

会議報告

平成 25 年度さけます資源部第1回連絡会議ワークショップ

「さけます資源の現状:想定される減少要因と今後の対応」

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

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

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

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

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

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

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

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

1. 基調講演 海洋環境変動と水産資源の関係

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

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

2. さけます資源の現状と推定される減少要因

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

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

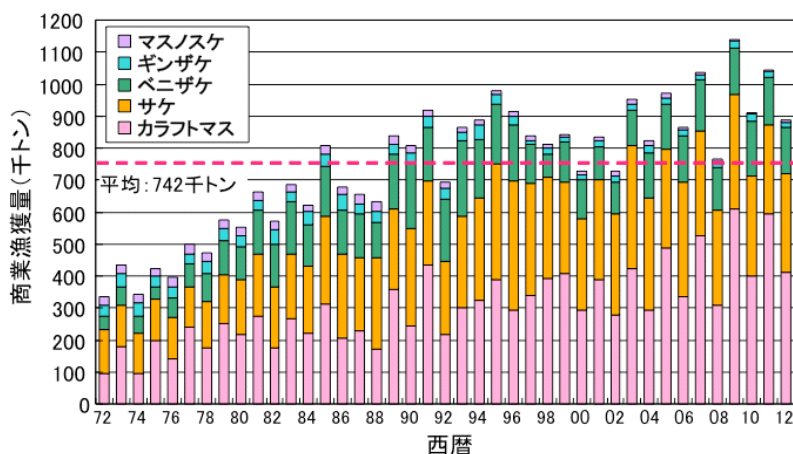


図1. 北太平洋全体のサケマス類の商業漁獲量。

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

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

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

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

3. 環境変動下での資源管理方策

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

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

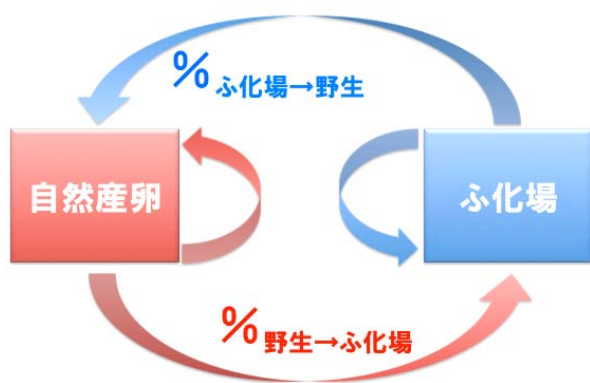


図 2. Integrated program (融和方策) の概念図. ふ化場魚と自然産卵魚(野生魚)が同一水系に存在する場合、ふ化場魚が自然産卵に参加する割合(%:ふ化場→野生)と野生魚がふ化放流用の親魚に利用される割合(%:野生→ふ化場)を推定し、これらの割合を使ってふ化放流事業を管理する方策が海外では実践されている。

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

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

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

4. ふ化放流事業から見た改善点

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

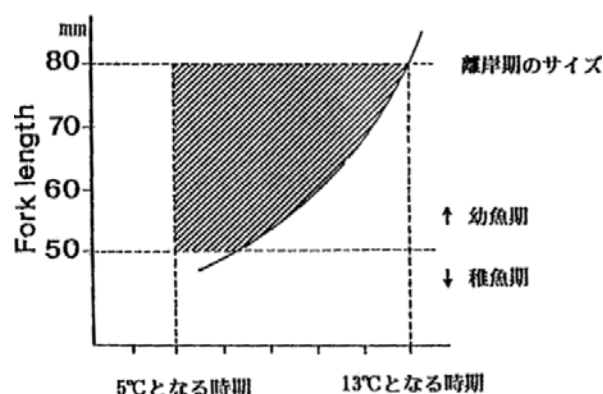


図 3. サケ適期・適サイズ放流の概念図(原図は野川 1992)。放流は沿岸水温が5℃となる時期から開始し、水温13℃になる時期までに、離岸サイズである尾又長80mmまで成長できるように放流することが理想とされている(斜線部分が理想的な放流時期・サイズ)。

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

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

総合討論

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

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

(2) ふ化放流手法の改善では、過去の北海道

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

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

ません。

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

参考文献

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

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

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

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

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