

## ② 岩手県山田湾海中飼育試験、沿岸環境・稚魚追跡調査

執筆者（岩手県水産技術センター 長坂剛志）

### 実施機関及び担当者

岩手県水産技術センター：清水勇一、長坂剛志

水産研究・教育機構 水産技術研究所 環境・応用部門水産工学部：澤田浩一、松裏知彦

北海道大学：向井徹、長谷川浩平

北里大学：笠井宏朗、清水恵子

水産研究・教育機構 水産資源研究所 さけます部門資源生態部：八谷三和

水産研究・教育機構 水産技術研究所 環境・応用部門沿岸生態システム部：佐々木系

### 【目的】

沿岸でのサケ稚魚の減耗を回避するため、海中飼育放流技術を改良することを目的とする。また、放流した稚魚を追跡調査するとともに、水温、塩分、動物プランクトン量をモニタリングし、サケ幼稚魚の分布様式や適正な放流時期を検討する。

### 【方法】

岩手県下閉伊郡山田町の山田湾を試験実施海域とした。海中飼育施設は、織笠大橋から300mの位置に設置してあるタテ10m×ヨコ10mの生簀を使用した。試験は、通常群（網目26節、1カ月飼育）、短期海中飼育群（通常網、1週間飼育）、改良大目網群（網目16節2カ月程度飼育）とし、試験別の耳石コードを施標した令和2年級は各40万尾、令和3年級は各30万尾を投入した。改良大目網群の生簀網は2段構造とし、側面4面において通常網と大目網部分を連結した。また、稚魚投入時は通常網（3m）とし、1カ月飼育後に生簀枠に結わえておいた大目網部分（2m）を海中に落網した。

試験中は、10日程度毎にサンプリングし、尾叉長、体重を測定した。遊泳力は、瞬発遊泳力と持続遊泳力を池出し、海中生簀収容、目合いの切替え、放流のタイミングで測定した。また、冷凍した稚魚を解凍後に開腹し、摂餌の目安として腸管充満度、エネルギー成分の蓄積量の目安として内臓脂肪量を目視で確認し、3段階（なし、中程度、充満）で評価した。さらにトリグリセリド含有量を肝臓、筋肉及び幽門垂において測定した。

飼育密度は、音響プロファイラー（AZFP）と光学カメラ（GoPro Hero5）によって網目の切替え前後の魚群の状態から推定した。音響プロファイラーは、反応の飽和を防ぐため送受波器を45°傾け、125、200、455、769kHzのうち125、200kHzは令和元年級試験から16dB感度を下げた。密度推定には125kHzを用い、送受波器から2mから4.56mまでの範囲について5分毎の体積散乱強度を求めた。サケ稚魚の平均ターゲットストレングスは、定期的な体長計測で得られた体長を、体長と平均TSの関係式（ $TS=20\log FL-69.2$ ）に代入して求めた。

光学カメラはステレオカメラとし、任意の空間内に分布した稚魚を計数して密度を推定した。また、令和3年級では、光学カメラを目合いから抜け出る稚魚を直接撮影する方向に設置し、撮影中に抜け出た稚魚の数と体サイズを推定した。

放流後の稚魚の湾内での移動や分布、成長を把握するため、1艘まき網と岩手県漁業指導調査船「北上丸」による火光利用敷網により追跡調査を行った。また、山田湾内の稚魚の分布を調査するため、令和3年3月中旬と4月下旬にマルチビームによる観測を実施した。山田湾内の環境は氷場に音響プロファイラーを設置し、水温、塩分、動物プランクトン量のモニタリングを行った。

### 【結果及び考察】

令和2年級における飼育期間中の各試験群の成長は、令和3年3月5日の生簀投入後20日間程度停滞した（図1）。その後の成長は、各試験群で同程度を示したが、改良大目網群

では令和3年4月8日の目合い変更後に成長が促進され、令和3年5月11日に平均体重8gで放流した。

瞬発及び持続遊泳力は、生簀投入から令和3年3月16日の放流まで短期群が通常群及び改良大目網群を上回った(図2)。通常群と改良大目網群は令和3年4月20日の通常群の放流まで同程度で推移し、目合いの切替え後は改良大目網群で上昇した(図2)。

腸管充満度及び内臓脂肪量は、目合い切替が行われなかった通常群で徐々に減少したのに対し、改良大目網群では、目合いの切替え後もほとんどの個体で腸管内容物と内臓脂肪を確認することができた(図3)。通常群の放流時点における肝臓のトリグリセリド含有量は、通常群及び改良大目網群で同程度であったが、幽門垂のトリグリセリド含有量は改良大目網群の方が有意に高かった(図4)。また、改良大目網群における肝臓、筋肉ならびに幽門垂のトリグリセリド含有量を経時的に調査した結果、調査期間を通して幽門垂の含有量が最も高かった(図5)。以上から、通常群と比べて改良大目網群では、目合いの切替えにより摂餌が良好となり、トリグリセリドを脂肪として幽門垂に蓄積していたと考えられた。一方で、肝臓および筋肉のトリグリセリド含有量は経時的に減少し、放流時にはそれぞれ0.6%、0.4%であった(図5)。令和元年級の試験でも同様の傾向が見られ、本試験では放流時までに順調に成長し、遊泳力が最大になったことから、海中飼育における稚魚の肝臓および筋肉のトリグリセリド含有量は成長とともに減少する傾向にあるが、正常の範囲内と考えられた。また、稚魚の栄養状態を評価するためには内臓脂肪量を調査することが有効ではないかと考えられた。

成長を考慮した飼育密度は、目合いの切替え前(令和3年3月10から14日までの平均 $\pm 95\%$ 信頼区間)で $512 \pm 85$ 尾/ $m^3$ 、生簀全体では約25.6万尾と推定された。目合いの切替え直前の4月3日から4月8日の5日間の平均で $321$ 尾 $\pm 38$ 尾/ $m^3$ 、切り替え後は4月10日から4月15日の5日間の平均で $176 \pm 7$ 尾/ $m^3$ と推定され、切替え前と比べて有意な密度の低下がみられた(図6)。また、稚魚の密度は周期的な変化を示したことから、生簀内で周期的な群れ行動をとっていたと考えられる(図7)。一方、光学カメラでは目合いの切替え前は $500.0$ 尾/ $m^3$ 、切替え後 $458.3$ 尾/ $m^3$ と推定されたが、画像上の魚の重なりが多く計数の見逃しがあるため過小評価の可能性もある。落網時には目視で逃避する稚魚が確認できたことから、密度の低下は一部稚魚が生簀外に逃避したことによると考えられる一方で、目合いの切替えにより生簀の水深が増加したことが影響した可能性もある。

放流した稚魚の追跡調査のうち、火光利用敷網調査で採捕された各試験群の採捕率は、短期群、改良大目網群、通常群の順となった(表1)。まき網調査では、短期群、通常群、改良大目網群の順となった(表2)。また、改良大目網群は、目合いの切替え後から放流前のように採捕があり、生簀から逃避した稚魚と考えられた。

マルチビームによる湾内調査で観測された魚群数は、令和3年3月18日は6、令和3年4月20日は25、4月22日は17と4月で増加した。また、魚種の判別を目視した魚群単体のエコー(サケ稚魚、メロウド、小型イカ類)と後方体積散乱強度(SV値)から試みたが、魚種の判別には至らなかった。

氷場で実施している山田湾の環境観測では、令和2年級試験中の山田湾の環境は、概ね例年並みの水温及び塩分値の推移を示し(図8)、動物プランクトンは小型主体であった(図9)。令和3年級試験中は、令和4年2月4日頃親潮の性質を持つ海水の流入が見られ、水温、塩分が低下した(図8)。動物プランクトンは、2月中旬から増え始め、3月17日から27日にかけて最大値になった(図9)。

令和3年の山田湾の環境は、概ね例年並みの水温及び塩分値の推移を示し(図8)、動物プランクトンは小型主体であった(図9)。

令和3年級の試験では、令和2年級と同様の改良大目網を使用し、令和4年3月22日に海中飼育生簀に稚魚を収容、4月25日に目合いの切替え、5月18日に放流を行った。飼育期間中の成長は、改良大目網群が目合いの切替え後に通常群を上回った(図10)。また、瞬発及び持続遊泳力は、陸上飼育池での飼育開始から4月14日の測定までは概ね同程度で推

移したが、放流直前は改良大目網群が通常群を上回った（図 11）。なお、プロファイラー及び光学カメラ、体成分、追跡調査で採捕した稚魚の耳石温度標識については現在分析中である。

令和 2 年度及び令和 3 年度の試験では、改良大目網を導入し、海中飼育期間の途中で大型の目合に切り替えることで、大型稚魚の生産と遊泳力を向上させることができた。また、腸管充満度や内臓脂肪の蓄積量を目視確認することで、作業現場でも稚魚の摂餌状況や栄養状態を確認できる可能性が示唆された。今後、内臓脂肪の蓄積量、遊泳力の関係を調査し、作業現場における稚魚の栄養状態の測定マニュアルを作成する。一方で、最適な飼育密度の検討には至らなかった。今後は、飼育密度の把握により最適な飼育密度条件の検討と目合いの切替えのタイミングなどを検討する必要がある。

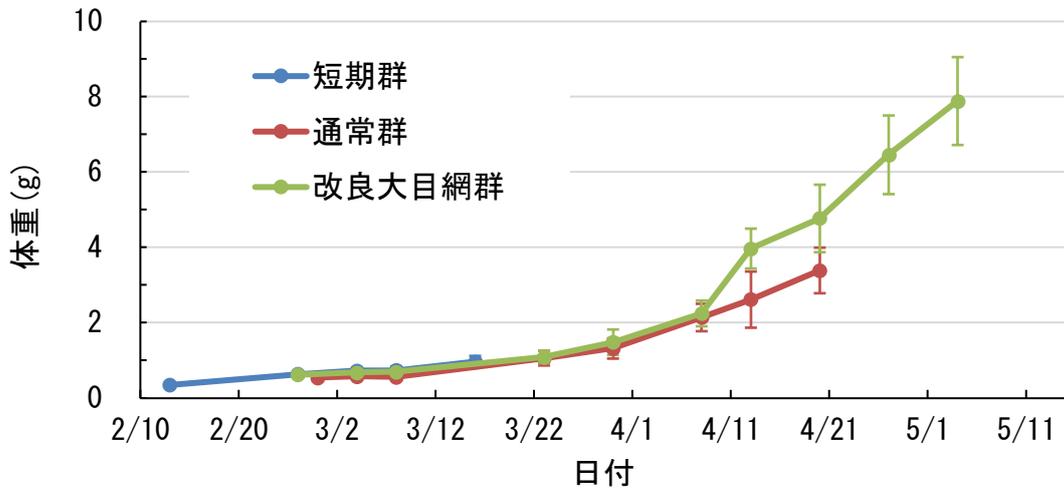


図 1. R2 年級における各試験群の成長の推移

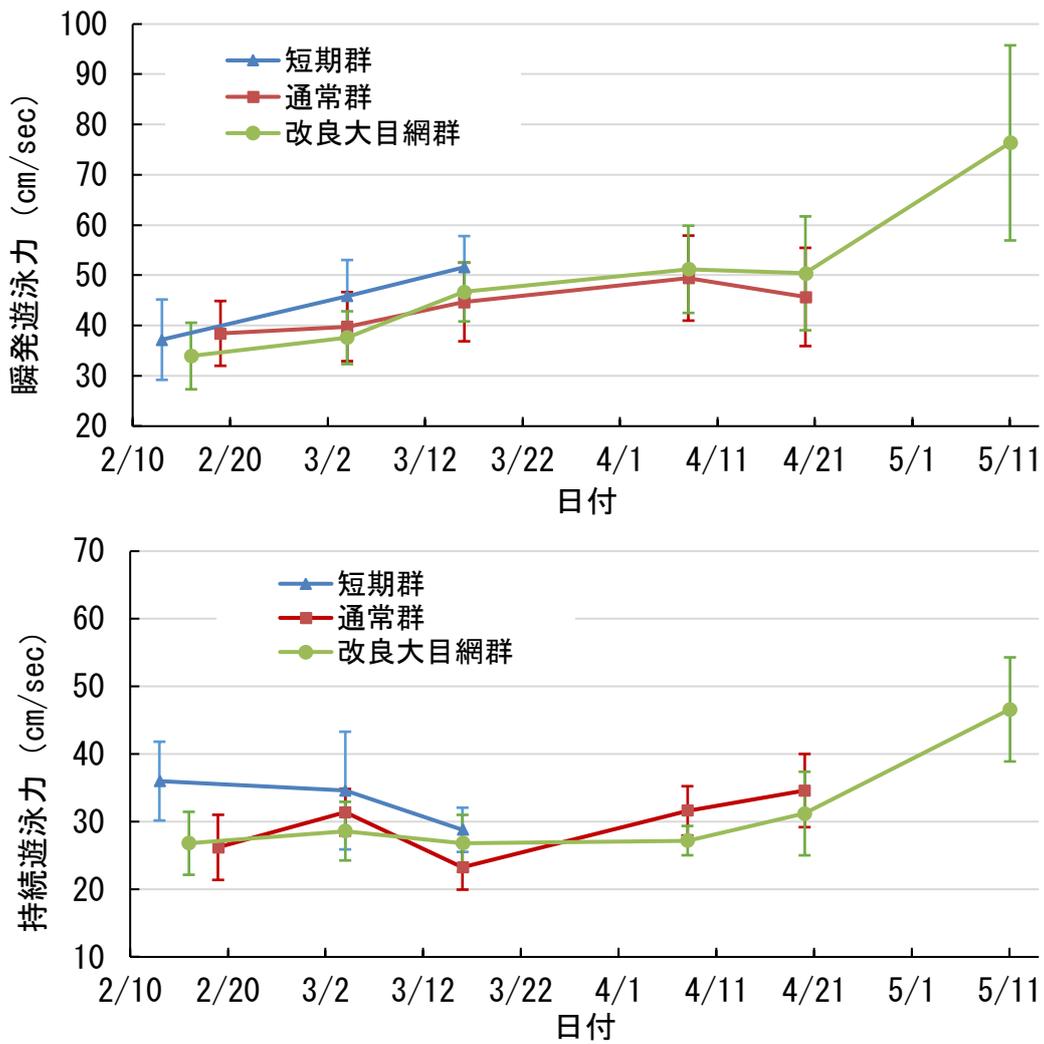


図 2. R2 年級における各試験群の瞬発遊泳力（上）及び持続遊泳力（下）の推移

	SW-26d (3/30)	SW-40d (4/13)	SW-47d (4/20)																																																																								
通常群	<table border="1"> <thead> <tr><th>腸</th><th>内臓脂肪</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>++</td><td>+</td></tr> <tr><td>++</td><td>+</td></tr> <tr><td>++</td><td>+</td></tr> <tr><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>++</td><td>+</td></tr> <tr><td>++</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>++</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>-</td></tr> </tbody> </table>	腸	内臓脂肪	++	+	++	+	++	+	+	+	++	+	++	-	+	-	+	+	++	-	+	-	<table border="1"> <thead> <tr><th>腸</th><th>内臓脂肪</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>++</td><td>+</td></tr> </tbody> </table>	腸	内臓脂肪	+	+	++	+	++	+	++	+	++	+	++	+	++	+	++	+	++	+	++	+	++	+	<table border="1"> <thead> <tr><th>腸</th><th>内臓脂肪</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>-</td></tr> </tbody> </table>	腸	内臓脂肪	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-				
	腸	内臓脂肪																																																																									
	++	+																																																																									
	++	+																																																																									
	++	+																																																																									
	+	+																																																																									
	++	+																																																																									
	++	-																																																																									
	+	-																																																																									
	+	+																																																																									
++	-																																																																										
+	-																																																																										
腸	内臓脂肪																																																																										
+	+																																																																										
++	+																																																																										
++	+																																																																										
++	+																																																																										
++	+																																																																										
++	+																																																																										
++	+																																																																										
++	+																																																																										
++	+																																																																										
++	+																																																																										
++	+																																																																										
腸	内臓脂肪																																																																										
+	-																																																																										
+	-																																																																										
+	-																																																																										
+	-																																																																										
+	-																																																																										
-	-																																																																										
+	+																																																																										
+	-																																																																										
-	-																																																																										
+	-																																																																										
大目網群	<table border="1"> <thead> <tr><th>腸</th><th>内臓脂肪</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>++</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>++</td><td>+</td></tr> <tr><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>-</td></tr> </tbody> </table>	腸	内臓脂肪	+	-	+	-	+	-	+	+	++	-	+	-	++	+	+	-	+	+	+	-	+	-	<div style="border: 1px solid blue; padding: 2px; display: inline-block;">SW-35d (4/8) 大目網切替</div> <table border="1"> <thead> <tr><th>腸</th><th>内臓脂肪</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>++</td><td>+</td></tr> <tr><td>-</td><td>+</td></tr> <tr><td>++</td><td>+</td></tr> <tr><td>++</td><td>+</td></tr> <tr><td>++</td><td>+</td></tr> <tr><td>++</td><td>+</td></tr> <tr><td>++</td><td>+</td></tr> <tr><td>++</td><td>+</td></tr> <tr><td>++</td><td>+</td></tr> <tr><td>+</td><td>+</td></tr> </tbody> </table>	腸	内臓脂肪	+	+	+	+	++	+	-	+	++	+	++	+	++	+	++	+	++	+	++	+	++	+	+	+	<table border="1"> <thead> <tr><th>腸</th><th>内臓脂肪</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>++</td><td>+</td></tr> <tr><td>++</td><td>+</td></tr> <tr><td>++</td><td>+</td></tr> <tr><td>++</td><td>+</td></tr> <tr><td>++</td><td>+</td></tr> <tr><td>++</td><td>+</td></tr> <tr><td>++</td><td>+</td></tr> <tr><td>++</td><td>+</td></tr> <tr><td>+</td><td>+</td></tr> </tbody> </table>	腸	内臓脂肪	+	-	++	+	++	+	++	+	++	+	++	+	++	+	++	+	++	+	+	+
	腸	内臓脂肪																																																																									
	+	-																																																																									
	+	-																																																																									
	+	-																																																																									
	+	+																																																																									
	++	-																																																																									
	+	-																																																																									
	++	+																																																																									
	+	-																																																																									
+	+																																																																										
+	-																																																																										
+	-																																																																										
腸	内臓脂肪																																																																										
+	+																																																																										
+	+																																																																										
++	+																																																																										
-	+																																																																										
++	+																																																																										
++	+																																																																										
++	+																																																																										
++	+																																																																										
++	+																																																																										
++	+																																																																										
++	+																																																																										
+	+																																																																										
腸	内臓脂肪																																																																										
+	-																																																																										
++	+																																																																										
++	+																																																																										
++	+																																																																										
++	+																																																																										
++	+																																																																										
++	+																																																																										
++	+																																																																										
++	+																																																																										
+	+																																																																										

図 3. 通常群及び改良大目網群における腸管充満度及び内臓脂肪の目視確認結果

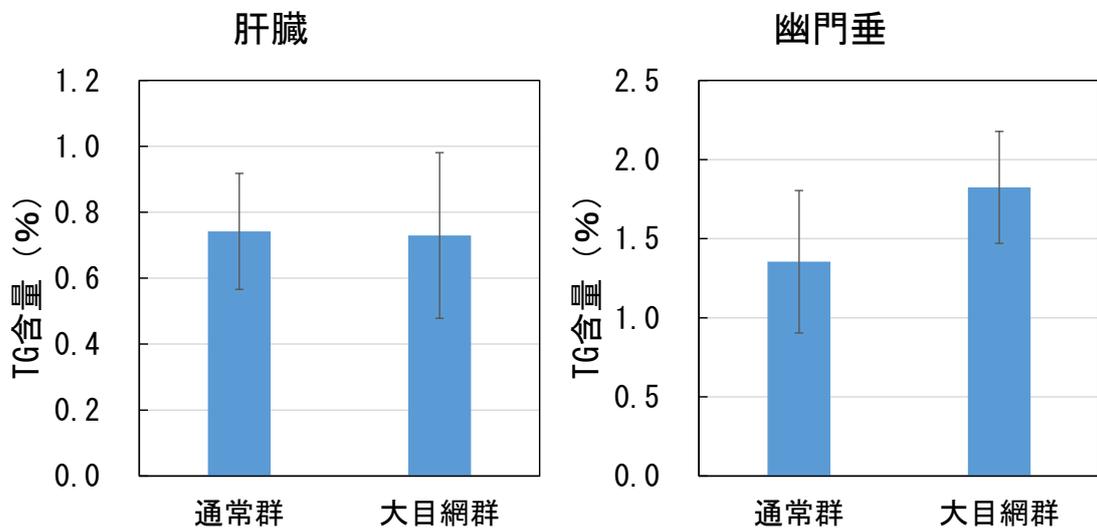


図 4. 通常群及び改良大目網群における肝臓及び幽門垂のトリグリセリド含有量割合

### 改良大目網群

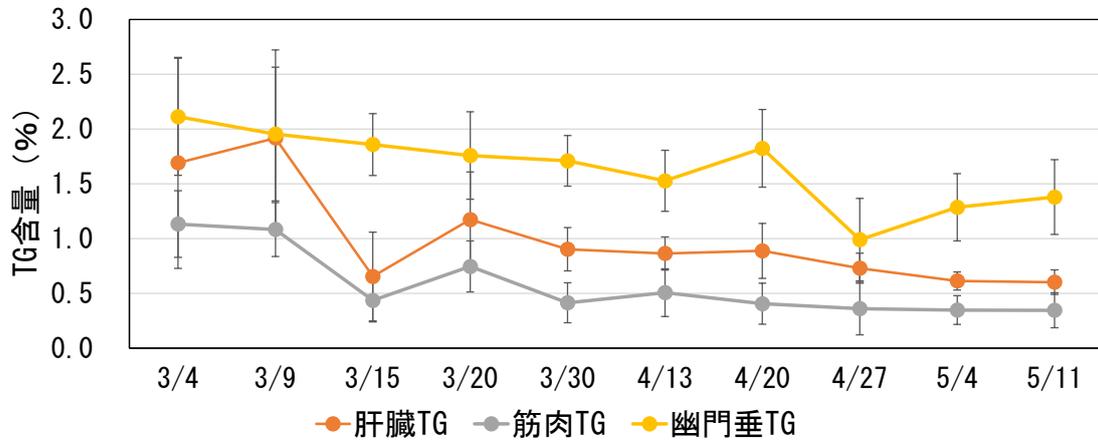


図 5. 改良大目網群における肝臓、筋肉及び幽門垂のトリグリセリド含有量割合の経時変化

### 密度推定 (18:00-04:00)

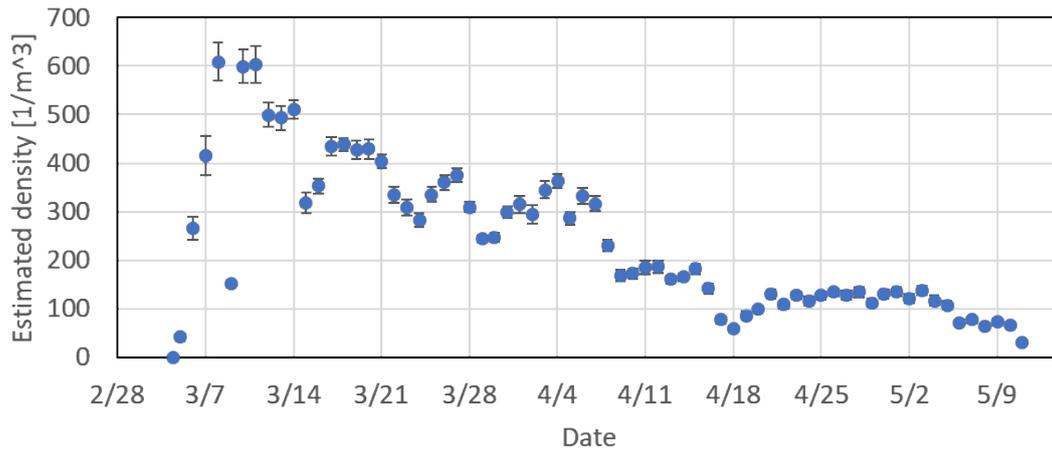


図 6. 音響プロファイラーから推定した目合い切替え前後の稚魚密度  
5分ごとに得られる密度推定値を平均し1日ごとの平均密度とし、95%信頼区間を表示。

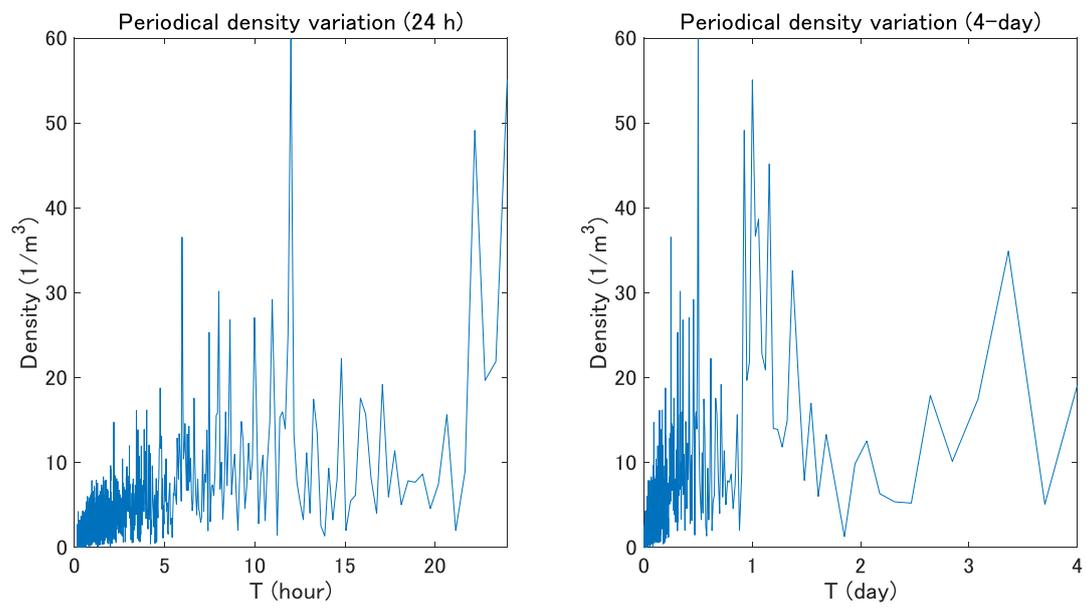


図 7. 稚魚密度の周期的な変化 (24 時間 : 左図、4 日間 : 右図)

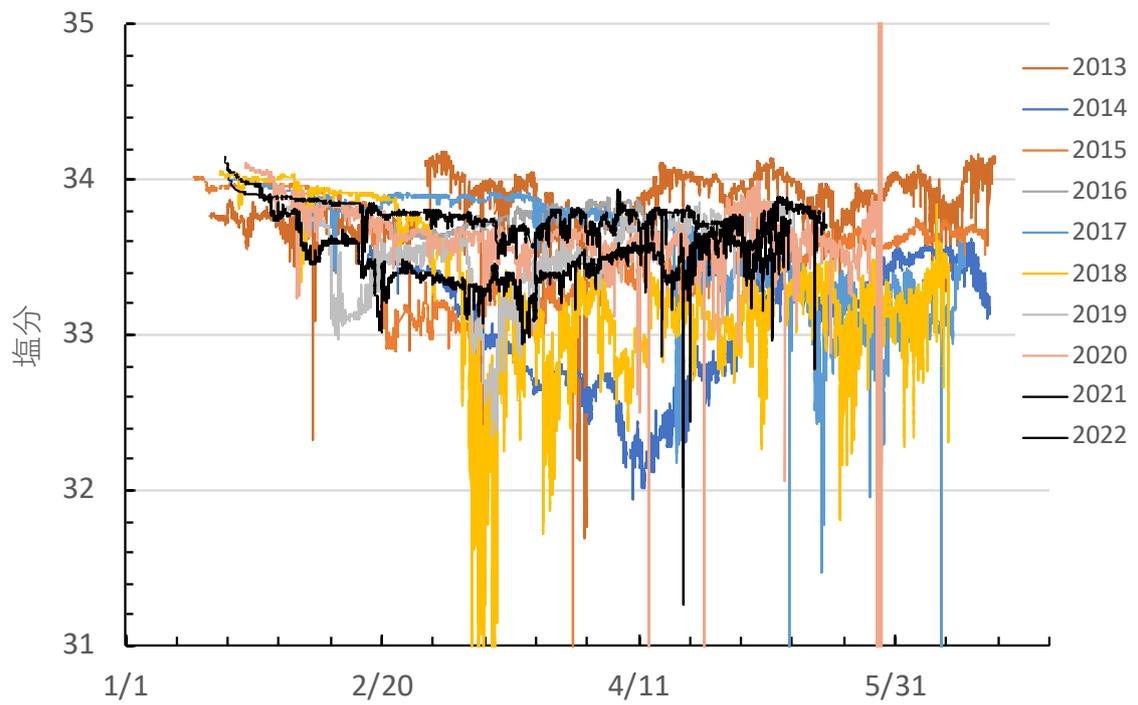
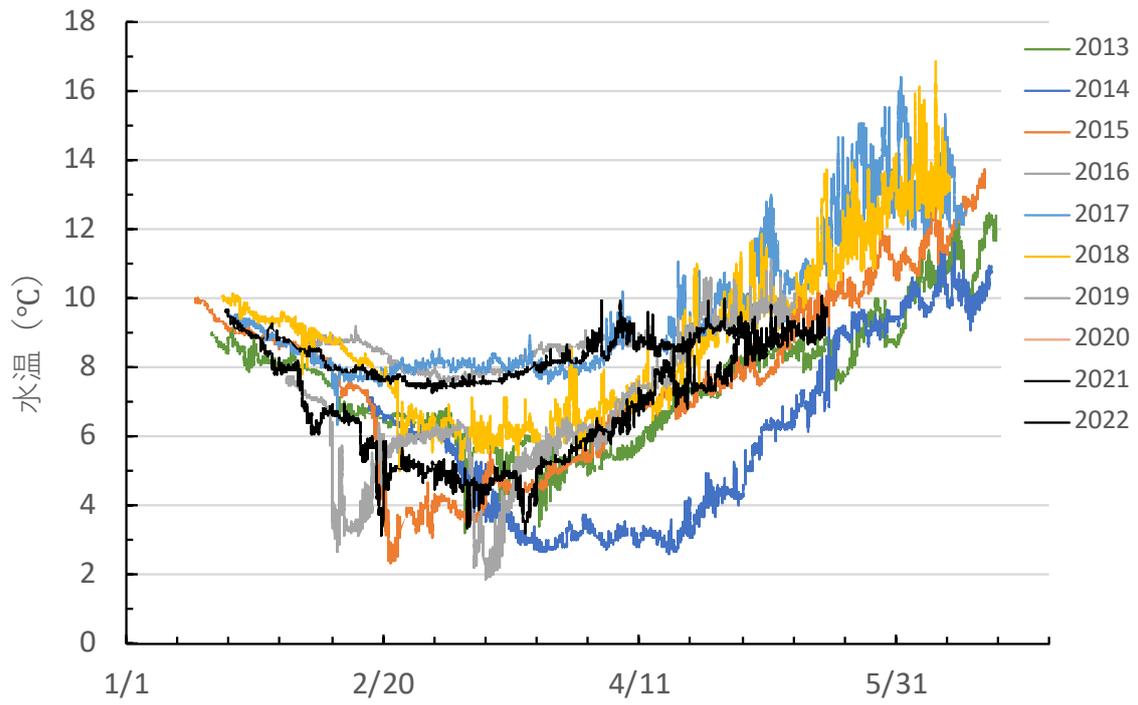


図 8. 山田湾内の水温（上）と塩分（下）の経年変化

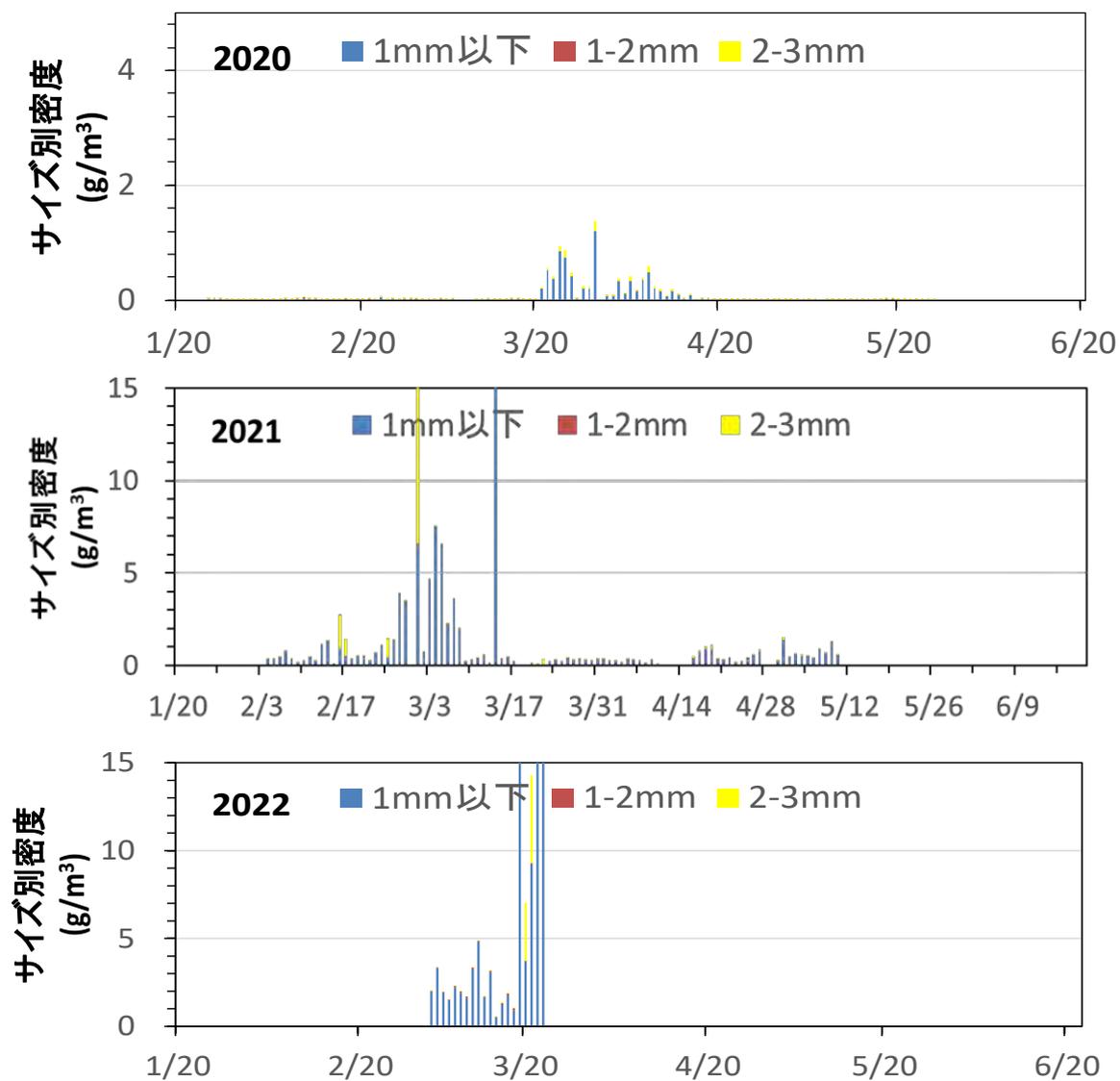


図9. 2020年、2021年及び2022年における山田湾内動物プランクトン量の経時変化

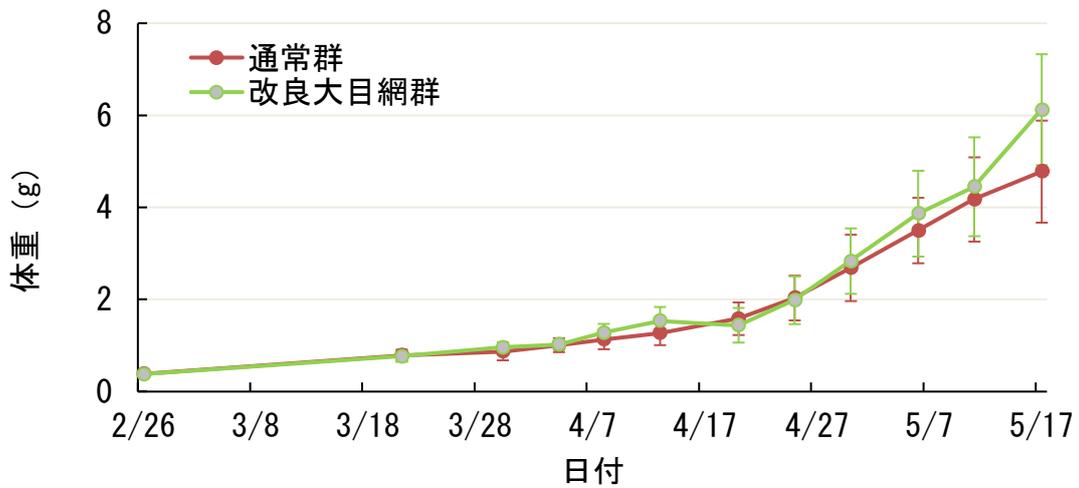


図 10. R3 年級における各試験群の成長の推移

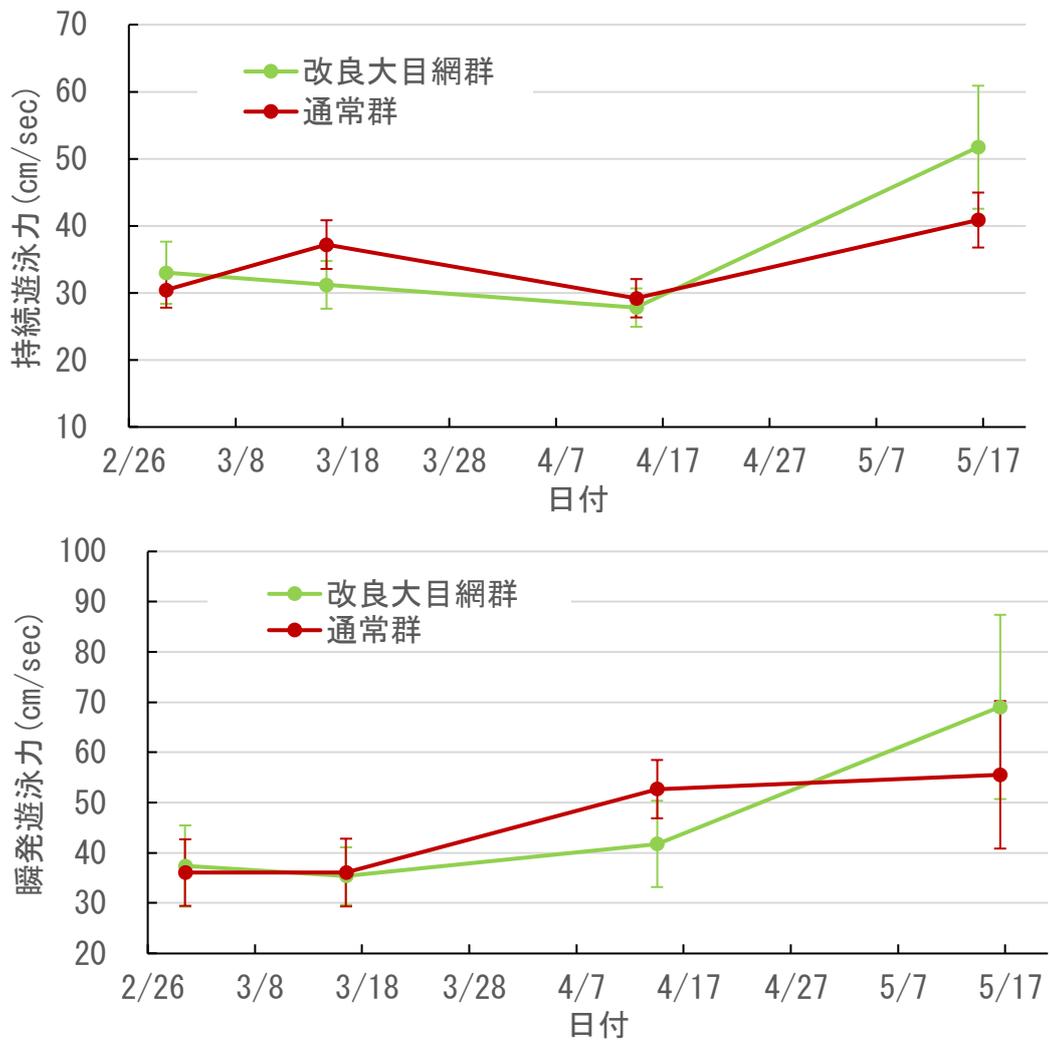


図 11. R3 年級における各試験群の瞬発遊泳力（上）及び持続遊泳力（下）の推移

表 1. 火光利用敷網調査による各試験群の稚魚採捕結果

試験群名	放流日	放流尾数 (尾)	採捕尾数 (尾)	採捕率 (%)
短期群	2021/3/16	400,000	26	0.00650
通常群	2021/4/20	400,000	7	0.00175
改良大目網群	2021/5/11	400,000	14	0.00350

表 2. まき網調査による各試験群の稚魚採捕結果

試験群名	放流日	放流尾数 (尾)	採捕尾数 (尾)	採捕率 (%)
短期群	2021/3/16	400,000	29	0.00725
通常群	2021/4/20	400,000	13	0.00325
改良大目網群	2021/5/11	400,000	1	0.00025