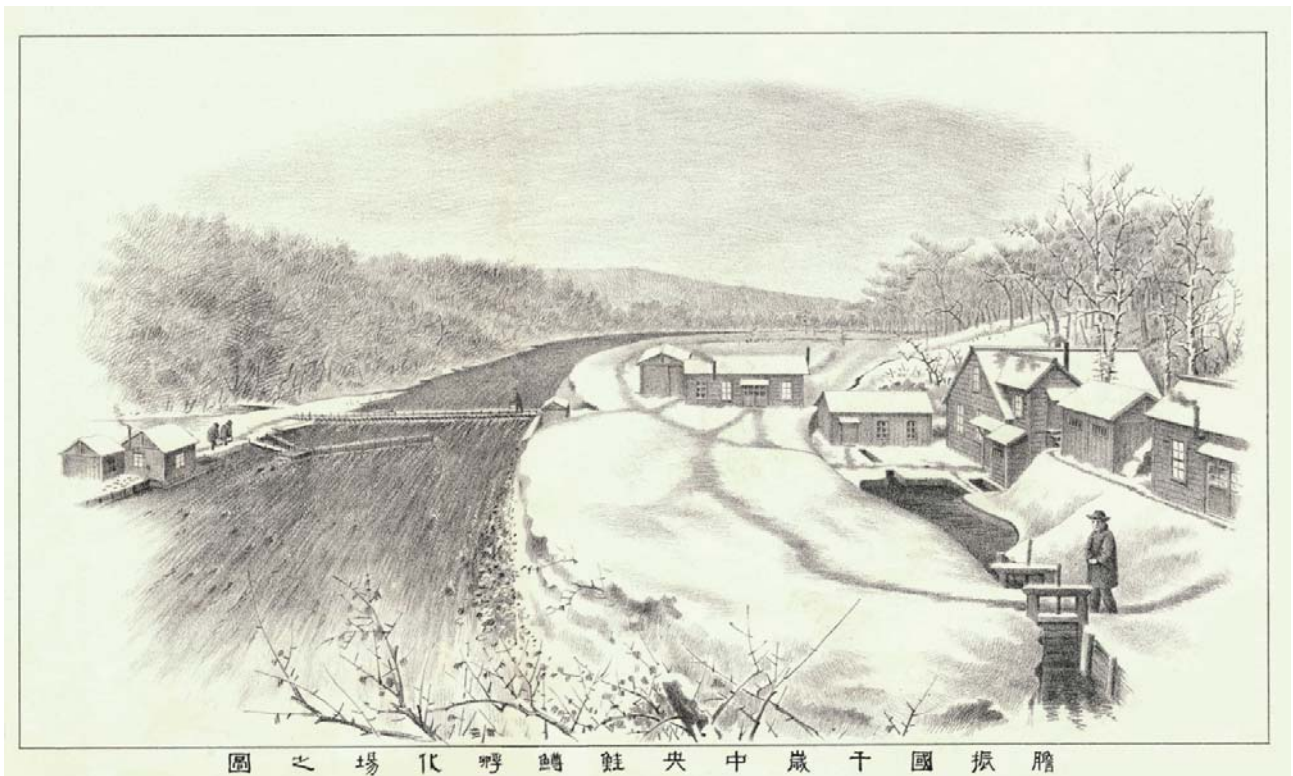


SALMON 情報

第 8 号

2014 年 3 月

- サケ稚魚の質を評価する試み
- 北太平洋・ベーリング海でのさけ・ます共同調査
- 健苗放流のすすめ
- 食酢塩水処理がサケ稚魚の嗅覚に与える影響
- サケ科魚類のプロファイル-12 サツキマス・アマゴ
ほか



編集 北海道区水産研究所



独立行政法人
水産総合研究センター

目次

研究成果情報

- サケ稚魚の質を評価する試み…………… 伴 真俊 3
 北太平洋・ベーリング海でのさけ・ます共同調査…………… 福若雅章 8

技術情報

- 健苗放流のすすめ…………… 高橋史久・安達宏泰 13
 食酢塩水処理がサケ稚魚の嗅覚に与える影響…………… 高橋 悟 18
 アラスカ州における最先端システムを活用した耳石温度標識調査
 …………… 飯田真也・岡本康孝 22

会議報告

- さけます関係研究開発等推進会議…………… 安達宏泰 27
 NPAFC 科学調査統計小委員会 (CSRS) 会議…………… 浦和茂彦 30
 平成 25 年度さけます資源部第 1 回連絡会議ワークショップ
 「さけます資源の現状：想定される減少要因と今後の対応」…………… 斎藤寿彦・ほか 32

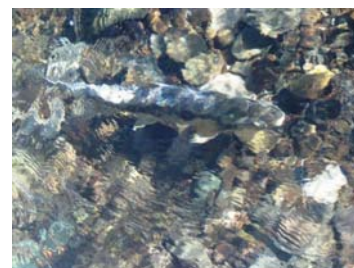
さけます情報

- サケ科魚類のプロファイル-12 サツキマス・アマゴ…………… 坪井潤一 38
 北太平洋と日本におけるさけます類の資源と増殖…………… 平林幸弘 42



mini column

今号の表紙絵は、真冬の光景ながら穏やかで柔らかなタッチが印象的です。絵本の一頁のようにも見えますが、実は、明治 27 年に発行された「北海道鮭鱒人工孵化事業報告」に綴られた絵で、開設間もない頃の現千歳さけます事業所の様子が描かれています。この事業報告によると、当時の千歳川ではサケの捕獲採卵は 11 月から翌年 2 月に行われていたようです。もしかすると川の左手に行く二人はまさにその作業中なのかもしれません。現在では捕獲採卵は秋を盛期に行われていますが、真冬の千歳川をそ上するサケは今年もその姿を見せてくれています。



千歳さけます事業所構内にて(2014 年 1 月 15 日) 撮影:宮内康行

研究成果情報

サケ稚魚の質を評価する試み

ばん まさとし

伴 真俊 (北海道区水産研究所 さけます資源部)

はじめに

北日本の主要な水産資源であるサケ (*Oncorhynchus keta*) の来遊数は、1970年代の約6百万尾から2010年代の約4千万尾まで、年変動を繰り返しながらも劇的に増加しました。この大幅な資源の増大には、サケの増殖事業が北日本の広い地域で展開されたことと、それにもなって開発された給餌放流や適期放流等の技術が貢献していると考えられています (Mayama 1985, 帰山 1986)。また、種苗の育成方法についても多くの知見が蓄積され、飼育密度や溶存酸素量 (Wedemeyer 1976, McLean et al. 1993)、換水率 (Westers and Pratt 1977)、アンモニア濃度 (Smith and Piper 1975) 等に関する基準値が定められてきました (野川・八木沢 1984)。しかし、育てた種苗の質を評価する手法は不十分なのが現状です。

サケの増殖事業に限らず、種苗生産現場に求められることは、先ず健康な放流効果の高い魚を育てることといえるでしょう (塚本 1990)。そのため、現場の担当者が毎日行う重要な作業は、飼育魚の様子を観察することだと思います (福田 2010)。しかし、観察だけでは一見すると正常な魚が本当に健康なのかどうかの見極めが難しく、判断に個人差が生じることもあります。そこで、魚の健康状態を客観的に評価し、数値化する試みが古くから続けられてきました。本稿では、種苗の質を評価するこれまでの取組みについて紹介します。

サケ科魚類で用いられる海水適応能試験

種苗の状態を調べる際、魚をあえて不適な環境に曝し、それらの生体反応を検査する耐性試験を用いることがあります。淡水で飼育したサケ科魚類の幼稚魚を直接海水に移し、海水中における生存能力を調べる“海水適応能試験 (Seawater challenge tests)”もその一つです。この試験は、元々ニジマス幼魚 (*O. mykiss*) のスモルト化にともなう海水適応能力を調べるために開発されました (Conte and Wagner 1965)。スモルト化とは、サケ科魚類の幼稚魚が海洋生活への移行に先立って降海型に変態する現象ですが、その際に浸透圧調節機能も淡水型から海洋型へ変化します。スモルト化する前の幼稚魚を海水に移すと体液のナトリウム濃度が上昇して死に至ることもありますが、スモルト化した魚は生存に適した値を維持できます。また、変態した魚が何らかの要因で海洋生活へ移行せずに淡水生活を続けると、身体の機能が淡水型に戻り海水適応能力も低下します。当初、海水適応能力は魚を海水へ30日間移行した後の生残率を指標に判定していました。その後、Clarke and Blackburn (1977, 1978) により改良が加えられ、魚を塩分30‰の海水に24時間移行した後の血中ナトリウム濃度 (血中Na) を指標にすることで、短時間で精度の高い判定ができるようになりました。この場合、血中Naが淡水中の魚に近い150-170 mMに調節されていれば、その個体は海水適応能力を高めていると判断します。スモルト化が不十

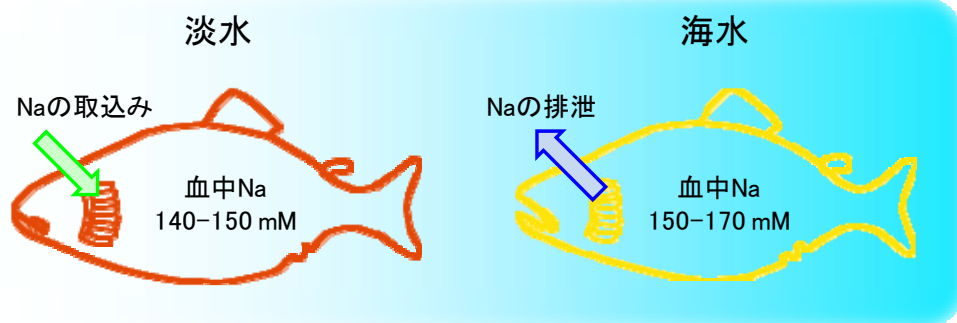


図1. 魚類の一般的な浸透圧調節機構。左は淡水中の魚、右は海水中の魚を示す。淡水中の魚は水分が体内へ流入するため、多量の尿を排泄するとともに不足する塩類を鰓から取り込み、体液のナトリウム濃度 (血中Na) を140-150 mMに保っている。一方、海水中の魚は水分が体外へ流出するため、海水を飲んで補うとともに余分な塩類を鰓から排泄して、血中Naを淡水中の魚より僅かに高い150-170 mMに保っている。

分な状態で放流された種苗は、河川に残留するか成長阻害が起きるために放流効果が低下しますが

(Folmar et al. 1982), 海水適応能試験を定期的に行うことで、スマルト化の程度と適切な放流時期を把握することができます。この方法は、淡水に棲む魚も海水に棲む魚も体液のイオン濃度をほぼ同じ値に保つ性質(図1)を応用したもので、淡水生活期間が比較的長いギンザケ(*O. kisutch*), サクラマス(*O. masou*), ベニザケ(*O. nerka*)等に広く活用されています(Clarke and Wagner 1965, Clarke, et al. 1966, 伴ら 1987, Ban and Yamauchi 1991)。

では、サケのように浮上後数ヶ月で全ての個体が降海する種の海水適応能はどのような傾向を示すでしょうか。図2に、北海道区水産研究所から放流されているサケ稚魚の海水適応能試験結果を示しました。折れ線グラフは魚を海水へ24時間移行した後の血中Naの推移です。浮上前(2月)の魚は200 mMを超える高い値を示しましたが、浮上後は一貫して低い値を維持していることから、試験に供したサケ稚魚は3月から8月まで高い海水適応能を有していることがわかります。

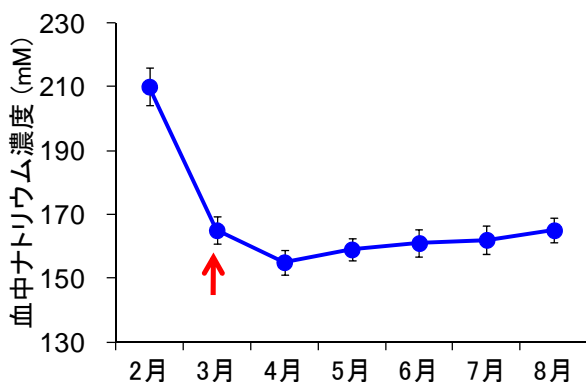


図2. サケ稚魚の海水移行24時間後における血中ナトリウム濃度の推移。横軸は試験を行った月、縦軸は血中ナトリウム濃度(mM)、矢印はサケ稚魚が浮上した時期を示す。

海水適応能試験を用いたサケの“健苗性”評価

種苗の質を評価する際、塚本(1993)は“健苗性”と“種苗性”に分けて扱うことを提唱しています。“健苗性”は魚の栄養状態、耐性、遊泳能力等、基本的な健康状態のことです。他方、“種苗性”は放流種苗としての適性を指し、放流効果に直接影響する機能的、形態的、行動的特性によって評価されます。ここでは、海水適応能試験を用いてサケ稚魚の健苗性を評価する試みを紹介します。

前述のとおり、サケ稚魚は浮上してから少なくとも半年間、高い海水適応能を維持するので、海

水に移されても死ぬことはありませんが、実験的に不適な環境で飼育したサケ稚魚を海水に浸けると、外見的には問題がなくても死亡する個体が現れることがあります。例えば、3器の10L水槽を設け、サケ稚魚を異なる密度と注水量(A群; 5 kg/m³, 0.4 L/min, B群; 5 kg/m³, 5.0 L/min, C群; 45 kg/m³, 5.0 L/min)で10日間飼育した後、塩分33‰の海水へ移行してみました。図3には、海水移行24時間後の生残率と血中Naを示しています(伴2000を改変)。この実験ではB群が正常な生残率(100%)と血中Na(164 mM)を示しました。しかし、B群より注水量が少ないA群や高密度のC群の血中NaはB群に比べて有意に高い値を示し、結果として生残率が低くなったことから、稚魚に何

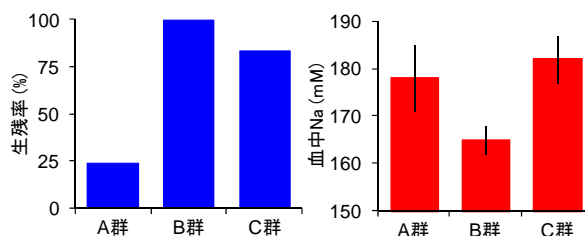


図3. 異なる条件で飼育したサケ稚魚の海水移行24時間後の生残率(%:左図)と血中ナトリウム濃度(mM:右図)。飼育密度と注水量は、A群: 5 kg/m³, 0.4 L/min, B群: 5 kg/m³, 5.0 L/min, C群: 45 kg/m³, 5.0 L/min。

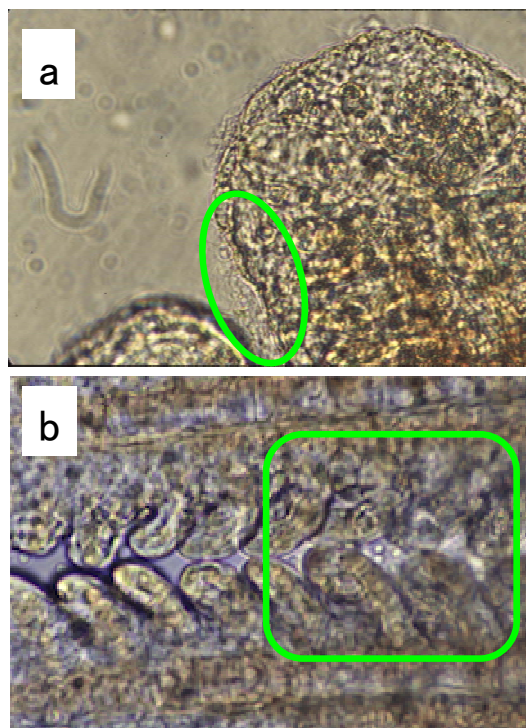


図4. 異なる条件で飼育したサケ稚魚のうちA群とC群で認められた鰓の異常。a: A群(飼育密度と注水量; 5 kg/m³, 0.4 L/min)の鰓に認められた長桿菌(緑円), b: C群(飼育密度と注水量; 45 kg/m³, 5.0 L/min)に認められた2次鰓弁の肥厚(緑枠)。

らかの異状が起きていることが予想されました。そこで各群から無作為に取り上げた個体の鰓を検査したところ、A群では長桿菌が寄生していること(図4-a)、C群では2次鰓弁が肥厚していること(図4-b)が判明しました。長桿菌(*Flavobacterium branchiophilum*)の寄生は浸透圧調節の主要器官である鰓の機能を阻害します(若林 2004)。また、2次鰓弁の肥厚は鰓を介した酸素の取込みやイオン交換を阻害する可能性があります。そのため、海水移行後の死亡原因は不適な環境で飼育された稚魚に生じた鰓の障害であることが推察されました。このように、海水適応能試験は稚魚に発生した異状を検出する有効な手段といえます。

これらの知見に基づき、北海道区水産研究所のさけます事業所では海水適応能試験を行うことによって、放流種苗に潜んでいるかもしれない異状の早期発見に役立てています。方法は、塩分33‰の海水を満した60cm水槽に60-100尾のサケ稚魚を投入し、2日後の生残率(% = 生残個体数/投入個体数×100)を算出するという簡単なものです。生残率が低い群には何らかの異状が生じていると推測し、その原因を究明することによって状況が悪化する前に対処します。

“健苗性”を評価するその他の耐性試験

海水適応能試験は健苗性を評価するための有効な一手段ですが、本来この試験はサケ稚魚が降海に先立って獲得しているはずの海水適応能力を客観的に把握するための手段です。魚の健苗性には当然のことながら複数の要素が相互に関与していることから(塚本 1993)、種苗の健苗性をより正確に把握するためには、海水適応能以外の側面からも評価する必要があるでしょう。また、種苗生産現場で行う評価作業は、なるべく簡便で迅速に行えることも重要な要素になります。以下に、古くから行なわれている健苗性評価試験を紹介します。

サケ稚魚と同様に群れを作る習性があるアユ(*Plecoglossus altivelis*)では、升目を付けた水槽を用いて成群性や個体間距離を指標とした評価を行っています。水温上昇や絶食等の悪条件は個体間距離を大きくし、逆に水温低下や飽食は個体間距離を小さくする等、温度や餌条件は個体間距離に大きな影響を与えるようです(Tsukamoto and Uchida 1990)。また、マダイ(*Pagrus major*)では空中干出耐性試験が行われています(佐藤ら 1973)。方法は、1度に10尾の魚を取り上げ、異なる時間、空中に干出させて再び水槽に戻した際の半数致死時間を計測する簡便なもので、仔稚魚の状態を比較的鋭敏に表す活力テストとして利用されています。しかし、魚の成長にともなって半数致死

時間も長くなる傾向があるため、利用する際は体長と致死時間の関係式を求めておく必要があります。

その他、麻酔にかかった魚が覚醒するまでの時間の比較(麻酔耐性;大上・鈴木 1983)、魚の半数が死亡する上限水温の比較(高温耐性;佐藤ら 1973)、止水条件で飼育した魚が死亡するまでの時間の比較(低酸素耐性;丸山ら, 1986)等、様々な技術開発が行われてきました(北島 1993)。また、生産現場での迅速な評価はできませんが、近年では魚が受けたストレスの程度を測定するELISA法も開発されています(三吉 2010)。

放流効果を左右する要因

種苗生産現場の関心は、飼育している魚の“健苗性”に加えて、放流した種苗が資源にどの程度貢献しているのかという放流効果の問題でしょう。この放流効果を左右する生物側の要因が“健苗性”です。北海道区水産研究所の事業所から放流されるサケ稚魚には2006年級群以降の全ての個体に耳石温度標識が付けられるとともに、海水適応能試験を行って健苗性も調べています。そのため、放流魚の健苗性と放流効果を併せて追跡調査することができるようになりました。ここでは、サケ稚魚の海水適応能試験結果と親魚の河川回帰率の関係について調べた例を紹介します。

北海道内の12河川から1997年-2001年に放流されたサケ稚魚の海水移行後の生残率と、それらの河川回帰率を図5に示しました。赤の箱ひげ図は海水移行後の生残率が100%を示し、海水適応能については異状が認められなかった群の回帰率、青の箱ひげ図は移行後の生残率が100%未満を示

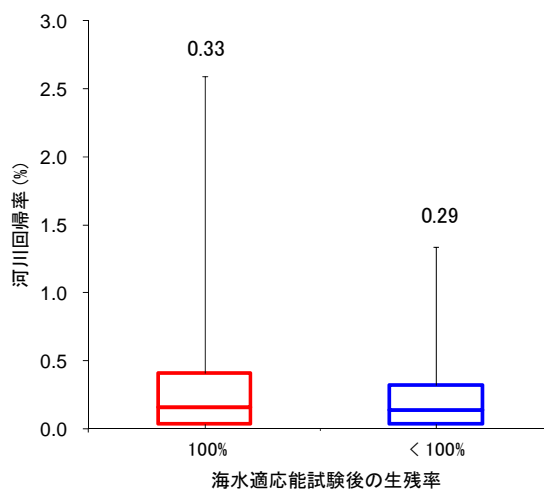


図5. 海水移行後の生残率が100%を示した群(赤)と100%未満の群(青)の河川回帰率。箱ひげ図は水平線が中央値、上下の線が第1ならびに第3四分位を示す。垂線は最大値と最小値を示す。図中の数字は平均値を示す。

し、海水適応能に異状があった個体を含む群の回帰率を表しています。赤と青の平均値はそれぞれ0.33%と0.29%を示し、両群間に大きな違いはありませんが、赤の群のなかには回帰率が2.5%に達する例も認められました。これらの結果は、サケの種苗生産過程において正常な海水適応能を有する魚の育成が大切ではあるものの、回帰率の向上には海水適応能力以外の要因が関与していることを示唆しています。

回帰率に関連しそうな要因として、捕食者からの逃避行動に関わる遊泳能力が挙げられます。塚本・梶原(1973)は流量と流速を変えられる水槽(スタミナトンネル)を開発し、流れによる負荷を与えた魚の遊泳速度(V)と遊泳時間(T)、および体長(L)から遊泳曲線 $[K = (V/L) \times Ta]$ を求め、遊泳能力の指標としました。しかし、これらの手法は遊泳力を測定するための大掛かりな実験水槽が必要です。種苗生産現場で遊泳能力を測定するためには、小林・大熊(1983)やFarrell et al.(2003)が作製したような小型で簡便な装置が必要です。和泉・大田(2011)はシロウオ(*Leucopsarion petersii*)用の小型スタミナトンネルを開発し、魚が60分間泳ぎ続けられる遊泳能力指数(SAI: Swimming Ability Index)を算出して運動能力の指標にしています。しかし、アユの場合、放流効果は遊泳力より、むしろ放流後の遡上性、あるいは飛び跳ね行動の強度と相関があるようです(Tsukamoto and Uchida 1990, Tsukamoto et al. 1990)。また、放流効果には親由来の遺伝的形質も影響している可能性があります。大原(2013)は、継代養殖されたアマゴの卵に野生アマゴの精子を掛け合わせた半野生アマゴの回帰率が、継代養殖種苗の回帰率より2-15倍も高いことを報告しています。

一方、放流効果に影響を与える要因として、放流する種苗の大きさと時期、それにとともなう水温や餌等の環境条件を考慮する必要があります。北海道区水産研究所でもこの点に着目し、大きさが異なるサケ稚魚を異なる時期に放流する実証試験を続けてきました。標識魚の調査は現在も継続中ですが、これまでの結果から、放流効果を高めるためには放流する時期が重要であること、放流が適切な時期に行なわれていれば大型の群ほど回帰率が高まること等が示されています(高橋 2010)。

おわりに

本稿では、サケ稚魚の質を評価するために行っている海水適応能試験と、関連する手法を紹介しました。海水適応能試験はサケ稚魚の健苗性を評価する手法として有効ですが、放流効果を直接評価するものではありません。放流効果に繋がる適切な指標を見出すことは、今後に残された課題で

す。しかし、サケのように放流から回帰まで3-6年を要する魚種の場合、放流効果は種苗の質だけでなく、水温や餌、捕食圧等、環境要因の影響を考え合わせる事が不可欠です。ふ化放流技術グループでは、サケ稚魚の健苗性を簡便に把握する手法の確立に向けた、海水適応能以外の指標の探索と、実証放流を通じた放流効果に影響を与える環境要因の把握に取り組んでいます。

謝辞

海水適応能試験と河川回帰率の関連を調べる実験は、増殖効率化モデル事業として行なわれたものです。当時の関係者の皆様には心から感謝いたします。

参考文献

- 伴 真俊. 2000. 飼育密度と溶存酸素濃度および注水量がサケ稚魚の生理状態、特に海水適応能に与える影響. 魚と卵, 167: 1-7.
- 伴 真俊・笠原 昇・山内皓平. 1987. 池産サクラマス1年魚の銀化に伴う生理的变化. 北海道立水産孵化場研究報告, 42: 27-35.
- Ban, M., and Yamauchi, K. 1991. Seasonal changes in seawater adaptability of the hatchery reared juvenile sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka*. Sci. Rep. Hokkaido Salmon Hatchery, 45: 25-33.
- Clarke, W. C., and Blackburn, J. 1977. A seawater challenge test to measure smolting of juvenile salmon. Can. Fish. Mar. Serv. Tech. Rep., 705: 11p.
- Clarke, W. C., and Blackburn, J. 1978. Seawater challenge tests performed on hatchery stocks of Chinook and coho salmon in 1977. Can. Fish. Mar. Serv. Tech. Rep., 761: 19p.
- Clarke, W. C., and Wagner, H. H. 1965. Development of osmotic and ionic regulation in juvenile steelhead trout *Salmo gairdneri*. Com. Biochem. Physiol., 14: 603-620.
- Clarke, W. C., Wagner, H. H., Fessler, J., and Gnose, C. 1966. Development of osmotic and ionic regulation in juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). Comp. Biochem. Physiol., 18: 1-15.
- Conte, F. P., and Wagner, H. H. 1965. Development of osmotic and ionic regulation in juvenile steelhead trout *Salmo gairdneri*. Comp. Biochem. Physiol., 14: 603-620.
- Farrell, A. P., Lee, C. G., Tierney, K., Hodaly, A., Clutterham, S., Healey, M., Hinch, S., and Lotto, A. 2003. Field-based measurements of oxygen uptake and swimming performance with adult Pacific

- salmon using a mobile respirometer swim tunnel. *J. Fish Biol.*, 62: 64-84.
- Folmar, L. C., Dickhoff, W.W., Mahnken, C. V. W., and Waknitz, F. W. 1982. Stunting and parr-reversion during smoltification of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Aquaculture*, 28: 91-104.
- 福田 穰. 2010. 魚類養殖現場でできる日常の健康診断. *養殖*, 6: 22-24.
- 泉 完・大田敏樹. 2011. 河川におけるスタミナトンネルを用いたシロウオの遊泳能力について. H23 農業農村工学会大会講演会講演要旨集, 127-128.
- 帰山雅秀. 1986. サケ *Oncorhynchus keta* (*Walbaum*)の初期生活史に関する生態学的研究. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 40: 31-92.
- 北島 力. 1993. 飼育過程での評価方法. 水産学シリーズ93 『放流魚の健苗性と育成技術』(北島 力編), 恒星社厚生閣, 東京. pp. 31-40.
- 小林哲夫・大熊一正. 1983. サケマス稚魚の体力測定装置について. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 37: 41-44.
- 丸山敬悟・津村誠一・森岡泰三. 1986. マダイ種苗の健全性に関する試験-I. 粗放的生産魚と集約的生産魚の比較. 栽培技研, 15: 157-167.
- Mayama, H. 1985. Technical innovations on chum salmon enhancement with special reference to fry condition and timing of release. In Proceeding of the Eleventh U.S.-Japan Meeting on Aquaculture, Salmon Enhancement, Tokyo, Japan, October 19-20, 1982. NOAA Tech. Rep. NMFS, 27: 83-86.
- McLean, W. E., Jensen, J. O. T., and Alderdice, D. F. 1993. Oxygen consumption rates and water flow requirements of Pacific salmon (*Oncorhynchus* spp.) in the fish culture environment. *Aquaculture*, 109: 281-313.
- 三吉泰之. 2010. 抗体チップ・プロテインチップを用いた養殖ヒラメの健康診断技術. *養殖*, 6: 28-31.
- 野川秀樹・八木沢功. 1984. サケ稚魚の適正な飼育環境. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 48: 31-39.
- 大上皓久・鈴木 隆. 1983. マダイ仔魚の活力判定法の検討. 昭和 57 年度静岡県栽培漁業センター事業報告, 50-56.
- 大原健一. 2013. 回帰率の高いサツキマス種苗の開発. 岐阜県河川環境研究所の広報誌 河環研だより, 23: 1.
- 佐藤正明・伏見 徹・増村和彦. 1973. マダイ仔魚期の飼育管理技術の向上. 昭和 47 年度別枠研究成果, 浅海域における増養殖漁場の開発に関する総合研究. 備後灘周辺漁場開発プロジェクトチーム, pp. 266-273.
- Smith, C. E., and Piper, R. G. 1975. Lesions associated with chronic exposure to ammonia. In *The Pathology of Fishes*, ed. W. E. Ribelin, and G. Migaki. Uni. Wisconsin Press, Madison. pp. 497-514.
- 高橋史久. 2010. 耳石温度標識放流魚から得られた知見 その 2 (放流時期とサイズの検討). *SALMON 情報*, 4: 12-14.
- 塚本勝巳. 1990. 種苗性のはなし. *さいばい*, 55: 20-24.
- 塚本勝巳. 1993. 種苗の質. 水産学シリーズ 93 『放流魚の健苗性と育成技術』(北島力 編), 恒星社厚生閣, 東京. pp. 102-113.
- 塚本勝巳・梶原 武. 1973. 魚類の遊泳速度と遊泳能力. *水産土木*, 10: 31-36.
- Tsukamoto, K., and Uchida, K. 1990. Spacing and jumping behavior of the ayu *Plecoglossus altivelis*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 56: 1383-1392.
- Tsukamoto, K., Masuda, S., Endo, M., and Otake, T. 1990. Behavioural characteristics of the ayu *Plecoglossus altivelis* as predictive indices for stocking effectiveness in a river. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 56: 1177-1186.
- 若林久嗣. 2004. 細菌病. 『魚介類の感染症・寄生虫病』(若林久嗣・室賀清邦 編), 恒星社厚生閣, 東京. pp. 169-173.
- Wedemeyer, G. A. 1976. Physiological response of juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) and rainbow trout (*Salmo gairdneri*) to handling and crowding stress in intensive fish culture. *J. Fish. Res. Board. Can.*, 33: 2699-2702.
- Westers, H., and Pratt, K. M. 1977. Rational design of hatcheries for intensive salmonid culture, based on metabolic characteristics. *Prog. Fish Cult.*, 39: 157-165.

研究成果情報

北太平洋・ベーリング海でのさけ・ます共同調査

ふくわか まさあき

福若 雅章 (西海区水産研究所 資源海洋部)

はじめに

日本で生まれたサケは北太平洋やベーリング海を広く回遊しながら餌を食べ成長し、約4年後の秋に生まれた川に産卵のため戻ってきます(図1)。私は北海道区水産研究所釧路庁舎に勤務していた1998~2012年にほぼ毎年のように調査船に乗り、北太平洋やベーリング海に出かけてサケの調査を行ってきました。何週間も陸地が見えない海域で、しかも夏では深い霧の中で、さけ・ますを獲り調査を続けるという単調な日々が続きます。しかし、たまにイルカが船の周りで遊んだり、アホウドリやエトピリカなど日本では珍しい海鳥が近付いてきたりと楽しいこともあります。調査船を使うと日本から遠く離れたはるか沖合でさけ・ますやその他の生物の調査ができますので、さまざまな研究グループにいろいろな興味を持っていただき共同調査を実施してきました。ここでは、その成果の一端をご紹介します。

ベーリング・アリューシャンさけ・ます国際共同調査 (BASIS)

日米ロ加韓の5か国で締結されている「北太平洋における溯河性魚類の系群の保存のための条約 (NPAFC 条約)」のもとで計画された BASIS 第 I 期 (2002~2006 年) に、日本は水産庁所属開洋丸、北海道教育庁所属若竹丸 (水研センター用船)、および北海道大学所属おしよ丸を用いて調査を実施しました。北太平洋・ベーリング海でのさけ・ます調査は、1950年代から流し網を用いて行われてきました。流し網は海中に設置した網に泳いでくる魚が突き刺さったり絡んだりして漁獲する漁具で、沖合域では密な群れを作らないさけ・ますを効率的に漁獲することができます。しかし、流し網はトロール網のように網を曳いた空間がはっきりと分かりません。そこで、BASIS では標準の調査漁具をトロール網と定めて、各国が調査を行いました。日本でも開洋丸がトロール網を用いて調査を行い、トロール網と流し網が漁獲できる魚の大きさの範囲とその選択性の研究 (Fukuwaka et al. 2008, 2009) や、トロール網の調査面積からベーリング海全体に引き伸ばして推定したサケの生物量に関する研究 (Fukuwaka et al. 2010) を行いました。

2002~2004年の3年間に開洋丸は中層トロール網、若竹丸は10種目合い調査流し網を用いてベーリング海中央部の公海域の同じ定点でほぼ同じ時期に調査を行い、漁獲されたサケの尾又長を比較しました (Fukuwaka et al. 2008)。その結果、調査流し網は10種類の目合いが異なる網を組み合わせても、サケの大きさにより漁獲される効率が異なり、大きいほど漁獲されやすいことがわかりました (図2)。このことから、調査流し網を用いて調査をおこなうと大きいサイズのサケの数は過大評価されることとなります。また、各年齢での平均尾又長も過大評価され、とくに高齢群ほどその偏りは大きくなることがわかりました (Fukuwaka et al. 2009)。

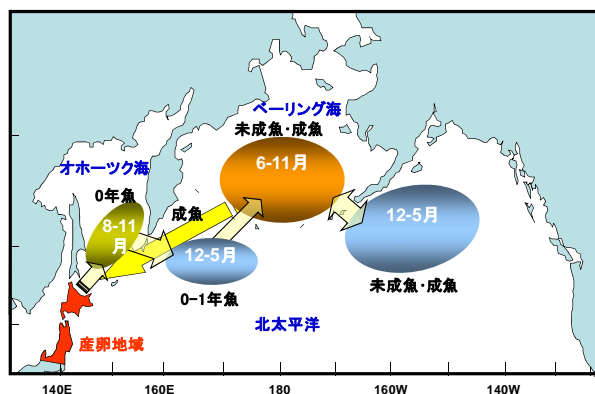


図1. 日本系サケの主要な回遊経路の推定図 (浦和 2000 を改変)。

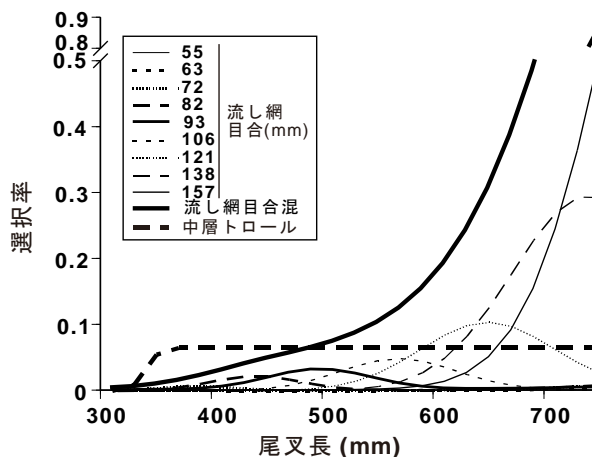


図2. 開洋丸中層トロールと10種目合い調査流し網のサケを対象としたサイズ選択曲線 (Fukuwaka et al. 2008)。

また、日本に回帰して沿岸で漁獲されたり河川で捕獲されたサケは計数され、その一部の年齢が調べられ、回帰資源の予測や評価に用いられています。コホート解析とかVirtual Population Analysisと呼ばれる計算方法を使い生存率を仮定すると、年齢別回帰尾数から海洋域で回遊していたサケの数を大雑把に見積もることができます。このテクニックと、ベーリング海でのトロール網による調査結果、魚体測定結果、母川を調べる研究、年齢査定結果、とトロール網の漁獲サイズ選択性を組み合わせると、ベーリング海でのサケの数と生物量を見積もることができました (Fukuwaka et al. 2010)。他のプランクトン食性種の生物量と比較すると、推定された2002・2003年夏のサケの生物量は1980年代のスケトウダラや中層性魚類の約10分の1であると考えられます (表1)。現在のベーリング海中央部の大型のプランクトン食性魚では、スケトウダラはほとんど姿を消してしまったため、サケとおそらくそれに匹敵する生物量をもつ奇数年級のカラフトマスが最も大量に生息しているということが出来ます。このように、海の生態系はダイナミックに変化しているということを見ることができました。

米国ワシントン大学とのさけ・ますの食性調査

米国のワシントン大学には米国政府からの資金援助により公海さけ・ます調査プログラム (High Seas Salmon Research Program) があり、1953年から日米加漁業条約とNPAFC条約のもとで、北海道大学水産学部、旧遠洋水産研究所や北海道区水産研究所と長期間にわたり、さまざまな共同研究を実施してきました。近年では、日本の調査船に

より食性調査や魚の生息環境を記録できるアーカイバル・タグの装着放流などを行っていました。しかし、米国でのさけ・ます調査の目的が自国資源の管理にシフトしたため、公海調査の予算が減少し、このプログラムはとうとう2013年に廃止されました。

日本ではあまり利用されませんが、米国では河川に回帰したスチールヘッド・トラウト (ニジマスの降海型) は釣りの対象として重要で、また河川環境や野生生物のシンボルとしても注目が集まっています。スチールヘッド・トラウトは北太平洋を広く回遊しますが、沖合での生活についてはほとんど知られていません。そこで、アラスカ湾と中部北太平洋で調査漁獲されるスチールヘッド・トラウトの食性を調べると、北太平洋に多く生息する小型のイカであるヒメドスイカが餌として重要でした (Atcheson et al. 2012a)。また、体成長をモデル化して調べたところ、体成長に適した水温の幅は狭くて、スチールヘッド・トラウトは水温環境の変化に強く影響を受けることが分かりました (Atcheson et al. 2012b)。

日本で産業上もとても重要であるサケについては、食性ととも体の脂質についても調査を実施しました。脂質は、私たちがサケを食べたときの味の決め手の一つとなるとともに、サケにとっては餌の乏しい冬を耐え抜くための一時的なエネルギーの蓄えでもあります。そこで、夏にベーリング海でサケの筋肉中に含まれる脂質が年ごとにどれくらい違うかを調べると、一年ごとに高くなったり低くなったりします (図3中段; Kaga et al. 2013)。

このパターンはカラフトマスの豊不漁のパターンと逆になっているようです。サケの食性を調べると脂質を多く含む甲殻類プランクトンは偶数年

表1. ベーリング海海盆域に優占するプランクトン食性ネクトンの生物量推定値 (Fukuwaka et al. 2010)。

種群	生物量(千トン)	海域	年
サケ	742, 617	海盆	2002, 2003
	146-685	西部ベーリング海	2002-2006
スケトウダラ	1140-7626	海盆	1985-1991
	198-2396	ボゴスロフ	1988-2007
	2.4-710	西部ベーリング海	2002-2006
キタノホッケ	366-887	アリューシャン列島周辺	1991-2006
	3.6-282	西部ベーリング海	2002-2006
中層性魚類	5921	中・西部ベーリング海	1989
	0.16-282	西部ベーリング海	2002-2006
中層性イカ類	592-1302	中・西部ベーリング海	1989-1990
	123-334	西部ベーリング海	2002-2006

によく食べられ、脂質をあまり含まず水分とタンパク質が多いクラゲやオタマボヤは奇数年に多く食べられています(図4)。カラフトマスは甲殻類プランクトンを主に食べ、あまりクラゲやオタマボヤを好んで食べません。そこで、カラフトマスが多い年には、甲殻類プランクトンが先に食べられてしまうせいか、あるいはサケがカラフトマスに遠慮しているのか、脂質の多い甲殻類プランクトンをサケがあまり食べなくなり、脂質が低下するものと考えました。

北海道大学水産学部との海鳥調査

北海道大学水産学部もおしよ丸でさけ・ます調査を実施していることから、多くの共同調査を実施しています。とくに、流し網にかかる海鳥については、北洋漁業がまだ盛んなころから共同で調査を行ってきました。海鳥も魚と同様に海の中にいるプランクトンや小魚などを餌にしています。その中には、アホウドリのように海の表面で餌を獲るものやオロロン鳥として知られるウミガラスやエトピリカのように海に潜って餌を獲るものがあります。海に潜って餌を獲っている海鳥は、魚と同じように漁網にかかって水中で息ができなくなり死んでしまうことがあります。北太平洋やベーリング海でも調査流し網にミズナギドリ類、ウミガラス類、ツノメドリ類などがかかってしまうので、その標本を利用し、栄養状態やプラスチックごみの誤食、汚染物質の蓄積状態などを調査しています。

ベーリング海で調査流し網にもっとも多くかかる海鳥は、ハシボソミズナギドリです。この海鳥はカラフトマスと同様に甲殻類プランクトン、とくにオキアミ類を主な餌にしています。ですから、カラフトマスと餌をめぐる競争関係にあります。しかし、鳥と魚が競争するという事は想像しにくいせいか、これまであまり調べられてきませんでした。ところが、この共同調査で、ハシボソミズナギドリの栄養状態(体重と肝臓重量)は、サケと同様にカラフトマスの豊漁年に低下してしまうことが分かりました(図3下段;Toge et al. 2011)。ハシボソミズナギドリは、サケと異なり、カラフトマスが多い年も餌を変化させずオキアミ類を主に食べていました(図4下段)。このことから、カラフトマスの豊漁年にハシボソミズナギドリの栄養状態が悪いのは、カラフトマスによってオキアミ類が食べられ少なくなったために、ハシボソミズナギドリの餌が少なくなったためと考えられました。

また、海鳥は海に浮いている小さなプラスチックごみを餌と間違えて食べてしまうようです。調査流し網にかかって死んだ海鳥の胃を開けると

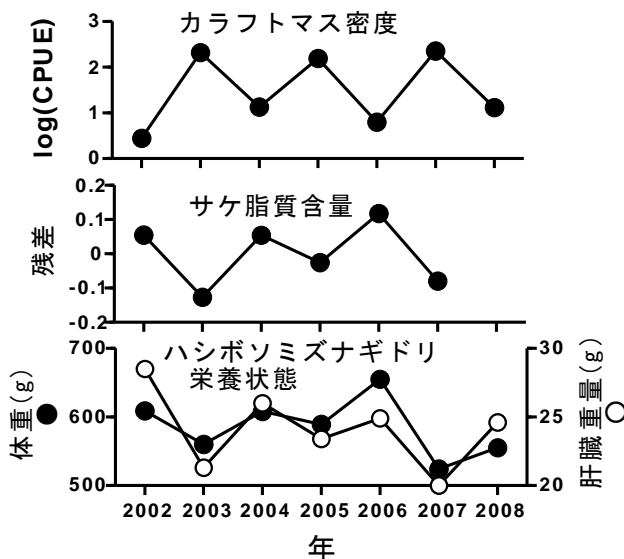


図3. ベーリング海中央部における2002~2008年のカラフトマス密度(尾/調査流し網30反;上段),対数変換したサケ脂質含量(g/筋肉10g)の尾又長への回帰直線からの残差(中段),およびハシボソミズナギドリの体重(g)と肝臓重量(g)(下段)(Toge et al. 2011, Kaga et al. 2013).

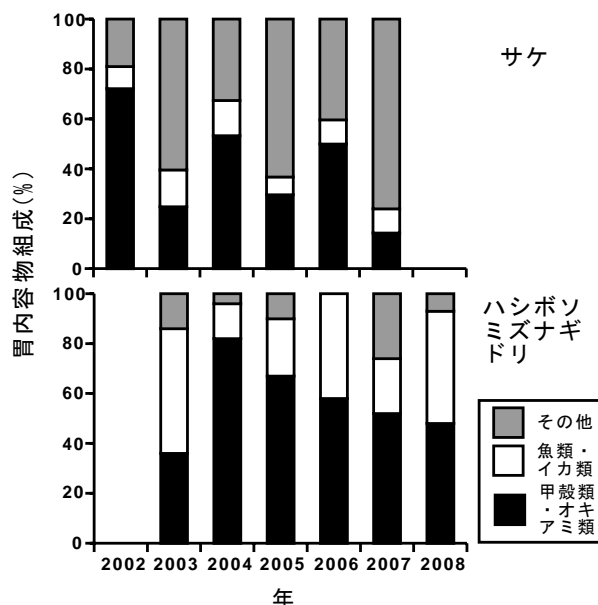


図4. ベーリング海中央部における2002~2008年のサケ(上段)とハシボソミズナギドリ(下段)の胃内容物組成(Toge et al. 2011, Kaga et al. 2013).

多くのプラスチックごみが出てきます(Yamashita et al. 2007, 2011, Tanaka et al. 2013)。プラスチックは容易には分解されないで、長く海に浮いている厄介なごみですが、鳥のおなかの中では少しずつ分解され、その成分が鳥の体内に取り込まれます。実際に、調べた海鳥の体からプラスチック由来の有機化合物が検出されまし

た (Yamashita et al. 2007, 2011, Tanaka et al. 2013). それらは、海鳥の体内でも、分解が遅いのでどんどん蓄積していくことが考えられます。しかし、その毒性について十分に調べられているわけではありません。陸から遠く離れた海で餌をとる海鳥たちにも、私たち人間が作り出した汚染物質が取り込まれているというのは恐ろしいことだと思います。プラスチックごみはリサイクルに回すように努力しましょう。

北海道大学理学部とのサケ成熟生理調査

日本のサケは、数年を海で過ごした後、産卵のために自身が生まれた川に戻ってきます(図1)。では、いつどのようにして帰ろうと決めるのでしょうか?産卵のために帰るのですから、性成熟と関係しているのに違いありません。すでに、鱗から推定した体成長の分析により、産卵する前の年の体成長が性成熟に関係があることが分かっています (Morita and Fukuwaka 2006)。そこで性成熟が始まる機構を調べるには、海で生活しているときに長期間にわたって調べる必要があります。このことから、北海道大学理学部と共同して、サケがまだ海で回遊しているときから川を遡上するまで、サケの成熟生理を調べることにしました。

性成熟の機構は、各種のホルモンにより制御されています。そこで、夏のベーリング海に回遊している成熟していないサケと成熟途中のサケ、冬のアラスカ湾に回遊している成熟していないサケの、性成熟に関係するホルモンの血中の量とその産生の目安として脳の各部位での遺伝子の発現を調べました (Onuma et al. 2009a, b, 2010a, b, c)。その結果、冬季にはその年に成熟するサケでは、性成熟に関係するホルモンのうちもっとも早く産出されるホルモンのひとつである性腺刺激ホルモン放出ホルモンの遺伝子発現レベルが脳内ですでに高まっており、その前に性成熟が始まっていたことが分かりました。おそらく、産卵する一年前の秋ころにその年の夏の体成長に影響を受け、性成熟の引き金が引かれるのではないかと、想像しています。

おわりに

これまで紹介した共同調査のほかにも、海が荒れる冬季に水産庁が持つ2千トン級の調査船開洋丸により日米韓の4か国共同で北太平洋でサケ幼魚の調査を行ったり (Fukuwaka et al. 2007; Sato et al. 2007)、養殖さけから野生さけ・ますへの感染が問題になっているサケジラミの寄生率調査をカナダと共同で行ったり (Beamish et al. 2007)、バイオ・ロギング (生物に環境センサーと記憶装

置を搭載したデータ・ロガーを装着し生息環境や行動などを調べる研究方法)の先進的研究を行っている日本の国立極地研究所とサケがベーリング海から日本まで回遊する速度を計測したり (Tanaka et al. 2005)、と多くの共同調査を実施しました。現在でも、陸地から200海里(約360km)以遠の公海域でさけ・ますを漁獲して調査を行っているのは日本の調査船(北海道区水産研究所所属北光丸と北海道大学水産学部所属おしよろ丸)だけです。貴重なデータを利用し精力的に調査が継続されていることと思います。

共同調査では多くの科学者が貴重なデータ、標本と調査時間を奪い合うこととなります。首席調査員は、調査船出港の何か月も前から調査員間で調査内容や要求を調整し、さらにそれを船のスタッフと調整し、乗船すれば日々の調査活動の調整をしなければなりません。結局、自分の調査活動を犠牲にしなければいけないこともしばしばです。しかし、それらの調査活動が実を結び論文として出版されると、ほっと安心したような、また誇らしげな気分になります。今後も、北海道区水産研究所が多くの研究機関と共同調査を実施し、日本のさけ・ますに関する知見を増やしていくことを期待しています。

最後になりましたが、調査に参加してくださった調査船の乗組員、調査員として乗船して下さった科学者、実習あるいは補助調査員として調査に協力いただいた生徒・学生の皆様に感謝申し上げます。また、さけ・ます調査船調査は水産庁事業として長く継続され、現在も水産庁国際資源評価等推進事業のなかの補助事業として実施されております。この事業を主管されております水産庁漁場資源課国際資源班の歴代の職員の皆様にも感謝申し上げます。

引用文献

- Atcheson, M.E., Myers, K.W., Davis, N.D., and Mantua, N.J. 2012a. Potential trophodynamic and environmental drivers of steelhead (*Oncorhynchus mykiss*) productivity in the North Pacific Ocean. *Fish. Oceanogr.*, 21: 321-335.
- Atcheson, M.E., Myers, K.W., Beauchamp, D.A., and Mantua, N.J. 2012b. Bioenergetic response by steelhead to variation in diet, thermal habitat, and climate in the North Pacific Ocean. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 141: 1081-1096.
- Beamish, R.J., Neville, C.M., Sweeting, R.M., Jones, S.R.M., Ambers, N., Gordon, E.K., Hunter, K.L., and McDonald, T.E. 2007. A proposed life history strategy for the salmon louse, *Lepeophtheirus*

- salmonis* in the subarctic Pacific. *Aquaculture*, 264: 428-440.
- Fukuwaka, M., Sato, S., Takahashi, S., Onuma, T.A., Sakai, O., Tanimata, N., Makino, K., Davis, N.D., Volkov, A.F., Seong, K.B., and Moss, J.H. 2007. Winter distribution of chum salmon related to environmental variables in the North Pacific. *N. Pac. Anadr. Fish. Comm. Tech. Rep.*, 7: 29-30.
- Fukuwaka, M., Azumaya, T., Davis, N.D., and Nagasawa, T. 2008. Bias in size composition of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) caught by a gillnet with a geometric series of mesh sizes, and its correction using gear intercalibration. *ICES J. Mar. Sci.*, 65: 930-936.
- Fukuwaka, M., Davis, N.D., Azumaya, T., and Nagasawa, T. 2009. Bias-corrected size trends in chum salmon in the central Bering Sea and North Pacific Ocean. *N. Pac. Anadr. Fish. Comm. Bull.*, 5: 173-176.
- Fukuwaka, M., Sato, S., Yamamura, O., Sakai, O., Nagasawa, T., Nishimura, A., and Azumaya, T. 2010. Biomass and mortality of chum salmon in the pelagic Bering Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 403: 219-230.
- Kaga, T., Sato, S., Azumaya, T., Davis, N.D., and Fukuwaka, M. 2013. Lipid content of chum salmon *Oncorhynchus keta* affected by pink salmon *O. gorbuscha* abundance in the central Bering Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 478: 211-221.
- Morita, K., and Fukuwaka, M. 2006. Does size matter most? The effect of growth history on probabilistic reaction norm for salmon maturation. *Evolution*, 60: 1516-1521.
- Onuma, T.A., Sato, S., Katsumata, H., Makino, K., Hu, W.W., Jodo, A., Davis, N.D., Dickey, J.T., Ban, M., Ando, H., Fukuwaka, M., Azumaya, T., Swanson, P., and Urano, A. 2009a. Activity of the pituitary-gonadal axis is increased prior to the onset of spawning migration of chum salmon. *J. Exp. Biol.*, 212: 56-70.
- Onuma, T.A., Makino, K., Ban, M., Ando, H., Fukuwaka, M., Azumaya, T., Swanson, P., and Urano, A. 2009b. Elevation of the plasma level of insulin-like growth factor-I with reproductive maturation prior to initiation of spawning migration of chum salmon. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1163: 497-500.
- Onuma, T.A., Makino, K., Katsumata, H., Beckman, B.R., Ban, M., Ando, H., Fukuwaka, M., Azumaya, T., Swanson, P., and Urano, A. 2010a. Changes in the plasma levels of insulin-like growth factor-I from the onset of spawning migration through upstream migration in chum salmon. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 165: 237-243.
- Onuma, T.A., Ban, M., Makino, K., Hu, W.W., Ando, H., Fukuwaka, M., Azumaya, T., and Urano, A. 2010b. Changes in gene expression for GH/PRL/SL family hormones in the pituitaries of homing chum salmon during ocean migration through upstream migration. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 166: 537-548.
- Onuma, T.A., Makino, K., Ando, H., Ban, M., Fukuwaka, M., Azumaya, T., and Urano, A. 2010c. Expression of GnRH genes is elevated in discrete brain loci of chum salmon before initiation of homing behavior and during spawning migration. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 168: 356-368.
- Sato, S., Seeb, L.W., Seeb, J.E., Fukuwaka, M., Takahashi, S., and Urawa, S. 2007. Origins of young chum salmon in the North Pacific Ocean during the winter: rapid estimates by SNP markers. *N. Pac. Anadr. Fish. Comm. Tech. Rep.*, 7: 31-32.
- Tanaka, H., Naito, Y., Davis, N.D., Urawa, S., and Fukuwaka, M. 2005. First record of the at-sea swimming speed of a Pacific salmon during its oceanic migration. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 291: 307-312.
- Tanaka, A., Takada, H., Yamashita, R., Mizukawa, K., Fukuwaka, M., and Watanuki, Y. 2013. Accumulation of plastic-derived chemicals in tissues of seabirds ingesting marine plastics. *Mar. Pollut. Bull.*, 69: 219-222.
- Toge, K., Yamashita, R., Kazama, K., Fukuwaka, M., Yamamura, O., and Watanuki, Y. 2011. The relationship between pink salmon biomass and the body condition of short-tailed shearwaters in the Bering Sea: can fish compete with seabirds? *Proc. R. Soc., B*, 278: 2584-2590.
- 浦和茂彦. 2000. 日本系サケの回遊経路と今後の研究課題. さけ・ます資源管理センターニュース, 5: 3-9.
- Yamashita, R., Takada, H., Murakami, M., Fukuwaka, M., and Watanuki, Y. 2007. Evaluation of noninvasive approach for monitoring PCB pollution of seabirds using preen gland oil. *Env. Sci. Technol.*, 41: 4901-4906.
- Yamashita, R., Takada, H., Fukuwaka, M., and Watanuki, Y. 2011. Physical and chemical effects of ingested plastic debris on short-tailed shearwaters, *Puffinus tenuirostris*, in the North Pacific Ocean. *Mar. Pollut. Bull.*, 62: 2845-2849.

技術情報 健苗放流のすすめ

たかはし ふみひさ あだち ひろやす
高橋 史久・安達 宏泰（北海道区水産研究所 業務支援課）

北海道の秋サケ来遊数の推移

近年、北海道への秋サケ来遊数が減少傾向にあります。これは太平洋側における回帰率の極端な低下によるものです（図 1）。その要因としては、他の地域では顕著な減少が認められていないことから、太平洋側から放流された稚魚が降海してからオホーツク海に達するまでの春から初夏にかけての時期に大きく減耗しているものと考えられます。このため、行政機関、民間増殖団体および試験研究機関が連携して、減耗原因を解明するための調査研究に取り組んでいるところです。

一方、サケ人工ふ化放流事業の実施体制が、平成 10 年代に大きく移り変わっていったことは、関係者の皆さんはよくご存知のとおりです。

ここでは、事業実施体制が変化していく中で見られた事業方法の変化とそのことによる問題点を示し、いくつかの対応策を提案したいと思います。

放流様式の変化

各地域の代表的河川におけるふ化放流事業について、平成 10 年代の前後で何らかの変化がないか調べたところ、太平洋側のある主要な河川において、放流様式が大きく変化していたことが分かりました。

その河川の平成 4（1992）年級群から平成 20（2008）年級群までの時期別放流割合を示しました（図 2）。この図には、平成 4（1992）年級群から平成 12（2000）年級群までの放流期間は 2 月

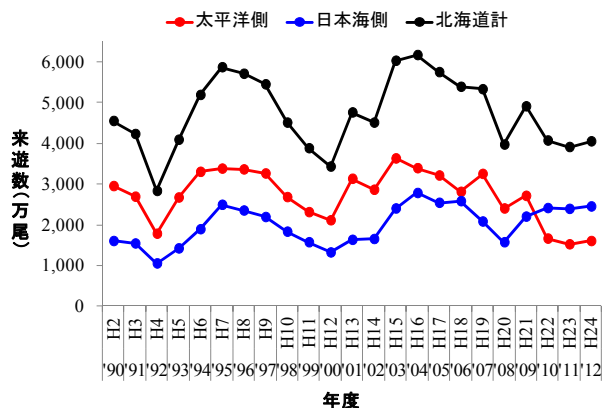


図 1. 北海道の秋サケ来遊数の推移（太平洋：根室～えりも以西海区、日本海側：オホーツクおよび日本海区）。

下旬から 6 月下旬までの 13 旬にわたり、ピークが 4 月と 5 月にあったのに対して、平成 13（2001）年級群以降は 3 月中旬から 6 月上旬までの 9 旬に狭まり、特に 5 月に集中した放流が行われるように変化していった経過が示されています。

このうち、平成 4（1992）年級群から平成 19（2007）年級群までの 16 年級群の平均河川回帰率は 0.37% でしたので（図 3）、河川回帰率が平均

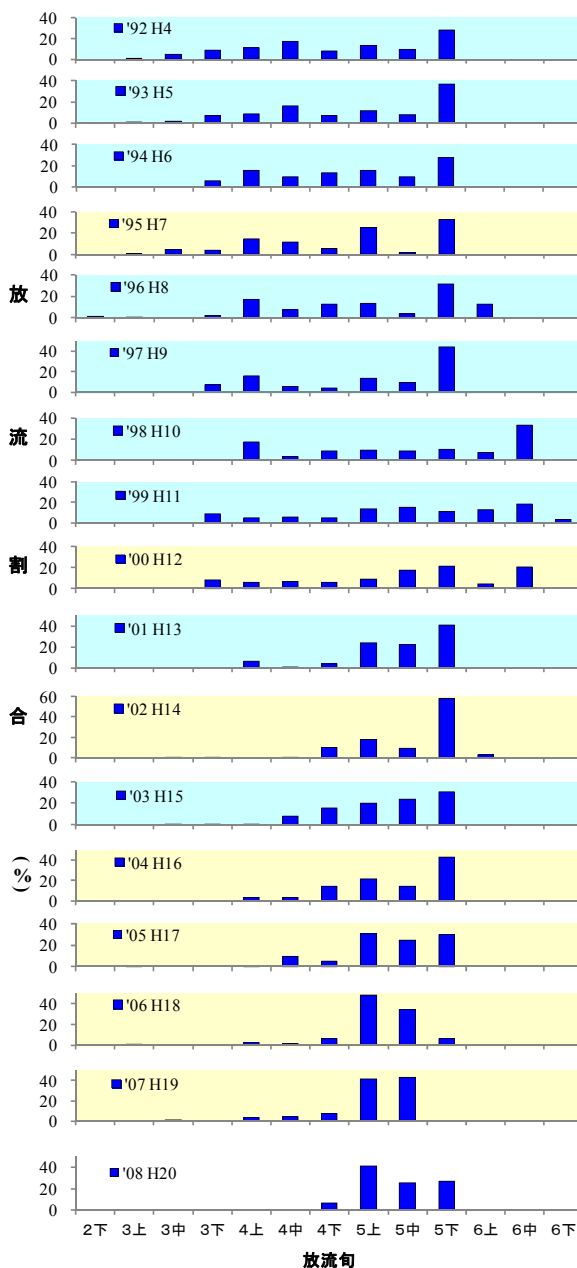


図 2. ある河川における時期別放流割合。

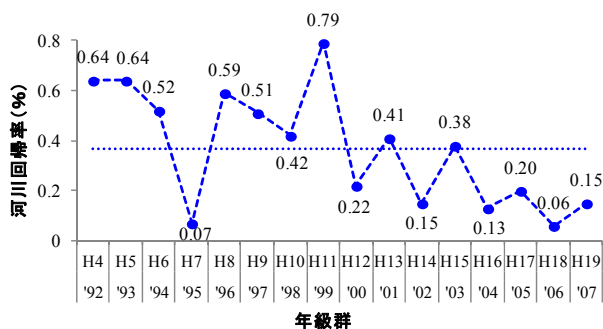


図3. ある河川における年級別河川回帰率(図中の添え字は河川回帰率を表す)。

河川回帰率を上回った年級群のグラフを水色で、下回った年級群のグラフを黄色で示したところ、平成12(2000)年級群以前には水色が、平成13(2001)年級群以後には黄色が目立つ色合いになりました(図2)。

すなわち、放流期間が長く4月と5月の2つのピークがあった年級群には回帰率が高い例が多く、放流期間が短く5月に集中して放流された年級群では回帰率が低い例が多かったということが示された訳です。

このことが偶然の出来事だったのか?あるいは当然の結果だったのか?不漁の原因が明らかにされていない以上、確かなことは言えません。しかし、ふ化放流を行う立場で考えると次のようなことが言えると思います。

まず、稚魚を放流するにあたって、いくら時期やサイズが適切であっても、厳しい自然の中で生き抜く体力が乏しくては高い回帰率など期待できません。健康であることが稚魚に求められる最も重要な条件です。

しかし、殆どのふ化場では、全ての稚魚を放流に適した時期(放流適期)まで飼育し続けるための収容能力(施設能力)が不足しています。そのため、稚魚を健康な状態に保つには、飼育量が施設能力をオーバーする前に調整的な放流等(他所での再飼育を含む)を行わざるを得ないのが現実です。

この河川においても、平成12(2000)年級群までは、飼育量が施設能力を超える前に適宜放流されていたため、結果として放流期間が長かったことが関係者の間で言い伝えられています。

これに対して平成13(2001)年級群以降の放流は、おそらく「適期放流」を目指してこの地域の放流適期と想定される時期に集中して行われるようになったものと思われます。

しかし、この河川で飼育用水が増量されたのは、この頃より後のことなので、少なくともそれまでは施設能力を超えた飼育が行われていた可能性が大きく、稚魚の健康を保つことは困難だったので

はないかと思われます。

低い回帰率を招く要因としては幾つかのことが挙げられると思いますが、稚魚の健康状態も重要な要素の一つでしょう。

もう一つ、放流にあたって留意すべきこととして、稚魚と外部環境との適合が挙げられます。例えば、外部環境の状態を推し量る際の代表的指標とされる沿岸水温は、年によって春季の立ち上がり方が異なります(図4)。

ある群が放流された時、沿岸水温が良好であれば多くの稚魚が生き残り、高い回帰率を期待することができますが、逆に好ましくない状態にあった場合は減耗してしまう恐れがあります。

放流のピークが複数あれば、いずれかの群が外部環境に適合できる可能性が生じます。放流数が分散するので、大当たりを期待するべきではありませんが、全滅の恐れも小さくなり、いわゆるリスク分散効果が期待できます。

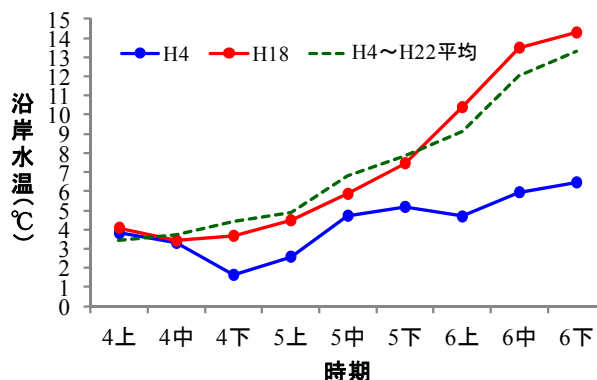


図4. ある地域の沿岸水温の立ち上がり。

放流方法を考える

これまで述べてきたようにふ化放流事業で最も大切なことは「健苗育成」です。全ての稚魚を放流に適した時期(放流適期)まで健康な状態で飼育し続けることができるふ化場など殆どないのが現実です。

では、どのような放流を行えば良いのでしょうか?

① 施設能力に見合った無理のない放流

例として、放流適期:5月上旬~5月下旬、放流数:1,000万尾、施設能力:5,000kg(飼育量)というふ化場における放流方法を考えてみましょう。

まず、地域の漁業資源造成において重要と考える時期別資源を定めます。これは、限りある施設能力をどの時期の資源を造成することに重点を置いて配分するかを決めなければならないからです。

ここでは、10月上旬、10月下旬、11月中旬に確保された種卵によって造成される資源を重要群、それ以外の資源を通常群と置いて考えてみます(図5)。

次に、このふ化場では飼育量 5,000 kg が能力の限界です。定期的な魚体測定や日頃の水量・水質測定を怠らず、稚魚の成長に伴って増加する飼育量が 5,000 kg を超えないよう注意深く飼育管理をしなければなりません。

仮に、1尾の稚魚も放流しない場合、飼育量は図6に示すように増加する一方ですので、4月上旬には施設能力を超えてしまいます。そのような状態で飼育し続けると魚病や酸素欠乏症等が常に発生し、健苗育成など到底できるものではありません。

そのようなことを避けるため、いわゆる調整放流が必要なのですが、特定の時期別資源が落ち込むことを避けるため、以下のような放流方法を提案します。

○重要群は適期・適サイズで放流する。放流適期は年によって変動するので、想定される適期(北海道においては、放流河川地先の沿岸水温 5~10℃の時期)の真ん中あたりを放流のピークとす

ることが望ましい。

○通常群は施設能力を超える前に適宜放流する。この際、特定の時期別資源が落ち込まないよう各群の放流時期を分散させる。

この考え方に従って放流数を割り振った例を図7に示しました。具体的には、

○重要群である 10月上旬、10月下旬及び11月中旬採卵群は、放流適期とする5月上旬から5月下旬までの間、特に5月中旬がピークとなるように放流する。このことによって高い回帰率を期待する。

○通常群は残された施設能力をオーバーしないよう適宜放流しつつ飼育する。各群の放流時期には幅を持たせ、特定の群が大量に減耗することの回避を図る。

この場合、飼育量は最大となる一時期に施設能力の上限に達しますが、それ以外の時期は健苗を育成することができる条件を余裕を持ってクリアしています(図8)。

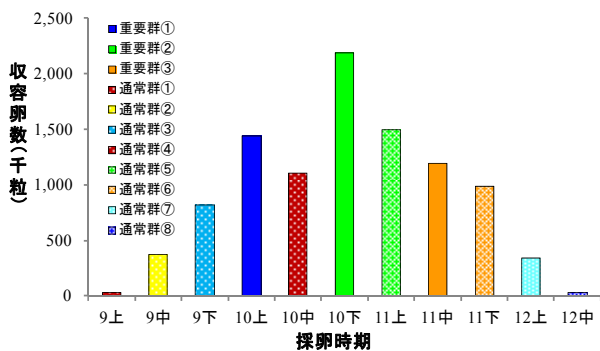


図5. 地域重要群の設定例.

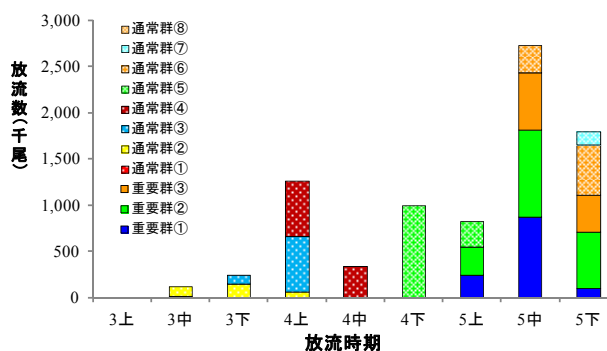


図7. 各群の放流時期を分散させた調整放流の例.

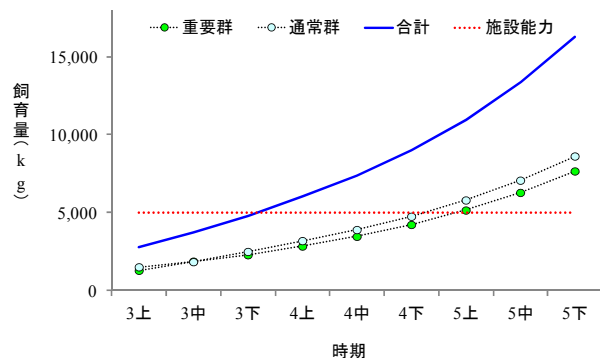


図6. 飼育量の推移(調整放流しない場合).

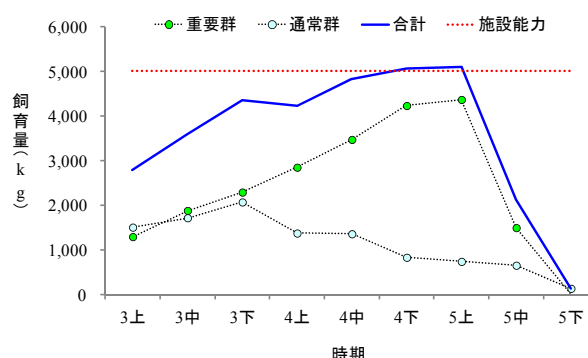


図8. 飼育量の推移(調整放流する場合).

このような放流は、種卵をふ化室から養魚池やふ上槽に收容するまでは通常と同じ手順ですが、放流については、その順番や頻度、そのための飼育池の回し方など、複雑で手間のかかる作業になります。しかし、重要群に高い回帰率を期待するには、健康な稚魚を適期・適サイズで放流すべきであること、また、調整放流される通常群についても、極端な減耗を避けて良好な回帰率を期待するためには、それなりの工夫が必要であることは理解されるのではないかと思います。

なお、これら調整放流される稚魚の減耗を抑制するための方策としては、放流河川上流域や他の支流への分散放流や海中飼育放流などが考えられます。ただし、そのことが逆効果にならないよう、それぞれの地域や河川の特徴を十分に把握した上で適した方法を選択することが肝心です。

② 水温調整による放流時期・サイズの適正化

①では現有の施設能力での放流方法を提案しました。このような方策が必要となる背景には、人工ふ化放流事業に用いられる水の大きな割合を地下水が占めていることがあります。地下水の水温は自然産卵環境よりも全般的に高く、ふ化や浮上の時期を本来の時期よりも早めてしまうので給餌飼育の期間が長くなってしまいます。このため、飼育量が施設能力を超えてしまいやすくなるのです。

高水温による影響を緩和するため、ふ化用水の水温を変化させて卵・仔稚魚の発生速度を調整する方法があり、既にいくつかのふ化場でそのための機械設備が導入されています。

例として、用水の水温が 10℃であるふ化場において、何も操作しない場合と冷却する場合の給餌開始時期の違いを示しました（表 1）。

9月上旬採卵（受精）群では、通常の状態では12月下旬からの飼育開始になりますが、4℃冷却すると3月上旬まで給餌開始を遅らせることができますし、同様に11月上旬採卵群では給餌開始を2月下旬から5月上旬まで遅らせることができます。

逆に、遅い群の発生を早めたい場合などは、例

表 1. 採卵時期別の給餌開始時期の水温による違い。

採卵時期	9上	9中	9下	10上	10中	10下	11上	11中	11下	12上
水温	給 餌 開 始 時 期									
6℃	3上	3中	3下	4上	4中	4下	5上	5中	5下	6上
7℃	2上	2中	2下	3上	3中	3下	4上	4中	4下	5上
8℃	1中	1下	2上	2中	2下	3上	3中	3下	4上	4中
9℃	1上	1中	1下	2上	2中	2下	3上	3中	3下	4上
10℃	12下	1上	1中	1下	2上	2中	2下	3上	3中	3下
11℃	12中	12下	1上	1中	1下	2上	2中	2下	3上	3中
12℃	12上	12中	12下	1上	1中	1下	2上	2中	2下	3上

えば 2℃加温した場合の給餌開始時期は、9月上旬採卵群では12月上旬に、11月上旬採卵群では2月上旬に早めることが可能です。

初期投資や運転資金など経費はかかりますが、適期・適サイズ放流を実現するための方策として他に選択肢がない場合に導入を検討する価値はあると思われます。

③ 收容換えによる放流時期・サイズの適正化

②では機械を使って用水の水温を変化させることによって卵・稚仔魚の発生速度をコントロールする、いわばハードによる方法を紹介しましたが、条件さえ揃えば、より安価に同じような効果が得られる方法があります。

それは、受精直後卵を運搬することが可能な範囲内に用水温が異なる複数のふ化場がある場合、それぞれの受精直後卵を入れ替え、発生速度を調整する方法で、かつてはしばしば行われていた方法です。

端的な例を挙げると、放流適期が遅い地域にある水温が高いふ化場と放流適期が早く水温が低いふ化場がある場合、それぞれの地域で確保された種卵をそのまま收容すると、前者では放流適期までの飼育が厳しいものになりますし、後者では放流適期までに稚魚を成長させることが困難です。

しかし、受精直後卵を入れ替えさえすれば、元の地域での適期・適サイズ放流が行いやすくなります（図 9）。

最近のふ化放流事業は、それぞれの地区の中で完結することが多いようなので、あまり行われていないかも知れませんが、このような方法で互いにメリットを得ることもできると思いますので、地区間で相談してみてもは如何でしょうか？

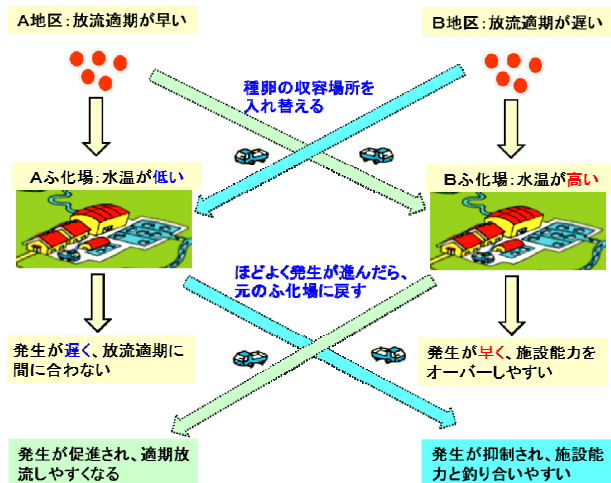


図 9. 水温の違いを利用した発生調整。

おわりに

我が国のさけ・ます人工ふ化放流事業の歴史は、あと数年で 130 年を迎えようとしています。来遊数はこの半世紀ほどで急速に増加したものであり、4 年魚を主体とするサケにとっては、ほんの 10～15 世代ほどの間の出来事です。

一方、人間にとってこの半世紀は、特に昭和 40 年代から昭和 50 年代にかけて、基礎的な調査研究、実践を通じてのふ化放流技術の高度化、事業の実施体制や施設整備など、さけ・ます人工ふ化放流が事業として成立するための様々な課題に対して、官民・産学が一体となって取り組んだ時代でした。

秋サケ産業がここまで大きく発展することができた要因の一つとして、問題が生じた場合、事業規模であるために精密な科学的手法による調査試験が困難な場合が多いふ化放流の現場において、事業を実践する中で試行錯誤を重ね、経験的に解決策を見出してきた先人達の知恵と努力が挙げら

れると思います。それらの中には合理的とは言えないものもあったかも知れませんが、「科学的ではないから」という理由でただ手を拱いているよりも、少なくとも新たな情報を得ようとしたという点で前向きだったと言えるのではないのでしょうか。

近年の不漁は後に続いた私たちに「ふ化放流事業をもう一度初心に帰って考えなさい」と言っているのではないかと思います。

それぞれのふ化場や地域におけるふ化放流の方法やその結果である来遊状況を整理・分析した上で、改めて実施体制や施設能力を考慮したふ化放流事業を考える必要があるのではないのでしょうか？

北海道区水産研究所としても技術普及の一環としてお手伝いしていきたいと考えていますので、ご要望等ありましたら、お近くの北海道区水産研究所さけます事業所へご相談下さい。

技術情報

食酢塩水処理がサケ稚魚の嗅覚に与える影響

たかはし さとる

高橋 悟 (北海道区水産研究所 徳志別さけます事業所)



はじめに

サケ稚魚を飼育する中で、イクチオボド、トリコジナ、キロドネラといった原虫が寄生する場合があります。こういった原虫が寄生すると、ひどい場合には餌食いが悪くなったり、細菌性鰓病を併発したり、海水適応能が低下し大量減耗を引き起こしたりしてしまいます。原虫の駆除にはこれまでホルマリンが有効とされてきましたが、2003年の薬事法改正後は使用が禁止され、その後は塩水やそれに食酢を混ぜたものにサケ稚魚を浸漬（以下、食酢塩水処理）することにより駆除するようになってきました。こういった駆除方法は、技術者・研究者が試行錯誤をくり返し、駆除効果が高く、なおかつ処理によるサケ稚魚の減耗が少ないものとして用いられ始めたものです。その一方で、食酢塩水処理はいわば酸による処理であることから、サケ稚魚が母川記銘する際に重要となる嗅覚への影響が懸念されました。

そこで、今回の実験では食酢塩水処理後のサケ稚魚に匂い刺激を与えたとき、処理前と同様の反応（匂い応答）が得られるか比較することにより、本処理がサケ稚魚の嗅覚に与える影響を調べることができました。

匂い刺激に対する嗅覚受容器の反応

サケ稚魚は、我々人間と同じように鼻腔内にあ

る嗅覚器により匂いを感じ取っています。匂いを感じ取ると、鼻腔内の嗅上皮表面で陰性電位が生じます。この現象を Electro-olfagram (EOG) といひ、EOG の振幅は匂いの強さに対数比例します（図 1）。今回の実験では、サケ稚魚に対して食酢塩水処理を行った前後で EOG を測定することにより影響を調べました。食酢塩水処理は、サケ稚魚の鼻腔内に 1.5% 食塩水を 45 分、次に 1.5% 食塩水と 1.0% 食酢の混合液を 15 分、流速 2 ml/分 で流すことにより行いました。これは北水研の飼育事業で行っている処理の中でも濃い食酢濃度です。通常の飼育事業では体表などに寄生している原虫を落とすための処理なのでサケ稚魚を処理液中で遊泳させますが、今回は嗅覚への影響のみを調べることを目的としていましたので処理液を鼻腔内に流す方法をとっています。

実験は以下のように行いました。まず、食酢塩水処理を施す前に匂い刺激としてアミノ酸を流して EOG を測定し、その後食酢塩水処理を行って一定時間毎にアミノ酸による刺激を与えて EOG を測定しました。図 2 は匂い刺激にアミノ酸の一種である L-セリンを用いた一例です。処理直後の EOG の電位変化が処理前と比較して大きく減少しています。このような反応はその他の個体においても同様な測定結果が得られています。しかし、処理後 3 分、6 分における EOG は処理前とほぼ同じ波形を示していることから回復しているものと判断され、嗅覚への本処理の影響は一時的なも

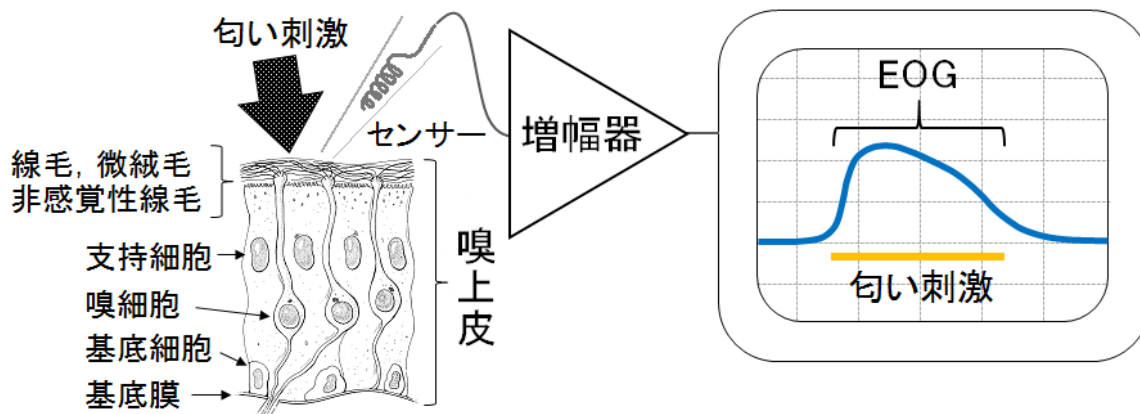


図 1. 嗅上皮の構造と EOG の測定概略図。EOG は、匂い刺激に対する嗅細胞の受容器電位を表す。匂い刺激に対して嗅覚器がどの程度の強度で興奮しているのか測定することができる。

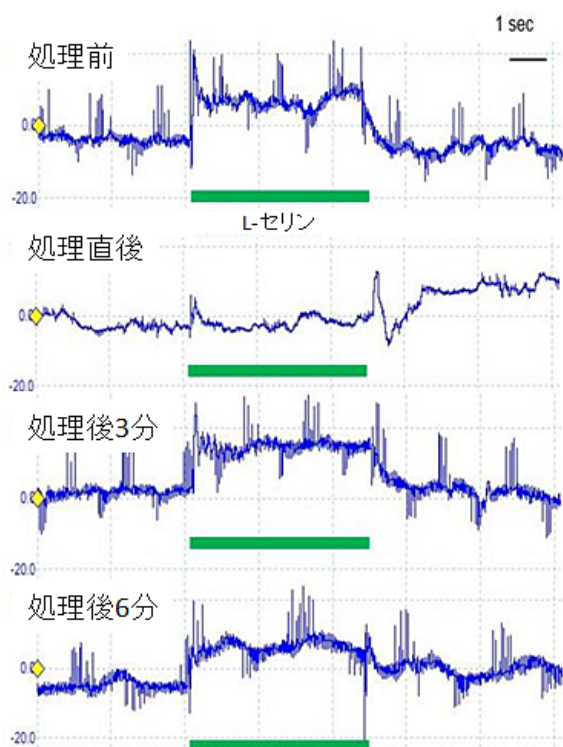


図 2. 匂い刺激にアミノ酸の一種である L-セリンを用いたときの EOG 測定結果の一例。緑色のバーは、L-セリンを流した時の反応を示す。

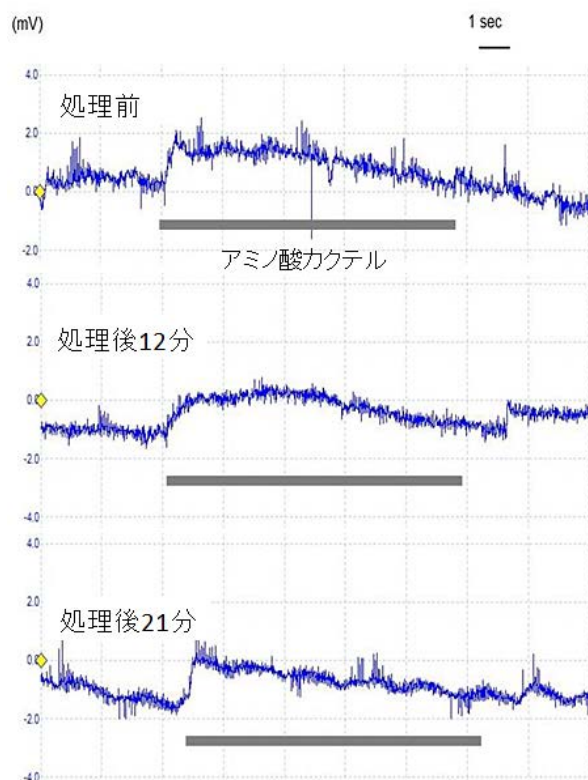


図 3. 匂い刺激にアミノ酸カクテル (L-セリン, L-リジン, L-グルタミン酸ナトリウム, L-メチオニン) を用いたときの EOG 測定結果の一例。灰色のバーは、アミノ酸カクテルを流した時の反応を示す。

のであり、回復可能であると考えられました。

また、複合的な匂い刺激に対する応答への影響も調べるため、アミノ酸カクテル (L-セリン, L-リジン, L-グルタミン酸ナトリウム, L-メチオニン) を用いた測定を行ったところ、図 3 のように EOG は処理後 20 分程度でほぼ完全に回復していました。

このような測定結果から、食酢塩水処理はサケ稚魚の嗅覚を一時的に低下させるものの、処理後 1 時間以内で回復する傾向が見受けられました。なお、この測定では EOG による電気的な反応を確認しましたが、嗅覚行動の観察による評価も不可欠であると考えられたことから行動観察も行いました。

匂い刺激に対する行動的反応

匂い刺激に対する行動実験は浮上魚 (BW 0.5g) および飼育魚 (BW 1.2g) をそれぞれ 10 尾ずつ用いて、食酢塩水処理を行う前後における匂い刺激 (L-グルタミン酸ナトリウム) に対する行動変化を動画解析により調べました (図 4)。最初に匂い物質を予め学習させた供試魚を試験水槽に 1 尾入れて静置させ、静常時の行動を 1 分間記録し、

さらに匂い物質を上流部から流した後の行動を 4 分間記録しました。次に、1.5% 食塩水に 45 分、さらに 1.5% 食塩水と 1.0% 食酢の混合液に 15 分浸漬させ、同様に匂い物質に対する行動を観察しました。食酢塩水処理直後において処理前より匂いに対する反応が低下した場合には 2 時間後に同様の行動観察を行い、回復状況を確認しました。

その結果、浮上魚では 10 尾中 6 尾、飼育魚では 10 尾中 2 尾が処理直後に匂い刺激に対する反応が低下しました。反応が低下した個体について処理 2 時間後に同様の観察を行うと、浮上魚は 6 尾中 3 尾、飼育魚では 2 尾中 2 尾が処理前と同等の反応を示しました。

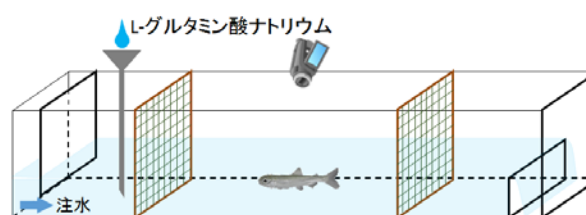


図 4. 匂い刺激 (L-グルタミン酸ナトリウム) に対する反応行動の観察方法。

このように、処理後に反応が低下する個体もみられたことから、食酢塩水処理の影響が全く無いわけではありませんが、処理後2時間には概ね全ての個体が回復しているため、EOGの測定結果と同様に嗅覚への影響は一時的であることが考えられました。また、観察結果を魚の大きさと比較したところ、魚体が大きいほど食酢塩水処理の影響を受けにくく、回復が早いことも分かりました。

組織観察（サクラマス幼魚より）

食酢塩水による嗅覚への影響を組織学的にも調べてみました。組織学的観察にはより細かい観察が可能となるよう蛍光色素も同時に使用しました。蛍光色素としてFM1-43FX（Molecular Probes社）を用いましたが、この色素は嗅覚受容の応答強度に比例して嗅細胞に取り込まれることが分かっています。すなわち、蛍光強度によって嗅覚応答の大きさを定量出来るわけです。ここでは、濃度や鼻腔内へ流しこむ流速を変えた場合の影響も確認しました。

供試魚には組織検査が明瞭であるサクラマス幼魚を用い、まず、1.5%食塩水を45分、次に1.5%食塩水と1.0%食酢の混合液を15分、鼻腔内に20ml/分（自由遊泳状態と比べると大きい値）で流して処理1とし、処理1の2倍濃度の処理液を同様に流したものを処理2、処理1と同様の処理液に浸漬処理したものを処理3としました。

その結果、嗅板断面の蛍光染色による観察から処理2>処理1の順に損傷が大きく、処理3は比較的損傷が少ないことが分かりました（図5）。

また、処理1と処理3について嗅上皮表面を走査型電子顕微鏡によって観察したところ、浸漬処理の処理3は線毛型嗅細胞、微絨毛型嗅細胞および支持細胞の非感覚性線毛がほぼ正常な状態で観察されたのに対し、処理1では粘膜表面が損傷を受け、嗅細胞が配列する層が剥がれて基底膜が露出している部分が多く見られました（図6）。

これらのことから、処理1程度の濃度でも鼻腔内を一定の速度で流れるとかなり損傷を受けることが分かりました。また、食酢塩水の濃度が同一でも鼻腔内を一定の流量で流れた場合の方が、浸漬したときよりも嗅上皮細胞を損傷することが分かりました。このことは、鼻腔内へ大量に処理液が流入するような条件下では嗅覚に対する影響が大きくなることを示しています。すなわち同一の濃度による食酢塩水浴を行った場合でも水槽内で活発に遊泳した場合は損傷が大きくなることを示唆します。したがって、食酢塩水処理中は遊泳活性を下げるよう注意が必要だと思われます。ただし、濃度の面については、処理3は前述しているように飼育事業で用いられている処理の中でも比

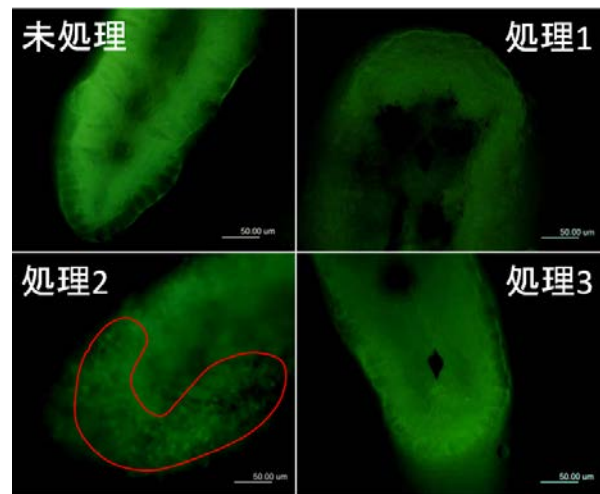


図5. 蛍光染色した嗅板の断面。写真左上は未処理、右上は処理1、左下は処理2、右下は処理3。処理2の赤丸は、粘膜の損傷により組織の乱れが生じていると思われる部分。

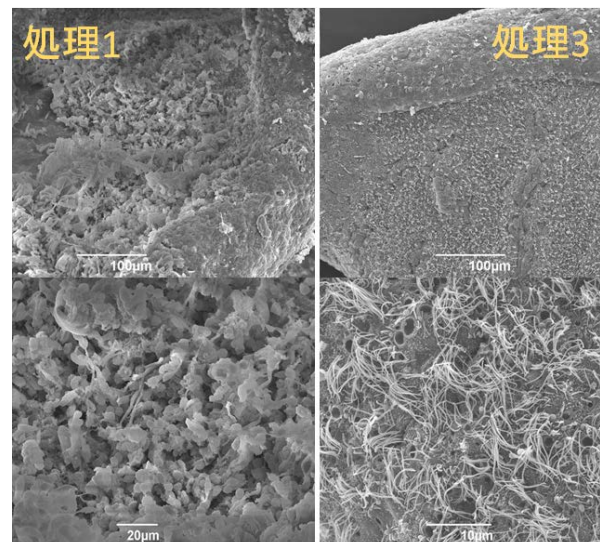


図6. 走査型電子顕微鏡による嗅上皮表面の様子。写真左は処理1、右は処理3で、上段は広域写真、下段は拡大写真。処理3の拡大写真では線毛などが正常な状態で写し出されているが、処理1の拡大写真では剥がれ落ちて基底膜が露出している。嗅上皮の構造は図1を参照。

較的濃い方ですので、これよりも濃く実施するケースは稀かもしれません。

まとめ

嗅覚受容器の反応状況と行動観察から、食酢塩水処理がサケ稚魚の嗅覚に与える影響は一時的なものであると考えられました。ただし、浮上魚に対する食酢塩水処理は、嗅覚が回復するのに時間がかかる可能性があるため、放流するまでの期間

に留意する必要があるようですが、処理後の即日放流を行わない限りは母川記銘への影響は小さいものと思われます。また、組織観察により、食酢塩水の濃度や、鼻腔内に流れ込む流速により嗅上皮へのダメージが異なることから、これらに留意することで影響をより小さく留められると考えられました。鼻腔内に流れ込む流速について注意する点としては、食酢や塩を溶かすための攪拌作業をサケ稚魚が入った状態で必要以上に継続しない、もしくは継続的な攪拌作業が必要な場合には強さに注意するといった点が該当すると思われます。

おわりに

近年、食酢によるサケ稚魚の嗅覚への影響を心配する声を耳にすることが多々ありました。もし、食酢を使用したいけれど嗅覚への影響が心配だと

いうときには、本実験の結果を参考にさせていただければ幸いです。また、種々の原虫病対策については前号（SALMON 情報 No.7）24～28 ページの「さけますふ化場で問題となる疾病の実態と対策」でも取り上げられておりますので、それも参考にさせていただければと思います。サケ稚魚を健苗育成するための課題の一つとして、原虫病対策は喫緊の問題ではないかと思えます。今後も北水研では原虫病対策にも取り組んでいきたいと思っております。

本実験結果は、東海大学海洋学部海洋生物学科の庄司隆行教授と実施した共同研究の成果によるものです。実験に際して、格別なご助言、ご指導を賜りました庄司隆行教授、嗅覚受容器の反応および組織観察に携わっていただいた同学科の林大地氏、立道和之氏には厚く御礼申し上げます。

技術情報

アラスカ州における最先端システムを活用した耳石温度標識調査

いいた まさや
飯田 真也 (日本海区水産研究所 資源管理部)

おかもと やすたか
岡本 康孝 (北海道区水産研究所 天塩さけます事業所)

はじめに

魚類の生態や資源量を把握するため、標識を付けた個体を野外へ放流し、それを再捕することによる調査が実施されています。サケに施す標識としては、長年、稚魚の鰭を切除する「鰭切標識」が行われてきました(坂野 1960; 関・清水 1996)。しかし、鰭切標識は、手作業で行われるため大量に標識するのが困難である上、施標できるパターンも極端に少なく(浦和 2001)、さらには、施標した稚魚の生残に影響を与える可能性も指摘されています(Mears and Hatch 1976)。

1990 年代初頭、北米において、サケ属魚類の耳石の成長を水温操作によって人為的にコントロールし、識別可能なマークを付ける「耳石温度標識(以下、温度標識)」が開発されました(Volk et al. 1999)。温度標識は、大量の卵がふ化槽で集約的に管理される卵期に施されることから、労力をほとんど必要とせず、数百万単位の標識魚を生産することが可能です。また、任意に設定した水温変動パターンに応じたマークを付けることができることから、バリエーション豊かで自由度の高い標識であると言え、しかも、温度標識は稚魚の生残に影響を与えないと考えられているため(Volk et al. 1999; 浦和 2001)、現在、日本から放流するサケに施されている温度標識は 46 パターンに及んでいます(Okamoto et al. 2012)。

ただし、この温度標識に関しても、いくつかの課題が存在しています。例えば、自然界における水温変動によって温度標識に類似したリングが生じることがあるため、標識の判別精度が 100%ではないことが報告されています(Volk et al. 1999)。しかし、日本では、それらを区別する明確な基準が定められていません。また、標識を査定するために顕微鏡で観察するには、魚体から耳石を取り出して、研磨しなければならないなど、複数の緻密なステップを経る必要があり、判別の精度を向上させるとともに、作業の効率化を図ることが望ましいと考えられています。

米国アラスカ州は、温度標識を先進的に活用し、さけます類の漁業管理や調査研究を実施していることで有名です。著者らは、2012 年 9 月 3~16 日にアラスカ州漁業狩猟局の耳石研究室(Alaska Department of Fish and Games, 以下: ADFG, 図 1)を訪れ、温度標識の技術とそれによる漁業管理の



図 1. アラスカ州漁業狩猟局の位置と外観。

仕組みに関する研修を受けました。ADFG が温度標識を用いて行う調査は、感嘆するほど洗練された体系で実施されています。本稿では、その温度標識査定工程を中心に研修概要を報告します。

アラスカにおける温度標識の利活用

米国アラスカ州において、さけます漁業は主要な産業の一つです。さけます類の年間放流尾数は約 15.6 億尾に及び(NPAFC Statistical Yearbook, <http://www.npafc.org/>)、その 85%にあたる 13.3 億尾に温度標識が施されています(Oxman and Josephson 2011)。同州では、野生サケ資源を持続的に維持することを基軸とした漁業管理が実施されており(Hagen et al. 1995)、野生魚の資源量が少ない場合、アラスカ州公安局により漁獲規制が行われます。このため、漁獲物の系群識別を早急に行う必要があり、そのツールとして温度標識が利用されています。同州における温度標識調査には、正確性はもちろん、なにより即時性が求められるという背景が、ADFG の温度標識査定体系の利便性を向上させたと考えられます。日本における温度標識は、現在のところ、それほど即時性が重要視されない調査研究での利活用に留まっていますが、同州の仕組みを導入することによって、用途が広がるのが期待されます。

独自に開発するソフトウェア

ADFGによる温度標識の調査体系を最も特徴づけるのは、専属のシステムエンジニアが開発するソフトウェアです。温度標識を査定する際の手順は、1) 魚から耳石を採取して標本を作製、2) 標本の標識パターンを顕微鏡で観察し、該当すると思われる基準標本と照合して確認し、3) 査定結果を記録することです。ADFGでは上記のソフトウェアを活用することで、1)～3)の作業を迅速かつ確実に処理します。ソフトウェアは、常駐するシステムエンジニアと査定者が日々議論を重ねることで改良され、以下に記述するように、優れた機能を数多く有しています。

1) 耳石採取～標本作製

サンプリング現場では、調査対象となる魚体の頭部に個体識別用のバーコードタグを付し、魚体測定データをバーコードタグ情報とともにデジタルデバイスへ入力します(図2 a)。頭部から耳石を採取する際は、バーコードタグをデジタルデバイスへ認識させつつ行います(図2 b)・c)。この手順により、デジタルデバイスの情報が無線でソフトウェアへ送られ、魚種や採集日・場所などのID情報を含む標本識別用のバーコードシールが自動的に作成されます(図2 d)。

2) 温度標識の査定

1)で作成した標本の耳石を、微細に研磨しながら顕微鏡で観察します。この手順は日本とはほぼ同様です(高橋 2006)、本稿では割愛します。

3) 査定結果の記録

全ての操作はタッチパネルで行います。まず、バーコードリーダーに標本のバーコードシールを読み込ませます(図3 a)。すると、パネル上に魚種・採集場所・日時などのサンプルIDが表示されます。標本が無標識の場合、アイコン【Not Marked】をタッチして査定を完了させます。標識魚の場合は、アイコン【Marked or More Date】をタッチします(図3 b)。

次に、査定結果を①Hatch Code、②Mark ID(ふ化場名)、③淡水・海水年齢の順に入力します。①の候補は、魚種によって限定されたものだけが表示されます。また、②の入力候補も、①の入力結果によって限定され、誤入力の確率を低めます(図3 c)。該当する基準標本を確認する場合は、アイコン【View Image】をタッチします(図3 d)。すると、核から第1バンドまでの距離やバンド幅など、査定の基準となる情報を含む画像が瞬時に表示され、査定精度の向上に寄与します(図3 e)。



図2. 魚体測定から耳石採取までの作業工程。a) デジタルデバイスへの魚体測定データ入力とバーコードタグの装着。b) バーコードリーダーによるバーコードタグ情報の読み取り。c) 魚体頭部からの耳石摘出。d) 標本を識別するバーコードシール。

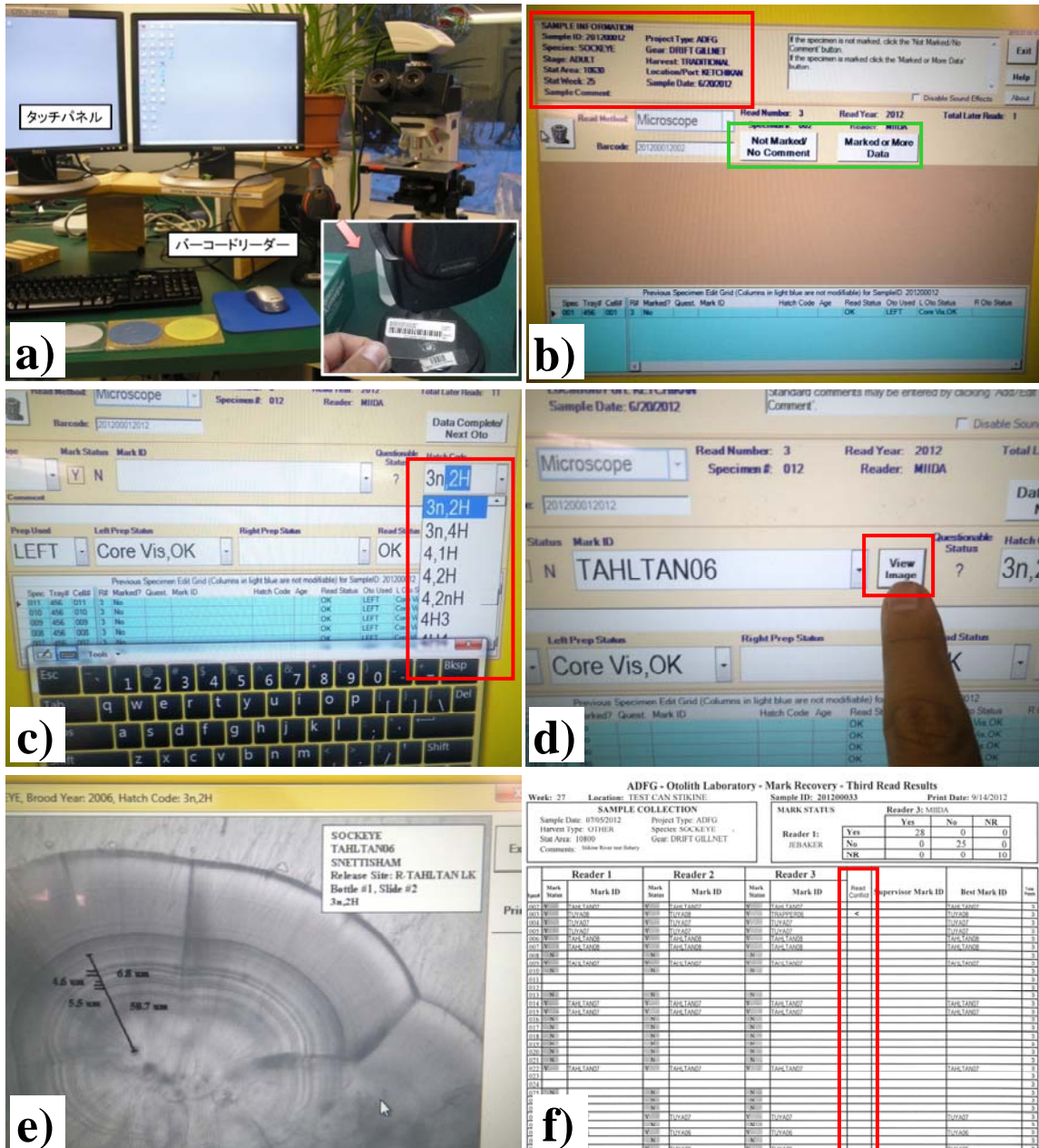


図3. 査定結果をデータベースに入力する作業工程。 a) 査定用機器一式とバーコードシールの読み取り (白枠)。 b) タッチパネルに表示されるID (赤枠)と標識・無標識を入力するアイコン (緑枠)。 c) Hatch Codeを入力するアイコン。 d) 基準標本画像を表示させるアイコン。 e) 基準標本画像。焦点から第一バンドまでの距離やバンド間隔など、マークを特定するために必要な情報も表示される。 f) データベースより出力される査定結果の一覧。事前の査定結果と合わない個体 (Read conflict) にはチェックが入る (赤枠)。

情報公開の即時性

3) による査定結果は、データベースとして管理されます (図3f)。これにより、漁獲物に占める標識魚の割合など、漁業者の関心が高い情報は、入力が完了した段階で自動的にホームページへ公開されます (<http://tagotoweb.adfg.state.ak.us/OTO/reports/MarkSummary.aspx>)。前述のとおり、アラスカ州におけるサケ・マス漁は、野生魚の資源量によって漁獲規制が実施されますので、野生サケ

資源量の指標となる温度標識調査の注目度は高く、そのニーズに沿った情報公開が実施されています。

ノイズと温度標識の見分け方

自然界における偶発的な要因で生じた野生魚のリング (以下、ノイズと記す) は、ときに温度標識に酷似し、その区別は非常に困難です (高橋2006)。日本では、それらを識別する基準が曖昧であり、各自の基準に頼って仕分けされているの

が現状です。今回、ADFG の査定者と議論し、その識別に関する以下の共通認識を得ました。

【ノイズの判断基準】

- ①温度標識に似たリングの配列であっても、その濃淡が通常の日周輪と同程度であった場合。
- ②バンドを構成する各リングの間隔が、一部分であっても等間隔でない場合。
- ③ノイズは各バンドの幅が温度標識より広いことが多く、基準標本のバンド幅と比較して大きく異なった場合。

図 4 a) および図 5 は、著者がそれぞれ Hatch Code : 1,4H および 2,4H の温度標識と判断したものの、ADFG ではノイズと識別されたものです。前者は、第 2 バンド幅が広すぎること(基準③)、第 2 バンドの第 3 リングと第 4 リングの間隔が他のリングの間隔と異なっていること(基準②)の 2 点によりノイズと識別されます。後者の理由は、第 2 バンドのリング間隔が不均一なこと(基準②)です。

上記の基準があるものの、ADFG の査定者間でも、ノイズに関する見解の相違が生じることがあるそうです。また、魚種によってノイズの出現頻度に違いがあり、ADFG が扱う魚種の中では、ベニザケが最も低く、反面、サケやカラフトマスは高いとの見解が示されました。通常、各サンプルは複数の担当者によって査定されますが、ノイズによる誤査定の確率が低いベニザケに関しては、一次査定のみで完結することもあるとのこと。

査定能力の評価

温度標識を査定する際は、リングの数やその太さ・間隔などから特定のパターンを識別しますが、この作業にはかなりの熟練度を必要とします(高橋 2006)。したがって、各自の経験値により、査定基準にバラツキが生じることが予想されます。

ADFG では、各自の査定能力を定期的に評価するシステムが構築されており、その手法として、主にカップパ係数 (Kappa coefficient) が採用されています (Hagen et al. 1995)。カップパ係数とは、査定者 A と B の査定結果がどれだけ一致するかを表す指標です。0~1 の範囲をとり、1 に近いほど両人の査定結果の関係が強いことを示します。カップパ係数は標識パターン別に解析されることから、査定結果の一致性のみならず、誤査定しやすいパターンを認識することも可能です。

著者は、ADFG によって確認済みのベニザケの耳石標本 500 個体を査定し、著者と ADFG による査定結果の一致性をカップパ係数によって評価していただきました (図 6)。なお、分析に必要と

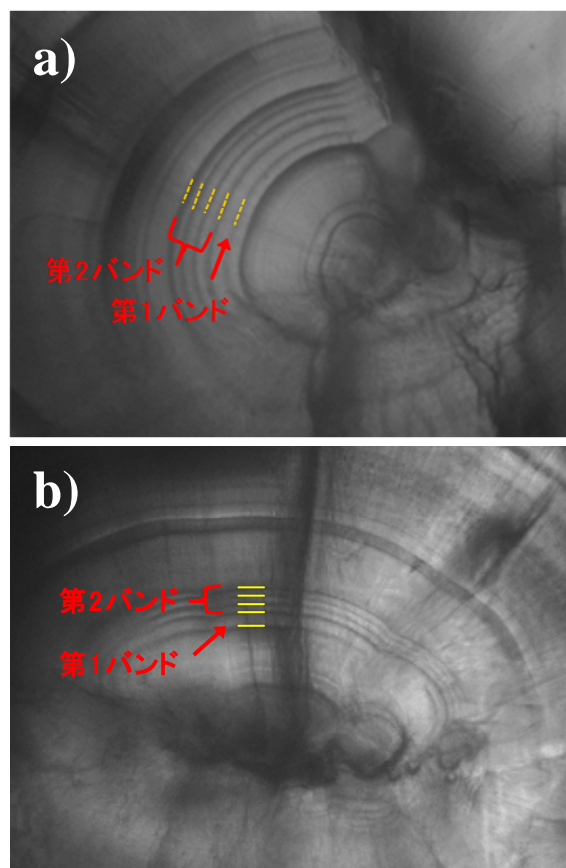


図 4. ベニザケ野生魚のノイズとそれに相当する温度標識。a) ベニザケ野生魚のノイズ(オレンジ色の点線)。b) 耳石温度標識(魚種:ベニザケ, Mark ID:TAHLTAN08, Hatch Code:1,4H, ふ化場:DIPC)。

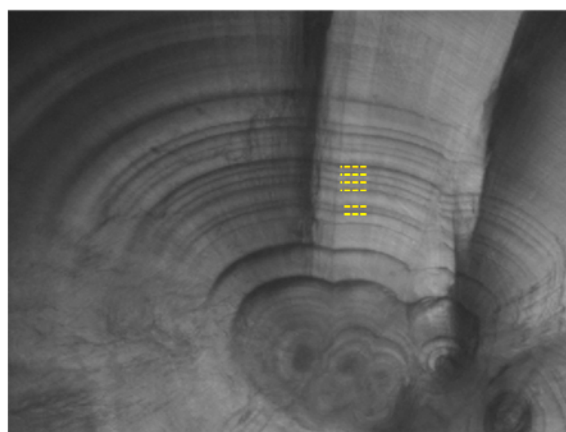


図 5. Hatch Code:2,4H に類似するベニザケ野生魚のノイズ(オレンジ色の点線)。

なるデータセットは前述のデータベースから容易に入手されます。全体 (Over all) は 0.80 と比較的高い値でしたが、Mark ID:MCDONALD07, SPEELARM08A, TUYA05 は 0 (完全に不一致) でした。この原因は、日本では施されないふ化後

Table of 9 x 9 Kappa

DATA

Mark ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	totals
MC DONALD07										4
SPEEL ARM07A		1	3							4
SPEEL ARM08A										0
TAHLTAN07				13						13
TAHLTAN08					4					4
TUYA05						1				1
TUYA06							10			10
TUYA07		3						26		31
IUYA08									8	8
totals	0	4	5	13	6	0	12	36	8	84

RESULTS

	Kappa	S.E. (0)	S.E. (k)	Lower	Upper
Overall	0.80	0.05	0.05	0.7072	0.9018
MC DONALD07	0.00	0.04	0.40	0.7872	-0.787
SPEEL ARM07A	0.23	-0.19	-1.10	2.3859	-1.916
SPEEL ARM08A	0.00	#NUM!	-0.93	1.8311	-1.831
TAHLTAN07	1.00	0.17	0.17	0.6688	1.3314
TAHLTAN08	0.75	-3.29	-0.97	14.445	-12.87
TUYA05	0.00	-0.04	-0.40	0.7872	-0.787
TUYA06	0.81	0.18	0.21	0.4006	1.2142
TUYA07	0.68	0.15	0.08	0.7319	1.04
IUYA08	0.88	0.24	0.32	0.2445	1.5085

図 6. カッパ法による査定結果の一致性の検証。緑枠内は 2 者の査定結果が一致した数を、赤枠内は全体 (Overall) および各 Mark ID のカッパ係数を示す。

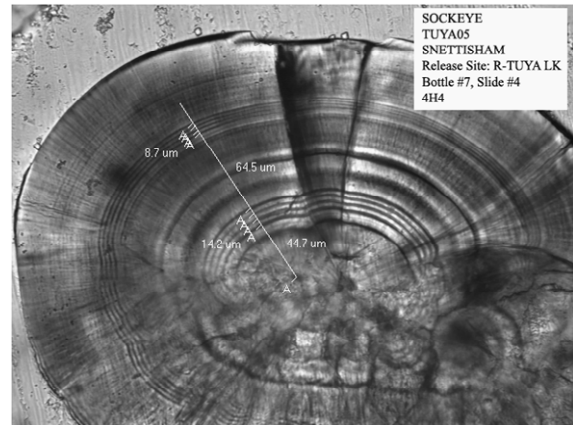


図 7. ふ化後のマークがある耳石温度標識 (魚種: ペニザケ, Mark ID: TUYA05, Hatch Code: 4H4, ふ化場: DIPG)。

のバンド (図 7) を見逃したことで、標識パターンは正確に識別したが、耳石輪紋による年齢査定を誤り、別年級で同一のマークと判断したことによるものでした。このように、カッパ係数は誤査定の要因を認識し、査定者のスキルアップに大変有効な手段となります。

今後の耳石温度標識の扱い方

温度標識は、従来の鰭切標識に比べ、非常に強力なツールです。耳石温度標識を活用した調査によって、回帰親魚に占める自然産卵魚の割合推定 (森田ら 2013) など、今までよく分からなかったことについての報告が次々となされつつあります。今後も耳石標識の活用を前提とした調査計画が組まれることが増えていくことが考えられます。

その場合、査定者にはより複雑化した標識コードを今まで以上に高精度かつ大量に査定することを求められることになり、その労力は飛躍的に増加するでしょう。

今回紹介した ADFG の温度標識解析システムは、査定業務の省力化、迅速性・正確性の向上をもたらすことは間違いありませんが、莫大なコストを要しますので、まずは、査定能力を客観的に評価する体制を構築して、その能力の着実な向上を図ることが肝要であると考えます。

謝辞

ADFG の Bev Agler 女史, Dion Oxman 氏, Lorna Wilson 女史をはじめ、職員の皆様は大変暖かく歓迎くださり、私の拙い英語による質問にも真摯にお答えいただきました。この場を借りてお礼申し上げます。

参考文献

- Hagen, P., K. Munk, B. Van Alen, and B. White. 1995. Thermal mark technology for inseason fisheries management: a case study. *Alaska Fishery Research Bulletin*, 2: 143-155.
- Mears, H. C., and R. W. Hatch. 1976. Overwinter Survival of Fingerling Brook Trout with Single and Multile Fin Clips. *Transactions of the American Fisheries Society*, 105: 669-674.
- 森田健太郎・高橋悟・大熊一正・永沢亨. 2013. 人工ふ化放流河川におけるサケ野生魚の割合推定. *日本水産学会誌*, 79: 206-213.
- Okamoto, Y., T. Ohnuki, S. Sato, N. Watanabe, Y. Miyauchi, T. Arauchi, M. Iida, and S. Urawa. 2012. Releases of Otolith Marked Salmon from Japan in Fall of 2011 and Spring of 2012. *NPAFC Doc. 1418*. 11 pp.
- Oxman, D. S. and R. P. Josephson. 2011. Releases of Otolith Marked Salmon from Alaska in 2010. *NPAFC Doc. 1327*. 5pp.
- 坂野栄市. 1960. 北海道に於ける鮭稚魚の標識放流試験. *北海道さけ・ますふ化場研究報告*, 15: 17-38.
- 関二郎・清水幾太郎. 1996. 広尾川におけるサケ稚魚の放流時期の違いによる回帰率について. *水産海洋研究*, 60: 339-347.
- 高橋昌也. 2006. 耳石温度標識技術を用いたサケ・マス類の標識放流と調査研究. *養殖*, 542: 82-85.
- 浦和茂彦. 2001. さけ・ます類の耳石標識: 技術と応用. *さけ・ます資源管理センターニュース*, 7: 3-11.
- Volk, E. C., S. L. Schroder, and J. J. Grimm. 1999. Otolith thermal marking. *Fisheries Research*, 43: 205-219.

会議報告

さけます関係研究開発等推進会議

あだち ひろやす

安達 宏泰（北海道区水産研究所 業務支援課）

はじめに

平成 25 年 8 月 5 日に札幌市において、「さけます関係研究開発等推進会議」を開催しました。本会議は、さけます類に関する研究開発や個体群維持のためのふ化放流について、関係行政・試験研究機関及び増殖団体等との情報交換を密にし、連携強化を図ることにより、さけます類に関する総合的な研究開発等を効率的かつ効果的に推進することを目的に設置したもので、研究開発の計画・成果等に関する情報交換と連携研究の可能性等を検討する「研究部会」、研究開発等の成果普及・情報交換とニーズの把握を行う「成果普及部会」で構成されています。

研究部会

9 時 30 分から水産庁、8 道県試験研究機関、水産総合研究センター関係各研究所および 6 道県水産行政部局、2 大学の 67 名参加の下で「研究部会」を開催しました。北海道区水産研究所福田所長の挨拶の後、議事に入りました。

・各機関における研究開発の実施状況 北海道区水産研究所が示した各道県の試験研究機関および水産総合研究センターの平成 25 年度のさけます関連調査研究課題の一覧表に沿って、各試験研究機関から平成 25 年度研究計画の補足説明および平成 24 年度研究成果情報が紹介されました。

また、各試験研究機関が行った平成 24 年度の標識放流結果と平成 25 年度の標識放流計画について北海道区水産研究所が報告し、変更等があった場合には北海道区水産研究所さけます資源部に報告していただくことが確認されました。

・さけます類の来遊状況についての意見交換（来遊時期、体サイズ・卵サイズ等の変化に関するトピックの紹介） 各機関から提供された情報に基づいて、平成 24 年漁期のサケ来遊状況についての意見交換が行われました。1) 沿岸回帰時期については、北部を中心に多くの地域で遅れが目立ち、沿岸水温が高かったことが要因と考えられました。2) 回帰サケの体サイズについて、全国的に小型であったことが確認され、要因はベーリング海等における成長の鈍化と考えられました。



写真 1. 「研究部会」会議全景。



写真 2. 「研究部会」の座長を務めた永澤さけます資源部長。

3) 卵サイズと熟度について、全国的に平成 24 年漁期の卵は小さかったことが確認されましたが、熟度に関しては北海道では早期を中心に過熟卵が問題となり、本州の一部では逆に成熟の遅れが多く認められました。なぜ本州で成熟が遅れたのかは不明です。4) 今後も来遊するサケの性状に関する情報を収集し、共有して行く必要があることが確認されました。

・太平洋サケ資源回復調査事業の紹介 水産庁栽培養殖課佐藤専門官から、今年度から開始された水産庁委託事業「太平洋サケ資源回復調査事業」について紹介されました。本事業の趣旨は、本州から北海道に至る太平洋側における稚魚の移動実態と減少要因を明らかにした上で、ふ化放流手法の改良を行ってサケ資源の回復を図ることであり、稚魚の移動実態調査、標識放流、被食実態調査等を実施するとの説明がなされました。

・サケ自然再生産に関するプロジェクト(素案)に関する協議 昨年度に各機関からプロジェクト立ち上げ要望の強かった「サケ自然再生産に関するプロジェクト」について、北水研から想定される課題構成(素案)を提示し、各道県試験研究機関との意見交換を行いました。各機関ともプロジェクトに対して否定的意見はなく、関心はあるとのことでしたが、マンパワー等の問題もあるため、持ち帰って検討することになりました。

・その他 富山県農林水産総合技術センター水産研究所から、サクラマスに関する共同研究課題の立ち上げに向けてサクラマス分科会を活性化しようという要望があり、北海道区水産研究所から、これまでのプロ研応募に関する経緯や関連情報を説明するとともに各機関の要望を取りまとめ、サクラマス分科会を年度内に開催する方向で検討することになりました。

成果普及部会

14 時から関係道県の行政機関、増殖団体、漁業団体等が加わり、209 名の参加の下で「成果普及部会」を開催しました。北海道区水産研究所福田所長の挨拶に続き、来賓を代表して水産庁増殖推進部栽培養殖課 保科課長からご挨拶をいただいた後、議事に入りました。

・成果情報(サケ資源の現状と予測に関する研究開発等の成果情報)

(1) 北太平洋におけるサケの資源状況

北海道区水産研究所の浦和さけます資源部次長から、1) 太平洋全体のさけます資源量は歴史的に高水準、2) カラフトマスとサケが増加し全体の 80% を占める、3) サケはロシアで増加、アラスカで横ばい、南辺部(日本、北米南部)で減少傾向、4) オホーツク海沿岸地域でサケの漁獲量が増加しており、幼魚の生息場であるオホーツク海が好適な環境にあることが示唆されている等の報告が行われました。

また、ベーリング海におけるサケの資源動態について、1) 大部分が日本系とロシア系でお互いの分布が重複し競合、2) 近年ロシア系が増加し、日本系の約 2 倍の生息密度、3) 2007 年級群から低水温と生息密度の増加によると思われる成長低下、4) ベーリング海の定点調査により翌年の来遊数を予測できる可能性がある等の報告が行われました。

(2) 岩手県におけるサケの資源状況

岩手県水産技術センターの清水主任専門研究員から、1) 平成 11 年に続き平成 22 年から回帰

尾数が減少し、2) 平成 22-23 年は魚体が小型化して受精卵も減少していることから、種卵を計画どおりに確保することが困難になっていることが指摘されました。

幼稚魚の減耗要因について、1) 沿岸の幼稚魚分布密度は低下傾向を示し、2) 沿岸の分布密度は回帰尾数と正の相関、水温とは負の相関があり、3) 近年、湾内に比べて沿岸部の水温上昇が速く、沿岸滞泳期以降の減耗も考慮する必要があることなどが報告され、関係機関が連携してサケ資源の変動要因を解明し対策を立てることの必要性が指摘されました。

(3) 北海道におけるサケの資源状況

北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場の宮腰研究主幹から、平成 24 年の秋サケ来遊の特徴について、1) 3 年連続で 4,000 万尾を下回り、特に前期群の減少割合が大きく、2) 9 月



写真 3. 「成果普及部会」会議全景。



写真 4. 「成果情報」での発表者。北海道区水産研究所：浦和さけます資源部次長(左上)、岩手県水産技術センター：清水主任専門研究員(右上)、北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場：宮腰研究主幹(左下)、北海道区水産研究所：渡邊研究員(右下)。

中の沿岸高水温により漁獲時期が遅れ、河川遡上率が高くなったこと、3) 全道的に魚体サイズが小型化し、卵サイズも小型であったことなどが報告されました。

(4)平成25年度のサケ来遊見込み

北海道区水産研究所の渡邊研究員から、平成25年度のサケ来遊見込みについて、シブリング法(対象エリア:オホーツク&根室,太平洋,日本海)により推定した結果が紹介されました。

・情報提供(サケ資源の変動要因と今後の対応に関する情報提供)

(1) 想定されるサケ資源の変動要因

北海道区水産研究所の斎藤資源評価グループ長から、海洋環境の影響について、1) 1998/1999のレジームシフトに伴う表面水温の変化は不明瞭、2) 釧路・十勝起源のサケの北海道西岸への移動には海流が影響し、広域に分布した年級ほど生残が良い可能性のあることなどが報告されました。

また、他魚種との生物間相互作用について、1) 1999年頃から北海道太平洋岸の春定置網で魚食性・底生性魚類の漁獲が増加、2) 定置網内でサケ幼稚魚の捕食減耗が懸念されること等が報告されました。この報告について、1) カラフトマス資源量の影響、2) 適正な放流サイズ、3) 稚魚と親魚の回遊経路の関係等に関する質疑応答がなされました。

(2) 北海道におけるふ化放流概況の変遷

北海道区水産研究所業務支援課長の著者から、過去の放流サイズと放流時期を検証した結果、適期放流の考え方は誤りではなかったこと、当時と沿岸環境等に違いはあるものの、1) 地域に合った適正放流エリアの設定、2) 施設能力等の再点検と効果的な収容計画、3) 状況に応じた柔軟な放流を行うことが必要と提言しました。

(3) 「太平洋サケ資源回復調査事業」について

北海道区水産研究所の永澤さけます資源部長から、本事業では太平洋側サケ来遊量減少の要因

を明らかにし、ふ化放流手法の改良を通じた回復を図ることを目的にしていること、そのため、1) 太平洋北部沿岸域定置網に入るサケ稚魚の移動実態や成長履歴の把握、2) 生き残りに適した放流条件を検討するため各地から耳石温度標識魚の放流、3) サケ稚魚の沿岸における被食実態の調査等、様々な方向から取り組むことが報告されました。

・意見交換

全体を通じて、意見交換の方法に関する要望、サケ親魚の小型化に関する今後の見通し、ベーリング海における定点観測から翌年の回帰を予測する際の精度等に関する質疑応答が行われました。

アンケート結果

本推進会議の参加者を対象に、今後の会議をより充実させるためのアンケート調査を実施しました。質問「会議内容は業務に役立つ内容でしたか」に対し、「はい」56%、「まあまあ」43%、「あまり」または「いいえ」0%で、「配付資料は役立つ内容でしたか」に対し、「はい」54%、「まあまあ」40%、「あまり」または「いいえ」各5%の回答でした。「業務に役立つ内容」や「取り組むべき課題」としては、主に道県機関からはふ化放流技術の改善やベーリング海調査を、民間増殖団体等からは適期放流の再検証や減耗要因等が挙げられました。

おわりに

本推進会議は、北海道区水産研究所と関係道県の試験研究機関、行政機関、団体等との情報交換を密にし、ニーズを把握して相互の連携強化を図り、さけますに関する研究開発並びに個体群維持のためのふ化放流を効率的かつ効果的に推進するために開催しているものです。さけますに関する様々な機関や団体が一堂に会して情報や意見交換ができる貴重な機会であり、ブロック推進会議とは異なる「分野別推進会議」に位置付けて開催しています。

会議終了後には、参加された皆様にアンケート調査へのご協力をお願いしており、寄せられたご意見、ご要望を踏まえ本推進会議をより充実したものとするよう努めて参りますので、関係者の皆様には今後ともご参加いただきますようよろしくお願いいたします。



写真 5. 「情報提供」での発表者。北海道区水産研究所：斎藤資源評価グループ長(左)、同：著者(右)。

会議報告

NPAFC 科学調査統計小委員会(CSRS)会議

うらわ しげひこ

浦和 茂彦（北海道区水産研究所 さけます資源部）

さけます類は、北太平洋を広く回遊し様々な地域個体群が一緒になり海洋生活する特性を持つことから、国際協力による海洋調査や資源管理が不可欠です。北太平洋溯河性魚類委員会 (NPAFC) は 1993 年に発効した「北太平洋における溯河性魚類の系群の保存のための条約」により設立され、カナダ、日本、韓国、ロシアと米国の 5 カ国が加盟しています。条約対象魚種は、ベニザケ、カラフトマス、サケ（シロザケ）、ギンザケ、マスノスケ、サクラマスとスチールヘッドのさけます類（サケ属）7 種です。条約水域内（北緯 33 度以北の太平洋と接続水域の公海）でのさけます漁業は全面禁止されており、これにより我が国のサケを含む各国起源の資源が保護されています。科学調査統計 (CSRS)、取締 (ENFO) と財政運営 (F&A) の各小委員会があり、CSRS では科学分科会と資源評価、耳石標識、系群識別、ベーリング海さけ・ます調査 (BASIS)、タグ標識の各作業グループが活動しています。NPAFC 年次会議は毎年秋に開催されていましたが、2014 年より開催時期が春に変更となります。過渡的に 2013 年の年次会議は電子メール会議となったため、2013 年 4 月 23-26 日に CSRS 会議がホノルルで単独開催されました。この会議には加盟 5 カ国より 33 名が参加し、さけます資源の状況や科学計画下における研究成果のレビュー、作業グループ活動、調査船調査や標本交換の調整などを行いました。ここでは、会議の概要を紹介します。

さけます漁獲量と放流数

2012 年加盟国の総漁獲量は約 89 万トンと前年（約 105 万トン）より 15%減少しましたが、カラフトマスが不漁年に当たるためであり、全体の資源量は引き続き高水準であることが確認されました。国別では、ロシアが約 44 万トンと全体の 50%を占め、米国は約 31 万トン(35%)、日本は約 13 万トン(15%)でした。魚種別の総漁獲量は、カラフトマスが 41 万トン(47%)と最も多く、サケが 31 万トン(35%)、ベニザケが 14 万トン(16%)でした。日本のサケ漁獲量は約 12 万トンで、サケ全体の 40%を占めました。なお、2013 年の総漁獲量は暫定的ですが 105 万トンを越え、史上 2 番目の記録となりそうです。2012 年、ふ化場からの総放流数は約 50 億尾で、米国 20 億尾(40%)、日

本 18 億尾(36%)、ロシア 9 億尾(18%)、カナダ 3 億尾(6%)、韓国 1 千万尾(0.2%)でした。漁獲や放流に関する最新統計データは、NPAFC のホームページ (www.npafc.org) で閲覧できます。

科学活動

科学分科会は、他の国際機関との協力や研究集会の開催計画などについて検討しました。北太平洋生態系に関わる PICES との科学的協力関係を強化するため、NPAFC-PICES Study Group を創設し、2014 年 5 月までに協力のための枠組みを作ることになりました。また、NPAFC 科学計画（2011-2015 年版）の進展状況を総括するため、2015 年 5 月に日本で国際シンポジウムを開催することで合意しました（詳細は次ページ参照）。

資源評価作業グループは、漁獲魚におけるふ化場魚と野生魚の割合推定について検討しましたが、



写真 1. Sheraton Princess Kaiulani Hotel で開催された CSRS 会議。（写真提供：NPAFC）



写真 2. 科学分科会メンバーによる会合。2015 年 5 月に日本で開催される国際シンポジウムのテーマや運営方法を検討した。（写真提供：A. Zavolokin）

地域により進展状況が異なり、データを取りまとめるまでには至っていません。

耳石標識作業グループは、2013 年級さけます類に施す耳石標識パターンの調整を行いました。また、一般に公開されている耳石標識放流データベース(<http://npafc.taglab.org/>) の入力方法を改善しました。タグ標識作業グループは、過去 50 年以上に渡り蓄積されたタグ標識再捕データベースの運用方法について検討し、データを利用する際のルールを定めました。

第 3 回さけます幼魚ワークショップ

CSRS 会議に引き続き、「さけます幼魚の回遊と生残機構に関する第 3 回国際ワークショップ」が 4 月 25-26 日に開催されました。科学者 97 名が参加し、口頭 34 件、ポスター 41 件の発表が行われ、大変盛会でした。日本からも 8 名が参加して研究発表を行いました。最初に、北米およびアジアの研究者が、前回ワークショップ (2006 年に札幌で開催) 以後の幼魚研究の進展状況を総括しました。ロシアではトロール調査による幼魚モニタリングがオホーツク海や西部ベーリング海で実施され、資源予報等に利用されています。北米では、東部ベーリング海とアラスカ湾沿岸で幼魚調査が行われ、遺伝的系群識別によりベニザケ、ギンザケやマスノスケの系群別の分布や回遊ルートが解明されつつありました。餌生物と生残・成長の関係では、特定の餌生物の量や栄養素を考慮した分析が行われていました。また、大規模な気候変動などを組み込んだギンザケの海洋生残モデルが開発されていました。越冬期など特定の時期に海洋死亡の増加することが想定されていますが、それを証明する研究事例は意外と少ないようでした。発表内容は NPAFC Technical Report No. 9 に掲載され、無料でオンライン閲覧できます (www.npafc.org/new/pub_technical.html)。



写真 3. 幼魚ワークショップでコーディネーターを務めた Joe Orsi 氏の開会あいさつを聞く参加者たち。(写真提供: NPAFC)

2015 年に神戸で国際シンポジウムを開催

NPAFC は 2015 年 5 月 17-19 日に神戸国際会議場で国際シンポジウム「気候変動下における太平洋さけます類の生産」を開催します。気候変動が海洋生態系やさけます類にどのような影響を与えるか理解することは、将来に渡りさけます資源を維持するために重要です。シンポジウムでは、さけます類の海洋分布と生産を規定する生態的メカニズム、気候変動がさけます類に与える影響、海洋生態系の状態を把握する指標となる個体群の分析、さけます資源を管理するための生態系モデルなどに関する研究の進展をレビューします。こうした最新の情報を駆使してさけます類の生産変動の説明・予測に貢献することがシンポジウムの目的です。参加・発表の申し込みは 2014 年春に始まる予定です。詳細については NPAFC ホームページ(www.npafc.org) をご覧ください。

2013 年に日本が提出した科学ドキュメント

(これらのドキュメントは www.npafc.org でダウンロードし閲覧できます)

Doc 1461: Results of 2012 Salmon Research by the *Oshoro maru* (2012 年おしよろ丸によるさけます調査の結果)

Doc. 1462: Incidental Catches of Anadromous Fish by Japanese Research Vessels in the North Pacific Ocean in 2012 (2012 年度北太平洋での日本の調査船によるさけます類の混獲)

Doc. 1463: Proposed Cruise Plans of Japanese Research Vessels for Salmon in the North Pacific Ocean in 2013 (2013 年北太平洋における日本のさけます調査船の航海計画)

Doc. 1464 (Rev.1): Cruise Plans of Japanese Research Vessels Involving Incidental Takes of Anadromous Fish in the North Pacific Ocean in 2013 (2013 年北太平洋におけるさけます類の混獲を含む日本の調査船計画)

Doc. 1465: Preliminary Statistics for 2012 Commercial Salmon Catches in Japan (2012 年日本におけるさけます類の暫定的商業漁獲統計)

Doc. 1466 (Rev.1): Preliminary 2012 Salmon Enhancement Production in Japan (2012 年日本におけるさけます類の増殖(暫定版))

Doc. 1467 (Rev.1): Proposed Otolith Marks for Brood Year 2013 Salmon in Japan (さけます類 2013 年級群に対する日本の耳石標識計画)

Doc. 1484: Releases of Otolith Marked Salmon from Japan between Fall of 2012 and Spring of 2013 (2012 年秋と 2013 年春の間に日本より放流された耳石標識さけます類)

会議報告

平成 25 年度さけます資源部第1回連絡会議ワークショップ

「さけます資源の現状:想定される減少要因と今後の対応」

さいとう としひこ あずまや とものり さとう しゅんべい おかもと やすたか さ さ き けい たかばし ふみひさ わたなべ
 齋藤 寿彦*1・東屋 知範*2・佐藤 俊平*1・岡本 康孝*3・佐々木 系*1・高橋 史久*1・渡邊
 きゅうじ もりた けんたろう あだち ひろやす たかばし まさや いいだ まさや いせき ともあき やぎ
 久爾*1・森田 健太郎*1・安達 宏泰*4・高橋 昌也*5・飯田 真也*6・井関 智明*6・八木
 ゆうた はが まさと あべ くにお くりばやし まこと さかもと じゅん
 佑太*6・羽賀 正人*7・阿部 邦夫*8・栗林 誠*9・坂本 準*10

我が国のサケ来遊資源は 1970 年代半ばから急増し、1996 年には史上最高となる約 8,900 万尾を記録しました。ところが、来遊数は 2004 年から減少傾向を示し、2010 年以降、3 年連続で 5,000 万尾を割り込む水準で低迷しています。特に、北海道から本州にかけての太平洋沿岸地域において来遊数の減少が顕著になっています。また、2012 年には回帰したサケ親魚の体サイズが全国的に小さく、1990 年代初頭にサケの小型化高齢化が進行した頃の水準になりました。さらにサケ以外でも、2012 年には北海道オホーツク沿岸のカラフトマスも極端な来遊不振となり、その来遊数は 1980 年代初頭の水準にまで減少しています。

一方、北太平洋全域のサケマス類の商業漁獲量は、2000 年代に入ってから歴史的な高水準が

続いており、2007 年、2009 年および 2011 年には、北太平洋全域で 100 万トンを超える漁獲量が記録されています。特にカラフトマスとサケの漁獲が卓越しており、地域別にみるとロシアにおける漁獲が著しく増加しています。

このような日本内外におけるさけます資源の状況を理解し、資源回復へ向けた取組みを強化するために、平成 25 年度さけます資源部第 1 回連絡会議ワークショップ「さけます資源の現状:想定される減少要因と今後の対応」が平成 25 年 7 月 4 日に開催されました。ワークショップでは、総勢 60 名参加のもと、以下のような 4 つのセッションにおいて、合計 15 題の話題提供が行われました。

- | | |
|---|-------------------|
| 1. 基調講演 海洋環境変動と水産資源の関係 | 東屋 知範 |
| 2. さけます資源の現状と推定される減少要因 | |
| ○北太平洋におけるさけます類の資源状況 | 佐藤 俊平 |
| ○人工ふ化放流河川におけるサケの繁殖形質の経年変化 | 岡本 康孝 |
| ○厚田沿岸調査からみたサケの資源変動 | 佐々木 系 |
| ○サケ資源減少に伴う現状で考えられることと今後の対応等について
(えりも以東東部地区:釧路川を例として) | 高橋 史久 |
| ○想定されるさけます類の資源減少要因 | 齋藤 寿彦 |
| 3. 環境変動下での資源管理方策 | |
| ○変動する水産資源の管理の理論と実践 ~震災後のサケをめぐる~ | 渡邊 久爾 |
| ○野生魚を利用したふ化放流でサケ資源の高位安定化を目指す!?
~遺伝的に健康な放流魚の生産技術の開発~ | 森田 健太郎 |
| 4. ふ化放流事業から見た改善点 | |
| ○北海道におけるサケふ化放流概況の変遷 | 安達 宏泰 |
| ○サケの適期・適サイズ放流概念の再検討 | 高橋 昌也 |
| ○新潟県藤塚浜におけるサケ稚魚の出現状況 | 飯田 真也・井関 智明・八木 佑太 |
| ○青森県八戸地区のサケ資源状況について | 羽賀 正人 |
| ○養魚池の減耗要因について!
~何故遮光シートをすると斃死が多くなるの?~ | 阿部 邦夫 |
| ○H24 年度サケ仔魚期における初期減耗要因解明のための比較試験結果 | 栗林 誠 |
| ○低密度飼育管理による放流 | 坂本 準 |

*1 北海道区水産研究所(北水研) さけます資源部、*2 北水研 生産環境部、*3 北水研 天塩さけます事業所、*4 北水研 業務支援課、*5 水産総合研究センター 経営企画部、*6 日本海区水産研究所 資源管理部、*7 東北区水産研究所 沿岸漁業資源研究センター、*8 北水研 静内さけます事業所、*9 北水研 鶴居さけます事業所、*10 北水研 虹別さけます事業所。

各セクションから、資源の減少要因と今後の対応を考える上で特にヒントになりそうな内容をピックアップして、以下に概要を報告します。

1. 基調講演 海洋環境変動と水産資源の関係

本セクションでは、おもに北海道から三陸沿岸域にかけての太平洋の海洋環境とサケの単純回帰率との関係が取り上げられました。気象庁が公表する1994～2012年までの1/4度格子における毎日の表面水温を月平均にし、各月の長期トレンドやCEOF解析による表面水温の時空間変動の特徴が調べられました。長期トレンドでは、1～6月にかけて東北の太平洋に寒冷化（負のトレンド）を示す海域が認められました。また、8～9月の日本近海の北太平洋には温暖化（正のトレンド）の海域が広がり、特に9月の北海道東方海域では0.2℃/年の正のトレンドが観察されました。CEOF解析では第1～5モードが抽出され、第1モードは海域全体の水温変動（寄与率47%）を、第2モードは亜寒帯循環の変動（寄与率11%）を、第3モードは沿岸と沖合の水温変動（寄与率8%）を、第4モードは暖水域の変動（寄与率5%）を、第5モードは東北沖から道東へ移動する暖水渦の変動（寄与率5%）をそれぞれ現していると考えられました。これら各モードの経年変化と北海道のサケ単純回帰率の関係を相関分析で調べてみると、サケ幼稚魚が降海する4～5月の第2モードおよび4月の第5モードとの間に相関が認められました。具体的には、道東沿岸域の表面水温が高い年、また、道東海域の沖合に暖水塊が存在する年に降海したサケにおいて、単純回帰率は高くなる傾向がありました。気象庁海洋データ同化システムによる再解析値を使って流れ場を調べたところ、道東海域に暖水塊が存在すると高温

域が出現するのみならず、沿岸域では相対的に東向きの流れが強まるようです。道東沿岸のサケ幼稚魚は陸地に沿って東（北東）へ向かって移動し、やがて日本沿岸を離岸します。したがって、暖水塊の出現によって生じた東向きの流れは、サケ幼稚魚の離岸（回遊）にとって有利に働くのかもしれませんが。

2. さけます資源の現状と推定される減少要因

1972～2012年までの北太平洋全体におけるサケマス類の商業漁獲量は平均74.2万トンであり、魚種ごとにみると、カラフトマス、サケ、ベニザケが漁獲量の大半を占めます（図1）。商業漁獲量は2003年以降、過去の平均を上回る状態が続いており、2007年、2009年そして2011年には100万トンを超える歴史的な高水準を記録しました。2000年代前半までは、北太平洋で漁獲されたサケの50～70%が日本系であり、ロシア系サケのシェアは10%前後に過ぎませんでした。ところが2006年以降ロシアのサケ漁獲量が急増し、2012年には日本系およびロシア系のサケの漁獲割合は、それぞれ39.8%および32.2%と拮抗しています。ロシアのなかでも、サハリン、アムール、カムチャツカ西岸といったオホーツク海に面した地域で特に漁獲が伸びています。

北太平洋におけるサケマス類の漁獲量が歴史的な高水準にあるのとは対照的に、日本のサケやカラフトマスの来遊は近年減少傾向にあります。地域別にサケの来遊数をみると、オホーツク海に面したオホーツク海区では比較的堅調な来遊数を維持しています。日本海側は2008年に来遊数が落ち込みましたが、翌年の2009年には2007年に近い水準まで回復し、それ以降横ばいの状態です。ところが、北海道から本州にかけての太平洋側で

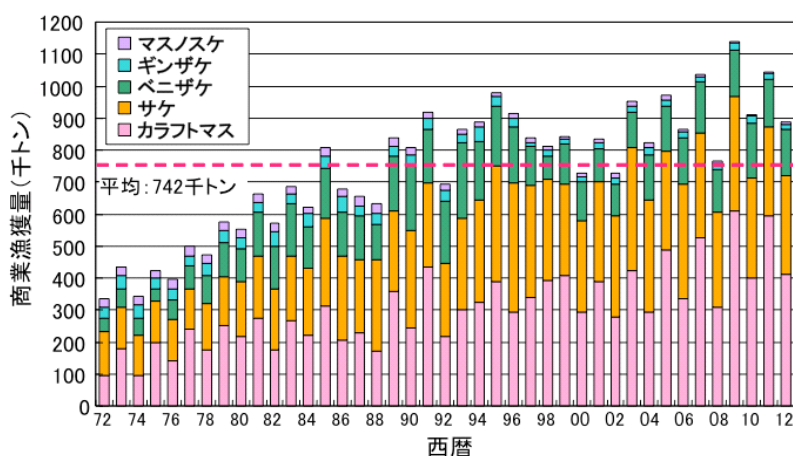


図1. 北太平洋全体のサケマス類の商業漁獲量。

は、2010年にかつて不漁となった1999年の水準まで来遊数が大きく減少し、それ以降2011～2012まで、2010年をさらに下回る低迷が続いています。日本系カラフトマスは、オホーツク海に面した地域を中心に分布していますが、カラフトマスの来遊数も2011～2012に大きく減少し、特に2012年の来遊数は1980年代前半～半ばの水準まで落ち込みました。

日本各地から放流されたサケは、日本沿岸域を離岸したあと、海洋生活1年目の夏～秋をオホーツク海で過ごします。太平洋側のサケ幼稚魚は、オホーツク海の南端、すなわち千島列島側からオホーツク海へ到達するものと推察されます。一方、日本のカラフトマスも海洋1年目の分布はサケと似ており、日本沿岸を離岸したのち、夏～秋をやはりオホーツク海で過ごします。日本のカラフトマスは、カラフトマスという種の生息域からみて、南限付近に分布する集団です。このように、オホーツク海の南端から回遊する太平洋側のサケ、そして種の分布南限付近に生息する日本のカラフトマスにおいて、来遊数の落ち込みが著しいというのが最近の特徴です。実は、夏季のオホーツク海の海水温が最近上昇しています。日本でも、2008年頃からサケやカラフトマスが来遊してくる8～9月の高水温が毎年のように話題になっています。これまで来遊時の高水温が回帰資源へ与える影響が指摘されてきましたが（Nagasawa and Azumaya 2012）、その他にも夏季のオホーツク海の昇温が、より北方に位置するロシアのサケやカラフトマス幼稚魚の生残りにはプラスに作用する一方で、南からオホーツク海を目指す太平洋のサケ幼稚魚や、生息域南限付近の日本のカラフトマス幼稚魚の生残りにはマイナスに作用しているかもしれません。

太平洋沿岸を起源とするサケ幼稚魚は、沿岸から数キロという、かなり岸寄りの海域を移動しながらオホーツク海を目指していると考えられます。ちょうどサケ幼稚魚が分布・移動する春～初夏の時期に、北海道太平洋沿岸域の春定置網において、2006年頃からスケトウダラが大漁に水揚げされるようになってきました。1970年代半ば以降の北海道太平洋沿岸の胆振から釧路にかけての春定置網によるスケトウダラの漁獲統計をみると、かつては0～数トンに過ぎなかったスケトウダラが、2007年には約1,000トン、2008年以降は1,500～2,000トンあまり漁獲されています。漁業者からは、定置網で漁獲したスケトウダラの口からサケ幼稚魚が吐き出されることがあるとの情報が寄せられています。北海道の太平洋側のサケ来遊数が落ち込んだのも、ちょうど2007年に降海した2006年級以降のことです。なんらかの原因で、スケトウダラが沿岸域の定置網

付近まで岸寄りするようになり、その結果、もともと岸沿いに分布していたサケ幼稚魚とスケトウダラが遭遇し、結果としてサケ幼稚魚の被食減耗が高まっているのかもしれませんが。あるいは、スケトウダラの岸寄りが海洋環境の変化によるものならば、スケトウダラの岸寄りを誘因した海洋環境の変化が、サケ幼稚魚の移動や生残りによってマイナスに作用している可能性もあります。

3. 環境変動下での資源管理方策

資源管理とは、資源と漁業の持続性を保つための理論、手段、技術のことです。資源の持続性を維持するためには、対象となる資源の変動要因の理解が必要です。環境変動が水産資源の変動に関与することは多くの人の共通認識ですが、その具体的なメカニズムとなると我々人類の知識は依然として少なすぎる状況です。つまり、実際の資源管理とは、不確実に変動する水産資源を対象に、管理目的を定めて漁獲を制御し、目的の達成を目指すことに他なりません。具体的な漁獲規則を検討する際、モンテカルロシミュレーションなどの模擬実験の手法が有効です。これは、対象となる水産生物の再生産関係や単位努力量あたりの漁獲強度などを数値化し、それぞれが確率変動する系として考えます。このようにして構築した仮想現実のなかで、ある漁獲規則に基づく漁業を実践した場合、漁獲量や資源の変動がどう変遷するかを1,000回規模のランダムサンプリングを実施することで理解します。本セッションでは、東日本大震災で被災した本州太平洋サケの個体群動態について、モンテカルロシミュレーションを行った事例が紹介されました。管理目的を種卵確保数と沿岸漁獲数として、沿岸漁獲努力量をコントロールした場合、種卵確保数（すなわち放流数）と沿岸漁獲数が将来どのように変遷していくかが検討されました。ともすれば、サケの沿岸漁業と河川捕獲は単一の漁業期では利害が相反する場合があります。しかし、シミュレーションを活用することで、現在だけでなく長い眼でみて、沿岸漁業と河川捕獲（ふ化場）にとって良好な漁業規則とは何かを模索できることとなります。

もう1つの発表では、自然再生産によって生まれた魚（以下、野生魚）を活用し、サケ資源の高位安定を目指すというアイデアが紹介されました。自然産卵による卵から稚魚までの効率率は20%ほどとふ化場の90%に比べて低いですが、野生魚では自然淘汰によって生命力の強い遺伝子が残ると考えられます。それに対して、ふ化場では環境が厳しくない分、生命力の弱い遺伝子から強い遺伝子まで大凡ランダムに90%生き残ることになります。すなわち、もし生命力の強い野

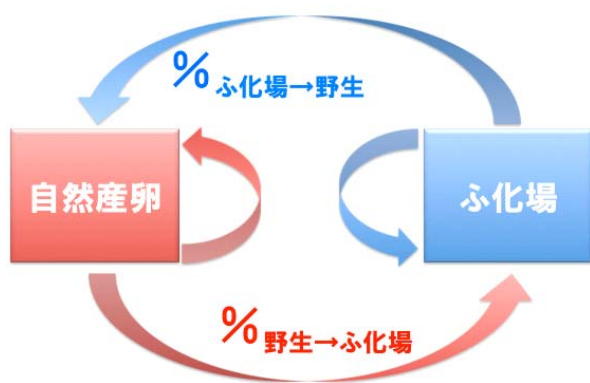


図 2. Integrated program (融和方策) の概念図. ふ化場魚と自然産卵魚(野生魚)が同一水系に存在する場合、ふ化場魚が自然産卵に参加する割合(%:ふ化場→野生)と野生魚がふ化放流用の親魚に利用される割合(%:野生→ふ化場)を推定し、これらの割合を使ってふ化放流事業を管理する方策が海外では実践されている。

生魚を親魚としてふ化場で利用できれば、生命力の強い種苗が作れることとなります。人工ふ化放流事業に野生魚を活用する取組みは欧米諸国で既に行われており、Integrated Program (発表者の和訳:融和方策)と呼ばれています。サケ野生魚が生息する水系においてふ化放流を行う場合、野生魚が自然産卵するケースやふ化場魚がふ化場で再生産に使用されるケースに加えて、ふ化場魚が自然産卵に参加するケース(%:ふ化場→野生)、野生魚がふ化場で再生産に使用されるケース(%:野生→ふ化場)がそれぞれ想定されます(図2)。これらの割合を使い、米国のCraig A. Busack氏は2004年にProportionate Natural Influence (PNI) (発表者の和訳:野性味指数)を提唱しました。

$$PNI = \% : \text{野生} \rightarrow \text{ふ化場} / (\% : \text{野生} \rightarrow \text{ふ化場} + \% : \text{ふ化場} \rightarrow \text{野生})$$

PNIが0.5以上であれば血は野生魚に近づき、反対に0.5よりも小さくなれば血がふ化場魚へ近づくこととなります(Hachery Scientific Review Group 2009)。海外では、このPNIを指標としてふ化放流事業の管理を行っている地域もあります。今後日本でも、遺伝的に健康な放流魚を生産するために、余剰親魚の再放流と自然産卵環境の整備を行い、野生魚を一定割合確保した上で種苗生産に利用していく体制を検討してみても良いかもしれません。

4. ふ化放流事業から見た改善点

サケの放流現場では、放流後の生き残りを高めるため、適期・適サイズ放流が重要であり、その指針となるものが広く知られています(図3)。

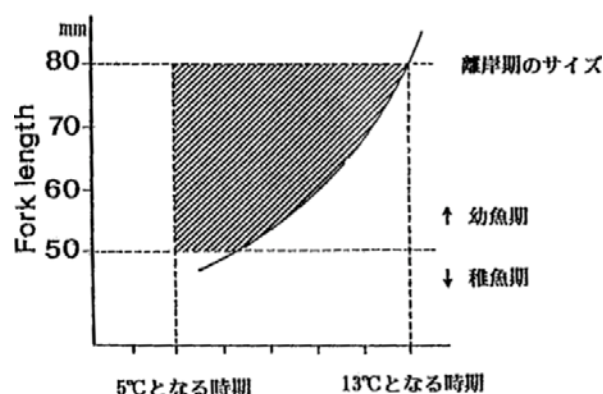


図 3. サケ適期・適サイズ放流の概念図(原図は野川 1992)。放流は沿岸水温が5℃となる時期から開始し、水温13℃になる時期までに、離岸サイズである尾又長80mmまで成長できるように放流することが理想とされている(斜線部分が理想的な放流時期・サイズ)。

この指針は、過去の調査研究の結果から導き出されたもので、放流は沿岸水温が5℃になる時期から開始して放流サイズは体重1g(尾又長5cm)以上、またサケ幼稚魚が沿岸域からいなくなる水温13℃の時期までに、離岸サイズである体重3g(尾又長7~8cm)に成長できるだけの期間を遡った時期に放流を終了するといった内容です。この適期・適サイズ放流について、北海道および道内5海区の1975年から最近までのふ化放流データ(放流盛期と放流サイズ)が整理され、各々の年級の回帰状況との対応が検討されました。北海道のサケ放流盛期は1980年頃までは4月下旬から5月上旬であり、放流サイズも0.8g未満でした。1981年度にギンケ対策、すなわち早期回帰群の造成が開始され、回帰時期の早い種卵が收容されるようになった結果、ふ化場の施設收容能力の限界を迎える時期が早まり、以前よりも放流を早めざるを得ない状況になりました。その結果、ギンケ対策が開始された当初は全道の放流盛期が一気に半月ほど早くなりました。その後、ふ化場の施設整備が急速に進められていくと、次第に放流時期は遅い時期へと移り変わり、放流盛期は再び4月下旬から5月上旬となり、放流サイズも体重1gを超えるまでに大型化していきました。回帰率との関係を見ると、放流サイズが0.7gから1gを超えるまで毎年右肩上がり大型化していた1981~1992年には、回帰率もサイズに連動するように向上し、4%を超える回帰率を記録する年級も出てきました。1993年以降、放流盛期は4月下旬~5月上旬、放流サイズは1.1~1.3gに維持されていますが、回帰率6%前後の高い回帰を示す年級が出現する一方で、回帰率4%を下回る年級も出現するなど、回帰率は年級によって

大きく変動しています。先の放流盛期を、沿岸水温が5°Cに到達する時期に置き換えて検討したところ、回帰率が5%を超える年級は、沿岸水温が5°Cに到達する時期の概ね20日前以降に放流盛期を迎えており、放流サイズは0.7g以上になっていました。以上の検討から、適期・適サイズの考え方は、事業規模でサケの人工ふ化放流事業を進める上で有効な指針であることが確認されました。

総合討論

本ワークショップでは、ふ化場、水系、地域といった様々なスケール、様々な視点から、資源減少に関する発表が行われました。これら発表を受けて、総合討論では(1)資源低迷の原因解明にむけた調査研究とモニタリング調査、(2)ふ化放流手法の改善、(3)新たな資源管理方策と低迷資源の利活用という3項目について議論しました。

(1) 資源低迷の原因解明にむけた調査研究とモニタリング調査では、太平洋側のサケ資源変動や低迷に関して、海洋環境や捕食圧が高まった可能性など、鍵となりそうなポイントがいくつか浮かび上がってきました。海洋環境については、北海道太平洋沿岸域の流れが資源変動に関係している可能性が指摘されました。また、近年8~9月にかけて北日本周辺海域では高水温状態が観察されており、これが回帰親魚のみならず、オホーツク海南端から当該海域へ回遊する太平洋起源のサケ幼稚魚に、何らかの悪影響を及ぼしている可能性についても述べられました。しかし、これらの可能性をフィールドデータから科学的に解明するのは非常に難しいのが現実です。サケ幼稚魚は沿岸域のかなり岸寄り回遊していますが、これらの海域は浅く、沿岸漁業の盛んなエリアです。そのような海域に調査船を乗り入れて、サケ幼稚魚の分布や移動を面として把握するような調査を展開することはほぼ不可能です。また、オホーツク海におけるサケマス幼魚の分布域はロシア200海里に及んでおり、現在、我が国の調査船が調査することが非常に難しい状況です。仮にこれらの調査が実施できたとしても1度や2度の調査から言えることは限られており、調査データが資源変動の理解に役立つには何年ものデータ蓄積が必要です。現在、海洋物理のデータ蓄積は膨大になっており、水温や流れなどを使った水産生物の卵・仔稚魚の移送シミュレーションなどが盛んに行われています。そこで、サケ幼稚魚の分布や回遊にシミュレーションによるアプローチを取り込んで、限定的な調査データを補完することが今後重要です。

(2) ふ化放流手法の改善では、過去の北海道

におけるサケ人工ふ化放流の総括から、適期・適サイズ放流の有効性が確認されたことが本ワークショップの成果として挙げられます。回帰率5%以上の高回帰率群は、放流盛期が沿岸水温5°C到達の20日前以降かつ放流サイズ0.7g以上で認められることが示されました。しかし、このような放流を行っても低い回帰率に終わってしまう場合もあります。ふ化放流については、かつて調整放流などを行っていた時代のほうが、回帰が良かったという見解が複数の河川や地域の分析から明らかになりました。近年、適期・適サイズの概念が浸透してきた結果、放流時期や放流サイズの集中が生じている可能性があります。調整放流は、池の収容密度が魚の成長とともに高まるため、それを緩和する目的で実施されていました。調整放流を行うと、様々な時期に様々なサイズの種苗が放流されることとなります。また、池の密度が緩和されるので、飼育池に残った魚の飼育環境が改善され、結果的には健康な種苗の生産・放流に繋がっていた可能性があります。また、いくつかの水系では、過去の河川捕獲状況の変遷とふ化放流の実施状況を対比し、ふ化放流手法の改善を探るアプローチがありました。このような過去との比較は、どのようなふ化場、水系、地域でも実践可能であり、資源低迷要因がわからない現状でも対応策を打ち出すひとつの方法になると期待されます。

(3) 新たな資源管理方策と低迷資源の利活用では、資源管理について再認識することができました。水産生物の資源変動は不可避かつ不確実です。そのような状況下で、資源を管理する人は、管理目的を明確にし、その達成に向けて管理方法(例えば、漁業規制など)を実践しながらその効果を評価し、管理目的と管理方法の見直し(フィードバック)を行うことが必要であり、この一連の流れが資源管理の姿です。このような資源管理の考え方を現在のサケマス類に当てはめた場合、管理目的は「計画採卵数の達成」になるのかもしれませんが、果たしてそれだけで良いのでしょうか。具体的な管理目的(目指すべき姿)がないと、一連の資源管理は到底成り立ちません。一方、野生魚をふ化放流に組み込むことで、放流種苗の質を向上させるというアイデアが紹介されました。海外では、PNI(野性味指数)を使って資源管理を実施している地域があることも報告されました。これまで日本のサケはほとんどが人工ふ化放流起源だと考えられてきましたが、耳石温度標識サケの回収結果から、北海道のサケ増殖河川にも野生魚が存在することが分かってきました(森田ら2013)。野生魚を上手く資源造成に活用することができれば、環境変動などの影響を受けにくい安定した資源造成が可能になるかもしれ

ません。

本ワークショップでは、資源低迷に対する今後の対応策など、具体案が導きだされた訳ではありません。しかし、資源変動・低迷に関する情報や、ふ化放流による改善の可能性、そして資源管理のあり方など、様々な方面から多様な発表がありました。これらの発表には、現在直面する資源低迷について問題解決のヒントになるアイデアや知恵が随所に存在していたと思います。これらを上手く融合させて解決策を探していくことが今後とても重要だと考えます。

参考文献

Hatchery Scientific Review Group. 2009. Predicted fitness effects of interbreeding between hatchery and natural populations of Pacific salmon and

steelhead. Appendix A, White Paper No.1: 1-38. (Hatchery Reform Web : http://www.hatcheryreform.us/hrp/reports/system/welcome_show.action, 2013 年 12 月 10 日)

Nagasawa, T., and Azumaya, T. 2012. Fluctuation of Japanese chum salmon returning rate related to sea surface temperatures along the spawning migration route. NPAFC Tech. Rep., 8: 28.

野川秀樹. 1992. 本州日本海沿岸におけるサケ増殖と資源動態. 魚と卵, 161 : 29-43.

森田健太郎・高橋 悟・大熊一正・永沢 亨. 2013. 人工ふ化放流河川におけるサケ野生魚の割合推定. 日水試, 79: 206-213.

さけます情報

サケ科魚類のプロファイル-12 サツキマス・アマゴ

つぼい じゅんいち
坪井 潤一 (増養殖研究所 内水面研究部)

サツキマスとアマゴは同種で (学名 *Oncorhynchus masou ishikawae*), サツキマスの河川残留型がアマゴである (図 1). 分布域が本州東海地方以南の太平洋側であり, 世界最南限の降海型サケ科魚類である. それだけに, 一生を渓流域で過ごすアマゴのほうがサツキマスの資源量よりも圧倒的に多い (中野ら 2002). サクラマス・ヤマメ *Oncorhynchus masou masou* とは亜種の関係であり体表の模様も酷似するが, アマゴ・サツキマスには朱色の点があるのが特徴である.

分布

サツキマス (アマゴ) は, 我が国固有のサケ科魚類で, 本州の東海地方以西の太平洋岸, 四国, および九州の北東部にのみ分布し, サクラマスの分布とは重複しない (中野ら 2002, 図 2). しかし近年は, 種苗放流によりサクラマスの生息域にも分布が広がっている. 実際に, 北海道東部を流れる常呂川では, アマゴの再生産が確認されており, 捕獲される個体の半数以上が, サクラマスとの交雑種となっている (藤井 2008). 富山県を流れる神通川は鱒寿司でも知られるサクラマスの名河川であるが, 放流されたアマゴとの交雑によりサクラマスの体サイズの小型化が深刻な問題になっている (田子 2003).

生活史

年間を通じて 20°C 以下の水温を好むが, 地球



図 1. アマゴ (上) とサツキマス (下, 撮影: 森田健太郎).

温暖化のためか最近の調査では, 夏季の最高水温が 25°C を超すような水域にも, 在来 (天然) のアマゴの生息が確認されている (Tsuboi et al. 2013). 同じサケ科魚類であるイワナ *Salvelinus leucomanis* が生息する水域では, 上流域にイワナが, 下流域にアマゴが分布する. ただし, 同じ水系でもイワ

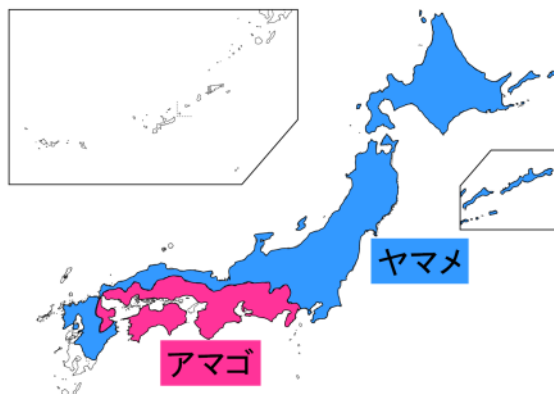


図 2. サツキマス・アマゴの分布域.



図 3. アマゴの稚魚.



図4. アマゴの成熟雄(上), 成熟雌(中), 当歳魚の成熟雄(下).



図5. スモルト化したアマゴ.

ナがない河川では、最源流にまでアマゴが分布し、時には標高 1500m を越えるような場所でもアマゴが棲んでいることもある。

繁殖期は 10~11 月で、他のサケ科魚類同様、河川の砂礫底に雌が産卵床をつくる。産卵床中で孵化した仔魚は、稚魚期までの 3~4 ヶ月間を産卵床内で過ごし、春に浮出する。浮出した稚魚は岸寄りの浅く流れの緩い場所でソコミジコなどの小型の水生動物を食べ成長する(図 3)。夏には数センチに成長し、成魚と同じ流芯部に進出する。その後はカゲロウやトビケラなどの水生昆虫や流下する陸生昆虫が主な餌となる。一部の雄は当歳魚の秋に成熟するが(図 4)、通常、雌雄ともに 1+歳(2年魚)で成熟する。アマゴは初回の成熟後の死亡率がイワナと比べると高く、翌年も繁殖に参加するものは少ない。

当歳魚のうち 11 月になるとスモルト(銀毛)化する個体が出現する。スモルト化する個体には雌が多い。あまり知られてはいないが、秋を中心にスモルト化するサケ科魚類はとても珍しく、世界でサツキマス・アマゴのみの特徴である。治山ダムによって隔離されたエリアでも、稀にスモルト化した個体が観察されるため(図 5)、アマゴの分布域すべてでスモルト化する個体が出現すると考えられる。スモルト化した個体は、彼らにとって適水温となる 1 月から 4 月にかけて海で生活し、イカナゴやカタクチイワシを飽食して急成長する。サツキの花が咲く 5 月頃、全長 25~50cm に成長したサツキマスが川に戻ってくる(図 6)。秋が近づく頃には婚姻色を呈する(図 7)。しかし、サツキマス・アマゴの降海様式は多様である。スモルト化した個体は、長良川ではシラメと呼ばれているが、なかには中下流域までしか降らず、水温の上昇とともに上流域に戻ってくる「もどりシラメ」と呼ばれる個体も存在する。このようにサツキマス・アマゴでは、同じ個体群内に生活史

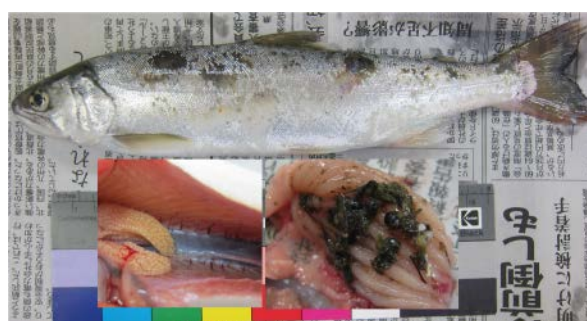


図6. 2012年5月22日富士川(河口から約60km地点)で釣り人によって捕獲されたサツキマス(全長26.1cm)。表皮のグアニン層の下に朱点がみとめられる。身の色は鮮やかなサーモンピンクであり、胃内容物は水生昆虫がわずかにみられる程度で、ほぼ空胃であった。



図7. 婚姻色が鮮やかなサツキマス(撮影: 森田健太郎)。

多型が存在すると推測される。広島県を流れる太田川で捕獲されたサツキマス 27 個体を対象に、耳石のストロンチウム / カルシウムの比から降海履歴を調査した事例では、1 月から 6 月を海で過ごす個体が多いものの、2 個体は汽水域、1 個体は河川下流域で過ごした後、遡上していたこと

が明らかにされている（海野ら 2001）．今後、他水系におけるサツキマス降海様式に関する知見の蓄積が期待される．

資源と利用

アマゴは溪流釣りの対象として人気が高い．筆者が自然河川で釣り実験（水生昆虫を用いた餌釣り）を行ったところ、イワナでは当歳魚を除く生息尾数の 17.9% が釣れたのに対し、アマゴでは 10.8% であった（Tsuboi and Endou 2008）．イワナと比べると警戒心が強く、釣りの相手としてはかなり手強いといえる．「五月アマゴにアユ適わず」と言われるほど美味な魚でもある．特に、炭火で焼いた旬のアマゴは格別である．アマゴは遊漁資源として種苗放流が積極的に行われており、資源状態は比較的安定しているといえる．一方、過去に放流履歴の無い在来個体群（天然魚）の生息状況は危機的である．筆者が富士川で行った研究では、潜在的な生息域（流程）のうち、現在も在来個体群の生息が確認されたのはわずか 0.7% であった（Tsuboi et al. 2013）．また、残された個体群も堰堤による生息地の分断化、河畔林の伐採、釣り人による乱獲により、絶滅寸前の河川もあった．ある河川を対象としてシミュレーションを行ったところ、①堰堤 1 基のスリット化でより大きな個体群として保全し、②キャッチアンドリリースなどによる雌親魚の保護することで、絶滅リスクを 5% 以下にすることができると推定された（Tsuboi et al. 2013）．

サツキマスの資源状況はアマゴよりも危機的である．戦後間もない頃は、東海地方以西の多くの府県で「マス」の漁獲が記録されており（田口 1976）、アマゴが生息する川であれば、どこでもサツキマスがみられたと推測される．岐阜県では 1948 年に 85.3 トン（22,736 貫）のマスの漁獲があり、長良川、木曽川、揖斐川では相当数のサツキマスが漁獲されていた．しかし、現在はこれら 3 水系での漁獲量はわずか 3 トン程度で、1 個体 600g と換算しても 5000 個体の漁獲量しかない．これは、河口堰や頭首工など、河川の下流域にサツキマスの遡上障害ができたことによるものと考えられている（水口 2010）．つまり、産卵場所までたどりつける個体数や産卵場所が減った結果、資源が激減しているといえる．また、後述するとおり種苗放流による増殖が極めて困難であるため、河川環境の改善が資源回復への一番の近道である．幻の魚になりつつあるサツキマスは大変美味で、刺身は舌の上でとろりととろけるほど、らしいが、筆者は食べたことがない．将来、資源が回復したら、ぜひこの手で釣って、食べてみたい．

保全・増殖手法

アマゴ

溪流釣りの対象として人気の高いアマゴは、昭和 40 年代に養殖技術が確立され、現在でも発眼卵、稚魚、成魚といった様々なステージで種苗放流が行われている．最近では、産卵期に成熟した養殖アマゴを放流し自発的に産卵させる「親魚放流」という手法が開発された（徳原・岸 2013）．親魚放流は、①発眼卵放流に比べ作業量が少ない、②アマゴ自身が最適な産卵場所を探すため放流場所の選定ミスが少ない、③孵化時期がより野生魚に近くなるといった複数の長所があげられる．親魚放流は、ヤマメでも注目されており、全国的に広まりつつある増殖手法である．岐阜県では、2014 年 1 月 1 日より義務増殖の一手法として認定された．一方、昭和の時代から 10 世代以上にわたり「家魚化」された種苗では、放流後の生残率が低いことが最近の研究で明らかになってきた．そこで、岐阜県河川環境研究所では、継代飼育されているアマゴの雌に天然アマゴ雄を交配させた「半天然魚」を生産したところ、従来の養殖継代魚よりも警戒心が強くやや育てにくい傾向があるため、生産コストは従来比で最大 1.5 倍程度かかることが明らかになった．一方、放流後の生残率は平均で 2 倍以上高かった（徳原・岸 2011）．イワナでも放流後の半天然魚の生残率が養殖継代魚よりも高いことが明らかにされており（中村 2013）、今後は野性味の強い種苗生産が一つのキーワードになるだろう．また、堰堤等で産卵遡上が妨げられており、産卵に適した底質が無いような河川では、人工産卵場（中村 2008）や人工産卵河川（中村ら 2007; 熊田 2008）の整備が有効な増殖手法となり得る．

サツキマス

これまでスマルト化したアマゴやヤマメの種苗放流が盛んに行われてきたが、種苗放流のみによる増殖は極めて困難であると考えられている．「サクラマスのまもり方・ふやし方」（2010）にも明記されているとおり、元々その川にいる魚を大事に育み、増やしていくことが何より大切である．岐阜県ではサツキマスについても半野生魚（スマルト化した成熟雌×野生アマゴ雄）の標識放流試験が行われている．こちらは、純天然魚ではなく、過去に養殖魚の放流履歴があるものの、現在は放流されておらず野生化した個体群から雄を採捕し、人工授精に利用しているため、半天然魚ではなく半野生魚という俗称がつけられた．木曽川下流域で放流されたスマルト化した半野生魚の翌春の帰率は、継代養殖魚の 2~15 倍程度良いという結果が得られている（大原 2013）．しかし、木曽川で漁獲されるサツキマスおよそ 0.5 トンのうち、

標識された放流魚の割合は多くても10%未満という。標識率を勘案しても、相当数の野生魚が含まれていると推測される。つまり、半野生魚をもってしても、野生魚による再生産には到底かないそうにない。サツキマスの資源回復は、遡上した親魚にいかにも産んでもらうかにかかっている。そのためには、産卵遡上をできる限り妨げないよう、堰堤のスリット化や、簡易的なものも含め魚道の整備が必要不可欠である(独立行政法人水産総合研究センターさけますセンター 2010)。サツキマス資源再生の原動力は、サツキマスが故郷の川を共有するかけがえのない生きものだという流域住民の思いである。

参考文献

- 独立行政法人水産総合研究センターさけますセンター. 2010. さくらますのまもり方・増やし方. さけますセンター. <http://salmon.fra.affrc.go.jp/zousyoku/2009sakura/2009masusalmon.pdf>.
- 藤井 真. 2008. 常呂川におけるサクラマス(ヤマメ)とアマゴの遺伝的攪乱について -第2報-. 育てる漁業, 427: 3-5. (<http://www.saibai.or.jp/sodateru/sodateru427.pdf>)
- 熊田泰幸. 2008. 地域との協同による人工産卵河川整備. 関東地方整備局富士川砂防事務所. <http://www.mlit.go.jp/chosahokoku/h20giken/program/kadai/pdf/ippan/ippan4-02.pdf>.
- 水口憲哉. 2010. 桜鱒の棲む川. フライの雑誌社. 東京. 189 p.
- 中野繁・田口茂男・柴田勇治・古川哲夫. 2002. サツキマス・アマゴ. 川那部浩哉・水野信彦・細谷和海(編), 山溪カラー名鑑 日本の淡水魚 3版. 山と溪谷社. 東京. pp. 169-179.
- 中村智幸. 2008. 溪流魚の人工産卵場のつくり方. 水産庁. <http://www.jfa.maff.go.jp/j/enoki/pdf/jinko6.pdf>.
- 中村智幸. 2013. 溪流の天然魚を守ろう. 水産庁. <http://www.jfa.maff.go.jp/j/enoki/pdf/keitennnen.pdf>.
- 中村智幸・高橋剛一郎・谷田一三・太田猛彦・徳田幸徳. 2007. 溪流魚の人工産卵河川のつくり方. 国土交通省北陸地方整備局神通川水系砂防事務所. <http://www.hrr.mlit.go.jp/jintsu/study/panf/keiryu/pdf/sanko.pdf>.
- 大原健一. 2013. 回帰率の高いサツキマス種苗の開発. 河環研だより, 23. (<http://www.fish.rd.pref.gifu.lg.jp/kakanken-dayori/pdf/23-1310.pdf>)
- 田子泰彦. 2003. 愛しきアユ, サクラマス, そして川へ. 美巧社. 東京. 293 p.
- 田口喜三郎. 1976. 太平洋産サケ・マス資源とその漁業. 恒星社厚生閣. 東京. 390 p.
- 徳原哲也・岸 大弼. 2011. 原種を活用した種苗生産技術の開発. 農林水産省. http://www.library.maff.go.jp/ITAKU/2010/60100161/60100161_12.pdf.
- 徳原哲也・岸 大弼. 2013. アマゴ・ヤマメの親魚放流の方法. 岐阜県河川環境研究所. <http://www.fish.rd.pref.gifu.lg.jp/gijutsu/shingyo-horyu/130213-shingyo-horyu.pdf>.
- Tsuboi J., Endo S. 2008. Relationships between catch per unit effort, catchability, and abundance based on actual measurements of salmonids in a mountain stream. Transactions of the American Fisheries Society, 137: 496-502.
- Tsuboi J., Iwata T., Morita K., Endou S., Oohama H., Kaji K. 2013. Strategies for the conservation and management of isolated salmonid populations: lessons from Japanese streams. Freshwater Biology, 58: 908-917.
- 海野徹也・清家 暁・大竹二雄・西山文隆・柴田恭宏・中川平介. 2001. 耳石微量元素分析による広島県太田川サツキマスの回遊履歴の推定. 日本水産学会誌, 67: 647-657.

さけます情報

北太平洋と日本におけるさけます類の資源と増殖

ひらばやし ゆきひろ

平林 幸弘 (北海道区水産研究所 業務支援課)

2012年の北太平洋

漁獲数

2013年のNPAFC科学調査統計小委員会(CSRS)における各国の報告によると、2012年1-12月の北太平洋の漁獲数は4億6,482万尾で、前年6億696万尾の77%でした(図1A)。

これを魚種別に見ると、カラフトマスが最も多い3億624万尾で全体の66%を占めていますが、前年比では67%と減少しました。次いでサケが9,652万尾(構成比21%,前年比113%)、ベニザケが5,448万尾(構成比12%,前年比98%)と続き、これら3魚種で全体の98%以上を占めています。ギンザケとマスノスケは、それぞれ567万尾(前年比94%),147万尾(前年比98%)となりました(図1A)。地域別では、ロシアが2億8,758万尾と最も多く、以下、アラスカ州1億2,740万

尾、日本4,410万尾、カナダ301万尾、WOCI(ワシントン、オレゴン、カリフォルニア、アイダホ州)270万尾、韓国4万尾と続いています(図1B)。

人工ふ化放流数

2012年1-12月に各国から人工ふ化放流された幼稚魚数は50億2,995万尾でした(図1C)。前年の45億1,226万尾より約5億尾多くなっていますが、この差は主に、前年放流数に日本の本州太平洋分が含まれていないために生じたものです。

魚種別ではサケが30億9,164万尾で6割以上を占め、これに次ぐカラフトマス13億4,896万尾と合わせると全体の9割近くを占めます(図1C)。地域別では日本が17億9,261万尾、アラスカ州16億7,097万尾、ロシア9億1,629万尾、カナダ3億1,255万尾、WOCI3億2,783万尾、韓国971万尾となっています(図1D)。

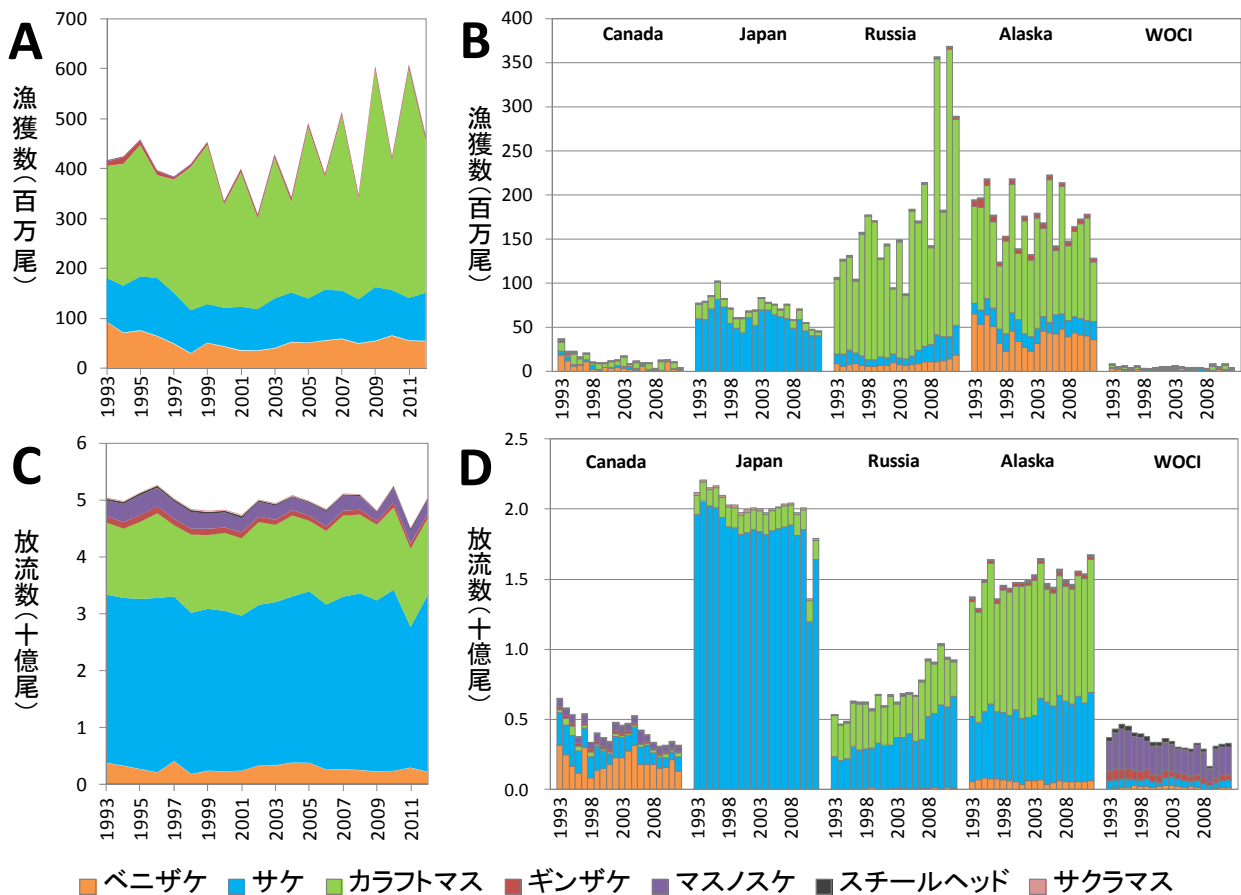


図1. 北太平洋におけるさけます類の魚種別漁獲数(A)、地域別魚種別の漁獲数(B)、魚種別人工ふ化放流数(C)及び地域別魚種別の人工ふ化放流数(D)。1993-2010年は「NPAFC Statistical Yearbook」による確定値。2011年以降はNPAFC年次報告等で示された暫定値。1998年までのロシアにはEEZ(排他的経済水域)で他国が漁獲したものを含む。WOCIはワシントン、オレゴン、カリフォルニア、アイダホ州の合計。韓国は他国に比べ漁獲尾数・放流尾数ともわずかなため図中では省略している。

2013 年度の日本

サケ

2013 年度の来遊数（沿岸漁獲と河川捕獲の合計）は 12 月 31 日現在で 5,185 万尾、前年度同期比 114% となっています（図 2）。近年の来遊数は 2004 年度から減少傾向を示し、2010-2012 年度は 4,000 万尾台が続いていましたが、2013 年度は 4 年振りに 5,000 万尾を上回りました。総採卵数は 12 月 31 日現在で 20 億 3,145 万粒、前年同期の 111% となっています。北海道では計画を満たす採卵数、本州でも計画まで数%を残す程度の採卵数が確保されており、全体の放流数も計画（約 17 億 2,400 万尾）と同等数になるものと見込まれます。

カラフトマス

主産地の北海道における 2013 年度来遊数は 325 万尾で前年度比 147% でした。カラフトマスは来遊数が隔年で変動する特徴があり、2003 年度以降、奇数年は豊漁年、偶数年は不漁年にあたります。2013 年度は豊漁年の年回りとなりますが、近年の豊漁年の中では最も少ない来遊数になりました。総採卵数は 1 億 4,138 万粒で計画数の 83% に留まり、放流数も減少するものと見込まれます（図 3）。

サクラマス

2013 年度の北海道における河川捕獲数は 6,766 尾で前年度比 82% となりました。2000 年度以降の捕獲数に大きな年変動が見られ、今年度は前年に続き、比較的少ない捕獲数でした。採卵数は 667 万粒で計画数を充分満たす数となりました。なお、2011-2013 年度の本州河川捕獲数については現在確認中です（図 4）。

ベニザケ

2013 年度の北海道 3 河川（安平川・静内川・釧路川）における河川捕獲数は 361 尾で前年度比 52% となりました。

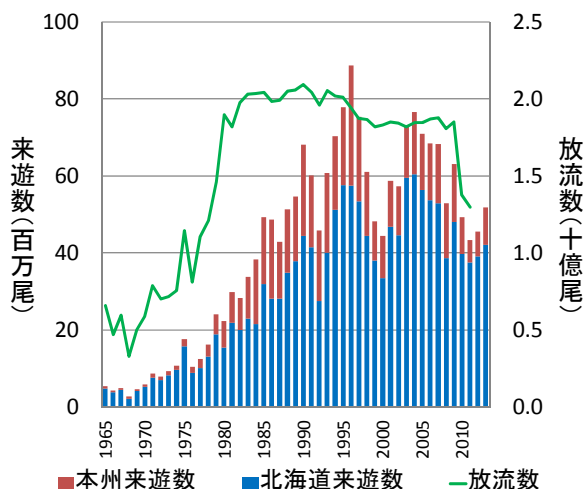


図2. 日本におけるサケの来遊数と人工ふ化放流数. 2013 年度来遊数は12月31日現在. 2010-2011年度放流数は岩手、宮城県を含まない.

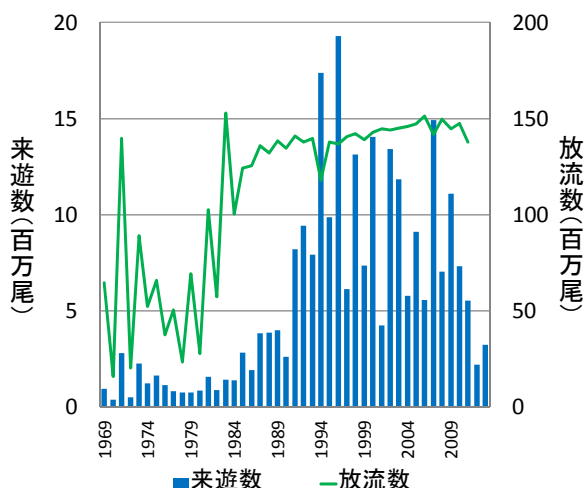


図3. 日本におけるカラフトマスの来遊数と人工ふ化放流数.

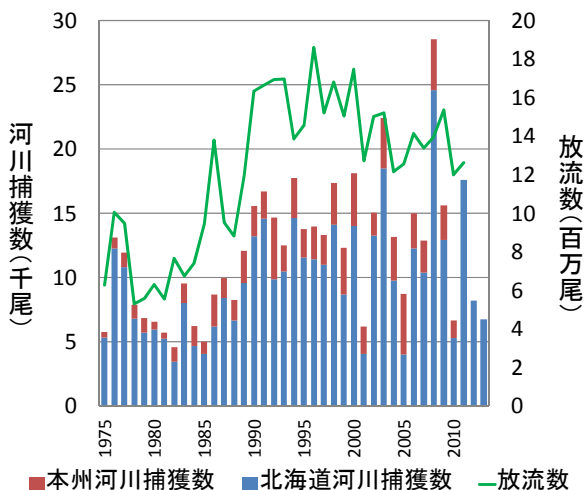


図4. 日本におけるサクラマスの河川捕獲数と人工ふ化放流数. 2011-2013年度の本州河川捕獲数は確認中.



北海道 日高山脈と十勝川（河東郡音更町十勝川温泉付近より）

発行：独立行政法人水産総合研究センター

編集：独立行政法人水産総合研究センター 北海道区水産研究所

〒062-0922 北海道札幌市豊平区中の島2条2丁目4-1

TEL 代表 011-822-2131 業務支援課 011-822-2161

FAX 代表 011-822-3342

URL <http://hnf.fra.affrc.go.jp/>

E-mail www-hnf-info@ml.affrc.go.jp

執筆：水産総合研究センター 北海道区水産研究所，本部，東北区水産研究所，
日本海区水産研究所，増養殖研究所，西海区水産研究所

SALMON 情報 編集委員会

安達宏泰(委員長)，江連睦子，平林幸弘，佐々木 系，矢野 豊，中島 歩，森田健太郎

本誌掲載記事，図，写真の無断転載を禁じます。
