

会議報告

平成27年度さけます資源部第1回連絡会議ワークショップ

「野生魚を活用した持続可能なさけます漁業と増殖事業」

おおくま かずまさ は せ がわ こう さとう しゅんべい きし だいすけ
 大熊 一正*1・長谷川 功*1・佐藤 俊平*1・岸 大弼*2・
 いちむら まさき いいだ まさや もりた けんたろう
 市村 政樹*3・飯田 真也*4・森田 健太郎*1

さけます類ではサケを中心にふ化放流による放流数が増大し、加えて飼育放流技術の改良に伴い飛躍的に回帰来遊数が増えてきました。この増加には北太平洋や地球規模での海洋環境の変化も関係したとも言われています。近年は放流数が一定の状況下で放流サイズの大型化が図られているにもかかわらず、回帰来遊数の減少や変動がみられるようになっており、現在主として資源分野や増殖技術分野の研究者、技術者が原因の究明や解決策の開発に精力的に取り組んでいるところです。このような状況の中、北水研繁殖保全グループではこれまで「さけますといえばふ化放流」と考えられてきた中で野生魚に注目し、その実態を明らかにしつつ、資源への添加効果や安定化に貢献できないかという視点で研究に取り組んでいます。

ふ化放流事業の広範な実施により、全体としての遺伝的多様性は維持されるものの、個体群の特性の喪失や均質化の生じることが懸念され、結果的に温暖化などの地球規模の環境変化への対応能の低下（死亡率の増加）も予想されています。またふ化放流事業実施の際の人為的な選択や操作により魚体サイズや繁殖形質（特に稚魚の大きさに関する卵の大きさ）、放流時期への影響も懸念

され、実際スチールヘッドトラウトではふ化場魚の生残（繁殖）に負の影響が認められた事例もあります（Araki et al. 2008）。

日本では北水研が中心となって実施している大規模な耳石温度標識放流などにより、断片的ではありますが放流河川においても野生魚の存在が明らかとなっており、それらが放流個体群とは異なる遺伝的、生態的特性を維持していることも明らかとなっています。野生魚も沿岸においては放流魚と同様に漁業資源として利用されているほか、人工再生産にも用いられているため、これらの野生資源を維持していく必要性は十分あり、これをふやすことで増殖経費をかけずに資源の添加ができます。

そこで今回は、これまでに明らかになりつつある野生魚の特性、実態に関する知見や野生魚保全の必要性を確認し、野生魚を組み込んだ増殖事業の展開方向を考えるワークショップを企画しました。以下にワークショップの演題と発表内容の概略を紹介します。

なお、今回ワークショップで用いる野生魚、放流魚といった言葉の使い方で混乱を招くことも考えられましたので、その定義について表1にまとめました。

表1. 本ワークショップで用いたサケ科魚類の呼称と定義（森田・大熊 2015）。

名称	定義
野生魚 (Wild fish)	自然産卵で生まれた個体。一世代以上にわたり自然再生産している個体で、その両親は野生魚か放流魚かは問わない。
放流魚 (Hatchery fish)	ふ化場から野外に放流された個体。人工授精に用いられた親魚は野生魚か放流魚かは問わない。
養殖魚 (Farmed fish)	養殖場で飼育されている個体。数世代にわたり人工再生産されているものを特に継代飼育魚 (Captive broodstock) という。
天然魚 (Native fish)	過去に人為的な放流によって他個体群や放流魚が混ざったことが無く、遺伝的な固有性を有している個体。
自然産卵魚 (Natural spawning fish)	野生魚か放流魚かは区別できないが、野外で自然産卵している個体。

※ これらは試験研究機関や学術論文で用いられている定義であるが、水産業界において日本のサケが販売されるときに、主に輸入物の養殖魚と区分する目的から、放流魚も含めた日本のサケを「天然」や「Wild Salmon」と称して流通されることも多い。

- 1) 野生魚と放流魚の生態的、遺伝的特性の概説～繁殖保全Gの研究成果を中心に～
長谷川 功・佐藤 俊平
- 2) 回帰率の高いサツキマス種苗“半野生系”の開発
岸 大弼
- 3) 標津町サケマス自然産卵調査協議会の取り組み
市村 政樹
- 4) 本州日本海地域でのサケ自然再生産の実態と増殖事業への活用方向
飯田 真也
- 5) 野生魚を活用した増殖事業の展開
森田 健太郎

1. 野生魚と放流魚の生態的、遺伝的特性の概説～繁殖保全Gの研究成果を中心に～

近年になってサケが自然産卵している河川が北海道内の各地にあることが報告され (Miyakoshi et al. 2012), さらに北海道内のふ化放流河川に遡上する親魚でさえ約 20%は野生魚であると推定されました (図 1). これらのことから, 野生魚もサケ資源の増殖・維持に関して重要な役割を担っているという見解が示されました. また, 生物多様性保全に対する社会的意識が高まってきた今日, 個体や個体群間レベルでの違いにも配慮した保全が求められています. サケについてもその個体群独自の生態的、遺伝的性質を保持している可能性が高い野生魚を保全しようという機運が高まっています. では, 野生魚と放流魚では何が, どう違うのでしょうか? このことは, サケを含めたさけます類の資源管理に関する研究のなかでも重要テーマの一つであり, 北水研では繁殖保全グループが中心となって研究に取り組んでいます. ここでは, その研究の概要を紹介いたします.

サケという同じ種の魚であっても個体群間あるいは個体群内でも生活史, 形態, 体サイズに違いが見られます. そこで, ここではこのような個体群間 (河川間) 変異を考慮しながら野生魚と放流魚で何が, どう異なっているのかについて, まず年齢と体サイズについて, 放流魚全てに耳石温度標識が施されている伊茶仁川, 千歳川, 徳志別川の 3 河川で比較しました. 千歳川では 11 月中旬以降年齢差が拡大し, それと同調するように尾又長の差も拡大し, 野生魚のほうが大きくなっていったことがわかりました (長谷川ら 2013). また, 同年齢で尾又長を比較した場合では一貫して野生魚のほうが大きいことがわかりました (図 2a). このような体サイズの違いは, 野生魚では一般に大型個体が選択的に生き残り, 放流魚は逆に選択圧が低下して小型化したと考えられています. また, 12 月以降の野生魚は大型であるため, このような魚の保全は喫緊の課題である小型化対策にも有効となるかもしれません. 伊茶仁川では, 尾又長では当然高齢ほど大型化しますが, 高齢化に伴う大型化の度合いは野生魚に比べ放流魚のほうが大きくなっていました (図 2b). 伊

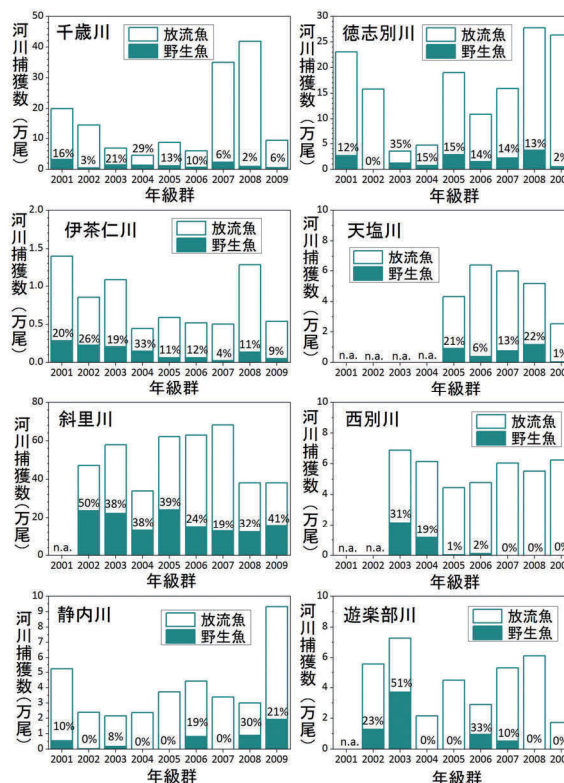


図 1. 人工ふ化放流を実施している北海道内 8 河川におけるサケ野生魚割合の推定値 (森田ら 2013 に加筆して再描画).

注: 100%標識されている河川 (千歳, 伊茶仁, 徳志別) では, 無標識魚をすべて野生魚とした. また, 100%標識されていない河川では, 民間の無標識魚と北水研の標識魚で回帰率が等しいと仮定した. すなわち, 民間の無標識魚の方が回帰率が高い場合は過大推定され, 逆に低い場合は過小推定される.

茶仁川で野生魚が大きならない理由として小規模河川に適応したからかもしれません (Jonsson et al. 2001). 徳志別川では差異は検出されませんでした, これは放流魚と野生魚の交雑の結果かあるいは野生魚の特徴を保持しながら放流が行われているからかもしれません (図 2c). このように河川によって野生魚と放流魚の差の現れ方が違う場合も見られます. 今回は分析を行っていませんが, 二次性徴などの特性についての検討も必要でしょう. これについては現在天塩川, 千歳川の標本を用いて分析を行っているところです.

次に河川間での違いについて述べます. 旬毎に見たときの年齢変化のパターンは野生魚では千

歳川と伊茶仁川が同じで徳志別川がやや異なっていたのに対し、放流魚では3河川も同じような変化パターンを示しました。体長の変化パターンでは野生魚の場合は3河川とも異なっていたのに対し、放流魚では千歳川のパターンが伊茶仁川に似てきました。このように年齢、尾叉長についての違いは放流魚、野生魚とも河川間で同じとは限らないことが示されましたが、放流魚同士の変化パターンは似ている傾向が見られ、河川（個体群）間変異は放流魚の方が小さくなっていることがうかがわれました。

続いて、支流間での違いについて石狩川水系の本流、千歳川、豊平川での事例を紹介します。過去に久保・小林（1953）がそれぞれの支流での脊椎骨数を比較していて、その差について安藤ら（2014）は遡上時期の支流間変異が経験水温の違いと遺伝的要因の違い、およびその両者の相乗効果をもたらし、脊椎骨数の変異を生むと考察しています。このようにサケにおいても母川を支流単位で認識していることが考えられてきました。遺伝的に調べたところ、久保・小林（1953）を指示する結果が得られ、さらに千歳川では同一河川（個体群）内でも野生魚と放流魚で遺伝的に異なっていることが示されました。また、同様の支流単位の認識は山形県月光川にある3つのふ化場から放流された異なる耳石温度標識を持つ親魚の回帰結果からも示されています（飯田 投稿準備中）。

放流魚と野生魚は稚魚期までの生育環境が大きく異なっていて、放流魚は飼育環境への適応が進むと考えられています。そのため野生魚と比較して外部形態が異なったり、内部の臓器の形にまで影響を与えることが示されています。さらに、行動にまでその違いが認められ、Hasegawa et al.（2014）では放流サケの存在によって野生サケの成長が低下するという事例も報告されています。ただし、同じ実験を野生サクラマスに対して行ったところ異なる結果が得られ、放流魚の野生魚に対する影響は種毎に異なることも示されています。その他、放流魚は野生魚と比べ捕食者への警戒心が弱いという報告は多く示されています。

このように、放流魚と野生魚は多くの点で異なっていることがわかってきました。野生魚の変異は河川毎、時期毎にそれぞれの環境に適応してきた結果と考えられ、資源の安定化や持続的利用には不可欠と考えられます。逆に放流魚では人為選択、単一環境での飼育などにより河川間での変異が小さくなって来ている傾向が示されました。今後ふ化放流事業と自然再生産をうまく併用し持続可能な資源管理のためにこのような野生魚と放流魚の特性を理解していくことは重要と考えられます。

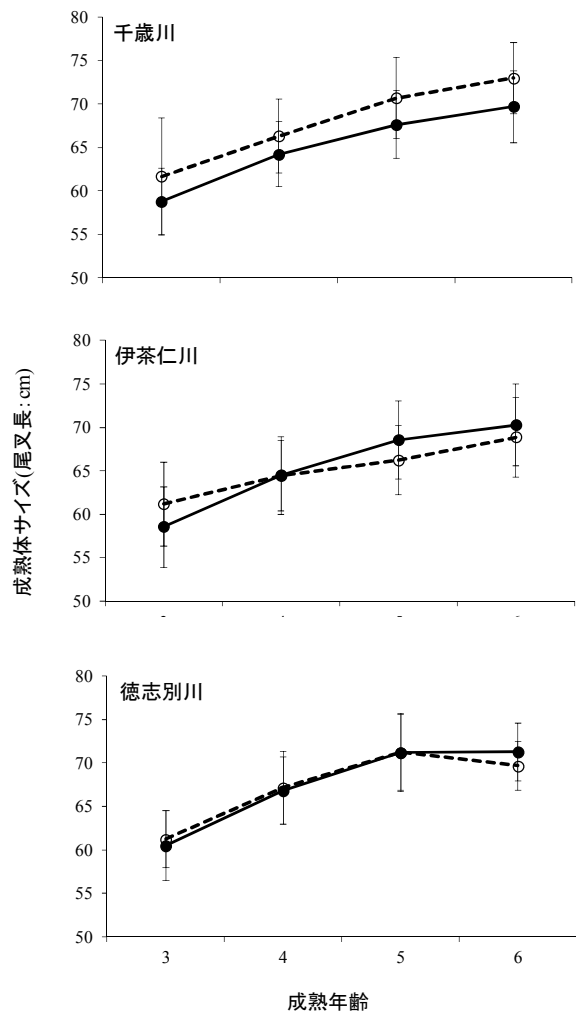


図 2. 野生魚と放流魚の年齢別体サイズの比較。点線:野生魚, 実線:放流魚(長谷川ら 2013 を改図)。

2. 回帰率の高いサツキマス種苗“半野生系”の開発

サツキマスは、サクラマス群の1亜種で、世界最南限に分布する降海型サケ科魚類です。かつては静岡～山口・徳島県で漁獲されていましたが、河川横断工作物の設置により分布域は縮小し、現在も漁業対象種として利用されている水系は、木曾三川（木曾・長良・揖斐川）などごく少数です。サツキマスは、0+の晩秋に降海して一冬を海域で生活した後、1+の春に河川に回帰し、夏は上流域の大型の淵に滞留した後、秋に産卵します。岐阜県の例では、春から夏にかけて海域から河川に回帰した個体が木曾三川の中・下流域で漁獲されます。漁獲量は2.7トン（2013年）と小規模である上、市場に出荷されるものは商品価値の高い大型個体（0.5-0.6kg以上）に限定されるため、市場への出荷量は年間0.4トン程度です。このように市場出荷量が少ない一方、4,000円/kg前後の高値で取引されることから、漁業権魚種として今もなお

重視されています。

岐阜県では、県内全 33 漁業協同組合のうち、木曾三川の中・下流域の計 6 漁業協同組合がサツキマス（サケマス）を漁業権魚種としており、その増殖義務が課せられています。しかし、中・下流域は、もともと産卵に適した環境がなく、夏季水温が高く稚魚の越冬ができない水域であるため、実施可能な増殖方法は、水温が低下した晩秋の 0+スモルトの放流に限定されています。

木曾三川の中・下流域の各漁業協同組合による放流には、岐阜県内の民間養殖場で生産された継代養殖魚の 0+スモルトが使用されています。この継代養殖魚は、1966、67 年に木曾川水系飛騨川とその支流から採捕したアマゴ天然魚を初代親魚として岐阜県水産研究所（当時は水産試験場）が継代飼育している系統です。

岐阜県におけるサツキマスの漁獲量は、統計を開始した 1976～2002 年は 11.2～32.6 トンで推移していましたが、2003 年以降は 2.3～6.6 トンと低迷しています。近年は 0+秋スモルトの放流量も減少していますが、漁獲量はより急な減少であることから、放流効果が疑問視されているのが実情です。そこで改善策として、放流に使用する種苗の系統の変更により改善を試みるようになりました。

サクラマスの例では、水槽実験で継代養殖魚の採餌行動の活発さが観察されている一方、捕食者に対する継代養殖魚の警戒心は野生魚よりも弱いことが明らかにされています（Yamamoto and Reinhardt 2003）。また、継代養殖魚は、上流域のヤマメ・アマゴの種苗放流でも多用されていますが、増養殖研究所（2013）の研究では、その費用対効果が漁業協同組合の期待よりも低い水準であることや、継代養殖魚は野生魚よりも河川での生残率が低いことが明らかにされています。継代養殖魚と野生魚の生残率の差異の要因ははまだ明確には特定されていないものの、継代養殖魚は、人工的な環境への適応が進行する一方、同時に自然環境への不適応が進行していると推測されます。そこで岐阜県水産研究所では、野生魚を素材とした新たな系統の作出を検討することとしました。ただし、岐阜県のサツキマスの場合は、野生魚の雌雄を交配した種苗の生産は現実的ではないため、上流域のアマゴ野生魚での代用を検討しましたが、アマゴであっても雌の事業規模での採捕はやはり個体群の存続を阻害するおそれがあることから、新たな系統の作出には雄のみを使用することとしました。こうした経緯から、岐阜県水産研究所では、継代養殖魚の雌と野生魚の雄の交配による“半野生系”を作出するとともに、0+秋スモルトを標識放流して翌年春の漁獲状況を調査しました（徳原 2014）。

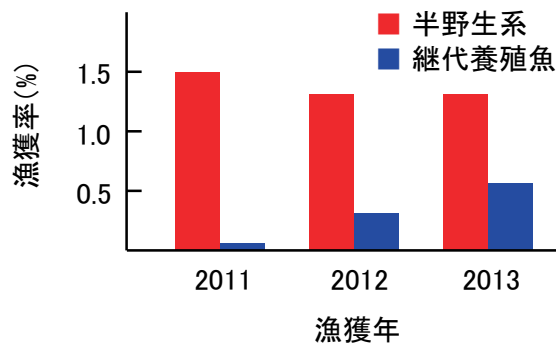


図 3. 木曾川下流域におけるサツキマス半野生系および継代養殖魚の漁獲率（漁獲数/放流数）。

半野生系は、2009 年秋から岐阜県水産研究所下呂支所の継代養殖魚の雌から採取した卵と木曾川水系飛騨川支流馬瀬川の支流群のアマゴ野生魚の雄から採取した精液とを交配して作出しました。これら半野生系の標識放流は、木曾川下流域において 2010～2012 年（漁獲調査は 2011～2013 年）の 3 ヶ年実施しました。半野生系は、継代せず、アマゴ野生魚の採精を毎年行って作出して調査に使用しました。また、対照群としてほぼ同数の継代養殖魚を同地点で同時に放流しました。両群は色の異なるアンカータグを背鰭基部に装着して標識しており、翌年春に海域から回帰した個体を木曾川下流域の 1 漁業協同組合の協力を得て流し網（刺網の 1 種）により漁獲し、その漁獲率（放流個体数に対する漁獲個体数の割合）を群間で比較しました。その結果、いずれの年も半野生系の漁獲率が高いことが確認されました（図 3）。例えば、両群の同数・同サイズ・同地点・同時の放流が実現した 2010 年放流分については、漁獲率は継代養殖魚 0.08% に対して半野生系 1.51% となりました。なお、漁業者への聞き取りでは、水揚げの際にアンカータグが外れたと思われる個体（タグが抜けた傷跡を有する個体）が散見されたとのことで、これらの漁獲率はやや過小な値であると考えられます。今回は、1 漁業協同組合のみの漁獲状況を評価しているため、水系全体での標識個体の生残率は把握されていませんが、これまで使用されてきた継代養殖魚以上に半野生系が漁獲に貢献していることを例示できました。このことから、継代養殖魚から半野生系の移行が 0+秋スモルト放流の改善策のひとつになると考えられました。

3. 標津町サケマス自然産卵調査協議会の取り組み

標津町サケマス自然産卵調査協議会（以下「協議会」）は、標津漁業協同組合、同サケ定置漁業部会、標津町、根室管内さけ・ます増殖事業協会

によって2012（平成24）年1月より5ヶ年計画で立ち上げた組織です。

標津町は人口約5,400人、主な産業は漁業と酪農の小さな自治体ですが、秋サケの漁獲量は現在約200万尾と、かつては秋サケの漁獲量日本一になった1990年代の1/2以下に落ち込んでいます。漁業者には「産卵場所は余っているのだからこれを利用してとにかく漁業資源をつくろう」と提案したところ受入れられ、この協議会が設立されました。この協議会は現在のふ化放流事業に加え、自然産卵による漁業資源の増加を目的に、標津町内5水系で、各河川におけるサケ、カラフトマスおよびサクラマスの自然産卵状況、自然産卵による卵の発眼までの生残率、稚魚の生息環境や、産卵適地面積を調査しています。各項目の調査は、毎月1～3回行われていますが、構成団体から派遣される職員に加えて漁業者も積極的に参加しています。

今回は2012～2014年に標津町内で実施したサケの自然産卵状況および発眼時の生残率についての調査結果を報告します（市村2015）。まず自然産卵状況を把握するため、標津町内のふ化場がある5水系（元崎無異川、薫別川、忠類川、伊茶仁川、標津川）の28地点において、9-12月に毎月3回を目標に産卵状況調査を実施しました。産卵個体が多く認められたのはいずれの年もふ化場の近辺でした。2013年には落差工の下流で多く見られた場所があり、産卵遡上の障害になっているものと考えられました。今回調査した5水系で産卵するサケの90%以上は、ふ化場から0.5km以内に集中していました。

次に、各産卵床内の生卵および死卵を計数し発眼率を推定しました。2012年から2015年3月ま

での間に合計280床で発眼率を調査したところ、産卵床毎の生残率（発眼率）は全滅からほぼ100%の生残まで大きな幅を持っていました。5水系での発眼卵の生残率の平均値は、すべての調査年で平均50%以下であり、北海道内の他河川の既報の結果（92～98%）より低くなっていました（図4）。同じ定点で3年以上データの得られた地点で比較したところ、数カ所で特に発眼率の低いところがみられました。これらの場所は親魚の密度が高かったためではないかと考えられました。また産卵床内で粒径2mm以下の砂利の割合が高まると卵死亡率が上がるかとされています（Koski 1975）が、今回生残率の低かった3河川で砂礫組成との関係を調べたところ、相関は認められませんでした。しかし、産卵床密度と卵生残率の間には負の相関が認められ、ふ化場付近で産卵したサケは分布密度が高く、そのことが卵の生残率を低下させた一要因と考えられました。

産卵可能な水域の面積を推定するため、5水系の25地点において、河川横断線を約10本設定し、川幅に応じて等間隔の3～5箇所の計測点（縦1m×横1m）を設け、各計測点における水深、流速および礫径を調べました。それらの情報をもとに、水深10cm以上、流速約84cm/s以下、河床礫径16-64mmの場所をサケの産卵の適地として、調査した25地点での産卵可能な河床面積を推定したところ、産卵に適した面積は合計16万m²にも達しました（図5）ました。これにサケの産卵床面積平均2.26m²を用いて計算したところ（Scott and Crossman 1973）、メス親魚約7万尾の産卵が可能と試算され、未利用産卵適地が多く残されていると考えられました。本協議会ではこれらの調査結果を受け、2014年度には親魚遡上の

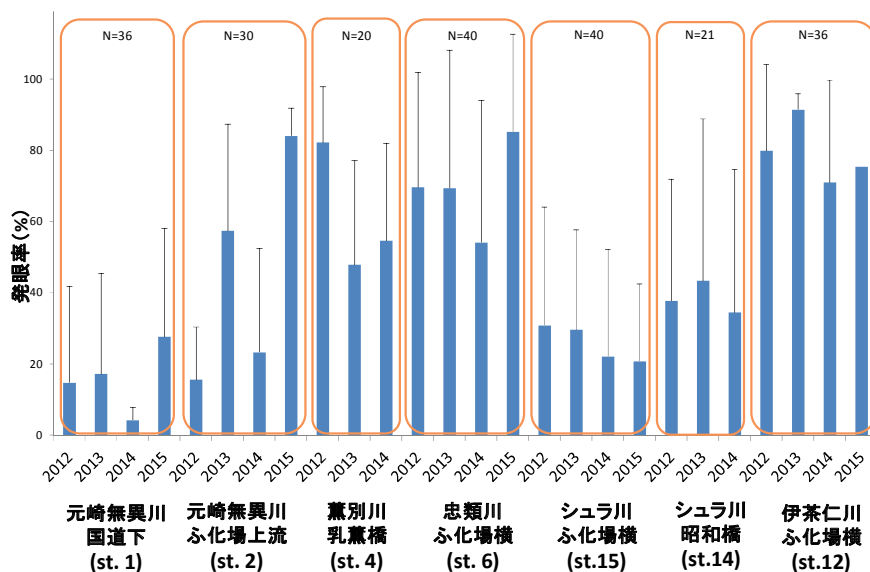


図4. 3年以上観察を行った7定点での産卵床内の卵の平均発眼率（バーは標準偏差を示す）。

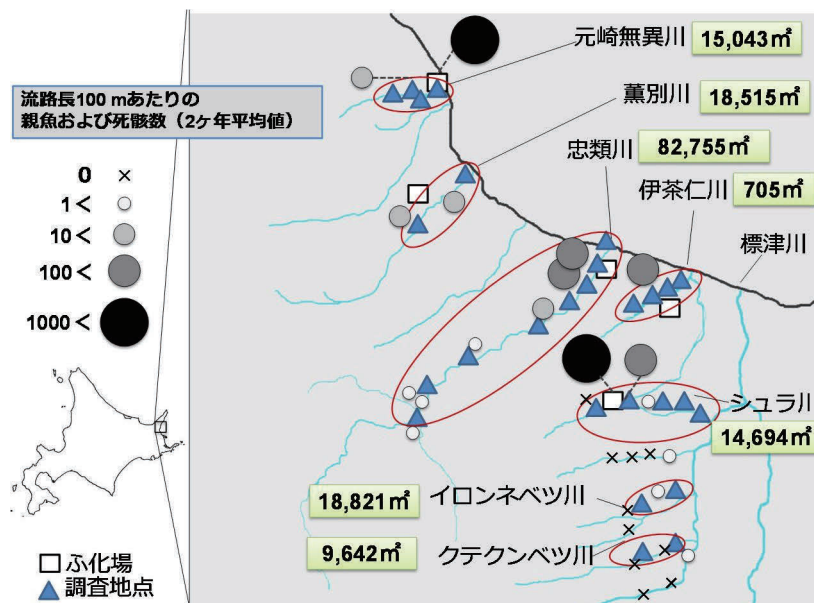


図5. 環境計測結果から推定したサケの産卵可能な河床面積.

妨げとなっていた落差工の改修を行い（図6）、さらに標津川で捕獲された不用親魚1,000尾あまりをウライの上流へ放流しました。このように、野生魚の再生産を促すためには、本協議会のような、それぞれの地域の関係機関による主体的な取り組みが有効な手段の一つであると考えられます。

4. 本州日本海地域でのサケ自然再生産の実態と増殖事業への活用方向

本州日本海地域におけるサケのふ化放流事業に対する国・県・市町村からの補助金は大幅に減少する傾向にあります。また沿岸漁獲高に応じた漁業者からの協力金もありますが、新潟県の例ではピークの1990年代で約7,000万円だったものが、2013年には3,000万円程度にまで減少しています。さらに電気・餌代の高騰も相まって、各ふ化場では現行の事業規模を維持することが非常に困難な状況にあり、秋田県ではこの3年間で7ふ化場が廃止となっています（H23: 13ふ化場, H26: 6ふ化場）。このため現存のサケ資源を維持するためには人工ふ化放流だけでなく、野生魚を併用した資源管理手法に移行していく必要があると考えられます。しかし、当地域の野生サケの生態に関する情報は極めて限定的であり、その存在自体がほとんど確かめられていない状況にあります。そこで私たちは野生サケの生態に関する情報を得るため、新潟県北部の藤塚浜において調査を行いました。

調査は2011～2015年の2～6月の各旬1回、小型の曳網（網口幅2m、高さ1m、奥行約3.5m）を用い、水深約0.4-0.8mの渚帯を100m曳網し



図6. ポー川の落差工の改修。落差工をスリット化した(上:改修前, 下:改修後)。

てサケ稚魚を採集し、その出現時期、体サイズを調べました。すべての年でサケは概ね3月上旬から5月上旬に出現する傾向を示し、尾叉長の範囲は30-65mmの範囲で、そのモードは38-42mmにみられました。藤塚浜周辺にあるふ化場からのサケ稚魚の放流は3月中に終了していますが、採集魚の主体は、新潟県の放流サイズの基準値(45mm)よりも小型である個体が大部分を占め、一部にはさいのうを吸収し終えていない個体も採集されていることなどから野生魚であると判断されました。そして、本研究により、自然再生産群の加入が存在し、かつ砂浜汀線域が重要な初期生息場であることが明らかとなりました。

5. 野生魚を活用した増殖事業の展開

日本で実施されているさけます増殖事業は、綿密なふ化放流計画によって管理がなされています。昭和30年代頃までは自然産卵も加味して資源造成が図られていましたが、現在はふ化放流だけで資源造成を行う計画になっており、河川で捕獲されたサケはふ化事業に使用するしないに係わらずほとんどが取り上げられています[北海道の河川で捕獲された雌サケの使用率=35% (1997~2012年の平均値)]. 近年、堰堤に魚道が敷設されるなどの河川環境の再生事業が進む一方で、その下流にふ化事業のための捕獲施設(ウライ、上りやな)が設置されている場合もあり、上流域に存在する産卵環境が有効に利用されていない場合も多くあります。

サケが自然産卵した場合の卵から稚魚までの生存率は10~20%と推定されており、この値は人工ふ化放流における卵から稚魚までの生存率の約1/8~1/4に過ぎません(図7)。しかし、それでも、雌サケ1尾を自然産卵させることは、約4年後には約10~20尾が沿岸漁業の対象になると見積もられます。売上金額で比較すると、河川捕獲して売却するよりも、自然産卵させた方が4年後には10倍以上の収益になることが期待されます。

現在の漁獲圧では自然再生産で個体群が維持できないという指摘は根強くあります。計算上は、河川回帰率[=(1-自然死亡率)×(1-漁獲死亡率)]が0.4~0.5%を下回ると自然再生産で個体群を維持することが困難になります。しかし、そのような条件であっても、仮想現実モデルを用いたコンピュータシミュレーションによって、野生魚を活用する効果が非常に大きいことが分かってきました。たとえば、自然再生産で個体群が維持できないような条件でも、自然産卵が可能な場所に分散放流を行い、そこに母川回帰する自然産卵魚を保全すれば、放流数の約2倍の回帰効果が期待される場合もあることが分かりました(図8)。ただし、無秩序な分散放流は天然魚の保全の考え方とは矛盾するため、河川のゾーニングは必要でしょう。

また近年、人工ふ化放流を継続して行うことによって、天然魚のサケから遺伝的に変質するという‘家魚化’の恐れが懸念されていますが、自然再生産を活用した増殖事業は、家魚化のリスクを低減するものとなるでしょう。実際に自然再生産を用いたサケの資源管理方策として分離方策(Segregated program)と融和方策(Integrated program)が提唱されていますが、現在の日本においては融和方策のほうが現実的と考えられます(図9)。このような手法は、サケが周辺の生

自然産卵させた場合、どれ位の資源が作れるのか？

	卵から稚魚までの生存率	メス1尾あたりの稚魚生産数	メス1尾から生産される親魚数(回帰率3%)
人工ふ化	80-90%	2400-2700尾	72-81尾
自然産卵	10-20%	300-600尾	9-18尾

自然産卵による卵から稚魚までの生存率

長沢・佐野(1961): 十勝川=27.6%(16.2~34.4%)

森田ら(2013): 千歳川=19.9%

有賀ら(2014): 豊平川=12.6%(7.5~22.2%)

図7. 自然産卵と人工ふ化による資源への貢献度合いの比較。

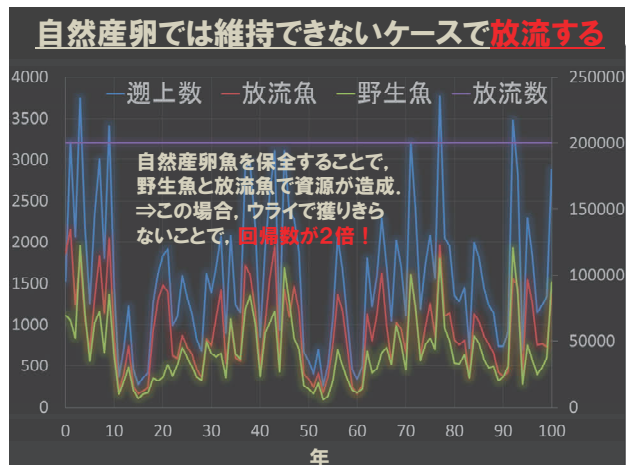


図8. 自然産卵では維持できない条件で放流を行った場合の遡上魚数変化のコンピュータシミュレーション結果の一例。放流に加え、一定量のウライ上流への遡上を確保することで回帰数は2倍になるケースもみられました。

Integrated Program (融和方策)

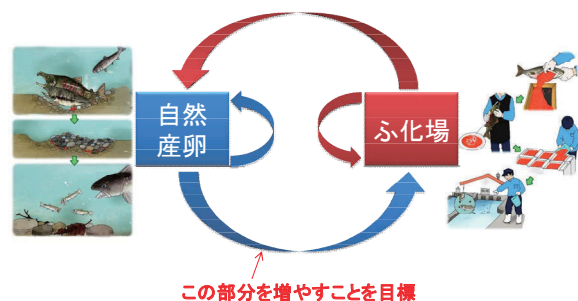


図9. 自然産卵とふ化放流事業を組み合わせた融和方策(Integrated Program)の概念。究極的には自然産卵から生まれた魚のふ化場への貢献を最大にし、ふ化場生まれの魚の自然産卵を最少にすることを目指しますが、実際はある一定レベルを維持できるようにすることが目標となります。

態系に及ぼす効果についても配慮した、生物多様性にも優しい増殖事業と言えるでしょう。ふ化放流と自然産卵は別々のものでなく、車の両輪のようにバランス良く実施することでさけます増殖事業の前進を促し、資源をよりよい状態で維持することに寄与できるでしょう（図 10）。今後は、「稚魚のふ化放流」に加えて、「親魚の保全と再放流」もサケの増殖手法の一つとして考えてはどうか。

参考文献

- 安藤大成・神力義仁・下田和孝・安富亮平・佐々木義隆・宮腰靖之・中嶋正道. 2014. サケの産卵時期が脊椎骨数の変異に及ぼす影響. 日水誌, 80:191-200.
- Araki, H., Berejikian, B. A., Ford, M. J., and Blouin, M. S. 2008. Fitness of hatchery-reared salmonids in the wild. *Evol. Appl.*, 1: 342-355.
- 有賀 望・森田健太郎・鈴木俊哉・佐藤信洋・岡本康寿・大熊一正. 2014. 大都市を流れる豊平川におけるサケ *Oncorhynchus keta* 野生個体群の存続可能性の評価. 日水誌, 80:946-955.
- 長谷川功・森田健太郎・岡本康孝・大熊一正. 2013. 人工ふ化放流河川におけるサケの成熟年齢・サイズの野生魚-放流魚間比較. 日水誌, 79 : 657-665.
- Hasegawa, K., Morita, K., Ohkuma, K., Ohnuki, T., and Okamoto, Y. 2014. Effects of hatchery chum salmon fry on density-dependent intra- and interspecific competition between wild chum and masu salmon fry. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 71: 1475-1482.
- 市村政樹. 2015. 根室地域におけるサケの自然再生産の現状と評価に関する研究. 北海道大学大学院水産科学院学位論文, 105 pp.
- Jonsson, B., Jonsson, N., Brodtkorb, E., and Ingebrigtsen, P.-J. 2001. Life-history traits of brown trout vary with the size of small streams. *Func. Ecol.*, 15: 310-317.
- Koski, K. V. 1975. The survival and fitness of two stocks of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) from egg deposition to emergence in a controlled-stream environment at Big Beef Creek. Ph. D. thesis. University of Washington, Seattle, WA. 212 p.
- 久保 達郎・小林 哲夫. 1953. 石狩川のサケの二三の魚群と脊椎骨数及びウロコの数について. 日水誌, 19:297-302.

自然再生産を活用した増殖事業

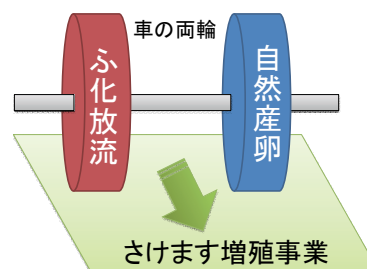


図 10. これからのさけます増殖事業のイメージ. ふ化放流と自然再生産がバランス良く保たれることでさけます増殖事業が前進し、ひいてはさけます資源が良好な状態で維持できることになると考えられます。

- Miyakoshi, Y., Urabe, H., Saneyoshi, H., Aoyama, T., Sakamoto, H., Ando, D., Kasugai, K., Mishima, Y., Takada, M., and Nagata, M. 2012. The occurrence and run timing of naturally spawning chum salmon in northern Japan. *Environ. Biol. Fish.*, 94:197-216.
- 森田健太郎・高橋 悟・大熊一正・永沢 亨. 2013. 人工ふ化放流河川におけるサケ野生魚の割合推定. 日水誌, 79 :206-213.
- 森田健太郎・大熊一正. 2015. サケ：ふ化事業の陰で生きながらえてきた野生魚の存在とその保全. 魚雑, 62: 189-195.
- 長沢有晃・佐野誠三. 1961. メム川の天然産卵場で算定したサケ (*Oncorhynchus keta*) の降下稚魚について. さけ・ますふ研報, 16: 107-125.
- 佐野誠三. 1952. 鮭の天然蕃殖に関する研究 予報. さけ・ますふ研報, 7: 61-68.
- Scott, W. B., and Crossman, E. J. 1973. Freshwater fishes of Canada. *Fish. Res. Board Can. Bull.*, 184: 966pp.
- 徳原哲也. 2014. 放流効果の高いサツキマス種苗の開発：野生の雄×継代養殖の雌で"半野生魚"を作出. アクアネット, 17 (3) : 52-55.
- Yamamoto, T., and Reinhardt, U. 2003. Dominance and predator avoidance in domesticated and wild masu salmon *Oncorhynchus masou*. *Fish. Sci.*, 69: 88-94
- 増養殖研究所. 2013. マス類の効果的な増殖手法の開発。「地域の状況を踏まえた効果的な増殖手法開発事業研究報告書」(水産総合研究センター増養殖研究所内水面研究部編), 水産庁, 東京, p. 62-86.