

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半循環式飼育の条件検討)

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、実用規模の浮上槽を用いて半循環式飼育における注水量及びヒーターによる加温効果について検討する。

材料と方法

(1) 試験場所

奥入瀬川鮭鱒増殖漁業協同組合相坂サケふ化場（奥入瀬川相坂サケふ化場）

(2) 供試卵

2019年12月18日及び19日に奥入瀬川鮭鱒増殖漁業協同組合切田サケふ化場において採卵・受精したサケ卵を使用した。受精後、切田サケふ化場に收容した。検卵後の発眼卵を積算水温 460~472℃・日まで奥入瀬川相坂サケふ化場のふ化槽において管理し、2020年1月27日に試験用の浮上槽に收容した。

(3) 半循環型サケ仔魚管理システム

既製品の浮上槽、32L コンテナ（アステージ株式会社製 セパレートバスケット#100）、マグネットポンプ（イワキ社製 レイシーRMD-551）、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 500W チタンヒーター（イワキ社製 レイシーSHI-0.5KW-100V）で構成され、32L コンテナの飼育水がポンプにより浮上槽の注水部へ送られる。奥入瀬川相坂サケふ化場の飼育用水の注水を伴う半循環式とした（図1）。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、①半循環式区（10L/分注水）、②半循環式区（5L/分注水）、③半循環式区（10L/分注水・加温あり）、④半循環式区（5L/分注水・加温あり）とした。①半循環式区（10L/分注水）は、注水量を10L/分とし、ヒーターによる加温を行わなかった。②半循環式区（5L/分注水）は、注水量を5L/分とし、ヒーターによる加温を行わなかった。③半循環式区（10L/分注水・加温あり）は、注水量を10L/分とし、500W ヒーターにより加温した。④半循環式区（5L/分注水・加温あり）は、注水量を5L/分とし、500W ヒーターにより加温した。対照区は、かけ流し式とした（表1）。

①~④半循環式区の循環水量を調整し、流量を50L/分とした。対照区は注水量を50L/分、流量を50L/分とした（表1）。

①~④試験区及び対照区の浮上槽に発眼卵を10万2千粒ずつ收容した。

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。水槽をかけ流しの飼育用水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。積算水温 900℃・日以上を目安に、2020 年 3 月 7 日 (40 日目) に①半循環式区 (10L/分注水)、②半循環式区 (5L/分注水) 及びかけ流し式区の稚魚 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。

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-Dwass 法により①半循環式区 (10L/分注水)、②半循環式区 (5L/分注水) 及びかけ流し式区の尾叉長について、Tukey-Kramer 法により①半循環式区 (10L/分注水)、②半循環式区 (5L/分注水) 及びかけ流し式区の体重について検定を行った。

参考データとして、③半循環式区 (10L/分注水・加温あり) の仔魚を 36 日目に池出しし、44 日目までかけ流し式で飼育して得られた稚魚及び④半循環式区 (5L/分注水・加温あり) の仔魚を 33 日目に池出しし、42 日目までかけ流し式で飼育して得られた稚魚を用いて上記方法により海水適応能試験及び魚体測定を行った。

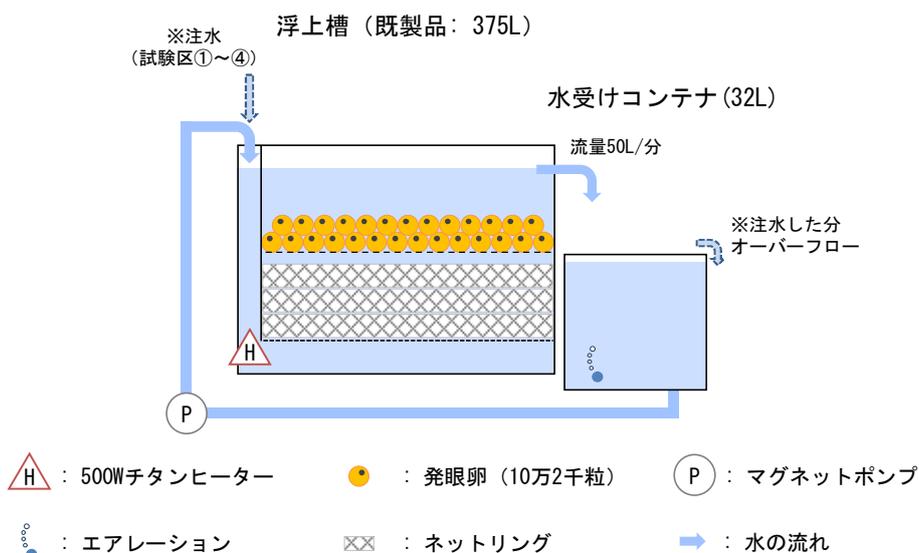


図 1. 奥入瀬川相坂サケふ化場における半循環型サケ仔魚管理システム概要

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	注水量	流量
① 半循環式区 (10L/分注水)	○	×	○	10L/分	50L/分
② 半循環式区 (5L/分注水)	○	×	○	5L/分	50L/分
③ 半循環式区 (10L/分注水・加温あり)	○	○ (500W)	○	10L/分	50L/分
④ 半循環式区 (5L/分注水・加温あり)	○	○ (500W)	○	5L/分	50L/分
かけ流し式区	×	×	×	50L/分	50L/分

結 果

本試験の供試卵には 2019 年 12 月 18 日及び 19 日採卵群が混合されているが、積算水温の算出には 12

月 18 日の採卵日を基準とした。

試験開始後 1 日目以降、①～④半循環式区及びかけ流し式区においてふ化が観察され、6 日目には仔魚の大部分がネットリング内へ降下した。

10 日目に①～④半循環式区及びかけ流し式区のふ化盆を撤去し、ふ化率を算出した。ふ化率は、①～④半循環式区及びかけ流し式区のすべてで 98%であった(表 2)。ふ化率算出時の積算水温は、①半循環式区(10L/分注水)が 586°C・日、②半循環式区(5L/分注水)が 586°C・日、③半循環式区(10L/分注水・加温あり)が 591°C・日、④半循環式区(5L/分注水・加温あり)が 596°C・日、かけ流し式区が 586°C・日であった(表 2)。

22 日目に、奥入瀬川相坂サケふ化場の河川水ポンプが稼働し、飼育用水に河川水が混合され、水温の低下が生じた(図 2)。

32 日目に④半循環式区(5L/分注水・加温あり)において後述する溶存酸素量の低下がみられたため、ヒーターを停止した。33 日目に試験を中止し、積算水温 872°C・日の浮上前の仔魚を浮上槽から飼育池へ池出した。同様に、36 日目に③半循環式区(10L/分注水・加温あり)において溶存酸素量の低下がみられたため、試験を中止し、積算水温 887°C・日の仔魚を浮上槽から飼育池へ池出した。以降、両試験区の参考データを収集した。

40 日目に①半循環式区(10L/分注水)、②半循環式区(5L/分注水)及びかけ流し式区を池出しし、44 日目までの累積斃死尾数を基に浮上率を算出した結果、①半循環式区(10L/分注水)が 73%、②半循環式区(5L/分注水)が 79%、かけ流し式区が 97%であった(表 2)。①～④半循環式区の斃死魚はネットリング内や浮上槽の下網に付着した状態で確認された。

池出しまでの平均水温は、①半循環式区(10L/分注水)が 11.0°C、②半循環式区(5L/分注水)が 11.0°C、かけ流し式区が 10.9°Cであり、同等であった(表 2、図 2)。池出し時の積算水温は、①半循環式区(10L/分注水)が 912°C・日、②半循環式区(5L/分注水)が 912°C・日、かけ流し式区が 909°C・日であった(表 2、図 3)。参考データとして、試験中止までの平均水温は③半循環式区(10L/分注水・加温あり)が 11.5°C、同日までの①半循環式区(10L/分注水)が 11.1°Cであり、0.4°C高かった。試験中止までの④半循環式区(5L/分注水・加温あり)は 12.1°C、同日までの②半循環式区(5L/分注水)は 11.1°Cであり、1.0°C高かった(表 2、図 2)。

試験期間中の溶存酸素量は、①半循環式区(10L/分注水)が 4.98～10.11mg/L、②半循環式区(5L/分注水)が 4.82～10.03mg/L、かけ流し式区が 7.78～11.36mg/L の範囲であった(図 4)。参考データとして、試験中止までの③半循環式区(10L/分注水・加温あり)の溶存酸素量は 4.70～9.93mg/L の範囲であった。③半循環式区(10L/分注水・加温あり)の試験中止前日の 35 日目は 5.07mg/L であった。④半循環式区(5L/分注水・加温あり)の溶存酸素量は 4.52～10.15mg/L の範囲であった。④半循環式区(5L/分注水・加温あり)では 33 日目に 4.88mg/L に低下したため、ヒーターを止めて対応した。①～④半循環式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(10L/分注水)が 6.4～6.9、②半循環式区(5L/分注水)が 6.4～6.9、かけ流し式区が 6.2～6.9 の範囲であった(図 5)。参考データとして、試験中止までの③半循環式区(10L/分注水・加温あり)の pH は 6.4～6.8、④半循環式区(5L/分注水・加温あり)は 6.3～7.0 の範囲であった。①～④半循環式区及びかけ流し式区において、pH の大きな変動はみられなかった(図 5)。

アンモニア態窒素濃度は、①半循環式区(10L/分注水)が 0.05～0.45mg/L、②半循環式区(5L/分注水)が 0.07～0.66mg/L、かけ流し式区が 0.00～0.07mg/L の範囲であった(図 6)。参考データとして、試験中止までの③半循環式区(10L/分注水・加温あり)のアンモニア態窒素濃度は 0.04～0.33mg/L、④半循環式区(5L/分注水・加温あり)は 0.08～0.68mg/L の範囲であった。①～④半循環式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¹⁾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、①半循環式区(10L/分注水)が0.001~0.022mg/L、②半循環式区(5L/分注水)が0~0.022mg/L、かけ流し式区が0~0.004mg/Lの範囲であった(図7)。参考データとして、試験中止までの③半循環式区(10L/分注水・加温あり)の亜硝酸態窒素濃度は0~0.005mg/L、④半循環式区(5L/分注水・加温あり)は0.002~0.075mg/Lの範囲であった。④半循環式区(5L/分注水・加温あり)の亜硝酸態窒素濃度は、25日目以降、水産用水基準²⁾である0.03mg/Lよりも高い値となった。①~③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⁾よりも低い値で推移した(図7)。

硝酸態窒素濃度は、①半循環式区(10L/分注水)が1.6~4.6mg/L、②半循環式区(5L/分注水)が1.2~4.6mg/L、かけ流し式区が1.6~4.8mg/Lの範囲であった(図8)。参考データとして、試験中止までの③半循環式区(10L/分注水・加温あり)の硝酸態窒素濃度は2.2~5.0mg/L、④半循環式区(5L/分注水・加温あり)は1.2~4.4mg/Lの範囲であった。①~④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³⁾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積算電気量は、①半循環式区(10L/分注水)のポンプが101kWh、②半循環式区(5L/分注水)のポンプが102kWhであった。参考データとして、試験中止までの③半循環式区(10L/分注水・加温あり)の積算電気量はヒーターが378kWh、ポンプが88kWhであり、④半循環式区(5L/分注水・加温あり)はヒーターが328kWh、ポンプが81kWhであった。積算電気料金は、1kWh=22円で計算すると、①半循環式区(10L/分注水)のポンプが2,222円、②半循環式区(5L/分注水)のポンプが2,244円であった。③半循環式区(10L/分注水・加温あり)はヒーターが8,316円、ポンプが1,936円であり、④半循環式区(5L/分注水・加温あり)はヒーターが7,216円、ポンプが1,782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、①半循環式区(10L/分注水)が73%、②半循環式区(5L/分注水)が78%、かけ流し式区が87%であった(表3、図9)。海水適応能試験期間中の平均水温は、①~②半循環式区及びかけ流し式区において10.8℃であった(表3、図10)。

稚魚60尾の魚体測定の結果、平均尾叉長±標準偏差は、①半循環式区(10L/分注水)が36.3±2.3mm、②半循環式区(5L/分注水)が36.6±2.6mm、かけ流し式区が37.4±2.1mmであり、①半循環式区(10L/分注水)とかけ流し式区の間有意差がみられた(Steel-Dwass法、 $p < 0.05$) (図11)。平均体重±標準偏差は、①半循環式区(10L/分注水)が0.32±0.06g、②半循環式区(5L/分注水)が0.33±0.06g、かけ流し式区が0.35±0.06gであり、群間に有意差がみられなかった(Tukey-Kramer法、 $p > 0.05$) (図12)。

参考データとして、36日目に③半循環式区(10L/分注水・加温あり)を池出し後、44日目の積算水温969℃・日までかけ流し式で飼育した群の人工海水移行48時間後の生残率は100%であり、海水適応能試験期間中の平均水温は10.5℃であった。平均尾叉長±標準偏差は、38.7±1.6mm、平均体重±標準偏差は、0.36±0.06gであった。33日目に④半循環式区(5L/分注水・加温あり)を池出し後、42日目の積算水温964℃・日までかけ流し式で飼育した群の人工海水移行48時間後の生残率は98%であり、海水適応能試験期間中の平均水温は10.7℃であった。平均尾叉長±標準偏差は、37.9±1.3mm、平均体重±標準偏差は、0.34±0.04gであった。

表 2. 仔魚管理期における半循環式飼育条件の検討結果

	① 半循環式区 (10L/分注水)	② 半循環式区 (5L/分注水)	③ 半循環式区 (10L/分注水・加温あり)	④ 半循環式区 (5L/分注水・加温あり)	かけ流し式区
親魚捕獲河川	奥入瀬川				
採卵年月日	2019年12月18日、19日				
検卵年月日	2020年1月14日、15日				
試験開始年月日	2020年1月27日				
平均卵重量 (g) (a)	0.244				
収容卵重量 (kg) (b)	25.0	25.0	25.0	25.0	25.0
収容卵数 (粒) (c: b/a*1,000)	102,459	102,459	102,459	102,459	102,459
ふ化率算出年月日	2020年2月6日				
ふ化率算出時積算水温 (°C・日)	586	586	591	596	586
死卵粒数 (粒) (d)	1,801	1,990	1,541	1,623	1,771
ふ化尾数 (尾) (e: c-d)	100,658	100,469	100,918	100,836	100,688
ふ化率 (%) (e/c*100)	98	98	98	98	98
池出し年月日	2020年3月7日	2020年3月7日	2020年3月3日	2020年2月29日	2020年3月7日
池出し時積算水温 (°C・日)	912	912	887	872	909
累積死尾数 (尾) (f)	26,957	21,324	13,386	32,757	3,386
浮上尾数 (尾) (g: e-f)	73,701	79,145	87,532	68,080	97,302
浮上率 (%) (g/e*100)	73	79	87	68	97
池出しまでの平均水温 (°C)	11.0	11.0	11.5	12.1	10.9

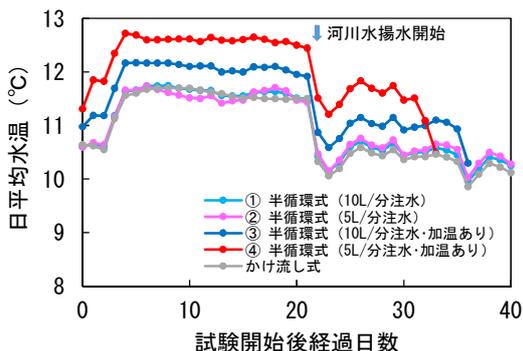


図 2. 水温の推移

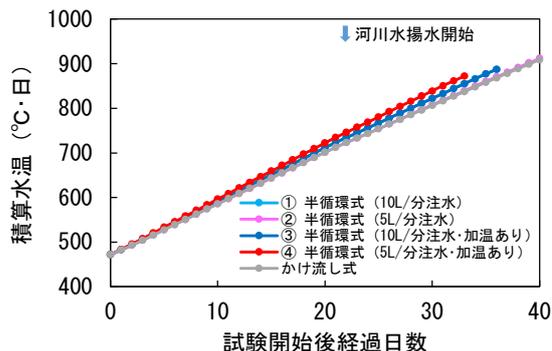


図 3. 積算水温の推移

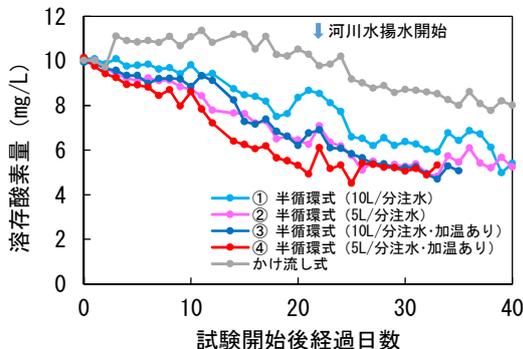


図 4. 溶存酸素量の推移

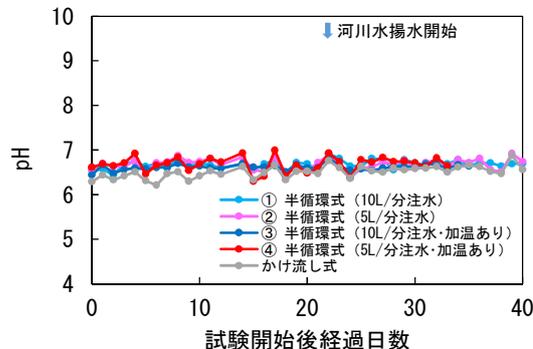


図 5. pHの推移

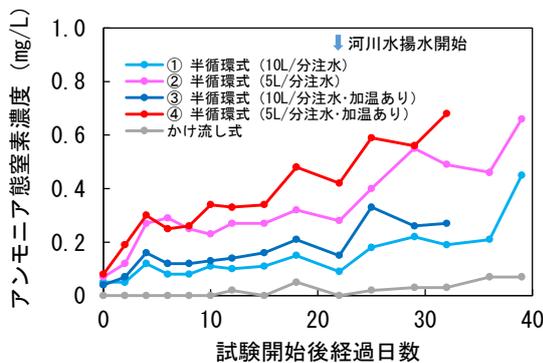


図 6. アンモニア態窒素濃度の推移

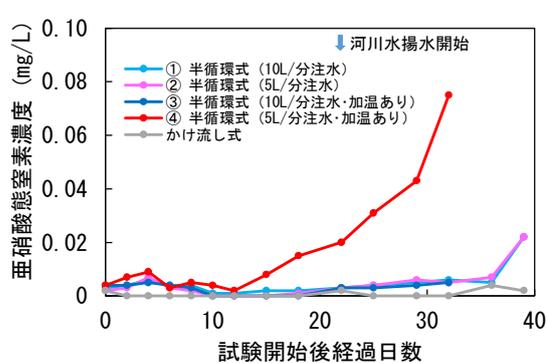


図 7. 亜硝酸態窒素濃度の推移

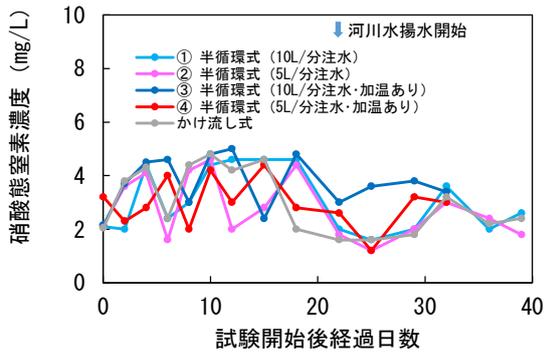


図 8. 硝酸態窒素濃度の推移

表 3. 海水適応能試験結果

	① 半循環式区 (10L/分注水)	② 半循環式区 (5L/分注水)	かけ流し式区
試験開始年月日	2020年3月7日	2020年3月7日	2020年3月7日
塩分	33.5	33.5	33.5
供試尾数 (尾) (a)	60	60	60
試験終了年月日	2020年3月9日	2020年3月9日	2020年3月9日
試験中平均水温 (°C)	10.8	10.8	10.8
斃死尾数 (尾) (b)	16	13	8
生残率 (%) ((a-b) / a * 100)	73	78	87

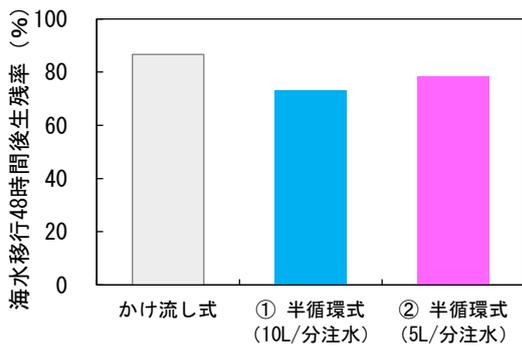


図 9. 海水適応能試験結果

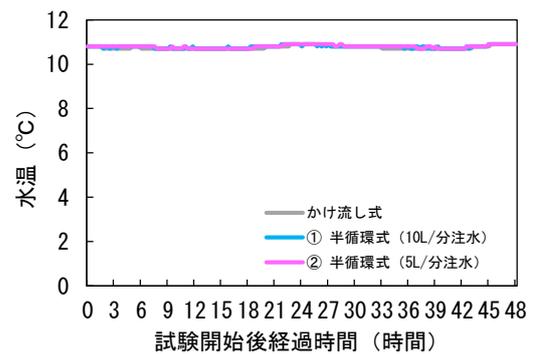
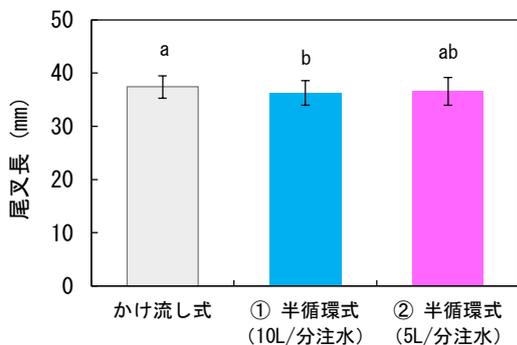
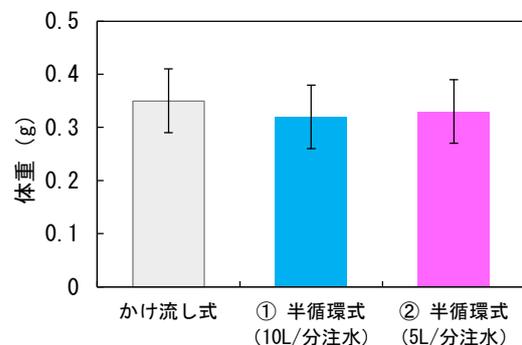


図 10. 海水適応能試験中の水温の推移



(Steel-Dwass法による多重比較, $p < 0.05$)
図 11. 尾叉長測定結果

(平均尾叉長±標準偏差)
異なるアルファベットは有意差があることを示す。



(Tukey-Kramer法による多重比較, $p > 0.05$)
図 12. 体重測定結果

(平均体重±標準偏差)

考 察

2018年度に内水面研究所において行った仔魚管理期における循環加温飼育条件の検討では、注水量が稚仔魚の生残率に影響する可能性が示された⁴⁾ため、実用規模の浮上槽を用いた半循環型サケ仔魚管理システムにおいて注水量の検討を行うとともに、循環飼育時の加温による成長促進効果について知見を集積した。

1. 注水量の影響

①半循環式区（10L/分注水）、②半循環式区（5L/分注水）及びかけ流し式区（50L/分注水）の比較により、注水量の違いによる影響を検討した。

ふ化率は、①半循環式区（10L/分注水）、②半循環式区（5L/分注水）及びかけ流し式区のすべてで98%であり同等であった。浮上率は、①半循環式区（10L/分注水）が73%、②半循環式区（5L/分注水）が79%、かけ流し式区が97%であり、①半循環式区（10L/分注水）及び②半循環式区（5L/分注水）において浮上率の低下がみられた。注水量の減少に伴う浮上率の低下は示されなかった。①半循環式区（10L/分注水）及び②半循環式区（5L/分注水）において浮上率が低下した原因の特定には至らなかったが、斃死魚がネットリング内や浮上槽の下網に付着した状態で確認されたことから、目詰まりが生じ、通水の妨げとなっていた可能性が考えられた。また、①半循環式区（10L/分注水）、②半循環式区（5L/分注水）及びかけ流し式区に共通して、時間経過に伴う溶存酸素量の低下傾向がみられ、特に①半循環式区（10L/分注水）及び②半循環式区（5L/分注水）においては、5mg/Lを下回る日があったことから、酸素不足による斃死が生じた可能性も考えられた。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⁵⁾。浮上稚魚の魚体測定の結果、①半循環式区（10L/分注水）とかけ流し式区の尾叉長を除いて有意差がなく、半循環式に共通した浮上サイズの小型化はみられず、海水適応能は①半循環式区（10L/分注水）、②半循環式区（5L/分注水）及びかけ流し式区において同等であり、半循環式による著しいコンディションの低下は観察されなかったものの、注水量の影響の詳細について明らかにするためには、溶存酸素量に不足がない状態で再検討を行う必要がある。

2. 加温による成長促進効果

①半循環式区（10L/分注水）及び③半循環式区（10L/分注水・加温あり）、②半循環式区（5L/分注水）及び④半循環式区（5L/分注水・加温あり）の比較により、500Wヒーターによる加温効果を検討した。③半循環式区（10L/分注水・加温あり）の平均水温は、①半循環式区（10L/分注水）よりも0.4℃高く、④半循環式区（5L/分注水・加温あり）の平均水温は、②半循環式区（5L/分注水）よりも1.1℃高かった。また、同規格のヒーターを用いた場合、5L/分注水の方が10L/分注水よりも0.6℃高く、注水量が少ない方が水温が高くなることが示された。一方で、ヒーターを使用した③半循環式区（10L/分注水・加温あり）及び④半循環式区（5L/分注水・加温あり）は浮上前に酸素不足となり試験を中止したため、稚魚のサイズや海水適応能を比較するのが困難であった。加温による成長促進効果の詳細について明らかにするためには、溶存酸素量に不足がない状態で再検討を行う必要がある。

3. 浮上槽の課題

本試験では、浮上槽を用いて半循環型サケ仔魚管理システムを構築した。浮上槽は、養魚池に比べ少ない労力で簡便に稚魚を生産できることから、効率的な管理方法である一方、短所として、使用する用水の浮泥等の混入を遮断し清浄に保つことが必須である点、下網の目詰まりによる槽内の偏流や停止からの窒息死をおこしやすい点、浮上槽内（ネットリング内）の仔魚の状態を観察することが困難である点が指摘されている⁶⁾。本試験においても試験期間中の浮上槽内部の様子が確認できず、斃死状態の確認が困難で

あった。上記の通り、池出し時にネットリング内や下網に付着している斃死魚が観察されたことから、目詰まりが生じ、通水の妨げとなっていた可能性が考えられた。浮上槽を用いた半循環型サケ仔魚管理システムの導入を検討する際には、上記の短所への対策を行った上で技術開発を進める必要がある。

4. 総合考察

実用規模の浮上槽を用いて 10L/分または 5L/分の注水を伴う半循環式で飼育管理された稚魚は、かけ流し式と同程度の体サイズとなり、海水適応能を持つ可能性が示された。今後、溶存酸素量を増やすための手法や斃死魚による目詰まり対策を検討することにより、ふ化場に導入可能なシステムとなると考えられた。

本試験で用いた半循環型サケ仔魚管理システムでは、注水量を少なくすると加温効果が高まることが示され、成長が早まる可能性がある。一方で、注水量が少なすぎると生残率やコンディションの低下を引き起こしかねない。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。

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の皆様に感謝申し上げます。

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) 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.
- 5) 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.
- 6) 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. さけ・ます資源管理センター技術情報, 172, 31-38.