

技術小史

さけます類の人工ふ化放流に関する技術小史 (序説)

野川 秀樹*

Development of Artificial Salmon Propagation in Japan – A Foreword –

Hideki NOGAWA

Artificial propagation of salmon began at the Chitose Central Hatchery, now the National Salmon Resources Center in 1: 88. However, a development program for chum salmon has been in place since the 1960s with the result that hatchery-rearing and farming/ranching now supply the majority of chum salmon harvested in Japan. Although Japanese chum salmon stocks have been stable for nearly 30 years, problems, such as global warming, adaptation/acclimation and genetic diversities, have been noted. Future developments and innovation require a historical review of the technical and practical aspects of salmon propagation. This foreword outlines some of these issues.

2010年3月31日受付, 2010年7月22日受理

サケ (*Oncorhynchus keta*) は北日本における重要な漁業資源であり, そのほとんどは人工ふ化放流によって造成されている。サケ資源は1960年代までは300万~500万尾と低い水準で推移し, 1970年代前半までは1,000万尾を下回る状況であったが, 1975年以降から北海道を中心に増加し, 近年は全国で5,000万~6,000万尾が漁獲されている。(図1)

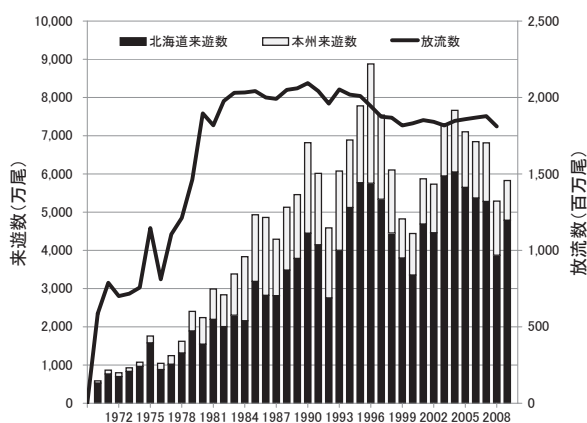


図1. サケ来遊数と放流尾数の経年変化

人工ふ化法がわが国に伝えられたのは, 1873年にオーストリアのウィーンで開かれた万国博覧会に派遣された使節団によるものといわれており, そのわずか3年後の1876年に茨城県的那珂川において, わが国で最初のサケの人工ふ化が試みられている。本格的な漁業資源の造成を目的とした人工ふ化放流事業は, 1888年に北海道の石狩川水系千歳川上流に豊富な湧水を利用して開設された「千歳中央ふ化場」に始まり, それ以降120年を超える歴史の中で, サケの人工ふ化放流技術は様々な試行錯誤を経て, 近年の高い水準のサケ資源を支えるまでに発展してきた¹⁾。

近年の高水準のサケ資源は, 後述するように1970年代後半以降の技術的な革新によってもたらされたが, その一つである適期放流という大きな技術革新がもたらされてから約30年を経過し, また, 最近では地球温暖化に伴う環境変化のサケ資源に及ぼす負の影響が危惧されている。このような背景のもと, 現在の人工ふ化放流技術の検証や今後の技術的發展に資することを期待し, 本誌にシリーズとしてさけます類の人工ふ化放流に関する技術小史をその工程に沿って掲載することにした。掲載の開始に当たり, 本稿では読者の人工ふ化放流技術の理

* 独立行政法人水産総合研究センター さけますセンター

〒062-0922 北海道札幌市豊平区中の島2条2丁目4-1

National Salmon Resources Center, FRA 4-1 Nakanoshima, Toyohira, Sapporo, Hokkaido, 062-0922 Japan

nogawa@fra.affrc.go.jp.

解の一助とすべく、サケを中心に人工ふ化放流技術の変遷や技術的な要点について簡潔に記述する。また、人工ふ化放流において広く用いられている用語であっても、一般的でないものについては必要に応じて説明する。

本論に入る前に、「さけます」の仲間について記述する。一般に「さけます」という呼び名はサケ亜科魚類の総称であり、日本にはサケ属、イワナ属、タイセイヨウサケ属、イトウ属の4属に含まれる13種が分布する²⁾。これらの魚種は一生河川や湖沼で過ごすものから、海に降りてから2～7年間北太平洋で生活し、成熟して生まれた川(母川)に戻って産卵するものまで、その生活史は魚種によって様々である。わが国ではこれらの魚種のうち北日本における重要な漁業資源であるサケ属魚類のサケ、カラフトマス(*O. gorbuscha*)、サクラマス(*O. masou*)について、資源の維持や増大を目的に大規模な人工ふ化放流が行われている。本シリーズではこの3魚種の他に、資源造成のための技術開発が試みられているベニザケ(*O. nerka*)を加えたサケ属4魚種(本稿では「さけます類」と総称する)の人工ふ化放流に関する技術小史を掲載する。魚種別の特徴を簡潔に記述すると、サケは4魚種の中で最も資源量が多く、人工ふ化放流の主力魚種となっている。一般にアキサケ、アキアジとも言われ、成熟年齢は2～7年で9～12月に河川に遡上する。カラフトマスはサケに次いで資源量が多く、主に北海道のオホーツク海沿岸や根室海峡沿岸の河川に6～10月に遡上する。産卵期の雄の成熟魚は背部が大きく隆起することからセツパリマスとも呼ばれる。他の魚種と異なり全て2年魚で成熟する。サクラマスは我が国など極東にだけ分布する魚種で、成熟年齢3～4年で桜の開花する5～7月頃にかけて河川に遡上する。稚魚は1～2年間河川内で生活した後降海し、海洋で1年間過ごした後再び河川に遡上する。ベニザケは成熟年齢3～5年で、成熟した魚体は鮮やかな紅色となる。6～9月に河川に遡上する。稚魚は1～2年河川や湖沼で生活した後降海する。この4魚種は、現在、水産総合研究センターさけますセンターにおいて研究開発等を目的にふ化放流が行われている魚種でもある。

1. サケの人工ふ化放流技術の変遷

1888年の千歳中央ふ化場の開設は、わが国のさけます類の人工ふ化放流技術の発展の原点であり、この地を中心とした数多くの試行錯誤の繰り返しを経て、わが国に適合した技術に発展していく。戦後間もない1951年に水産資源保護法が施行され、1952年に「北海道さけ・ますふ化場」が設置されてからは、北海道さけ・ますふ化場による様々な調査研究や技術開発により、現在の技術が形作られていくことになる。特に1960年代に入ってから、サケ稚魚の給餌飼育の導入(1962年)、増収型アトキンス式ふ化器(写真1)及びボックス型ふ化器の



写真1. 増収型アトキンス式ふ化器
長さ3.5m、幅35cm、深さ30cmの塩化ビニール製
一水槽当り40万粒の卵を入れることができる

開発(1965年)、乾燥配合飼料の導入(1967年)など現在も広く用いられている技術や機器などが開発された。また、1971年にはそれらの技術が反映された近代的なふ化施設が千歳中央ふ化場の建設された地に完成し、以後この施設をモデルに各地にふ化場が建設されることになる。このように1960年代に入ってから給餌飼育の導入やふ化場の近代化により、資源もそれまでの500万尾程度から僅かずつではあるが上向き傾向を示すことになるが、未だ1,000万尾に満たない状況であった。また、ふ化放流事業を担う現場においては、筆者が北海道さけ・ますふ化場に職を得た1976年当時でも、科学的な根拠に基づく技術が広がりつつある一方で、経験を基にした技能を重視する雰囲気も強く見られ、技術は教わるものではなく見て盗んで習得するものという考え方も色濃く残っていた。

このような中、大きな技術革新がもたらされたのは、稚魚の生き残りを高めるための適正な放流時期は沿岸の表面水温8～10℃前後であるという知見¹³⁾の人工ふ化放流現場へのフィードバックである。これにより、稚魚の放流方法はそれまでの人工ふ化された稚魚を浮上して遊泳が可能となった時期に河川に放流するという方法から、沿岸の表面水温が5～10℃となる時期を目安においた放流方法(適期放流)に切り替わることになる。しかしながら、この放流方法の導入は、新たな技術的な課題を生むことになる。このような放流を行うためには、適切な放流時期となるまで一定期間(2～3カ月)飼育池で飼育する必要が生じるが、その当時は飼育技術が未熟なことから細菌性鰓病が頻発し、それを防止するための技術開発が必要となった。また、健康な稚魚を育成するためには、その前の発育段階である仔魚期(ふ化から浮上までの発育段階)における安静な管理の重要性が認識され、そのための技術開発も盛んに行われた。これらの技術的課題の解決が進んだ成果の一例として、千歳川では1978年以降健苗育成や適期放流が本格化し、その

3～4年後にはそれまでは多くても10万尾程度であった千歳川のサケ捕獲数が20万尾を超えるまでになり、その技術の有効性が確かめられた。

ほぼ時期を同じくして、1977年から5年間にわたって農林技術会議の予算により「溯河性さけ・ますの大量培養技術の開発に関する総合研究⁴⁾」(以下「サケ別枠研究」)が実施されることになるが、この研究は当時さけます類の増殖にかかわっていた研究者や技術者などが総力を挙げて取り組んだものであり、特に千歳川から標識を施して放流された稚魚の河川から沿岸までの広範囲にわたる追跡調査が行われ、稚魚の生態(成長、移動など)が明らかにされた⁵⁻⁷⁾。すなわち、沿岸の表面水温が12～13℃となる時期までに、体長7cm、体重3g前後までに成長するサケ稚魚は、母川周辺の沿岸域から順調に沖合回遊に移行することが可能であり、生残率も高いことが明らかとなり⁸⁻¹⁰⁾、適期放流の合理性が裏付けられることになった。この研究成果は、その後、稚魚の発育段階における遊泳機能や摂餌機能に関する知見¹¹⁾などが加味され、沖合移行する時期をベースにおいて必要な成長が前浜で見込める放流サイズを念頭においた放流方法(適期・適サイズ放流)^{12,13)}につながっていく。これらの技術の民間ふ化場への積極的な普及や民間ふ化場での近代的な施設の建設も進み、多くの民間ふ化場で健苗育成や適期・適サイズ放流が実施されるに伴って、1981年には2,000万尾、1985年に3,000万尾、1990年には4,000万尾を、そして1994年には5,000万尾を超えるというようにサケの資源量は増大していくことになる。また、資源が増大していく中であっても、更なる技術の高度化を目指して様々な技術開発が試みられた¹⁴⁾。

千歳中央ふ化場の開設から今日までの間に行われた人工ふ化放流に関する技術、機具、施設についての様々な技術開発のうち、主要なものは付表に取りまとめた。

2. 人工ふ化放流の工程における技術的要点

サケの人工ふ化放流は、河川に回帰した親魚を捕獲し、捕獲した雌親魚から良質な成熟卵を採取することから始まり、受精卵の管理、健康な種苗を育成するための仔魚管理や稚魚の飼育を経て、適切な時期に放流するという一連の工程で行われるが(図2)、それらの工程における技術的要点について、簡潔に記述する。

(1) 親魚の捕獲・蓄養

河川に回帰してきた親魚の捕獲は、河川を木、竹、鉄製の柵(北海道では一般にウライと称す)などで魚の遡上を遮断し、その一部に捕獲槽を設置して遡上してきた親魚を捕獲するのが一般的な方法である。その他の方法としては曳き網での捕獲、魚道方式によりふ化場の飼育池まで誘導して捕獲する方法などがある¹⁵⁾。魚の遡上を遮断するために開発された装置として抵抗板式魚止め装置が挙げられる。この装置の素材は、プラスチックで軽量なことから河川への設置や撤去が容易で、河川流量に応じて浮沈することから装置そのものの保全や設置する河岸への負担も少ないという機能性を備えている¹⁶⁾。

親魚を河川上流の産卵場近くで捕獲できれば、成熟の進んだ個体を得られ、即日採卵に供することができるが、現状においては密漁や河川工作物の制約により下流部において捕獲せざるを得ない場合が多く、親魚が成熟する

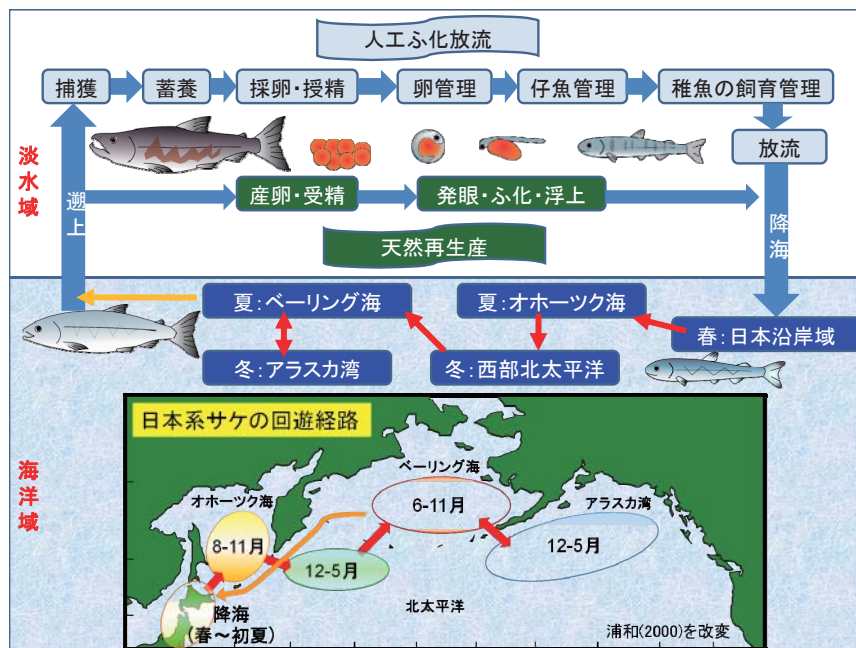


図2. 人工ふ化放流の工程とサケの生活史

まで、蓄養と言って一定期間生簀や飼育池に收容して卵が成熟するのを待つ必要がある。蓄養中における過度のストレスや運動は、魚体の損傷や体力の消耗による死亡につながることから、親魚を安静に保つことが重要であり、そのための蓄養池の構造や注水方法などに関して技術開発が行われた^{17,18)}。特に、蓄養池での注水部から排水部に向かう水平的な流れが、親魚を注水部付近に蝟集させ、魚体の損傷などによる死亡の原因となっていたが、注水部を蓄養池中央部付近の池底に設けた注水方式の改善は、これらの問題の解決や卵質の向上にもつながる画期的な技術開発となった¹⁾。



写真2. 採卵台
水色に塗られた板の上で開腹し、台の右側にある簀の子状の網に卵をかき出す
かき出された卵は青色の容器（受卵盆）に入れられる



写真3. 攪拌台
受卵盆を三脚上部の天板に載せ、回しながら授精させる



写真4. 採卵刀 刃は片刃のカミソリを用い、交換できる

(2) 採卵・受精

採卵・採精は撲殺した親魚を用いて行うが、死後の経過時間に伴い卵や精子の活力は低下するため、撲殺後速やかに採卵・採精を行う必要がある。採卵は親魚の腹部を触れることにより排卵を確認し、排卵の確認後は速やかに雌の腹部を切開して腹腔内に排卵された卵を採取する（切開法）。採精は腹部を圧迫する搾出法で行い、採精時に精液に血液や水が混入しないように注意する。受精は乾いた容器に6～8尾の雌親魚から採卵した卵に3～4尾の雄親魚から搾出して精子を加えて十分に攪拌（媒精）した後、水が注水されている水槽（吸水槽）に浸漬して行う乾導法が一般的である。なお、この乾導法は1871年にC.G. アトキンスによって確立された技術である¹⁾。

卵は水に触れるだけでも、精子が卵に進入したと同様に卵門の閉鎖、囲卵腔の形成という現象（付活）が起こり、卵割は起きないものの胚盤形成まで発生が進み、見かけ上は受精卵と変わらない卵（未受精卵）が形成される。精子も水で精液が希釈されることによって活発に運動を開始するが、短時間で運動を停止し受精力を失う^{19,20)}。このように接水により卵や精子は未受精卵の形成や短時間で受精力を失うことから、媒精する前に水に触れさせないことが極めて重要であり、採卵・受精作業に使用する機器、用具はあらかじめ水分を拭き取っておかねばならない²¹⁾。

機器の開発に関しては、採卵時に使用する採卵台（写真2）、攪拌台（写真3）、採卵刀（採卵時に雌の腹部を切開する刃物、写真4）などが代表的なものである。特に、採卵刀は考案者の名前を採って早坂式採卵刀と呼ばれ、採卵時に卵を損傷せずに腹部を切開でき、作業効率も良いことから広く普及している¹⁾。

(3) 受精卵の管理

卵は受精すると周囲の水が卵膜内に入り（吸水）、卵膜が押し上げられおおよそ30～60分で卵膜は硬化する。硬化した卵は圧力に対しては強くなるが、衝撃には抵抗

力が弱い。特に受精後おおよそ8時間が過ぎ、胚盤が分かれて2細胞になる第一分裂が始まったところからは衝撃に対して極めて弱くなることから、受精卵を運搬する場合には木箱などの容器に入れ、振動などの衝撃が伝わらないよう圧力をかけて8時間以内にふ化器に収容し、それ以降は発眼期まで衝撃を与えないで管理するのが基本である。水温8℃の用水で管理するとおおよそ30日(積算水温*で240℃・日)で発眼期を迎える。発眼卵は衝撃に対して抵抗力が強いことから、この時期に卵の洗浄、淘汰(未受精卵に適度な衝撃を与えて白濁させること)、検卵(白濁した未受精卵、死卵の除去)などを行う²²⁾。

管理上の大きな課題は、水カビ病と卵膜軟化症の防除である。従来は、水カビ病はマラカイトグリーン、卵膜軟化症は過マンガン酸カリウムによる薬浴で防止できたが、2003年の薬事法改正によってこれらが使用できなくなった。その後、水カビ病に関しては動物医薬品として認定されたプロノポール製剤による薬浴が²³⁾、また、卵膜軟化症には緑茶抽出物への浸漬の有効性が確認され²⁴⁾、現在ではこれらがその対処に使用されている。

機器として開発されたものとしては、受精卵を運搬あるいは空輸するための容器²⁵⁾、受精卵を収容するふ化器²⁶⁾、自動検卵機などが代表的なものである。特にボックス型ふ化器の開発は、その形状に至るまで相当の試行錯誤がなされたと聞いているが²⁷⁾、卵収容時における労働軽減や作業の効率化を促進し、資源増大に伴う大量の卵の取り扱いを可能にするなど特筆すべき開発であった。1969年には材質が木製から硬質塩化ビニール製となり、軽量化が図られるとともに耐久性も向上し、北海道、本州に広く普及することになる¹⁾。

(4) 仔魚の管理

受精後積算水温約480℃・日でふ化し、ふ化した仔魚は天然では川底の砂利の中で生活し、積算水温900～1,000℃・日で浮上する。多くのふ化場では浮上するまでの仔魚を養魚池と呼ばれる池で管理している。仔魚管理において最も重要なことは、いかに仔魚を安静な状態に置くかであり、そうでない場合は浮上時の体重も少なく、その後の飼育に影響を及ぼすことになる¹¹⁾。安静にするためには、必要な酸素量を供給するという条件を満たしながら、できるだけ遅い流速となるよう注水して仔魚の流れに対する運動を抑制することと、光や振動などストレスを与えないことなどが重要である。そのために発生段階や収容量に応じた注水量、注水方法、水深、養魚池に敷く砂利の形状や敷き方などに関して多くの技術開発が試みられ²⁸⁻³¹⁾、注水量の調整可能な塩ビパイプ付き堰板(穴あき堰板と呼ばれ、堰板に差し込まれた塩ビパイプの数を変えることによって注水量を調整)³²⁾、砂利に替わるネットリング(外径30mmの中空、網目

状の細管、写真5)³³⁾などが仔魚の安静な管理のための機器として利用検討された。また、養魚池に発眼卵を撒布する際に使用する器具として開発されたふ化盆(養魚池用ふ化盆と呼ばれ、盆の上に撒かれた発眼卵からふ化した仔魚が盆の目をくぐって養魚池に落下する仕組み、写真6)は、養魚池への卵収容作業の効率化に大きな貢献となった³⁴⁾。

施設に関しては、北海道では冬期の降雪、寒気などの厳しい気象条件に対処するため、養魚池に上屋が整備され、仔魚の安静な管理や観察が容易なものとなった¹⁾。また、防疫対策や仔魚の安静な管理のために、養魚池と卵を収容するふ化室との間に隔壁を設け、独立した管理棟とする施設整備も行われている。一方、本州では敷地の制約などから北海道のように大きな面積を必要とする養魚池ではなく、浮上槽(発眼卵を収容し、ふ化から浮上期までを管理するアルミ製のボックス形状の容器)と呼ばれるふ化器が開発され、これを用いて仔魚管理が行われている³⁵⁾。



写真5. ネットリング
複数のネットリングを並列に並べて使用する
中空に仔魚が入っている



写真6. 養魚池用ふ化盆
砂利の上に平行に置かれた管状の塩化ビニール製の盆
ふ化した仔魚は盆の網目を通して砂利の間隙に落ちる

* 積算水温：一日の平均水温の総和

(5) 稚魚の飼育及び放流

回帰率を高めるためには、放流時期と放流サイズが重要であることが明らかとなり、稚魚は河川や沿岸の環境が放流に適した時期になるまで一定期間飼育される。飼育における一番大きな課題は疾病の防除である。飼育期間は2～3ヶ月程度と比較的短い、限られた水量と飼育面積で大量の稚魚を飼育するという集約的な管理を余儀なくされているふ化場が多く、このような集約的な管理においては不適切な環境下で飼育すると細菌性鰓病などの発生を招き、稚魚の大量斃死を招くことになる³⁶⁾。細菌性鰓病は塩水での対処が有効であるが、高密度な飼育条件下では効果はあがりにくいことから、何よりも病気の発生を招かないよう適正な環境下で飼育することが重要であり、そのための技術開発が試みられた³⁶⁻³⁸⁾。

放流に関しては前述したサケ別枠研究などの成果、放流されたサケ稚魚の降海生態や沿岸域での成長、過去の沿岸の表面水温データなどから地域毎に適正な放流時期や適正な放流サイズの目安を定め、管理する水温調整により発育や成長を抑制または促進し放流時期や放流サイズを制御する技術開発も試みられている³⁹⁾。

機器に関して、飼育池の自動清掃機の開発によって、残餌や糞の清掃という毎日欠くことができない作業の軽減が図られるとともに、排水処理システムと組み合わせることにより河川環境への負荷の低減にも貢献している⁴⁰⁾。

技術的な要点について、親魚の捕獲から稚魚の放流まで工程に沿って記述したが、これらの技術と作業工程などについては北海道さけ・ますふ化場においてマニュアルが作成されており、1980年代の資源が増大し始める頃に使用されていたのは「昭和44年版さけ・ます人工ふ化放流事業実施要領」(1969年)である。筆者が初めて手にしたのもこのマニュアルであり、業務の実施や用語の理解に非常に役立ったことを記憶している。その後、1985年の改訂を経て1996年に人工ふ化放流に関連する調査研究の資料も豊富に添付したマニュアルが作成され、これらを参考に北海道、山形県、本州鮭鱒増殖振興会などでも作成されている。技術者はこれらのマニュアルを参考に個々のふ化場の生産量、施設構造、用水量等を考慮して業務に活用している。

本稿においては、現在でも広く用いられている技術や機器を中心に記述したが、開発を試みたものの期待した効果が得られず取り止めたもの、新たな技術開発が行われ現在では用いられなくなったものも多数ある。たとえば、養魚池の砂利の代替として検討されたブラインド形状の素材⁴¹⁾、放流河川の無い地域での資源造成を目的に海浜域に直接放流する「海浜域直接放流」⁴²⁾、塩水中に発眼卵と死卵を入れ、両者の比重差を利用して死卵を除去する「塩水検卵法」⁴³⁾などを挙げることができる。さらに、サケ以外にもカラフトマス、サクラマス、ベニザケの人工ふ化放流が行われており、魚種毎の生態や生

理的特徴などにに基づき、それぞれに特有な技術も数多く開発されているが、それらについては紙数の関係で今後執筆される工程毎の内容にゆずることにする。なお、工程毎の執筆を予定している技術者の多くは、1980年代の資源が増大し始める頃から人工ふ化放流現場で現在も使用されている技術や機器の開発に直接携わった者であることから、実際の体験を通じてその必要性や評価が紹介されるものと考えている。

3. 科学と技術が一体となった取組

1980年代後半からのサケ資源の増大は、研究者によって解明された知見(科学)とその実地への応用(技術)、いわゆる科学と技術が一体となり取り組んだ研究開発の成果といえる。その中で、研究成果を人工ふ化放流の現場にフィードバックし、それを可能とする技術開発に取り組み、そしてその技術を民間ふ化場の技術者に普及するという役割を担ったのは、当時の北海道さけ・ますふ化場の技術職員であった。自ら魚に触れ、観察し、健康な稚魚を育成する中で技術を開発し、その開発された技術の普及を理論(現地での技術研修会)と実践(現場での技術指導)の両面から行ったことが、民間ふ化場に広く受け入れられた大きな要因と考えられ、その意味で技術者の果たした役割には大きいものがある。

「北海道さけ・ますふ化場」は、サケ資源の安定化や回帰率の向上などの状況を踏まえ、資源増大は民間の役割と位置づけ、1997年に「さけ・ます資源管理センター」に改組し、担うべき業務も資源増大から調査研究、技術開発へ特化することになった。その後、中央省庁等改革の一環として、2001年に独立行政法人となり、そして2006年には水産総合研究センターと統合し、現在のさけますセンターへと組織も変遷してきたが、さけます類の資源の持続的利用に貢献するという組織の役割に変わりはない。

また、近年は、生物多様性保全の重要性の観点から、生態系との調和、遺伝的固有性や多様性の維持に配慮した人工ふ化放流が求められるなど⁴⁴⁾、新たな技術的な展開も求められてきており、これまで以上に科学と技術が一体となった課題解決型の研究開発を推進していくことが重要と考えられる。加えて、技術者に関しては、技術を常に点検し技術水準の維持を図るとともに、安定的な回帰を維持するための技術の高度化に取り組むことも、課せられた重要な役割である。これらの取り組みがなければ100年以上にわたる先人たちの努力の礎のもとに維持されてきたこの貴重な資源を将来にわたって残していくことはできない。

文 献

- 1) 小林哲夫 (2009) 日本サケ・マス増殖史. 北大出版会, 札幌, 305pp.
- 2) 矢部 衛 (2009) サケの仲間の分類学. 「サケ学入門」(阿部周一編), 北大出版会, 札幌, 3-15 pp.
- 3) 北海道さけ・ますふ化場 (1976) 沿岸生育環境調査報告 (沿岸サケマス稚魚追跡調査) 北海道さけ・ますふ化場, 1-9 pp.
- 4) 農林水産技術会議事務局 (1978) 特別研究・別枠研究成果の概要, 305-323 pp.
- 5) 伊藤 準・加藤 守・伊藤外夫 (1980) 海洋生活初期におけるシロザケの生長. 幼魚期及び接岸期を中心とした沖合生態調査. 遠洋水産研究所, 昭和 54 年度プログレスレポート, 45-56 pp.
- 6) 加藤 守・真山 紘 (1980) 石狩川水系(千歳川)で行われた希土類元素ヨーロッパウム (Eu) によるシロザケ稚魚の標識放流. 幼魚期及び接岸期を中心とした沖合生態調査. 遠洋水産研究所, 昭和 54 年度プログレスレポート, 37-44 pp.
- 7) 加藤 守 (1982) 石狩川水系千歳川から放流したヨーロッパウム (Eu) 標識シロザケ幼魚. 幼魚期及び接岸期を中心とした沖合生態調査. 遠洋水産研究所, 昭和 54 年度プログレスレポート, 67-77 pp.
- 8) 真山 紘・関 二郎・清水幾太郎 (1982) 石狩川産サケの生態調査 - I. 1979 年春放流稚魚の降海移動と沿岸帯での分布回遊. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 36, 1-17.
- 9) 真山 紘・関 二郎・清水幾太郎 (1983) 石狩川産サケの生態調査 - II. 1980 年と 1981 年春放流稚魚の降海移動と沿岸帯での分布回遊. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 37, 1-22.
- 10) 真山 紘 (1985) サケ資源増大のための技術革新 特に放流時に必要とされる稚魚の条件と放流時期について. 日本水産資源保護協会, 漁政叢書, 15, 83-92.
- 11) 埴山雅秀 (1986) サケ *Oncorhynchus keta* (Walbaum) の初期生活史に関する生態学的研究. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 40, 31-92.
- 12) 野川秀樹 (1992) 本州日本海沿岸におけるサケ増殖と資源動態. 魚と卵, 161, 29-43.
- 13) 北海道さけ・ますふ化場 (1996) 稚魚の放流. さけ・ますふ化事業実施マニュアル, 56-57 pp.
- 14) 富樫和弘 (1996) 近年における北海道さけ・ますふ化場の技術開発の変遷. 魚と卵, 165, 19-39.
- 15) 北海道さけ・ますふ化場 (1996) 捕獲施設の種類. さけ・ますふ化事業実施マニュアル, 2-3 pp.
- 16) 木村植郎 (1982) 抵抗板式魚止め装置について. 魚と卵, 152, 20-25.
- 17) 北海道さけ・ますふ化場 (1983) さけます親魚の蓄養条件に関する調査. 昭和 56 年度事業成績書, 241-242 pp.
- 18) 農林水産技術会議 (1982) 蓄養技術の改善. 「遡河性さけ・ますの大量培養技術の開発に関する総合研究」推進会議資料 (A), 104-107 pp.
- 19) 山本喜一郎 (1949) サケ及マスの卵の受精方法に就ての考察. 水産孵化場試験報告, 4, 33-46.
- 20) 岡田 雋・伊藤哲司 (1955) 鮭人工ふ化に於ける不受精現象の研究 第一報 精子の活力と受精力について. 孵化場試験報告, 10, 21-31.
- 21) 正田豊彦・末武敏夫 (1971) 不受精卵. 魚と卵, 137, 15-20.
- 22) 広井 修 (1985) 秋サケの人工ふ化管理に関する技術的要点について. 日本水産資源保護協会, 漁政叢書, 15, 9-30.
- 23) 野村哲一 (2005) サケ・マス卵の病気 - 水カビ病と卵膜軟化症 -. 魚と卵, 171, 29-43.
- 24) 佐々木系・吉光昇二 (2008) 緑茶抽出物浸漬法によるサケ卵の卵膜軟化症抑制効果. 水産技術, 1 (1), 43-47.
- 25) Nagasawa, A., and G. Araya (1979) Introduction into Aysen Chile of pacific salmon. JICA, 3, p.5.
- 26) 北海道さけ・ますふ化場 (1966) ふ化器改良試験. さけ・ます増殖事業に関する調査報告, 145-148 pp.
- 27) 北海道さけ・ます友の会 (2009) さけ・ます友の会ニュース, 161, 3-4 pp.
- 28) 北見事業場 (1978) 養魚池の流れに関する考察. 魚と卵, 146, 24-39.
- 29) 安達宏泰 (1984) 千歳事業場の養魚池管理 - 注水量の算出方法の検討 -. 魚と卵, 154, 18-20.
- 30) 水沢亮馬 (1988) 養魚池の明るさ. 魚と卵, 157, 39-43.
- 31) 長谷川裕康 (1994) 仔魚期におけるサケの人工ふ化管理. 魚と卵, 163, 27-30.
- 32) 野川秀樹 (1980) 養魚池用水量調整のためのせき板改良について. 魚と卵, 149, 54-57.
- 33) 原田 滋・松村幸三郎・藤瀬雅秀 (1985) 養魚池の砂利代替品試験. 魚と卵, 155, 11-14.
- 34) 梅田勝博 (1983) 養魚池用ふ化盆と省力化への工夫. 魚と卵, 153, 35-37.
- 35) 平澤勝秋・伊藤二美男・佐々木系 (2006) 浮上槽によるサケ・マス類の仔魚管理方法について. 魚と卵, 172, 31-38.
- 36) 野川秀樹・八木沢功 (1994) サケ稚魚の適正な飼育環境. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 48, 31-39.
- 37) 千歳事業場 (1985) さけ稚魚の飼育と調整放流. 魚と卵, 155, 35-42.
- 38) 八重樫博文・佐々木正吾 (1992) サケ稚魚の成長に及ぼす飼育密度の影響. 魚と卵, 161, 69-72.
- 39) 藤瀬雅秀・岡田義郎・荒内 勉・小野郁夫 (2003) 水温制御による発育コントロール. 魚と卵, 169, 25-32.
- 40) 奈良和俊 (2006) 第 1 期中期計画における業務成果. さけ・ます資源管理センターニュース, 16, 1-3.
- 41) 北海道さけ・ますふ化場 (1996) 砂利の代替品. さけ・ますふ化事業実施マニュアル, 41 p.
- 42) 松本雅彦 (1994) サケ稚魚の海浜域直接放流試験. 魚と卵, 163, 9-11.
- 43) 橋本 進 (1970) サケ *Oncorhynchus keta* (Walbaum) 卵の発生におよぼす塩水処理の影響 - I 食塩水による死卵, 発生不良卵の除去について. 北海道さけ・ますふ化場研究報告, 25, 45-51.
- 44) 環境省 (2007) 第三次生物多様性国家戦略, 175-176 pp.

付表 1. ふ化放流技術開発年表（1888-1969年）

年 代	技 術	機 具	施 設
1888 明治21年	・種卵移植技術 ・乾導法 ・石灰による池消毒 ・淘汰検卵時期の確定	・千歳中央孵化場開設当時のふ化器、採卵用具(アトキンス式ふ化器、ウイリヤムソン式ふ化器、ふ化盆、卵すくい、卵はさみ、受卵器など)	
1893 26	・ヒメマス種卵の移植(支笏湖)		
1896 29	・サケ稚魚脂鱗切除標識	・インデアン水車(捕魚車)	・養魚池(短冊形)の造成
1901 31			
1899 32	・切開法による採卵		・養魚池に日覆板を設置
1902 35			
1910 43	・卵子の衝撃に対する抵抗力		
1916 大正 5年		・竹製検卵ばさみ	
1928 昭和 3年			・二重止蓄養(西別川)
1929 4	・卵膜軟化症対策(過マンガン酸処理)		
1930 5	・サケ稚魚の長距離運搬(鉄道で東京へ)	・卵輸送箱(現在の原型)	
1933 8		・田中式採卵台 ・生賣船型運搬船の開発 ・田中式改良ふ化器	
1934 9			
1935 10	・塩水による検卵法		
1939 14		・卵輸送箱の改良	
1949 24		・木村式魚止装置	
1952 27	・水生菌対策(マラカイトグリーン処理)		
1953 28	・放流稚魚の算定(重量法) ・鱗切除による大量標識放流 ・海産親魚の蓄養		
1955 30		・定流式卵消毒装置	
1958 33	・稚魚の陸上輸送放流	・立体式ふ化器	・円形蓄養池の設置
1959 34		・キャンバス地輸送用タンク	
1962 37	・稚魚の飼育(冷凍生飼料)		
1963 38	・河口通過稚魚算定		
1965 40		・卵輸送箱兼吸水槽 ・増取型アトキンスふ化器 ・ボックス型(石川・早坂式)ふ化器	
1966 41	・降下稚魚保護対策	・アルミ製輸送タンク	
1967 42	・冷凍生飼料から乾燥配合飼料へ転換		
1969 44			・養魚池上屋の設置

付表 2. ふ化放流技術開発年表（1970-2009年）

年 代	技 術	機 具	施 設	農林水産技術会議 予算による大型研究
1970 45		・早坂式採卵刀 ・塩水検卵器	・専用飼育地の設置 ・ふ化室床下養魚池の設置	<p>遡河性さけ・ますの 大量培養技術の開 発に関する総合研究</p> <p>↑</p> <p>↓</p> <p>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</p> <p>↑</p> <p>↓</p>
1971 46	・魚道式捕獲		・近代的大型ふ化放流施設の建設 ・機能的専用飼育地の設置	
1972 47	・親魚の蓄養技術の改善		・自家発電装置の設置 ・池底注水方式蓄養池	
1973 48	・海中飼育放流試験の開始(岩手県)			
1974 49	・国外(チリ国)移植	・海外空輸用輸送箱		
1976 51	・適期放流の知見の公表		・養魚池兼飼育地の設置	
1977 52	・適期放流の事業規模での展開			
1978 53	・海中飼育の開始(北海道)	・国内空輸用輸送箱		
1979 54		・養魚池用改良堰板	・養魚池の池底のレベル化	
1980 55	・飼育技術の改善(適正収容量等)	・塩化ビニール製養魚池用ふ化盆 ・浮上槽の導入(岩手県) ・自動検卵器実用化試験	・飼育池兼蓄養池の設置 ・飼育池に隣接した採卵舎の設置	
1981 56				
1982 57		・抵抗板式魚止装置		
1983 58		・養魚池砂利代替材		
1985 60	・寄生虫対策(ホルマリン処理)			
1986 61	・サクラマス、ベニザケのスモルト作出のための成長制御 ・海浜域直接放流	・飼育地自動清掃機開発試験		
1987 62			・移動式検卵・標識台の作製 ・採光式上屋の設置 ・節電装置(インバーター)の導入 ・ベニザケ専用施設の設置	
1988 63				
1990 平成 2年				
1991 3	・適期・適サイズ放流の展開			
1993 5	・ウイルス対策(発眼卵のヨード剤消毒)			
1996 8	・増殖効率化モデル事業			
1997 9			・増川式曝気塔の設置 ・排水処理施設の設置	
1998 10				
1999 11	・耳石温度標識放流 ・水温制御による発育コントロール			
2002 14	・さいのう水腫対策(塩水処理) ・水生菌対策(プロノボール薬浴) ・寄生虫対策(食塩・食酢処理)			
2005 17	・卵膜軟化症対策(緑茶抽出物処理)			
2009 21			・大型薬浴水槽の設置 ・稚魚輸送用ポンプの設置	