

(1) トラウトサーモン共同研究事業

桑野 暁・山田 洋雄・青木 萌子・松宮 由太佳

1 目的

福井県では平成 27 年から大型円形生簀等を使用したニジマス (*Oncorhynchus mykiss*) の海面養殖が行われており、400 トンの生産目標を掲げ「ふくいサーモン®」として販売されている。淡水で 1 年近くかけて育成された種苗は、海水温が低下する冬から春までのおよそ半年間海面で養殖され出荷を迎える。この淡水から海水に移行させる海水馴致技術がトラウトサーモン養殖における大きな課題のひとつであり、馴致ストレスはその後の成長や生残に影響を与え生産量を大きく左右するといわれている。

そこで、令和 2 年度からこの課題の解決を図るため、福井中央魚市株式会社（以下、「中央魚市」という）、国立大学法人東京大学、学校法人東洋大学、公立大学法人福井県立大学および福井県水産試験場等で「サケマス養殖技術共同研究コンソーシアム」を結成し、共同研究を実施している。

共同研究では、①サケマスの海水馴致時ストレスマーカーの確立、②海面養殖の効率性に影響を与えるストレス要因の探索、③サケマスのストレス軽減につながる育成・馴致技術の開発の 3 課題に取り組み、日本の環境におけるサケマス類の海水馴致ストレスの評価手法を確立し、海水移行後の生産効率向上を実現する養殖技術の開発を目指している。ここでは、福井県水産試験場が担当した、課題②のうち「海水馴致条件毎の摂餌行動の評価」および課題③のうち「中間育成時の電照コントロールによる育成手法の検討」の結果について報告する。

2 方法

1) 中間育成時の電照コントロールによる育成手法の検討

(1) 供試魚

大野市宝慶寺にある中央魚市の淡水養魚施設（以下、「宝慶寺サーモンベース」という。）でふ化・育成された 0 歳ニジマス稚魚（リバレンス社由来のスチールヘッド）を令和 5 年 7 月 18 日に活魚車で福井県水産試験場海洋資源研究センター（福井県敦賀市浦底 23-1）に搬送し、コンクリート水槽（3.5×1.8×0.9m）4 面に 200 尾ずつ収容した。収容後は、水量を約 4 トンに調整して河川水を流し入れ、ブローによる通気を行った。魚がある程度飼育環境に馴れた 7 月 27 日に、各水槽の収容尾数を 180 尾に再調整して 11 月 20 日までの 116 日間飼育試験を実施した。

(2) 試験区

試験区は、令和 4 年度までの結果を考慮して次のパターンの電照時間を設定した。すなわち、1 日のうち 14 時間電照を行う 14 時間電照区（以下、「14h 区」という）、同様に初め 14 時間電照とした後、試験終了の約 2 か月前から 15 時間電照とし、さらに約 1 か月前から 16 時間電照とする 14/15/16 時間電照区（以下、「14/15/16h 区」という）、初め 14h 時間電照とした後、試験終了の約 1 か月前から 16 時間電照とする 14/16 時間電照区（以下「14/16h 区」という）を設定した。また、自然日長時間の対照区を設定した（図 1）。

使用した水槽は窓のない屋内にあるため、各水槽には蛍光灯による照明を施し、実際の日の出・日没時間に合わせて定期的に点灯時間を調整して自然光の代わりとした。加えて、電照区では LED ランプ（ハタヤ社 LEW-5 全光束 810lm）2 個を設置し、それぞれ設定した日長時間に合わせて点灯した（図 2）。なお、隣の試験水槽に光が漏れないよう、各水槽の横および前面に遮光幕を設置した。

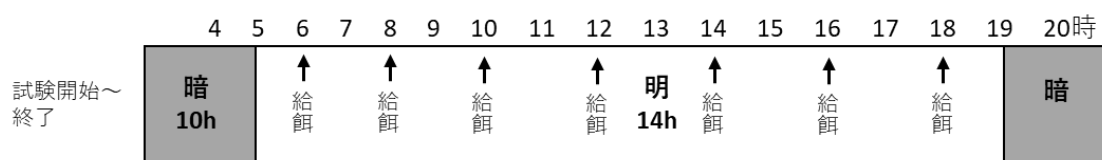
(3) 飼育方法

飼料は、市販のマス用配合飼料（フィード・ワン（株） 鱒パフクリーン d3～d5 およびサーモン EP 日本海 d6）を魚の成長に応じて与えた。給餌は、電照区では 6～18 時のあいだ 2 時間おきに計 7 回、対照区では同様に 8～

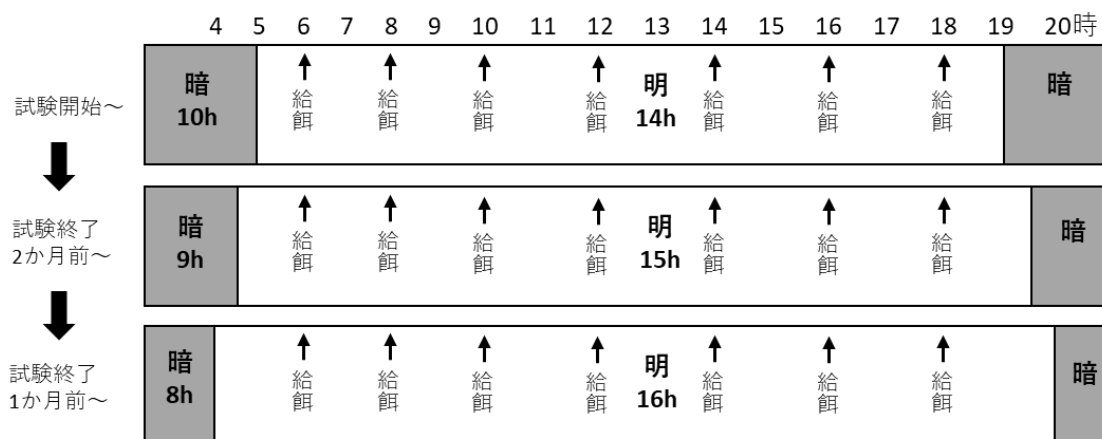
16 時のあいだに計 5 回、自動給餌器（福伸電機製 PFX-60LS）を使用して、できるだけ水底に食べ残しが出ないよう適宜給餌量を調整しながら毎日行った（図 1）。

各水槽は、原則 15 回転/日以上への換水率となるよう河川水を流入させ、底部排水とした。底掃除は、餌の食べ残しが多かった時以外は行わなかった。また、全ての試験水槽には、自動式水温記録計（HOB0 Pendant Temp/Light 64k data logger）を設置し、水温を 1 時間毎に記録した。また、溶存酸素計（YSI Pro2030）で随時溶存酸素量（以下、「DO」という）を測定した（図 2）。

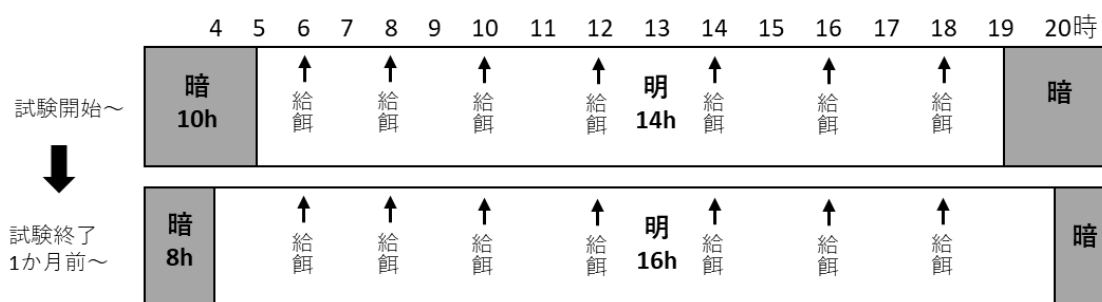
【14時間電照区】



【14/15/16時間電照区】



【14/16時間電照区】



【対照区】

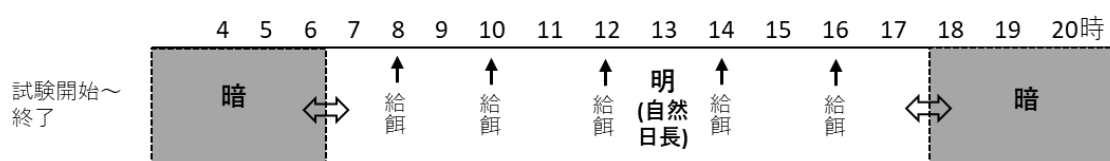


図 1 各試験区の条件設定

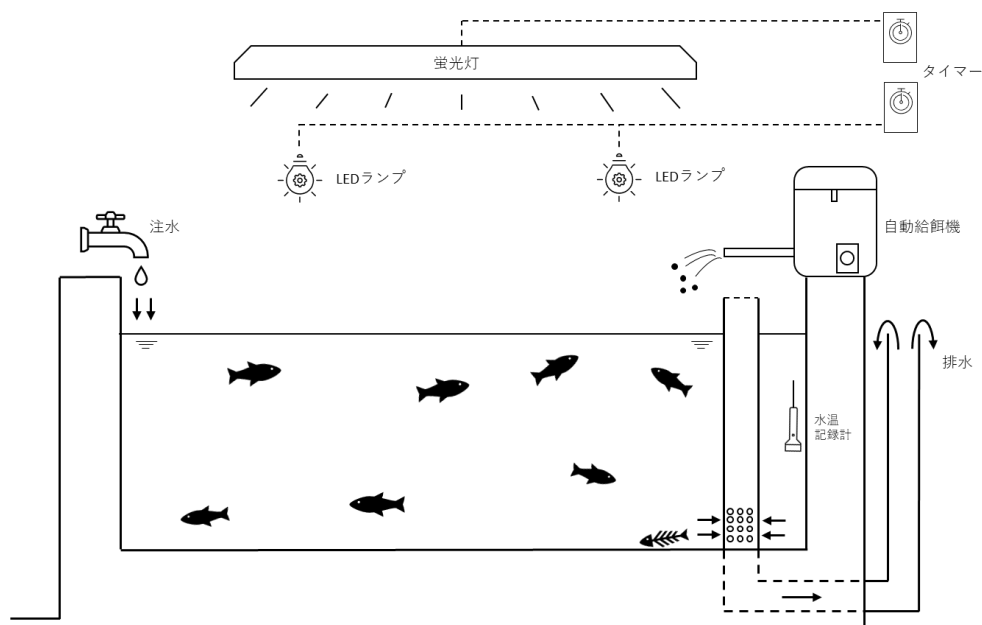


図2 試験水槽模式図

(4) 試験魚の計測

試験中は、毎月下旬に各区 60 尾程度の魚をフェノキシエタノール（試薬）または FA100（水産用医薬品）で麻酔した後、被鱗体長（以下、「体長」または「BL」ともいう）と体重（以下、「BW」ともいう）を測定した。試験終了時には、各試験水槽内の生残魚を計数し、生残率を求めた。また、Feed Conversion Ratio（以下、「FCR」という）は次式により算出した。

$$FCR = \text{総給餌量} / (\text{試験終了時の魚総重量} + \text{期間中の斃死魚総重量} - \text{試験開始時の魚総重量})$$

2) 海水馴致条件毎の摂餌行動の評価

(1) 供試魚

宝慶寺サーモンベースでふ化・育成された 0 歳ニジマス稚魚（リバレンス社由来のスチールヘッド）。

(2) 試験区

試験区は、次の条件で中間育成した種苗で設定した。自然日長条件で中間育成したニジマス（以下、「対照区」という）、午前 5 時から 14 時間（令和 5 年 8 月 8 日～11 月 8 日）LED 照明をつけて飼育し、海水馴致（本試験では、海水に馴れさせる方法をとっていないため以下、「海水移行」と表記する）の 1 ヶ月前を目安に 16 時間電照に切り替えた（令和 5 年 11 月 9 日～12 月 18 日）ニジマス（以下、「電照区」という）稚魚期に塩分約 20‰の人工海水に 24 時間暴露させたニジマス（以下、「海水経験区」という）。

(3) 海水移行条件

令和 5 年 12 月 19 日に活魚車で宝慶寺サーモンベースから福井県水産試験場企画・先端研究部（福井県小浜市泊 26 松ノ前 4-3）へ搬送し、その日の内に直接海水に投入した。

この時の宝慶寺サーモンベースの水温は 6.9℃、14℃に設定した海水温は 14.2℃、12℃に設定した海水温は 12.0℃だった。

試験は、令和 5 年 12 月 19 日～令和 6 年 1 月 9 日までの 21 日間実施した。

(4) 飼育方法

FRP 組立水槽（φ3.5m）2基にろ過海水を注水し、冷却機（東芝キヤリア（株）TAH200JG-T）で水温をそれぞれ14℃と12℃に設定した。水温を調整した海水を容量1トンのポリカーボネートタンク6基にサイフォンの原理を用いてバルブで換水率15回／日に調整して注水し、かけ流しで飼育した（図3）。

飼料は、市販のマス用配合飼料（フィード・ワン（株）サーモンEP 日本海d6）を1回／日の頻度で飽食給餌し、残餌を計数して摂餌量を算出した。

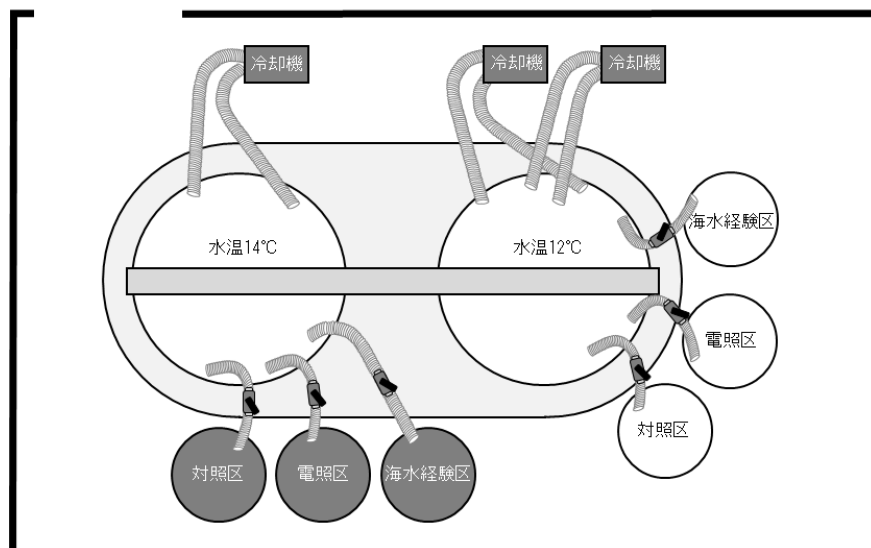


図3 海水移行試験水槽俯瞰図

(5) 評価方法

試験終了時までの生残率および1日あたりの摂餌率（以下、「平均摂餌率」という）から海水適応能を評価した。また、平均摂餌率は次式から算出した。

$$\text{平均摂餌率 (\%)} = (\text{摂餌量} / \text{終了時の総魚体重}) \times 100 / \text{試験日数}$$

3 結果および考察

1) 中間育成時の電照コントロールによる育成手法の検討

(1) 飼育環境

水温については、各水槽の自動式記録水温計ごとに若干の誤差が見られたが、校正済みの水温計で測定すると各水槽でほとんど水温差がなかったことから、校正済み水温計とほぼ同じ測定値であった対照区のデータで各水槽を代表した。ある日の1時間ごとの測定値を24時間で平均すると、その日の午前10～11時頃の測定値に近いことが多かったため、期間中の午前10時の測定値を図4に示した。その結果、水温は13.4℃から17.8℃の間で変動し、サーモンの養殖適水温である10～18℃¹⁾の範囲内にあった。

一方で、換水率については河川水の給水量に限界があったことから、各区の平均換水率は14.5～15.4回／日にとどまった。降雨によると思われる濁り水が入ることが何度かあったが、それが直接の原因となって魚が死ぬことはなかった。DOについては、魚の成長に伴って10月下旬にサーモンの適正な生育に必要といわれる7mg/L²⁾まで低下する傾向が見ら

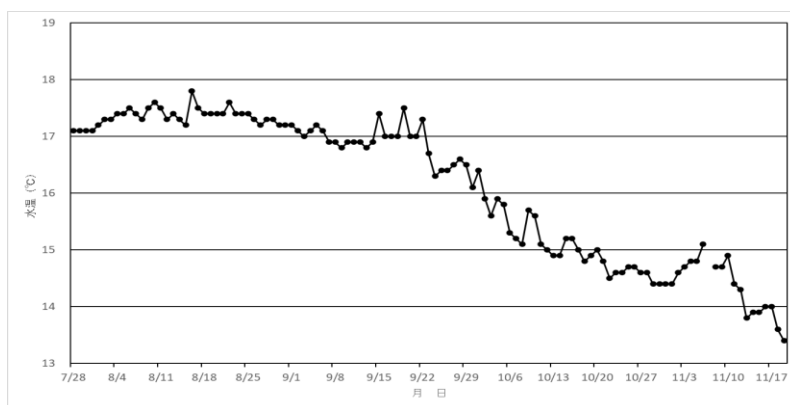


図4 期間中の水温の推移

れたことから、浄化槽エアポンプ（安永 AP-60G）を各水槽に設置し、通気量の増加を図った結果、各区の DO は約 7.0～9.4mg/L、酸素飽和度で約 69～94%の範囲を維持した。今回の試験では、注水量を多少増やすよりエアポンプなどによる通気量の増加の方が DO の維持に有効であることがわかった。

（２）成長と生残

各試験区における飼育結果を表 1 に示した。7 月 27 日の試験開始時における各区の平均魚体重と標準偏差は、対照区で 62.9±13.7g、14h 区で 59.6±13.7g、14/15/16h 区で 67.0±12.5g、14/16h 区で 60.8±12.7g であった。各水槽に与えた総給餌量は 130～132kg で、推定日間給餌率（その日の全魚体重に対する 1 日当たりの給餌量の割合）では期間を通じて 0～2.4%の範囲にあり、各区の平均は 1.9～2.0%とほぼ同量の給餌を行うことができた。

試験終了時の 11 月 20 日における各区の生残率は 98.9～100%と良好な結果であった。また、その時の平均魚体重と標準偏差は、対照区で 791.9±131.8g、14h 区で 764.2±114.5g、14/15/16h 区で 780.7±134.2g、14/16h 区で 773.7±112.6g であり、各区の体重の増加率は、11.65～12.82 倍となった。また、FCR は各区 1.00～1.04 でほとんど差がなかった。期間中の体長および体重の推移をみると各区で同様の増加傾向を示し、各試験区間で顕著な差は見られなかった（図 5、図 6）。

令和 4 年度の試験においては、電照各区で給餌量を増やすことができたことにより良好な成長を示したため、電照による成長促進効果が示唆された³⁾ が、令和 5 年度は給餌量を各区同じにした結果、成長差は見られなかった。このことから、同じ給餌量であれば電照下で給餌時刻や回数を変えても、成長への影響がないと考えられた（日間給餌率が 2.0%程度の場合）。

本研究における令和 5 年度の目標のひとつに、海面養殖水揚時の平均魚体重を 2.5kg 以上にすることが挙げられている。仮に 11 月末から 4 月末までの海水飼育期間の体重増加率を 3.14 倍（令和 4 年度の試験結果 2.75～3.63 倍の平均値³⁾）とした場合、水揚時体重 2.5kg を達成するためには中間育成終了時の体重が約 800g 必要となる。今回は給水量に限界があり、DO 低下の懸念から給餌量が制限されたため、平均体重は 764～792g にとどまったが、DO を確保し給餌率を高めることで、より良い成長が見込めるものと思われる。今回も従来と同様に 1 前後の FCR 値を再現できたことから、計画的な給餌を行うことにより令和 6 年度の目標である海面養殖水揚時の体重 3.0kg を達成する中間育成技術の開発が可能になると考えられる。

表 1 中間育成試験結果

項 目	試験区	対照区 (自然日長区)	14時間 電照区	14-15-16時間 電照区	14-16時間 電照区
開始時収容尾数	a	180	180	180	180
開始時平均体重(g)	b	62.9	59.6	67.0	60.8
開始時総魚体重(g)	c=a×b	11,322	10,728	12,060	10,944
期間中斃死魚重量(g)	d	68	123	0	453
終了時生残尾数	e	179	179	180	178
終了時生残率(%)	f=e/a×100	99.4	99.4	100.0	98.9
終了時平均体重(g)	g	791.9	764.2	780.7	773.7
終了時総魚体重(g)	h=e×g	141,750	136,792	140,526	137,719
総給餌量(g)	i	130,160	130,780	131,000	132,030
Feed Conversion Ratio:FCR	j=i/(h+d-c)	1.00	1.04	1.02	1.04

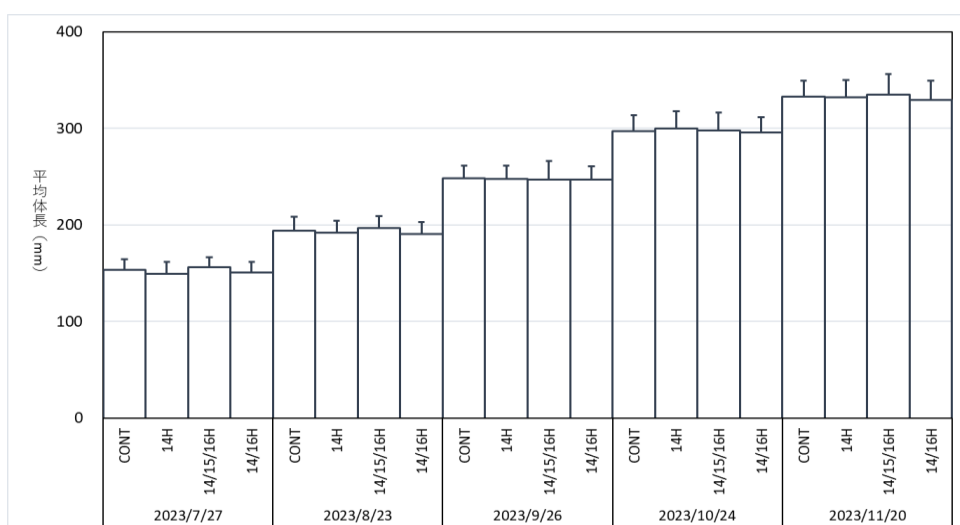


図5 各試験区の平均体長の推移

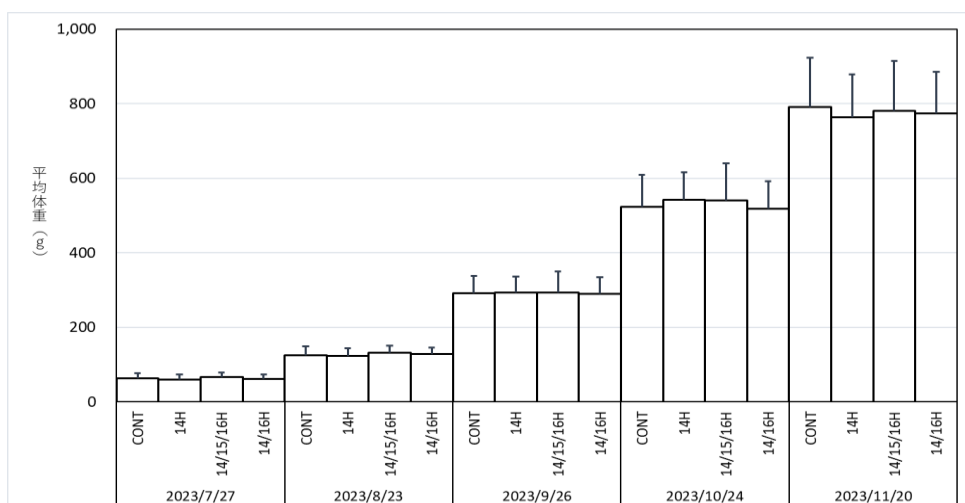


図6 各試験区の平均体重の推移

2) 海水馴致条件毎の摂餌行動の評価

各試験区における生残率と平均摂餌率を図7に示した。

生残率について、海水移行時の海水温を 12℃（淡水との水温差 5℃）に設定した場合は、全ての試験区でへい死は起こらず、生残率は 100% となった。海水移行時の海水温を 14℃（淡水との水温差 7℃）に設定した場合は、対照区と海水経験区において海水移行後 1 週間程度でへい死が起こったが、その後は落ち着き、各試験区で 90% 以上の高い生残率を示した。

平均摂餌率について、海水移行時の海水温を 12℃に設定した場合は、対照区で 0.33%、電照区で 0.42%、海水経験区で 0.65% となった。海水移行時の海水温を 14℃に設定した場合は、対照区で 0.45%、電照区で 0.49%、海水経験区で 0.69% となった。それぞれの水温設定において海水経験区が最も高い摂餌率を示したことから、稚魚期に海水へ暴露させることが海水適応能の向上に有効であると示唆された。

また、令和4年度に行った同様の試験では電照飼育を行った場合、海水適応能が低くなることが示唆された³⁾が、本試験では、電照区の生残率と摂餌率は対照区と同等以上の結果となり、そのような傾向は認められなかった。これは、令和4年度の海水移行時の海水温（17℃）と本試験の海水移行時の海水温（12℃、14℃）の違いに

よるものと推察され、海水移行時の海水温が十分に低ければ、電照飼育を行った場合でもその後の生残および摂餌に問題がないことが明らかになった。

ただし、本県では降雪や人員配置の面から12月上旬（海水温17℃前後）に海水馴致を行うことが多い。今回、稚魚期の海水暴露が海水適応能の向上に有効であることが明らかとなったことから、海水暴露させた後、電照飼育を行うことで、海水適応能の向上と種苗の大型化を両立できる可能性があると考えられる。今後は、そのような試験区を設定して海水馴致後の生残率および摂餌率から海水適応能を評価し、現場に適応できる最も有効な中間育成手法を検討する必要がある。

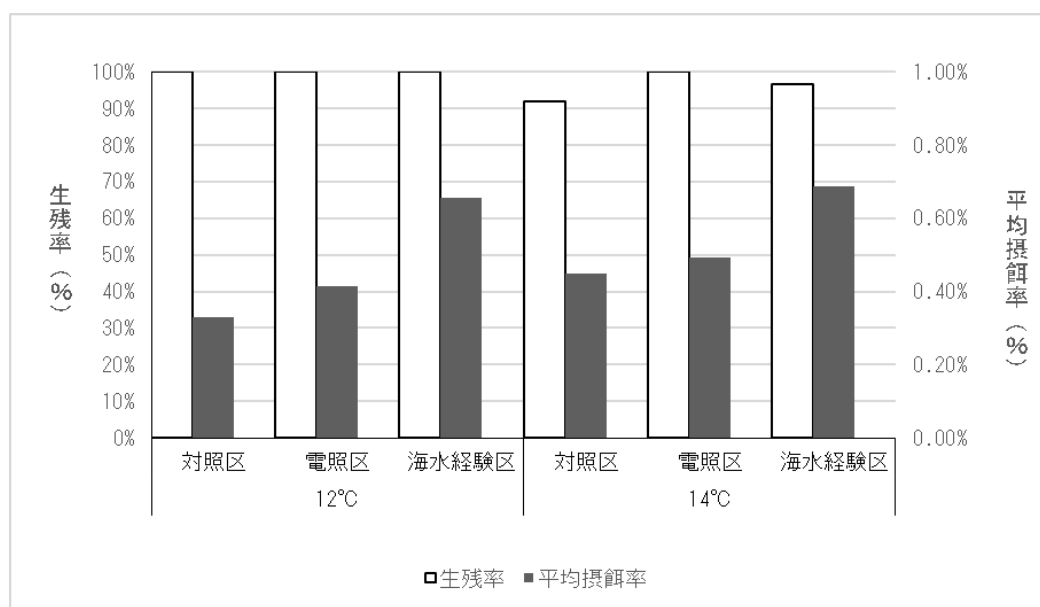


図7 各試験区の生残率と平均摂餌率

4 謝辞

本研究は、生物系特定産業研究支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業（開発研究ステージ）」の支援を受けて行った。研究課題名：サケマス類の日本式海面養殖技術の研究開発

5 文献

- 1) 鎌田淡紅郎 (1974) : 生理と生態. 養魚講座 10 ニジマス. 緑書房, 東京: 46-70.
- 2) Selina M. Stead and Lindsay Laird (2001) : HANDBOOK OF SALMON FARMING, Praxis Publishing Chichester UK: 502p
- 3) 田中直幸・領家一博・梅津博之・児玉敦也・青木萌子 (2023) : トラウトサーモン共同研究事業. 令和4年度福井県水産試験場事業報告: 9-16.