

# 未来につなぐさけ漁業推進事業 (閉鎖循環型サケ卵管理システム実証試験)

松谷 紀明<sup>1</sup>

## 目 的

サケ稚魚の適期放流に向け、低水温用水に起因する成長遅滞解消のため、閉鎖循環型サケ卵管理システムを用いた加温飼育により、発眼期までの期間を短縮できることを実証する。

## 材料と方法

### 1. 閉鎖循環型サケ卵管理システム実証試験 1 回目

#### (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

新井田川漁業協同組合サケふ化場において 2016 年 11 月 18 日に採卵したサケの受精卵 30 万粒を老部川サケふ化場に運搬して試験に使用した。

#### (3) 閉鎖循環型サケ卵管理システム

壁面に断熱材（ダウ化工株式会社製 スタイロフォーム IB 25mm）を貼り付けた増収型アトキンス式ふ化槽 3 基、マグネットポンプ（イワキ社製 レイシーRMD-401）、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）、サーモコントローラー（イワキ社製 レイシーTC-101）、予め硝化細菌を付与したセラミック製ろ材 40L（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）で構成され、最下段で加温された飼育水がポンプにより最上段の濾過槽へ送られ、高低差で受精卵が収容された水槽へ注水される（図 1）。

#### (4) 試験区及び対照区の設定条件

試験区では、循環システムの中段アトキンス式ふ化槽 B、C 区に受精卵 10 万粒ずつ計 20 万粒収容し、水温 12℃に設定した。対照区は、河川水かけ流し式の増収型アトキンス式ふ化槽に受精卵 10 万粒収容した。

注水量は、試験区 40ℓ/分、対照区 37ℓ/分とした。試験区において、飼育水の白濁など水質悪化の兆候がみられた場合には、適宜換水を行った。

それぞれの水槽に自記式水温計（Onset 社製 TidbiTv2）を設置し、5 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。発眼までの積算水温を 240℃・日、検卵までの積算水温を 300℃・日として、試験区と対照区の飼育日数について比較した。

発眼卵の平均重量は、試験区では 124 粒、対照区では 125 粒の重量を平均して求めた。

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）及びポータブル吸光光度計（HACH 社製 DR900）を使って適宜測定した。

---

<sup>1</sup> 地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所

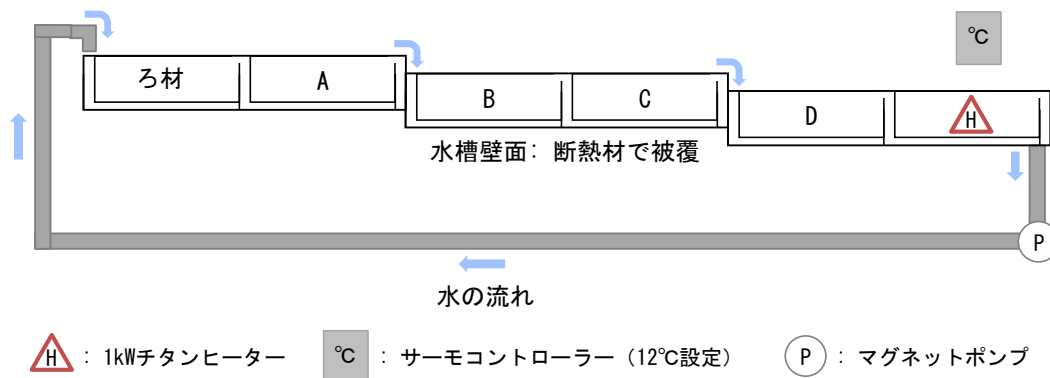


図 1. 老部川サケふ化場における閉鎖循環型サケ卵管理システム概要

## 2. 閉鎖循環型サケ卵管理システム実証試験 2 回目

### (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

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）で 2016 年 12 月 22 日に採卵したサケの受精卵 60 万粒を老部川サケふ化場に運搬して試験に使用した。

### (3) 閉鎖循環型サケ卵管理システム

1. で使用した閉鎖循環型サケ卵管理システム（図 1）を使用した。

### (4) 試験区及び対照区の設定条件

試験区では、循環システムの中段アトキンス式ふ化槽 A～D 区に受精卵 12 万粒ずつ計 48 万粒収容し、水温 12℃に設定した。対照区は、河川水と地下水の混合水かけ流し式（以下、混合水かけ流し式）のボックス型ふ化槽に受精卵 12 万粒収容した。

注水量は、試験区 40ℓ/分、対照区 50ℓ/分とした。試験区において、飼育水の白濁など水質悪化の兆候がみられた場合には、適宜換水を行った。

それぞれの水槽に自記式水温計（Onset 社製 TidbiTv2）を設置し、5 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。発眼率までの積算水温を 240℃・日、検卵までの積算水温を 300℃・日として、試験区と対照区の飼育日数について比較した。

発眼卵の平均重量は、試験区では 128 粒、対照区では 134 粒の重量を平均して求めた。

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）及びポータブル吸光光度計（HACH 社製 DR900）を使って適宜測定した。

## 結 果

### 1. 閉鎖循環型サケ卵管理システム実証試験 1 回目

実証試験 1 回目では、試験開始後（以下、同じ）4 日目に閉鎖循環式区において飼育水が白濁する現象が生じたため、換水した。また、13 日目に緩やかに攪拌した。

検卵までの平均水温は、閉鎖循環式区が 11.9℃、河川水かけ流し式区が 6.4℃であり、閉鎖循環式区の方が高い水温で推移した（表 1、図 2）。

発眼の目安となる積算水温 240°C・日への到達日は、閉鎖循環式区が 21 日目、河川水かけ流し式区が 37 日目であり、16 日短縮された。閉鎖循環式区の検卵は、27 日目に積算水温 322°C・日で行った。河川水かけ流し式区の検卵は、49 日目の積算水温 310°C・日で行った（表 1、図 3）。検卵を行った積算水温が閉鎖循環式区と河川水かけ流し式区で異なるため、便宜的に 300°C・日に達した日で比較すると、閉鎖循環式区では 23 日短縮された。閉鎖循環式区は、検卵後に再び閉鎖循環型サケ卵管理システムに収容し、29 日目に積算水温 346°C・日で池散布した。

発眼卵の平均重量は、閉鎖循環式区が 0.25g、河川水かけ流し式区が 0.23g であった（表 1）。

発眼率は閉鎖循環式区が 94%、河川水かけ流し式区が 94% であり、同等であった（表 1）。

溶存酸素量は、閉鎖循環式区が 11.38mg/L から徐々に減少し、検卵日には 7.35mg/L となった一方、河川水かけ流し式区は、試験期間中 11~12mg/L 台であった（図 4）。pH は、閉鎖循環式区が 7.1~7.4、河川水かけ流し式区が 7.2~7.9 の範囲であり、両区とも pH7 台で推移した（図 5）。閉鎖循環式区のアンモニア態窒素濃度は、試験開始直後に増加し、1 日目に 0.61mg/L となった。その後、減少し、4 日目に生じた飼育水の白濁に伴う換水を経て、発生の進行とともに増加し、検卵前には 1mg/L を超えた（図 6）。アンモニア態窒素濃度は、試験期間中を通して、水産用水基準<sup>1)</sup>である 0.01mg/L よりも高い値で推移した。

表 1. 老部川サケふ化場における閉鎖循環型サケ卵管理システム実証試験結果

	実証試験1回目		実証試験2回目	
	閉鎖循環式区	河川水かけ流し式区	閉鎖循環式区	混合水かけ流し式区
親魚捕獲河川	新井田川		奥入瀬川	
採卵年月日	2016年11月18日		2016年12月22日	
平均水温 (°C)	11.9	6.4	12.3	8.5
発眼年月日 (積算水温240°C・日)	2016年12月9日	2016年12月23日	2017年1月10日	2017年1月18日
積算水温300°C・日到達年月日	2016年12月14日	2017年1月5日	2017年1月16日	2017年1月27日*
検卵年月日	2016年12月15日	2017年1月6日	2017年1月17日	2017年1月23日
検卵時積算水温 (°C・日)	322	310	320	273
平均卵重量 (g)	0.25	0.23	0.24	0.23
発眼率 (%)	94	94	83	87

\* 水温8.5°Cで卵管理を継続した場合

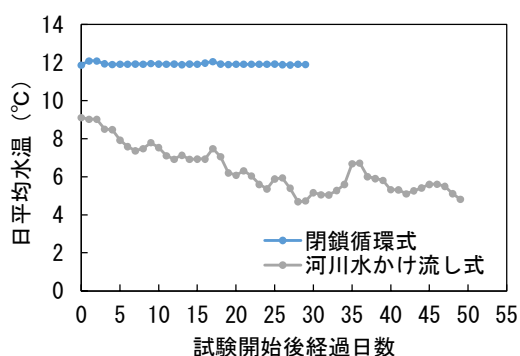


図 2. 実証試験 1 回目における日平均水温の推移

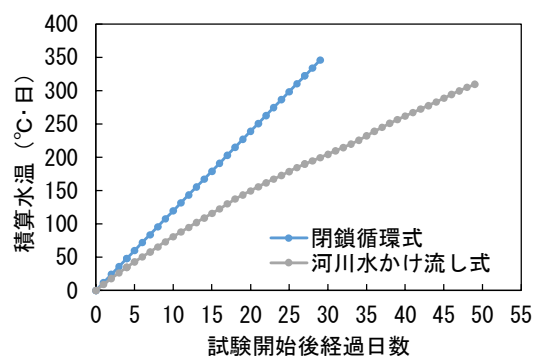


図 3. 実証試験 1 回目における積算水温の推移

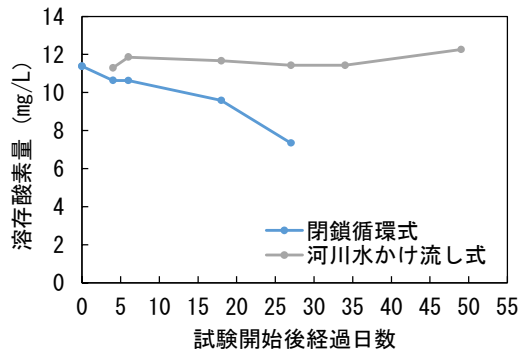


図 4. 実証試験 1 回目における溶存酸素量の推移

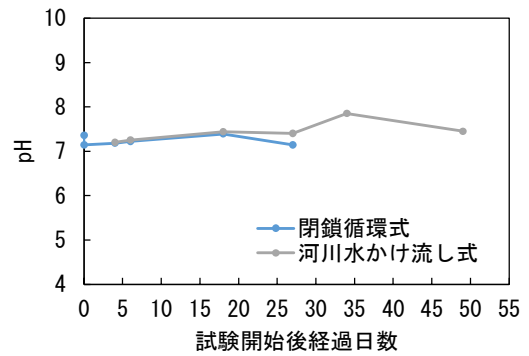


図 5. 実証試験 1 回目における pH の推移

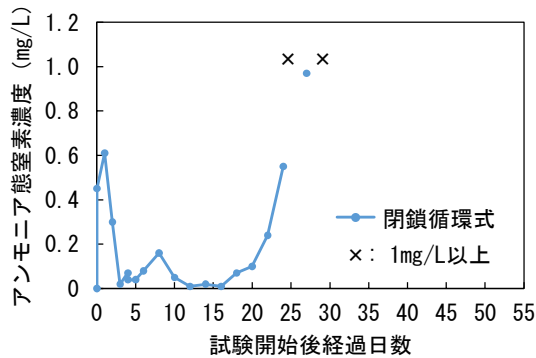


図 6. 実証試験 1 回目におけるアンモニア態窒素濃度の推移

## 2. 閉鎖循環型サケ卵管理システム実証試験 2 回目

実証試験 2 回目では、実用化に向け同システムへの収容卵数を 1 回目の 20 万粒から 48 万粒に増やし、一度により多くの卵の飼育期間を短縮できるか検討した。2 日目には、実証試験 1 回目と同様に、閉鎖循環式区において飼育水が白濁する現象が生じたため、換水した。また、12 日目に緩やかに攪拌した後に換水した。その後も水質悪化の兆候がみられたため適宜、換水した。検卵までの平均水温は、閉鎖循環式区が 12.3℃、混合水かけ流し式区が 8.5℃であり、閉鎖循環式区の方が高い水温で推移した（表 1、図 7）。なお、閉鎖循環式区では、サーモコントローラーの温度センサー部を水槽の水が滞留する位置に設置してしまっため、15 日目までは設定水温の 12℃よりも高い水温で推移した。

発眼の目安となる積算水温 240℃・日への到達日は、閉鎖循環式区で 20 日目、混合水かけ流し式区で 29 日目であり、9 日短縮された。閉鎖循環式区の検卵は、26 日目に積算水温 320℃・日で行った。混合水かけ流し式区の検卵は、32 日目に積算水温 273℃・日で行い、その後、池散布した。検卵を行った積算水温が閉鎖循環式区と混合水かけ流し式区で異なるため、混合水かけ流し式区において水温 8.5℃で卵管理を継続したと仮定し、便宜的に 300℃・日に達した日で比較すると、閉鎖循環式区では 11 日短縮された。（表 1、図 8）。閉鎖循環式区は、検卵後に再び閉鎖循環型サケ卵管理システムに収容し、32 日目に積算水温 392℃・日で池散布した。

発眼卵の平均重量は、閉鎖循環式区が 0.24g、混合水かけ流し式区が 0.23g であった（表 1）。

発眼率は閉鎖循環式区が 83%、対照区が 87% であり、閉鎖循環式区でやや低下した（表 1）。

溶存酸素量は、閉鎖循環式区において 10.46mg/L から徐々に減少し、検卵後再び収容し 2 日経過した 28 日目には 3.11mg/L となった。一方、混合水かけ流し式区の溶存酸素量は、試験期間中 7~8mg/L 台であっ

た（図9）。pHは、閉鎖循環式区が6.7～7.8、混合水かけ流し式区が6.7～7.6の範囲であった（図10）。閉鎖循環式区のアムモニア態窒素濃度は、試験開始直後に増加し、1日目に1mg/Lを超えた。その後、減少し、2日目に生じた飼育水の白濁に伴う換水を経て、発生の進行とともに増加した。試験期間中のアムモニア態窒素濃度の最高値は、検卵後再び収容し6日経過した32日目の0.66mg/Lであった（図11）。アムモニア態窒素濃度は、試験期間中を通して、水産用水基準<sup>1)</sup>である0.01mg/Lよりも高い値で推移した。

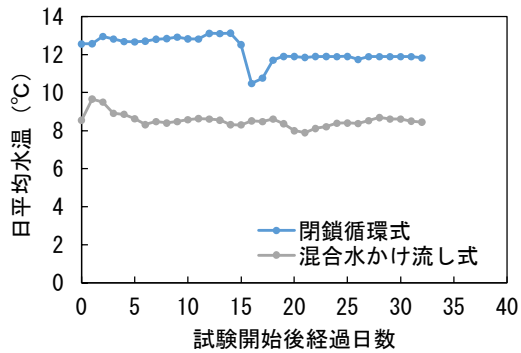


図7. 実証試験2回目における日平均水温の推移

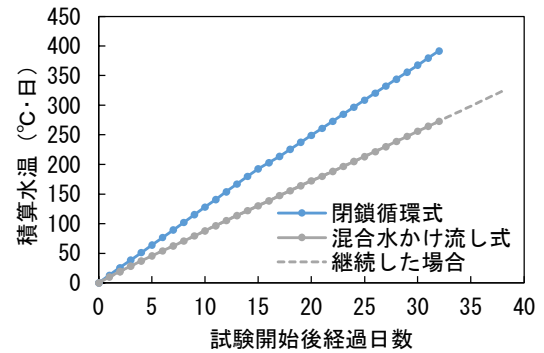


図8. 実証試験2回目における積算水温の推移

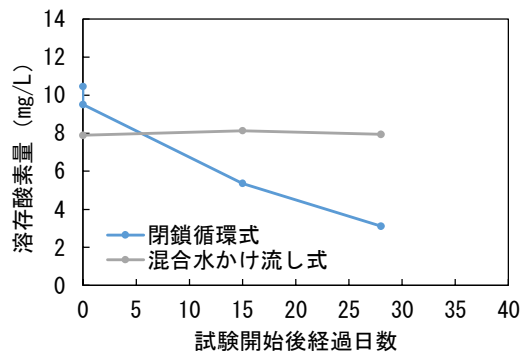


図9. 実証試験2回目における溶存酸素量の推移

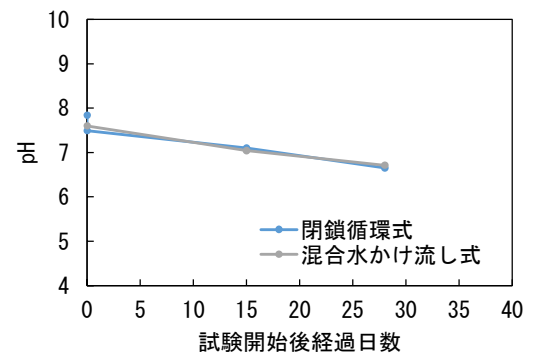


図10. 実証試験2回目におけるpHの推移

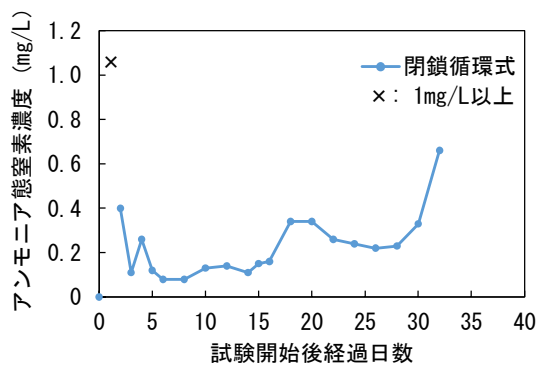


図11. 実証試験2回目におけるアンモニア態窒素濃度の推移

## 考 察

サケ卵の発生速度は水温条件によって大きく変化し、水温が高い程、発生速度がより速い<sup>2)</sup>。2015年に内水面研究所において行われた閉鎖循環システムによるサクラマス種苗生産事業<sup>3)</sup>では、サケ科魚類であるサクラマス飼育における閉鎖循環システムの有効性が示され、今後、同システムのサケマス類の増殖事業での活用が期待された。特に、同システムは水温制御が可能であり、水温を高めてサケ卵の発生速度を速めることも可能になると考えられた。本事業では、低水温用水に起因する成長遅滞が生じているふ化場への閉鎖循環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1回目の発眼率は、閉鎖循環式区が94%、河川水かけ流し式区が94%と同等であり、実証試験2回目は、閉鎖循環式区が83%、対照区が87%であり、閉鎖循環式区でやや低下したものの大幅な低下がみられなかったことから、閉鎖循環型サケ卵管理システムにより発眼期まで管理できる可能性が示された。

冬季に水温が低下する河川水を導水している老部川サケふ化場における実証試験の結果から、閉鎖循環型サケ卵管理システムを用いた加温飼育により、実用規模で発眼期までの期間を短縮できる可能性が示された。河川水温は年や時期によって変化するが、11月中旬開始で河川水かけ流し式との比較を行った1回目の実証試験では、積算水温300℃・日までの日数が23日短縮され、12月下旬開始で河川水と地下水の混合水かけ流し式との比較を行った2回目の実証試験では11日短縮された。閉鎖循環式区では、検卵後に再び閉鎖循環型サケ卵管理システムに收容し、1回目は積算水温346℃・日、2回目は392℃・日まで管理した後に池散布した。一般に、池散布の目安となる積算水温450℃・日まで同システムで管理することにより、卵管理期間の短縮効果を最大化できると考えられた。

実証試験1回目及び2回目に共通して、閉鎖循環式区において飼育水の白濁が発生した。発生原因として、潰卵由来の卵内物質の溶出、バクテリアの増殖が考えられたが、原因の特定には至らなかった。実証試験では換水により対処したが、白濁の発生抑制方法については課題が残された。

実証試験1回目及び2回目に共通して、閉鎖循環式区で時間経過に伴う溶存酸素量の低下がみられた。特に、收容卵数を増やした実証試験2回目において、検卵後2日目に3.11mg/Lと低い値になった。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<sup>4)</sup>。仮に、卵管理期に同基準を当てはめた場合、收容卵数を48万粒にすることによって酸素不足となることが示唆された。実際の運用にあたっては、安全に管理可能な收容卵数の検討または溶存酸素量を増やすためのシステム改良が必要と考えられた。一般に、サケマスの卵管理期においては、気泡を含んだ水を使用することにより、ふ化槽の底網に気泡が滞留し、通水の妨げとなるため、気泡を含まない水が適している。收容卵数を増やしつつ溶存酸素量を増やすためには、エアレーションの導入等を検討し、気泡の滞留による通水への支障が生じないか確認する必要がある。

アンモニア態窒素濃度は、1回目及び2回目に共通して、水産用水基準<sup>1)</sup>よりも高い値となった。アンモニア態窒素は、飼育水中では非乖離アンモニア(NH<sub>3</sub>)とアンモニウムイオン(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)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<sup>5)</sup>。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<sup>6)</sup>が、ろ材等の検討により、アンモニア態窒素濃度を低く抑えることが健苗性の向上につながると考えられた。また、溶存酸素の低下に伴ってアンモニアの毒性が強くなる<sup>1)</sup>ことから、前述の溶存酸素量の改善が必要と考えられた。

今後は、ふ化場への技術普及に向けて水温条件の検討結果<sup>7)</sup>を参考にし、実用規模での検討を実施するとともに、電気料金等のランニングコストについても知見を集積する必要がある。

## 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、新井田川漁業協同組合、奥入瀬川鮭鱒増殖

漁業協同組合、三八地域県民局地域農林水産部八戸水産事務所、下北地域県民局地域農林水産部むつ水産事務所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）水産用水基準第7版（2012年版），63-65.
- 2) 倉本 勉・有馬健一・川上伸一・清水直人・中渡晃雄・長谷川麻里・平間真一・守山健一・世継一恵・安田冬季・安田美智代・広井 修（1988）サケ卵の発生と双体奇形の出現．北海道さけ・ますふ化場研究報告，42号，59-73.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 松谷紀明（2021）未来につなぐさけ漁業推進事業（閉鎖循環型サケ卵管理システムにおける水温条件の検討）．平成28年度青森県産業技術センター内水面研究所事業報告，68-71.