

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閉鎖循環式飼育のろ材の検討)

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、閉鎖循環式飼育におけるろ材の違いによる水質及び仔魚管理への影響を検討する。

材料と方法

(1) 試験場所

内水面研究所

(2) 供試卵

2019年12月19日に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482℃・日まで奥入瀬川サケふ化場のふ化槽において管理し、2020年1月29日に内水面研究所に輸送し試験を開始した。

(3) 閉鎖循環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收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（太平洋セメント社製 パワーハウスベーシックソフトタイプ微酸性Sサイズ）またはホタテ貝殻チップを使用した。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、冷気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閉鎖循環式セラミック製ろ材区、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区、③閉鎖循環式混合ろ材区とした。①閉鎖循環式セラミック製ろ材区は、ろ過槽用コンテナにセラミック製ろ材を20L收容した。②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区は、ろ過槽用コンテナにホタテ貝殻チップろ材を20L收容した。③閉鎖循環式混合ろ材区は、ろ過槽用コンテナにセラミック製ろ材及びホタテ貝殻チップろ材を各10L收容した。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4千粒を收容した。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。非乖離アンモニア濃度の算出にはEmerson et al. (1975)¹⁾の方法を用いた。

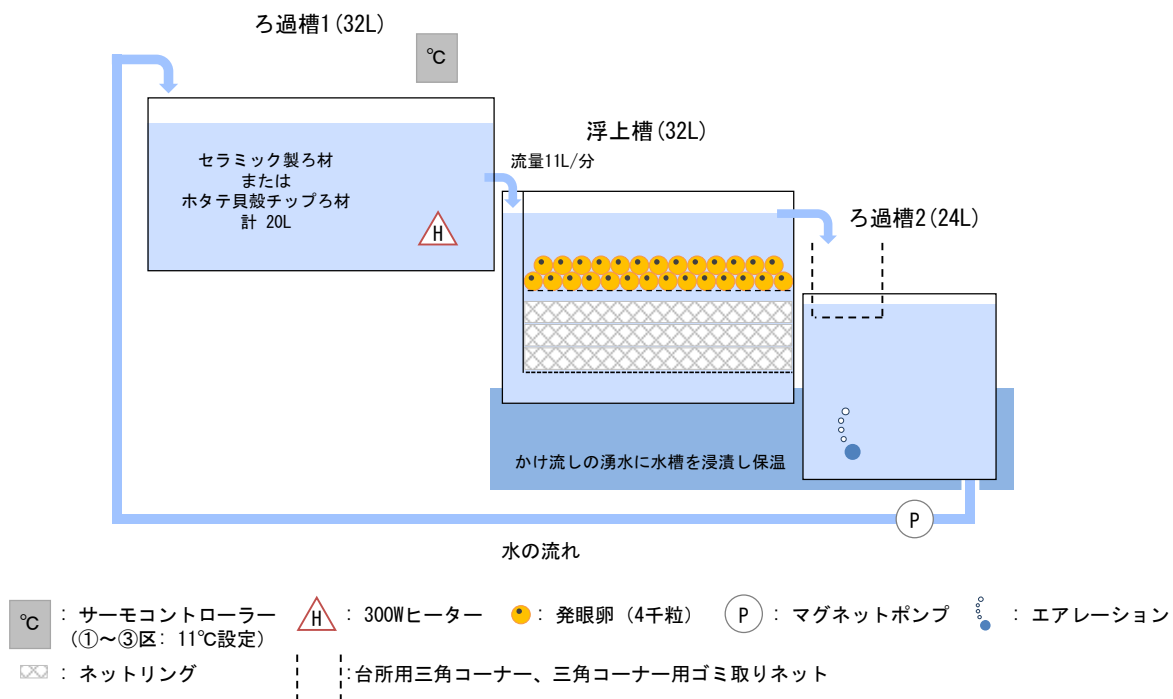


図 1. 内水面研究所における閉鎖循環型サケ仔魚管理システム概要

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	ろ材	注水
① 閉鎖循環式 セラミック製ろ材区	○	○	○	○ (セラミック製)	×
② 閉鎖循環式 ホタテ貝殻チップろ材区	○	○	○	○ (ホタテチップ)	×
③ 閉鎖循環式 混合ろ材区	○	○	○	○ (セラミック製+ホタテチップ)	×
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。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 4 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、塩分 33.5psu の人工海水を作製した。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。積算水温 900°C・日以上を目安に、2020 年 3 月 13 日 (44 日目) に 3 試験区及びかけ流し式区の稚魚 60 尾を塩分 33.5psu の人工海水に移行し、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 3 試験区及びかけ流し式区の尾叉長について、Scheffe の方法により 3 試験区及びかけ流し式区の体重について検定を行った。

結 果

試験開始後 1 日目に 3 試験区及びかけ流し式区においてふ化が開始し、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。

8 日目にふ化盆を撤去し、ふ化率を算出した。ふ化率は、①閉鎖循環式セラミック製ろ材区及び②閉鎖

循環式ホタテ貝殻チップろ材区が 100%、③閉鎖循環式混合ろ材区及びかけ流し式区が 99%であった（表 2）。

52 日目に浮上率を算出した結果、①閉鎖循環式セラミック製ろ材区が 82%、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区が 40%、③閉鎖循環式混合ろ材区が 49%、かけ流し式区が 101%であった（表 2、図 2）。かけ流し式区では推定精度の問題により、100%以上となった。また、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区及び③閉鎖循環式混合ろ材区において、浮上せずに浮上槽底部に横たわった状態で留まっている稚魚が観察された（付図 1）。それら非浮上稚魚を含めた生残率は②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区が 81%、③閉鎖循環式混合ろ材区が 88%であった（表 2、図 2）。

浮上率算出までの平均水温は、①閉鎖循環式セラミック製ろ材区が 11.1℃、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区が 11.3℃、③閉鎖循環式混合ろ材区が 11.0℃、かけ流し式区が 11.1℃であった（表 2、図 3）。

浮上率算出時の試験開始後経過日数は 3 試験区及びかけ流し式区において 52 日目であり、浮上率算出時の積算水温は、①閉鎖循環式セラミック製ろ材区が 1,058℃・日、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区が 1,068℃・日、③閉鎖循環式混合ろ材区が 1,056℃・日、かけ流し式区が 1,059℃・日であった（表 2、図 4）。

試験期間中の溶存酸素量は、①閉鎖循環式セラミック製ろ材区が 8.71～10.86mg/L、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区が 8.31～10.89mg/L、③閉鎖循環式混合ろ材区が 8.92～10.90mg/L、かけ流し式区が 9.55～10.57mg/L の範囲であった。3 試験区及びかけ流し式区において、試験期間中 8mg/L 以上で推移した（図 5）。

pH は、①閉鎖循環式セラミック製ろ材区が 5.7～7.7、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区が 7.3～7.9、③閉鎖循環式混合ろ材区が 7.3～8.0、かけ流し式区が 6.5～7.1 の範囲であった（図 6）。①閉鎖循環式セラミック製ろ材区の pH は、0 日目以降、7～8 の間を推移していたが、14～21 日目にかけて低下し、それ以降、6 前後を推移した。②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区及び③閉鎖循環式混合ろ材区の pH は 8 日目に 8 前後になって以降、緩やかに低下しながら 7 台を推移した。かけ流し式区は pH7 前後で推移した（図 6）。

アンモニア態窒素濃度は、①閉鎖循環式セラミック製ろ材区が 0～20.8mg/L、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区が 0～2.0mg/L、③閉鎖循環式混合ろ材区が 0～1.5mg/L、かけ流し式区が 0～0.04mg/L の範囲であった（図 7）。①閉鎖循環式セラミック製ろ材区のアンモニア態窒素濃度は、44 日目まで時間経過に伴う増加傾向がみられた。②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区及び③閉鎖循環式混合ろ材区は同様の変動傾向がみられ、4 日目まで増加し最高値となり、13 日目以降は 0.2mg/L 以下で推移した（図 7）。3 試験区のアンモニア態窒素濃度は 0 日目を除いた試験期間中、水産用水基準²⁾である 0.01mg/L よりも高い値で推移した。かけ流し式区のアンモニア態窒素濃度は、34 日目以降、水産用水基準²⁾よりも高い値で推移した（図 7）。

非乖離アンモニア濃度は、①閉鎖循環式セラミック製ろ材区が 0～0.029mg/L、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区が 0～0.023mg/L、③閉鎖循環式混合ろ材区が 0～0.029mg/L の範囲であり、かけ流し式区は 0mg/L であった（図 8）。非乖離アンモニア濃度の最高値は、①閉鎖循環式セラミック製ろ材区が 8 日目、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区が 4 日目、③閉鎖循環式混合ろ材区が 4 日目に観測された（図 8）。①閉鎖循環式セラミック製ろ材区では 16 日目、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区では 8 日目、③閉鎖循環式混合ろ材区では 10 日目にかけて減少して以降、0.01mg/L 以下で推移した（図 8）。

亜硝酸態窒素濃度は、①閉鎖循環式セラミック製ろ材区が 0～16mg/L、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区が 0.002～0.348mg/L、③閉鎖循環式混合ろ材区が 0.002～1.09mg/L、かけ流し式区が 0～0.002mg/L の範囲であった（図 9）。亜硝酸態窒素濃度の最高値は、①閉鎖循環式セラミック製ろ材区では 20 日目、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区では 4 日目、③閉鎖循環式混合ろ材区では 8 日目に観測された（図

9)。3試験区の亜硝酸態窒素濃度は2日目以降、水産用水基準³⁾である0.03mg/Lよりも高い値で推移した(図9)。かけ流し式区は試験期間中、水産用水基準³⁾以下であった(図9)。

硝酸態窒素濃度は、①閉鎖循環式セラミック製ろ材区が3.0~48mg/L、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区が3.2~100mg/L、③閉鎖循環式混合ろ材区が4.4~90mg/L、かけ流し式区が2.0~4.8mg/Lの範囲であった(図10)。硝酸態窒素濃度は、①閉鎖循環式セラミック製ろ材区では10日目以降、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区では6日目以降、③閉鎖循環式混合ろ材区では4日目以降、水産用水基準⁴⁾である9mg/Lよりも高い値となった(図10)。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⁴⁾以下であった(図10)。

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閉鎖循環式セラミック製ろ材区が40%、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区が2%、③閉鎖循環式混合ろ材区が8%、かけ流し式区が97%であった(表3、図11)。海水適応能試験期間中の平均水温は、①閉鎖循環式セラミック製ろ材区が10.8℃、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区が10.7℃、③閉鎖循環式混合ろ材区が10.8℃、かけ流し式区が11.1℃であった(表3、図12)。

稚魚60尾の魚体測定の結果、平均尾叉長±標準偏差は、①閉鎖循環式セラミック製ろ材区が34.8±2.9mm、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区が32.3±1.5mm、③閉鎖循環式混合ろ材区が33.3±1.8mm、かけ流し式区が39.0±2.0mmであり、かけ流し式区と比較して①閉鎖循環式セラミック製ろ材区、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区、③閉鎖循環式混合ろ材区において有意に小さく、①閉鎖循環式セラミック製ろ材区と比較して②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区、③閉鎖循環式混合ろ材区において有意に小さく、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区と比較して③閉鎖循環式混合ろ材区において有意に大きかった(Steel-Dwass法による多重比較、 $p < 0.01$) (図13)。平均体重±標準偏差は、①閉鎖循環式セラミック製ろ材区が0.27±0.06g、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区が0.25±0.03g、③閉鎖循環式混合ろ材区が0.27±0.04g、かけ流し式区が0.35±0.07gであり、かけ流し式区と比較して①閉鎖循環式セラミック製ろ材区、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区、③閉鎖循環式混合ろ材区において有意に小さかった(Scheffeの方法による多重比較、 $p < 0.01$) (図14)。

表2. 仔魚管理期における閉鎖循環式飼育のろ材の検討結果

	① 閉鎖循環式 セラミック製ろ材区	② 閉鎖循環式 ホタテ貝殻チップろ材区	③ 閉鎖循環式 混合ろ材区	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19日			
検卵年月日	2020年1月15日			
試験開始年月日	2020年1月29日			
平均卵重量(g) (a)	0.244			
収容卵重量(kg) (b)	1.00	1.00	1.00	1.00
収容卵数(粒) (c: b/a*1,000)	4,098	4,098	4,098	4,098
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)	569	570	568	570
死卵粒数(粒) (d)	16	16	21	21
ふ化尾数(尾) (e: c-d)	4,082	4,082	4,077	4,077
ふ化率(%) (e/c*100)	100	100	99	99
浮上率算出年月日	2020年3月21日			
浮上率算出時積算水温(°C・日)	1,058	1,068	1,056	1,059
浮上尾数(尾) (f)	3,334	1,644	2,007	4,124
浮上率(%) (f/e*100)	82	40	49	101*
非浮上尾数(尾) (g)	0	1,667	1,589	0
非浮上稚魚を含めた生残率(%) ((f+g)/e*100)	82	81	88	101*
浮上率算出までの平均水温(°C)	11.1	11.3	11.0	11.1

* 推定精度の問題により100%以上となった。

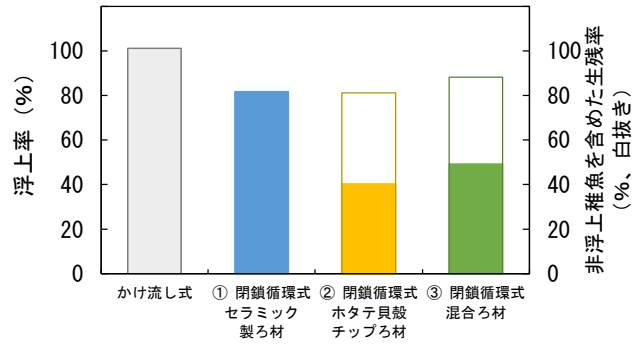


図 2. 浮上率及び非浮上稚魚を含めた生残率

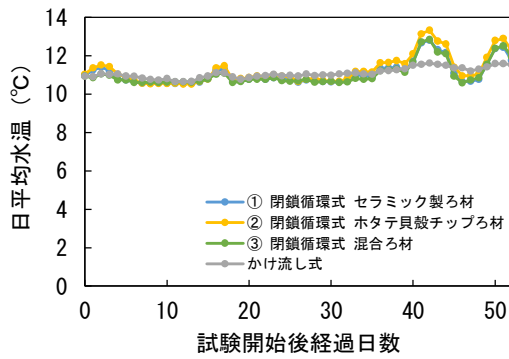


図 3. 水温の推移

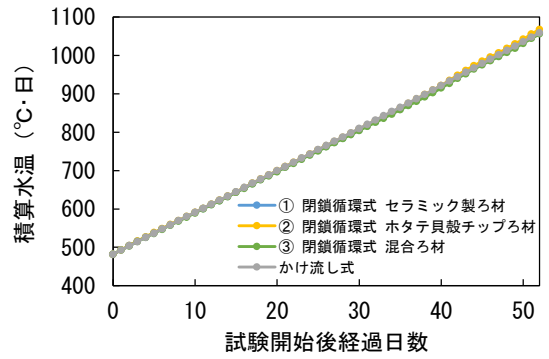


図 4. 積算水温の推移

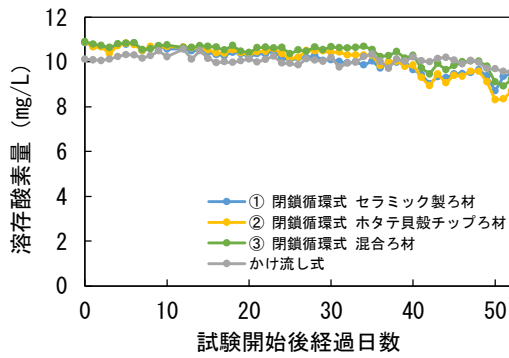


図 5. 溶存酸素量の推移

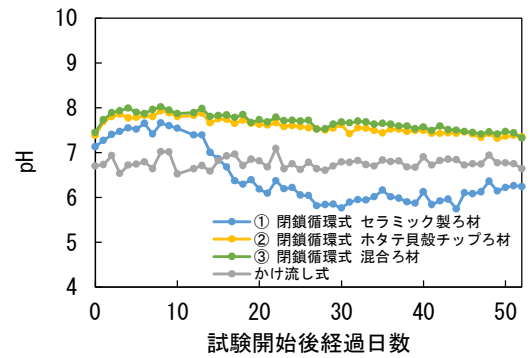


図 6. pH の推移

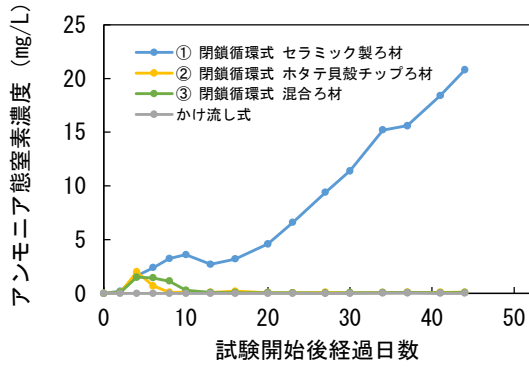


図 7. アンモニア態窒素濃度の推移

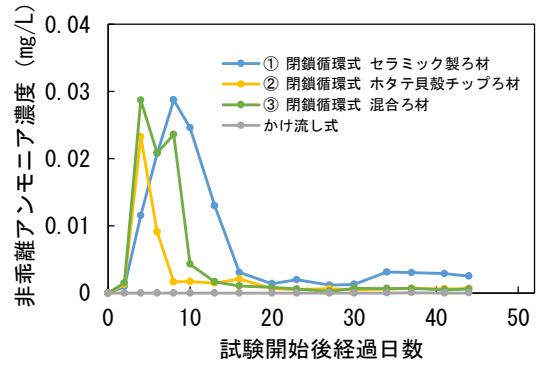


図 8. 非乖離アンモニア濃度の推移

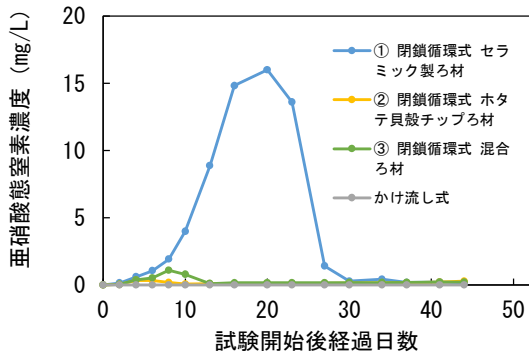


図 9. 亜硝酸態窒素濃度の推移

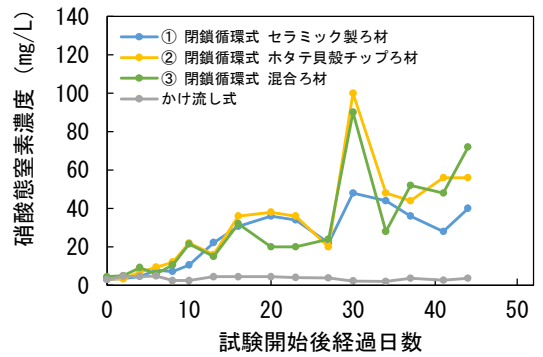


図 10. 硝酸態窒素濃度の推移

表 3. 海水適応能試験結果

	① 閉鎖循環式 セラミック製ろ材区	② 閉鎖循環式 ホタテ貝殻チップろ材区	③ 閉鎖循環式 混合ろ材区	かけ流し式区
試験開始年月日	2020年3月13日			
塩分	33.5	33.5	33.5	33.5
供試尾数 (尾) (a)	60	60	60	60
試験終了年月日	2020年3月15日			
試験中平均水温 (°C)	10.8	10.7	10.8	11.1
斃死尾数 (尾) (b)	36	59	55	2
生存率 (%) ((a-b)/a*100)	40	2	8	97

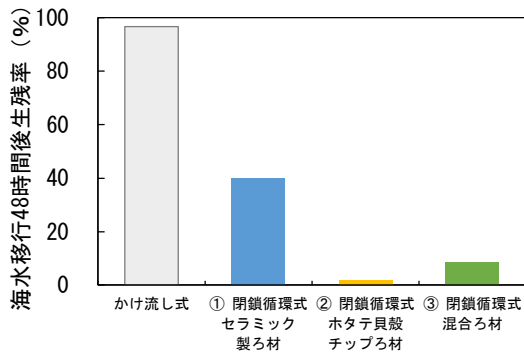


図 11. 海水適応能試験結果

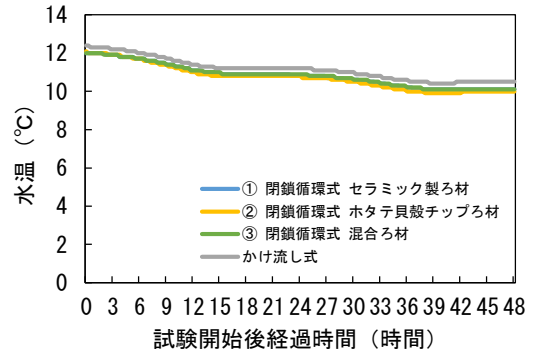
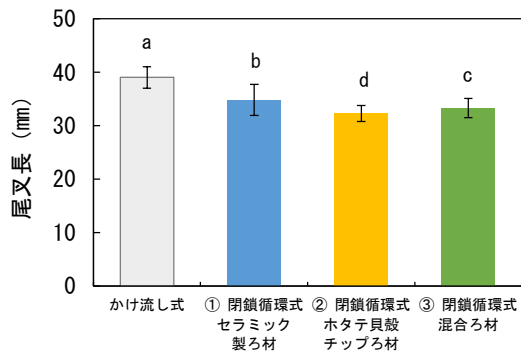


図 12. 海水適応能試験中の水温の推移

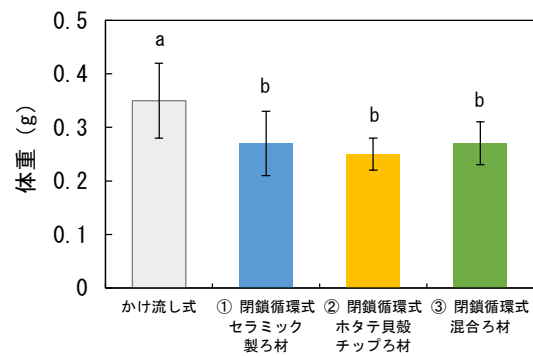


(Steel-Dwass法による多重比較, $p < 0.01$)

図 13. 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。



(Scheffeの方法による多重比較, $p < 0.01$)

図 14. 体重測定結果

(平均体重±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。

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、閉鎖循環式飼育により、浮上サイズの小型化と海水適応能の低下が生じ、アンモニア態窒素濃度を低く抑えることにより小型化と海水適応能の低下を抑制できる可能性が考えられた⁵⁾。本試験では、閉鎖循環式飼育におけるろ材の違いによる水質及び仔魚管理への影響を検討した。試験に使用するろ材として、2018年度の条件検討⁵⁾に使用したものと同規格のセラミック製ろ材及び2015年度の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⁶⁾において使用されたホタテ貝殻チップを選択し、それぞれ単独または混合して使用した。

1. 水質への影響

3試験区のpH、アンモニア態窒素濃度の変動傾向は2種類に類型化された。

①閉鎖循環式セラミック製ろ材区のpHは、試験期間の序盤は7~8の間を推移していたが、中盤にかけて低下し終盤まで6前後で推移した一方、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区及び③閉鎖循環式混合ろ材区のpHは試験期間の序盤に8前後になって以降、終盤まで緩やかに低下しながら7台を推移した。

アンモニア態窒素濃度は、①閉鎖循環式セラミック製ろ材区では、試験期間の終盤まで時間経過に伴って増加し、20mg/Lを超えた一方、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区及び③閉鎖循環式混合ろ材区では同様の変動傾向がみられ、試験期間の序盤にそれぞれの最高値となる2.0mg/L、1.5mg/Lとなって以降減少し、中盤以降は0.2mg/L以下で推移した。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それほど強くないが、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²⁾。

上記のようにpH及びアンモニア態窒素濃度の変動傾向は、「①閉鎖循環式セラミック製ろ材区」と「②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区及び③閉鎖循環式混合ろ材区」で異なったが、非乖離アンモニア濃度の変動傾向は、3試験区に共通して試験期間中の序盤に最高値となり、中盤から終盤にかけて0.01mg/L以

下で推移した点において類似していた。非解離アンモニア濃度の安全な濃度について、0.0125mg/Lが多くの文献で最高安全濃度の指標として引用されている⁹⁾。本試験の3試験区では、非解離アンモニア濃度が試験期間中の序盤に指標値の2~3倍となっていた。

亜硝酸態窒素濃度は、①閉鎖循環式セラミック製ろ材区では、試験中盤まで増加がみられた一方、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区及び③閉鎖循環式混合ろ材区では同様の変動傾向がみられ、試験序盤に最高値となった。3試験区の亜硝酸態窒素濃度は2日目以降、水産用水基準³⁾である0.03mg/Lよりも高い値で推移した。亜硝酸は、淡水魚では、亜硝酸イオンが体内に入りやすく、血液中のヘモグロビンと結合して酸素の運搬を阻害し呼吸障害（メトヘモグロビン血症）を引き起こしやすくなる⁷⁾。また、亜硝酸は低酸素条件によって毒性が強まる³⁾ことに留意が必要である。

2. 仔魚管理への影響

閉鎖循環型サケ仔魚管理システムを用いた3試験区において、かけ流し式と比較して、浮上率の低下、浮上サイズの小型化、海水適応能の低下が生じた。また、ホタテ貝殻チップろ材を単独使用した②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区において、セラミック製ろ材を単独使用した①閉鎖循環式セラミック製ろ材区よりも浮上率、浮上サイズ、海水適応能の低下がみられた。③閉鎖循環式混合ろ材区は、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区より高く、①閉鎖循環式セラミック製ろ材区より低い浮上率、浮上サイズ、海水適応能であった。

2018年度に内水面研究所において行った閉鎖循環式飼育試験では、アンモニア態窒素が高濃度になることにより、浮上サイズの小型化と海水適応能の低下が生じる可能性が考えられた⁵⁾。上記の通り、本試験の②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区は、①閉鎖循環式セラミック製ろ材区よりもアンモニア態窒素濃度が低い値で抑えられたにもかかわらず、①閉鎖循環式セラミック製ろ材区よりも浮上サイズが小型化し、海水適応能が低下したため、アンモニア態窒素以外の要因も関与している可能性が考えられた。

また、②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区及び③閉鎖循環式混合ろ材区において浮上せずに浮上槽底部に横たわった状態で留まっている非浮上稚魚が観察された。両区に共通するホタテ貝殻チップろ材の使用に起因する水質の変化により、稚魚の正常な浮上に支障をきたした可能性が考えられた。ホタテ貝殻チップろ材の使用により、上記の通り、魚類への毒性を有するアンモニア態窒素濃度及び亜硝酸態窒素濃度は①閉鎖循環式セラミック製ろ材区よりも低く抑えられた一方で、pHが高まっていたことから、高pHにより非浮上魚が生じた可能性が考えられた。今後、因果関係を明らかにするためには高pHにより非浮上魚が生じるか検証する必要がある。

3. 総合考察

本試験におけるろ材の検討結果から、かけ流し式と同程度の浮上率、体サイズ及び海水適応能を有する稚魚となる閉鎖循環式飼育法の確立には至らなかった。閉鎖循環式飼育において、ホタテ貝殻チップを使用することにより、セラミック製ろ材単独使用よりもアンモニア態窒素濃度を低く抑えることが可能となった一方で、浮上への支障をきたす可能性が示された。よって、閉鎖循環式飼育におけるホタテ貝殻チップの単独使用は、サケの仔魚管理に不適であると考えられた。

セラミック製ろ材及びホタテ貝殻チップろ材を同体積混合して使用した場合、それぞれを単独で使用した場合の中間的な体サイズ及び海水適応能となった。両ろ材の混合比率を変えることにより最適化される可能性が残されており、その場合にセラミック製ろ材単独使用以上で、かけ流し式と同程度の浮上率、体サイズ及び海水適応能となるか、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は感謝申し上げます。

文 献

- 1) EMERSON, K. R., R. C. RUSSO, R. E. LUND, and R. V. THURSTON (1975) Aqueous ammonia equilibrium calculations: effect of pH and temperature. *J. Fish. Res. Board Can.*, 32, 2379-2383.
- 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) 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.
- 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) 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. 浮上率算出時に観察された非浮上稚魚

(左: ②閉鎖循環式ホタテ貝殻チップろ材区、右: ③閉鎖循環式混合ろ材区)