

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)

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。本試験では、飼育管理可能な循環加温システムの条件を検討する。

材料と方法

1. 仔魚管理期における循環加温飼育条件の検討

(1) 試験場所

内水面研究所

(2) 供試卵

奥入瀬川鮭鱒増殖漁業協同組合サケふ化場（奥入瀬川サケふ化場）において 2018 年 12 月 12 日及び 13 日に採卵・受精したサケ卵を使用した。検卵後の発眼卵を積算水温 450℃・日前後まで奥入瀬川サケふ化場のふ化槽において管理し、2019 年 1 月 21 日に内水面研究所に輸送した。輸送当日はかけ流し式で静置し、翌日、試験を開始した。

(3) 循環加温型サケ仔魚管理システム

塩ビ製ボックス型浮上槽（ふ化盆、ネットリング 3 段入）、32L ろ過槽用コンテナ、24L ろ過用コンテナ、マグネットポンプ（イワキ社製 MD-15R）、サーモコントローラー（イワキ社製 レイシーTC-101）、観賞魚用 300W ヒーター、エアレーション、台所用三角コーナー及び三角コーナー用ゴミ取りネットで構成され、最下段の飼育水がポンプにより最上段のろ過槽へ送られ、加温された後に高低差で発眼卵が収容された浮上槽へ注水される。ふ出後の卵膜はゴミ取りネットによって除去し、適宜ゴミ取りネットの交換を行った。ろ材には、硝化細菌を付与したセラミック製ろ材 20L（太平洋セメント社製 パワーハウスベシックソフトタイプ微酸性 S サイズ）を使用した。浮上槽及びろ過用コンテナをかけ流しの湧水に浸漬させることによる保温に加えて、サーモコントローラーを 11℃に設定し、冷氣による水温の低下を防止した（図 1）。

(4) 試験区及び対照区の設定条件

試験区は、①半循環式区、②閉鎖循環式区、③閉鎖循環式ろ材なし区とした。①半循環式区は、ろ過槽用コンテナにろ材を入れず、2L/分注水した。②閉鎖循環式区は、ろ過槽用コンテナにセラミック製ろ材を 20L 収容し、注水をしなかった。③閉鎖循環式ろ材なし区は、ろ過槽用コンテナにろ材を入れず、注水をしなかった。対照区は、湧水かけ流し式とした（表 1）。

発眼卵の平均重量は、100 個の重量を平均して求め、各試験区及び対照区の浮上槽に発眼卵 14 千粒を収容した。流量は、試験区 11L/分、対照区 11L/分とした。ふ化後にふ化率、浮上後に浮上率を算出した。

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は HACH 社製 HQ30d、pH は株式会社堀場製作所社製 D-55、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。

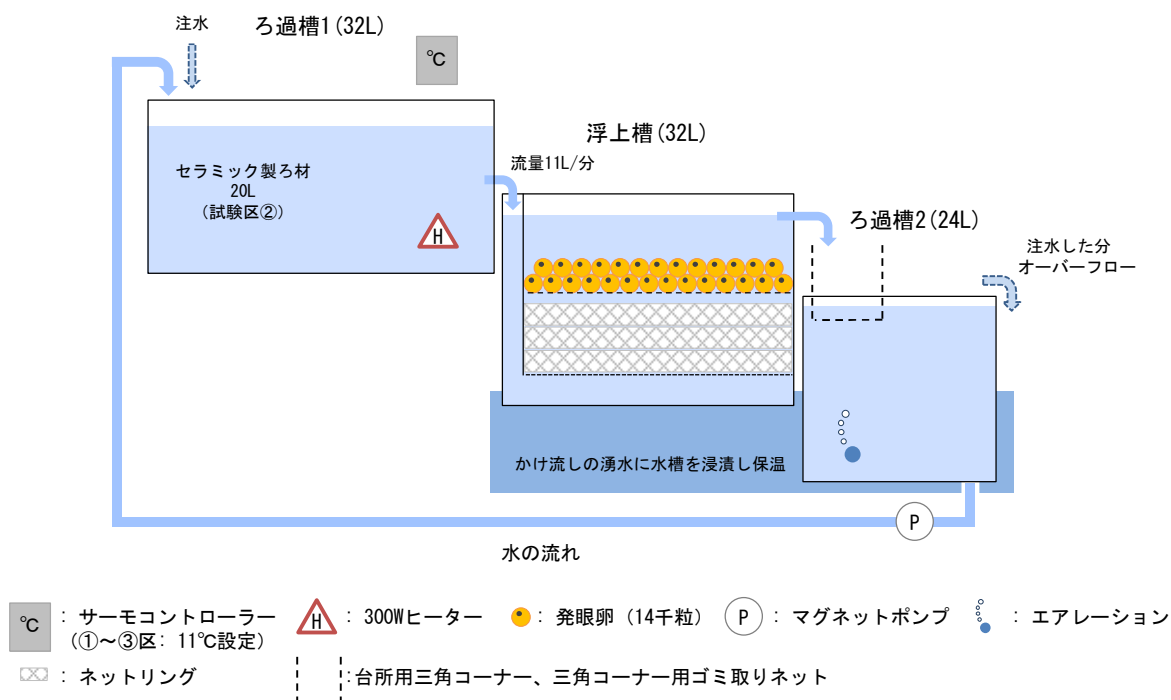


図 1. 内水面研究所における循環加温型サケ仔魚管理システム概要

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	ろ材	注水
① 半循環式区	○	○	○	×	○ (2L/分)
② 閉鎖循環式区	○	○	○	○	×
③ 閉鎖循環式ろ材なし区	○	○	○	×	×
かけ流し式区	×	×	○	×	○ (11L/分)

(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。かけ流し式区における臍嚢吸収完了を基準に、2019年3月6日(46日目)に③閉鎖循環式ろ材なし区を除く2試験区及びかけ流し式区の稚魚60尾を塩分32psuの人工海水に移行し、48時間後の生残率を算出した。試験には60cmガラス水槽(株式会社マルカン社製 ニッソーNS-6M)を3基使用し、50Lの湧水に人工海水の素10L用(有限会社マツダ社製ニューマリンメリット)を5袋溶解した。水槽を室温条件下にて静置し、エアレーションによる通気を行った。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。

海水適応能試験後の稚魚を魚類・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。海水適応能試験中に斃死した個体は、試験途中に回収し、尾叉長及び体重を測定した。Steel法により1つの対照群(かけ流し式区)と2つ以上の処理群(①半循環式区、②閉鎖循環式区)の尾叉長及び体重の検定を行った。

参考データとして、③閉鎖循環式ろ材なし区の仔魚を2019年3月1日(38日目)以降、2L/分の注水を伴う半循環式で飼育して得られた稚魚を用いて、2019年3月27日(64日目)に上記方法により海水適応能試験及び魚体測定を行った。

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

2018年11月15日～2019年5月12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. 仔魚管理期における循環加温飼育条件の検討

試験開始後1日目にふ化が開始し、2日目以降、ろ過槽2の表層にふ化に伴う泡が発生した。5日目には大部分のふ化仔魚がふ化盆からネットリング内へ降下した。

13日目にふ化盆を撤去し、ふ化率を算出した。ふ化率は、①半循環式区、②閉鎖循環式区、③閉鎖循環式ろ材なし区、かけ流し式区すべてが99%であった（表2）。③閉鎖循環式ろ材なし区においてふ化盛期であった2日目以降、飼育水の濁りが継続していたため、②閉鎖循環式区とともに換水を行った。その後、②閉鎖循環式区及び③閉鎖循環式ろ材なし区において、後述するアンモニア態窒素濃度が高まったため、試験期間中に換水を4回行った。③閉鎖循環式ろ材なし区では浮上前の38日目に斃死魚が多数出現したため試験を中止し、2L/分の注水併用を開始し、以降、参考データを収集した。

48、49日目に③閉鎖循環式ろ材なし区を除く2試験区及びかけ流し式区の浮上率を算出した結果、①半循環式区が100%、②閉鎖循環式区が93%、かけ流し式区が100%であった（表2）。

浮上率算出までの平均水温は、①半循環式区が10.9℃、②閉鎖循環式区が11.2℃、かけ流し式区が10.9℃であった（表2）。参考データとして、注水併用開始以前の③閉鎖循環式ろ材なし区の平均水温は10.8℃であった。①半循環式区及びかけ流し式区の平均水温は同等であった一方、②閉鎖循環式区の平均水温は他区よりも0.3℃高い値であった（表2、図2）。

浮上率算出時の試験開始後経過日数及び積算水温は、①半循環式区が49日目で980℃・日、②閉鎖循環式区が49日目で995℃・日、かけ流し式区が48日目で973℃・日であった（表2、図3）。

試験期間中の溶存酸素量は、①半循環式区が8.06～10.66mg/L、②閉鎖循環式区が7.88～10.85mg/L、かけ流し式区が8.96～10.64mg/Lの範囲であった。参考データとして、注水併用開始以前の③閉鎖循環式ろ材なし区は8.63～10.95mg/Lの範囲であった。3試験区及びかけ流し式区において、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、①半循環式区が6.8～7.3、②閉鎖循環式区が5.9～7.7、かけ流し式区が6.8～7.3の範囲であった。参考データとして、注水併用開始以前の③閉鎖循環式ろ材なし区は7.2～8.2の範囲であった（図5）。①半循環式区及びかけ流し式区はpH7前後で推移した一方、②閉鎖循環式区はpH6前後、③閉鎖循環式ろ材なし区はpH8前後で推移した（図5）。

アンモニア態窒素濃度は、①半循環式区が0.04～0.33mg/L、②閉鎖循環式区では0.02～91.0mg/L、かけ流し式区が0～0.06mg/Lの範囲であった。参考データとして、注水併用開始以前の③閉鎖循環式ろ材なし区は0.03～58.0mg/Lの範囲であった（図6-1、図6-2）。アンモニア態窒素濃度は、①半循環式区では27日目まで時間経過に伴う増加傾向がみられた。42日目にかけて減少した後、再び増加し48日目に最高値

となった（図 6-2）。②閉鎖循環式区及び③閉鎖循環式ろ材なし区は同様の変動傾向がみられ、13 日目まで増加した後、換水による一時的な減少をしながら時間経過に伴う増加傾向がみられ、ともに後半に最高値が観測された（図 6-1）。上記 3 試験区のアモンニア態窒素濃度は試験期間中、水産用水基準¹⁾である 0.01mg/L よりも高い値で推移した。かけ流し式区のアモンニア態窒素濃度は、14 日目以降、横ばいであり、0 日目、7 日目、13 日目を除いた期間において水産用水基準¹⁾である 0.01mg/L よりも高い値で推移した（図 6-2）。

亜硝酸態窒素濃度は、①半循環式区が 0～0.004mg/L、②閉鎖循環式区が 0～3.94mg/L、かけ流し式区が 0～0.001mg/L の範囲であった。参考データとして、注水併用開始以前の③閉鎖循環式ろ材なし区は 0～2.94mg/L の範囲であった（図 7）。亜硝酸態窒素濃度は、②閉鎖循環式区では前半に、③閉鎖循環式ろ材なし区では後半に最高値が観測された。②閉鎖循環式区では 1 日目以降、③閉鎖循環式ろ材なし区では 2 日目以降に水産用水基準²⁾である 0.03mg/L よりも高い値で推移した。①半循環式区及びかけ流し式区の亜硝酸態窒素濃度は試験期間中、水産用水基準²⁾以下であった。

硝酸態窒素濃度は、①半循環式区が 2.0～5.4mg/L、②閉鎖循環式区が 3.2～100.0mg/L、かけ流し式区が 1.5～6.2mg/L の範囲であった。参考データとして、注水併用開始以前の③閉鎖循環式ろ材なし区は 1.2～9.2mg/L の範囲であった（図 8）。硝酸態窒素濃度は、②閉鎖循環式区の 4 日目以降及び③閉鎖循環式ろ材なし区の 36 日目において水産用水基準³⁾である 9mg/L よりも高い値となった。①半循環式区及びかけ流し式区の硝酸態窒素濃度は試験期間中、水産用水基準³⁾以下であった。

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、①半循環式区が 98%、②閉鎖循環式区が 0%、かけ流し式区が 100%であった（表 3、図 9）。海水適応能試験期間中の平均水温は、①半循環式区が 11.6℃、②閉鎖循環式区が 11.6℃、かけ流し式区が 11.7℃であった（表 3、図 10）。

稚魚 60 尾の魚体測定の結果、平均尾又長±標準偏差は、①半循環式区が 40.4±1.7mm、②閉鎖循環式区が 32.9±1.3mm、かけ流し式区が 39.8±1.6mm であり、かけ流し式区と比較して②閉鎖循環式区において有意に小さかった（Steel 法による多重比較、 $p < 0.01$ ）（図 11）。平均体重±標準偏差は、①半循環式区が 0.39±0.05g、②閉鎖循環式区が 0.28±0.04g、かけ流し式区が 0.38±0.05g であり、かけ流し式区と比較して②閉鎖循環式区において有意に小さかった（Steel 法による多重比較、 $p < 0.01$ ）（図 12）。

参考データとして、③閉鎖循環式ろ材なし区を途中から 2L/分の注水を伴う半循環式で飼育した群の人工海水移行 48 時間後の生残率は 65%であり、海水適応能試験期間中の平均水温は 12.2℃であった。平均尾又長±標準偏差は、33.7±2.5mm、平均体重±標準偏差は、0.23±0.04g であった。

表 2. 仔魚管理期における循環加温飼育条件の検討結果

	① 半循環式区	② 閉鎖循環式区	③ 閉鎖循環式ろ材なし区*	かけ流し式区
親魚捕獲河川	奥入瀬川			
採卵年月日	2018年12月12日、13日			
検卵年月日	2019年1月8日			
発眼卵輸送年月日	2019年1月21日			
試験開始年月日	2019年1月22日			
平均卵重量 (g) (a)	0.26			
収容卵重量 (kg) (b)	3.50	3.50	3.50	3.50
収容卵数 (粒) (c: b/a*1,000)	13,519	13,519	13,519	13,519
ふ化率算出年月日	2019年2月4日			
死卵粒数 (粒) (d)	105	139	94	73
ふ化尾数 (尾) (e: c-d)	13,414	13,380	13,425	13,446
ふ化率 (%) (e/c*100)	99	99	99	99
浮上率算出年月日	2019年3月12日	2019年3月12日	-	2019年3月11日
浮上率算出時積算水温 (°C・日)	980	995	-	973
斃死尾数 (尾) (f)	4	998	-	7
浮上尾数 (尾) (g: e-f)	13,410	12,382	-	13,439
浮上率 (%) (g/e*100)	100	93	-	100
浮上率算出までの平均水温 (°C)	10.9	11.2	-	10.9

* ③ 閉鎖循環式ろ材なし区は途中で試験を中断したため、浮上率の算出を行わなかった

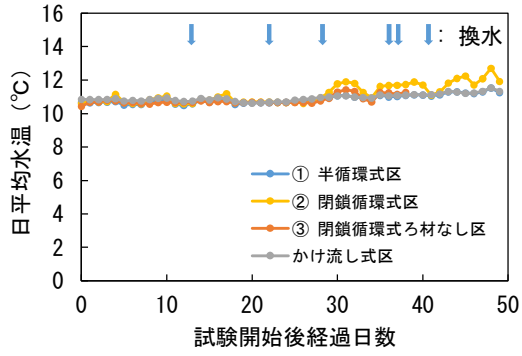


図 2. 水温の推移

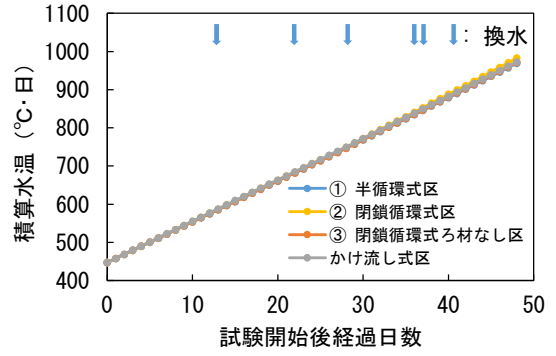


図 3. 積算水温の推移

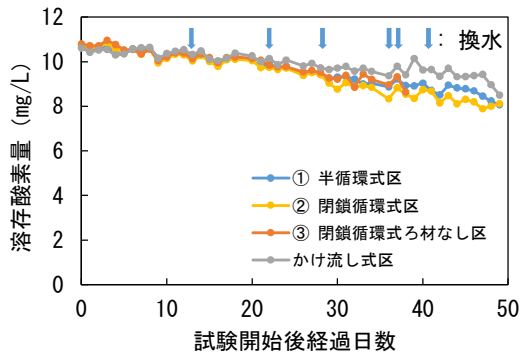


図 4. 溶存酸素量の推移

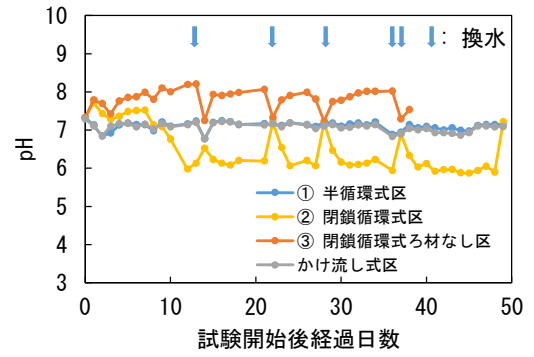


図 5. pHの推移

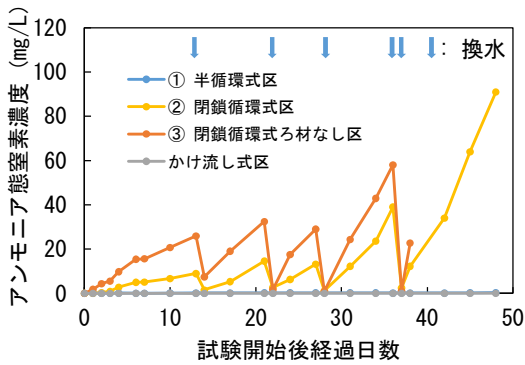


図 6-1. アンモニア態窒素濃度の推移

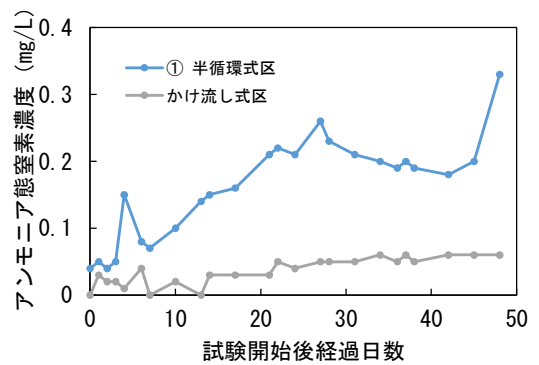


図 6-2. アンモニア態窒素濃度の推移
(②閉鎖循環式区及び③閉鎖循環式ろ材なし区を除く)

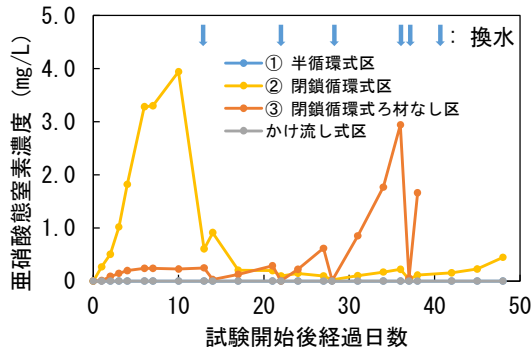


図 7. 亜硝酸態窒素濃度の推移

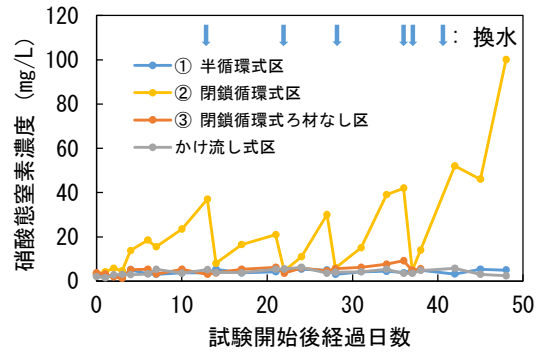


図 8. 硝酸態窒素濃度の推移

表 3. 海水適応能試験結果

	① 半循環式区	② 閉鎖循環式区	かけ流し式区
試験開始年月日		2019年3月6日	
塩分	32	32	32
供試尾数 (尾) (a)	60	60	60
試験終了年月日		2019年3月8日	
平均水温 (°C)	11.6	11.6	11.7
斃死尾数 (尾) (b)	1	60	0
生残率 (%) ((a-b) / a * 100)	98	0	100

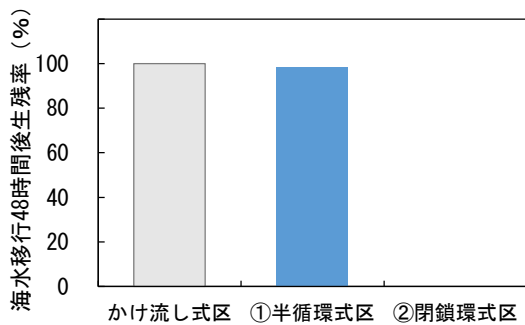


図 9. 海水適応能試験結果

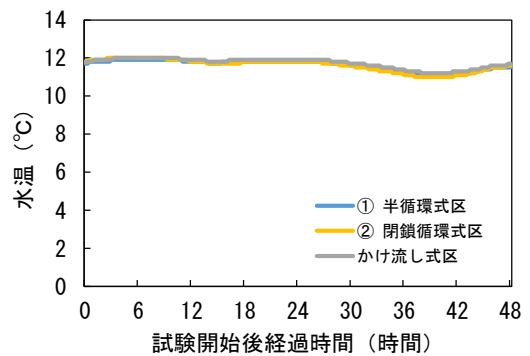


図 10. 海水適応能試験中の水温の推移

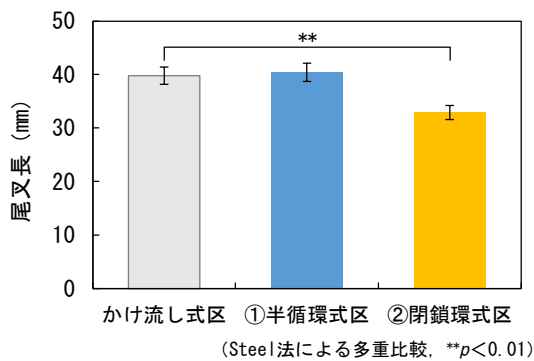


図 11. 尾叉長測定結果
(平均尾叉長±標準偏差)

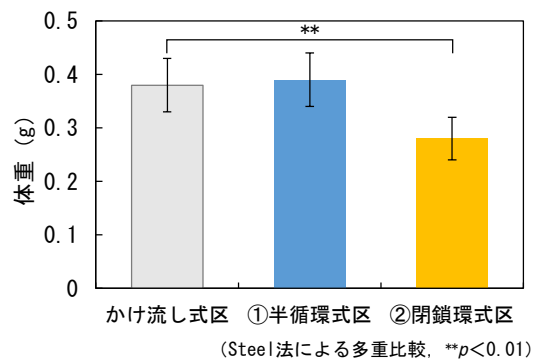


図 12. 体重測定結果
(平均体重±標準偏差)

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った。地下水1は2018年11月15日～2019年4月12日、地下水2は2019年1月10日～2019年5月12日、河川水は2018年11月15日～2019年5月12日の期間について水温データが得られた(図13)。

地下水1の水温は、2018年11月15日以降、2019年4月12日まで緩やかに低下し続けた。水温の範囲は8.4～13.1℃であった。地下水2の水温は、2019年1月10日から2019年5月12日まで変動がみられず、水温の範囲は10.9～11.1℃であった。2019年1月13日に地下水1が10.9℃、地下水2の水温が11.0℃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1.4～9.8℃であった(図13)。

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、2018年11月15日～2019年4月12日の期間で、地下水1よりも2.3～7.5℃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1月10日～2019年5月12日の期間で、地下水2よりも0.7～7.3℃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2018年12月27日～2019年1月10日まで配管詰まりによる断水が生じており、その影響により水温の低下が記録されたが、その期間を除くと2018年11月18日～2019年5月6日の期間で河川水よりも1.4℃低い～1.7℃高い水温で推移した(図13)。

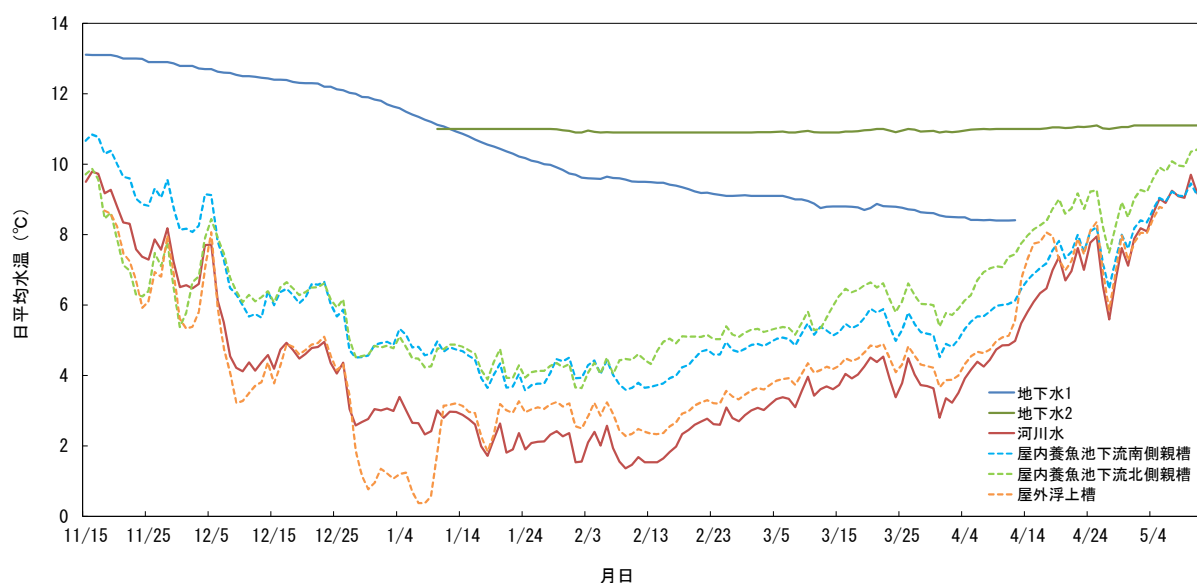


図13. 老部川サケふ化場における飼育水温(2018年11月15日～2019年5月12日)

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⁴⁾。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⁵⁾。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⁶⁾。

本事業では、低水温用水に起因する成長遅滞解消のため、循環加温システムを用いて発眼期から浮上期まで飼育管理可能な条件を検討した。循環加温システムの条件検討では、試験区として半循環式区、閉鎖循環式区、閉鎖循環式ろ材なし区、対照区として湧水かけ流し式区を設けた。閉鎖循環式ろ材なし区では、ろ材を使用せずに循環した場合の水質及び仔魚管理への影響について知見を集積した。また、次年度において実証試験を実施予定である老部川サケふ化場の飼育水の水温を調査し、循環加温システム導入の可能性を検討した。

1. 注水量の影響

①半循環式区（2L/分注水）、③閉鎖循環式ろ材なし区（注水なし）及びかけ流し式区（11L/分注水）の比較により、注水量の違いによる影響を調べた。浮上率は、①半循環式区及びかけ流し式区が100%であった一方、③閉鎖循環式ろ材なし区では浮上前に斃死魚が多数出現したことから、今回の飼育条件では、0~2L/分注水の間に生残を低下させる限界点が存在するものと推察された。水質測定結果からは、pHは、①半循環式区及びかけ流し式区はpH7前後、③閉鎖循環式ろ材なし区がpH8前後を推移していた。アンモニア態窒素濃度は、③閉鎖循環式ろ材なし区、①半循環式区、かけ流し式区の順で高い値で推移した。アンモニア態窒素は、飼育水中では非乖離アンモニア（NH₃）とアンモニウムイオン（NH₄⁺）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⁷⁾。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⁸⁾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¹⁾。③閉鎖循環式ろ材なし区においてはアンモニア態窒素濃度が他区より高く、さらにpHが8前後と高い値で推移したため、アンモニアの毒性が強まり、斃死に至った可能性が考えられた。今後、生残可能な最少の注水量や安全に飼育するための注水量を明らかにするためには、例数を重ねて検証する必要がある。

2. ろ材の有無の影響

②閉鎖循環式区と③閉鎖循環式ろ材なし区の比較により、閉鎖循環式におけるろ材の有無による影響を調べた。浮上率は、②閉鎖循環式区が93%であった一方、③閉鎖循環式ろ材なし区では浮上前に斃死魚が多数出現したことから、今回の飼育条件では、ろ材の効果により飼育水の毒性が軽減されたと考えられた。水質測定結果からは、pHは、②閉鎖循環式区がpH6前後、③閉鎖循環式ろ材なし区がpH8前後で推移した。アンモニア態窒素濃度は、②閉鎖循環式区よりも③閉鎖循環式ろ材なし区の方が高い値で推移した。亜硝酸態窒素濃度は、17日目までは③閉鎖循環式ろ材なし区よりも②閉鎖循環式区の方が高い値で推移し、24日目以降はその逆であった。硝酸態窒素濃度は、③閉鎖循環式ろ材なし区よりも②閉鎖循環式区の方が高い値で推移した。これらの変動は、ろ材またはろ材に付与した硝化細菌による作用と考えられた。前述のとおり、pHが高くなるほどアンモニアの毒性が強まる¹⁾。②閉鎖循環式区においてはアンモニア態窒素濃度が水産用水基準¹⁾よりも高い値で推移したが、pHが6前後と低い値で推移したため、③閉鎖循環式ろ材なし区のような斃死には至らなかった可能性が考えられた。

3. 浮上稚魚の小型化

本事業の魚体測定結果から、②閉鎖循環式区の浮上時のサイズが小型であった。ほぼ同様の積算水温であっても飼育環境の違いによって仔魚の成長に差が生じ、浮上時の尾叉長及び体重が小さくなることが示された。参考データであるが、③閉鎖循環式ろ材なし区に由来する稚魚も小型であった。カラフトマスの仔魚管理においては、仔魚の運動量の増加により浮上時の体重が小さくなることが報告されている⁹⁾。本試験の結果から①半循環式区及びかけ流し式区と比較して、②閉鎖循環式区及び③閉鎖循環式ろ材なし区の浮上槽内において運動量の増加があったかを示すことは難しい。ブラウントラウトの稚魚において、アンモニアへの暴露の影響として、成長の低下が報告されている¹⁰⁾。②閉鎖循環式区及び③閉鎖循環式ろ材なし区においては前述のとおり、アンモニア態窒素濃度が高かったため、成長の低下が生じた可能性が考えられた。

4. 浮上稚魚の海水適応能

サケ稚魚は浮上時から海水適応能を有する¹¹⁾。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 32psu 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、生残率は、①半循環式区が 98%、②閉鎖循環式区が 0%、かけ流し式区が 100%であり、②閉鎖循環式区において低かった。

一般に真骨魚類では、鰓、腎臓、腸が浸透圧調節で重要な役割を果たしている¹²⁾。また、ニジマスにおいてアンモニアへの慢性暴露の影響として、鰓の損傷が報告されている¹³⁾。②閉鎖循環式区においては前述のとおり、アンモニア態窒素濃度が高かったため、鰓の状態が正常ではなく、海水適応能が低下していた可能性が考えられた。今後、鰓の状態の観察や塩類細胞の観察によって海水適応能の低下が生じた詳細な機構が判明する可能性がある。

5. 老部川サケふ化場の水温

老部川サケふ化場では仔魚管理期間の長期化が課題となっている。老部川サケふ化場における飼育水の水温調査により、原水 3 種、屋内養魚池及び屋外浮上槽の水温の特性が明らかになった。

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 1～5 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。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示された。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考えられた。

6. 総合考察

浮上までの仔魚管理において、流量の 2 割程度の注水を併用した①半循環式区は、かけ流し式区と同程度の体サイズとなり、海水適応能を持つ稚魚に育つ可能性が示された。一方、③閉鎖循環式ろ材なし区では浮上までの仔魚管理が困難であり、②閉鎖循環式区では、浮上サイズの小型化と海水適応能の低下が生じた。浮上サイズの小型化は、その後の給餌飼育において目標サイズに達するまでの期間の長期化を生じさせる懸念がある。また、海水適応能の低下は、その後の飼育期間中に回復する可能性もあるが、河川への放流後に海へと移行するサケの生態を考えると、放流効果を低下させる一因になりうると考えられる。今後、循環加温システムを用いた仔魚管理の実証試験を行う際には、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に関与すると考えられたアンモニア態窒素濃度を低く抑える必要があると考えられた。また、閉鎖循環式においてもアンモニア態窒素濃度を低く抑えることにより、浮上サイズの小型化及び海水適応能の低下を抑制することができる可能性があるため、今後、ろ材等の検討を行い、尾叉長、体重、海水適応能を指標に評価し、かけ流し式と同等となるか確認が必要である。

循環加温システムの条件検討結果を踏まえた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。同手法が実現できれば、老部川サケふ化場における低水温による仔魚期の成長遅滞が改善される可能性があるため、今後、実証試験によりその効果を検証する必要がある。

なお、本試験では水温条件を統一することを目的としてヒーターを使用しており、循環飼育時の加温による成長促進効果について知見が得られていないため、次年度、ふ化場において検証を行うこととしたい。

謝 辞

本事業にご協力いただきました奥入瀬川鮭鱒増殖漁業協同組合、老部川内水面漁業協同組合の皆様感謝申し上げます。

文 献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 飯田真也 (2011) 仔魚育成用ネットリングの敷設条件の検討. SALMON情報, 5, 18-20.
- 10) BURY, N. R., F. B. EDDY AND G. A. CODD (1995) The effects of the cyanobacterium *Microcystis aeruginosa*, the cyanobacterial hepatotoxin microcystin-LR, and ammonia on growth rate and ionic regulation of brown trout. *J. Fish Biol.*, 46, 1042-1054.
- 11) 伴 真俊 (2014) サケ稚魚の質を評価する試み. SALMON情報, 8, 3-7.
- 12) 金子豊二 (2002) 浸透圧調節・回遊. 魚類生理学の基礎 (会田勝美編), 恒星社厚生閣, pp.215-232.
- 13) SMART, G. (1976) The effect of ammonia exposure on gill structure of the rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Fish Biol.*, 8, 471-475.