

2. 種苗生産・増殖技術に関する研究

1) サクラマス

(1) 国における取り組み

① サクラマス増殖研究の流れ

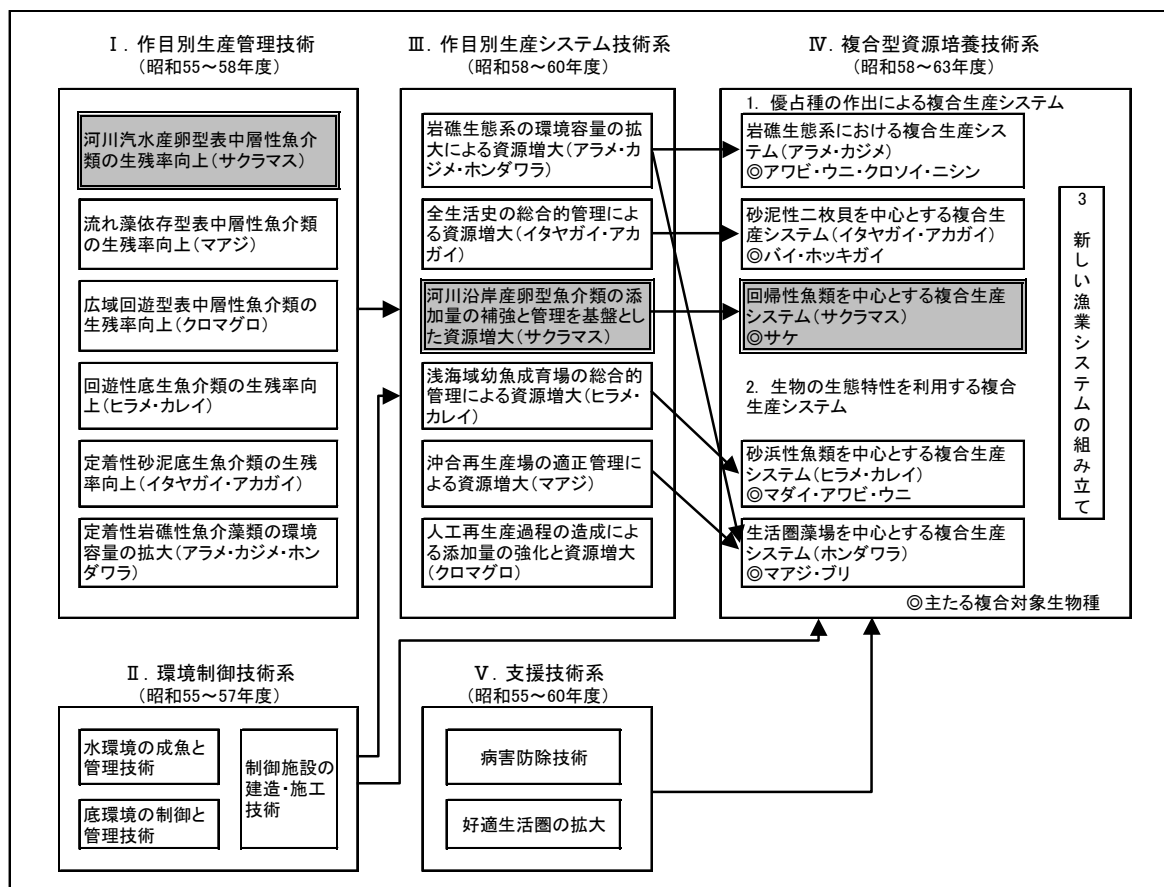
わが国における初めてのサケマス人工ふ化試験は、1877年（明治10年）に那珂川において採取したサケとサクラマス卵によるもので¹⁾、翌年には北海道でも両魚種のふ化試験が始められたと記録されている²⁾。サクラマスの増殖の試みはサケ同様にその歴史は古い。

サクラマスのふ化放流が事業として始められた1880年代後半から1960年代までは浮上直後の無給餌稚魚が放流されてきた。しかし、サケの資源量が近年著しく増加したのとは対照的にサクラマス資源が低位の状態にあることは、生息環境の損なわれた河川へサケ稚魚と同じような放流方式を繰り返しても効果的でなかったことを示している。

サクラマス資源を対象とした調査研究は、沖合生活期については日本海マス漁業の資源管理のための調査船調査が国の計画に基づいてカラフトマスとともに行われてきた（別項）。しかし、淡水生活期については、地域性の強い内水面漁業の対象種として位置付けられていたため、国が関与する広域的・体系的な調査研究体制の構築は遅れていた。サケとカラフトマスは北太平洋を広範囲に回遊して、わが国の河川に戻ってくるのに対し、サクラマスは漁業対象となる大きさとなつてからの海洋での回遊域がわが国の沿岸周辺に限られること、そして河川では幼魚（ヤマメ）を対象とした遊漁が広く行われていることによって、国が積極的にサクラマス資源の増殖に関与する環境が作られ難かったといえよう。

ところが、国連海洋法条約の締結によりわが国の遠洋漁業は世界の海から締め出されることとなり、1976年（昭和51年）には欧米各国や旧ソ連（ロシア）が200海里漁業専管水域を設定し、実質的に北太平洋におけるサケマスの沖合漁業にも終止符がうたれることになった。わが国を取り巻くこのような漁業形態の変化に対応するため、国としては海外で失われる漁獲量に見合う分を、わが国の200海里内で増大を図ろうと考え、農林水産省は1980年（昭和55年）から9年間にわたり「マリーンランチング計画」（近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究）という名称のプロジェクト研究を実施することになった（図IV-5）。その対象種としてはわが国の周辺で生産される中高級魚介類として、クロマグロ、マアジ、ヒラメ・カレイ、イタヤガイなどが取り上げられ、サクラマスも対象種の一つに選ばれた³⁾。

これに先立ち、昭和52年から56年までの5年間、日本系サケ資源を増やすため農林水産技術会議によるプロジェクト研究「遡河性サケ・マスの大量培養技術の開発に関する総合研究（サケ別枠研究）」が実施され、その成果を導入した人工ふ化放流事業の推進により、回帰資源量が増え始めていた。このプロジェクトで開発されたサケの増殖技術と資源管理の方式が注目されていたことから、同じサケマスの仲間でも国内に広く分布している魚種であるにもかかわらず、資源量が低迷していたサクラマスの増殖技術の開発研究に期待が集まっていた。



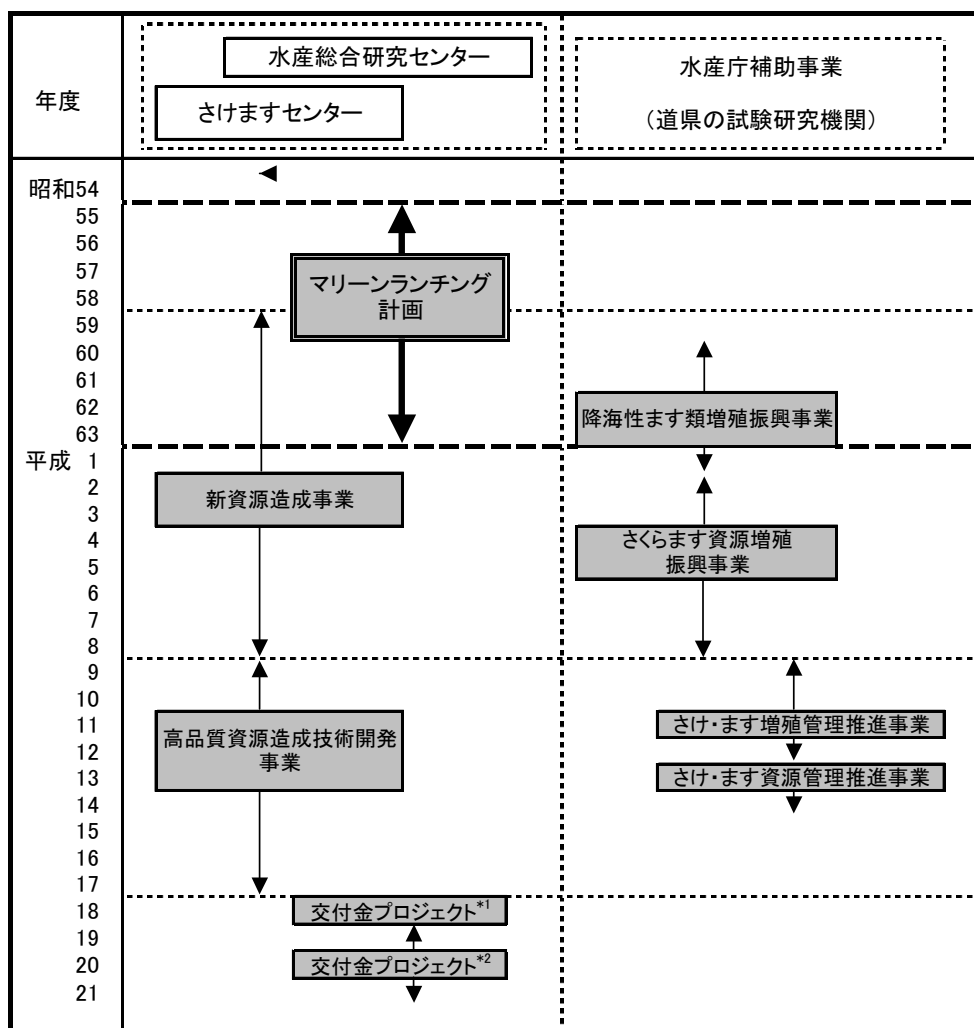
図IV-5 「近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究（マリーンランディング計画）」の研究体系

マリーンランディング計画の中で、サクラマスは河川汽水産卵型表中層性魚介類のモデル魚種として取り上げられ、このプロジェクト研究のスタートに先だつ事例解析において、わが国でサクラマス資源を回復させるには、降海型種苗を生産して放流するスモルト放流が最も有効であると判断された^{3),4)}。降海期に合わせるスモルト期の放流により、規模の小さなわが国の河川の生産力に依存することなく、資源への添加効果を高めることが可能と考えられたのである。このため、それまで行われてきた稚魚期の放流とは異なる種苗生産のための技術開発が求められることになった。

サクラマスに関する研究課題としては、最初の3年間（I期）には「種苗の早期育成技術」と「好適系群の育成技術」の2つの中課題、II期では第I期で得られた成果をもとに、「大規模放流による実証試験」と、「モデル河川及び海域における管理技術」の2課題、III期では「回帰性魚類を中心とする複合生産システム」が掲げられた⁵⁾。I期のスタートに当たっては、支援技術系の研究課題の1つとして病害防除技術の開発も組み込まれた。

また、時期を同じくしてサクラマス資源を増大する計画が、1980年代半ばに国（水産庁）や地方自治体によってスタートした⁶⁾。これらの計画に共通することは、降海型幼魚（スモ

ルト)を大量に生産し、降海期に合わせて放流する「スマルト放流」をその増殖手法として
 いることである。水産庁北海道さけ・ますふ化場(水産総合研究センターさけますセンター
 の前身)では、1984年(昭和59年)にサクラマスとベニザケのスマルト放流の事業化に向
 けた、新資源造成事業という技術開発試験が始められた⁶⁾。1997年(平成9年)からは高品
 質資源造成技術開発事業と名称を変えて、実証放流試験の充実を図ってきた。また、本州各
 県では水産庁の補助事業として、降海性ます類増殖振興事業(昭和59年～平成元年)、さく
 らます資源増殖振興事業(平成2～8年)が実施され、統一した計画に基づいた調査研究に
 より、サクラマス資源増大に向けた知見の集積が図られた(図IV-6)。



図IV-6 マリーナランチング計画の実施とサクラマス資源増大関連調査研究への取り組みの流れ(国費が投入されたもの)

*1: 水産総合研究センター一般交付金プロジェクト研究「本州さくらます資源再生プログラムの開発(18FS)」
 *2: 水産総合研究センター一般交付金プロジェクト研究「河川の適正利用による本州日本海域サクラマス資源管理技術の開発」

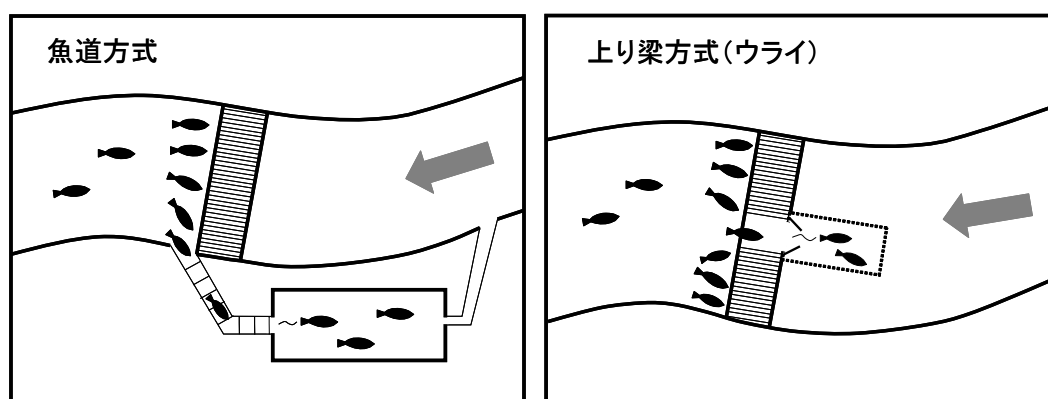
② 遡上親魚からの種苗生産技術

沿岸漁業資源としてのサクラマスを増やすために行われる種苗放流(人工ふ化放流)には、明治年間から100年余りの歴史を持つ河川遡上親魚(遡上系サクラマス)から種卵を採取する方式と、池中養成した飼育親魚(池産サクラマス)から採卵して、放流用種苗を生産する2方式がある。ここでは前者の遡上系サクラマスを用いた種苗生産技術の概要と、関連技術の開発研究について述べる。

ア. 採卵用親魚の採捕と成熟期までの蓄養

サクラマス親魚は春の融雪時期に母川回帰する。増水時に河川遡上することの多い回帰親魚を下流域で採捕することが難しく、さらに、これを産卵期の秋まで長期間(4~6ヶ月間)人工管理下で保持することが難しい。そのためサクラマスの人工ふ化事業を行うとき、安定的な種苗確保が課題となってきた。完熟間近な段階で上流部の支流などへ移動するときに、親魚を採捕することが可能であれば、成熟まで人為的に管理する期間が短縮される。しかし、本流に好適な越夏場を欠く中小河川では、上流域に分散移動する前の春季から初夏にかけて下流域で一括採捕せざるを得ない。

親魚採捕時期は、地域により、採捕しようとする位置により異なるが、下流域では春季(3~4月)から初夏(6~7月)まで、完熟期では8月下旬から10月までである。採捕方法はサケと同様で、河川を格子や網で遮断して遡上魚をトラップ(捕獲槽)に追い込む方式(上り梁式、ウライ方式)や、遡上路が断たれた親魚を魚道で蓄養池に導く魚道方式などが実施されている(図IV-7)。魚が滞留する遡上障害物の直下流などでの曳網や刺網を行うこともあるが、親魚に損傷やストレスを与えやすいので他の方法がとれない時に限って行われる。



図IV-7 河川遡上サクラマス親魚の採捕方法

サクラマスの遡上行動は河川流量の増加時に活発化する⁷⁾。特に、秋の遡上時には、台風などの影響を受けた大雨による増水を利用して産卵場まで一気に遡る(図IV-8)。このため、河川を横断する親魚捕獲施設は遡上量が増える時に水をかぶりやすく、時には流失を招き、安定した親魚採捕が困難となる。スマルト化するまで池中飼育して、池の中から川に注ぐ水路に放流した場合には、回帰親魚は成熟に伴って放流場所まで正確に戻ってくるため効率良

く採捕できる⁸⁾。



図IV-8 北海道日本海側の尻別川におけるサクラマス親魚の採捕
産卵期のサクラマスは写真のように河川が増水した時に遡上活動が活発化する。

春季の遡上親魚はウロコが剥がれやすく、脱鱗部位に水カビが繁殖することによる生理障害や、ストレスを受けることにより成熟前に斃死する個体が多い。長期蓄養のための試験は古くから行われてきたが⁹⁾、可能な限り人手に触れないような親魚の取り扱い、蓄養池中に向流性を生じさせない池の底面からの吹き上げ注水、光を遮る日覆いの設置などが生存率向上には有効である¹⁰⁾。なお、回帰親魚は河川遡上前にエネルギーを体内に蓄積しているため、蓄養期間中は絶食条件でもかまわない。

イ. 採卵・受精

熟度選別から始まる採卵・採精、媒精、吸水までの工程はサケとまったく同じである。河川遡上した親魚は雌雄共に成熟後は死亡するので、雌魚からの卵採取は切開法で行われる。なお、大型の遡上雄が不足することが予測される場合には、河川残留型の成熟雄魚の精子を用いることもある。平均孕卵数（2001～2004年の4ヶ年平均）は、雌親魚の平均尾叉長が40～45cmの斜里川で1,554粒、55～60cmの尻別川で3,613粒と親魚のサイズにより大きく異なる¹¹⁾。

ウ. 卵・仔魚管理

受精卵の管理方法もサケと同様である。サクラマスは自然界では河川水が良く透過するところを産卵場所として選択するため¹²⁾、水温の日変化と季節変化が大きい。しかし、一般のふ化場ではふ化器には清澄な地下水を用いることが多い。

卵の発生速度は使用する水温で異なるが、北海道の平均的な地下水温である8℃の場合、サクラマス卵の受精からふ化までの積算温度は450℃前後でサケより少し低い。産卵時期がサケに比べて早いにもかかわらず、通常はサケを対象としたふ化用水（地下水）で卵期から仔魚期までを飼育するため、河川での遊泳生活に移行する浮上時期が天然稚魚に比べて早期

化する。

サクラマスの上りまでの積算温度は約 $900^{\circ}\text{C}^{13)}$ であるため、9月中旬に採卵され湧水管理された場合には110～115日後の1月上旬には遊泳生活を始めることになる。北海道の中南部で同時期に自然産卵されたサクラマス稚魚の上りは、その盛期が4月から5月にかけてであるから、人工ふ化稚魚の上り時期は3～4カ月も早い。上り時期を遅らせて自然界に合わせるため、発眼後に河川水に切り替えることも試みられている。

ふ化後の仔魚は砂利やその代替え品を敷き詰められた水深の浅い池（養魚地）に移し替えられ、注水量のコントロールと遮光により安静に保たれる。

エ. 放流用種苗の飼育

サクラマスの人工ふ化放流事業において、1960年代までは上り直後の無給餌稚魚をふ化場の池から直接河川に降下させて放流してきた。近年では、後述するように河川の生産力を有効利用させるための稚魚期の分散放流や秋季の未分化幼魚放流、そして河川生産力に依存せず高い回帰効果を期待するスマルト放流、これら3つの方式を河川毎に異なる生育環境に応じて組み合わせながら放流されている。従って、これら放流時期（季節）までそれぞれ異なる期間の給餌飼育が行われる。

上り稚魚は水深の浅い仔魚地から飼育専用の池に移される。給餌初期はマッシュ（微粉末）の飼料を回数多く与えながら1週間ほどかけて馴らす。その後は徐々にクランブルに替えていくが、サケに比べ魚体が小さく警戒心も強いので馴らすのに時間がかかる。馴れた後は一日3～6回に分けて給餌するが、回数を少なくして一度の給餌時間を長くして、まんべんなく餌を行き渡らすことにより成長の個体差を少なくすることができる。

放流用サケ稚魚への短期飼育は、ニジマスで開発された乾燥配合飼料を用いて1970年代から始められたが、サクラマスについても稚魚期に放流するものには同様の飼料を1～2ヶ月間与えてから放流する。秋季未分化幼魚放流やスマルト放流に向けた種苗生産の飼育にもニジマス用ペレットが転用されている。

放流用種苗の飼育は自然界での幼魚の成長に合わせるものが基本となる。しかし、限られた飼育条件のもとで出来るだけ大量の幼魚を生産するためには、河川残留型幼魚の出現を抑制しながら、スマルト化率を高めるための成長コントロールや、スマルト化サイズを小型化するための技術開発が求められてきた。

スマルト化に必要な最小サイズは、北海道日本海沿岸南部のサクラマスの場合は、スマルト放流や秋季放流の実証試験の結果^{14),15)}、そして尻別川支流目名川での幼魚の成長様式から、飼育条件下では11月までに少なくとも体長8～9cm以上に達していることが必要と判断された。また、0年魚での雄魚の成熟は7月下旬までに体長7cm以上に成育することを1つの条件として引き起こされることが知られている¹⁶⁾。このため、スマルト化に必要な最小サイズより大きくするための成長促進と、雄魚の若齢成熟を起こさせない成長抑制という、相反する成長制御を組み合わせることにより、高いスマルト化率が期待できる。

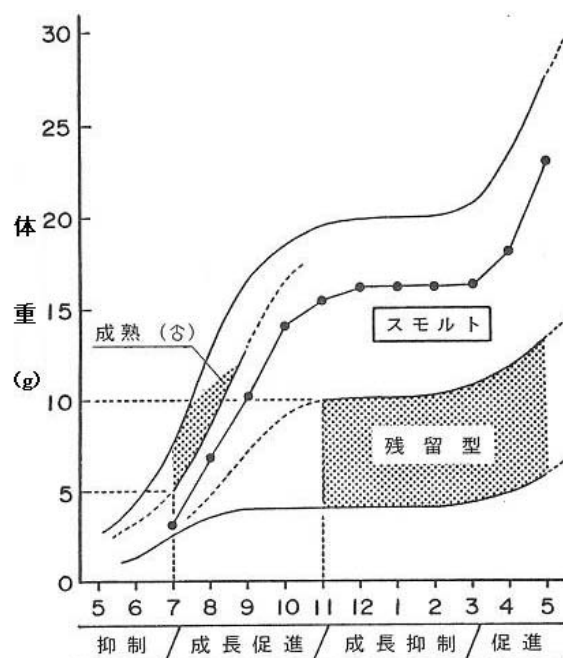
発育初期の成長抑制は、卵・仔魚期の発生コントロール（遅延化）や給餌飼育初期の水温調節や給餌量の調整で行なわれる。卵・稚仔魚期に5～6℃の低水温でふ化管理される尻別

川産の種苗は、0年魚での成熟率が10%以下と低く^{17,18)}、この時期の成長抑制が有効であることを示している。

一方、冬季の飼育にも成長抑制が必要とされる。自然界での越冬期(11~3月)の河川水温は5℃以下で、厳寒期には0℃まで低下する。しかし、これより高い水温で飼育することの多い人工飼育魚の場合には、この間にも少なからず成長を続け、1年魚としての成熟に向けての生殖腺の肥大が始まることある¹⁷⁾。冬期間の成長抑制には、幼魚の健康度の低下を防ぐためにも、給餌量の調節よりも水温の低下による代謝量の低下が好ましい。池中飼育でこれらの条件を満たし、高率に1年魚のスモルトを作出するための1つのモデル的な成長パターンを図IV-9に示した。このためには、以下の4期の成長コントロールが必要である。

- (1) 浮上から7月までの成長抑制(7月末で体長7cm、体重5g以下)
- (2) 夏季間の成長促進(11月までに体長9cm、体重10g以上)
- (3) 冬季間の成長抑制
- (4) 降海期に向けての春季の成長促進

この成長様式を応用してのスモルト生産は、北海道のふ化場において事業レベルで実施され、無選別飼育でも85~90%のスモルト化率が得られることが確かめられている¹⁹⁾。適切な時期の魚体サイズの選別作業を併用すれば、90%以上の値を得ることも可能と思われる。ここに示した成長パターンは、北海道南部の河川産(尻別川など)幼魚の成長に合わせたものである。スモルト降海期が約1カ月遅い北海道東部地区の河川産幼魚では降海前の春季の成育期間が長く、この時期に成長可能なため越冬期前の必要最小サイズがこれに比べて小さい。このため、環境条件の異なる地域毎に成長パターンモデルを作成する必要がある。



図IV-9 北海道南西部の河川産サクラマスで降海型幼魚(スモルト)の出現率を高めるための成長コントロール模式図

黒丸を伴う曲線は、飼育の目安として用いる平均魚体重の成長曲線

オ. 病気と対策

長期飼育で最も大きくそして深刻な問題となるのは、魚病や事故による大量への死で、計画的な放流を困難にし、資源の安定化が阻害される。病魚はたとえ放流されても海水移行時のストレスに弱く、降海時に大きく減耗すると考えられるし、天然魚への汚染の拡大の恐れもある。サクラマス魚病の中にはウイルス性疾病の IHN や細菌性疾病の BKD のように有効な治療法がなく、現時点では発生を予防する以外に対処法がないやっかいなものもある。

原虫性疾病としては、鞭毛虫類イクチオポド、繊毛虫類のキロドネラやトリコジナなどの原虫が鰓や体表に寄生することによって引き起こされる。従来、使用されてきた薬品が使用禁止となったため、有効な使用法が検討されている。いずれも飼育密度の低下や換水率を高めることにより、飼育環境を良好に保つことで寄生数の増加防止に有効である²⁰⁾。

③ サクラマスの放流技術開発の歴史

ア. 無給餌稚魚の放流

わが国のサクラマス人工ふ化放流はサケの放流が始められた 1880 年代から行われてきた。しかし、1960 年代まではサケやカラフトマスと同じように、浮上直後の小型の稚魚を無給餌で、ふ化場の池から早春（2～4 月）の河川に直接降下させていた。融雪期に低水温の川に放された小型稚魚の生残率が低かったことは容易に想像できる。各河川固有のサクラマス資源のほとんどは、自然産卵によって再生産が繰り返され、維持されてきたといっても過言ではないだろう。

1960 年代になると、1～2 カ月間の短期飼育後に放流されるように変わった。しかし、この放流方法は、サケやカラフトマスの稚魚のように放流直後に降海する魚種に用いられている方法と同じで、これら 2 種の資源量が近年急激に増加したのとは対照的に、サクラマス資源は低位の水準のままである。成育環境の損なわれてきた河川へ従来と同様の放流を繰り返しても効果的でないことを示している。

このような河川環境下で資源培養を図る方法の一つとして、河川生活期に相当する期間を通して人為的に飼育管理し、降海型の幼魚（スマルト）を生産して、降海適期に合わせて放流することにより、回帰効率を高めようという技術開発が進められてきた⁵⁾。

欧米では、長期間の河川生活の後に降海するサケマス類を人工ふ化放流するときには、スマルト期の放流が主流となっている。米国では 1960 年代初めにギンザケとマスノスケの放流方式の主体をスマルト放流に代えてからその増殖効率が向上した^{21),22)}。北欧のタイセイヨウサケでも 1950 年代初めにすでにこの方法が定着していた^{23),24)}。わが国でも 1970 年代からサクラマスに近縁なアマゴの降海型幼魚の生産と放流方法の技術的検討が精力的に行われていた²⁵⁾。

イ. スマルト期の放流試験

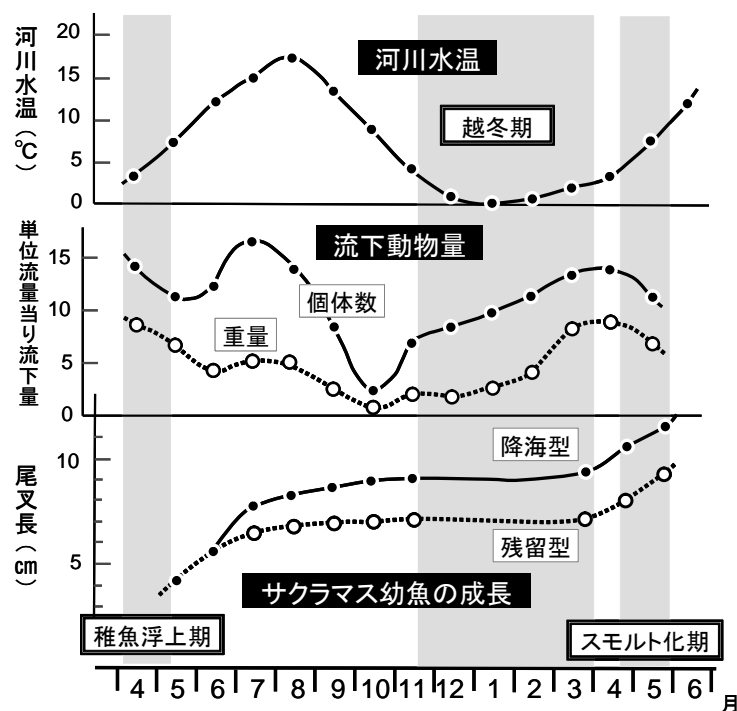
前述したように、1980 年から 9 年間行われた農林水産省のプロジェクト研究「マリーンランチング計画」において、スマルト放流の有効性が確かめられたことから、北海道においては当時の水産庁北海道さけ・ますふ化場により、1984 年から「新資源造成事業」という名称の技術開発試験が、そして本州の 7 県では水産庁の補助事業として「降海性ます類増殖振

興事業」がその翌年にスタートした⁶⁾。このほかにも北海道やいくつかの県において単独事業としてのスマルト放流試験が始められた。これら調査試験が進められたことにより、サクラマス⁷⁾の生物特性に関する知見の収集、特に、スマルト化過程における生理学的変化の研究などで大きな進展をみせた。種苗生産や放流技術の調査研究は現在に至るまで数多く行われてきている。

④ サクラマスの放流方式

サクラマスの人工ふ化放流方法としては、従来から実施されてきた天然浮上稚魚が分散移動する時期に行われる「稚魚期での放流」と、引き続き翌春まで長期飼育した後の「スマルト放流」がある。これらは春季に放流するという共通点を持つ。一方、両者の中間的な効果を期待して晩秋まで飼育した後に放流する「秋季の未分化幼魚放流」も試みられている¹⁵⁾。

これら3期の放流は、発育に伴う稚魚の生活様式の変化と、生息環境の季節変化の知見に基づき⁷⁾、高い効果が得られる季節（あるいは発育期）を検討して決められた（図IV-10）。



図IV-10 サクラマス幼魚の成長と生息環境の季節変化から求められた人工ふ化サクラマス稚魚の放流に適した時期

サクラマス幼魚の摂餌活動が活発化するのは、河水水温が 5 °C 以上となる時で、稚魚が砂利層から抜け出る浮上期の 5 月頃から 10 月までの約 6 カ月間と、翌春のスマルト降海期（4~5 月）がこの時期に相当する。また、稚魚の餌生物として利用される流下動物量は春季には豊富であるが、水生昆虫類の羽化に伴い夏から秋にかけて急激に減少し、新たな世代が成長する冬期間になって再び回復に向かう。このような生育環境の季節変化のもとで、

幼魚は好適な水温条件と餌料環境が得られる 5~7 月に急激に成長する。しかし、8 月以降成長が停滞し、越冬期（11 月下旬から翌春 3 月中旬までのほぼ 4 ヶ月間）を迎える。

サクラマスは幼魚期に採餌縄張りを持つことが知られているが、個体間相互の反発性は体長 5 cm 前後から急速に強まると考えられている^{7),26)}。しかし、流下動物への食物の依存度合いが低下し摂食活動が多様化する越冬期と、それに続くスモルト降海期には、縄張りが形成されなくなる²⁷⁾。

このように季節によって変化する摂餌行動、個体間の社会的関係、そして成育環境の季節変化から判断して、サクラマスの放流効果が高い時期は、① 春の稚魚期、② 晩秋の越冬期直前、③ スモルト降海期、の 3 期と判断された⁷⁾。

河川内の限られた生産力を効率良く利用しながら、サクラマス資源を安定的に増大させるには、天然繁殖を含めた以下のような増殖手法を有機的に組み合わせることが効果的と考えられる（図IV-11）。

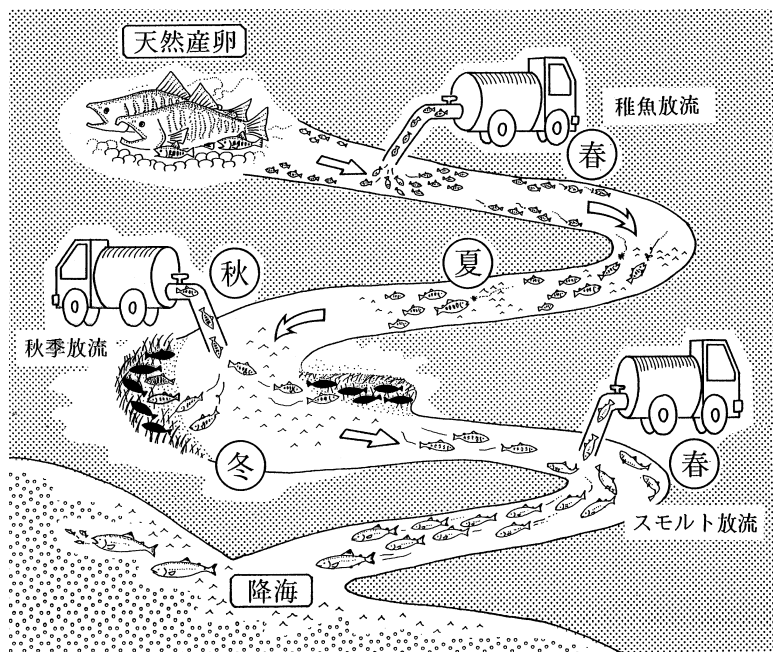
天然繁殖保護（自然再生産）：

自然選択を経る河川毎の遺伝資源の保存、利用空間の拡大

人工ふ化放流（人工再生産）：

安定的な資源増大

- ① 稚魚放流 …………… 河川生産力の有効利用
- ② 秋季未分化幼魚放流…………… 未利用生産力の活用
- ③ スモルト放流 …………… 早急な資源回復・基盤資源確立



図IV-11 河川を持つ生産力を効率よく利用しながらサクラマス資源を増大させるための増殖手法の組み合わせ

天然産卵（自然再生産）に春季の稚魚放流、秋季の未分化幼魚放流、そして2年目の春のスモルト放流を有機的に組み合わせて降海スモルト量の増大を図る。

ア. 0+春稚魚（0年魚*）放流

春季に浮上稚魚を放流することにより放流効果を高めるには、翌春のスマルトの降海量を最大とするために、(1)初期減耗要因の排除と、(2)スマルト化率向上に向けた効率的な成長をもたらす技術的対応が求められる。

・給餌飼育放流

前述したように、サクラマス的人工ふ化放流が始められてからおよそ80年もの間、小型の無給餌稚魚が早春の河川に直接放流されていた。1960年代初めになって1～2カ月間の短期飼育が取り入れられ、体重が2倍前後に大型化した稚魚を4～6月に放流されるように変わった。放流時期の遅延化により天然稚魚の浮上期と合致させることが可能となった。

しかし、飼育放流が始まった1960年代以降になってもサクラマス資源が引き続き低位の水準から脱却できなかつたことから、放流魚体の大型化だけでは効果的でないことを示している。

・分散放流

サクラマスの稚魚を無給餌で放流していたころ、サケやカラフトマスのように短期間に降海する魚種と同様に、サクラマスの稚魚も川の中流域に位置するふ化場から河川に降下させる放流方法がとられていた。このため、遊泳力の弱い小型のサクラマス稚魚は放流点から下流域以外は生活の場として利用できなかった。これを改善し河川の生産力を有効に利用するように上流域への放流、しかも河川規模を考慮しての多地点へ輸送して放流する「分散放流」が給餌飼育の開始時から試みられるようになった（図IV-12）。



図IV-12 春季のサクラマス稚魚輸送放流

バケツ（左）や、活魚輸送タンク（右）を用いて、河川規模に応じた数量の稚魚を分散放流する。

自然界で産卵親魚の遡上が何らかの障害で妨げられた場合、産卵場所から上流はサクラマス幼魚にまったく利用されない空白区間となる。このような流域への人工ふ化稚魚の輸送放流も資源量増大には効果的と考えられる。これにより効果のあがった例もあるが、人手により輸送できる範囲には限界があり、わずかな流れをも利用しながら源流域まで到達する産卵親魚の遡上能力には遠く及ばない^{28),29)}。

・適正放流数（放流密度）

人工ふ化稚魚を放流する場合、限られた少ない地点に一度に大量の魚を放流することが多い。適切な密度を越えた放流は、生息に不適な環境への降下を余儀なくさせ放流効果を低下させる。また、放流後の分散範囲は稚魚の発育段階と密接に関係し、大型魚で放流した時には思わしい分散が図られないこともある³⁰⁾。

河川の生産力を有効に利用し、できるだけ大量の降海型幼魚を生産するには、適正な放流量の算出が要求される。サクラマス成長が生息密度と密接な関係を持つことは良く知られているが、生息密度はその放流直後の分散度合に影響を受けるため、効率良い分散を促す放流方法の確立が重要となる。しかし、河川生活期サクラマス幼魚は、個体群の中で少数の優位の個体が一定の成長を維持するために、空間を占拠することで個体数調節を行い、一方で劣位個体は優位個体が占拠している空間から外れたところで生活することで成長量調節を受けるといふ、2本立ての個体群量調節機構を持つため、放流量の適正基準を定めにくいとの見解もある²⁸⁾。

発育に伴う住み場の変化から河川環境の近年の変化をみたとき、成長期の摂食の場としての機能はある程度保障されていると考えられるが、越冬場、休息場、待避場としての機能は多くの河川で急激に低下しているといえる。このような環境の下で一律に適正な放流密度を当てはめることは現実的でない。河川環境条件を念頭においた実証放流試験を実施するなどして、降海量あるいは回帰親魚量との関係から適正量を把握することが、放流技術の確立のために必要とされる。

・適正放流サイズ

放流稚魚の初期減耗の要因として、小型個体であるための遊泳能力不足による定着力の低下によって起こる不適空間への移動（押し流され）や、摂食空間（生活空間）が小さいための相対的密度の高まりによりもたらされる飢餓、他魚種などによる被食などが考えられる。サケでは給餌飼育により放流魚体重を大型化したことにより回帰率が向上したが、これは放流魚体の大型化と放流時期の適正化の相乗効果によってもたらされたと考えられている^{31),32)}。サクラマスでも放流魚体サイズを大型化することにより、初期減耗の低下はもたらされるであろうが、放流魚の大型化は分散力の低下をもたらすことが指摘されている³⁰⁾。このため、放流種苗の条件として効果的な分散をもたらすサイズの解明が必要である。

人工ふ化稚魚を河川へ輸送放流した時に下流に降下移動するものは雌の比率が高く、放流点付近への残留魚の性比が顕著に雄に偏っていることが確かめられた⁷⁾。同様の現象は自然産卵由来の野生サクラマスでも確かめられている³³⁾。観察された性により異なる分散定着様式からは、上流に残留した初期成長の良い雄魚の0年魚での高い成熟率と産卵場付近への分布による産卵行動への参加の有利さ、そしてこれらに比べ初期成長が悪く下流へと追いやられた形の雄魚と、数多くの雌魚がやがて中・下流域で良好な成長を遂げて高いスモルト化率を得るといふ、サクラマスの相分化にとって都合の良い河川の中での生活の場の使い分けの起きていることが想定されている⁷⁾。このことから、遊泳力の弱い浮上直後に予想される受動的な移動のほかに、サクラマス稚魚ではより積極的な好適に生息場所を求めての能動的な

移動をする特性を持つと推察される。

発育に伴う形態変化から、基本的な遊泳機能および摂餌機能は浮上から体長 35mm 前後までの間にほぼ完成することが明らかにされ、最小放流サイズとしては体長 40mm 前後とするのが妥当と考えられた。一方、最大放流サイズについては、個体間の社会的関係が強まり始めるのが体長 50mm 前後と考えられたことから、これより大きなサイズに育った稚魚は効率的に分散しないと判断された。したがって、サクラマスでは縄張り行動が強まる直前のサイズ（体長 40mm から 50mm の範囲）が、高い生残率と効率的なスマルト生産に結びつく最適サイズと考えられる⁷⁾。

イ. 秋季未分化幼魚放流

スマルト放流は、高い回帰効果を期待できるものの、1 年を越す長期飼育はわが国のふ化放流事業で行われてきたサケ稚魚主体の 1~2 ヶ月間の飼育に比べるとはるかに長い。そのため飼育施設の整備や管理に要する経費は比較にならないほど多額となる。また、サケのふ化放流施設を用いてサクラマスのスマルト生産を行わざるをえない場合が多い現状では、用水を含めた増殖施設を共用するため両魚種間の競合も避けられない。これら競合をできるだけ少なくするためには、両魚種を合わせた飼育量（魚体重）が最大となる春期の飼育を重複させないこと、すなわち、サケ稚魚の飼育を始める前にサクラマス幼魚の放流を終えることが、飼育施設の有効利用面からは最善の方法である。

秋季に放流された幼魚の生息環境は、冬期間に双翅目幼虫を主体とした水生昆虫の流下量が非常に多いこと、岸に生息する小動物も利用できることや、魚の代謝機能が低下していることもあって摂餌要求量も少なく、夏から秋の間に比較すると餌料条件は良好な状態にある。この後の春季のスマルト期には、水温の上昇とともに急速に成長するため多量の餌を必要とするが、融雪増水期には流下動物量が引き続き高い水準にあり、餌料条件が良好に保たれていることは食性の調査結果からも明らかである⁷⁾。このように、自然界では冬期間から翌春の降海期までの間の収容力には比較的余裕があると考えられる。このため、越冬期前に幼魚を河川放流することによるサクラマスの現存量の急激な増加が、先住魚である野生魚や放流魚自身のスマルト化（成長）や生残に与える影響は比較的少ないと判断される。

秋季放流の利点の一つとして増殖対象河川の拡大が考えられる。稚魚期での放流には、良好な採餌場を持つ瀬と淵の連続する溪流河川あるいはそれに近い形状の河川が対象として選択されるが、秋季放流には良好な越冬環境を持つ河川であることが最も重要な条件である。したがって、稚魚放流には適さない河川でも秋季放流には利用価値が高いと思われる河川も多い。例えば北海道に多い湿原河川は優れた越冬環境を備えていると考えられる。

・放流場所

放流場所の選定に当たっては、多くの場所に少量ずつ分けて放流するのがその後の分布密度を平均化させるには好ましい。しかし、放流後の分散移動状況を調べたところ、体長 9~10cm 前後の大きさのものは十分な分散能力を持つことが確かめられた⁷⁾。したがって、広範囲に分散が可能な場所、たとえばいくつかの支流が流れ込む合流点に近い本流の深みなどに、ある程度まとまった数量を放流することで良好な分散効果が期待できる。

・放流時期

適正な放流時期としては、摂餌要求量の低下する低水温時ほど餌生物の利用だけを考えれば有利である。しかし、適切な分散を図るためには、遊泳力が極端に低下する低水温となる前に放流しなければならない。越冬前には水温の低下とともに、瀬から淵の深みへ、そして岸の淀みの中へと生活の場を変える。河川水温 8~9°Cの時に放流された放流魚は、5°C前後に低下するまでの間に、上・下流への移動およびいったん下流に下りてから支流の上流への移動と、広範囲に分散することが確かめられ、また、積極的な分散魚ほど良好な摂餌環境を占有することも示唆された⁷⁾。

放流魚の移動は水温 5°C前後に低下する時期までに限られた。そして分散移動に支障がなく、しかも摂餌要求量が低下する水温の範囲は 10°Cから 5°Cまでの間と考えられた。したがって、移動期間を考慮すれば水温が 10°Cから 7~8°Cになる間（北海道南西部の尻別川では 10 月下旬から 11 月上旬）が最適な放流時期であると判断された⁷⁾。

・放流サイズ

秋季放流魚はほとんど成長することなく越冬期に入り翌春まで成長が停滞する。このため、翌春スマルト化できる魚体サイズで放流する必要がある。宇藤³⁴⁾は、サクラマスが成熟残留か降海型のいずれの道をとるかを定める機構は、ある発育状態に達した魚が遭遇する環境条件によって決定される部分が大きく、雄・雌ともに 8~10cm の体長に達すると銀毛化変態が可能となると推察した。秋季放流されて回帰した標識魚の鱗相分析の結果、生き残って回帰したほとんどの個体は、越冬明けの体長が 9cm を越えていたことが確かめられた。このことから、北海道日本海沿岸南部の河川では、体長 9cm 以上で放流することにより銀毛化可能と判断された¹⁵⁾。なお、地域により成長様式が異なることから、このサイズはそれぞれの地域ごとに確かめる必要がある。

・秋季放流の課題

水産庁北海道さけ・ますふ化場では、北海道の河川における秋季放流の有効性を確かめることを目的に、1982 年の秋から標識サクラマスの放流試験を始めた。標識魚の採捕結果から、秋季放流魚の回帰効率はスマルト放流魚の 34-48%（平均 39%）と示された⁷⁾。スマルト放流に比べ約 6 カ月間飼育を短縮しての放流であることから、経済性を考慮すれば比較的高い増殖効果と評価できよう。

秋季の放流後にサクラマスの食性の変化を経時的に観察したところ、新たな環境へ順応しにくい状態にあったことが示唆された⁷⁾。このことが成長不良をもたらし、場合によっては直接死亡に結びつく要因の一つとなる可能性もある。スマルト放流に類似した放流効果に近付けるためにも、飼育技術の改善とともに放流技術の改善のための追跡調査が必要である。

ウ. スマルト（降海型幼魚）放流

降海型幼魚を放流するスマルト放流は、河川内での減耗要因を完全に排除できるという利点を持ち、放流後の高い生残率（回帰率）が期待される。また、降海型幼魚の放流は河川の生産力に制約を受けないため、小河川でも放流河川（回帰親魚採捕河川）として利用できるし、場合によっては沿岸の海水への直接放流も可能となる。

しかし、スマルト放流を事業化する場合の最大の問題点は、種苗生産に必要な施設、飼育用水、管理経費が、稚魚期での放流とは比較にならないほど必要とされることである。このため、種苗生産の項で述べたように、限られた飼育条件下でできるだけ大量のスマルトを生産するための成長コントロールや、スマルト化サイズを小型化するための技術開発が進められてきた。

・種苗性

1年魚スマルト生産のための飼育は、自然界での幼魚の成長様式と降海期に合わせれば良いことから、0年魚スマルト生産のような目新しい技術は求められていない。また、スマルト放流魚は短期間の河川生活の後に降海するため、秋季放流ほど河川内の生育環境に配慮した放流方法をとる必要もない。しかし、スマルト放流魚からの回帰魚体が多くの場合に野生魚に比べ有意に小型であることから、放流後の環境順応性が低くしかもその影響を長く受けていたことが窺われる⁷⁾。

長期間飼育されたサクラマスは、降海後の沿岸回遊時にも野生魚に比べ岸沿いに回遊する特性を持ち、沿岸の色々な漁具に行き手を阻まれ、越夏場にたどりつくまでの回遊時の漁獲（混獲）死亡率が高いことも想定されている³⁵⁾。

・放流時期

河川放流後の胃内容物の量変化だけからみた場合に、スマルト放流魚の環境順応性は比較的高いと考えられた。しかし、放流スマルトは魚体が野生魚より大型であるにもかかわらず降海移動時期が野生魚より若干遅れる傾向を示す。スマルト化進行過程での放流に伴う各種刺激（集魚・輸送など物理的な刺激・急激な環境変化など）が生理的な面へ影響を与えていることが示唆される。スマルトが輸送によって受ける生理的影響は良く調べられていないが、多くは輸送放流によっていることから、放流効果の高い時期（スマルト化の進行度合）の解明が急がれている。

1970年代以降の日本産サケの回帰率向上は、放流技術の改善、特に放流時期の適正化がその主要因と考えられている。サクラマスの降海盛期はサケ稚魚より少し遅れ、沿岸水温が8～10℃の頃である。沿岸からの離脱時期は水温12～13℃の時で両魚種に違いはない。このためこの時期に遅れないように放流することが不可欠である。また、スマルトの進行度合によって母川記銘の度合が異なることが多くのサケ属魚類で知られている^{36),37)}。サクラマスでは未だ確かめられていないが、他の水系で飼育した幼魚を別水系に輸送放流する場合には留意すべきことである。降海時期まである程度時間的な余裕のある時期に放流することは、このリスクを小さくするための解決法の一つである。

・放流サイズ

回帰親魚の鱗相分析結果から、サクラマスのスマルトサイズは回帰魚の成熟魚体サイズに影響を与えないこと³⁸⁾、スマルトサイズの異なる2群間で河川回帰時の体サイズに差が認められないこと³⁹⁾が知られている。個体識別して放流された標識魚の再捕結果からも、放流から長期間を経過している越冬期以降の体サイズ（商品サイズ）には、放流時のスマルトサイズが関与していないことが追認されている³⁵⁾。

しかし、スマルト放流されたサクラマスでは、放流時の体サイズが大きいほど回帰率（生残率）の高いことが確かめられている^{39),40),41),42)}。尻別川遡上魚由来のスマルトも大型化することにより、再捕率が顕著に高まる傾向がみられた³⁵⁾。限られた飼育池容量と用水で生産可能なスマルト生産量は制限を受ける。従って、漁業資源造成のための放流効果向上のためには、放流サイズと放流個体数との効率的な組み合わせを明らかにする必要がある。

・スマルト放流の課題

放流種苗の大きさが体重 20～30 g と大型であるため、飼育コストはサケとは比べものにならないほど高い。さらに、長期飼育につきものの魚病発生などリスクも大きく、漁業資源として利用するものすべてをこの手法だけで生産することは難しい。

解決すべき課題は多いが、スマルト放流魚からの河川回帰率が尻別川のように平均 0.93% の場合、10 万尾程度のスマルトを放流することにより、1,000 尾近くの成熟親魚を河川に回帰させることができる。このように天然資源への添加効果が高いことから、スマルト放流は資源水準が低下した河川での基盤資源を急速に回復するための手法として有効と考えられる。

⑤ 放流効果の判定

放流による増殖効果の判定には海洋生活期の実態、特に漁業との関わりを明らかにする必要がある。日本海マス漁業が活発に行われていた時代には、この水域を中心とした数多くの生物的な知見が集積されていたが^{43),44)}、わが国の河川で生産されたサクラマスの混入の実態は十分に解明されていなかった。このためアイソザイムを遺伝的指標とした集団遺伝学的手法により沿岸漁獲魚の系群解析が試みられ⁴⁵⁾、この手法は河川系統群や飼育魚の遺伝的特性の検討についても応用されている^{46),47),48)}。

栽培漁業種の放流効果確認のため色々な外部標識が考案されてきたが、サクラマス幼魚の魚体を貫通して固着するリボンタグの有効性が確かめられ⁴⁹⁾、数多くの放流試験が行われてきた。さけ・ます資源管理センターでは、北海道の主な河川に遡上した親魚由来のスマルトを用いた標識放流を 1985 年春に始めた。放流河川や放流種苗の数量は、その年の供試魚の確保状況によって異なったが、2003 年春の放流までの 9 年間に 8 河川から合計 52 万尾のスマルトにリボンタグ標識が装着されて放流された⁵⁰⁾。これら標識魚を追跡調査することにより、母川回帰するまでの各河川からの放流魚の回遊生態の一端が明らかにされ、得られた結果は放流効果の判定に用いられている。

⑥ サクラマス種苗の移殖

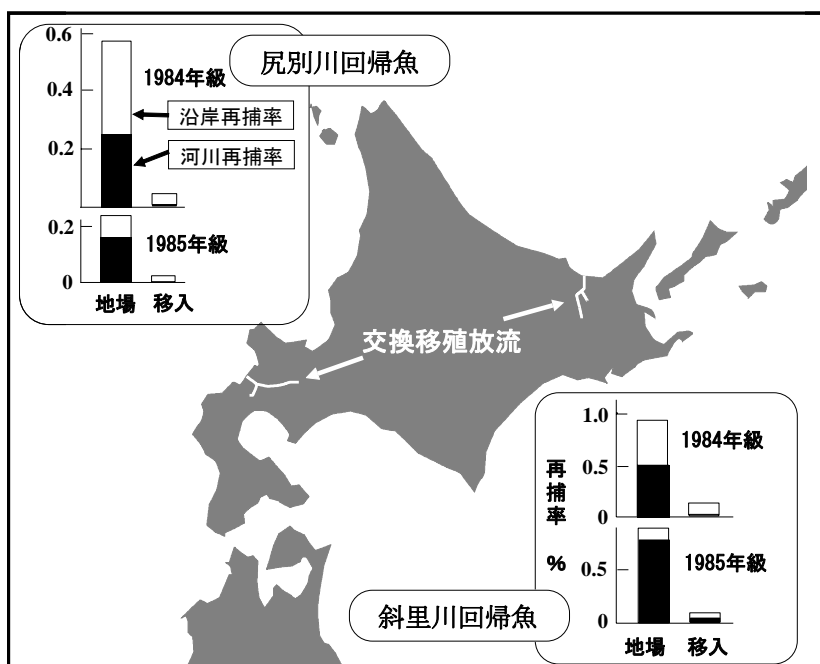
サクラマスは、回帰親魚が春の融雪増水期に河川遡上を始めるためその採捕が難しいこと、そして成熟期までの長期蓄養中の生残率が低いことから安定的な種苗確保がしにくく、このことが増殖事業の発展を阻害する要因の一つとなってきた。サケ科魚類の移殖は人工ふ化放流事業の創生期に始められ、世界各地で広範囲に行われた⁵¹⁾。

サクラマスは分布域が極東に限られることや増殖規模が小さいため移殖量も少なかったが、数少ないながら国外移殖されたこともある^{52),53)}。わが国ではサケの資源がほぼ完全に人工ふ化放流によって維持されていることもあって、隣接河川を含めた卵移殖あるいは稚魚で

の移殖放流が様々な規模で行われてきた。しかし、集団遺伝学的手法による検討結果からその効果に疑問が持たれてきた⁵⁴⁾。

移殖魚の低回帰率の原因については、おおまかに母川回帰性の低下(迷い込みの増加)と、環境不適合による生残率の低下(特に海洋生活期)の二つが考えられるが、特に、後者についてはこれまで十分に検討されていない。サクラマスは他のサケ属魚類に比べて地域による生物特性の違いが大きく、河川間での遺伝的独立性が強いと考えられていることから⁴⁶⁾、移殖効率の向上のため、そして移入魚による遺伝的攪乱(結果として在来群の繁殖効率の低下)を避けるためにも、移殖行為自体あるいは移入先河川の選定には慎重であることが要求される。

北海道の日本海側とオホーツク海沿岸の河川間で行われたサクラマスの交換移殖試験の結果、地場群の回帰効率に比較し、移殖群のそれが極めて低いことが確かめられた(図IV-13)⁷⁾。隣接した河川への移殖では回帰率の低下が認められなかったのに対し、このような遠距離移殖で顕著な低下が生じたことから、ギンザケで移殖距離が遠くなるにつれ、再捕率が低下した事例⁵⁵⁾で示唆されているのと同様に、その主要因は成育環境の差の大きい遠距離間で移殖した時に生じる放流後の環境不適合による生残率の低下にあると考えられた。



図IV-13 北海道オホーツク海沿岸の斜里川と日本海沿岸の尻別川との間で交換移殖されたサクラマスをスマルト放流した時の地場魚と移入魚それぞれの沿岸と河川における親魚回帰率(再捕率)の比較(真山 1992より作図)

交換移殖試験で、移入されたスマルトの降海時期が地場の魚と顕著に異なっていたことが生残率を低下させた要因の一つと考えられた。また、この試験の河川回帰親魚を人為管理下

で催熟させた時に、移殖魚由来の親魚が産卵期前に多く死亡したことからは、遺伝的支配を受けた生理・生態的形質の環境への不適合が移殖魚の生活史を通して生じていることが示唆された。交換移殖した両系群間に違いが認められた幼魚飼育時の成長様式やスモルト化時期は、異系群の飼育実験で確かめられているように、飼育条件下でも、放流後の自然条件下でも変化しにくい形質であることから⁵⁶⁾、強い遺伝的支配を受けていることも窺われた。

河川毎の遺伝的独立性の強いサクラマスの子苗を移殖しようとする場合、移入先の固有資源への遺伝的影響を十分考慮する必要がある。サクラマスでは、たとえ移入魚の回帰率が低かったとしても、河川に残留した早熟雄魚が産卵行動に参加することが知られていて⁵⁷⁾、これを通して移殖先の固有資源の遺伝的特性を変質させる恐れがある。結果的に、各地域固有の系統群の消滅や繁殖効率の低下に至ることが予測される。

⑦ サクラマスの増殖の課題

河川に生息する魚類を増殖しようとする時、わが国では「増殖＝放流」という図式が一般的で、サケ属魚類もその例外ではない。特に、わが国のサケ資源はほとんどすべてが放流によるもので³¹⁾、サケ属魚類の主要な生産国である北米やロシアにおいて、人工ふ化幼稚魚の放流を天然生産を補完する手段とみなしているのとは基本的に考え方が異なる。種苗確保が難しく河川生活期の長いサクラマスについて、天然繁殖保護の重要性は古くから提唱されていた^{58),59)}。しかし、淡水生活期の長いギンザケ、マスノスケ、ベニザケ主体の増殖に長い歴史を持つ北米とは異なり、わが国では河川への生活依存度ははるかに低いサケを主体の人工ふ化放流が続けられてきたため、サケマス生産の成育環境の保全が長い間なおざりにされてきたことは否定できない。

サクラマスの本来の産卵場である河川の源流域への遡上は、沿川の開発に伴う河川工作物の設置や河川流量の減少により極めて困難な状況下にある。また、上流域を主要な産卵場とするサクラマスの場合、河川流量の増減が産卵親魚の遡上移動と密接に関わるなど、自然条件にも左右されやすいため、安定的な資源造成を一層難しくしている。自然産卵魚は通常の人工種苗の放流点よりはるか上流まで遡上して産卵するため、それから生まれた稚・幼魚による河川利用では空白区間がより少ない。今後の増殖用基盤資源となる河川固有群の維持培養のためにも、自然産卵が可能な河川環境の維持・改善が強く望まれる。

(文献)

- 1) 北海道さけ・ますふ化放流事業百年史編纂委員会. 1988. 北海道鮭鱒ふ化放流事業百年史, p. 1-1260.
- 2) 北海道さけ・ますふ化放流事業百年史編纂委員会. 1988. 北海道鮭鱒ふ化放流事業百年史 史料編, p. 1-252.
- 3) 農林水産技術会議事務局. 1980. 河川産卵型浮魚の資源管理. マリーンランシング計画昭和 54 年度事例解析報告書, 1-18.
- 4) 小林哲夫. 新しい研究 マリーン・ランシング計画. 魚と卵, 151: 26-33.
- 5) 広井 修. 1989. 遡河性魚類の資源増大をめざして -サクラマスを中心とする複合生産

- システムー. 海洋牧場 マリーナランディング計画 (農林水産技術会議事務局編). 恒星社厚生閣. p.60-109.
- 6) 野川秀樹. 1993. サクラマス増殖事業の概要. 魚と卵, 162: 29-37.
 - 7) 真山 紘. 1992. サクラマス *Oncorhynchus masou* (Brevoort) の淡水域の生活および資源培養に関する研究. さけ・ますふ化場研報. 46: 1-156.
 - 8) 奈良和俊・松本雅彦・大端 孝・福澤博明・伊藤二美男・渡邊 伸・羅津三則. 1997. 北海道北部の天塩川におけるサクラマス幼魚の効果的な放流方法の検討. 魚と卵, 166: 1-11.
 - 9) 五十嵐眞一. 1946. 櫻鱒の蓄養催熟. 孵化場試験報告, 1(1): 13-18.
 - 10) 広井 修. 1988. 天然溯上サクラマス親魚の性成熟と長期蓄養試験. 昭和 62, 63 年度マリーナランディング計画プログレス・レポート サクラマス (8): 1-8, 北海道さけ・ますふ化場.
 - 11) さけ・ます資源管理センター. 2003-2006. 資源生物モニタリング 2001-2004 サケ属魚類. Salmon Database 11-14(1).
 - 12) 長内 稔・大塚三津男. 1967. サクラマスの生態に関する研究 I. 遡河サクラマスの形態と産卵生態について. 道立孵化場研報. 22. 17-32.
 - 13) 小林哲夫. 1981. 人工ふ化放流事業と生物学的問題. 昭和 55 年度マリーナランディング計画プログレスレポート サクラマス (1): 34-37, 北海道さけ・ますふ化場.
 - 14) 真山 紘・野村哲一・大熊一正. 1984. サクラマスのスモルト化幼魚の標識放流試験ー1983 年における回帰ー. 昭和 58 年度マリーナランディング計画プログレス・レポート サクラマス(4): 109-120. 北海道さけ・ますふ化場.
 - 15) 真山 紘・野村哲一・大熊一正. 1988. 越冬前の秋季に放流されたサクラマス *Oncorhynchus masou* 標識魚のスモルト降海と親魚としての回帰. さけ・ますふ化場研報. 42: 21-36.
 - 16) 宇藤 均. 1976. サクラマス *Oncorhynchus masou* Brevoort の降海型と河川残留型の分化機構に関する研究 1. 早熟な河川残留型の体生長と性成熟. 北大水産彙報, 26(4): 321-326.
 - 17) 真山 紘・野村哲一・大熊一正. 1985. サクラマスのスモルト化幼魚の標識放流試験ー1984 年における回帰ー. 昭和 59 年度マリーナランディング計画プログレス・レポート サクラマス (5): 109-119, 北海道さけ・ますふ化場.
 - 18) 真山 紘・大熊一正・野村哲一. 1986. サクラマスのスモルト化幼魚の標識放流試験ー1985 年における回帰ー. 昭和 60 年度マリーナランディング計画プログレス・レポート サクラマス (6): 82-91, 北海道さけ・ますふ化場.
 - 19) 八木沢功・渡辺 伸. 1985. サクラマス幼魚の生産事業 釧路事業場における飼育過程 (1983 年級群). 魚と卵, 155: 1-10.
 - 20) 原 武史. 1989. 病害による阻害要因の排除と健全種苗の育成. 海洋牧場 マリーナランディング計画 (農林水産技術会議事務局編). 恒星社厚生閣. p.517-567.
 - 21) Donaldson, L. R. 1980. Salmon ranching in Washington state. p. 29-45. In "Salmon ranching

- (edited by J. E. Thorpe)". Academic Press, London.
- 22) Wahle, R. J. and R. Z. Smith. 1979. A historical and descriptive account of Pacific coast anadromous salmonid rearing facilities and summary of their release by region, 1960-76. *NOAA Tech. Rep. NMFS SSRF-736*: 1-40.
 - 23) Lindroth, A. 1963. Salmon conservation in Sweden. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 92(3): 286-291.
 - 24) Larsson, P. O. 1980. Smolt rearing and the Baltic salmon fishery. P. 157-186. In "Salmon ranching (ed. J. E. Thorpe)", Academic Press, London.
 - 25) 本荘鉄夫. 1985. 降海性アマゴの増殖. pp. 100, 水産増養殖叢書, 34. 日本水産資源保護協会.
 - 26) Maeda, N. and T. Hidaka. 1979. Ethological function of the parr marks in a Japanese trout, *Oncorhynchus masou f. ishikawai*. *Zool. Mag.*, 88: 34-42
 - 27) 久保達郎. 1976. サクラマス幼魚の河川生活期における移動習性. 生理生態, 17(1,2): 411-417.
 - 28) 石田昭夫. 1981. 稚魚の河川生活と資源培養の問題 人工ふ化稚魚について. 昭和55年度マリーンランシング計画プログレスレポート サクラマス (1): 38-42, 北海道さけ・ますふ化場.
 - 29) Ohkuma, K., and T. Nomura. 1991. An approach to the efficient enhancement of masu salmon through the release of juveniles into streams. In *Marine Ranching : proceedings of the seventeenth U.S.- Japan meeting on aquaculture; Ise, Japan, Oct. 16-18, 1988* (edited R. S. Svrjcek). *NOAA Tech. Rep. NMFS-102*, pp.151-159.
 - 30) 永田光博・坂本博幸. 1989. サクラマスの卵放流について. 魚と水, (26):12-21.
 - 31) Kobayashi, T. 1980. Salmon propagation in Japan. p. 91-107, In "Salmon ranching (ed. J. E. Thorpe)". Academic Press, London.
 - 32) Mayama, H. 1985. Technical innovations in chum salmon enhancement with special reference to fry condition and timing of release. p.83-86, In "Proceedings of the eleventh U. S. - Japan meeting on aquaculture, salmon enhancement, Tokyo, Japan, October 19-20, 1985 (ed. C. J. Sindermann)", *NOAA Tech. Rep. NMFS-27*.
 - 33) Nagata, M., and J. R. Irvine. 1997. Differential dispersal patterns of male and female masu salmon fry. *J. Fish Biol.*, 51: 601-606.
 - 34) 宇藤 均. 1981. サクラマス *Oncorhynchus masou* Brevoort の生活史と生態分岐 特に河川生活期について. pp. 288. 北海道大学博士論文
 - 35) 真山 紘. 2005. サクラマス生態ノート パート2 さけ・ます資源管理センター技術情報 (魚と卵), 171: 15-19.
 - 36) Hasler, A. D. and A. T. Scholz. 1983. Olfactory imprinting and homing in salmon. XIX + 134 pp. Springer-Verlag, Berlin.
 - 37) Dittman, A. H., T. P. Quinn, and G. A. Nevitt. 1996. Timing of imprinting to natural and artificial odors by coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 53: 434-442.

- 38) 大熊一正・真山 紘. 1985. サクラマス成長と鱗相に関する研究. 2. 1982年に回帰したスマルト放流魚の鱗相と成長. さけ・ますふ化場研報, (39): 17-25.
- 39) 河村 博・神力義仁・宮本真人・安富亮平・宮腰靖之・工藤 智・鷹見達也・町田啓之輔・小笠原 寛・海老名 功. 1998. サクラマスのスマルトのサイズは河川回帰率に影響するか. 魚と水, 35: 201-209.
- 40) Kasugai, K., K. Naito, N. Misaka, S. Kubo, and T. Aoyama. 1997. Individual growth of released masu salmon, *Oncorhynchus masou*, in sea water. Sci. Rep. Hokkaido Fish Hatchery, 51: 53-56.
- 41) Miyakoshi, Y., M. Nagata, and S. Kitada. 2001. Effect of smolt size on postrelease survival of hatchery-reared masu salmon *Oncorhynchus masou*. Fish. Sci., 67: 134-137.
- 42) 下田和孝・内藤一明・中島美由紀・佐々木義隆・三坂尚行・今田和史. 2003. サクラマスのスマルトサイズと関連した海洋生活期の生残および成長. 日水誌, 69: 926-932.
- 43) 田中昌一. 1963. さくらますに関する生物学的知見. 北太平洋漁業国際委員会研報, (16): 67-111.
- 44) 待鳥清治・加藤史彦. 1985. サクラマス (*Oncorhynchus masou*) の産卵群と海洋生活. 北太平洋漁業国際委員会研報, (43): 1-118.
- 45) Okazaki, T. 1989. Population structure of masu salmon during their wintering migration along the coastal waters of northern Japan. Physiol. Ecol. Japan, Spec. Vol. 1: 359-369.
- 46) Okazaki, T. 1986. Genetic variation and population structure in masu salmon *Oncorhynchus masou* of Japan. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 52: 1365-1376.
- 47) 大久保進一. 1987. 池産サクラマスと天然のサクラマスの遺伝的変異の量. 道立水産孵化場研報, (42): 37-44.
- 48) Nakajima, M., A. Kita, and Y. Fujio. 1986. Genetic features of natural and cultured populations in masu salmon (*Oncorhynchus masou*). Tohoku J. Agric. Res. 37(1,2): 31-42.
- 49) 黒川忠英・小島 博・中島幹二. 1987. 池中継代飼育サクラマスの回遊と成長. 道立水産孵化場研報, (42): 45-52.
- 50) 真山 紘・小野郁夫・平澤勝秋. 2005. 北海道の河川に放流された標識サクラマスの海洋における回遊生態. さけ・ます資源管理センターニュース, 14: 1-9.
- 51) Davidson, F. A. and S. J. Hutchinson. 1938. The geographic distribution and environmental limitations of the Pacific salmon (genus *Oncorhynchus*). Bull. U. S. Bur. Fish., XLVIII, 667-691.
- 52) 徳井利信. 1969. カナダへ移殖したサクラマス. 魚と卵, (130): 3-7.
- 53) Asai, H. and G. Araya. 1984. Observations on the Japanese cherry salmon (*Oncorhynchus masou*) release trials with notes of a homing adult in the Simpson River. Introduction into Aysen Chile of Pacific salmon, (11): 1-25, Japanese International Cooperation Agency.
- 54) Okazaki, T. 1982. Genetic study on population structure in chum salmon (*Oncorhynchus keta*). Bull. Far. Seas Fish. Res. Lab., (19): 25-116.
- 55) Reisenbichler, R. R. 1988. Relation between distance transferred from natal stream and recovery rate for hatchery coho salmon. Nor. Amer. J. Fish. Manag., 8: 172-174.

- 56) 吉田文一・梶塚善弘. 1984. 池中飼育サクラマスのスモルト化と再生産関連形質について. 昭和 58 年度マリーンランチング計画プロGRESS・レポート サクラマス (4), 31-43. 北海道さけ・ますふ化場.
- 57) 宇藤 均. 1978. サクラマスの産卵とヤマベの役割. 淡水魚, (4): 136-139.
- 58) 佐野誠三. 1959. 北日本産サケ属の生態と蕃殖について. さけ・ますふ化場研報, (14): 21-90.
- 59) 佐野誠三. 1964. サクラマスの生態と繁殖保護. 魚と卵, (104): 1-7.

(2) 養殖研究所日光支所におけるサクラマスの種苗生産研究

サクラマスは、海に降る前に1年以上を河川で過ごし、産卵の際にもかなり早い時期から河川に遡上して産卵期まで河川で過ごすという生態をもつ。

小さな河川の多いわが国では、このように比較的長期間淡水で生活するサクラマスを増殖させることは容易なことではない。それは、川が小さいために水量や水温の変動が激しいことや餌の量の面でもあまり期待できない環境収容力、そして長期間川に留まるために人目につく機会も多く、密漁等による減耗も多いことなどマイナスの要因が多いためである。

この様な状況を考えると、放流種苗を回帰親魚に依存する従来の方法ではサクラマスの資源増大は難しく、より効率の高い増殖法の開発が望まれている。

その1つの方法が池産親魚による放流種苗の生産である。

サクラマスの種苗生産技術が確立すれば、種苗の量産が可能になって、より積極的な放流を行うことができるようになる。

この場合の種苗生産技術は、卵や稚魚の量産技術にとどまらず、放流用種苗として質的な面についても一歩進めたものであることが求められる。

その1つが降海までの減耗の大きい時期を養魚池で管理することであり、もう1つがスモルト*の効率的生産である。

池産親魚から採卵するためには、サクラマスを成熟するまで飼育することが不可欠であるが、これまでのほかの魚種の例のように、継代飼育によって安定するまでは極度に低い生残率に悩まされることが予測された。

日光支所では産地の異なるサクラマスを比較飼育することで、特に、生残率に影響があると予想された生後1年目の早熟雄の出現、生後1年6ヶ月のスモルトの出現を中心に成長との関係や生残率を調査した²⁾。

実験に用いた魚は、北海道尻別川産サクラマス、新潟県魚野川産サクラマス、新潟県魚野川産サクラマス（雄は吾妻川産ヤマメを使用）、青森県老部川産サクラマス、十和田湖産サクラマス、十和田湖系日光池産サクラマス、新潟県内水面水産試験場小出支場池産サクラマス、池産ヤマメの8種類（13試験区）である。

* 銀毛あるいは銀系などと呼ばれている体色が銀色の降海間近の魚。英語の呼び名。

表IV-2は、試験区ごとの生後1年目の平均体長、早熟雄の尾数、早熟雄の出現率を示したものである。いずれの区においても、生後1年目には雌は1尾も成熟しなかった。

飼育実験を続ける関係で、試験区の魚については途中で解剖により雌雄を確認することはしていないが、すべての試験区において予備飼育群の魚それぞれ200尾以上を解剖して雌雄比が1:1であることを確認している。

この結果、各試験区とも50%が雌で50%が雄と考えることができた。

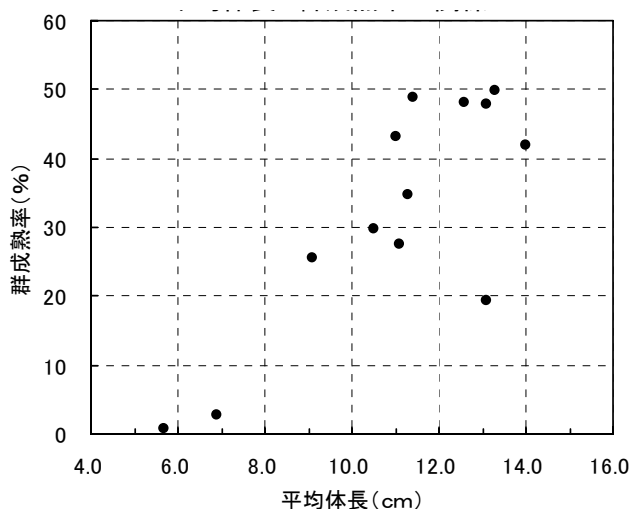
したがって、早熟雄の出現率が48.0%から49.9%と高い魚野川産、尻別川産、老部川産の試験区では雄の殆どが成熟したと考えられた。

図IV-14は平均体長と早熟雄出現率の関係を図示したものである。平均体長の大きな試験区ほど早熟雄の出現率が高くなっており、成熟と成長が密接な関係にあることが明白である。

表IV-2 生後1年目のサクラマスの平均体長と早熟雄出現率

	平均体長(cm)	調査尾数	成熟(雄)尾数	早熟雄出現率*(%)
1977年採卵群				
十和田湖産	11.3	176	61	34.7
〃	10.5	1,355	405	29.8
1979年採卵群				
魚野川産	13.1	653	313	47.9
〃(雄はヤマメ)	13.3	740	369	49.9
尻別川産	11.1	756	209	27.6
ヤマメ	14.0	1,033	434	42.0
1980年採卵群				
小出産	13.1	1,006	195	19.4
尻別川産	11.4	1,015	495	48.8
〃	9.1	944	241	25.5
〃	6.9	861	23	2.7
〃	5.7	862	7	0.8
老部川産	12.6	1,015	486	48.0
日光産	11.0	1,012	332	43.1

*: 早熟雄出現率 = 早熟雄尾数 / 調査尾数 (雌雄こみ) × 100



図IV-14 平均体長と群成熟率の関係

図IV-14によると、生後1年目の平均体長が15cm以上になるように飼育すると雄の殆どが成熟し、5cm以下に抑えるように飼育すれば1個体も成熟しない可能性が窺われた。なお、体長分布で見ても各試験区とも早熟雄がすべて体長の大型側を占めていて、成長のよい個体が成熟したことが明白だった。

この飼育実験によって、池中飼育の場合、生後1年で成熟する早熟雄が多数出ることが明らかになった。当初、生残率が低くなる原因の一つとして生後1年目の雄の成熟を想定していたので、標識に早熟雄の脂鱗を切って産卵期後どの様な経過を辿るか追跡調査した。

表IV-3は産卵期から6ヶ月後の各試験区の生残率を示したものである。これによると1979年採卵群ではこの間に平均で25%死亡しているが、飼育池を改修した1980年採卵群では死亡したのは5%で95%近くが生き残った。このことから早熟雄の出現が池中飼育サクラマスに低い生残率の主因ではないと判断できた。

しかし、これらの早熟雄がスマルト化の時期を迎えた時にスマルトになるか否かは、早熟雄の成熟後の死亡に匹敵するほど大きな問題であった。この点については、追跡調査によって1,077尾の早熟雄中スマルト化した個体はわずか1尾という結果が得られ、早熟雄はそのまま飼育を続けてもスマルトにはならないことが明らかになった。

また、精巣を除去した手術による試験でも、完全に除去した個体はスマルトになったが、精巣がわずかでも残っていた個体はスマルト化しなかったという結果も得られ、雄性ホルモンがスマルト化を妨げる働きをしていることが明らかになった³⁾。

表IV-3 生後1年で成熟した早熟サクラマス（雄）の産卵期から6ヶ月後の生残率

	早熟雄尾数	生残尾数	生残率%
1979年採卵群			
魚野川産	313	231	74.1
〃（雄はヤマメ）	364	315	86.5
尻別川産	209	147	70.3
ヤマメ	434	327	75.3
1980年採卵群			
小出産	182	171	93.6
尻別川産	495	466	94.1
老部川産	486	466	95.9
日光産	332	316	95.2

表IV-4は池中飼育サクラマスの生後2年目までの生残率を示したものである。

これによると1979年採卵群、1980年採卵群とも生後1年目までは高い生残率を維持した。

しかし、1979年採卵群では生後1年を過ぎた頃から死亡が目立つようになり、スマルト化の盛期の生後1年6ヶ月までに25%が死亡した。死亡魚はさらに増え続けて生後2年目には最も悪い試験区では生残率が2.3%、最高でも19.8%と著しく低い値になった。その結果1979年採卵群については採卵記録を収集ができなかった。一方、1980年採卵群については、病気の感染を防ぐ目的で飼育池を全面改装（水系分離、底コンクリート張り、水深深め）したこ

ともあって、スモルト化の盛期でも平均 98% という高い生残率を示した。生後 2 年目についても、老部川産が 21.6% と低かったことを除けば平均 94% という高い生残率を示した。

表IV-4 池中飼育サクラマスの生後 2 年目までの生残率*

	生後1年目 %	生後1年6ヶ月目 %	生後2年目 %
1979年採卵群			
魚野川産	94.5	64.4	9.7
〃 (雄はヤマメ)	95.4	73.7	14.6
尻別川産	92.5	67.2	19.8
ヤマメ	93.9	56.4	2.3
1980年採卵群			
小出産	100	99.5	93.5
尻別川産	100	96.7	94.6
老部川産	100	97.8	21.6
日光産	98.8	98.0	95.1

*：生残率は生後 6 ヶ月目の試験池収容時からの値

表IV-5 は 1980 年採卵群の生後 2 年目の平均体長、成熟雌個体数、成熟雌の出現率を示したものである。

表IV-5 生後 2 年目のサクラマスの平均体長と成熟雌の出現率

	平均体長 cm	調査尾数	成熟 (雌) 尾数	早熟雌出現率* %
1980年採卵群				
小出産	24.3	904	97	10.7
尻別川産	18.1	919	1	0.1
老部川産	19.6	207	24	11.6
日光産	19.1	719	0	0

*：成熟雌出現率=成熟雌尾数/調査尾数 (雌雄こみ) ×100

成熟雌の出現率は最も高い老部川産でも 11.6%にとどまり、池中飼育のサクラマスでは生後 2 年目で産卵する個体が少ないことが判った。なお、これらの成熟雌はすべて 6 ヶ月前の調査時にはスモルトだった個体であった。

普通、サクラマスのスモルトは春に降海して 1 年間に海洋で過ごし、翌年の春回帰して生後 3 年になる秋に産卵する。しかし、飼育池で生後 2 年目に成熟した雌は、スモルト化後も降海することができなかつたために、元の体色に戻って生後 2 年で成熟したものである。

生後 2 年目になる雌の平均体長 24.6cm、平均卵数 470 粒、平均卵重 (未吸水) 82mg、生後 3 年では雌の平均体長 26.4cm、平均卵数 530 粒、平均卵重 82mg で、天然産親魚の卵に比べるとかなり小型だった。

生後 2 年の最大個体は体長 27.0cm、体重 287 g、卵数 780 粒、生後 3 年の最大個体は体長

35.3cm、体重 595 g、卵数 900 粒であった。

発眼率の平均は 76%で、天然産親魚の卵の 95%以上と比較すると低い、ニジマス用配合飼料で飼育したことを考えるとそこそこの成績と言えた。

ヒメマスやアマゴの池産親魚では、成熟した雌が完熟直前に未排卵のまま死亡することがよく観察される。サクラマスも例外でなく、1979 年採卵群では生後 2 年で成熟した雌の 90%が排卵直前に死亡し、採卵できたのはわずか 10%だけだった。2 年間飼育して成熟した親魚が採卵の 1 日か 2 日前に未排卵のまま次々と死亡しただけに大きな問題だった。しかし、原因は分らなかった。

1980 年採卵群については、選別後の親魚を蓄養する水槽を改良したこと、未使用の水を用水にしたこと、水槽全体を黒いビニールシートで覆ったことなどの改善を行った。その結果、採卵直前に未排卵で死亡する個体が減少し、成熟魚中採卵できた親魚の率が生後 2 年では 89.1%、生後 3 年では 65.9%と大幅に向上した。

池中飼育サクラマスのスマルト化は、生後 1 年 6 ヶ月目に相当する 3 月から 4 月が盛期で、4 月の調査の時には前年の秋に成熟した早熟雄を除き殆どがスマルトになった。スマルトになった個体はいずれも体長 13cm 以上であった。早熟雄以外の魚でもスマルト化しないものが少数見られたが、いずれも小型個体だった。

これらのことから、スマルト化も成熟と同様、成長と密接な関係にあることが明らかになった。

サクラマスの放流種苗に関連した日光支所における一連の研究では、天然産親魚並みの大型親魚に育成することはできなかったが、これまで難しいとされてきたいくつかの関門を乗り越えることができた。この試験中に得られた詳細な記録によって、問題点がより鮮明になるとともに、次の手を考える上に大きな手がかりを得ることができた。

中でも成長促進によって殆どの雄が成熟するという予想外の結果は、その後続く研究に大きな影響を与えた。それによって、生産される大量の早熟雄の取り扱いに関係するだけに研究も慎重だった。しかし、その後の研究によって、これらの早熟雄が産卵期後も死亡することもなく、次の産卵期まで成長し続けることが明らかになった。

さらに、これらの早熟雄は飼育を続けてもスマルトにならないことが分かった^{1),2)}。これらの結果、スマルトにならない早熟雄は放流用として飼育しても意味がないので、早い時期に分離する方法が考えられた。早熟雄はかなり早い時期に選別できるので、商品価値の下がる産卵期前にヤマメとして出荷することが可能である。また、もう少し大きなサイズが求められる場合でも、成熟による減耗の心配がないので、体色が戻る時期まで飼育する方法で出荷ができることも明らかになった。

一方、スマルトの効率的生産を考えると、スマルトにならない早熟雄を早い時期に選別除去できることで有利な面も少なくない。全体の半数に近い早熟雄を除去することで飼育密度も一気に二分の一になるので、スマルト養成にとっても望ましい飼育環境が維持できる。このような状況下であれば、4 月までに体長 13cm 以上に育て上げることも容易と考えられるので、殆どの魚をスマルト化することも十分可能性がある。

この方法は、スモルトを養成する過程で生じるスモルトにならない個体についても、食用魚として計画的に出荷出来る点でより現実的な方式と思われた。

(文献)

- 1) 加藤禎一 1981. 池中飼育サクラマスの子後 1 年目の雄の成熟とスモルト化の関係. 「昭和 56 年度「近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する研究」プログラク・レポート、サクラマス (2) 4-11.
- 2) K.Aida ,T.Kato and M.Awaji 1984. Effects of Castration on the Smoltification of Precocious Male Masu Salmon. *Oncorhynchus masou*. Bull.Japan.Soc.Sci.Fish.50,565-571

生物の遺伝的性質を改良することを育種というが、既存の品種を改良していくことが多いので品種改良とも呼ばれる。魚の場合、養殖の歴史が浅く品種に該当するものが稀なため現状では品種改良という表現はやや馴染まないが、目指す性質は耐病性や成長が早いことなど農作物と殆ど変わらない。

サクラマスのような自然水域で生息する魚は、たとえ卵から育てても、池のような飼育環境下では普通は親になるまでに、殆どが病気等で死亡してしまう。野生動物の飼育が難しいのと同じで、親に育てて稚魚を量産しようとしても簡単にはいかないのである。

このような場合に、よく試みられるのが池中飼育で生き残った魚を親に育てることを繰り返す方法である。継代飼育というこの方法で、昭和 36 年（1961）に東京都水産試験場奥多摩分場がヤマメで、昭和 41 年（1966）には岐阜県水産試験場がアマゴでそれぞれ養殖親魚による種苗生産に成功した。

この種苗がもとになって全国的な規模の比較試験が可能になり、ヤマメやアマゴの養殖技術が飛躍的に向上したのである。

この様に、養殖親魚の育成は、優れた特性を持つ魚を確保するための最初の関門であると同時に育種の第一歩なのである。

淡水区水産研究所日光支所では、このような親魚の育成を目的に、水産庁日光養魚場時代から飼育しているニジマス、ブラントラウト、カワマス、ヒメマスに加えて、サケ、ギンザケ、ビワマス、アマゴ、サクラマス、ヤマメ、ニジマス（ドナルドソン系）、スチールヘッドトラウト、イワナ、エゾイワナ、カラフトイワナ、レークトラウト、ホワイトフィッシュ、オームリ、チョウザメ、アジメドジョウなど、主としてサケマス類を中心に多くの魚種を飼育してきた。

その中にはホワイトフィッシュやオームリのように成熟まで飼育できなかったものもあるが、レークトラウトのように遺伝子資源として飼育を続けている魚もいる。

日光支所のニジマスは、アメリカから移殖されたものがそのまま一世紀近くに亘って継代飼育されているもので、遺伝子資源としても極めて貴重である。また、ドナルドソン系ニジマスのように配布先で活躍しているものもある。

日光支所では育種研究の一環として、サケ科の 8 魚種を用いて 62 組合せの交雑¹⁾を実施し、長期のものでは 6 年に亘ってそれぞれの成長、生残を調査した。このうち 32 組合せの雑種が稚魚期を越えて成長し、9 組合せの雑種では対照区より生残率が高かった。中にはカワマス♀×イワナ♂のように明らかに両親の種より成長の良いものも得られたが、多くの雑種は両親の中間の外観を示した。このことは成長生残が優れた雑種が得られても、親と異なる見慣れない姿が市場で受け入れられない可能性もあり、雑種の利用の仕方に一石を投じた。

この中のサクラマスとビワマスの交雑では、サクラマス♀×ビワマス♂、ビワマス♀×サ

クラマス♂の成長や生残率がサクラマスやビワマスと変わらないことをあらためて確認することができた。このことは中禅寺湖のホンマスの素性を理解する上で具体的な根拠になった。

(文献)

- 1) R.Suzuki and Y.Fukuda (1977): Growth and survival of F₁ hybrids among salmonid fishes. Bull Fresh .Fish.Res.Lab.21,117-138.

日光支所では新旧合わせると 16 種類のサケ属の魚を飼育していた。このうち、今回の調査対象種（サクラマス、ビワマス並びに地方種）に該当するのはビワマス、アマゴ、サクラマス、ヤマメ、ホンマスの 5 種である。この中の 4 種について当時の写真を示した。



付写 1 : ビワマス (銀毛になる途上の個体)



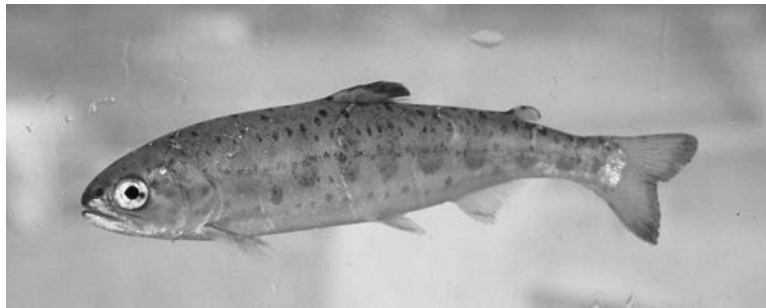
付写 2 : アマゴ



付写 3 : サクラマス



付写 4 : ヤマメ



付写 5 : ヤマメ (銀毛)

親のコピー、クローンの話

加藤禎一

錦鯉愛好家のある人が品評会で見た優勝の錦鯉が忘れられず、車を買換えるために用意したお金でその錦鯉を買ってしまったという話を聞いたことがある。

高いものでは数百万円もの値が付くといわれる錦鯉のことなので、それを親魚に育ててコピーを大量に作ろうと考えたのかも知れない。あるいは1回で50万個の卵を産む鯉もいるので、稚魚の中には親そっくりの錦鯉も何尾か出ると期待もあったかも知れない。

遺伝的に完全に同一のものをクローンというが、植物では地下茎や挿し木などの栄養繁殖で簡単にできるので、どこでも見ることができる。だから農家では特に意識することもなく普通に栽培されている。

しかし、動物でクローンを作るのは極めて困難なことで、我々の身近にいる動物では不可能に近い。それは繁殖が両性生殖によって行われるためである。先ほどの話の錦鯉が雌だとすると、その稚魚には間違いなく雄の遺伝子が入ってくる。つまり親とよく似た稚魚はできても親の完全コピーはできないのである。

クローンが一躍世界の注目を浴びようになったのは、1997年にイギリスでクローン羊の誕生が発表されてからである。最近ではわが国でもコピー牛が新聞紙上を賑わすようになったが、これらはいずれも体細胞クローンである。

その方法の概略は次のとおりである。まず普通の牛から卵子を取り出して核を除去した後、あらかじめ抽出しておいた優秀な牛の体細胞の核を挿入する。そこに電気刺激を与えると細胞分裂が始まる。その卵がある程度の細胞数になったところで外科的に分割して、それぞれを雌牛(複数)の子宮に戻す。そして240日後に優秀な牛のクローンが誕生することになる。

このように体細胞クローンは、優秀な個体のクローンを次の世代で作ることができるという画期的な方法である。ただ、この方法の場合、クローンは分割卵子の数しかできないので多数のクローンを作るのは難しい。

これに対して魚で開発されたクローン作出技術は、卵または精子つまり生殖細胞の核を用いるので、一度に多数のクローンを作ることができる。

単為発生*と染色体の倍数化を人為的に誘起させる方法を組み合わせたものだが、アマゴの場合、卵の核だけで個体を発生させる方法(雌性発生)¹⁾も精子の核だけで個体を発生させる方法(雄性発生)²⁾もクローンを作ることに成功している。

魚は一般に体外受精で発生も体外で起こる。水の中で発生が進むので発生過程を顕微鏡で逐次観察できる。また、卵数が多いので一度に多数のクローンを作ることができるなどほ乳類と比べるとはるかに有利である。

ただ、この方法の弱点は、体細胞クローンのように次の世代でクローンを作ることができ

*接合によって新しい個体が生ずるはずの生殖細胞が、接合を経ることなく新しい個体を発生させること。

ないことである。魚のクローンは雌性発生で生まれた魚を親に育てて、その卵をもう一度雌性発生させて初めてできる。従って、このクローンは最初の優秀な親のクローンではなく、2代目つまり子供のクローンである。

魚では一度に多数のクローンができるので、体の模様についても比べることができる。遺伝子が同じクローンなので体の模様も同一になるのではないかと期待されたが、アマゴでは予想とは違ってそれぞれの斑紋に微妙な違いが見られることが明らかになっている³⁾。

遺伝子が同じクローンでも身体の様相まで同じとは限らないことを示すもので極めて興味深い。

このような結果を考えると、錦鯉のクローンができたとしても見事な色模様までそっくりのクローンを作ることは難しいかも知れない。

(文献)

- 1) 桑田知宣言、他 (1995) : 染色体操作によるサケ科魚類の育種に関する研究 I クローンアマゴの特性について. 岐水試研報 40 19-33.
- 2) Nagoya et al. (1996) : Production of Androgenetic Diploids in Amago Salmon *Oncorhynchus masou ishikawae*. 日水誌. 62 (3). 380-383.
- 3) 名古屋博之、他 (1996) : クローンアマゴの形態及びパーマークの差異について. 平成8年度日本水産学会秋季大会講演要旨集. 96.

(3) 都道府県における取り組み

① 北海道

大正から昭和の初めにかけて北海道における主要な内水面養殖魚は、コイ *Cyprinus carpio*、ヒメマス *Oncorhynchus nerka nerka*、ニジマス *O. mykiss* であった。このうち冷水性魚類のヒメマスは阿寒湖およびチミケツ湖を原産とする北海道の在来種であるが、その種苗生産は自然湖沼で成長成熟した親魚を捕らえ採卵する手法であり、この当時池中養殖による種苗生産技術は未発達であった。一方、ニジマスは1977年(明治10年)にアメリカから日光へ移殖され、北海道には1917年(大正6年)に日光から水産試験場千歳支場に移殖され、ここから4回にわたり発眼卵あるいは稚魚が摩周湖に放流された(1926年(大正15年)~1929年(昭和4年))¹⁾。この摩周湖産および北海道鮭鱒孵化場で生産されたニジマス卵が民間養殖場に配布され、北海道のニジマス池中養殖および湖沼養殖の振興に貢献してきた²⁾。

その後、わが国は昭和30年代から昭和40年代後半に著しい経済発展期(高度経済成長期)を迎え、観光旅行と釣りが国民的ブームになったことから、ニジマスは観光ホテル等への出荷および釣堀や河川への放流が増加した。しかし、ニジマスの河川放流は資源の再生産には結び付かず、「放流すれども定着せず」の評価が下されていた³⁾。

他方、高度成長期には河川に多くの河川横断工作物(ダム等)が造られたことから、河川上流域の遡河性魚類資源が枯渇した時代である。その結果、河川上流域の在来遊漁種であるヤマメ(サクラマス) *Oncorhynchus masou masou* やアマゴ(サツキマス) *O. masou ishikawae*、イワナ(アメマス) *Salvelinus leucomaenis subsp.*の需要が高まり、それらの池中養殖と種苗放流が求められた時代である。

このころ道内の民間養鱒場でも在来マス類の池中養殖が試みられており、札幌市近郊の常磐(ときわ)では釣魚団体が遊漁用種苗としてヤマメに加えてアマゴを養殖したことが報告されている⁴⁾。このような状況の下で、全国の内水面試験研究機関は、在来マス類池中養殖の技術開発研究に取り組む必要に迫られていたのである。北海道立水産孵化場(以下、水産孵化場)は、この時期、サクラマスおよびヒメマスの池中養殖試験に初めて取り組んだ。ここで開発された種苗生産や放流等に関わる増養殖技術は、その後北海道沿岸のサクラマス資源を造成する技術開発へとつながっていった。

ここでは、北海道が取り組んだサクラマスに関わる技術開発の研究史を紹介する。

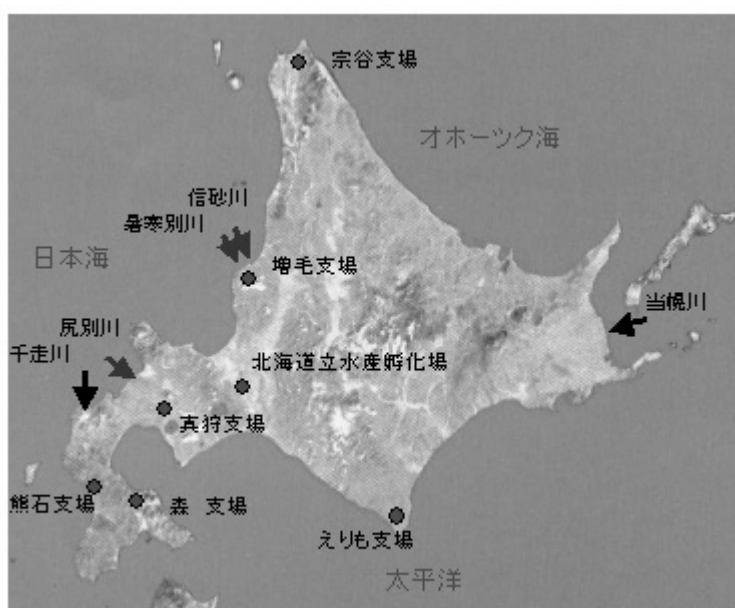
研究は大きく、種苗生産技術(卵および稚魚の生産)と資源造成技術(種苗放流)に関する分野に分けることができる。研究当初は前者に関わる分野に力が注がれたが、その安定化と前後して、後者の分野に焦点が注がれていくことになる。水産増殖学では、それまで不可能と思われていた課題が一旦ブレイクスルーされると、生産現場は新たな段階へ進展し、そこで再び新たな課題が立ち上がるというようなエンドレスの技術開発が求められる。研究に身をおく者にとって、醍醐味でもあり、また苦しみでもある。2研究分野について、当時の情勢も眺めながら、年代順に紹介する。

ア. 池中養成技術の開発研究

a. サクラマス卵の移入と在来マス類増殖試験(昭和40年から昭和46年まで)

第二次大戦後新しく改組した水産孵化場は、森養鱒場（昭和 44 年森支場に改称、その後平成 16 年道南支場の森試験池に改組。）および千歳支場、摩周湖でニジマスの種卵生産事業を実施していたが、在来マス類増殖の求めを受け、在来種サクラマスの池中養殖試験に着手することになった。

最初のサクラマス卵が 1965 年（昭和 40 年）に森養鱒場に試験導入された。この時の種川（オリジン）は千走川（日本海沿岸の島牧村）であり、発眼卵 7,500 粒を移殖した⁵⁾（図IV-15）。その結果、1967 年（昭和 42 年）10 月に雌 1 尾（2 歳）から 449 粒を採卵し、翌 1968 年（昭和 43 年）には雌 8 尾（3 歳）から 3,189 粒を得た。



図IV-15 池産サクラマス増殖施設および種川（オリジン）河川の位置図

ここで年齢は、受精後満 1 年未満の年齢を 0 歳とし、満 1 年を経て満 2 年未満までの年齢を 1 歳、満 2 年を経て満 3 年未満の年齢を 2 歳、以下同様とする。また、後述する「0+スマルト」の「0+」は受精後満 1 年に満たない年齢（0 歳）を、同じく「1+」は満 1 年を経た満 2 年未満の個体（1 歳）を示している。

さらに、森養鱒場は、1966 年（昭和 41 年）に当幌川産（根室沿岸の標津町）サクラマス発眼卵、15,000 粒を導入し（図IV-15）、1968 年（昭和 43 年）に雌 24 尾（2 歳）から 9,319 粒、そして翌 1969 年（昭和 44 年）に雌 3,268 尾（3 歳）から 1,164,600 粒を採卵した^{6),7)}。森養鱒場から改称した森支場では、この時点でサクラマスの池中養殖技術の目処が立てられ、平均発眼率はそれぞれ 43.2%（2 歳魚）および 79.7%（3 歳魚）であった。大規模採卵に成功した当幌川産サクラマス由来の初成熟雌魚の諸形質（体サイズ、孕卵数、平均卵径ほか）を表IV-6 に示す。

ところで、水産孵化場は農林省指定研究「在来マス類増殖試験」（昭和 42 年から昭和 46

年)に参加し、森養鱒場(森支場)でヒメマスおよびサクラマスの池中養殖技術開発試験および稚魚の河川放流試験に取り組んでいる。その結果、サクラマス池中養殖の事業化に成功するとともに、後述する0+スモルトを活用した2歳親魚利用による成熟サイクルの短縮に関わる手掛かりを得たのである。

次に、森支場および熊石支場(現在の道南支場)における取り組みを歴史的にまとめた。

表IV-6 森養鱒場・森支場の池産サクラマス移殖後の雌親魚初成熟に関する資料

1. 千走川産サクラマス

年齢	成熟年	採卵期間	雌親魚数	雄親魚数	* 孕卵数(粒)	平均卵径(mm)
2歳魚	昭和42年(1967)	10/16	1	3	449	-
3歳魚	昭和43年(1968)	10/7	5	5	398	-

年齢	平均体重(g)	平均被鱗体長(cm)	採卵数(粒)	発眼率範囲(%)	平均発眼率(%)
2歳魚	-	-	449	83.3	83.3
3歳魚	225.1	26.8	3,189	75.3~100	-

2. 当幌川産サクラマス

年齢	成熟年	採卵期間	雌親魚数	雄親魚数	* 孕卵数(粒)	平均卵径(mm)
2歳魚	昭和43年(1968)	10/7~11/9	24	14	388	4.3
3歳魚	昭和44年(1969)	9/16~10/16	3,268	483	356	5.8

年齢	平均体重(g)	平均被鱗体長(cm)	採卵数(粒)	発眼率範囲(%)	平均発眼率(%)
2歳魚	129	20.6	9,319	13.7~100	43.2
3歳魚	*(261)	*(25.5)	1,164,600	50.1~93.9	79.7

イ. 池産サクラマスの種卵生産に関わる技術開発研究

a. 森養鱒場・森支場・道南支場森試験池(昭和46年から現在まで)

森支場で生産される池中養成サクラマスは、その一生を淡水(池中)で終えることから、「池産(系)サクラマス」と名付けられた。これに対して、本来の生活史を経るサクラマスは、「遡上系サクラマス」と呼ばれ、池産系サクラマスと区別している。

ところで森支場の飼育用水は、冬季にもかかわらず高い水温(8~10℃)であることから、飼育1年目の成長が促進される結果、飼育1年目(1歳)の春から初夏にかけてスモルト化(銀毛化)することが明らかになった⁸⁾。いわゆる0+スモルトである。ただし、遡上系サクラマスでは、スモルト化は河川生活の2年目(1+)あるいは3年目(2+)で起きるため、0+スモルトは観察されないのが普通である。

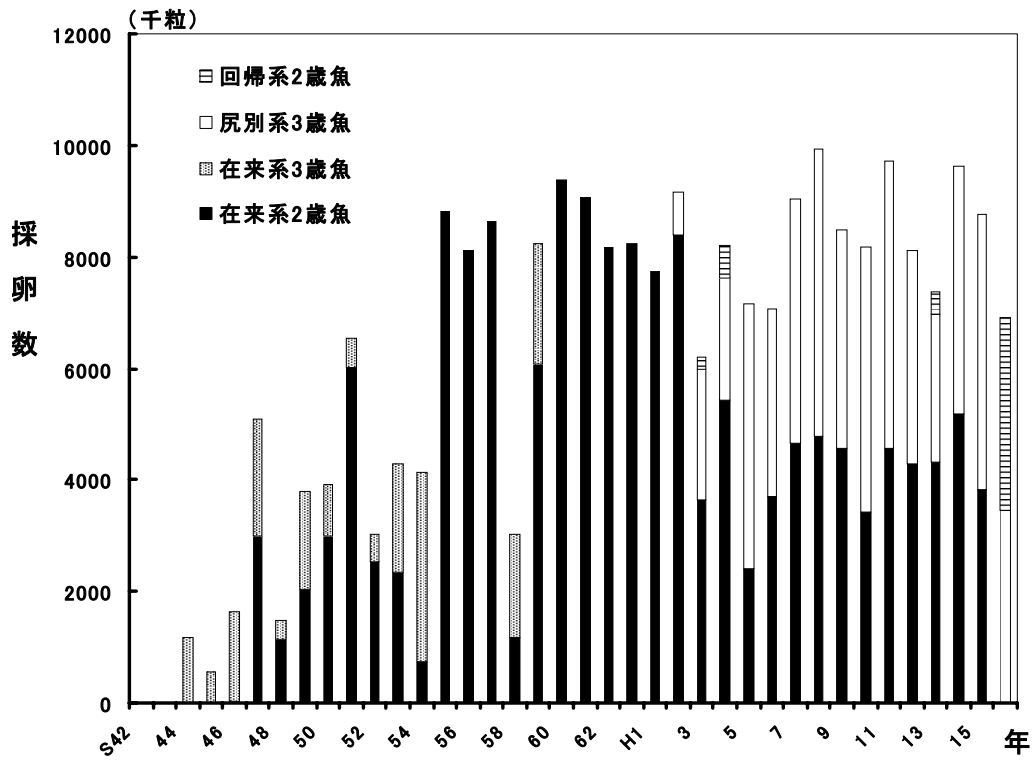
この森支場産0+スモルトが示す、種卵生産に関わる特性は次のとおりであった。すなわち、0+スモルトの大半は翌年秋に2歳魚で成熟すること、その性比が雄に偏らないこと(雌の平均性比:56.7%)であった^{8),9)}。つまり、遡上系サクラマスの成熟は通常3歳であるが、森支場のそれは1年間短い2歳であった。この特性は、種卵生産サイクルを1年間短縮する

ことが可能であり、限られた飼育用水と飼育施設を効率よく利用するうえで好都合であった。森支場では親魚として0+スマルトの利用を高めた結果、昭和50年代中頃までに、計画卵数すべてを0+スマルト由来親魚から生産することが可能になった⁹⁾。

ところで、昭和50年代前半まで森支場の種卵生産事業は不安定であった。これは、孵化後仔魚の生残率が著しく低かったことによる。特に、仔魚期に発症した細菌性鰓病と原虫性鰓病の影響が大きいとされているが、それを引き起こす要因の解明には至らず、発眼卵の一時移管（えりも支場における仔魚期の一時管理）による飼育環境改善を通じた、仔魚期の生残率向上対策が図られていた。しかし、森支場では、1979年（昭和54年）に初めてホルマリン浴（4千分の1濃度）を試み¹⁰⁾、仔魚期の減耗対策に顕著な改善効果を得た。翌1980年（昭和55年）に種卵生産が初めて880万粒を超え、その後一例を除いて、森支場あるいは道南支場森試験池の年間採卵数は、710万粒から990万粒の安定した範囲で継続されている（図IV-16）。

ただし、ホルマリンの使用は、2003年（平成15年）の薬事法一部改正により禁止され、水産孵化場は緑茶抽出物（カテキン）や食酢、食塩あるいは銅イオンを用いた代替法の研究を行っている。

これとは別に森支場は、種卵の安定生産を図る考えで、親魚を継代して利用する手法を選択した。この池中継代種苗は「森在来系」と呼ばれる。池中継代手法では、継代を重ねるにしたがい生残率が改善され安定化してくることが利点であり、事実、森支場の発眼率は継代を重ねることにより、平均発眼率が当初60%ないし70%台であったが、90%を超えるまでに改善されている（図IV-17）。また、その孕卵数（雌親魚1個体の成熟卵数）も当初400粒から600粒ほどであったが、1992年（平成4）年以降、それは1,000粒以上（1,100粒～2,400粒）まで増加した（図IV-18）。ただし、この平均孕卵数は、総採卵数を使用雌親魚数で除した値である。



図IV-16 森支場・道南支場森試験池の池産サクラマス採卵数

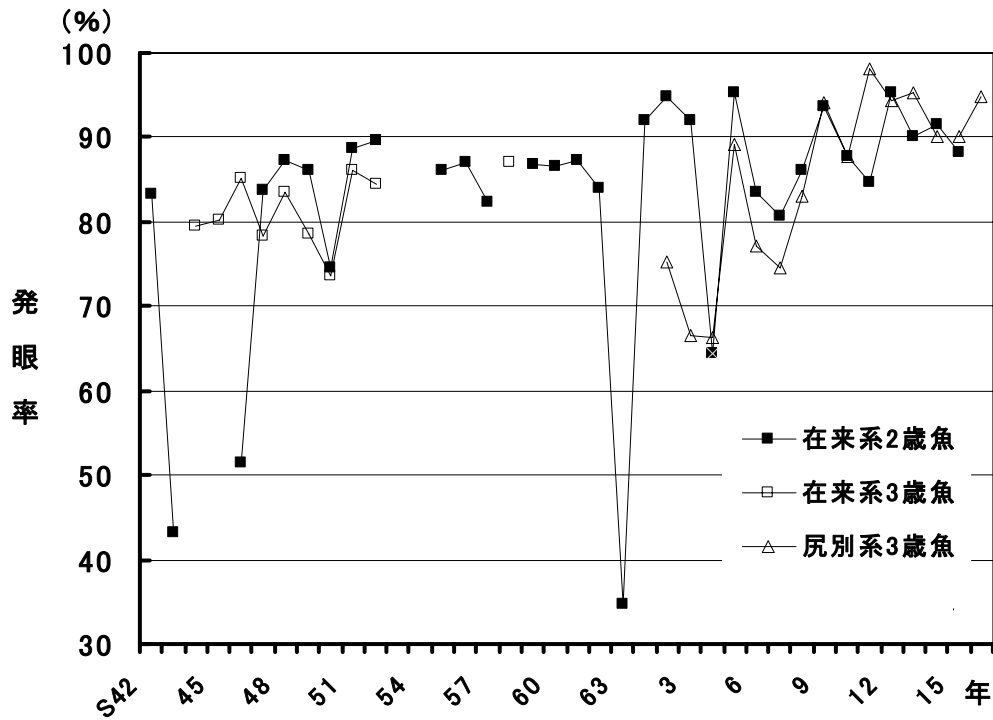
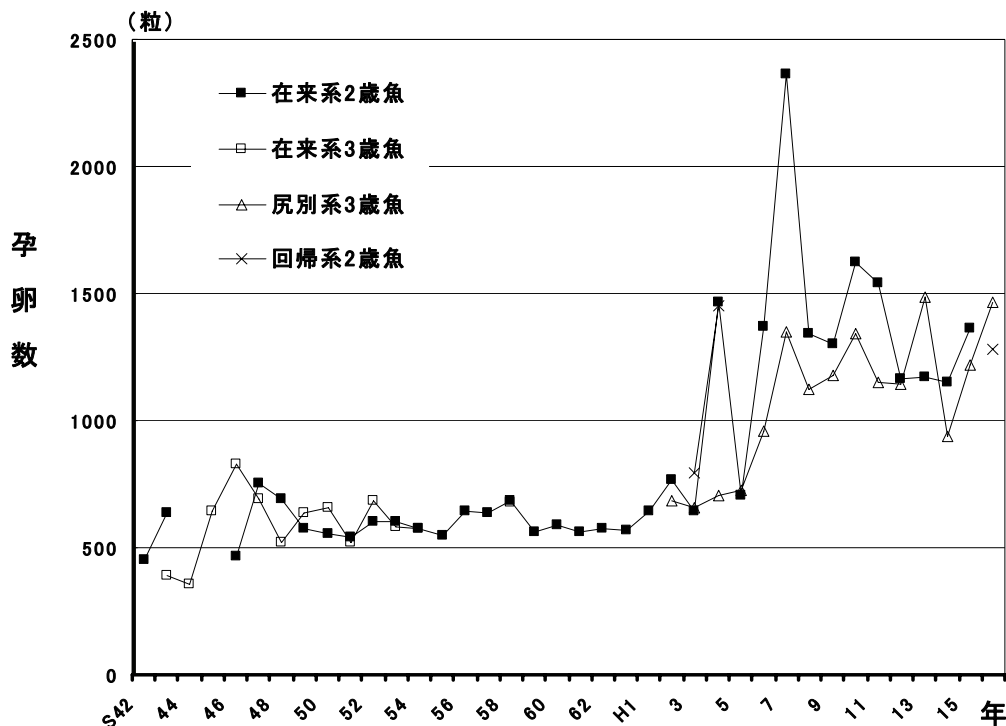


図 IV-17 森養鱒場・森支場・道南支場森試験池の池産サクラマス発眼率の推移



図IV-18 森養鱒場・森支場・道南支場森試験池の池産サクラマス孕卵数の推移

ところで、種卵生産が不安定であった昭和 50 年代前半に森支場では、十勝地区の複数の民間養鱒場から不足親魚を補う目的で、養殖ヤマベ（北海道におけるサクラマスの呼び名）親魚の導入を図ったことが分かっている（阿刀田未発表資料）。このため森支場の「森在来系サクラマス」は、千走川産および当幌川産サクラマスに加えて、オリジン不明の養殖魚集団が導入された結果、そのオリジンを特定することは不可能となったのである。

次に、森支場が取り組んだ、種卵生産の安定化および効率化に関わる技術開発研究を紹介する。

その一つは、魚病防疫対策技術の開発研究である。北海道で在来マス類の養殖が盛んになった 1970 年代前半（昭和 43 年～昭和 46 年）に水産孵化場は、北海道大学水産学部と共同して民間養鱒場における魚病発生状況調査を行い、ヤマベ、アマゴ、ヒメマス、そしてニジマスで、細菌性鰓病およびせつそう病の発症に加えて、その治療法が確立されていないウィルス性疾病の IPN（伝染性腭臓壊死症）および IHN（伝染性造血器壊死症）の発症を確認した¹¹⁾。事実、森支場で発症した魚病防疫対策上、重要な疾病のひとつに IHN があげられる。1978 年（昭和 53 年）に初めて IHN が森支場で発症したとき、その対策として、親魚群を隔離し罹病魚を含むほかのすべての飼育群を取り上げ処分した上で、飼育施設（飼育池、水源池、配水路、孵化室など）を塩素（サラシ粉）で消毒する処置が選択されている。さらに、森支場では、採卵後親魚をすべて取り上げ処分し、受精卵をヨード剤で消毒後孵化室に收容することとした。これらの処置により、森支場ではこれ以降 IHN の発症を現在まで認めていない¹²⁾。

この成果を踏まえて、水産孵化場はウィルス病対策として、採卵時および移殖時に卵のヨード剤消毒と飼育器具および施設等の消毒に取り組み、「持ち込まない、持ち出さない」を基本方針に魚病防疫を図ってきた。IHN等に対するこれらの手法は、魚病防疫に関わる北海道の基本指針として、サケの増殖事業に受け継がれている。

いま一つの技術開発は、効率的な0+スマルト生産技術に関する研究である。1980年（昭和55年）以降、森支場は0+スマルト化した親魚（2歳）を主体とすることで親魚養成の効率化に成功したが⁹⁾、その科学的知見は不足していた。そこで、0+スマルトの発生、発達、退行のプロフィールとそのメカニズムが北海道大学水産学部との共同研究で調べられ、その諸形質が形態学的、内分泌学的、行動学的に明らかにされ^{13),14),15),16)}、ここで「森在来系」サクラマスの中成技術の基礎が確立されたのである。

また、後述する0+スマルト放流試験に関して、森支場は、そのスマルト化時期と出現率を改善するための技術開発にも取り組んだ。その結果、1987年（昭和62年）以降、光周期の短日処理による親魚成熟促進技術を用いて、夏季に採卵できる夏卵作出技術および高水温と光周期の長日処理を組み合わせることによる0+スマルトの早期化効率化作出技術が開発された。

さらに、限られた事業資源（用水、池、人）をより有効活用するための技術開発にも触れておかなければならない。森支場では、1995年（平成7年）から1997年（平成9年）にかけて、「森在来系」3年級群で「隔日給餌試験」に取り組んだ。その結果「隔日給餌技術」は、親魚の大型化（平均400gから平均1,090gに増加）と孕卵数の増大（平均680粒から平均1,370粒に増加）に結び付けることができた¹⁷⁾（図IV-18）。

ところで、1988年（昭和63年）は、森支場の池産サクラマス種卵生産事業にとって大きな転換点となった年である。すなわち、森支場はそれまで「森在来系」だけを池中生産していたが、この年から新しく尻別川産（日本海沿岸の寿都町）サクラマスが導入されたことである（図IV-15）。これは、「森尻別系」と呼ばれる¹⁸⁾。「森尻別系」は、その成熟年齢を遡上系と同じ3歳とする養成方針が立てられた。その理由は後で詳しく触れることになるが、増殖地域の河川集団をオリジンとし、サクラマス本来の生活史に基づく池中成熟過程を経ることで、種苗の増殖効果向上を目論んだことである。同じ理由で、河川放流した標識回帰魚を親魚に用いることも試みられ、これは「回帰系」と呼ばれた。これら3系群のうち「森尻別系」および「回帰系」は資源増殖用種苗として用いること、そして「森在来系」は内水面養殖用種苗として利用することが決定された。こうして森支場で生産する各系群の使用目的が、その特性に基づいて明確に区分されたのである。

一方、サケマス類の海中網生け簀養殖が注目され始めた1980年代半ば（昭和60年前後）、北海道ではサクラマスの海中養殖が盛んになった。「森在来系」はその種苗としても利用されたが、その中にはバイテク技術を応用した全雌3倍体卵の供給も含まれている。全雌3倍体卵の供給は、その後内水面養殖業を対象に2003年（平成15年）まで継続している。

その後森支場は、2004年（平成16年）に、道南支場（旧熊石支場）の森試験池に改組した。これにより森支場は、長年にわたり北海道の池産サクラマス種苗生産とその資源増殖技

術開発研究をリードしてきた役割を終えたのである。これを契機として「森在来系」の種卵生産事業が2003年（平成15年）に廃止され、森試験池で生産する系群は「森尻別系」と「回帰系」に置き変わった。その形質が科学的に詳しく調べられた「森在来系」は、その系群保全のため、水産孵化場の試験池（恵庭市）で継代飼育が続けられている（図IV-15）。

b. 熊石支場・道南支場（昭和58年から現在まで）

森支場で開発された成果は、1983年（昭和58年）に日本海南部地区に開設した、熊石支場（2004年（平成16年）道南支場に改組。）の池産サクラマス種卵生産事業に受け継がれた。ただし、熊石支場の親魚継代飼育はF2（遡上系卵導入後2代目）までに止められた。これは継代による弊害をできるだけ排除する考えに基づく。さらに、池中親魚の成熟年齢は、遡上系サクラマスのそれと同じ3歳とした。熊石支場のふ化飼育用水は地下水（井戸）と河川水を利用しているが、その飼育水温は森支場と異なり、冬季1～2℃に低下する。

熊石支場で生産する2系群は、尻別川産サクラマスをオリジンとし日本海中部域を増殖地区とする「熊石尻別系」、および信砂川産あるいは暑寒別川産（日本海北部沿岸の増毛町）サクラマスオリジンとし日本海北部域を増殖地区とする「熊石信砂系あるいは熊石暑寒別系」である¹⁹⁾（図IV-15）。加えて、森支場と同じ考え方で「回帰系」の導入も図っている。

熊石支場の種卵生産数は、開設4年目で目標の900万粒を超え、その後、多い年で1,300万粒余りの採卵数に達している（図IV-19）。その結果、森支場および熊石支場で生産する合計採卵数は、2,200万粒余りに達する年も見られるようになった（図IV-20）。

一方、熊石支場の平均孕卵数は400粒ないし600粒のレベルから漸次改善され、1996年（平成8年）には1,000粒を超えるレベルにとどいた（「熊石尻別系」：平均1,326粒、図IV-21）。ところで、熊石支場の平均発眼率は一時80%を超えたこともあるが、開設後22年を経た2004年（平成16年）現在、73.4%（「熊暑寒別系」）および74.1%（「熊尻別系」）に止まっている（図IV-22）。発眼率を改善する試みは、現在も道南支場で続けられている²⁰⁾。

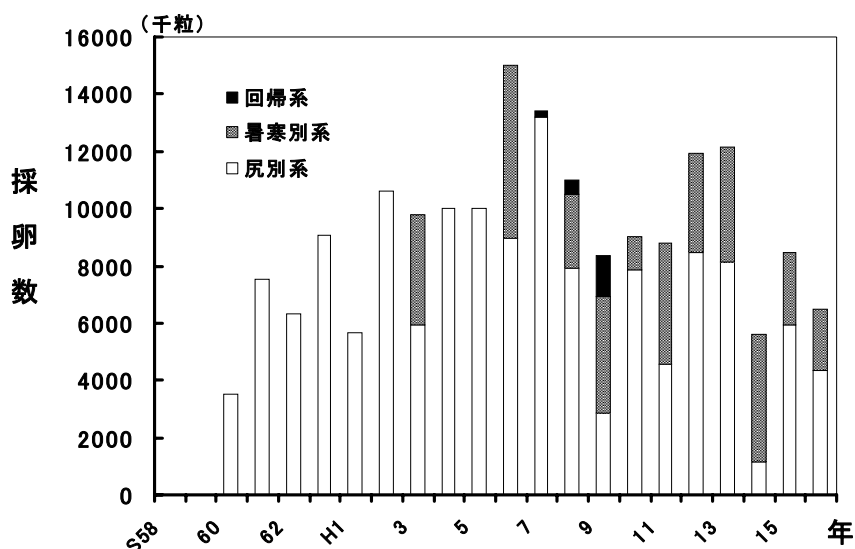


図 IV-19 熊石支場・道南支場の池産サクラマスの採卵数

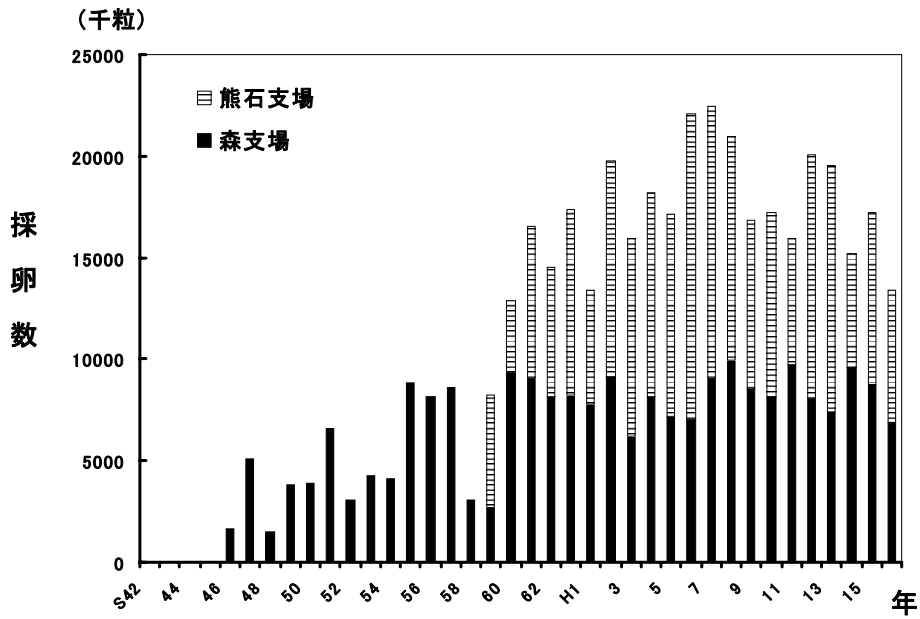


図 IV-20 森支場（道南支場森試験池）および熊石支場（道南支場）の採卵数の変化

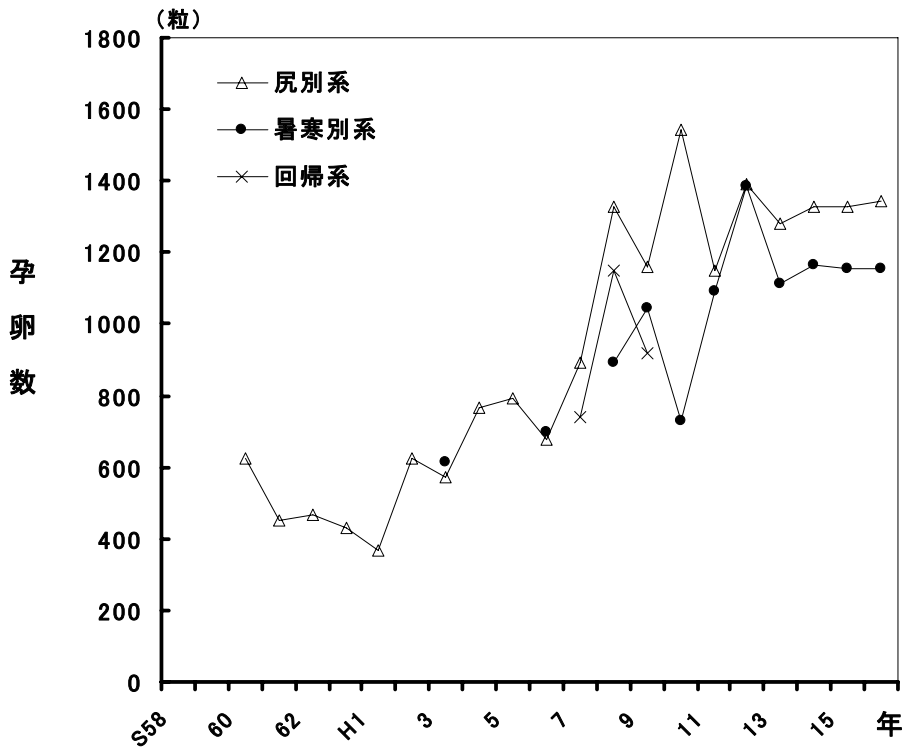


図 IV-21 熊石支場・道南支場の池産サクラマス孕卵数の推移

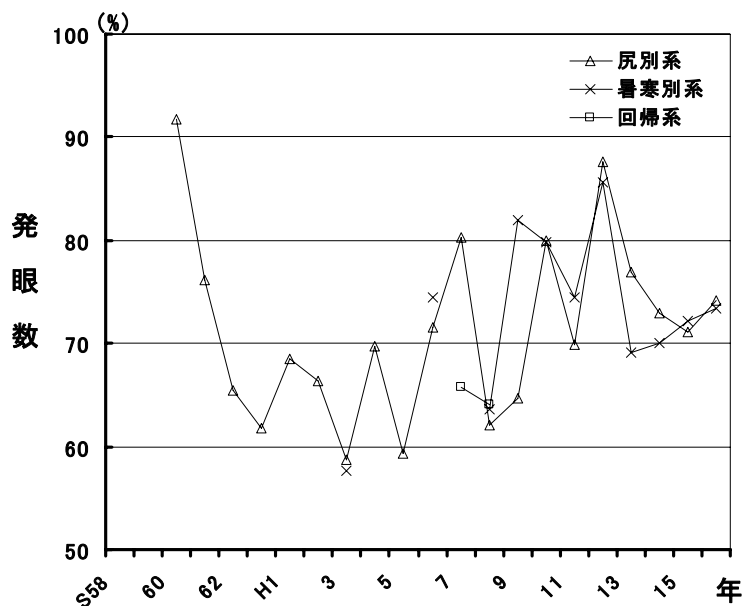


図 IV-22 熊石支場・道南支場の池産サクラマス発眼率の推移

ウ. 今後の課題

池中養成によるサクラマス種苗生産の事業化は、旧森支場および旧熊石支場における一連の池産サクラマス種苗生産に関する技術開発研究により、ほぼ達成されたといえる。ただし、種苗の使用目的に応じた親魚養成技術の開発研究が現在も求められている。特に、資源増殖用種苗を生産する場合、当該増殖地域の適合系群の選択は言うまでもなく、池中養成に基づくリスクにも留意するべきであろう。すなわち、親魚の継代に伴う遺伝的多様性の低下と、それに基づく生態学的形質改変の影響に注意を払わなければならない。リスクによる変化の予兆を監視するために、我々は適切なモニタリングシステムを導入する必要がある。水産孵化場では、旧森支場に新たに導入した「森尻別系」をモニタリングする手法のひとつとして、放流後の分散行動およびスモルトの降河行動をオリジンの遡上系と比較することを通じて試みており、現在F4までのモニタリングを終えた²¹⁾。このほかに遺伝的多様性のモニタリングとして、系群のオリジン河川集団と池産系集団におけるヘテロ接合体の頻度および近交係数等を評価することも必要である²²⁾。これらのモニタリングを行うことにより、我々は池産サクラマスの遺伝的多様性を正しく理解し、必要であれば適切な手だてを行う順応的事業管理を目指すべきであろう。

他方、池中養成における魚病の防疫と制御は、今後も注意深く取り組むべき課題であることは言うまでもない。薬事法が改正され医薬品の使用が厳しく制限されるようになった現在、飼育環境を整え飼育魚の生体防御機能を高めることにより、魚病リスクの抑制を図ることが、これからの種苗生産の基本になると考えられる。

次に、池産サクラマスを用いて北海道沿岸のサクラマス資源造成に取り組んだ研究史を紹介する。

エ. 池産サクラマス資源増殖技術の開発研究

a. 単一系群による資源増殖と試験研究（昭和46年から昭和59年まで）

水産資源保護法に基づくわが国のサケマス増殖事業が開始して間もない、1950年代半ば（昭和30年代）から1960年代後半（昭和40年代前半）における、遡上系サクラマス親魚捕獲数は3,000尾から16,000尾の間にあり、その採卵数は300万粒から1,500万粒の範囲で変動していた（図IV-23）。サクラマスは、サケ *O. keta* やカラフトマス *O. gorbuscha* に比べて、その河川遡上期が春季で早く、秋季の成熟時期まで長期間の蓄養を必要とし、その間の生残率も低いことから、増殖用種卵の安定供給が関係者の間で要望されていた。一方、前述したように、1969年（昭和44年）に水産孵化場は、池産サクラマス種卵生産の技術開発に目処が立ち、その事業化が1971年（昭和46年）から森支場でスタートした。

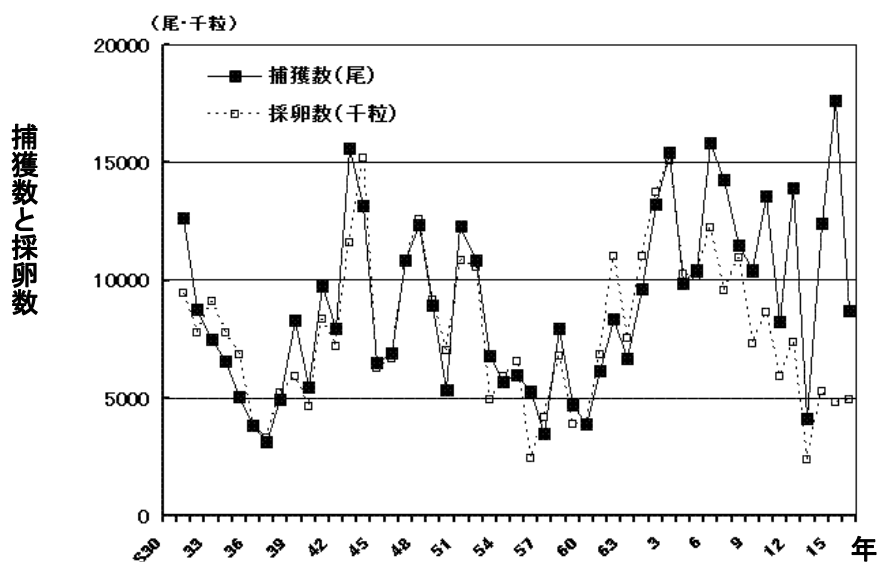
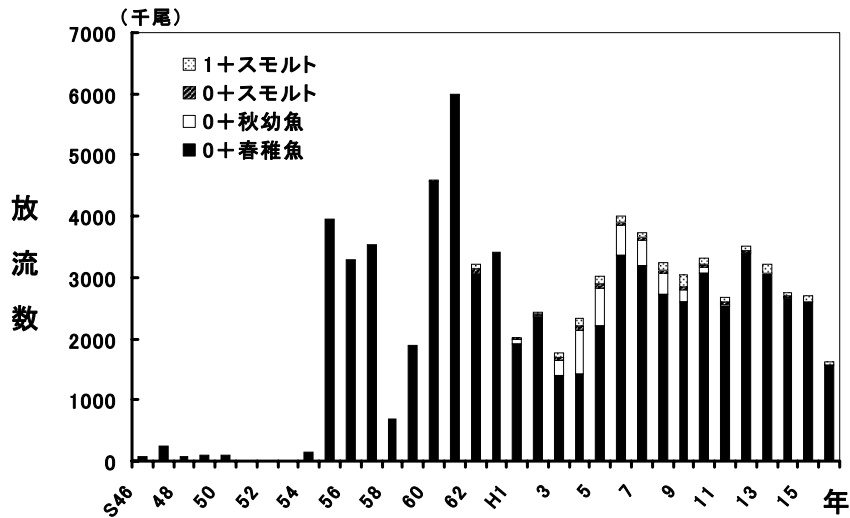


図 IV-23 北海道におけるサクラマス捕獲数と採卵数（1955年～2004年）

森支場による池産サクラマス稚魚放流は、当初、遊漁および内水面漁業資源を対象とした放流がその主体であったが、1980年（昭和55年）以降、沿岸サクラマス資源造成用の放流数が増大した。幼魚放流が注目されるようになる1990年（平成2年）までの、水産孵化場における稚魚放流数は190万尾から600万尾の範囲である（図IV-24）。これに対して、民間施設による池産サクラマス稚魚放流数は、最大で129万尾に達していた（図IV-25）。



図IV-24 水産孵化場による池産サクラマスの種苗放流数の推移（1971年～2004年）

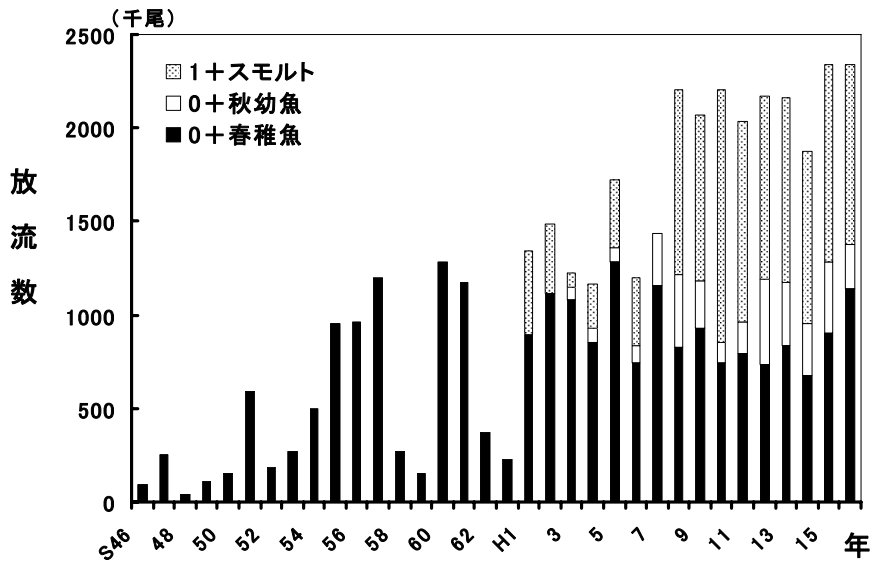


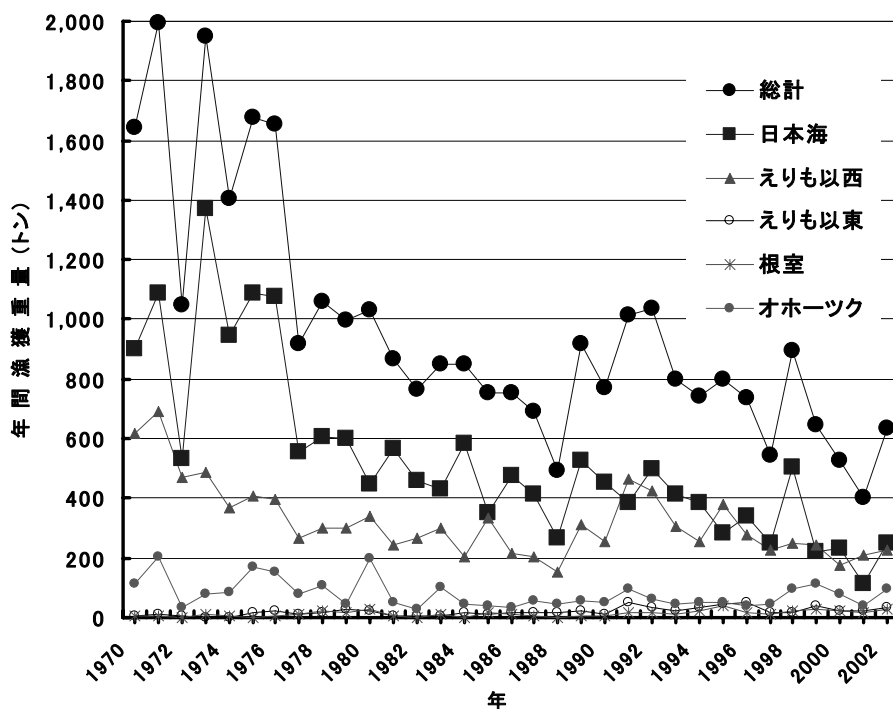
図 IV-25 民間施設による池産サクラマスの種苗放流数の推移（1971年～2004年）

注：1971年（昭和46年）から1979年（昭和54年）までの間は発眼卵数のデータから、当時の平均生産率0.166を乗じて計算した。

他方、水産孵化場は放流効果を確かめるため、河川生活期サクラマスの生態調査を開始している。サクラマスの遡河産卵生態^{23),24)}、放流集団の河川内分散や成長、食性に関する分野が試験課題であったが、次第に幼稚魚の個体群動態^{25),26)}および保護水面の野生サクラマス集団の銀毛化変態（スマルト化）に関する分野^{27),28)}に広がった。この過程で細かく分散して稚魚放流する手法が、増殖現場に導入された。また「森在来系」稚魚の鰭切り標識放流が実施され、少数ではあるものの沿岸や放流河川で回帰成魚が再捕されるようになっていた^{29),30)}。

しかし、「森在来系」稚魚を放流した道南および道央日本海沿岸では、漁獲量が期待した

ほどには増加しなかったことから（図IV-26）、水産孵化場は1980年代半ば（昭和60年代初め）に、当時としては画期的な取り組みである全場プロジェクト体制で、その原因究明に当たることになった。この研究プロジェクトは、「森池産サクラマス放流効果向上試験」と位置付けられた。



図IV-26 北海道におけるサクラマス沿岸漁獲量（1970年～2002年）

・森池産サクラマスの放流効果向上試験（昭和62年～平成元年）

「森池産サクラマスの放流効果向上試験」では野外調査および飼育試験に基づき、「森在来系」池産サクラマスの生物学的特性を生態学的、行動学的、生理学的に明らかにすることを目的に研究が展開された。そのなかで「森在来系」池産サクラマスをを用いた資源増殖上、重要な知見が発見された。これら試験結果は、「森池産サクラマスの放流効果の向上に関する研究 試験研究結果報告書」³¹⁾にまとめられている。

その主要な知見は次のとおりであった。

- 「森在来系」は0+でスマルト化する傾向が強く、その海水適応能は1+スマルトより劣ること。
- 「森在来系」1+スマルトの降海時期は6月が盛期であること。
- 稚魚放流後の河川内分散が遡上系と比べて拡散しないこと。
- 日本海沿岸河川に標識放流した「森在来系」稚魚の再捕個体数が期待ほど高くないこと。

これらの知見のなかで最も重要なことは、増殖地域である日本海中南部域の野生スマルト

の降海盛期が5月であるにもかかわらず、「森在来系」のそれが1ヶ月遅れることを初めて明らかにした点にあった。このデータから「森在来系」スマルトが適切な降海時期を逸していることが明らかにされ、「森在来系」の増殖効果が充分発揮されない原因が、この生物学的特性（スマルト化時期の不適合）にあることが明らかにされたのである。さらに、スマルトの降海行動が遺伝的に制御されることも、野外放流試験から明らかにされた^{32),33)}。

b. 多系群による資源増殖と試験研究（昭和60年から現在まで）

これらの新知見に基づき水産孵化場は、池産系種苗の見直しと新たな導入に着手した。このときの新池産系選定基準方針が、沿岸サクラマス資源増殖用種苗としての適正であった。よく知られているように、サケマス資源の変動に及ぼす要因のなかで、幼稚魚が沿岸に下るタイミング（降海時期）は極めて重要なファクターの1つである。先の研究結果から、サクラマスの降海タイミングが遺伝的に制御下にあること、そして降海時期は地域的に異なることが明らかにされていた。つまり、一定地域に生息する野生サクラマスの降海時期は、長い進化の歴史の中で獲得固定された形質と言い換えることができる。

水産孵化場は、増殖対象の北海道日本海沿岸では降海時期の異なる2地域グループが存在することから、これら2地域に適合する新池産系の作出に取り組むことになった。2地域は地理的に、石狩支庁と留萌支庁の境で分けられ、日本海北部地区および同中南部地区として区分された。両地区を増殖対象とする新池産系のオリジンは、両地区で安定的な親魚捕獲と採卵が継続する川のサクラマスが選ばれた。それらは、暑寒別川・信砂川（日本海北部地区、増毛町）および尻別川（日本海中南部地区、寿都町）である（図IV-15）。

こうして、森支場は、1990年（平成2年）に初めて「森尻別系」卵を生産した。他方、熊石支場（現在の道南支場）は、日本海北部地区の「熊石暑寒別系」もしくは「熊石信砂系」に加えて「熊石尻別系」卵を、1985年（昭和60年）から生産開始した（図IV-16および図IV-19）。水産孵化場はこれ以降、複数の新しい系群を用いて沿岸サクラマス資源増殖に取り組むこととなり、「森在来系」は沿岸サクラマス資源増殖用種苗としての役割を終えることになった。

次いで、水産孵化場は1990年（平成2年）から新たな池産サクラマス増殖研究、「池産サクラマス回帰率向上試験」をスタートさせた。

他方、旧水産庁さけ・ますふ化場（（独）水産総合研究センターさけますセンター）では1980年（昭和55年）から1988年（昭和63年）にかけて、マリンランディング計画の1つとして、遡上系サクラマスの1+スマルト放流試験に取り組んでおり、水産孵化場はその中で池産系0+スマルトの種苗生産とその秋季放流試験に取り組んでいる。

オ. 池産サクラマス回帰率向上試験（平成2年～8年）

「池産サクラマス回帰率向上試験」は、池産サクラマスによる沿岸資源増加を図ることを目的に、新しい池産系群の種苗特性を明らかにして、放流技術の開発研究および放流効果評価技術の開発を目指すものである。ここで試みられた放流技術とは、発眼卵埋設放流、稚魚放流、秋幼魚放流、0+スマルト放流、そして1+スマルト放流である。

本試験は前試験計画と同じくプロジェクト体制で取り組まれ、その中で新しく部会制が設

けられた。それらは、種苗生産・特性部会、生息環境利用部会、放流技術開発部会、放流効果判定部会、系群解析・標識法部会の5部会であった。本試験では多くの有益な知見が得られ、それらは池産サクラマス資源増殖事業現場に応用された。

これら一連の「池産サクラマス回帰率向上試験」の詳しい試験結果は、水産孵化場広報誌「魚と水（うおとみず）」特集号31号³⁴⁾（1994年（平成6年））および同35号³⁵⁾（1998年（平成10年））に部会ごとにまとめられ発表されている。

主な成果を示すと次のとおりである。

- 発眼卵の埋設放流試験に取り組みその効果を確認したこと。
- 稚幼魚の河川微小環境選択とカバーの重要性が明らかにされたこと³⁶⁾。
- 河畔林の夏季水温上昇抑制機能と高水温のサクラマス稚魚への影響が明らかにされたこと。
- 秋幼魚放流における越冬環境の環境分析とその重要性が明らかにされたこと^{37) 38)}。
- 0+スモルトの春季海水馴致放流技術を開発したこと³⁹⁾。
- 1+スモルトの大型個体放流果が確かめられたこと⁴⁰⁾。
- スモルトの種苗性評価手法（SWI）を開発したこと。
- 沿岸定置網調査から回遊スモルトの体長組成および移動時期等が明らかにされたこと^{41),42)}。
- リボンタグ標識放流によりサクラマスの沿岸回遊経路が推定されたこと。
- 沿岸漁協市場調査から放流効果を統計学的に推定する調査手法と調査体制を作り上げたこと⁴³⁾。
- 発眼卵のALC（アリザリンコンプレキソン）標識と稚魚のアクリル塗料皮下注入標識、CWT（コーディッドワイヤータグ）⁴⁴⁾の有効性が確認されたこと。
- スモルト化が遺伝的支配を受けることが明らかにされたこと。
- 池産系集団および遡上系河川集団のアロザイム分析とmtDNA分析を行い、河川集団の遺伝的独立性および池産系集団の遺伝的多様性が確認されたこと^{45),46)}。

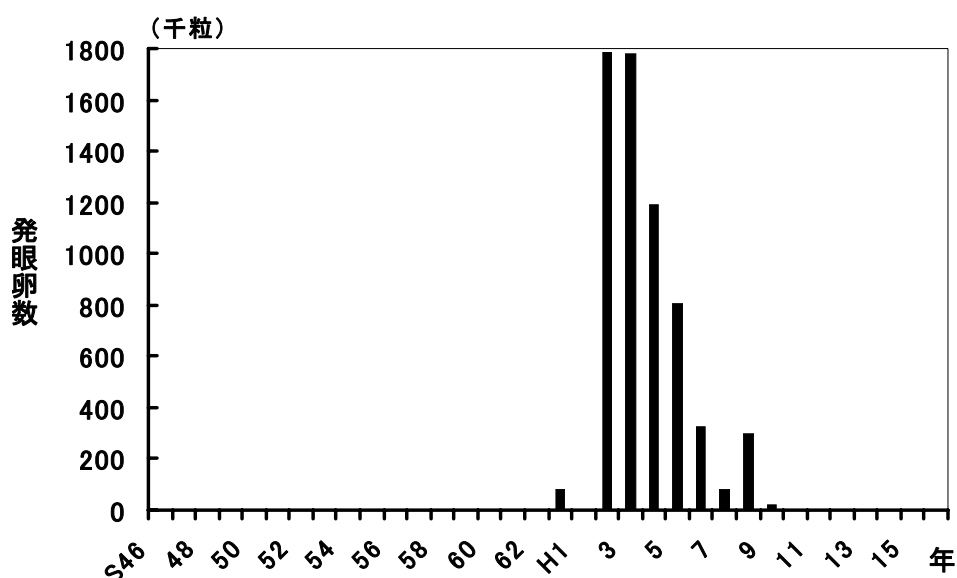
本試験で得たこれらの知見は、検討のうえ現場に応用された。すなわち、スモルト放流を実施する場合は、最大放流効果が期待される大型スモルト（平均体重30g）生産が目標とされ、放流前にSWAI（SeaWater Adaptability Index：35psu海水24時間中の行動観察により種苗性をポイント-1から+1までの数値で評価する）による種苗性評価テストを導入した⁴⁷⁾。そして漁協市場調査システムにより標識放流魚の発見と沿岸回収率が推定された⁴⁸⁾。

一方、1+スモルト大規模試験放流が、日本海南部地区の民間施設（檜山支庁管内乙部町の突符収容場）で1989年（平成1年）から始まった。民間施設によるスモルト生産と放流は、日本海北部地区まで拡大し、放流数も100万尾を越えている（図IV-25）。しかし、その放流効果は不安定で、回収率の高位安定が最重要課題として残された。また、遊漁による稚魚の減耗が放流河川で明らかにされる⁴⁹⁾。一方、減耗を抑制する目的で秋幼魚放流試験が始まった。その放流数は一時45万尾ほどに達したが（図IV-25）、その回収率は安定せず、不安定

な増殖技術と言わざるを得ない状況であった。

なお、池産サクラマスノモルト放流を語る場合、森支場およびえりも支場で取り組んだ0+ノモルト放流技術の開発研究に触れておかねばならない。0+ノモルト放流試験では、港湾に設置した陸上生け簀等を用いて、0+ノモルトを徐々に淡水から低濃度の海水、そして全海水まで5日間かけて海水馴致させ、春季に沿岸放流する手法が開発された。森支場が道南太平洋地区(恵山町)で実施した平成3年放流群は、高い回収率(推定4.4%)を示したが、その後めざましい成果を得ることはなかった。0+ノモルト放流は2003年(平成15年)春まで、道南太平洋域(胆振管内伊達収容場)で続けられている。

粗放的であるが経済的にメリットが考えられる発眼卵埋設放流試験は、事業化には結び付かなかったものの、補助器具の開発を含め基礎的な資料が蓄積されている。この時期、多いときで約180万粒の発眼卵が試験放流されている(図IV-27)。



図IV-27 池産サクラマスの発眼卵埋設放流数の推移(1989年~1998年)

ところで、さまざまな放流技術により資源増殖に取り組んだ、この時期の沿岸サクラマス資源の動向には興味を持たれる。北海道沿岸のサクラマス漁獲量は1970年代後半(昭和45年~)に1,000トンを超えるレベルであったが、1980年代(昭和55年~)は明らかに漸減傾向が認められ、およそ700トンのレベルに減少している(図IV-26)。しかし、本試験が取り組まれた1990年代前半(平成2年~)の漁獲量は800トンから1,000トンのレベルに増加し、一時資源回復が図られたように思われるが、その資源構造および各放流技術に基づく放流効果の推定が充分明らかでないことから、その増殖効果を正しく評価するには至っていない。

カ. 池産サクラマス回帰率安定化試験(平成9年~平成14年)

次いで水産孵化場は、資源増殖に即効性を有する幼魚放流技術およびその種苗性評価技術を、ブラッシュアップして発展安定化する目的で、「池産サクラマス回帰率安定化試験」に

取り組んだ。その研究成果は、水産孵化場広報誌「魚と水」第40号⁵⁰⁾ (2004年(平成16年))にまとめられている。

主な成果は次のとおりであった。

- 1+スマルト放流の回収率とスマルト成長速度には明瞭な関係が認められなかったこと。
- それぞれの放流技術の経済回収率(生産コストに対する水揚げ金額の比率)が推定されたこと。
- 沿岸漁獲に占める天然資源の割合が評価されたこと。
- 秋幼魚放流の河川スマルト生産率は放流時サイズ(平均体重)と正の相関が認められたこと⁵¹⁾。
- 新たな種苗性評価技術として生化学的および組織学的手法(肝臓トリグリセライド量と腎臓メラニン含有細胞密度)が開発されたこと^{52),53)}。
- 河川および海面の遊漁による釣獲尾数が推定されたこと^{54),55)}。
- モニタリング調査(河川放流後分散、スマルト降河行動、アロザイム分析)が継続されたこと。
- スマルト化のタイミングに関する選抜効果を実験的に明らかにしたこと。

本試験では、各放流技術の回収率が推定された。それによると、遊漁が禁止された保護水面の稚魚放流回収率は平均0.41%(0.22~0.54%)、そして1+スマルト放流回収率は平均2.41%(0.18~4.05%)であった⁵⁶⁾。これらの回収率と放流数および増殖施設能力等を分析評価することで、人工種苗放流に基づく増殖効果には限界があるとの考えが導き出された。事実、沿岸漁業における人工増殖の効果は、全漁獲量の20%前後と推算されている。これらの結果から、沿岸資源に占める天然サクラマス資源の割合は大きく、その資源増殖を図るためには、天然サクラマス資源の保全と育成が極めて重要であることが明らかになった。そして人工増殖は、沿岸資源を底支えするうえできわめて重要なことが理解されたのである。

キ. サクラマス資源の復元と安定化に関する研究(平成15年から平成19年)

これらの成果を踏まえ水産孵化場は2003年(平成15年)から、新たにスマルト放流技術の改善に加えて、人工放流種苗の河川内生き残りを高め、天然資源を保全育成するために、新しく河川環境の復元を研究課題に取り入れた「サクラマス資源の復元と安定化に関する研究」をスタートさせた。

本試験の主な研究課題と視点は、次のとおりである。

- 池産系に加えて遡上系サクラマスを研究対象にしたこと。
- 道南支場をサクラマス研究の拠点と位置付けて約30万尾の1+スマルト放流試験に取り組むこと。
- サプリメント等の餌料添加によるスマルトの種苗性強化を試みること。
- スマルトの沿岸生態を調査すること。
- 河川横断工作物の影響を評価する数理生態学的モデルを開発すること。

本試験は現在継続中であり、いくつか興味深い結果が得られつつある。すなわち、日本海南部地区の見市川では 1+スマルトの大量回帰が得られ、回帰魚は道南支場の「回帰系」親魚として利用された⁵⁷⁾。また、クエン酸鉄等の餌料添加がスマルト種苗性向上（遊泳速度など）に有効であることが認められた。さらに、河川の環境収容力（生産力）に基づいて、ダム等の影響評価を推定する NEI（Net Energetic Index）モデルが作られ、ダムの上下流試験区でその適合性が検証されているところである。

ク. 今後の方向

北海道のサクラマス資源増殖は、旧水産庁さけ・ますふ化場が組織改正した 1997 年（平成 9 年）まで、国（遡上系種苗）、北海道（池産系種苗）、民間（池産系種苗）で実施されてきた。試験研究もこれに基づき、遡上系サクラマスは国が扱い、北海道は池産系サクラマスに関する試験研究を行ってきた。

池産サクラマスに関する研究は、1965 年（昭和 40 年）に先ず、安定的な種卵生産を得るための池中養成技術の開発研究から手が付けられた。研究はその後、放流技術の開発とそれに関わる種苗性や放流効果評価技術の確立につながられた。これら一連の技術開発を通じて言えることは、北海道（水産孵化場）は、一貫して、人工ふ化増殖に関わる技術開発研究に取り組んできたことである。1970 年代（昭和 40 年代後半）から続くサケの沿岸漁獲量増大は、当時人工ふ化増殖技術の著しい成果と謳われ、サクラマスにおいても同様の手法と技術開発で達成できると信じられたのである。

しかし、1987 年（昭和 62 年）に開始された一連の池産サクラマスプロジェクト研究の結果は、沿岸サクラマス資源に貢献する人工ふ化放流種苗の限界および、天然資源の新たな評価とその重要性を明らかにした。さらに、サクラマスの強い河川依存性から生み出される人間活動との軋轢と、それによりもたらされるサクラマス資源の減少も明らかになった。今後、サクラマス資源を安定保持していくために、人工ふ化増殖技術と合わせて天然資源の管理技術の開発が急務となっている。

ところで、野生資源の管理は、その科学的データが基礎となる。その研究は、サクラマス地方集団の構造とその適正な利用、ハビタットの環境保全と修復、さらにサクラマスを育む生態系の構造と機能の解明が課題となるであろう。サクラマスは北海道にとって、漁業や遊漁は言うに及ばず、生態系の健全性を示す指標種と考えられる。アジア特産のサケの仲間であるサクラマスを、これからも守り、育て、適正に利用するために、研究計画に基づいた科学的データの蓄積を図ることが重要になると考えられる。

（文献）

- 1) 内海重左エ門. 1931. 摩周湖虹鱒移殖及其成績. 鮭鱒彙報, 3(4):10-13.
- 2) 吉住喜好. 2005. 北海道立水産孵化場の歩み. 魚と水, 41:3-23.
- 3) 川那辺浩哉. 1980. ニジマス, 放流すれど定着せず. 日本の淡水生物. (川合禎次・川那辺浩哉・水野信彦編). 東海大学出版会. 東京. p. 44-48.

- 4) 尾川群司. 1971. ヤマメの人工孵化. 敬光企画出版会. 東京. p. 39-47.
- 5) 森養鱒場. 1968. やまべ池中養殖中間報告. 魚と水, 3: 11-15.
- 6) 北海道立水産孵化場. 1968. 在来ます類増殖試験. 昭和 42 年度事業成績書, p. 34-35.
- 7) 阿刀田光紹. 1973. 池中養成ヤマベの成熟について. 魚と水, 8:1-20.
- 8) 阿刀田光紹. 1974. 池中養殖サクラマス生態に関する研究 I. 種苗の初期生残率、性比、0 年魚の分化及び親魚の孕卵数について. 北海道立水産孵化場研究報告, 29:97-113.
- 9) 新谷康二. 1982. 池中養殖サクラマスによる種卵生産事業の現況. 魚と水, 20:1-7.
- 10) 北海道立水産孵化場. 1981. サクラマス放流事業. 昭和 55 年度事業成績書, p. 26-27.
- 11) 栗倉輝彦. 1973. 道内における池中養殖マス類の魚病発生状況について. 魚と水, 9:17-20.
- 12) 「魚類防疫への挑戦」編集委員会. 1993. 伝染性造血器壊死症 (IHN) に汚染された孵化場の浄化事例. 魚類防疫への挑戦 サケ・マス編. 緑書房. 東京. p. 86-87.
- 13) Yamauchi, K., Ban, M., Kasahara, N., Izumi, T., Kojima, H. and Harako, T. 1985. Physiological and behavioral changes occurring during smoltification in the masu salmon, *Oncorhynchus masou*. *Aquaculture*, 45:227-235.
- 14) 伴 真俊・笠原 昇・山内皓平. 1987. 池産サクラマス 0 年魚の銀化に伴う生理的変化. 北海道立水産孵化場研究報告, 42:19-26.
- 15) 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変化. 北海道立水産孵化場研究報告, 42:27-35.
- 16) Kasahara, N., Yamada, H., Soyano, K., Nagata, M. and Yamauchi, K. 1989. Physiological and behavioural changes in the accelerated underyearing broodstock masu salmon, *Oncorhynchus masou*, during Smoltification. *Aquaculture*, 82:21-28.
- 17) 小林美樹. 1998. サクラマスに対する給餌法の改善 隔日給餌による効果. 魚と水, 35:1-11.
- 18) 工藤 智・藤原 真・楠田 聡. 1994. 森支場におけるサクラマスの池中養成過程. 魚と水, 31:1-12.
- 19) 青山智哉・坂本博幸. 1994. 熊石支場におけるサクラマスの池中養成過程. 魚と水, 31:13-18.
- 20) 三坂尚行・工藤 智・青山智哉・坂本博幸. 1998. 熊石支場における池産サクラマス発眼率向上試験. 魚と水, 35:39-44.
- 21) 小山達也・藤原 真・春日井潔・青山智哉. 2004. 池産サクラマスの継代飼育による種苗性の変化 (分散行動とスモルト化時期). 魚と水, 40 : 62-63.
- 22) 大久保進一. 2004. アロザイムによる池産サクラマスの遺伝的多様性のモニタリング. 魚と水, 40 : 68-69.
- 23) 長内 稔・大塚三津男. 1967. サクラマスの生態に関する研究 1. 遡河サクラマスの形態と産卵生態について. 北海道立水産孵化場研究報告, 22 : 17-32.
- 24) 長内稔・大塚三津男. 1969. サクラマスの生態に関する研究 2. 生殖巣の発達に伴う遡河と産卵行為について. 北海道立水産孵化場研究報告, 24 : 45-53.

- 25) 小島 博・杉若圭一. 1979. 厚田川におけるサクラマス幼魚の成長と生息密度および現存量の季節変化. 北海道立水産孵化場研究報告, 34 : 7-16.
- 26) 永田光博・宮本真人・外崎 久. 1984. 河川に放流した池産サクラマス幼魚 *Oncorhynchus masou* (BREVOORT)の個体群動態. 北海道立水産孵化場研究報告, 39 : 1-17.
- 27) 杉若圭一・小島 博. 厚田川における降海型サクラマス幼魚に関する研究. 1979. 1978年降海群の年齢と生態. 北海道立水産孵化場研究報告, 34 : 25-39.
- 28) 小島 博・泉 孝行. 1985. 天然サクラマス幼魚のスマルト変態過程における海水適応能の変化. 北海道立水産孵化場研究報告, 23 : 15-18.
- 29) 坂本博幸・河村 博・田中寿雄・永田光博. 1986. 池産サクラマス標識魚の回帰. 北海道立水産孵化場研究報告, 41 : 71-78.
- 30) 黒川忠英・小島 博・中島幹二. 1987. 池中継代飼育サクラマスの回遊と成長. 北海道立水産孵化場研究報告, 42 : 45-52.
- 31) 北海道立水産孵化場. 1991. 森池産サクラマスの放流効果の向上に関する研究. 試験研究結果報告書.
- 32) 小林美樹・岩見俊則・岡田鳳二・永田光博. 1988. サクラマスの生態学的研究. I. 古宇川に放流した池中継代サクラマスの降海行動について. 北海道立水産孵化場研究報告, 28 : 25-31.
- 33) 小山達也・永田光博. 1995. 池産系、尻別川系サクラマス及びその交雑魚の降海時期.. 北海道立水産孵化場研究報告, 49 : 1-7.
- 34) 北海道立水産孵化場. 1994. 特集 池産サクラマス回帰率向上試験. 魚と水, 31 : 1-288.
- 35) 北海道立水産孵化場. 1998. 特集 池産サクラマス回帰率向上試験. 魚と水, 35 : 1-418.
- 36) Nagata, M. 2002. Ecological studies on the dispersal of newly emerged masu salmon fry, *Oncorhynchus masou*. Scientific Report of the Hokkaido Fish Hatchery, 56:1-87.
- 37) 鈴木研一・永田光博・中島美由紀・大森 始. 2000. 北海道北部河川におけるサクラマス幼魚の越冬時の微生物場所とその物理環境. 北海道立水産孵化場研究報告, 54:7-14.
- 38) Miyakoshi, Y., Hayano, H., Omori, H., Nagata, M. and Irvine, J. R. 2002. Importance of instream cover for young masu salmon, *Oncorhynchus masou*, in autumn and winter. Fisheries Management and Ecology, 9:217-223.
- 39) 下田和孝. 2002. 春季の成長率および体サイズがサクラマスの0+スマルト化に与える影響. 北海道立水産孵化場研究報告, 56:97-105.
- 40) Miyakoshi, Y., Nagata, M., Shimoda, K., Sugiwaka, K. and Kitada, S. 2002. Assessment of stocking effectiveness of hatchery-reared age-0 and age-1 masu salmon smolts through a fish market survey in Hokkaido. Fisheries Science, 69 (Supplement I), 908-911.
- 41) 隼野寛史. 1995. サクラマスの海洋生活初期における生態研究 1. えりも沿岸における回遊時期と体長組成から見た分布特性. 北海道立水産孵化場研究報告, 49 : 9-16.
- 42) 真野修一. 1996. 襟裳岬周辺海域に出現するサクラマス幼魚の回遊生態. 北海道立水産孵化場研究報告, 50:17-28.

- 43) Miyakoshi, Y., Nagata, M., Sugiwaka, K. and Kitada, S. 2004. Evaluation of stock enhancement programs for masu salmon in Hokkaido, northern Japan, by two-stage sampling surveys commercial landings. In: Stockenhancement and sea ranching, developments, pitfall and opportunities, 2nd edition (Leber, K. M., Kitada, S., Blankenship, H. L. and Svasand, T. eds), pp187-198. Blackwell Publishing, Oxford.
- 44) 永田光博・Irvine, J. R.・宮本真人・大久保進一・小林美樹. 1998. サクラマスワイヤータグ標識部位と脱落率. 北海道立水産孵化場研究報告, 35 : 395-402.
- 45) 大久保進一. 1987. 池産サクラマスと天然サクラマスの遺伝的変異の量. 北海道立水産孵化場研究報告, 42 : 37-44.
- 46) 鈴木研一・小林敬典・松石 隆・沼知健一. 2000. ミトコンドリア DNA の制限酵素切断多型. 解析から見た北海道内におけるサクラマスの遺伝的変異性. 日本水産学会誌, 35 : 385-393.
- 47) 河村 博. 1998. 最近 5 ヶ年 (1994~1998 年) の池産サクラマス幼魚放流技術の現状と展望. 魚と水, 35 : 269-278.
- 48) 杉若圭一. 1998. 不偏量推定による池産サクラマスの放流効果. 魚と水, 35 : 333-355.
- 49) 杉若圭一. 1992. 放流サクラマス稚魚の生残率と遊漁の関係. 魚と水, 29 : 27-31.
- 50) 北海道立水産孵化場. 2004. サクラマス回帰率安定化試験. 魚と水, 40 : 25-69.
- 51) Miyakoshi, Y., Hayano, H., Fujiwara, M., Nagata, M. and Irvine, J. R. 2003. Size-dependent smolt yield and overwinter survival of hatchery-reared masu salmon released in fall. North American Journal of Fisheries Management, 23:264-269.
- 52) 三坂尚行・水野伸也・宮腰靖之・竹内勝巳・鷹見達也・笠原 昇. 2004. 飢餓中のサクラマス当歳魚における肝臓中トリグリセリドおよびグリコーゲン含量の変動. 日本水産学会誌, 70:168-174.
- 53) 水野伸也・三坂尚行・佐々木義隆・村上 豊・安藤大成・北村隆也・神力義仁・笠原 昇. 腎臓における傍糸球体細胞数を用いたサクラマススモルトの海水適応能評価. 北海道立水産孵化場研究報告, 56:149-152.
- 54) 安藤大成・宮腰靖之・竹内勝巳・永田光博・佐藤孝弘・柳井清治・北田修一. 2002. 都市近郊の河川におけるサクラマス幼魚の遊漁による釣獲尾数の推定. 日本水産学会誌, 68:52-60.
- 55) Miyakoshi, Y., Koyama, T., Aoyama, T., Sakakibara, S. and Kitada, S. 2004. Estimate of numbers of masu salmon caught by recreational fishermen in the coastal area off Iburi, Hokkaido, Japan. Fisheries Science, 70:87-93.
- 56) 宮腰靖之. 2006. 北海道におけるサクラマスの放流効果および資源評価に関する研究. 北海道立水産孵化場研究報告. 60:1-64.
- 57) 青山智哉. 2007. 見市川回帰系サクラマス導入の試み. 魚と水, 43 : 21-25.

北海道におけるサケマス増殖組織の変遷

河村 博

古来わが国のサケマス資源はすべて自然産卵で支えられてきた。一方、人為的な増殖手法として江戸時代中期（1751年～1771年）に、自然産卵を助長する「種川の制」が新潟県三面川で始まり、「種川の制」はその後山形県月光川にも取り入れられている。このコラムでは人の手による資源づくりを積極的に推し進めた、北海道におけるサケマス増殖組織の変遷を歴史的に眺めてみた。

明治期から大正期まで

アイヌの時代から江戸期まで、北海道のサケマス資源はすべて自然産卵で維持されてきた。

ところが江戸後期漁場の拡大にもかかわらずその漁獲量が伸びなかったことから、北海道開拓使はサケ資源の維持回復のため人工増殖手法を導入した。増殖手法として次の二つの手法がとられた。

まず、自然繁殖保護手法が道南の遊楽部川で始まり（1879年（明治12年）、札幌近郊、根室地方および道南函館地区に拡大した。その数は石狩川を含めて28河川に達した（1888年（明治21年）¹⁾。残念ながら、これらの自然繁殖保護措置は、遊楽部川を除き期待した成果をあげるまでに至らなかった。

次の増殖手法は、人工孵化増殖であった。わが国の人工孵化の歴史は元加賀藩士の関沢明清による茨城県那珂川の採卵孵化試験が始まりとされる（1897年（明治9年））。北海道では札幌の偕楽園（サクラマス）および函館七重勸業試験場（サケとサクラマス）で孵化試験が行われた（1878年（明治11年））。しかし、水カビあるいはネズミ等による被害が大きく、人工孵化試験は中止された（明治13・14年）。これとは別に道南地方（茂辺地川、及部川など）では、民間団体による孵化場建設が初めて行われた。

官主導の流れを方向付けたのは、石狩川水系千歳川に置かれた北海道庁「千歳中央孵化場」である（1888年（明治21年））。北海道庁は「千歳中央孵化場」を種卵供給センターと位置づけ、各地に建設する民営孵化場に卵移植し稚魚を放流する計画であった。実際、千歳中央孵化場の建設後に後志・胆振・日高地方に民営孵化場が多数造られ、民営孵化場の建設はその後根室および千島に拡大した。

当時の民営孵化場管理組織は地域団体から専用団体まで様々であった。明治期の終わり民営孵化場の数は34に達し、北海道庁直営孵化場は千歳、西別（虹別）、留別の3カ所であった。「千歳中央孵化場」では人工増殖に関わる技術開発が進められ、切開採卵法、仔魚の日射防止管理法、水カビのホルマリン防除法などが開発されている。この時期民営孵化場には道費補助が行われたが、捕獲親魚の売却益にたよる民営孵化場の経営は厳しく、国費の運営費補助が要望されていた。

北海道水産試験場が1901年（明治34年）に設立され、「千歳中央孵化場」は北海道水産試験場の傘下に入った。「千歳中央孵化場」は「北海道水産試験場千歳分場」に改組され（1901

年)、1910年(明治34年)に「北海道水産試験場千歳支場」(明治43年)に改称された。大正末期の北海道では、3カ所の官営孵化場(千歳、西別、留別)と30カ所以上の民営孵化場が、サケマス増殖事業に取り組んでいたのである。

昭和期：第二次大戦前まで

北海道庁は、第二期拓殖計画(1927年(昭和2年))で民営孵化場助成をそれまでの道費補助から国費補助に転換した。これと合わせてサケマス増殖事業は北海道水産試験場から分離し、「千歳鮭鱒孵化場」が新しく改組設置された。こうして国費補助による民営孵化場の資金基礎が定まったことから、北海道庁は官営(3カ所)および民営(38カ所)をすべて国費による運営とし、サケマス増殖事業の全道組織(「北海道鮭鱒孵化場(けいそんふかじょう)」)を設立した(1934年(昭和9年))。これにより「千歳鮭鱒孵化場」は「北海道鮭鱒孵化場」本場に改称され、その後本場は札幌に移転した(1936年(昭和11年))。

ただし、この体制は長くは続かず、増殖事業費は再び地方費(道費)に移管されるとともに「北海道鮭鱒孵化場」はサケマス増殖に加えて淡鹹水魚類増殖を事業として取り組む「北海道水産孵化場」に改組されたのである(1941年(昭和16年))。

昭和期：第二次大戦後から終期まで

しかし、当時の記録によると、サケマス孵化放流事業は国に移管して実施するべきとの考えが強く²⁾ 国に強く働きかけた結果、サケマス孵化放流事業は農林省の事業に位置付けられ、サケマス増殖事業は、国費事業に替わったのである(1948年(昭和23年))。

ここで、「北海道水産孵化場」は予算的に異なる、二つの増殖事業を進めることになった。すなわち、1つは、国費事業であるサケマス孵化放流と一部の親魚捕獲事業、そしてまた1つは、道費事業である淡鹹水魚類増殖と密漁の取締等事業である。当時の職員数は、前者が143名、後者が54名であった。この2本立て予算体制は、議員立法で水産資源保護法が成立(1951年(昭和26年))した翌年まで続いた。

水産資源保護法の成立によりサケマス孵化放流事業は、国の一元管理下で実施される方向が定まった。北海道鮭鱒孵化場は、「北海道さけ・ますふ化場」と「北海道立水産孵化場」に分離設立された(1952年(昭和27年))³⁾。これにより、「北海道さけ・ますふ化場」がサケマス孵化放流事業とそれに関わる調査試験を行い、「北海道立水産孵化場」は親魚捕獲事業委託と密漁の監視、淡鹹水増殖事業と調査試験を行うことになった。この体制は、「北海道さけ・ますふ化場」の業務見直しまで継続した。

新体制が発足したこの時期に、サケマス増殖事業の民間協力組織として、「北海道鮭鱒保護協力会連合会」および「北海道鮭鱒増殖漁業協同組合」が発足している。これらの民間組織は、その後「(社)北海道さけ・ます増殖事業協会」の設立につながっていった。

ところで「北海道さけ・ますふ化場」は、一連の中期計画を立てサケマス孵化放流事業を実施した。第一次5カ年計画(1954(昭和29)年～1958年：最終目標稚魚生産数サケ3.2億尾)、第二次5カ年計画(1959年～1963年：同さけ・ます4.15億尾)、北海道鮭鱒増殖拡充計画(1962年～1967年：同さけ・ます5.66億尾)、さけ・ます増殖事業推進整備計画(1968年～1970年：同サケ6.3億尾)、さけ・ます資源増大再生産前期・後期計画(1971年～1980

年：同サケ前期 7.18 億尾、同サケ後期 9.78 億尾)、さけ・ます資源増大計画 (1979 年～1983 年：同サケ 13 億尾) である。他方、「北海道立水産孵化場」はその後親魚捕獲委託および密漁監視を廃止し、(社) 北海道さけ・ます増殖事業協会に親魚捕獲を委託する一方で (1967 年 (昭和 42 年))、サケマス漁業不振地域 (日本海および太平洋えりも以西海区) の資源造成のため、新たに 1969 年 (昭和 44 年) から 6 支場を整備し、種苗放流と試験研究に取り組んだ。

平成期から現代まで

平成期に入り、北海道のサケマス増殖体制の枠組みに大きな変化が生じた。国がサケマス増殖事業から撤退し、漁業資源づくりは民間主体の時代を迎えたのである (1997 年 (平成 9 年))。サケマス増殖事業を実施する民営組織は、全道 1 組織 ((社) 北海道さけ・ます増殖事業協会) と 9 地区組織 (北見、宗谷、留萌、日本海、渡島、胆振、日高、十勝釧路、根室) で形成されている。「北海道さけ・ますふ化場」は系群の保全と国際対応を目的とする「さけ・ます資源管理センター」に改組され (1997 年)、独立行政法人化 (2001 年 (平成 13 年)) 後に、「(独) 水産総合研究センター」と統合し「さけますセンター」に改組された (2006 年 (平成 18 年))。一方、「北海道立水産孵化場」はこの変化に対応する体制見直しを行い、北海道系サケマス資源管理のため道東地区に支場を新設した (2004 年 (平成 16 年))。

1888 年 (明治 21 年) に北海道庁「千歳中央孵化場」が設置されて以来、官主導で展開してきた北海道のサケマス増殖事業は、こうして種を作る者 (民間増殖組織) と獲る者 (漁業者) が密接に連携して取り組む新時代を迎えたのである。

(文献)

- 1) 北海道鮭鱒孵化事業協会. 1929. 北海道鮭鱒孵化事業要覧 (北海道廳水産課孵化事業計画ニヨル) . 鮭鱒彙報, 1(1):4-11.
- 2) 特別寄稿 歴代場長の回想と展望. 1969. さけます増殖の歩み. (社) 日本鮭鱒資源保護協会. p.203-237.
- 3) 吉住喜好. 2005. 北海道立水産孵化場の歩み. 魚と水, 41:3-23.

② 富山県（海洋深層水利用）

サクラマスは、富山名産「ますの寿司」の原料として、古く江戸時代から使用されてきたことから、富山県では重要な水産資源となっている。しかし、最近の漁獲量は激減状態にあり、富山県沿岸域では1984年に年間漁獲量が41.1トン記録した後に減少し、最近では5トン前後で推移している（富山県水産試験場（以下「当場」）調べ）。また、富山県中央部を流れる神通川の歴史を記した「神通川誌」によれば、神通川では、1910年前後に160トンを超える年間漁獲量があったと記録されている。しかし、最近の年間漁獲量は、約1トン程度まで減少している。このような状態を踏まえ、関係者からは漁獲量（回帰尾数）の増大が望まれている。そこで、当場では、1995年度から富山湾の水深321mから取水している海洋深層水を利用したサクラマスの親魚養成に着手した。これは、仔魚を3年間飼育して親魚に育成し、それらから種卵を安定的に確保する技術を開発するもので、人工ふ化放流尾数の維持・増大に寄与することを目的としている。ここでは、親魚養成の概要とこれまでに育成された親魚からの採卵結果について述べる。

ア. 親魚養成

a. 発眼卵の搬入

親魚養成に使用する発眼卵は、神通川に漁業権を有する富山漁業協同組合の神通川鮭鱒増殖場で、毎年10月以降に神通川に遡上した親魚から採卵され、人工授精後、発眼期まで管理されたものである。それらを親魚養成用として毎年5,000粒程度当場へ搬入する。その方法は、まず、発眼卵を湿らせたサラシで包み、湿らせたスポンジを敷いた発泡スチロール箱に収容する。さらに、同様の処理をしたスポンジを詰め、密閉した状態で神通川鮭鱒増殖場から当場まで輸送する（図IV-28）。



図IV-28 卵搬入

b. 仔魚から親魚育成までの飼育管理

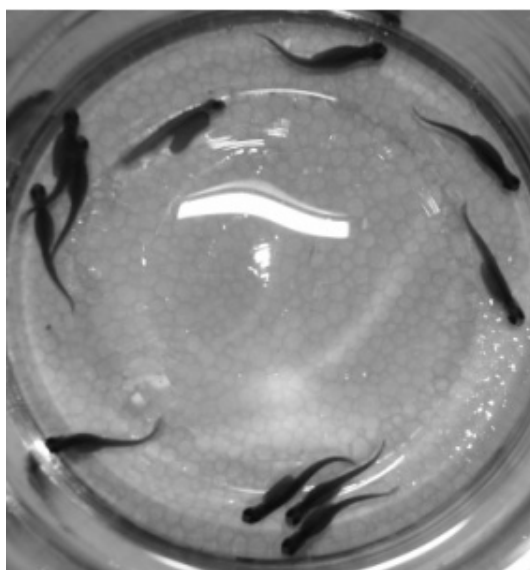
搬入した発眼卵は、立体式ふ化槽(10列(1列10段):ふ化盆1段のサイズは45×50×6cm)に收容し、それらからふ化した仔魚が浮上するまで管理する(図IV-29、図IV-30)。仔魚のふ化は、受精時からの積算水温が約450°Cになった時で、ふ化率は通常90%を超える。この時点の仔魚の尾叉長は約3cm、体重は約0.25gである(図IV-31)。仔魚は、腹部に保有するさい嚢から栄養を吸収しながら成長し、行動は緩慢で動きは鈍い。積算水温が900°Cを超える頃には、さい嚢からの栄養吸収を終え、活発に泳ぐようになる。この時点で、仔魚を立体式ふ化槽から角型0.1m³水槽(170cm×40cm×20cm)に移槽する(図IV-32)。その後、仔魚の成長とともに分槽および選別を繰り返し、飼育水槽を順次大型(角型2m³水槽(1.2m×2.4m×0.8m)、角型5m³水槽(1.2m×5.2m×0.8m))のものに変更し、飼育密度を拡大する(図IV-33)。



図IV-29 発眼卵



図IV-30 立体式ふ化槽



図IV-31 ふ化仔魚



図IV-32 浮上仔魚飼育写真



図IV-33 飼育水槽

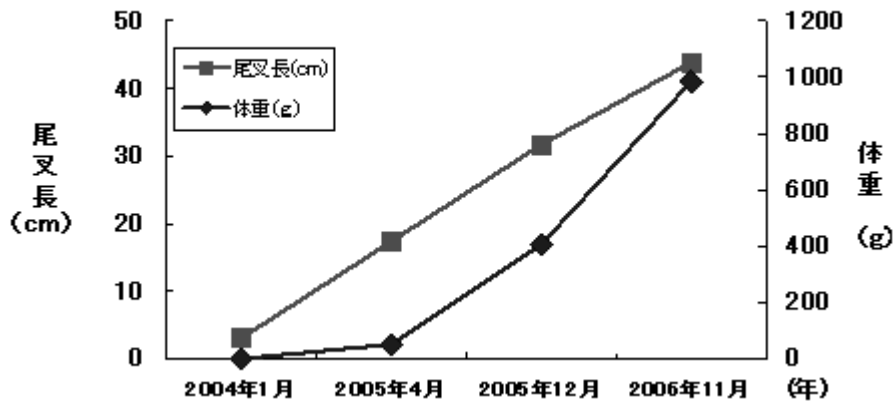
餌料は、配合飼料を使用し、その給餌量は、飼育魚総魚体重の2～3%を目安にそれらの摂餌状況を見ながら調整する。また、配合飼料の粒径は、成長とともに大きくする。当场では、ふ化から約1年半後に出現するスマルト魚のみを選別し親魚に育成する。飼育水は、サクラマス¹の生活史に対応させ、ふ化してから1年半の河川生活期に当たる時期は、水温約13℃の地下水を、スマルト魚出現以降の海洋生活期にあたる1年間は、水温を約12℃に調温した海洋深層水を、その後、親魚養成終了までは再び地下水をかけ流しで使用する(換水割合は8～10回転/日)。なお、海洋深層水は、汲み上げ時の水温が2～3℃であるため、そのままではサクラマスの飼育には低すぎる。そこで、海洋深層水を水温約16℃の地下水と熱交換器に通し水温を約12℃に調温している。

スマルト魚を1,500～2,000尾程度選別し、円型25m³水槽(直径6m、深さ1m)2面に收容する(図IV-34)。それらは、その時点で尾又長が約30cm、体重が約400g程度に成長している。餌料はそれまでの配合飼料単独から配合飼料と生餌(冷凍オキアミ、冷凍イカナゴ)の併用に切り替える。その後、ふ化後2年目の12月から翌年の1月に選別を行い、飼育尾数を800～900尾程度に調整する。給餌は、ふ化後3年目の8月初旬から9月初旬頃まで継続し、それ以後は無給餌である。採卵時である10月中旬には飼育魚は、尾又長で約45cm、体重で約1kg程度に成長する。2006年には2003年級魚901尾(雌:815尾、雄86尾)を親魚に育成した。図IV-35にそれらの成長(平均尾又長、平均体重)について示した。

当场で養成した親魚は、自然界で河川に遡上してくる親魚(尾又長約60cm、体重約3～4kg)と比較して小さい。従って、養成親魚の魚体サイズを大きくすることが課題である。



図IV-34 飼育水槽

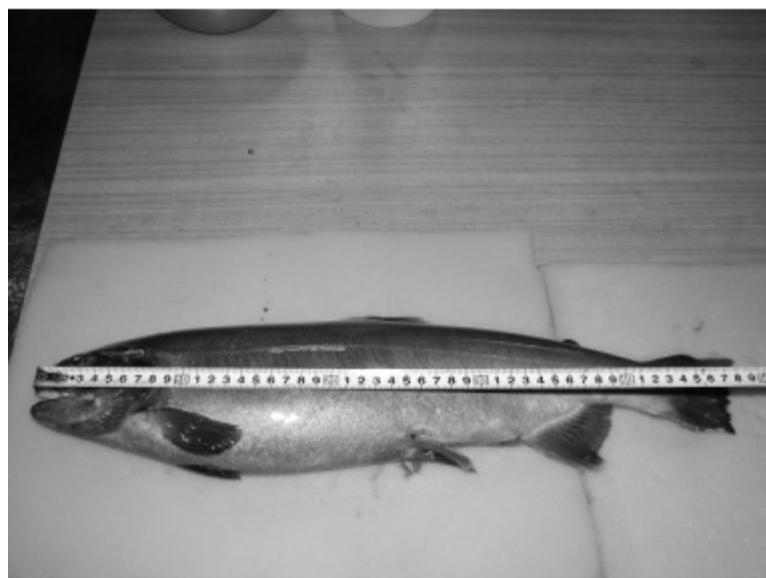


図IV-35 平成15年級（2003年級）魚の成長

イ. 採卵

採卵には、1996年度以来、毎年10～11月に養成した雌親魚を使用している（図IV-36）。その方法は、それらを1尾ずつ熟度鑑別し、腹部が柔らかく採卵可能と思われる個体を選び、撲殺後、採卵刀により腹部を切開する（図IV-37）。

1996～1998年度には、神通川に遡上した雌親魚由来の稚魚やスマルト幼魚を当场で親魚に養成後、採卵に使用していた。しかし、1999年度からは、当场で発眼卵から養成した雌親魚のみを使用し、現在に至っている。また、2001年度から、同時に養成した雄親魚の精子を用いて卵を受精させ、発眼卵まで当场で管理した後、関係内水面漁業協同組合に配付している。

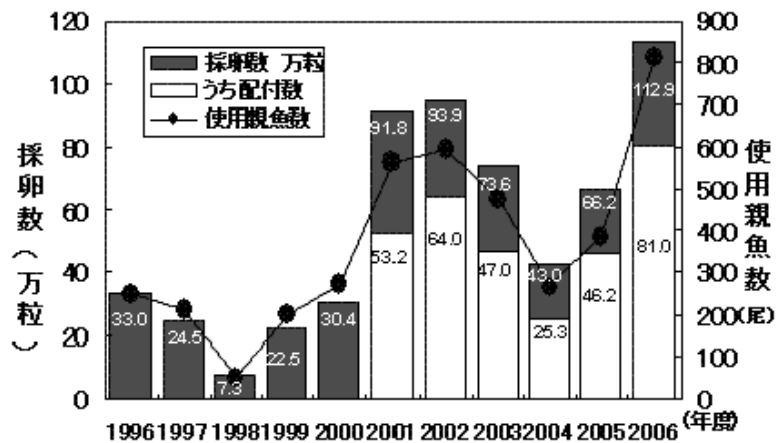


図IV-36 雌親魚



図IV-37 採卵

図IV-38 にこれまで（1996～2006 年度）の採卵結果、使用雌親魚尾数および配付した卵数を示した。



図IV-38 富山水試におけるサクラマス採卵実績と出荷卵数

1996～2000 年度までの親魚養成尾数は、細菌性腎臓病の発生による飼育魚のへい死により 50～270 尾と少なく、採卵粒数も 7.3～33 万粒と少なかった。しかし、2001 年度以降は、見学者の立ち入り制限および飼育現場や使用器具の消毒等の措置を施したことにより、飼育魚の細菌性腎臓病原因菌 *Renibacterium salmoninarum* の保菌率が減少した。それに伴い、親魚養成尾数も 400 尾以上となり、採卵粒数も 2001 年度には 90 万粒を超えた。さらに、2006 年度には目標としていた 100 万粒を超える 112.9 万粒を採卵した。また、同年度に関係内水面漁業協同組合へ配付した発眼卵数もこれまでの最高の 81 万粒に達した。今後、当场が実施する親魚養成から得られた種卵が人工ふ化放流に寄与し、将来の回帰尾数増大につながることを願っている。

サクラマス海水飼育の試み（飼育水温調整の現状と課題）

渡辺孝之

富山県水産試験場（以下「当場」）では 1995 年から海洋深層水を利用したサクラマス *Oncorhynchus masou masou* の親魚養成に着手した。海洋深層水を飼育水に使用する期間は、サクラマス生活史の中で海洋生活期にあたるふ化後 1 年半以降の 1 年間である。

海洋深層水は、当場が位置する富山県滑川市沖合約 2,600m の富山湾の海底（水深 321m）から日量 3,000 トンが汲み上げられている。この海水は、日本海の海底地形がお椀型であり、隣接する海域の海水とほとんど交換されることがないことから「日本海固有水」とも呼ばれている。その代表的な性状は、水温が低く安定していること、清浄であることおよび栄養塩に富んでいることである。これらの内、水温が低く安定している特性を飼育水の温度調整に利用している。また、表層海水に比べ海洋深層水に含まれる一般生菌数が少ない特性も飼育水に使用する理由である。

汲み上げ時における海洋深層水の水温は、日変動はあるが、概ね 2～3℃ の範囲で推移している。これをそのまま飼育水に使用するには低すぎる。そこで、海洋深層水と水温が周年約 16℃ と変動が少ない地下水とともに熱交換器に通水し、水温を約 12℃ に調整して使用している。また、同時に地下水の水温も約 12℃ に調整されるので、この地下水を河川生活期にあたる時期に飼育水として使用している。

飼育水温の調整に使用しているのは、アルファ・ラバル株式会社製のプレート式熱交換器（図 1）である。この熱交換器には 109 枚の伝熱プレート（40×87cm（以下「プレート」））が重ねられた構造でセットされている。熱交換器に通水された海洋深層水と地下水は、それらの間隙を交互に逆方向に流れ、プレートを介して双方間で熱の移動が行われる。

熱交換器への海洋深層水および地下水の通水を長期間継続すると、地下水が急に冷却されるため、その中に溶解しているマンガンが析出し、懸濁物とともに地下水通水側のプレート表面に付着する。その結果、地下水の通水量が減少し、熱交換率が低下するため、海洋深層水の設定水温を 12℃ に維持できなくなる。従って、定期的にプレートの洗浄を行ってきた（図 2）。

現在使用している地下水の取水施設は、1991 年 8 月に完成した。取水開始から 2002 年頃までは、地下水中にマンガンの混入は見られなかったが、それ以後には多く見られるようになった（図 3）。さらに、取水施設から熱交換器までの地下水送水管の内壁にもマンガンが付着し、地下水の送水量が減少している。また、熱交換器内のプレート表面の汚れを除去するために、プレート内に通水する水を逆流させる逆洗装置を設置した。しかし、逆洗を実施してもプレート表面に強く付着している汚れまで除去することはできない。

現在、サクラマス飼育が不可能な状況に陥っているわけではないが、今後、サクラマス飼育水温を安定的に維持するために、地下水送水管および飼育施設配管内部の洗浄による管内壁の付着物を除去する方法について検討中である。

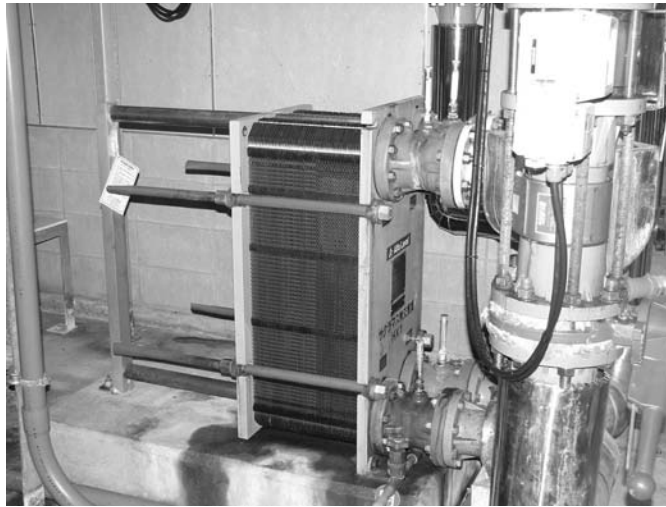


図1 熱交換器



図2 プレート洗浄

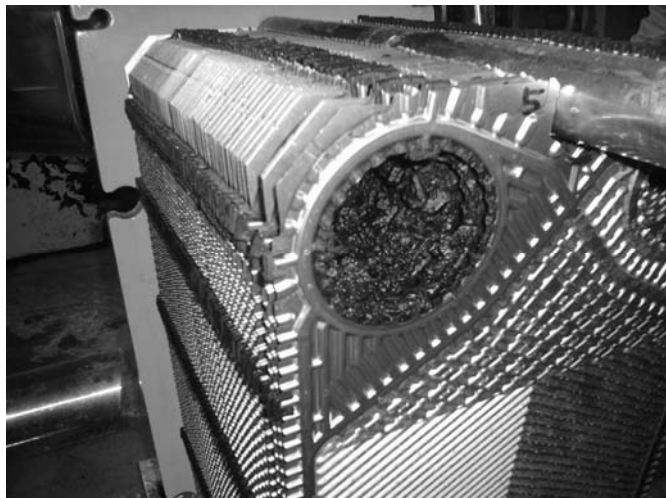


図3 地下水通水部に溜まったマンガン

2) ビワマス（琵琶湖）

放流種苗を安定的に確保するため採卵用の親魚を池で人工的に飼育する試みは1907(明治40)年にはすでに開始されていた¹⁾。その6年後の1913(大正2)年12月8日には満3年魚7個体から1,130粒の成熟卵が得られたが、14日以内にすべて死滅したとされている。²⁾ その後も親魚の養成研究は継続されているが、その後しばらくの間は採卵するまでには至らなかった。1968(昭和43)年に滋賀県醒井養鱒場の田沢・鎌田³⁾は湧水を用いて池中で飼育したビワマス満2年魚5尾から2,270粒を採卵することに初めて成功し、翌年には満3年魚140尾から10万4千粒、また、ふ化仔魚2,420尾を得ている⁴⁾。さらに、滋賀県水産試験場の永松⁵⁾は、琵琶湖に設置した網生簀なども用いて親魚養成を実施し、雌では満2年魚の体重100g以上の個体が成熟すること、親魚養成は水温15℃以下で行うよう提言している。滋賀県醒井養鱒場の岩崎⁶⁾は、それまでは天然親魚の卵から育てた親魚からの採卵にとどまっていたものを人工飼育した個体からの種苗生産に成功し、その後継続的に完全人工種苗生産が実施されるようになった。しかし、完全人工種苗の琵琶湖への放流はまだ行われてはいない。

(文献)

- 1) 滋賀県水産試験場: 鱒養殖試験, 1908, 明治40年度滋賀県水産試験場報告, 30-34.
- 2) 滋賀県水産試験場: 鱒池中養殖試験, 1914, 大正2年度滋賀県水産試験場報告, 25-32.
- 3) 田沢茂・鎌田淡紅郎: 在来マス増殖研究, 1970, 昭和43年度滋賀県醒井養鱒試験場事業報告, 11-19.
- 4) 田沢茂・鎌田淡紅郎: 在来マス類増殖研究, 1971, 昭和44年度滋賀県醒井養鱒試験場事業報告, 11-22.
- 5) 永松正昭: ビワマスの種苗生産に関する研究, 1980, 滋賀県水産試験場報告, 33, 2-6.
- 6) 岩崎治臣: ビワマスの種苗生産に関する研究, 1982, 昭和55年度滋賀県醒井養鱒試験場業務報告, 50-63.

3) アマゴ（サツキマス）

近年発電や水利用あるいは洪水調節のためのダムが構築され、多くの河川で豊かな流れが失われた。谷川でも砂防ダムなどで流れが寸断され、また、河道を直線化し、河床を平坦化する河川工事が進められた結果、淵が消え、川は単調化した。一方、溪流釣りを愉しむ人たちが増え、モーターゼーションの普及がそれに拍車をかけ、かつてはアマゴの宝庫と言われた奥地にまで釣り人が入るようになった。そのため、ますますアマゴ資源の減少が憂慮されるに至った。そうした背景の下で、岐阜水試は、アマゴ資源の増強策の手始めとして1964年からその種苗生産技術の開発に着手した。初めは野生のアマゴを入手してそれを親魚に育てることであった。人工飼料を食わないため、ミミズの培養や川虫の採集など苦労もあった。1966年からこの事業を予算化し、地先の釣獲した野生アマゴの大量買付け(2年間で合計

5,771尾、310kg)を行い、1967年から種苗の配布を開始した。1966年に開催された全国湖沼河川養殖研究会第22回養鱒部会において、岐阜水試の提案で、在来マス増殖分科会が結成され、アマゴ、ヤマメ、イワナ、ヒメマスなど我が国在来のます類の増殖研究に対する全国的な取り組みが始まった¹⁾。アマゴの飼育を行ったのは東京、山梨、静岡、長野、岐阜、三重、滋賀、の7都県で、このうち、山梨、長野、岐阜、三重は地先の野生種から、他は岐阜水試から導入した発眼卵から始めている。国も1967年から1972年まで、この研究を指定調査研究総合助成事業に採択し、前半3年間種苗生産技術、後半3年間河川放流効果調査を課題として8都道県に助成した。在来ます増殖分科会は、助成事業と一体的に研究を進めたので、水産庁研究第二課による助成事業報告書^{2),3),4)}には指定を受けていない県の成果も含めて取りまとめられている。また、これらの成果を引用した著書もいくつか^{1),5),6),7),8),9)}発刊されている。

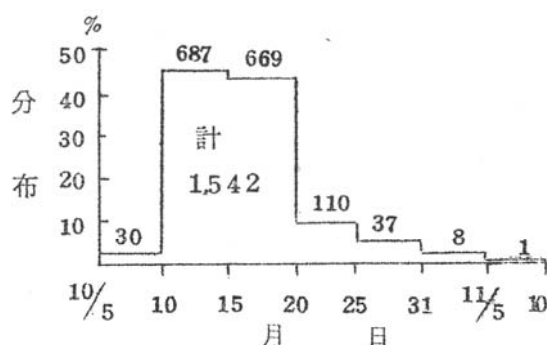
技術開発の進展に伴って 在来マス増殖分科会参加県のアマゴの採卵粒数は1966年12万粒、1967年54万粒、1968年210万粒、1969年479万粒と年々増加し¹⁾、なかでも全国に先駆けて量産体制を確立した岐阜県から、1971年には全国19道府県へ合計1,069万粒のアマゴ種卵が供給されている(第29回養鱒部会資料)。

種苗生産技術が確立すれば、当然種苗放流による資源増強と養殖生産と言う二面の展開を辿ることになる。この項では種苗生産技術に関する研究成果の概要を述べる。

岐阜水試で1966年の産出卵から飼育した言わば養殖親魚の採卵データ¹⁴⁾を要約すると以下のとおりである。この中で、1967年に天然魚を採捕養成した親魚にかかわるデータ¹⁰⁾の一部も対比して示した。

① 産卵期

産卵期は、図IV-39に示すとおり10月7日から11月8日までの1ヶ月間にわたったが、大部分は10月中旬に集中した。この結果は、春に野生魚を採捕して産卵期まで養成した場合と大差はなかった。この間飼育用水の日間平均温度は15℃前後から11℃前後まで低下した。



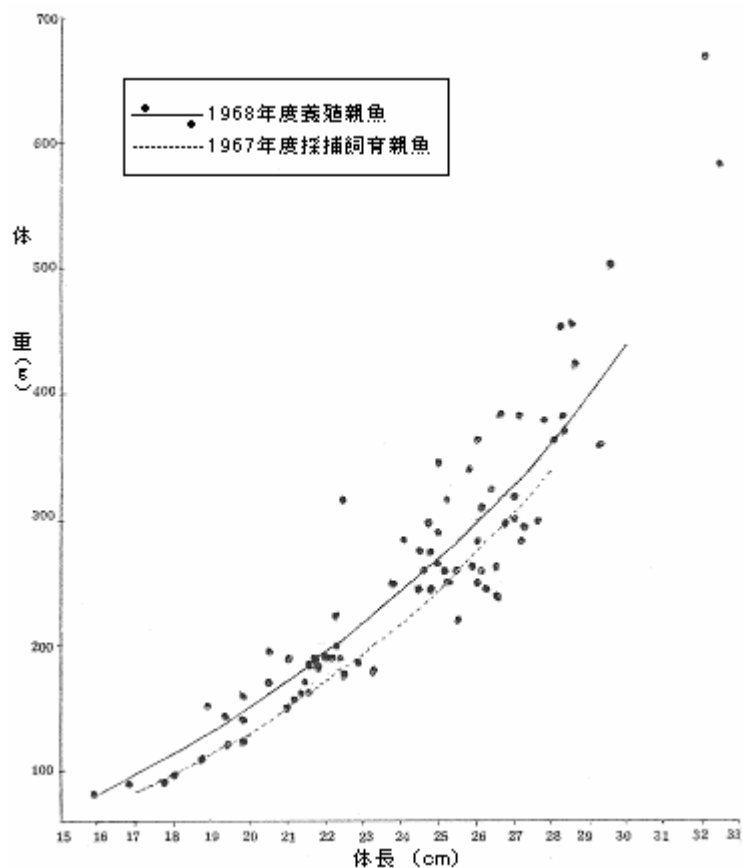
図IV-39 期別採卵尾数¹⁴⁾

(数字は尾数)

② 親魚の体重と体長

雌親魚の体重と体長の関係は図IV-40 に示すとおりで、次の関係式で表された。

$$\log W = 2.74 \log L - 1.4015 \quad (\text{但し } W ; \text{ 体重 } g, L ; \text{ 体長 } cm)$$



図IV-40 体重と体長¹⁴⁾

③ 産卵粒数

1尾あたり採卵粒数は、多いものは1,662粒(体重670g)、少ないものは125粒(体重97g)で、採卵粒数と体重の関係は、図IV-41 に示すとおり体重の増大につれて直線的に増加し、次の関係式で表された。

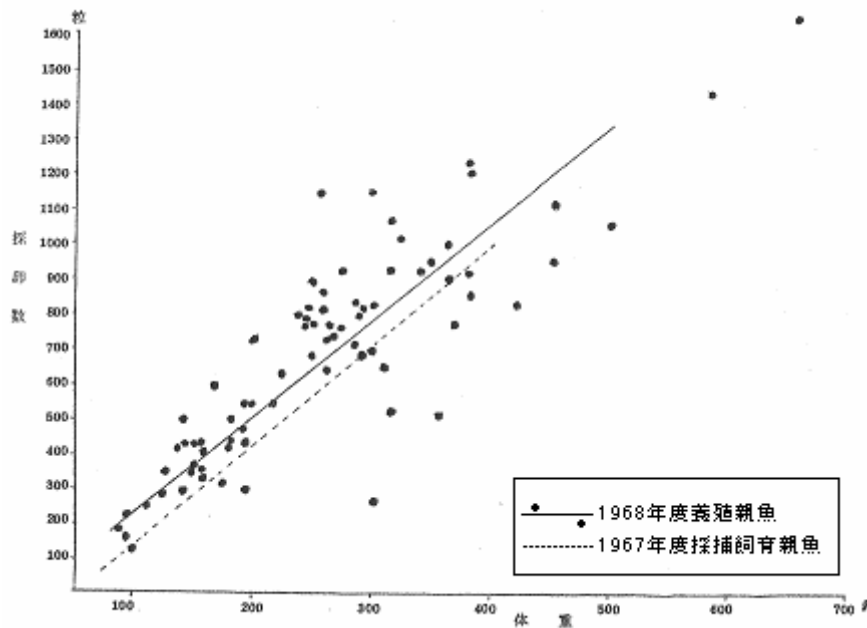
$$E_n = 2.771W - 40.06 \quad (\text{但し } E_n ; \text{ 採卵粒数、 } W ; \text{ 体重 } g)$$

④ 採卵重量

採卵重量と体重の関係は、次の関係式で表された。

$$E_w = 0.298W - 16.13 \quad (\text{但し } E_w ; \text{ 採卵重量 } g, W ; \text{ 体重 } g)$$

採卵重量の体重に対する比率は、個体により9.9~30.7%の幅があるが、大型魚ほど大きい傾向があり、体重100gで約13%、200gで約22%、300gで約24%、400gで約26%であった。



図IV-41 採卵数と体重¹⁴⁾

⑤ 卵の大きさ

発眼卵の平均卵重で、最小 65mg (卵径 4.7mm)、最大 142mg (卵径 6.1mm)、平均 94.5mg (卵径 5.3mm) であった。

⑥ 排卵後の採卵適期間¹¹⁾

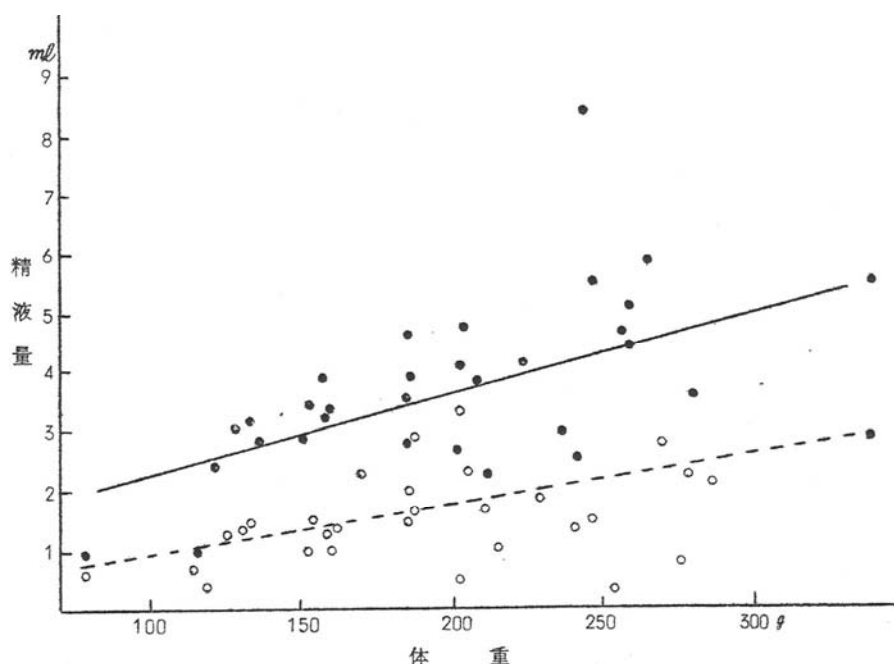
排卵すると採卵可能になるが、採卵しないで放置すると卵質が劣化する。熟度鑑別の適正間隔を知るために、排卵後 3 日以内のアマゴ親魚 60 尾を供試魚として、4 日目ごとに 10 尾を無作為に抽出して採卵し、母体別に産出卵の孵化成績を調べたが、18 日目までの間に 19 尾の未採卵魚が斃死したので、10 尾ずつ採卵し得たのは 13 日目までであった。表IV-7 に示すとおり 13 日目に孵化成績の低下する傾向は見られたものの、孵化成績の劣る個体は 0 日目や 8 日目にも見られ、分散分析による検定では平均値の差は有意ではなかった。しかし、排卵後斃死する個体が多いことを考慮すれば、採卵間隔は 1 週間以内とするのが望ましい。

表IV-7 排卵後の経過日数別孵化成績¹¹⁾

経過日数	供試尾数	発眼率 (%)	孵化率 (%)	奇形発生率 (%)
0 日	10	33~93 平均 81	84~99 平均 96	0~0.48 平均 0.08
4 日	10	42~94 平均 75	87~98 平均 95	0~2.14 平均 0.47
8 日	10	77~98 平均 90	80~100 平均 96	0~0.59 平均 0.17
13 日	10	30~99 平均 74	75~98 平均 90	0~6.00 平均 1.37

⑦ 雄魚の必要量¹²⁾

満2年の養殖アマゴ雄魚32尾について、個体別に採精量を調べた。10月9日に第1回の採精を行い、次いで4日後に第2回の採精を行ったが、第1回採精後急激に体表に水生菌が着生して疲弊し、生残尾数は4日後に30尾、8日後には僅か1尾であった。採精量と体重の関係は図IV-42に示すとおりで、体重1kg当たりの採精量は初回18.2ml、第2回7.7ml、2回の合計で25.9mlであった。受精に必要な精液の量を卵1万粒につき10mlとすれば、雄魚の必要量は2回採精するとして、重量で採卵雌魚の約10%で足りる計算になるが、満2年雄魚の場合、大半が産卵期の前半までに斃死してしまうという問題がある。



図IV-42 アマゴの体重と採精量¹²⁾

(●：第1回10月9日、○：第2回10月13日)

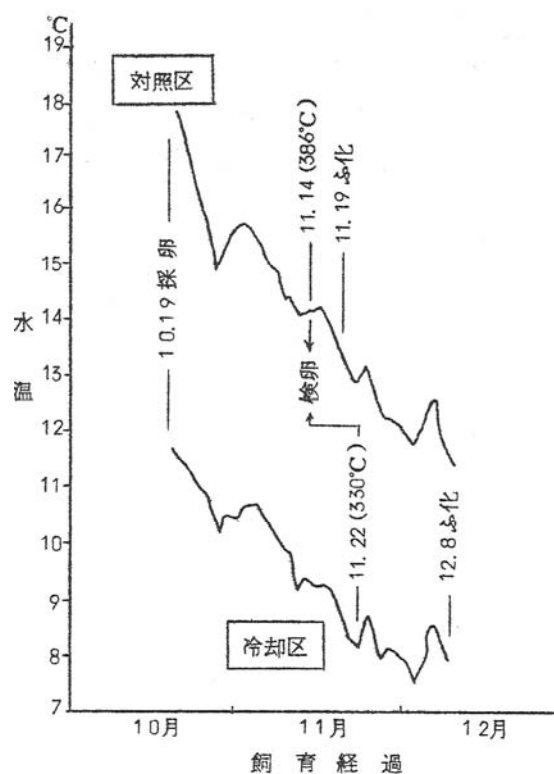
次に、産卵期後半の10月19日に、満1年の健全な雄魚、満2年の健全な雄魚、並びに水生菌が体表のほぼ全面に着生した瀕死の満2年の雄魚の3者について精巣重量比を調べた。結果は表IV-8に示すとおりで、1年魚の精巣重量比は2年魚と差はない。1年魚の場合には生殖期における減耗が少ないので、2年雄魚が死滅する産卵期後半に利用できる。

表IV-8 生殖期のアマゴの精巣重量比¹²⁾

年齢	1年健全魚	2年健全魚	2年疲弊魚
供試尾数	10	10	10
体重 (g)	27~101 平均61	89~219 平均150	143~307 平均203
精巣重量比 (%)	2.1~7.8 平均3.33	2.3~6.3 平均3.58	3.2~5.7 平均3.79

⑧ 孵化用水の適温

岐阜水試の孵化用水の温度は、図IV-43に示すとおり、アマゴの産卵期の初期に18℃の高温で、日数経過にしたがい低下しており、高温障害により孵化成績が劣ると思われたので、孵化用水の一部を冷水器に循環させる方法により、水温を3.7～5.7℃（平均4.7℃）下げた冷却区と無処理の対照区を設定し、1967年10月19日に採卵した6腹の卵をそれぞれ2分して、孵化成績を比較した¹³⁾。表IV-9に示すとおり、発眼率および孵化率は歴然とした差を示し、18℃近くの高温では著しい障害があると考えられた。



図IV-43 孵化用水温度¹³⁾

表IV-9 冷却区と対照区の孵化成績¹³⁾

腹	供試卵数		発眼率 (%)		孵化率 (%)	
	冷却区	対照区	冷却区	対照区	冷却区	対照区
1	485	436	88.7	2.3	74.1	10.0
2	223	251	78.9	0.0	43.8	-
3	351	384	77.5	13.5	15.8	1.9
4	350	297	81.4	6.7	89.1	0.0
5	346	354	87.0	5.4	51.8	0.0
6	347	360	91.1	22.2	69.3	0.0
計	2,102	2,082	81.3	8.7	59.5	1.1

次いで、1968年に、自然水温区、自然水温より2～3℃冷却区および、12～13℃一定区を設けて追試を行ったところ、自然水温区の発眼率が幾分劣る傾向は認められたものの、その差は前年の試験結果ほど際立ったものではなかった。両年の試験期間中の孵化用水の最高水温を比較すると、1967年が17.9℃に対して1968年は16.7℃であり、また、15℃以上の高温を示した日数が1967年には16日に対して1968年には5日という相違があり、15℃の辺りに孵化適水温の上限があることが示唆された¹⁶⁾。

そこで、1969年には、10月15日に、6腹の卵を各々4等分して表IV-10に示す試験水温で浮上まで飼育した。

表IV-10 試験区¹⁸⁾

試験区	設定水温
13℃	13℃一定
14.5℃	14.5℃一定
16℃	16℃一定
自然温度	15～8℃変化

各試験区の孵化成績は表IV-11に示すとおりで、健全発眼率は、13℃区>14.5℃区>自然温度区>16℃区と水温が高いほど低下する傾向を示した。分散分析による有意差検定の結果は、13℃区と14.5℃区の差は有意でないが、14.5℃区と自然温度区および16℃区の差は有意であった。孵化率も同様に13℃区>14.5℃区>自然温度区>16℃区と水温が高いほど低下する傾向を示した。検定の結果は、13℃区、14.5℃区および自然温度区の差は有意でないが、16℃区の他の3区に対する差は有意であった。

浮上率の差も発眼率とほぼ同様の関係を示し、検定の結果は、13℃区、14.5℃区および自然温度区の差は有意でないが、16℃区の他の3区に対する差は有意であった。奇形発生率も水温が高いほど高い傾向が見られたが、有意の差とはいえなかった。試験開始から発眼期までの自然温度区の水温は、平均値では14.5℃区と大差がないのに、健全発眼率に14.5℃区と有意の差が見られた。水温記録を較べてみると自然温度区の水温は日間変化があつて、日間最高値が15℃を越える日が多かった。このことから、15℃は孵化適水温外と推定された。以上の結果から孵化用水の適温上限は14℃辺りと考えられた¹⁸⁾。

表IV-11 孵化成績¹⁸⁾

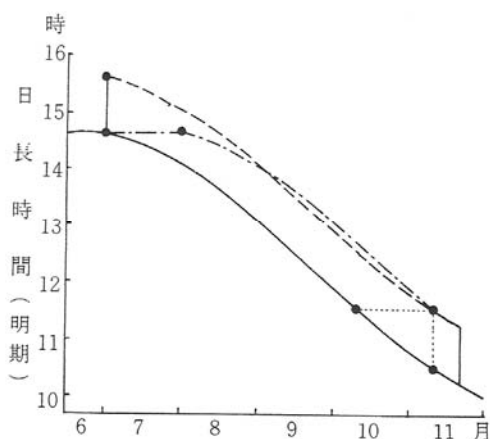
	腹	試験区			
		13℃	14.5℃	16℃	自然温度
正常発眼率%	1	95.0	94.7	43.4	91.1
	2	92.9	92.9	81.5	76.9
	3	76.4	64.7	23.3	53.9
	4	92.0	90.7	88.6	90.1
	5	90.5	91.0	81.3	91.0
	6	69.5	55.5	15.5	51.8
	平均	86.1	81.6	55.6	75.8
孵化率%	1	99.6	100.0	95.5	96.9
	2	100.0	100.0	98.3	98.9
	3	98.6	96.7	92.7	94.7
	4	98.8	99.8	98.8	98.3
	5	100.0	99.2	98.7	99.6
	6	97.9	94.4	95.2	95.8
	平均	99.2	98.4	96.5	97.4
浮上率%	1	97.9	96.8	82.0	96.9
	2	79.3	98.7	86.8	98.6
	3	97.1	94.1	63.4	92.6
	4	96.8	97.9	95.6	97.9
	5	100.0	98.4	90.0	99.6
	6	88.5	83.1	66.7	94.4
	平均	93.3	94.8	80.6	96.7
奇形発生率%	1	0.0	0.0	7.2	0.0
	2	0.3	0.6	0.7	0.0
	3	0.5	0.4	14.6	1.6
	4	1.7	0.7	0.7	0.2
	5	0.0	0.4	3.9	0.8
	6	7.3	9.9	0.0	8.5
	平均	1.6	2.0	4.5	1.9

⑨ 産卵期の調節

アマゴの産卵期は10月上～中旬に始まる。岐阜水試の孵化用水の温度は、この時期17℃以上の高温であるが順次低下して11月上～中旬に適温の14℃に下降する。そこで、光処理による産卵期の調節を検討した。1968年7月10日から8月31日まで終夜電照して飼育したところ、採卵盛期が10月30日で、無処理区のそれより2週遅れた。しかし、電照区の卵粒の大きさが無処理区のそれより15～18%小さかった¹⁵⁾。8月31日におけるG S I（生殖腺重量体重比）は、無処理区の雌魚8.6～15.5%、雄魚2.9～5.3%に対して、電照区の雌魚3.6～5.3%、雄魚0.3～0.4%と、明らかに電照区の生殖腺の発育が抑制されていたので、電照打

ち切り後急速に成熟が進行しても、卵黄の蓄積が不足したと考えられた。

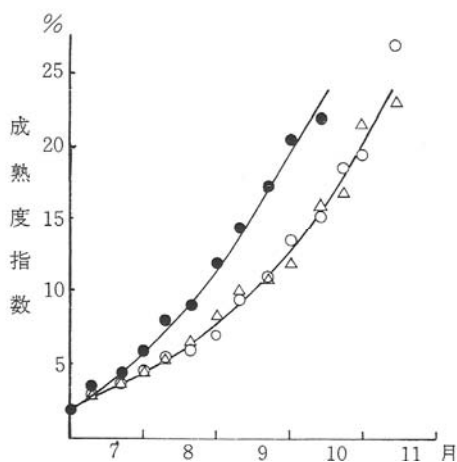
1971年には産卵期を1ヶ月遅らせる方法として、人工光の使用により日長の変化を1ヶ月遅らせる手法を試みた¹⁹⁾。アマゴの産卵開始期の10月10日の日長は11時間30分であるが、1ヵ月後には10時間30分となり、この間に自然日長は60分短縮している。このことから、図IV-44に示すように2つの方法で光処理を設計した。1つは日長曲線を縦軸上方に60分ずらした光処理方法(A区)であり、他の1つは日長曲線を横軸右方向に1ヶ月ずらした光処理方法(B区)である。



図IV-44 光処理による日長変化¹⁹⁾

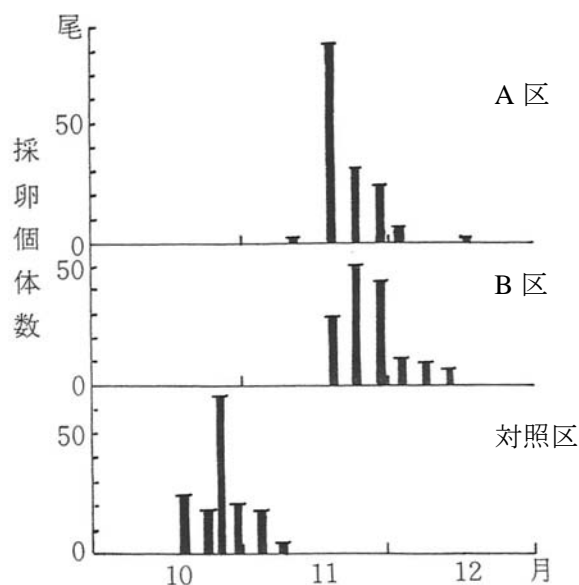
----A区, - · - B区, — 対照区(自然日長)

図IV-45にGSI(生殖腺重量体重比)の変化を示した。A、B両区の間には大差はなかったが、明らかに対照区のそれより遅れ、採卵期も図IV-46に示すように約1ヶ月遅れた。先の実験¹⁵⁾で見られたように卵粒の大きさが自然日長区より小さいということもなかった。発眼率は自然日長区76%に対してA区83%、B区87%で光処理区が上回った。これは、孵化用水の温度が自然日長区の採卵期に15~13℃と初期に孵化適水温の上限を上回っていたのに対して、光処理区の採卵期には12~10℃と適温であったことによると考えられた。



図IV-45 成熟度指数(卵巣重量/体重)の変化¹⁹⁾

○印:A区、△印:B区、●印:対照区



図IV-46 光処理による採卵時期の調節¹⁹⁾

⑩ 雄魚の成熟統御

産卵期の半ばに雄魚が死滅してしまうことの対策として、光処理による成熟の統御を検討した¹⁷⁾。1969年9月1日に、2次性徴の現れたアマゴ雄魚（平均体重340g）を表IV-12に示す4試験区に、それぞれ25尾ずつ収容して、10月6日から2月10日まで1週間おきに体重と搾出精液量を調べた。産卵期終期の11月4日に各区5尾ずつ無作為に抽出して開腹し、精巣の状態を観察した。11月4日以降は光処理を打ち切った。

表IV-12 試験区¹⁷⁾

試験区	処 理
1	9月1日から11月4日まで終夜電照
2	9月16日から "
3	10月1日から "
対照区	無処理

生残と採精の調査結果を表IV-13に示した。

対照区は、10月6日の調査では、生残24尾全個体から採精出来、1尾あたりの採精量は0.7~4.2平均2.0ml、10月13日の調査では1尾あたり1.2~5.3平均2.8mlであったが、10月21日までに過半数がへい死し、その後10月28日までに全個体がへい死した。10月21日生残7尾の1尾あたり採精量は1.2~4.6平均2.4mlであった。

表IV-13 生残と採精量の経過¹⁷⁾

時期 月,日	1区		2区		3区		対照区	
	生残尾数	採精量 (ml/尾)	生残尾数	採精量 (ml/尾)	生残尾数	採精量 (ml/尾)	生残尾数	採精量 (ml/尾)
10, 6	25	-	25	-	25	0.8	24	2.0
10,13	25	-	24	0.0	25	1.2	24	2.8
10,21	25	-	24	0.0	24	1.9	7	2.4
10,28	25	-	20	0.0	20	1.3	0	-
11, 4	24	-	20	0.0	16	1.0		
11,11	19	-	15	-	9	2.2		
11,17	19	0.0	15	-	8	2.0		
11,24	19	0.1	15	0.1	8	1.2		
12, 2	19	0.3	15	1.1	8	1.3		
12,10	18	0.6	14	1.1	8	0.6		
12,18	16	0.6	14	1.1	8	0.4		
12,25	15	0.6	13	0.8	7	0.1		
1, 7	11	0.3	9	0.4	4	0.0		
1,23	6	0.2	4	-	3	-		
2,10	5	0.0	3	-	2	-		

注； 11月4日、各区5尾開腹調査に供試。以後電照打ち切り

9月1日から終夜電照した1区は、夜間点灯期間中成熟が抑制され、点灯を打ち切ってから次第に成熟が進行し点灯打ち切り5週後の12月10日に18尾中12尾が採精可能となったが、採精量は少なく、1尾あたり0.6mlであった。採精量はその後増えることはなかったが、中には翌年2月10日まで極少量採精できる個体があった。

9月16日から終夜電照した2区は、10月6日以降点灯期間中の調査ごとに、1~3尾と僅かではあるが極少量採精できる個体があった。夜間の点灯を打ち切ってから成熟は次第に進行し、点灯打ち切り5週後の12月10日には14尾中13尾が採精可能となり、1尾当たり採精量は0~3.1平均1.1mlで、次の週もほぼ同様であった。採精量はその後次第に減少したが、翌年1月7日まで9尾中7尾から少量採精できた。

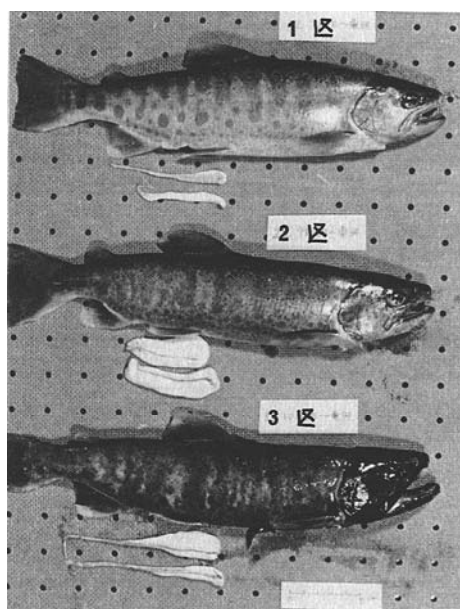
10月1日から終夜電照した3区は、10月6日の調査で25尾中24尾から採精できたものの1尾当たり採精量は殆どの個体が1ml未満で、対照区のそれより少なく、僅か5日間の光処理で成熟がかなり抑制されていたが、10月13、21、28日には全個体から採精でき、1尾あたり採精量は、10月13日に1.2ml、10月21日に1.9mlと増加した。11月4日には生残16尾中5尾採精できない個体があったが、点灯打ち切り1週間には回復し、11月11日から12月2日までの調査では、ほぼ全個体が採精でき、1尾あたり採精量は、11月11日2.2ml、11月17日2.0mlであった。その後次第に減少したが、12月25日に至っても生残7尾中2尾から少量であるが採精できた。

11月4日に採精後各試験区からそれぞれ5個体を抽出して精巣重量比を調べたところ、1

区は 0.58~1.86 平均 0.95%で小さく、2 区は 1.81~3.22 平均 2.66%でいずれも未熟状態、3 区は 1.33~3.84 平均 2.67%で未熟状態の個体と一部排精した個体があった。図IV-47 は魚体と精巢の状態の 1 例を示したものである。

以上のとおり、10月1日から11月4日まで電照飼育した雄魚が産卵期を過ぎてもお生残して、長期間に亘って採精できたことから、1970年にこの方法を種苗生産事業に適用して好結果を得た。すなわち、雌親魚重量の10%の雄魚を用意し、半数を10月1日から10月25日まで終夜電照飼育し、産卵期前半には電照しない雄魚を使用し、これが死亡した後半に電照した雄魚を使用した。これにより、精液は過不足なく供給できた。

また、電照中は成熟が抑制されるが、電照を打ち切れば成熟が進行し、1ヵ月後に採精できることも判明したので、産卵期を調節した場合の雄魚の管理に応用できよう。



図IV-47 魚体と精巢の状態 (11月4日)¹⁷⁾

- 1区：(9月1日電照開始) サビはない。精巢は小さい。
- 2区：(9月16日電照開始) ややサビている。精巢未熟。
- 3区：(10月1日電照開始) サビている。精巢は後半部が排精。

⑪ パー系とスマルト系の育種

岐阜水試でアマゴの種苗生産を始めた当初、親魚候補には群の中から大型の個体を選択した。しかし、7月に群の中の大型魚を選択すると、その殆どが満1年で成熟する雄であった²⁰⁾。そこで、親魚候補としてはこの時期に先ず中型の個体を残し、次いでこの中から満1年の秋にスマルト化した大型の個体を選択した。そうすれば成長の良い雌を効率的に残すことができたからである。こうした選択を年々続けたところ、岐阜水試の種苗は、他の産地の種苗と比較して優れた成長を示し、同時にスマルトの出現率が高くなった²¹⁾。しかし、晩秋に降下してしまうスマルトは渓流域では損失であり、スマルト系種苗の放流はサツキマス資源

の増殖には有用であるが、渓流域の放流には適さない。そのため、岐阜水試では 1975 年からスマルト系と平行してパー系の育種に取り組んだ。初めはスマルト化しなかった個体の中から成長の良いものをパー系親魚候補として選択する手法に拠った。ところが、スマルト選択を継代した従来の系統の中からはスマルト化しない大型のパー型個体は殆ど出現せず、パーの選択は同時に成長不良を選択することに繋がらざるを得なかった。この選択を繰り返し継代し、スマルト化率は明らかに低下したが、矢張り成長の良い雌はスマルト化した。スマルト系と比較すると明らかに成長が劣り、成長の遅れがスマルト化を抑制しているとも考えられた。このパー系は、元をたどれば出発点でスマルトを選択する誤りを犯していたので、1990 年代には、従来のパー系育種を見直し、新たに原産地の異なる数種類の種苗を導入して、スマルト化と成長の特性を評価した。スマルト出現率の低い系統はスマルトに分化する臨界サイズが大きいため比較的大きなパー個体があり、成長の良いパー系の育種を効果的に進めることになった^{22),23),24)}。また、従来親魚候補には満 1 年で成熟する早熟雄魚を排除していたが、早熟雄魚の精子を使用すると、パーの出現率が高くなることも判明し、パー系の育種に進展が見られている^{25),26),27)}。

(文献)

- 1) 全国湖沼河川養殖研究会編 (1976) 養鱒の研究, 緑書房 pp178.
- 2) 水産庁研究第二課 (1968) 昭和 42 年度指定調査研究総合助成事業, 在来マス類増殖研究報告書, 在来マス類増殖研究 - I, 親魚の養成と人工採卵 pp79.
- 3) 水産庁研究第二課 (1969) 昭和 43 年度指定調査研究総合助成事業, 在来マス類増殖研究報告書, 在来マス類増殖研究 - II, 在来マス類の養殖技術 (総括) と放流の試み pp73.
- 4) 水産庁研究第二課 (1970) 昭和 44 年度指定調査研究総合助成事業, 在来マス類増殖研究報告書, 在来マス類増殖研究 - III, 放流種苗確保のための生産技術 pp45.
- 5) 本荘鉄夫・原武史(1973) ヤマメ・アマゴ, 養魚講座 8, 緑書房 pp184.
- 6) 立川互(1976) 河川在来マス類の増養殖, 稲葉伝三郎編淡水増殖, 恒星社厚生閣 386~405.
- 7) 立川互(1976) 岐阜県におけるアマゴの増養殖, 資源協会, つくる漁業, 478~489.
- 8) 田代文男(1981) ヤマメ・アマゴ, 農山漁村文化協会特産シリーズ 47, pp126.
- 9) 木村紀彦(1982) 在来マス, 野村稔編淡水養殖技術, 恒星社厚生閣 291~307.
- 10) 立川互・本荘鉄夫・田口錠次・熊崎隆夫 (1969) アマゴの増殖に関する研究 (第 2 報), 天然河川産アマゴの池中養成と採卵について - (2), 岐水試研報 14, 3~19.
- 11) 立川互・本荘鉄夫・田口錠次・熊崎隆夫 (1969) アマゴの増殖に関する研究 (第 4 報), アマゴの採卵適期について, 岐水試研報 14, 24~26.
- 12) 立川互・本荘鉄夫・田口錠次・熊崎隆夫 (1969) アマゴの増殖に関する研究 (第 5 報), アマゴの採精量について, 岐水試研報 14, 27~29.
- 13) 立川互・本荘鉄夫・田口錠次・熊崎隆夫 (1969) アマゴの増殖に関する研究 (第 6 報), アマゴの孵化水温について, 岐水試研報 14, 29~30.
- 14) 立川互・田口錠次・熊崎隆夫 (1970) アマゴの増殖に関する研究 (第 9 報), 養殖アマゴ

の採卵孵化について,岐水試研報 15,21~31.

- 15) 立川互・田口錠次・熊崎隆夫(1970) アマゴの増殖に関する研究(第10報),親魚飼料・親魚飼育水温並びに採卵期の調節について,岐水試研報 15,32~51.
- 16) 立川互・熊崎隆夫(1970) アマゴの増殖に関する研究(第11報),アマゴの孵化水温について(2),岐水試研報 15,52~55.
- 17) 立川互・熊崎隆夫・森川進(1971) アマゴの増殖に関する研究(第15報),アマゴ雄魚の成熟統御について,岐水試研報 16,16~34.
- 18) 立川互・熊崎隆夫(1971) アマゴの増殖に関する研究(第16報),アマゴの孵化水温について(3),岐水試研報 16,35~42.
- 19) 立川互・渡部邦夫(1973) アマゴの増殖に関する研究(第17報),電照による産卵時期の遅延について,岐水試研報 18,1~6.
- 20) 立川互・熊崎隆夫(1975) アマゴの増殖に関する研究(第20報),アマゴ0年魚の体重組成に見られる成熟雄魚の特異な生長,岐水試研報 21,41~49.
- 21) 岐阜水試(1983) 産地の異なる種苗の飼育試験,近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合計画,昭和57年度報告書,2~23.
- 22) 後藤功一(1997) アマゴの育種に関する研究-V,パー系(河川残留型)作出のための各産地系統の特性について,岐水試研報 42,11~16.
- 23) 桑田知宣(1998) 雌性発生技術を応用した河川残留型アマゴの選抜育種について,岐水試平成8年度業報,3.
- 24) 松田宏典(1999) 新たな遺伝資源を用いたアマゴのパー系統育種について,岐水試平成9年度業報,5.
- 25) 一柳哲也・松田宏典・桑田知宣(2000) アマゴの育種に関する研究-VI,早熟雄が相分化に及ぼす影響について,岐水試研報 45,7~12.
- 26) 一柳哲也・桑田知宣(2001) アマゴの育種に関する研究-VII,早熟雄が相分化に及ぼす影響について-2,岐水試研報 46,1~7.
- 27) 徳原哲也・桑田知宣(2005) アマゴの育種に関する研究-IX,早熟雄とスモルト雄が次世代の相分化に与える影響について,岐淡水研報 50,7~11.

4) スギノコ(大畑川)

スギノコ及び河川系のサクラマスから人工採卵で得た0⁺才魚(0年魚*)に個体識別標識を付け、特性に関する比較観察を人工飼育下で行い、知見¹⁾を得ている。

- ・5月から翌年3月までの10ヶ月間の飼育観察では成長、生残ともに有意な差は見られなかった。
- ・収容時の5月にはスギノコ、サクラマスともにすべての個体がパーであった。生後満1年目の10月においてサクラマスは42%、スギノコは33%が成熟雄であった。また、0⁺才魚の秋スモルトが確認されており、サクラマスで7%、スギノコで3%であった。

- ・飼育 10 ヶ月目の 3 月にはサクラマスは満 1 年の 10 月にパーの状態であった個体が全てスマルト化していたが、スギノコでは 10 月にパーの状態であった個体のうち 54% はスマルト化していたが、46% の個体はパーのままでありサクラマスとの差異があった。
- ・満 1 年目の 10 月でのスギノコの魚体組成から判断すると、大型群から順に成熟雄、1⁺才魚（1 年魚*）春スマルト、パーの群に分かれている。また、春スマルトに進むサイズは満 1 年目の秋の時点で体長 12~13cm、体重 20~30 g 程度であり、スマルト化するためのサイズがサクラマスより大型の傾向となっている。また、1 年目の秋に成熟しなかった雄が存在しており、雄が成熟に向かうためのサイズがサクラマスより大型であることが考えられた。
- ・スギノコの満 2 年目までの成熟に関する飼育観察では雌雄ともほとんどが成熟した。

スギノコを種苗とした養殖魚としての利用では、サクラマスと比較してスマルト化しにくいことや成長が良好であることなどから、パー個体を主とするヤマメ養殖について有効な系統であることが考えられている。

（文献）

- 1) 長崎勝康他.1999.スギノコ増養殖特性評価試験.平成 9 年度青森県内水面水産試験場事業報告書.p.20-25.

5) キザキマス（木崎湖）

木崎湖におけるキザキマスの移殖、増・養殖は明治時代から行われており、川尻ら¹⁾が詳しく報告している。これによると、明治 40 年(1907 年)、41 年(1908 年)に木崎湖に注ぐ農具川で地鱒と呼ばれたキザキマスの卵を 5 万粒ずつ採卵孵化したこと、さらに、大正元年(1912 年)から 7 年の間には毎年 5 万から 20 万粒の採卵を続け、この間の採卵総数は 82 万粒に達したという。これとは別に卵の移殖が行われ、ビワマス卵は明治 41 年から大正 9 年(1920 年)にかけて、ヒメマス卵は明治 44 年(1911 年)から大正 5 年(1916 年)にかけて移殖されている。そして、地鱒と呼ばれ採卵された卵の中には移殖した鱒の親魚となったものから採卵したものもあるだろうと記述している。ところが、ヒメマスは放流後豊漁がなく終わったことから、この時点で川尻らは、現在繁殖しているキザキマスはビワマスの可能性が大きいと考えていたが、これは妥当と思われる。

産卵期の遡上親魚の採捕尾数は、1930 年代には 357~872 尾に達していたが¹⁾、その後の記録がなく 1985 年には 33 尾にまで減少した²⁾。このままではキザキマス資源の枯渇が危惧され、地元ではキザキマスの復活を望む声が大きくなってきた。そこで長野県水産試験場では 1986 年から 1988 年までの 3 年間、木崎湖漁業協同組合と共同して「木崎マス増殖対策事業」を実施した^{3),4),5)}。事前検討でキザキマス資源の減少要因は、流入河川及び木崎湖の環境悪化に伴う孵化仔・稚魚時の初期減耗と推定され、この事業では、初期加入資源量を確保す

るために、遡上親魚から人工採卵を行い、3g以上の稚魚まで飼育した後放流することにした。

親魚の採捕は、流入河川の中中部農具川及び稲尾沢川の河口で行った。採捕用の築は、従前から木崎湖漁業協同組合で使用してきたものを改良して用いた。従前の築は増水して流下物の多い時には築を撤去しなければならず、撤去している間に遡上する親魚が見られたため、このロスを減らすために流下物が築に留まらず流下するように工夫されている（図IV-48）。



図IV-48 キザキマス捕獲用の築

遡上親魚の捕獲数を表IV-14に示したが、1986年は1984、1985年と比べて大きく増加していることが分かる。この年に遡上した親魚は、この事業が始まる前の1985年以前に漁協が採卵・孵化放流した稚魚および自然産卵で育った稚魚が遡上したものであるから、採捕数の増加は、築の改良によるものであることは明らかである。採卵孵化飼育の技術はニジマスやヤマメ、アマゴと同様にできたことから、事業初年度から順調に稚魚生産ができ、放流が可能となった。年次別の稚魚放流数は表IV-15に示したように、2万尾から10万尾程度に増加することができた。その結果、1987年1988年と遡上親魚が増加し、これらの多くは放流した稚魚であることが標識調査の結果でも確認されている。

表IV-14 キザキマス親魚の遡上数（尾）

年	1985	1986	1987	1988
雄	15(15)	45(35)	140(51)	258(145)
雌	18(17)	184(136)	309(144)	439(364)
計	33(32)	229(171)	449(195)	697(509)

()内は採卵・採精に利用した尾数。
 その他は過熟・未熟、蓄養中に死亡及び自然再生産のためにヤナの上流へ再放流した。

表IV-15 キザキマス稚魚の放流数（尾）

年	1986	1987	1988	1989
放流尾数	9,900	63,100	26,200	75,800

キザキマスの稚魚および産卵期親魚の写真を図IV-49、図IV-50に示した。

なお、木崎湖漁業協同組合では1987年から3年間にわたり、社団法人日本水産資源保護協会の実施する漁村研究実践活動による助成を受け、種苗生産および放流事業を組合独自の活動として続け今日に至っている。

長野県水産試験場では、漁業協同組合が実施する種苗生産技術の安定化を図る一方で、稚魚の放流効果についても調査を実施し、現存尾数の推定を行っている⁶⁾。現存尾数の推定は魚群探知機と刺し網を用いる方法である。木崎湖では夏季に水深5～10mに水温躍層が形成されるが、予備調査で、キザキマスも含めて魚類は躍層より深いところにいることが確認されているので、まず魚群探知機で調査区域の魚の数を求めておき、次にその部分に刺し網を仕掛けて漁獲された魚のうちキザキマスの比率を求め、その区域に生息する魚のうちの何パーセントがキザキマスであるかを推定する。これを湖全体に拡大して、キザキマスが何尾いるかを推定するのである。木崎湖の生息魚種はキザキマスのほか、ウグイ、コイ、フナ、ワカサギ、オオクチバスなどであるが、これらの魚が同じ比率で刺し網にかかることを前提にした考え方である。この結果、調査した1988年から1990年の3年間では、キザキマスの現存尾数は1,500～2,000尾と推定された。この値は水面積1km²当たり1,070～1,430尾となり、奥只見湖で同様の方法で実施されたサクラマスの資源尾数に近い値であった⁷⁾。このような調査は時間と手間のかかる仕事であるが、貴重な資源の管理には欠かせないものである。



図IV-49 キザキマス稚魚



図IV-50 キザキマス産卵期親魚

(文献)

- 1) 川尻稔・畑久三・島立孫亥. 鱒の湖中養殖試験(木崎湖に於ける鱒の養成).水産試験調査資料. 7.1940.
- 2) 薄井孝彦・山本聡. サクラマス群魚類キザキマス (*Oncorhynchus masou* subsp) の増殖に関する研究-I. 木崎湖産野生群からの採卵と稚魚生産,長野水試研報, 3.1994.
- 3) 長野県水産試験場. 昭和 61 年度長野県水産試験場事業報告.1988.
- 4) 長野県水産試験場. 昭和 62 年度長野県水産試験場事業報告.1989.
- 5) 長野県水産試験場. 昭和 63 年度長野県水産試験場事業報告.1990.
- 6) 全国湖沼河川養殖研究会, マス類放流研究部会. マス類の河川放流に関する研究-III (マス類放流研究部会昭和 63~平成 2 年度のとりまとめ). 木崎湖におけるキザキマス資源量の推定, 1991.
- 7) 片岡哲夫・本多信行・鈴木惇悦. 奥只見湖における湖産サクラマスの再生産に関する研究-VI, マス類の資源量.新潟内水試調査研究報告. 11.1984.

6) イワメ (大野川水系)

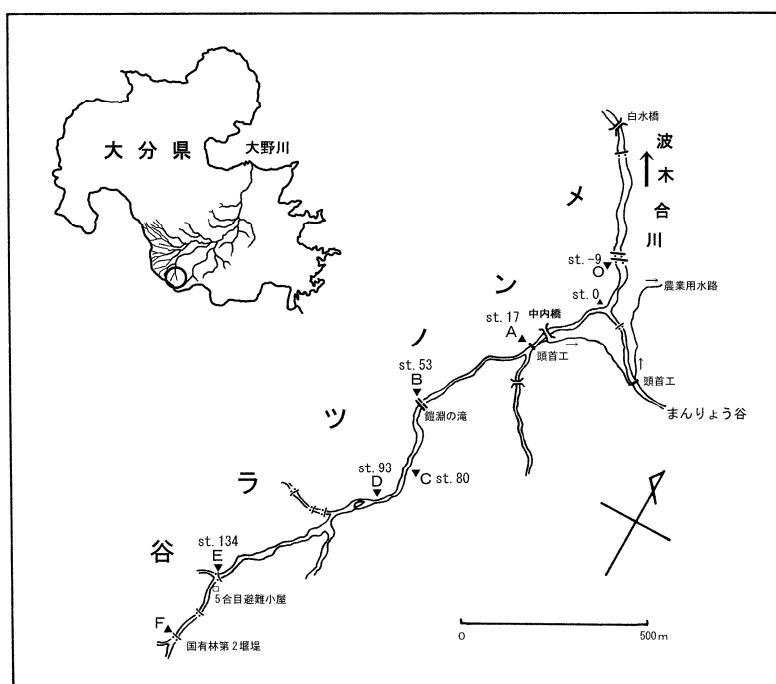
大野川水系のイワメは大分県教育委員会によって県の天然記念物(祖母山系イワメ)に指定され採捕が禁じられている。また、その生息地である大野川水系神原川のメンノツラ谷(波木合川)には、漁業調整規則によって禁漁区が設定され、水産動物の採捕が禁じられている。法的な保護体制の一方、継続的な現地調査は行われておらず、イワメの生息状況は不明であった。

そこで、大分県内水面漁業試験場(現農林水産研究センター水産試験場内水面研究所)はイワメの生息状況調査を 1994 年から開始した。潜水目視によってイワメの生息域が流程 2 km 足らずで、生息数も限られていることを確認し、より詳細な知見を収集するため捕獲実測

および標識装着によるモニタリング調査を計画したが、「人為的影響により生息数を減らす恐れがある」との理由で教育委員会からのイワメの捕獲許可は得られなかった。その後の協議で「イワメの生息していない上流域への稚魚の移殖放流とそのモニタリング調査であれば在来群の生息数を減らす恐れがないので認める」との見解が教育委員会から得られ、1998年に移殖放流を実施した。

① 調査場所の概要

イワメの調査は移殖放流群の追跡調査と平行して、在来群（自然分布）生息区間でも潜水目視によって生息状況をモニタリングした。調査場所の概要を図IV-51に、その河川勾配を図IV-52に示した。測量は2001年の2月7日と同月20日に行った。



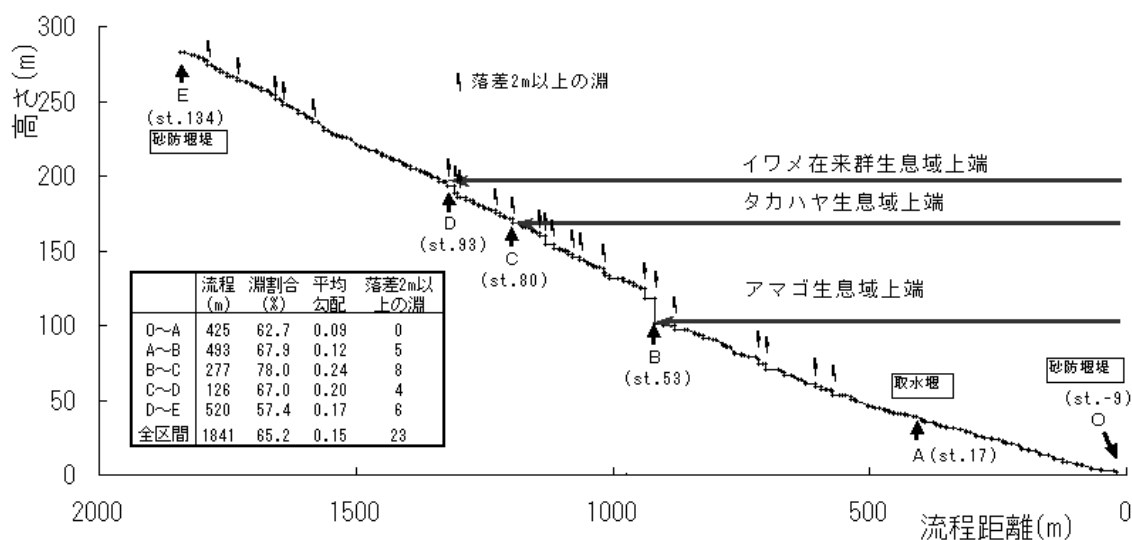
中内橋上流

図IV-51 調査河川の概要

調査の流程位置を定める基準（ランドマーク）として、調査区間の下流から順に、淵ごとに淵番号（st ナンバー）を付近の岩にペイントラッカーでマーキングした。淵番号は、波木合川（調査河川）とまんりょう谷の支流との合流点を st.0 とし、それより下流側の淵を下流に向かって st.-1～-9（砂防堰堤上）、上流側の淵を順に st.1～134 とした。

生息環境として重要な転換ポイントには、それぞれO、A、B、C、D、Eの名称をつけて、調査区間を区分した。O（st.-9 下）はイワメのモニタリング調査区間の始点である砂防堰堤（下流からの遡上不能）を表し、A（st.17 上）は農業用の頭首工（取水堰）の位置を示し、B（st.53 上）はアマゴの生息域の上端である「鎧淵の滝」を、C（st.80 上）はタカハヤの生息域の上端を、D（st.93 上）はイワメの自然生息域の上端を表している。E（st.134 上）は5合目避難小屋横の砂防堰堤（遡上不能）で調査区間の終点となっている。

D-E区間（移殖放流区間）は水量が豊富で大淵が随所にみられるなど、イワメの自然生息域(D地点より下流)と比較しても見劣りしない環境条件を備えている。参考のため 1999年2月12日の流量測量の結果を示すと、頭首工（農業用取水堰）直下の st.12（中内橋）で秒当たり 2.48t、st.93（D地点）で 3.22t、st.134（E地点）で 4.59t であった。ただ、1997年の9月の19号台風によってD-E区間の谷斜面が崩落し、また、風倒木も大量に生じて土砂や風倒木が河川に流入堆積し、多くの淵を埋没させた。そのため、河川勾配は大きい、流程における淵の占める割合は全調査区間中最も低い（図IV-52）。



図IV-52 調査区間の河川勾配

② 移殖放流

1998年5月8日に、E地点（st.134）の砂防堰堤直下の淵に脂鱗を切除したイワメの浮上稚魚 47 個体（平均尾叉長 $48.2 \pm 5.5\text{mm}$ ）を移殖放流した。放流魚は st.81 から 93 の間で捕獲したが、大部分は st.93 のものであった。移殖放流はその 1 回実施した。

③ 調査方法

移殖放流後の潜水目視調査（D-E区間）を 1998年7月21日、9月7日、1999年2月12日、3月25日、9月30日に行った。釣獲による追跡調査を 1998年7月21日と9月8日に行った。

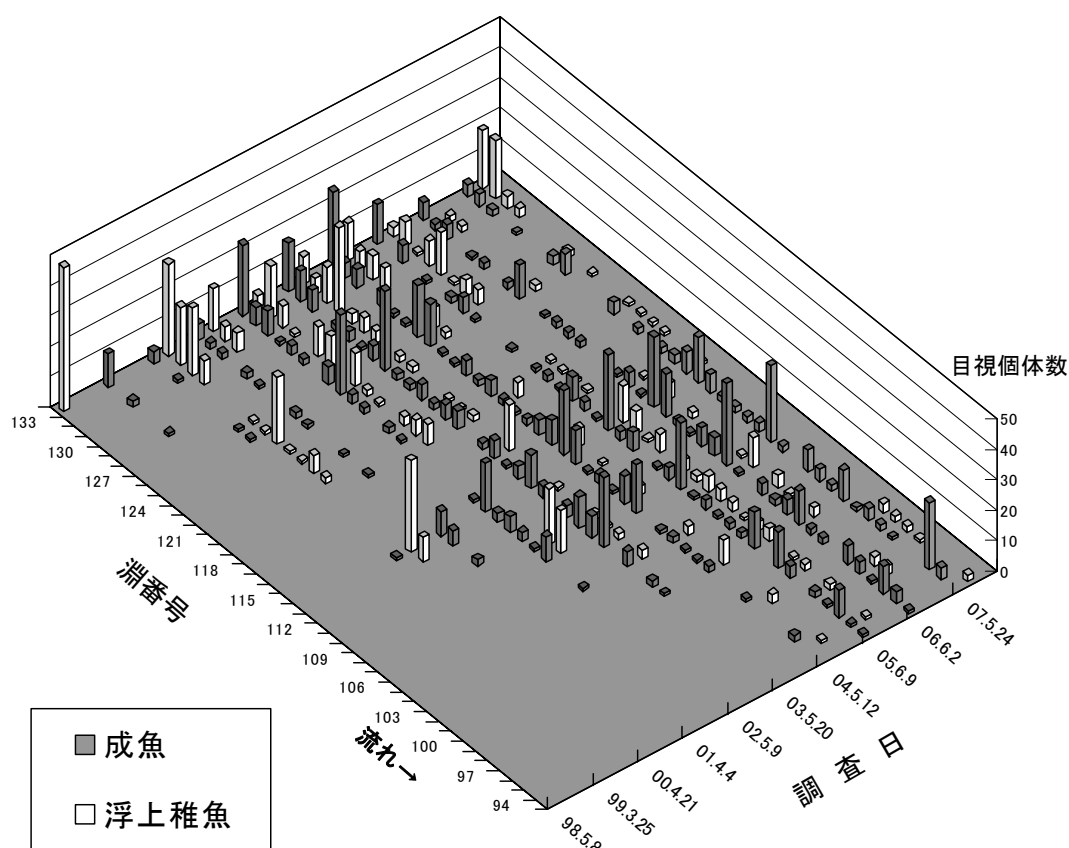
自然生息区間を含む経年のモニタリング調査は当歳魚（0年魚*）を明確に区別できる春季を中心に行い、潜水目視によって発見魚の目視体長（体長の目測値）とその発見場所を記録した。

潜水によるイワメ成魚の目視発見率を得るために、2000年8月20日から28日の間にD-E間でイワメを釣獲し、白色のリボンタグを装着後釣獲場所に放流した。8月28日にD-E間で潜水目視による標識魚の確認を行い、その数から目視発見率（標識魚の発見尾数/標識放流尾数×100）を推定した。

④ 移殖放流後の生息域の拡大

移殖時に平均尾叉長が $48 \pm 6\text{mm}$ であったイワメの稚魚は、1998 年の 7 月（釣獲）には $113 \pm 17\text{mm}$ に、9 月（釣獲）には $119 \pm 16\text{mm}$ に成長した。並行して行った潜水調査で確認した最大個体の目視体長は、7 月に 17cm 、9 月に 19cm 、1999 年 2 月には 20cm であった。その後、3 月には平均目視体長で $15 \pm 2\text{cm}$ に、9 月には $22 \pm 7\text{cm}$ に成長し、9 月に確認した最大個体は体長 33cm に達していた。

図IV-53 にD-E区間で潜水目視によって確認したイワメの流程分布の経年変化を示した。



図IV-53 移殖放流区間（D-E）のイワメの流程分布の経年変化

移殖放流個体は 1999 年の 3 月までは放流点（上流への移動は不能）から下流側 60m 以内で確認され、移動分散距離は限られたものであった。

初めてD-E区間でイワメの再生産を確認したのは 2000 年の 4 月 21 日で、st.134（E地点）付近と、st.126 付近と、st.114 の付近でまとまった量の浮上稚魚がみられた。また、その 3 点と同じ淵あるいは直上の淵には、全長 25cm 以上の雌が存在し経産卵魚と推測された。一方、浮上稚魚群の付近に雄成魚はみられず、移動もしくは死亡したと考えられるが、D地点より下流（自然生息域）で何度か脂鱗のない全長 25cm 以上の雄が確認されていることから、流下に移動した可能性が強い。移殖放流個体は 2000 年 8 月 15 日に 8 尾目視確認され、8 月 28 日に 1 尾釣獲されたがそれ以後確認できなかった。

D-E区間内の再生産群の分布域は年々拡大し、2004年にはそれまで生息が確認されていなかった st.100 より下流でも確認され、2005年にはほぼどの淵にもみられるようになり、完全に自然生息域と繋がった。

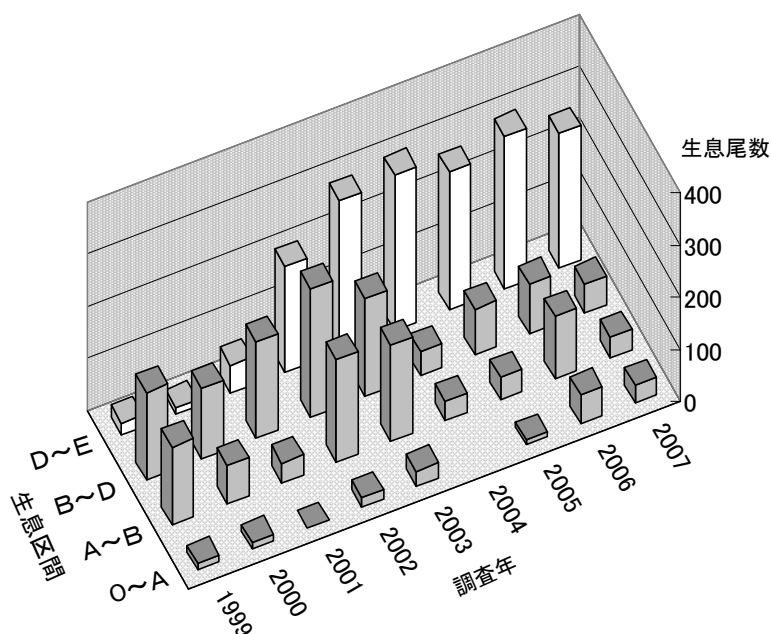
⑤ 潜水目視によるイワメの目視発見率の推定

D-E区間で2000年8月20日(st.94→114)、23日(st.114→122)、24日(st.123→133)、28日(st.133→134)にイワメを釣獲し、27尾に白色のリボンタグを装着し、速やかに再放流した。

8月28日の潜水目視調査では合計110尾のイワメを確認し、このうち標識個体は16尾で、目視発見率を $16/27 \times 100 = 59.3\%$ と算定した。

⑥ イワメ全体の生息数の経年変化

流程区間別のイワメ(1歳魚(1年魚*)以上)の生息数の経年変化を図IV-54に示した。



図IV-54 流程区間別のイワメ(1歳魚以上)の生息数の経年変化

生息数は目視確認数を目視発見率(0.593)で除して推定した。ただし、2004年はKHV病対応に追われO-A区間が欠測となった。

O-A区間は農業用の取水による減水域となっており、渇水時には流れが分断し干出するなどきわめて生息環境が不安定で、A点より上流がイワメの主な生息域となっている。O-B区間はアマゴとの混生域であるが、A-B区間内ではイワメが優勢で、過去の確認個体のうち8割以上がイワメであった。

O-D区間(イワメ自然生息域)のイワメ在来群の生息数は年変動が大きく、その最大値は2002年の462尾、最小値は2004年の83尾(O-A区間は含まない)で、平均値は 251 ± 128 尾であった。

一方、D-E区間の移殖群の生息数は移殖放流を実施した3年後の2001年から急速に上昇し、2003年には290尾に至り、以後250~300尾の水準で推移している。2003年以降の5年間の平均値は 290 ± 19 尾で、在来群の生息数の年変動が大きいのに比べて安定している。その違いが顕著であったのは2004年で、在来群の生息数は前年から急激に縮小したが、移殖群では調査開始以降の最大値に達した。同じ水系の連続する生息区間で在来群と移殖群の生息数の変動に違いが生じる環境的な要因は、本モニタリング調査では見当たらなかった。調査に着手した当初、移殖放流はイワメ生息域の500mの拡大としか考えていなかったが、2007年現在ではイワメ全体の2/3を移殖群が占め、イワメの生息状況に大きな人為的变化を及ぼす結果となった。

⑦ 今後の課題

2007年のイワメ(1歳魚以上)の100mあたりの生息数を流程区間別に表すと、O-A区間で8尾、A-B区間で8尾、B-D区間で14尾、D-E区間で50尾である。今後、移殖群の生息数が高い水準のまま推移するのか、在来群並の水準に落ち着くのかに注目しながら調査を継続していきたい。

国有林第2堰堤(図IV-51のF地点)より上流は漁業調整規則による禁漁区ではない。実際には魚類が生息していないため漁が行われることはないが、漁業(遊魚)利用可能な水域であるため、今後アマゴ等の放流(密放流も含めて)がなされないとは限らない。前述のとおり、上流部への移殖放流が短期間にまとまった個体群を定着させた結果を踏まえ、イワメの生息地から上流側全てを禁漁区にすることを関係機関に働きかけ、上流部への放流を未然に防ぐことがイワメを保全するために、今後当研究所が担うべき役割と考える。