

さけ稚魚生産システムステップアップ事業 (仔魚管理期における循環飼育の実証試験)

松谷 紀明

目 的

ふ化用水が低温なためサケ稚魚の適期放流群が少ないふ化場において、飼育期間を短縮し適期に稚魚を放流するために、発眼期から浮上期における管理システムを実用規模で開発する。

材料と方法

1. 老部川サケふ化場における仔魚管理期の循環飼育実証試験

(1) 試験場所

老部川内水面漁業協同組合サケふ化場（老部川サケふ化場）

(2) 供試卵

2019年12月8日に老部川サケふ化場において海産親魚から採卵・受精したサケ卵を使用した。検卵後、積算水温419℃・日の発眼期まで老部川サケふ化場のふ化槽において管理し、2020年1月27日に試験用の養魚池に散布した。

(3) 半循環型サケ仔魚管理システム

養魚池の排水部にマグネットポンプ（イワキ社製 レイシーRMD-701）を設置し、池の上流側に水を循環させるシステムとした。ポンプの水勢を用いた曝気槽、ブロワによるエアレーション、サーモコントローラー（イワキ社製 レイシーTC-101）及び空焚き防止機能付き1kWチタンヒーター（イワキ社製 レイシーSHI-1KW-100V）を設置し、地下水を10L/分注水する半循環式の試験区を設けた（図1）。注水する地下水には水温変動の小さい地下水²⁾を使用した。サーモコントローラーは13℃に設定した。

(4) 試験区及び対照区の設定条件

試験区は、上記（3）を使用する半循環式区とした。対照区は地下水²⁾及び河川水の混合水かけ流し式の従来法区とした。両区の養魚池にネットリング及びふ化盆を敷設し、各区7万5千粒ずつの発眼卵をふ化盆上に散布し、池に蓋をして遮光した。

水深は両区とも10.5cmに設定した。半循環式区の水量は、ポンプによる循環が60L/分、地下水²⁾の注水が10L/分であった。従来法区のかけ流し水量は養魚池の構造上、測定できなかったため不明である。

ふ化後にふ化率、浮上後に浮上率を算出した。また、それぞれの水槽に自記式水温計（T&D社製 おんどとり TR-52i）を設置し、15分毎に水温を観測した。日平均水温は、1日の水温を平均して求めた。

試験期間中の溶存酸素量及びpHはHACH社製 HQ40d、アンモニア態窒素濃度はアンモニア性窒素試薬セット（HACH社製 HACH1389）、亜硝酸態窒素濃度は亜硝酸試薬（HACH社製 HACH0596）、硝酸態窒素濃度は硝酸性窒素試薬セット（HACH社製 HACH1088）をそれぞれ使用し、ポータブル吸光光度計（HACH社製 DR900）を使って適宜測定した。積算電気量は、簡易型電力量表示器（朝日電器株式会社製 エルパ EC-03EB）を使って1日1回観測した。

(5) 海水適応能試験及び魚体測定

浮上後の稚魚の質を評価するため、海水適応能試験を行った。試験には60cmガラス水槽（寿工芸株式会社製 コトブキ KC-600S）を使用し、50Lの水に人工海水の素10L用（有限会社マツダ社製 ニューマリ ンメリット）を5袋溶解し、塩分33.5psuの人工海水を作製した。水槽をかけ流しの地下水¹⁾に浸漬させることにより保温するとともに、エアレーションによる通気を行った。臍嚢吸収完了を基準に、半循環式区は2020年3月16日（49日目）に、従来法区は2020年4月11日（75日目）に稚魚60尾を人工海水に移行し、48時間後の生残率を算出した。自記式水温計（T&D社製 おんどとり TR-52i）により、

15分毎に水温を観測した。

浮上後の稚魚100尾を魚類・甲殻類麻酔剤（DSファーマアニマルヘルス社製 FA-100）により麻酔した後、尾叉長及び体重を測定した。t検定により尾叉長及び体重の検定を行った。



図1. 老部川サケふ化場における半循環型サケ仔魚管理システム概要

表1. 各試験区の条件

試験区	ポンプ	ヒーター	エアレーション	注水
半循環式	○	○	○	○ (10L/分)
従来法	×	×	×	○

2. 老部川サケふ化場における飼育水の水温調査

(1) 調査場所

老部川内水面漁業協同組合サケふ化場（老部川サケふ化場）

(2) 調査年月日

2019年9月19日～2020年5月7日

(3) 調査方法

老部川サケふ化場で使用している原水3種（地下水2系統、河川水1系統）、屋内養魚池南側親槽（地下水1と河川水を混合して使用）、屋内養魚池北側親槽（地下水2と河川水を混合して使用）、屋外浮上槽（河川水のみ使用）の流水部に自記式水温計（Onset社製 TidbiTv2またはT&D社製 おんどとり TR-52i）を設置し、1時間毎に水温を観測した。日平均水温は、1日の水温を平均して求めた。

結 果

1. 老部川サケふ化場における仔魚管理期の循環飼育実証試験

試験開始後7日目に半循環式区においてふ化が観察され、11日目にはネットリング内へ降下していた。従来法区においては11日目にふ化が観察され、14日目にはネットリング内へ降下していた。

25日目に両区のみ化盆を撤去し、ふ化率を算出した。ふ化率は、半循環式区が95%、従来法区が96%であった（表2）。ふ化率算出時の積算水温は、半循環式区が656℃・日、従来法区が544℃・日であった（表2）。

44日目に半循環式区において後述する溶存酸素量の低下がみられたため、以降、ヒーターを停止した。

49日目に半循環式区、71日目に従来法区の浮上率を算出した結果、半循環式区が100%、従来法区が100%であった（表2）。

浮上率算出までの平均水温は、半循環式区が 9.7℃、従来法区が 5.8℃であり、仔魚管理期間の平均水温は半循環式区の方が従来法区よりも 3.9℃高い値であった（表 2、図 2）。半循環式区において、44 日目以降ヒーターを止めており、ヒーター停止前の 39～43 日目の 5 日間の平均水温は 10.6℃、ヒーター停止後の 45～49 日目の 5 日間の平均水温は 9.6℃であった。また、半循環式区の注水に用いた地下水 2 の平均水温は 10.4℃であった（図 2）。浮上率算出時の積算水温は、半循環式区が 895℃・日、従来法区が 830℃・日であった（表 2、図 3）。

半循環式区の試験期間中の溶存酸素量は、6.15～11.09mg/L の範囲であった。半循環式区では 44 日目に 6.15mg/L に低下したため、ヒーターを止めて対応した。49 日目には 8.87mg/L に増加した。従来法区の溶存酸素量は 11.05～12.34mg/L の範囲であり、半循環式区の方が従来法区よりも低い値で推移した。また、両区において時間経過に伴う溶存酸素量の低下傾向がみられた（図 4）。

pH は、半循環式区が 7.1～7.9、従来法区が 6.9～7.3 の範囲であった。従来法区は pH7 前後を推移した一方、半循環式区はそれよりも高い値で推移した（図 5）。

アンモニア態窒素濃度は、半循環式区が 0.03～0.16mg/L、従来法区が 0～0.04mg/L の範囲であり、両区において時間経過に伴うアンモニア態窒素濃度の増加傾向がみられた（図 6）。半循環式のアンモニア態窒素濃度は試験期間中、水産用水基準²⁾である 0.01mg/L よりも高い値で推移した。

亜硝酸態窒素濃度は、半循環式区が 0～0.05mg/L、従来法区が 0～0.02mg/L の範囲であり、水産用水基準³⁾である 0.03mg/L よりも低い値で推移した（図 7）。

硝酸態窒素濃度は、半循環式区が 0.11～0.38mg/L、従来法区が 0.06～0.22mg/L の範囲であり、水産用水基準⁴⁾である 9mg/L よりも低い値で推移した（図 8）。

半循環式区における浮上までの積算電気量は、ヒーターが 797kWh、ポンプが 195kWh、ブロワが 27kWh であった（図 9）。積算電気料金は、1kWh=22 円で計算すると、ヒーターが 17,534 円、ポンプが 4,290 円、ブロワが 594 円であり、合計 22,418 円であった。

浮上後の稚魚の海水適応能試験の結果、人工海水移行 48 時間後の生残率は、半循環式区が 95%、従来法区が 100%であった（表 3、図 10）。海水適応能試験期間中の平均水温は、半循環式区が 9.5℃、従来法区が 8.9℃であった（表 3、図 11）。

稚魚 100 尾の魚体測定の結果、平均尾叉長±標準偏差は、半循環式区が 38.7±1.5mm、従来法区が 38.8±1.4mm であり、両区に有意差がみられなかった（t 検定、 $p>0.05$ ）（図 12）。平均体重±標準偏差は、半循環式区が 0.37±0.05g、従来法区が 0.37±0.05g であり、両区に有意差がみられなかった（t 検定、 $p>0.05$ ）（図 13）。

表 2. 老部川サケふ化場における半循環型サケ仔魚管理システム実証試験結果

	半循環式	従来法
親魚の由来		海産親魚
採卵年月日		2019年12月6日
池散布年月日		2020年1月27日
池散布卵数(粒) (a)	75,000	75,000
ふ化率算出年月日		2020年2月21日
ふ化率算出時積算水温(℃・日)	656	544
死卵重量(kg) (b)	1.5	1.1
死卵100粒重量(g) (c)	38.67	35.14
死卵粒数(粒) (d: $b/c \times 100,000$)	3,879	3,130
ふ化尾数(尾) (e: $a-d$)	71,121	71,870
ふ化率(%) ($e/a \times 100$)	95	96
浮上率算出年月日	2020年3月16日	2020年4月7日
浮上率算出時積算水温(℃・日)	895	830
斃死尾数(尾) (f)	242	300
浮上尾数(尾) (g: $e-f$)	70,879	71,570
浮上率(%) ($g/e \times 100$)	100	100
浮上率算出までの平均水温(℃)	9.7	5.8

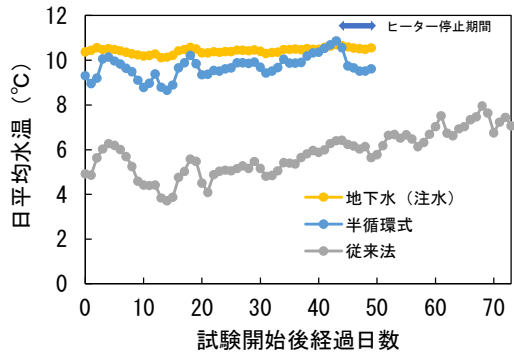


図 2. 水温の推移

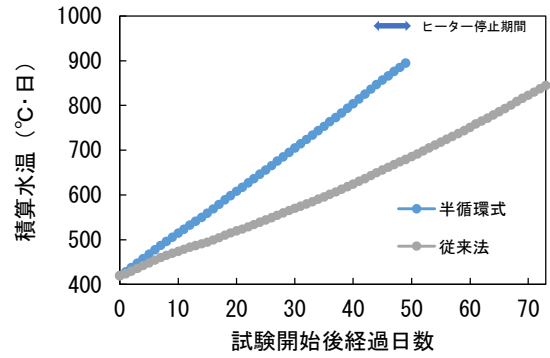


図 3. 積算水温の推移

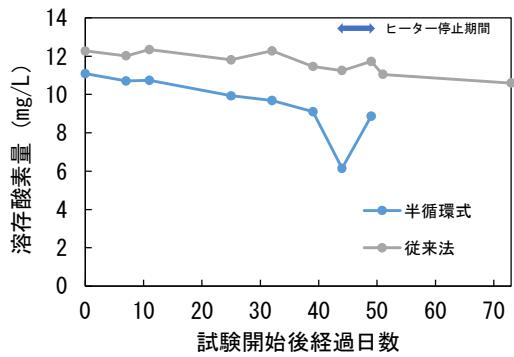


図 4. 溶存酸素量の推移

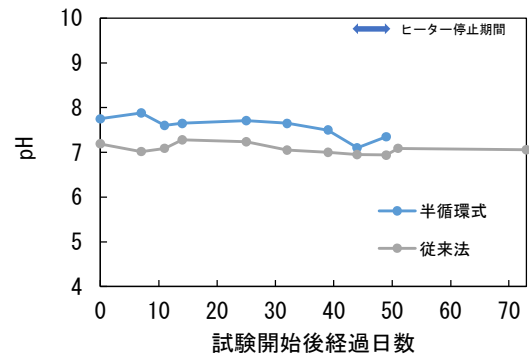


図 5. pHの推移

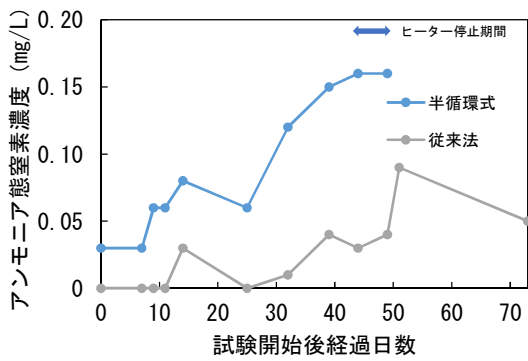


図 6. アンモニア態窒素濃度の推移

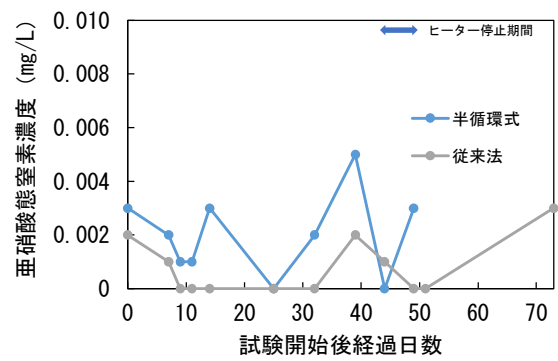


図 7. 亜硝酸態窒素濃度の推移

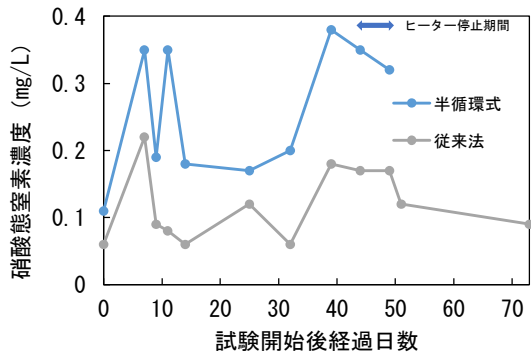


図 8. 硝酸態窒素濃度の推移

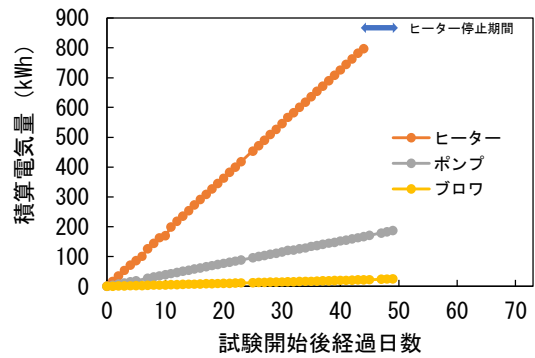


図 9. 積算電気量の推移

表 3. 海水適応能試験結果

	半循環式	従来法
試験開始年月日	2020年3月16日	2020年4月11日
塩分	33.5	33.5
供試尾数 (尾) (a)	60	60
試験終了年月日	2020年3月18日	2020年4月13日
試験中平均水温 (°C)	9.5	8.9
斃死尾数 (尾) (b)	3	0
生残率 (%) ((a-b) / a * 100)	95	100

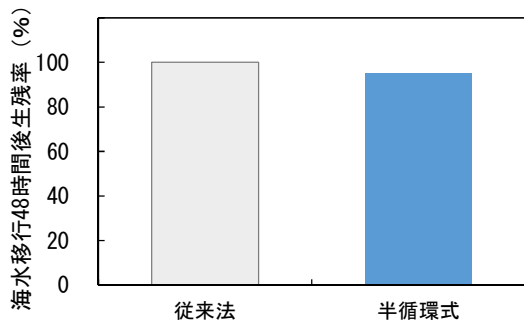


図 10. 海水適応能試験結果

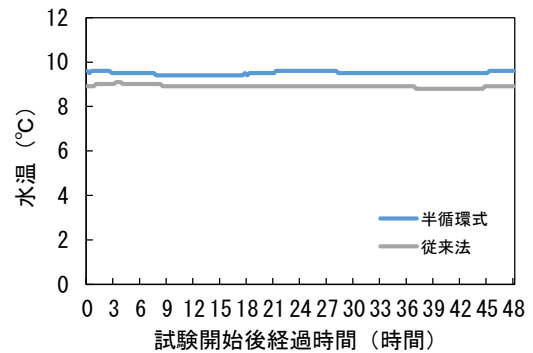


図 11. 海水適応能試験中の水温の推移

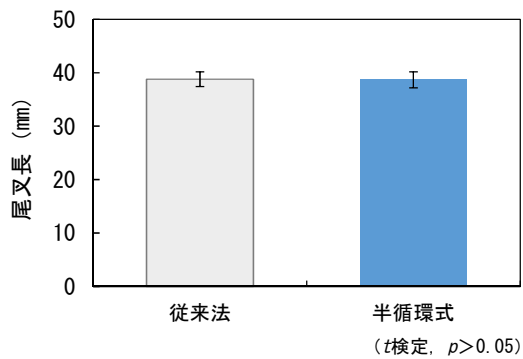


図 12. 尾叉長測定結果
(平均尾叉長 ± 標準偏差)

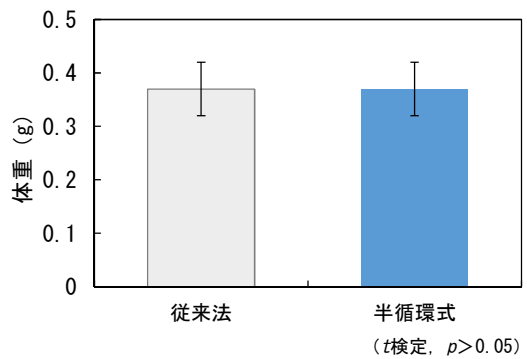


図 13. 体重測定結果
(平均体重 ± 標準偏差)

2. 老部川サケふ化場における飼育水の水温調査

原水3種の水温データの収集期間は、揚水ポンプの稼働期間及び水温計の設置期間に応じて異なり、地下水1は2019年9月19日～2020年5月7日、地下水2は2019年12月11日～2020年5月7日、河川水は2019年10月1日～2020年5月4日の期間について水温データが得られた(図14)。

地下水1の水温は、2019年10月下旬～11月上旬に最高値となる13.3℃となって以降、2020年4月下旬にかけて緩やかに低下し続けた。水温の範囲は8.6～13.3℃であった。地下水2の水温は、2019年12月中旬以降、2020年5月上旬まで変動がみられず、水温の範囲は10.7～11.3℃であった。2020年1月21日に地下水1が10.8℃、地下水2の水温が10.9℃となって以降、地下水2の方が高い水温を維持した。河川水の水温は、地下水1及び2に比べて変動が大きく、水温の範囲は1.6～15.6℃であった(図14)。

屋内養魚池下流南側親槽では、地下水1と河川水を混合した水が使用されており、2019年11月21日～2020年4月30日の期間で、地下水1よりも1.0～7.1℃低い水温で推移した。屋内養魚池下流北側親槽では、地下水2と河川水を混合した水が使用されており、2019年12月13日～2020年4月30日の期間で、地下水2よりも2.8～6.9℃低い水温で推移した。河川水を使用している屋外浮上槽では2019年11月21日～2020年4月25日の期間で河川水よりも0.5℃低い～1.0℃高い水温で推移した(図14)。

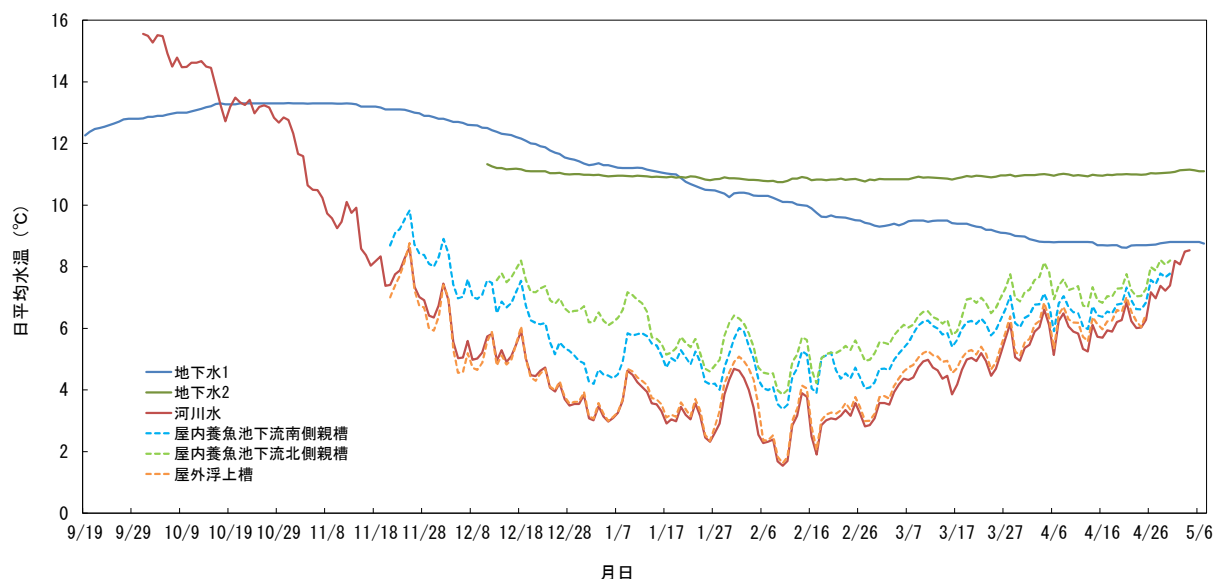


図14. 老部川サケふ化場における飼育水温(2019年9月19日～2020年5月7日)

考 察

サケは受精後積算水温約480℃・日でふ化し、ふ化した仔魚は積算水温900～1,000℃・日で浮上する⁵⁾。一般に、水温8℃であれば、ふ化後60日前後で浮上するが、低水温の飼育水を用いて仔魚管理しているふ化場では、仔魚管理期間が長期化し、その後の飼育を経て5月に小型で放流される群が存在する。それらの放流群は放流適期を逸している可能性が考えられ、仔魚管理期間の短縮による放流効果の向上が期待される。

北海道のサケふ化場では、水温調整装置を用いて、かけ流しの飼育水の水温を制御することにより発育をコントロールしている事例があり、ふ化用水の温度を人為的に調整し、発育をコントロールすることは、適期放流を行う上で有効な一手法であると考えられている⁶⁾。また、近年、閉鎖循環システムによるサケマス類の飼育技術開発が進められており、2015年には内水面研究所において閉鎖循環システムによるサク

ラマス種苗生産の実証試験が行われた。同実証試験では、サクラマスのふ化から浮上までの期間に pH 上昇と斃死対策の課題が残されたものの、その後の飼育状況から閉鎖循環システムを使った稚魚の飼育も十分可能であると思われた⁷⁾。2018 年度に本事業において行った循環加温システムの条件検討の結果、老部川サケふ化場における仔魚管理期間の短縮手法として、河川水を混合せず、地下水の注水を伴う半循環式の仔魚管理が候補として挙げられた¹⁾。2019 年度は老部川サケふ化場への半循環型サケ仔魚管理システムの導入を検討し、その実用性を検証した。実証試験では地下水 2 の注水を伴う半循環式と、従来法である地下水 2 及び河川水の混合水かけ流し式を比較し、低水温による仔魚期の成長遅滞が改善されるか検証した。ただし、本実証試験は発眼卵を 1 池あたり 7 万 5 千粒用いて行ったものであり、通常、老部川サケふ化場では同サイズの養魚池に発眼卵を 15 万粒散布しているため、散布粒数としては半数となっている点に留意が必要である。また、2018 年度に引き続き、老部川サケふ化場の飼育水の水温を調査し、データを蓄積した。

1. ふ化率、浮上率、浮上稚魚の体サイズ及び海水適応能

半循環式区のふ化率及び浮上率はともに高く、従来法区と同等であり、尾叉長及び体重は半循環式区と従来法区の間で有意差がみられなかった。

サケ稚魚は浮上時から海水適応能を有する⁸⁾。浮上稚魚の質を評価するため、海水適応能試験を行った。本試験では、浮上稚魚を塩分 33.5psu の人工海水に移行し、48 時間後の生残率により海水適応能を評価した。その結果、半循環式区の生残率は 95% であり、従来法区の 100% と同等であり、高い海水適応能を有していると考えられた。飼育条件によっては浮上率の低下、浮上サイズの小型化及び海水適応能の低下が生じる場合¹⁾があるが、本実証試験の半循環式区ではみられなかった。

2. 仔魚管理期間の短縮効果

本実証試験における浮上までの仔魚管理期間の平均水温は、半循環式区が 9.7℃、従来法区が 5.8℃ であり、仔魚管理期間の平均水温は半循環式区の方が従来法よりも 3.9℃ 高い値で推移した。

本実証試験では半循環式区が 49 日目、従来法区が 71 日目に浮上し、浮上までの日数が 22 日短縮された。浮上率算出時の積算水温は、半循環式区が 895℃・日、従来法区が 830℃・日であった。サケのふ化仔魚は積算水温 900～1,000℃・日で浮上する⁵⁾が、本実証試験の従来法区の浮上時の積算水温は 830℃・日と低かった。サケ仔魚の成長について、河川群ごと、採卵時期の違いでふ化した仔魚の発育特性が変わることから、浮上、飼育開始のタイミングも異なる⁹⁾ことが報告されている。本実証試験で使用した卵は、半循環式区及び従来法区ともに 2019 年 12 月 6 日採卵の海産親魚に由来し、同一産卵群であった。今後、飼育水温の影響により、浮上時の積算水温が変化するか確認する必要がある。

3. アンモニアの毒性

水質測定の結果から、pH は、半循環式区が 7.1～7.9、従来法区が 6.9～7.3 の範囲を推移していた。半循環式区のアンモニア態窒素濃度は試験期間中、水産用水基準²⁾である 0.01mg/L よりも高い値で推移した。アンモニア態窒素は、飼育水中では非乖離アンモニア (NH_3) とアンモニウムイオン (NH_4^+) の 2 種類の状態で存在している。難脂溶性のアンモニウムイオンの毒性はさほど強くないが、脂溶性である非乖離アンモニアは容易に細胞に取り込まれて細胞機能に障害を引き起こす¹⁰⁾。サケ稚魚に及ぼすアンモニアの影響については未だ十分に解明されていない¹¹⁾が、pH が高くなるほど全アンモニア中の非乖離アンモニアの割合が増加し毒性が強まる²⁾。本実証試験ではアンモニアに起因すると考えられる斃死はみられなかったが、地下水 2 の注水を併用した半循環式区においては、従来法である地下水 2 及び河川水の混合水の場合よりも pH が高くなる傾向がみられたことから、アンモニア態窒素が高濃度となった場合、アンモニア

の毒性が強まり、斃死を引き起こす可能性がある点について留意が必要である。また、半循環式区の溶存酸素量には時間経過に伴う低下傾向がみられた。サケマス類の稚魚の健全な成長を確保するためには最低でも溶存酸素量を 5mg/L 以上に保つことが重要とされている¹²⁾。本実証試験では溶存酸素量が 5mg/L 以上に保たれていたが、溶存酸素の低下に伴ってアンモニアの毒性が強くなる²⁾ ことにも留意が必要である。

4. ヒーターによる加温効果

本実証試験では、半循環式区の飼育水の加温のため、空焚き防止機能付き 1kW チタンヒーターを使用し、サーモコントローラーの設定温度を 13℃としたが、水温は 13℃に達することはなかった。試験区に使用する養魚池の数の制約により、本実証試験ではヒーターの有無による水温の比較を行わなかったため、仔魚管理期間全体の水温への影響に関する知見を得ることはできなかった。本実証試験では 44 日目以降、半循環式区のヒーターを停止しており、ヒーター停止前後 5 日間の平均水温を比較すると 1℃程度の加温効果あったと考えられた。

5. ランニングコスト

半循環型サケ仔魚管理システムのランニングコスト試算の結果、発眼卵 7 万 5 千粒を 49 日目の浮上まで平均水温 9.7℃で管理した場合の積算電気量は、ヒーターが 797kWh(44 日目以降停止)、ポンプが 195kWh、ブロワが 27kWh であり、電気料金の目安として 22,418 円と試算された。費用対効果を明らかにするためには、半循環型サケ仔魚管理システム導入による回帰親魚の回帰率へ及ぼす影響を調べる必要があるが、調査は容易ではない。ふ化場における費用対効果がプラスとなる条件として、システム導入により雌親魚の回帰が 13 尾増えれば (2,500 粒/尾×13 尾×0.7 円/粒)、ランニングコスト以上の効果があったものとみなされると試算された。積算電気量の 78%をヒーターにより占められており、ヒーターを使用しない場合は、電気料金の目安として 4,884 円と試算されるので、雌親魚の回帰が 3 尾増えればランニングコスト以上の効果があったものとみなされると試算された。

6. 老部川サケふ化場の水温

2018 年度に引き続き、老部川サケふ化場の飼育水の水温を調査した。地下水 1 は 11 月から翌年 4 月にかけて水温の低下がみられたがデータ収集期間を通して 8℃以上であった。地下水 2 は 12 月～翌年 5 月にかけて水温が 11℃前後で安定していた。河川水の水温は厳冬期に 1℃台まで低下していた。これらの結果は、2018 年度¹⁾と同様の傾向であり、養魚池ではそれぞれの地下水に低水温の河川水が混合されることによって、水温が最大で 7℃以上低下することが確認された。

7. 総合考察

本実証試験は発眼卵の散布粒数としては通常の数規模での試験であったものの、地下水 2 の注水を伴う半循環式の仔魚管理において、ふ化率及び浮上率の低下、浮上サイズの小型化及び海水適応能の低下はみられず、従来法と同程度の稚魚に育つ可能性が示された。通常、老部川サケふ化場では同サイズの養魚池に発眼卵を 15 万粒散布しているため、今後、15 万粒散布した場合に浮上期まで飼育可能か検討が必要である。

老部川サケふ化場の養魚池では、地下水に低水温の河川水が混合されることによって、水温が最大で 7℃以上低下し、この水温低下による成長遅滞が仔魚管理期間の長期化の原因となっている¹⁾。本実証試験では河川水を混合せず、地下水の注水を伴う半循環式の仔魚管理により、従来法と比較して仔魚管理期間が 22 日短縮された。一方で、本実証試験では 1kW ヒーターを使用し、サーモコントローラーを 13℃に設定したが、半循環式区の水温が 13℃に達することはなく、ヒーターによる加温効果は 1℃程度と推定された。

また、常時通電状態であったと推察され、積算電気量の増加につながった。水温を高めた方が仔魚管理期間の短縮効果が大きくなると期待されるが、今後、老部川サケふ化場において半循環式を実用化する場合は、ヒーターの有無が仔魚管理期間の短縮効果に及ぼす影響やコストパフォーマンスについて検証し、ヒーターの必要性について判断する必要がある。

また、時間経過に伴い仔魚の酸素消費量が増加し、浮上が近づくにつれて溶存酸素量の低下がみられ、半循環式区では浮上前に 6mg/L 台となった。本実証試験では、ヒーターを止めて水温を約 1℃下げ、仔魚の活性を低下させることを期待した。その後、浮上時には溶存酸素量が 8mg/L 台に増加しており、ヒーターを止めた効果が示された。酸素不足は大量斃死を引き起こす可能性があるため、半循環式の実用化に向けては例数を重ねて検証する必要がある。本実証試験のような水温コントロールの実施、あるいは酸素不足が生じるリスクが低い期間に限って半循環式を導入し、溶存酸素量が低下した場合は従来法であるかけ流し式に切り替える方法も現実的な運用方法として考えられた。

その他、稚仔魚の生残率に関わると考えられる注水量¹⁾について検討の余地が残された。

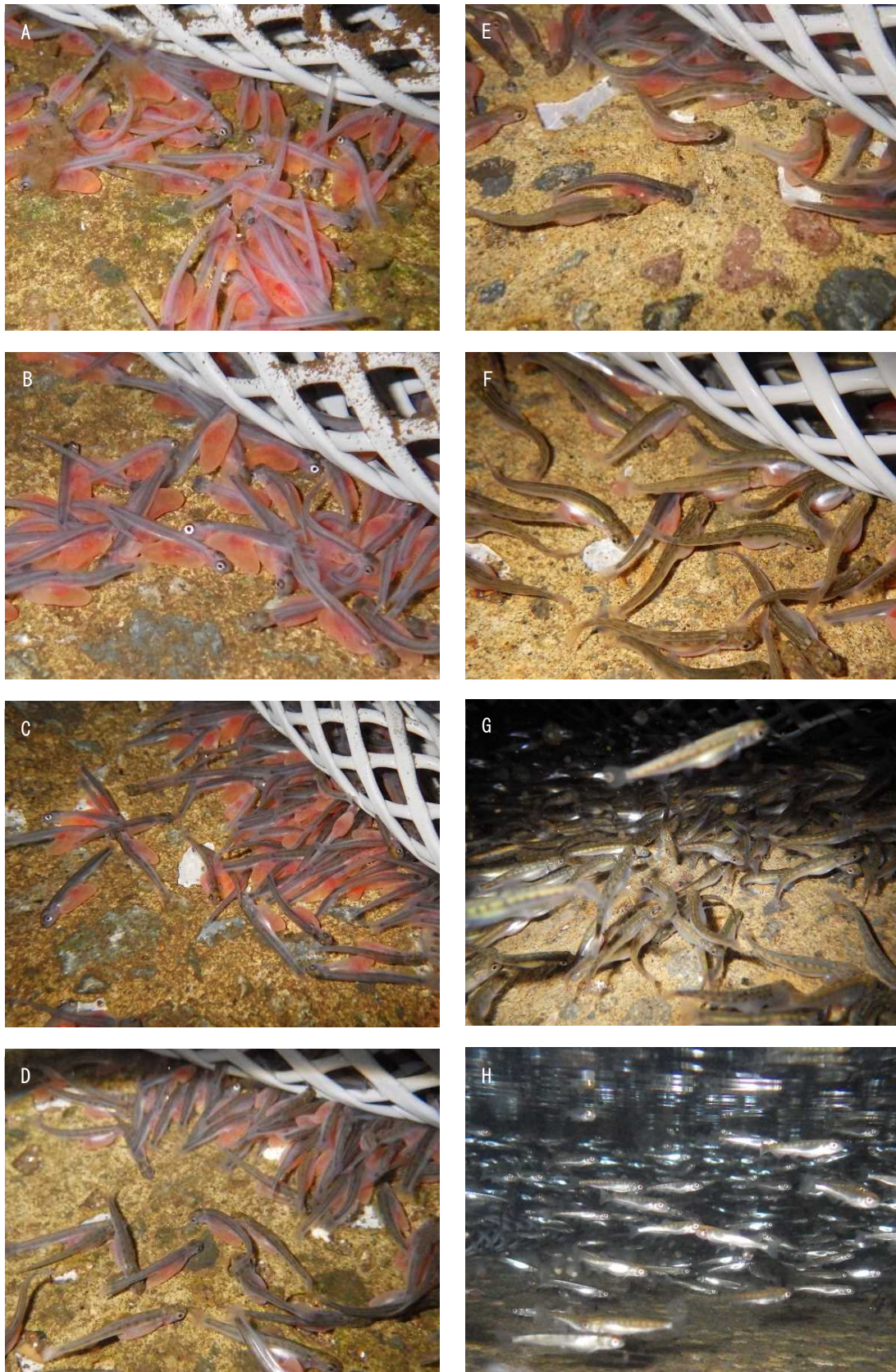
最後に、本事業は老部川サケふ化場における浮上期までの仔魚管理期間の短縮を期したものであったが、青森県内には他にも低水温による仔魚期の成長遅滞が生じているふ化場が存在し、中には水温の低い 1 水系しか有さない場所もある。その場合には本実証試験をベースとした半循環式による対策は困難であると推察され、閉鎖循環式の方が効果的である可能性が考えられる。現状、閉鎖循環式では浮上サイズの小型化及び海水適応能の低下が観察されている¹⁾ため、実用可能な技術の開発が求められる。

謝 辞

本事業にご協力いただきました老部川内水面漁業協同組合の皆様に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 松谷紀明 (2023) さけ稚魚生産システムステップアップ事業 (仔魚管理期における循環加温飼育条件の検討). 2019・2020 年度青森県産業技術センター内水面研究所事業報告, 100-109.
- 2) 日本水産資源保護協会 (2013) 53) アンモニア態窒素. 水産用水基準第 7 版 (2012 年版), 63-65.
- 3) 日本水産資源保護協会 (2013) 25) 亜硝酸態窒素. 水産用水基準第 7 版 (2012 年版), 44.
- 4) 日本水産資源保護協会 (2013) 24) 硝酸態窒素. 水産用水基準第 7 版 (2012 年版), 43-44.
- 5) 野川秀樹 (2010) さけます類の人工ふ化放流に関する技術小史 (序説). 水産技術, 3 (1), 1-8.
- 6) 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. さけ・ます資源管理センター技術情報, 169, 25-32.
- 7) 長崎勝康 (2020) 閉鎖循環システムによるサクラマス種苗生産事業. 平成 27 年度青森県産業技術センター内水面研究所事業報告, 91-95.
- 8) 伴 真俊 (2014) サケ稚魚の質を評価する試み. SALMON 情報, 8, 3-7.
- 9) 大本謙一 (2018) サケ仔魚の発育と飼育開始時期の地域差について. SALMON 情報, 12, 16-19.
- 10) 山本義久・森田哲男・陸上養殖勉強会 (2017) アンモニアの毒性と防除方法. 循環式陸上養殖 飼育ステージ別 (国内外) の事例にみる最新技術と産業化, 緑書房, 48-53.
- 11) 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 号, 31-39.
- 12) 野川秀樹・八木沢 功 (2011) さけます類の人工ふ化放流に関する技術小史 (飼育管理編). 水産技術, 3 (2), 67-89.



付図 1. 老部川サケふ化場における従来法区（左）及び半循環式区（右）の浮上状況
 (2020年2月21日(25日目) A: 544°C・日、E: 656°C・日
 2020年2月28日(32日目) B: 580°C・日、F: 724°C・日
 2020年3月6日(39日目) C: 619°C・日、G: 794°C・日
 2020年3月11日(44日目) D: 650°C・日、H: 847°C・日)