  $\delta^{15}\text{N}$  (Helfield & Naiman 2002) と近似し、ヒグマによるカラフトマス死骸運搬の影響が推察された。GSA 法により解析したヒグマの食暦は個体ごとに大きな差がみられたが、いずれの個体も毛先から毛根に向かうにしたがって  $\delta^{13}\text{C}$  および  $\delta^{15}\text{N}$  は高くなった。カラフトマス産卵期以降、オシヨロコマは大量のカラフトマス卵を摂餌し、それに伴い筋肉中の  $\delta^{15}\text{N}$  と肥満度が増加した。これらのことから、水生昆虫、魚類、ヒグマおよび河畔から 10m 以内の植物には確実に MDN が輸送されていることが明らかになった。

## 一般講演 (生理)

### 豊平川の床止工がシロザケの遡上行動に及ぼす影響

○今野義文・牧口祐也(北大院環境)・坂下 拓・新居久也・中尾勝哉(北海道栽培漁業振興公社)  
岡本康寿(豊平川さけ科学館)・津村 憲・谷野賢二(東海大生物理工)  
上田 宏(北大フィールド科学セ)

**背景・目的** 治水や利水を目的として設置された床止工などの河川横断工作物は、河川に生息する魚類の移動の妨げになることが指摘されている。札幌市を流れる豊平川は、シロザケ(*Oncorhynchus keta*)が産卵のために遡上する河川として知られている。豊平川におけるシロザケの産卵域には7基の床止工が設置されているが、設置された床止工がシロザケの遡上行動に及ぼす影響については不明な点が多い。

そこで本研究では、筋電位(electromyogram: EMG)発信機を用いたバイオテレメトリーシステムにより、豊平川に遡上するシロザケの遡上行動と床止工の関係について調査・解析を行った。

**材料・方法** 豊平川に遡上したシロザケを捕獲し、EMG 発信機(CEMG; Lotek 社)を外部装着したのち、馴致後に豊平川に再放流し遡上行動を追跡した。受信機(SRX\_400 および 600; Lotek 社)を用いて、試験魚に取り付けた EMG 発信機から発信される電波により試験魚の河川内の位置情報を得ると同時に、その時の EMG 情報を得た。また、各床止工の上流 30m、下流 50m(縦断 10m、横断 5m 間隔)の区間; および床止工の魚道内における水深と流速を測定した。

調査は 2007 年 10 月および 2008 年 10 月に行い、2007 年は 10 尾、2008 年には 17 尾について調査を行った。なお、2008 年には流速の調節可能な遊泳水槽を用い、放流前に全ての個体について EMG 値と遊泳速度のキャリブレーションを行った。また、豊平川に遡上するシロザケの臨界遊泳速度( $U_{crit}$ )を求めた。

**結果・考察** 2007 年の調査では、シロザケが遡上時に各床止工に到達すると、床止工下に停滞する傾向が見られ、同時にこの時に高い EMG 値が観察される傾向が認められた。つまり、床止工遡上時には比較的激しい遊泳が必要であり、長時間の停滞は大きなエネルギーのロスとなる可能性が示唆された。また、5 号床止に到達した 2 尾のうち 1 尾が調査終了まで遡上せず、5 号床止魚道の低水深・高流速の流況が遡上行動に影響を与えている可能性が示唆された。

2008 年の調査における、床止工周辺の水理条件と、そこを通過した時の試験魚の詳細な行動および遊泳速度と臨界遊泳速度との関係について、現在解析中である。



## 一般講演 (生理)

### ECG ロガーを用いたシロザケの産卵行動時における心拍変動解析

○牧口祐也・今野義文 (北大院環境)・市村政樹 (標津サーモン科学館)・永田鎮也・  
村田秀樹 (大日本住友製薬)・小島隆人 (日大生物資源)・上田 宏 (北大フィールド科学セ)

**背景** 近年のバイオテレメトリー技術の発展により、魚類の心電図を記録可能なデータロガー (以下、ECG ロガー) も開発されている。心拍ロガーは自由遊泳中の魚から心電図という重要な生理学的情報を記録可能なデバイスである。過去の研究において魚類からの心拍導出は数多くなされてきたが、多くの場合実験魚とリード線をつなぐことにより心電図を導出しており、拘束されていない状態での魚類からの心電図の導出は難しかった。近年この ECG ロガーを用いた魚の行動解析が多く行われつつある。

シロザケ (*Oncorhynchus keta*) を含むサケ科魚類の産卵行動については昔から行動観察によって非常に詳細に研究がすすめられてきた。一般的に、海から河川へ遡上したシロザケの雌は産卵に適した場所を探查し、尾鰭を使って産卵床を掘る。雄は雌に対して求愛行動を行い、準備が整うと産卵をおこない、産卵後すぐに雌は卵が流されないように産卵床を尾鰭で埋め戻す。この産卵行動が数回繰り返されたのち、シロザケはへい死に至る。この過程においてどのような心拍の変化が起きているのかについてはほとんど明らかとなっていない。

本研究では心拍ロガーを用いて、河川に遡上したシロザケの産卵行動時の心電図の導出を試み、産卵行動に伴う心拍変動を解析することを目的とした。

**方法** 2007 年 11 月に北海道道東の標津川に遡上したシロザケ親魚 19 尾 (オス 5 尾, メス 14 尾) を実験魚として用いた。実験魚の背鰭前方部に心拍ロガー (W400-ECG: リトルレオナルド社) を装着した。心電図を導出するための電極は、直径約 1.5 cm に切りぬいた銅板の中央にシリコンチューブで被膜したステンレス線 (直径 0.9 mm) を固定したものを 2 つ作製し、シロザケ親魚の心臓付近に外科的に固定した。心拍ロガーは 1 秒に 200 回 (200Hz) のサンプリングレートとして記録を行った。心拍ロガーを装着後、実験魚を産卵水槽内に放流し産卵行動が終了するまでビデオカメラで産卵行動を記録した。

**結果・考察** 本研究では心拍ロガーを装着したシロザケの放卵を 15 回、放精を 10 回記録することができた。ECG ロガーにより得られた心電図から、放卵または放精の瞬間に雌で  $7.39 \pm 1.61$  秒、雄で  $5.20 \pm 0.97$  秒、心拍の停止が確認され、放卵・放精の瞬間の心停止はシロザケに共通の生理現象であることが明らかとなった。また、雄に比べ雌が長く心停止していた ( $P < 0.05$ )。心拍の停止は産卵行動を通して放卵・放精の瞬間にのみ確認された。産卵行動時の心拍数 (雌  $85.8 \pm 1.3$  回/分, 雄  $77.2 \pm 0.7$  回/分) は雌雄ともに産卵前 (雌  $79.7 \pm 2.9$  回/分, 雄  $72.9 \pm 3.9$  回/分) に比べて高値を示した。しかし、雄が放精直後に心拍数が低下したのに対し、雌では放卵直後に心拍数が低下したのち、すぐに上昇する傾向がみられた。また、産卵行動を通して雌の心拍数は雄に比べて高値を示し、明確な雌雄差がみられた。放卵後、雌はすぐに卵を尾鰭で埋める行動を行うため、これが心拍数の雌雄差に起因している可能性が考えられた。さらに、心電図の波形解析から産卵の瞬間に T 波が増大している傾向が雌雄でみられた。

放卵・放精の瞬間の心停止については血圧の上昇による交感神経・副交感神経といった自律神経系の関与が考えられ、心停止のメカニズムの解明には今後さらなる検証が必要である。

## 一般講演 (生理)

### 天塩川のアミノ酸組成の年変動がシロザケ親魚の河川水選択行動に与える影響

○山本雄三<sup>1</sup>・Nina Ileva<sup>2</sup>・上田 宏<sup>1,2</sup> (<sup>1</sup>北大フィールド科学センター・<sup>2</sup>北大院環境科学)

**背景** サケ科魚類の母川回帰機構は、降河回遊時に稚幼魚が河川水中のニオイを記憶(母川記銘)し、遡河回遊時に親魚がそのニオイを想起して母川を選択する(母川回帰)という嗅覚仮説が広く受け入れられている。これまで、太平洋サケ親魚を用いた電気生理学的実験およびY字水路を用いた選択行動実験により、河川水中のアミノ酸組成が太平洋サケ親魚の母川水選択行動に重要であることを明らかにしてきた。しかし、どの程度のアミノ酸組成の変化がサケの母川記銘・回帰に影響するか未だ不明な点が多い。

本研究では、天塩川においてシロザケ稚魚が降河する時と親魚が遡河する時の河川水のアミノ酸組成に着目し、天塩川において解析された河川水中のアミノ酸組成の成分データ、および天塩川に回帰してきたシロザケ雄親魚を用いて電気生理学的実験およびY字水路を用いた選択行動実験を行った。

**方法** 実験魚には今年(2008年)9月に天塩川に回帰してきたシロザケ雄親魚(*Oncorhynchus keta*)を用いた。実験水は2008年9月と今年回帰してきた親魚の降河時期である2004年5月の天塩川のアミノ酸組成の測定結果に基づき再構成した人工天塩川水を用いた。これら2つの人工天塩川水の嗅覚応答(EOG)を測定し、さらに選択性についてY字水路を用いた選択行動実験を行った。順応水には洞爺湖水を用い、実験はY字水路上流部のどちらか一方から、濃縮人工アミノ酸天塩川水を滴下して、実験魚の選択性を以下に挙げる3種の実験水の組み合わせで実験を行った。(1)洞爺湖水のみ、(2)2008年9月人工天塩川水と洞爺湖水、(3)2004年5月人工天塩川水と洞爺湖水。

**結果・考察** 実験水に対するシロザケのEOGを測定した結果、2008年と2004年の人工天塩川水に対する嗅覚応答の強度には有意な差が見られ、交差順応試験においても完全に交差順応することはなかった。これは、実験水間で互いに順応していない成分があるためであり、各年の実験水のアミノ酸組成の違いを識別していると考えられた。

Y字水路を用いた選択行動実験の結果、(1)の場合、実験魚はランダムに遡上した。(2)の場合、2008年の人工母川水を選択する傾向(76.5%)が見られた。しかし、(3)の場合、2004年の人工母川水に対する選択性(61.5%)は2008年のものに比べ低かった。2004年の天塩川のアミノ酸の総濃度は2008年のものと比べ低く、測定限界以下のアミノ酸が多く認められた。今後、降河時期と遡上時期のアミノ酸組成と親魚の母川選択性についてさらに実験する必要がある。

## 一般講演 (生理)

### Functional-MRI を用いたサケ科魚類嗅覚中枢神経の神経活動解析の試み

○坂東 洋<sup>1</sup>・黄田 育宏<sup>2</sup>・上田 宏<sup>1,3</sup>

(<sup>1</sup>北大院環境科学・<sup>2</sup>北大院歯学・<sup>3</sup>北大フィールド科学セ)

**背景** 遡河性サケ科魚類の母川回帰行動は古くからよく知られている。現在までの様々な行動学的・電気生理学的研究から、母川回帰行動には嗅覚が重要な役割を担っており、稚魚が降河時期に記憶(母川記銘)した母川のニオイを、親魚が遡河時に想起することによって母川回帰を可能にしていると考えられている。近年、高等脊椎動物の哺乳類を対象に、神経活動を測定する手法の1つとして Functional-MRI (fMRI:機能的磁気共鳴画像法)が、広く用いられている。魚類の神経生理学的解析では、これまで主に微小電極を使用した電気生理学的研究が行われてきたが、fMRI は神経活動部位に生じる酸素消費量と血流量の変化によって脳内の神経活動を測定するため、広範囲かつ非侵襲的な測定が行える利点がある。fMRI をサケ科魚類に用いることによって、従来の微小電極を用いた方法では難しかった、脳内での母川ニオイ情報の投射・処理様式を明らかにすることが可能になると考える。しかし、fMRI を魚類の神経系に対して使用した報告はほとんどない。そこで本研究では、魚類嗅覚系における fMRI を用いた脳内神経活動の測定に関する基礎的知見を得るため、ニオイ刺激に対するサケ科魚類の嗅球・終脳の神経活動を測定した。

**方法** 実験魚には洞爺湖実験所産のヒメマス 3 歳魚を使用した。順応液として蒸留水 (DW)、ニオイ刺激溶液として  $10^{-3}$  M セリン (L-ser) を使用した。fMRI 実験装置に魚を固定した後、鼻腔内に DW を 4 分間灌流し順応させ、その後ニオイ刺激溶液を 3 分間灌流し、再び DW を 3 分間灌流させ計測を行った。また、測定した結果の再現性を調べるため、同じ個体・刺激を使用して複数回実験を行った。

**結果・考察** 本実験により、ヒメマスを実験材料として使用した時の fMRI の空間分解能が明らかになった。ヒメマスの嗅球は、前額断面で 2 枚 (1 mm 切片) 撮影でき、1 枚につき 18 ピクセル程度で左右の嗅球を分割できることが分かった。また、終脳では、前額断面で 5 枚 (1 mm 切片) 撮影でき、1 枚につき終脳を 50 ピクセル以上で分割できることが分かった。さらに、嗅球において L-ser 刺激に反応する応答が嗅球の背側外部に出現した。以上の結果から、本実験で作成した実験装置および fMRI を用いた手法が、ヒメマス嗅覚中枢神経系における神経活動を解析するのに有効であることが判明した。

今後は、サケ科魚類の母川記銘・回帰に関連する部位を特定するために、母川水刺激に対する嗅球・終脳内の神経活動を測定する。また、魚類のニオイ情報の処理機構を明らかにするために、アミノ酸・胆汁酸・ステロイド・ヌクレオチドなどの各ニオイ情報の嗅球・終脳における投射領域の違いを調べる。

## 一般講演 (生理)

### 遡河性サケ属3種の嗅覚器官の発達に関する形態学的研究

○神藤真和・工藤秀明・埴山雅秀 (北大院水)

背景および目的 遡河性サケ属魚類 (*Onchorynchus* spp.) は降海した川すなわち母川のニオイを記憶し、産卵遡上時にはそのニオイの記憶を頼りに母川を識別していると考えられている (嗅覚刷込み説; Wisby and Hasler 1954)。これまでのサケ属魚類の嗅覚器官の形態学的研究の多くは、比較解剖学的見地に基づいたものであり (e. g., Yamamoto and Ueda, 1979), 嗅覚器官の発達に関する形態学的研究, その中でもニオイ受容細胞である嗅細胞の量的変化に関する研究はこれまでに報告されていない。そこで本研究では、生活史の異なるサケ属間における嗅覚器官の発達の差異を明らかにすることを目的として、発育段階に伴うサケ属3種 (サクラマス *O. masou*, シロザケ *O. keta* およびカラフトマス *O. gorbusha*) の嗅覚器官の形態学的変化, 特に嗅板数および嗅細胞数の変化を解析した。

材料および方法 供試魚には、シロザケ (仔魚, 稚魚, 前期幼魚, 後期幼魚, 若魚, 未成熟魚, 成熟途上魚および成熟魚), サクラマス (稚魚, 前期幼魚, 中期幼魚, 後期幼魚, 前期スモルトおよび成熟途上魚) およびカラフトマス (稚魚, 幼魚, 成熟途上魚および成熟魚) を用いた。供試魚を麻酔下において、①尾叉長 (FL) と体重を測定したのち嗅覚器官 (嗅房) および嗅神経束を剖出した。②実体顕微鏡観察により嗅房の嗅板数を計数した。③常法により嗅神経束の透過型電子顕微鏡 (電頭) 用標本作製した。④前頭断方向に嗅神経束の準超薄切片を作製し、トルイジンブルー染色後、光学顕微鏡観察と画像解析装置により嗅神経束断面積を測定した。⑤同標本の超薄切片を作製、電子染色後、電頭観察により単位面積あたりの嗅神経軸索数 (軸索密度) を明らかにした。⑥軸索密度と断面積より嗅房全体の嗅細胞を算出した。

結果および考察 サケ属3種全てにおいて、各嗅板の体積は発育段階に伴い増加し、未成熟魚以降には嗅板表面上に顕著な二次褶曲構造が認められた。初期生活史における各魚種の嗅板数増加速度は類似していた。片側嗅房における嗅板数は、シロザケ約18枚、カラフトマス約19枚およびサクラマス約14枚で平衡に達し、シロザケおよびカラフトマスがサクラマスに比べ有意に多かった ( $p < 0.05$ )。片側嗅房における嗅細胞数は、シロザケにおいて仔魚 ( $0.18 \times 10^6 \pm 0.02 \times 10^6$  細胞; FL 32.3 ± 0.88 mm) から若魚 ( $5.03 \times 10^6 \pm 0.29 \times 10^6$  細胞; FL 172.4 ± 5.04 mm) にかけて増加したが、未成熟魚 (FL 454.4 ± 15.6 mm), 成熟途上魚 (FL 689.0 ± 32.4 mm) および成熟魚 (FL 695.1 ± 19.9 mm) はそれぞれ約1500~2700万, 1700~3000万および1300~2500万細胞であり嗅細胞数の有意な増加は見られなかった。サクラマスにおいて稚魚 ( $0.06 \times 10^6 \pm 0.01 \times 10^6$  細胞; FL 37.0 ± 1.69 mm) から前期スモルト ( $0.91 \times 10^6$  細胞; FL 110.9 mm) にかけて増加し、成熟途上魚 (FL 425.3 ± 38.7 mm) では  $8.77 \times 10^6 \pm 0.95 \times 10^6$  細胞であった。同体サイズにおいてシロザケの嗅細胞数はサクラマスに比べ多く、成熟途上魚においてはシロザケがサクラマスに比べ有意に多かった ( $p < 0.05$ )。

高等脊椎動物では、カイウサギ (*Oryctolagus cuniculus*) などの嗅覚能が高い種ほど嗅細胞数が多いことが知られている (Allison and Warwick 1949)。本研究における嗅細胞計数の結果から、降海時期、すなわち母川刷込時に相当するシロザケ幼稚魚の嗅覚器官は、降海時期のサクラマス幼魚のそれよりも未発達であることから嗅覚能が低く、母川の迷い込みを含めた母川回帰の特性に関与している可能性が示された。また回帰時にはシロザケの方がサクラマスより嗅覚器官が発達していることは、降海時の低い嗅覚能を補償している可能性も一因として考えられた。

## 一般講演 (生理)

### サクラマス<sup>①</sup>の性フェロモンにおけるプライマー効果

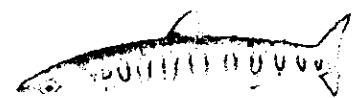
①小倉隆平・山家秀信 (東京農大生物産業)

**目的** サクラマスの成熟オスの誘引行動を引き起こす性フェロモン(リリーサーフェロモン)は、排卵メス尿中に分泌されることが証明され、そのリリーサーフェロモンの正体が「L-キヌレニン」であることが判明した。一方、サケ科魚類における雄の生理機構に作用し精液量を増加させる性フェロモン(プライマーフェロモン)の存在も長年示唆されてきたが、コイ科の研究と同様にホルモナルフェロモン概念を踏襲していることもあり、まだ誰もその物質を同定していない。サクラマスのプライマーフェロモンを同定すれば、リリーサーフェロモンと対を為すことにより、魚類における新たな性フェロモン機構とその多様性を示すことができる。そこで本研究では、サクラマスのプライマーフェロモンが排卵メス尿中に存在することを確認し、排精オスに対するプライマー効果を詳細に調べることを目的とした。

**方法** 実験魚は北海道斜里または中標津の民間養殖業者から提供された。使用する尿は排卵メス尿、未熟メス尿、成熟オス尿をカテーテルによって採取し-80℃で保存した。未成熟オスへの  $17\alpha$ -methyltestosterone (MT) 処理は経口投与 (10ppm) により行った。実験は農大臨海研究センターの 500L タンクで行った。

2007 年 10 月に予備実験として排精早熟オスを用いて排卵メス尿、L-キヌレニンのプライマー効果を調べた。2008 年 6 月に MT 魚を用いて排卵メス尿、未熟メス尿、成熟オス尿のプライマー効果を調べた (実験 1)。10 月には排精早熟オスを用いて排卵メス尿、未排卵メス尿、成熟オス尿、L-キヌレニン、胆汁、排卵メス体腔液のプライマー効果を調べた (実験 2)。また、排精早熟オスを用いて排卵メス尿の  $10^{-5}$  倍希釈~ $10^{-10}$  倍希釈群と Control 群の計 7 群においてプライマー効果の濃度依存性を調べた (実験 3)。各実験後に精液の定量と採血を行い、ELISA 法を用いて Testosterone (T), 11-ketotestosterone (11-KT),  $17\alpha, 20\beta$ -dihydroxy-4-pregnen-3-one ( $17, 20\beta$ -P) の血中濃度を測定した。

**結果** 予備実験において排卵メス尿、L-キヌレニンにおいて  $17, 20\beta$ -P と 11-KT の血中濃度が増加する傾向が見られた。実験 3 では  $10^{-8}$  倍希釈群まで血中  $17, 20\beta$ -P 量が有意に上昇し、濃度依存性を示した。今後の解析により、実験 1 では排卵メス尿に曝露された魚群のみ血中  $17, 20\beta$ -P 量が増加し、実験 2 では排卵メス尿に曝露された魚群のみ血中  $17, 20\beta$ -P 量が増加するという結果が期待される。



*Oncorhynchus masou*

## 一般講演 (生理)

### サクラマス<sup>1</sup>の性フェロモンにおけるリリーサーフェロモン副成分の検索

○飯田 匠・山家秀信 (東京農大生物産業)

**目的** 嗅覚情報を担う匂い物質のうち、特に同種他個体に働きかけて行動の変化や生理的応答を生じさせるものをフェロモンと呼ぶ。フェロモン分子は勿論のこと、分泌・受容機構については、その多くが未解明のままである。魚類の性フェロモンの研究では、シーランプレイにおいて4種類の物質を使用し同種他個体を誘引することが証明されている。サケ科魚類のサクラマスでは、排卵メス尿中に含まれるトリプトファン代謝物 (L-キヌレニン) がフェロモン物質であることが証明されている。しかし、同種の排卵メス尿と誘引活性を比べると劣っていることから、副成分の存在が考えられる。そこで、本研究では、サクラマスにおいて排卵メス尿中のフェロモン物質の副成分を検索することを目的とした。

**方法** サクラマスは道立水産孵化場と北海道斜里または中標津の民間養殖業者から提供された他、同種天然魚は網走管内において釣獲された。カテーテルを用いて採取された排卵メス尿、未成熟雌雄尿、成熟オス尿の5~6匹分をサンプルとして使用した。また、天然魚の尿も少量採取して使用した。HPLCによりトリプトファン代謝物「トリプトファン (Trp), N-ホルミルキヌレニン (F-kyn), L-キヌレニン (L-kyn), 3-ヒドロキシキヌレニン (H-kyn)」を分析した。Photodiode Array Detector 検出器を用い検量線を作成し、それら代謝物を定量した。

**結果** 網走管内養殖魚において、排卵メス尿 (OFU) ではL-kyn, F-kynが多く含まれていた。また、排精オス尿 (MMU) ではH-kyn, Trpが多く含まれていた。尻別川水系養殖魚においては、OFUに多くのL-kynが含まれていたが、未熟メス尿 (IFU) には少なかった。MMUにはH-kyn, Trpが多く含まれていた。天然魚網走管内においては、OFUにはF-kynが多く含まれていた。MMU, IMUともにH-kyn, Trpが多く含まれており、L-kynが多く含まれている尿はなかった。

予想に反して、天然魚と網走管内養殖魚のOFUにはL-kynが多く含まれていなかった。これが系群特異性によるものと考えられる場合、オホーツク海側のサクラマスはL-kyn以外のフェロモン物質を使用している可能性がある。特に天然魚ではF-kynが多いことから、この物質がフェロモン活性に重要な成分である可能性も考えられる。なお、行動実験によると、繁殖期盛期を過ぎると主成分がL-kynからF-kynへ推移していく可能性も考えられる。一方、L-kynが少なかった原因としてストレスも考えられる。網走管内養殖魚では、民間養殖業者から実験場所への移動時間は2時間以上を要した。また、天然魚では釣獲の際に生じる極度のストレスによるL-kynの損失が考えられる。

## 一般講演 (生理)

### ニジマス排卵雌尿中の性フェロモンの単離精製

○三原徹大・山家秀信 (東京農大生物産業)

**目的** これまでの研究により、サクラマス成熟オスの誘引行動を引き起こすリリースフェロモンは排卵メス尿中に分泌されることが証明され、フェロモンに対する行動反応には種特異性があることが分かった。さらに、排卵メス尿中のオス誘引作用を持つリリースフェロモンは、トリプトファン代謝物 (L-キヌレニン) であることが判明した。しかし、ニジマスにおいては世界中で養殖されており重要な水産資源であるにも拘らず、まだ誰もそのフェロモン物質を同定していない。そこで本研究では、ニジマスの性フェロモンのうち成熟オスの誘引行動を起こす排卵メス尿中のリリースフェロモンの単離精製を目的とした。

**方法** 実験魚のニジマスは2008年1月と5月に北海道斜里または中標津の民間養殖業者から提供された。小型の未成熟雌雄に経口投与によって $17\alpha$ -メチルテストステロン (MT) 処理を施すことによりフェロモン応答系を偽成熟させた。MT処理は実験の3週間前から行動実験に合わせて1週間ずつずらして開始し (20匹×3群)、コントロール魚も用意した (30匹×1群)。採尿は既に確立されたカテーテル法を用いて行った。

フェロモンの第一段階精製として、フラッシュクロマトグラフィーにより尿を分画し、DW 溶出画分、50%エタノール画分、80%エタノール画分、100%エタノール画分を作成した。実験水路 (全長290 cm、幅32.5 cm、高さ30 cmの塩ビ製) においてニジマスMT魚による行動実験を行った。実験魚投入後10~15分馴致し、水路の上流からコントロール (環境水またはエタノール水溶液)、排卵メス尿、成熟オス尿、過熟メス尿またはクロマトグラフィー画分を滴下後、水路の中流部の試験域 (縦110 cm×横32 cm水深7.5~10.5 cm) において実験魚の鼻先に滴下物が到達する時間+30秒まで実験魚の行動 (前進と後退の距離、転回、ホバリング、鰓蓋運動) を観察した。なお、クロマトグラフィー画分においてはブラインドテストを行った。

**結果** MT処理魚だけが排卵メス尿に強く反応した。また、フラッシュクロマトグラフィーにより精製された画分の中では、50%エタノール画分が最も強い反応を示した。サクラマスの排卵メス尿中のフェロモン物質は50%エタノール画分に存在するため、ニジマスでも50%エタノール画分に活性があったことは妥当である。なお、高速液体クロマトグラフィーによって尿を分析した結果、特異的なピークを示す排卵メス尿もみられた。今後、排卵メスにおける尿中の既知のホルモン様物質やキヌレニンを含むアミノ酸を高速クロマトグラフィーにより分析し、行動実験と共にフェロモン候補物質を絞り込んでいく予定である。



*Oncorhynchus mykiss*

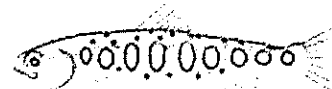
**Effects of Fighting Experience on the Occurrence of Downstream Migratory Behavior and Olfactory Imprinting in Masu Salmon, *Oncorhynchus masou masou***

○Shih-Pin Lee<sup>1</sup> (李世彬), Hiroshi Ueda<sup>1,2</sup> (上田 宏)

<sup>1</sup> Division of Environment Development, Graduate School of Environmental Science, Hokkaido University

<sup>2</sup> Laboratory of Aquatic Ecosystem Conservation, Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University

In the early anadromous life-history of salmon, young salmon would have some morphological (parr mark losing & body color getting silver), behavioral (seaward migration) and physical (sea-water adaptation) changes, and these changes were called as smoltification. During the same period of smoltification, salmon were believed to memory the odor in river and to use this long-term memory for guiding to their natal stream from ocean after they are mature. Past researchers have already showed that smoltification was initiated by cortisol level elevation through photoperiod and water temperature difference between spring and summer. However, some masu salmon (*Oncorhynchus masou masou*) without smoltification were found in the same condition. On the other hand, it is showing that there exists another factor to initiate smoltification in masu salmon. Through cross-matching the hormone levels between fighting experience and smoltification, fighting experience was assumed as another factor to determine smoltification in masu salmon. Through comparing with other kinds of anadromous life-history strategies, fighting-decide was found as the most dominance strategy to determine the smoltification of masu salmon. After experiments of electro-olfactorgram (EOG) and downstream migratory behavior measuring, the individuals with a losing experience had higher olfactory response to sodium chloride and more significance olfactory imprinting and migrated to downstream earlier than the individuals with winning experience. These results supported the assumption that fighting experience in parr stage determined the smoltification and olfactory imprinting in masu salmon.



*Oncorhynchus masou*



## Environmental Study on the Dissolved Free Amino Acid Composition in the Teshio River Watershed, North Hokkaido

○Nina Y. Ileva<sup>1)</sup>, Hideaki Shibata<sup>1),2)</sup>, Hiroshi Ueda<sup>1),2)</sup>

<sup>1)</sup>Graduate School of Environmental Science, <sup>2)</sup> Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University

**Background** Salmon is well-known for their accurate homing migration; however the exact mechanism of this phenomenon remains unclear. Recent electrophysiological study have hypothesized that the amino acids dissolved in the river water are the possible home stream odors that salmon recognize during their homing migration (Shoji et al., 2000). However, the seasonal and spatial changes in the dissolved free amino acid (DFAA) pool have not been elucidated yet. The river water composition is primarily controlled by the runoff pattern in its belonging watershed (i.e. the precipitation). Therefore the different weather conditions in annual seasons generally are expected to cause a seasonal fluctuation in the riverine chemical composition. Since most of the river runoff forms and flows through the terrestrial watershed area, the local geology, topography, soil type, vegetation, anthropogenic land use and so on are critical factors in forming the river chemistry. That is why; the different land use in the watershed was also expected to cause a possible spatial pattern in the DFAA pool together with the seasonal changes.

**Aim** The aim of this study was to explore the seasonal and spatial change in the DFAA in the Teshio River watershed. The general amino acid composition of the Teshio river was characterized. Also the impact of the land use was examined as well as the relationships with other common water quality parameters.

**Material and Methods** Water samples were taken from 10 sampling points within the Teshio River watershed in May, July, October and December (2006, 2007) and May and July (2008). After pressure filtration (0.45 $\mu$ M) and concentration by evaporation the remained powder samples were analyzed for 16 DFAA by High Performance Liquid Chromatography.

**Results and Discussion** The total DFAA ranged between 0 and 225.31nM. The highest DFAA concentrations were measured in July (mean 51.57nM) and the lowest in December (mean 14.43nM). The May and October months had middle DFAA concentrations with means of 30.13nM and 28.26nM respectively. There was no clear spatial trend; however st.4 had the highest total DFAA concentrations. Among the sampled tributaries the one with the most developed agriculture always had higher concentrations of DFAA than the others. The major DFAA composition consisted of Lys, Gly, Glu, Ala and Asp. According to the mole % Lys dominated the DFAA composition within all the stations (20-31%). Gly varied between 11 and 17% and had its lowest mole% at st.1 and the highest at st.7. Ala and Asp did not vary much between the stations.

## 一般講演 (その他)

### 河川水中のアミノ酸の起源に関する環境生物学的研究

○石沢清華<sup>1</sup>・傳法 隆<sup>1,2</sup>・上田 宏<sup>1,2</sup>(<sup>1</sup>北大院環境科学・<sup>2</sup>北大フィールド科学セ)

**背景・目的** サケ科魚類は河川固有のニオイ物質を識別することで母川への回帰を可能にするという嗅覚仮説が知られている。また近年の電気生理学的研究により、母川識別時のニオイ物質として河川水中の遊離アミノ酸の組成が重要な役割を果たすということが明らかになりつつある。河川水中のアミノ酸の起源として植生・土壌・人的要因・天候の影響・微生物の活動などが考えられるが、まだ不明な点が多い。本研究では河床の礫岩に付着する藻類および微生物（バイオフィーム）に着目し、これらが河川水中のアミノ酸の濃度に与える影響を調べる目的で、培養実験を行った。

#### 方法

**(単藻培養)** 札幌市内を流れる豊平川にて採取した付着性微生物から単離した藻類のうち珪藻 5 種類・緑藻 1 種類、計 6 種類を Csi 培地中に分離し (treatment)、培地のみのも (control) と共に 3 週間の単藻培養を行なった。培養後は直ちにグラスファイバーフィルターにて濾過し、HPLC を用いて培地中のアミノ酸濃度を測定した。また濾過に用いた濾紙よりクロロフィル a 量を測定した。培養期間中は光 (16L / 8D)・温度 (15 °C) の条件を一定に保った。

**(バイオフィームの培養)** 豊平川の同じ地点で採取した河川水 12 L と河床の礫岩 3 個を用いて培養実験を行った。河川水は採水後直ちに 0.45 μm フィルターにて濾過し、12 本のボトルに濾過河川水を 1 L ずつ分配し、エアレーション装置を取り付けて培養装置とした。このうち 6 本を培養開始対象群、6 本を 24 時間培養とした。さらに、これらのうち 3 本に礫岩を 1 個ずつ入れた (treatment)、残りの 3 本は河川水のみ (control) とした。培養期間中は光 (9L / 15D)・温度 (2 °C) 条件を一定に保った。

**(アミノ酸分析および解析)** 培養後は直ちに培養液を 0.45 μm フィルターにて濾過し、HPLC を用いて試料中に含まれるアミノ酸濃度を測定した。バイオフィームは全て礫岩から剥離し、バイオフィーム中のアミノ酸量・クロロフィル a 量・全菌数・生菌数を測定した。また、2001 年から 2005 年までの 5 年間で観測されたサンプリング地点付近の流量と測量値を用いて、河川水が 1 日に河川を流れる際の流量と距離を算出し、藻類およびバイオフィームが 1 日に算出するアミノ酸濃度が河川水中に与える影響を算出している。

**結果・考察** 単藻培養実験の結果、培養液中のアミノ酸濃度は増加した。クロロフィル a 量あたりに産生されるアミノ酸量は種によって異なった。アミノ酸濃度の解析を行う場合、藻類の組成を分析する必要があると考えられた。バイオフィーム培養実験の予備実験では培養液中のアミノ酸濃度は大きく増加した。バイオフィーム培養実験と、バイオフィームが算出するアミノ酸が河川水中に与える影響については現在解析中である。

## 一般講演 (その他)

### 放射性同位体を用いたバイオフィルムが生産するアミノ酸に関する環境生物学的研究

○板垣英祐<sup>1</sup>・工藤 勲<sup>1,2</sup>・上田 宏<sup>1,3</sup>

(<sup>1</sup>北大院環境科学・<sup>2</sup>北大院水産科学・<sup>3</sup>北大フィールド科学セ)

**背景** 河川水中の遊離アミノ酸の組成はサケが母川識別する時に重要な役割を果たしていると考えられている。河川水中の遊離アミノ酸の起源および組成の決定には河川を取り巻く様々な要因(植生, 土壌, 生物活動, 人為的影響, 天候など)が関係していると思われる。本研究においては河川水中の遊離アミノ酸の起源として様々な微生物(細菌, 藻類, 原生動物など)の共同体であり, 水圏における有機物の吸収, 分解, 放出において大きな役割を果たしているバイオフィルムにて着目し, 放射性同位元素を用いバイオフィルム中の従属栄養微生物を介したアミノ酸の生産を明らかにすることを目的として実験を行った。

**方法** 2008年3月14日に礫岩切片(10×9×1cm<sup>2</sup>)をバイオフィルム培養するため豊平川河床に沈めた。2008年9月11日に礫岩を回収し, 研究室において<sup>14</sup>C-混合アミノ酸(タンパク質加水分解物), <sup>14</sup>C-グルコース, および<sup>3</sup>H-ロイシンを加えたる過河川水中で, 回収した礫岩切片を入れ24時間培養し, バイオフィルムに放射性同位元素を取り込ませた。24時間後に礫岩切片を新しい過河川水中に移し, 18.2℃(河川水温), 暗条件下で3週間培養した。培養終了後, 放射同位元素で標識されたバイオフィルムに含まれるアミノ酸および培養水中の遊離のアミノ酸をHPLCにより分析した。

**結果・考察** <sup>14</sup>C-アミノ酸混合物を取り込ませたバイオフィルムから<sup>14</sup>C-アミノ酸混合物とほぼ同じ組成比の<sup>14</sup>C標識のアミノ酸が検出された。<sup>3</sup>H-ロイシンを取り込ませたバイオフィルムからは<sup>3</sup>H-ロイシンのみが検出された。これらの実験から, バイオフィルムに取り込まれたアミノ酸は, バイオフィルム内で他のアミノ酸に転換されることなくそのままの状態で行われていると考えられる。また, <sup>14</sup>C-グルコースを取り込ませたバイオフィルムからもタンパク質加水分解物である<sup>14</sup>C-アミノ酸混合物のアミノ酸組成比に類似したアミノ酸が検出された。この実験から, バイオフィルムに取り込まれたグルコースの一部は微生物により代謝されアミノ酸に転換されたと考えられた。一方, 培養液中からはバイオフィルム中に比較して少量の放射性同位元素で標識されたアミノ酸が検出された。以上の結果, バイオフィルム中に存在するアミノ酸のバイオフィルム外への放出は, かなり制限されていることが推察された。

発表者連絡先（敬称略・発表順）

宮腰靖之	miyakoshiy@fishexp.pref.hokkaido.jp	越野陽介	y_koshino516@fish.hokudai.ac.jp
春日井潔	kasugaik@fishexp.pref.hokkaido.jp	今野義文	y-konno@fsc.hokudai.ac.jp
實吉隼人	saneyoshih@fishexp.pref.hokkaido.jp	牧口祐也	yuya-m@fsc.hokudai.ac.jp
虎尾 充	toraom@fishexp.pref.hokkaido.jp	山本雄三	yuzo@fsc.hokudai.ac.jp
卜部浩一	urabeh@fishexp.pref.hokkaido.jp	坂東 洋	bandoh0110@fsc.hokudai.ac.jp
新谷哲章	tshinya@carrot.ocn.ne.jp	神藤真和	toutou@fish.hokudai.ac.jp
帰山雅秀	salmon@fish.hokudai.ac.jp	小倉隆平	h3yambe@bioindustry.nodai.ac.jp
横谷亮太	valley@fish.hokudai.ac.jp	飯田 匠	h3yambe@bioindustry.nodai.ac.jp
劉 正南	susia000@hotmail.com	三原徹大	h3yambe@bioindustry.nodai.ac.jp
小倉優一郎	jitennsya-kogu@fish.hokudai.ac.jp	李 世彬	sl006@fsc.hokudai.ac.jp
徐 賢珠	uagiri@fish.hokudai.ac.jp	lleva NY	nina_ileva@yahoo.com
三尾郁恵	mioikue1@fish.hokudai.ac.jp	石沢清華	sayaka-i@fsc.hokudai.ac.jp
本多健太郎	fbmods@fish.hokudai.ac.jp	板垣英祐	i-eisuke@fsc.hokudai.ac.jp
横山雄哉	y-yama@fish.hokudai.ac.jp		



**NHK 教育テレビ サイエンス ZERO**  
「サケ 生態の謎を解き明かせ」収録中にて、放送では本研究会の3部門代表がそれぞれのパートで出演されました。

**サケ学研究会**

会長：阿部周一  
遺伝学部門代表：阿部周一  
生態学部門代表：帰山雅秀  
生理学部門代表：上田 宏  
事務局長：工藤秀明  
(hidea-k@fish.hokudai.ac.jp)

**事務局**

〒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  
海洋生態系保全戦略領域  
Tel/Fax 0138-40-5602

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

発行日：2008年12月13日  
発行所：サケ学研究会