

(1) トラウトサーモン共同研究事業

田中直幸・児玉敦也

1 目的

福井県内では平成 27 年から大規模なトラウトサーモンの海面養殖が行われている。トラウトサーモンはニジマス *Oncorhynchus mykiss* を海面養殖した魚の別名である。福井県産のトラウトサーモンは、「ふくいサーモン®」として流通しており、生産量の目標を 400 トンに設定し、日本一の産地を目指している。

日本の海面で養殖できる期間は冬から春の約 6 ヶ月間に限られる中で、淡水飼育から海水飼育に移行する海水馴致時のストレスは、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ため、海水馴致が最大の技術的課題となっている。この課題を解決するため、令和 2 年度から福井中央魚市株式会社、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が連携して、(国研) 農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センター「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）」を活用した共同研究「サケマス類の日本式海面養殖技術の研究開発」を実施している。共同研究では、課題①「海水馴致時のストレスマーカーの確立」、課題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」、課題③「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、トラウトサーモンの養殖の安定化と生産量の増大を目指している。本報告は、この共同研究において福井県水産試験場が担当した、課題②の内「海水馴致条件毎の摂餌行動の評価」、課題③の内「中間育成時の電照コントロールによる育成手法の検討」の結果の概要について記載した。

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（中間育成試験）

(1) 試験魚

試験には、大野市宝慶寺の養魚場（35° 54' N 136° 27' E）（以下、「宝慶寺養魚場」という。）でふ化した 0 歳魚のニジマス（Riverence 社産スチールヘッド）を使用した。海水経験区の試験魚は、稚魚期に 24 時間の 80% 海水飼育を経験したニジマスを使用した。令和 4 年 4 月 20 日に宝慶寺養魚場より水産試験場第 1 飼育棟に搬入し、電照飼育用の稚魚は 2t コンクリート水槽に、海水経験区の稚魚は 1t コンクリート水槽に収容し、試験開始まで飼育した。飼育期間中の給餌は自動給餌器（DF-100, (株) 中部海洋開発）を用い、1 日 5 回に分けて行った。また、期間中の給餌率は魚体重当たり 2.5~3.5%とした。飼育水は水産試験場に隣接する河川の水を飼育水として使用した。

試験開始時（6 月 2 日）における試験魚の魚体重は、電照試験 3 区が $15.2 \pm 3.1\text{g}$ （平均値±標準偏差）（n= 60）、海水経験区が $13.7 \pm 3.0\text{g}$ （平均値±標準偏差）（n= 60）であった。

(2) 飼育試験

今年度は宝慶寺養魚場が大規模改修で使用できなかったため、福井県水産試験場第 1 飼育棟の 5t コンクリート水槽を使用した。6 月 2 日に 5t コンクリート水槽 4 面に、飼育水量を 3t として各試験区 180 尾ずつ収容し、試験を開始した。

試験区は、令和 3 年度の試験で 14-16h 電照区（初め 14h 時間電照とした後、試験終了 1 ヶ月前より 16h 電照となるよう設定）において海水移行後の生残と成長が良好であったことから、再現性を確認するため、昨年同様の電照条件の 14-16h 電照区を設定した。また、期間中 14 時間に電照する区と、自然日長の対照区と海水経験区を設定した（図 1）。各水槽は、隣の水槽に光が漏れないよう水槽の間に遮光幕を張った。今年度の試験は屋内であるため、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照明を点灯した。電照区では、夏至の 6 月 21 日から電照装置を稼働させ、早朝と日没後にそれぞれ設定した日長時間に合わせて点灯した。

飼育飼料には、鰯パフクリーン（フィード・ワン（株））を試験魚の大きさに合わせて用いた。試験魚への給餌には、自動給餌器（PFX-60LS-SM, 福伸電機（株））を使用し、給餌量は水槽底面に残餌が発生しないように配慮しながらライトリッツの給餌率の 0.8 から 2.5 倍量を目安とした。試験期間中に魚体重を可能な限り大きくするため、試験魚の様子を見ながら給餌量を 1 から 2 回／週の頻度で調整し、可能な限り多くの餌を与えられるように考慮した。電照区では電照中にも給餌し、14h 電照区では 1 回、14-16h 電照区では 14h 電照時は 1 回、16h 電照時は 2 回給餌回数を増やし、可能な限り多くの餌を与えられるように考慮した。自動給餌器に投入した餌料の重量は試験水槽ごとに記録した。

全ての試験水槽に自動式水温記録計（HOBO Pendant Temp/Light 64k data logger）を設置し、水温を 1 時間毎に記録した。飼育試験は 11 月 29 日まで実施した。飼育試験期間中に確認された斃死魚の尾数と重量を試験水槽ごとに記録した。飼育試験後、12 月 1 日に海水馴致を行い、「海水馴致条件毎の摂餌行動の評価」の馴致試験の一部を行った。

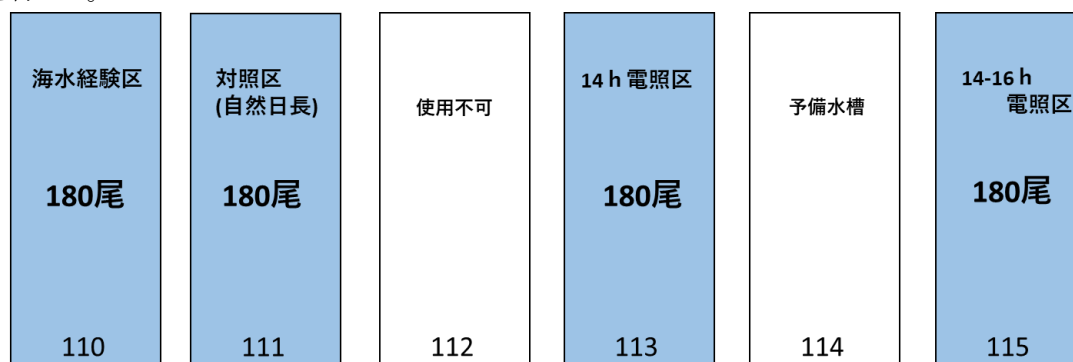


図 1 各試験区の配置

（3）試験魚の測定、生残率およびFCR（増肉係数）

6月2日に121尾（電照試験魚60尾、海水経験魚61尾）、6月27日、7月26日、9月9日、9月30日、10月31日および11月29日に各試験水槽から50尾以上の試験魚を無作為に採捕し、FA100（DS ファーマアニマルヘルス（株））を用いて麻酔処理を施した後、体長（被鱗体長）および魚体重の測定を行った。

9月9日、および11月29日の試験終了時には、各試験水槽内の生残魚を計数した。さらに、試験終了時の生残率と FCR（Feed Conversion Ratio）を試験水槽ごとに算出した。FCR は下記の式により算出した。

$$\text{FCR} = (\text{総給餌量}) / (\text{生残魚の総重量} + \text{斃死魚総重} - \text{尾数再設定時の総重量})$$

2）海水馴致条件毎の摂餌行動の評価

（1）水温差を検討した馴致試験

今年度は、海水冷却機を用いて、海水を冷却した場合の馴致と自然水温での馴致とで、生残率・摂餌率（体重当たりの摂餌量）を比較する試験を行った（図2）。

試験魚は稚魚期に海水に暴露したニジマス（海水経験）と通常飼育したニジマス（対照）を使用し、試験開始時の平均体重は海水経験の試験魚が $245.1 \pm 69.8\text{g}$ 、対照が $222.5 \pm 64.7\text{g}$ で、10月21日に1t水槽に40尾ずつ収容した。

海水冷却機（TAH200JG-T, 東芝キヤリヤ（株））を使用し、馴致前の飼育時の水温と同じ 15°C に冷却した海水の試験区（冷却・海水経験区、冷却・対照区）と自然水温（ 20°C ）の海水の試験区（自然・海水経験区、自然対照区）を設定した。馴致は海水に直接投入し、馴致後11月4日まで1回／日の頻度で飽食まで給餌した。

斃死魚はその都度取り上げ、体重を測定した。11月7日に試験を終了し、全個体測定し、試験期間中の生残率と摂餌率を比較した。

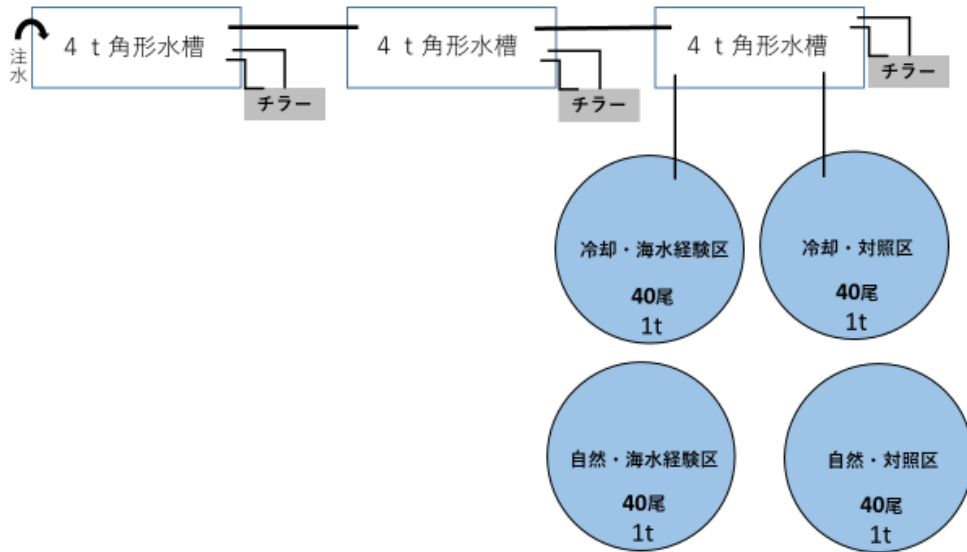


図2 水温差を検討した馴致試験配置図

(2) 電照条件ごとの馴致試験

中間育成試験の試験区ごと（電照条件）に海水馴致を行い、生残率と摂餌率を比較した。

試験は11月22日に中間育成試験の試験魚を、各試験区40尾ずつ1tパンライト水槽に収容して行った。

試験開始時の推定平均体重は、海水経験区が630g、対照区（自然日長）が613g、14h電照区が829g、14-16h電照区が726gであった。

馴致は海水に直接投入し、馴致後12月8日まで1回／日の頻度で飽食まで給餌した。斃死魚はその都度取り上げ、体重を測定した。12月9日に試験を終了し、全個体測定し、試験期間中の生残率と摂餌率を比較した。

(3) 海水馴致後継続飼育試験

中間育成試験で用いたニジマスに12月1日海水馴致して、ラボスケールでの海水馴致と海水馴致後継続飼育試験（以下、「継続飼育試験」という。）を行った。

試験区は、14h電照区、14-16h電照区、対照区、海水経験区の4区を設定し、供試魚は中間育成試験のそれぞれの試験区の試験魚を用いた。試験は、第1飼育棟の5t角形コンクリート水槽4面をそのまま使用した。

馴致は、6時間程度で1/3海水に、翌日には全海水になるよう、水温、塩分および溶存酸素を随時測定しながら淡水と海水の注水量を調整して行った。

12月15日に試験魚を全個体測定し、各試験区50尾に尾数調整し、継続飼育試験を開始した。

試験中は3回／日の頻度で自動給餌機を用いて残餌が発生しないように配慮しながら給餌した。斃死魚はその都度取り上げ体長（被鱗体長）と体重を測定した。

試験期間中は水槽上に蛍光灯を設置し、自然日長に合わせて昼間は照明を施した。

令和5年1月30日、2月21日および3月27日に全個体の体長（被鱗体長）および体重を測定した。

今後、4月下旬まで飼育を継続する予定である。

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) 中間育成試験飼育結果

各試験水槽の飼育結果を表1に示した。

表 1 中間育成試験 各試験水槽の飼育結果

	海水経験区	対照区 (自然日長)	14h電照区	14-16h電照区
試験期間	令和4年6月2日～11月29日			
試験期間中水温	20.7℃(8月31日)～13.7℃(11月28日)			
試験開始尾数(尾)	180			
試験開始平均体重(g)	13.7	15.2		
試験期間中斃死数(尾)	5	3	1	0
試験終了時生残数(尾)	174	178	156	180
試験終了時生残率(%)	96.7	98.9	86.7	100.0
不明魚数(尾)	-1	1	-23	0
試験終了時平均体重(g)	680.5	632.6	987.8	845.6
日間増重量(g/day)	3.70	3.43	5.40	4.61
飼育期間中体重増加率	49.7	41.6	65.0	55.6
生残魚総重量(kg)	118.4	112.6	154.1	152.2
総給餌量(kg)	111.02	107.86	135.24	128.27
増肉係数(FCR)	0.96	0.98	0.89	0.86

試験期間中の水温は、20.7℃（令和4年8月31日AM8:00）から13.7℃（令和4年11月28日AM3:00）の間で変動した。

試験開始日の尾数から斃死尾数および生残尾数を除いた尾数を不明尾数とした。生残率は86.7～100%であった。14h電照区で不明魚が23尾出たが、7月26日の測定の排水作業時に排水溝より流出した可能性が考えられた。

試験終了時の平均体重は、14h電照区で987.8g、14-16h電照区で845.6g、対照区で632.6g、海水経験区で680.5gであった。飼育期間中体重増加率は、14h電照区で65.0、14-16h電照区で55.6、対照区で41.6、海水経験区で49.7であった。

各試験区の総給餌量は、14h電照区で135.24kg、14-16h電照区で128.27kg、対照区で107.86kg、海水経験区で111.02kgであった。FCRは14h電照区で0.89、14-16h電照区で0.86、対照区で0.98、海水経験区で0.95であり、14-16h電照区、14h電照区、海水経験区、対照区の順で低（餌料転換効率が高）かった。

対照区と比較して、14h電照区では1.25倍、14-16h電照区では1.19倍多く給餌することができ、平均体重を14h電照区で1.56倍、14-16h電照区で1.34倍成長させることができ、FCRも良好な結果となった。飼育期間全体のFCRは0.86～0.98の範囲にあり、平成30年のFCR(1.010～1.201)¹⁾、令和元年のFCR(1.056～1.181)²⁾、令和2年のFCR(1.195～1.302)³⁾、令和3年のFCR(1.04～1.28)⁴⁾と比較しても良好な結果となったが、本年の試験は宝慶寺養魚場ではなく水産試験場の5t水槽で試験を行い、試験規模も小規模で行ったことで、残餌等の管理がしやすく、無駄な給餌を抑えられたことが原因と考えられた。

海水経験区は試験開始時の魚体が他の試験区より若干小さかったが、試験終了時の平均体重は680.5gと対照区を上回り、飼育期間中体重増加率も49.7倍と対照区を上回った。

体重、体長の測定の結果から得られた各試験区の平均体長を表2、図3に平均体重を表3、図4に示した。

表2 各試験区の平均体長 (mm)

測定日	14h電照区	14-16h電照区	対照区 (自然日長)	海水経験区
6/2	95	95	95	91
6/27	128	128	127	126
7/26	172	170	163	166
9/9	246	234	222	226
9/30	280	265	250	255
10/31	324	312	297	298
11/29	363	347	328	333

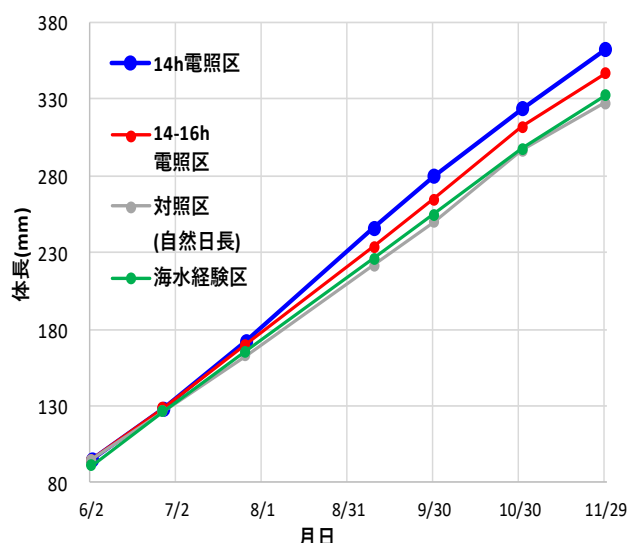


図3 各試験区の平均体長の推移

表3 各試験区の平均体重 (g)

測定日	14h電照区	14-16h電照区	対照区 (自然日長)	海水経験区
6/2	15	15	15	14
6/27	38	37	35	36
7/26	95	88	76	81
9/9	288	248	192	203
9/30	438	361	280	299
10/31	715	638	491	508
11/29	988	846	633	681

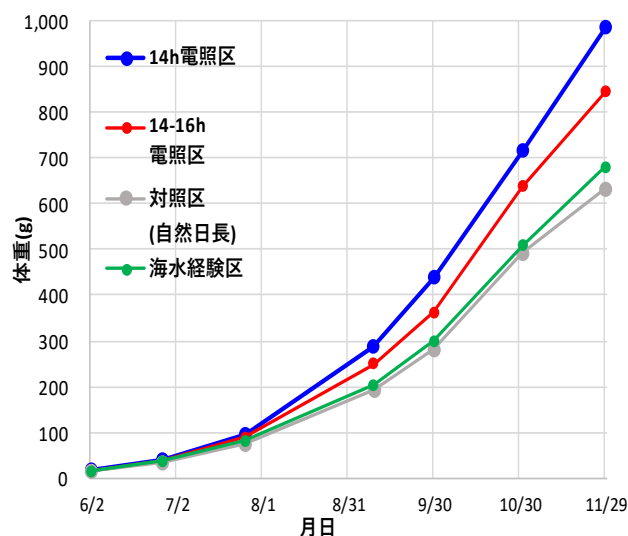


図4 各試験区の平均体重の推移

いずれの試験区も体長、体重ともに増加していった。14h 電照区で7月26日以降体重が急激に増加しているのは、7月26日の測定の際に不明魚が発生したことにより、9月9日までの期間、過剰に給餌（160尾に180尾分の給餌を行う）を行ったことが原因と考えられる。

試験終了時の平均体重において、14h 電照区と他の試験区、14-16h 電照区と海水経験区・対照区で有意差があった。

電照2区では給餌量を増やした分以上の体重増加が見られ、電照による成長促進の効果が見られた。宝慶寺養魚場では、夏季の昼間は飼育水温の上昇によりニジマスの摂餌が減退することが考えられ、電照により飼育水温が低下した夜間に給餌器を使って餌を与えられる利点は大きいと考えられる。しかし、電照にかかる電気代や飼料代などに見合う成長であるかの検証を今後行う必要がある。次年度以降、コスト（電照に伴う電気代、飼料代等）を算出し、海水馴致後の飼育結果（生残率と成長）と合わせて採算性の検討を行う必要がある。

2) 海水馴致条件毎の摂餌行動の評価

(1) 水温差を検討した馴致試験

各試験区の水温条件を表4に示した。試験開始時の試験魚の飼育水温（淡水）は15.0～15.1℃で、自然海水温は20.5～20.6℃と5.5℃の水温差があった。冷却機で冷却した海水温は14.4～14.6℃で、水温差は0.5～0.6℃であった。また、試験期間中の自然海水温は21.4～21.6℃まで上昇したが、試験終了時には18℃台後半であった。

試験期間中の各試験区が生残率推移を図5に、最終生残率と試験期間中の平均摂餌率を図6に示した。

海水馴致の翌日より自然海水の2区で斃死が始まり、3日目までの斃死数が多く、5日後の10月26日まで続いたが、その後斃死はなくなった。冷却海水の2区では斃死は全く起きなかった。

最終生残率は冷却海水の2区とも100%であったのに対し、自然・海水経験区で30%、自然・対照区では2.4%であった。冷却海水に比べて自然海水2区の生残率が極端に低かったことは、馴致時の海水温が20℃台と高かったことに加えて、5℃以上という水温差の影響が考えられた。

海水馴致4日後から給餌を開始したが、冷却海水の2区は良好な摂餌を示したのに対し、自然海水の2区は試験区間中の摂餌状況は悪く、平均摂餌率は冷却海水2区の半分程度であった。

また、自然海水2区において、自然・海水経験区の生残率が対照区に比べて高かったことと、冷却海水2区において、冷却・海水経験区の平均摂餌率が対照区より良好であったことは、稚魚期に海水経験をすることが海水馴致能力を向上させる可能性を示唆している。

今回の試験では試験魚の平均体重が200g台の小型魚を使用し、海水馴致方法も海水に直接試験魚を投入するという過酷な条件にもかかわらず、冷却海水を使用した2区の生残率が100%で、摂餌率も良好であった。このことは海水馴致後の生残や摂餌行動に影響を与える要因が、塩分濃度の変化よりも馴致時の水温や水温差であることを示唆するものである。

表4 各試験区の水温条件

	冷却・ 海水経験区	冷却・ 対照区	自然・ 海水経験区	自然・ 対照区
海水馴致前の飼育水温 (°C)	15.0	15.1	15.0	15.1
海水馴致時の水温 (°C)	14.4	14.6	20.5	20.6
試験期間中最高水温 (°C)	14.9	14.9	21.6	21.4
試験期間中最低水温 (°C)	12.8	13.7	18.7	18.7

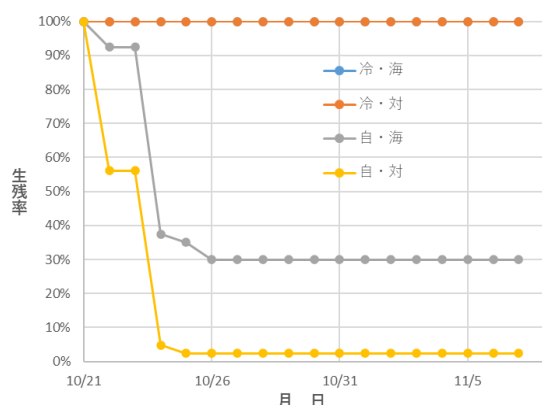


図5 各試験区の生残率推移

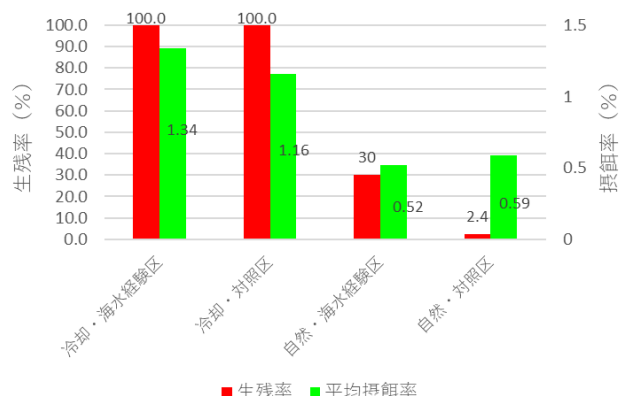


図6 各試験区の最終生残率と試験期間中の平均摂餌率

(2) 電照条件ごとの馴致試験

各試験区の水温条件を表5に示した。試験開始時の試験魚の飼育水温(淡水)は14.2℃で、馴致時の海水温は17.6~17.7℃と約3.5℃の水温差があった。試験期間中の海水温は17.9~18.0℃まで上昇したが、試験終了時には15℃台であった。

試験期間中の各試験区の生残率推移を図7に、最終生残率と試験期間中の平均摂餌率を図8に示した。

海水馴致5日目までに目立った斃死は収まり、最終生残率は、対照区97.5%、海水経験区80%、14-16h電照区52.5%、14h電照区47.5%であった。昨年の試験の14-16hの生残率の再現はできず、令和2年度試験同様³⁾、

電照した試験区の生残率は低かった。

試験期間中の平均摂餌率は、海水経験区が 1.19%、対照区 1.08%、14h 電照区 0.42%、14-16h 電照区 0.26% と、生残率同様電照した試験区の摂餌率は低かった。海水経験区の摂餌率は対照区より若干良好だったものの、生残率と合わせると海水経験の優位性を示す結果ではなかった。

ニジマスでは魚体重が大きいほど海水馴致能力が高いと一般に言われているが、今回の試験において、海水経験区と対照区の試験魚が 600g 台、14h 電照区が 800g 台、14-16h 電照区が 700g 台であったにもかかわらず、電照 2 区の生残率と摂餌率は明らかに劣っていた。このことは、水温差 3℃以上で塩分濃度が急激に変化する条件では、電照したニジマスの海水馴致能力が低いことを示唆している。

表 5 各試験区の水温条件

	海水経験区	対照区 (自然日長)	14h電照区	14-16h 電照区
海水馴致前の飼育水温 (°C)	14.2	14.2	14.2	14.2
海水馴致時の水温 (°C)	17.7	17.7	17.7	17.6
試験期間中最高水温 (°C)	17.9	18.0	17.9	17.9
試験期間中最低水温 (°C)	15.9	15.9	15.3	15.7

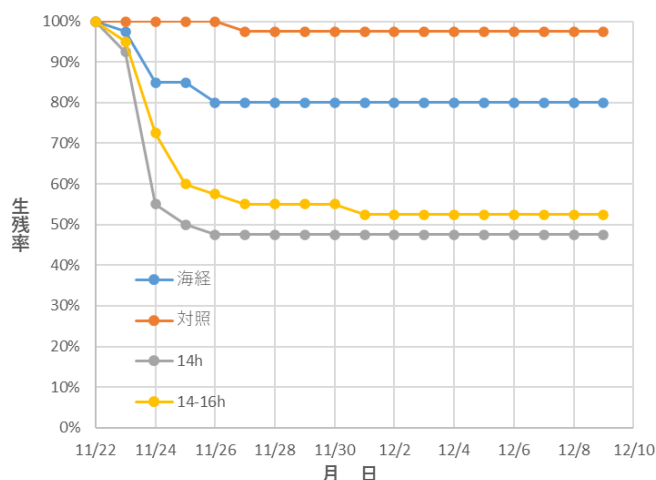


図 7 各試験区の生残率推移

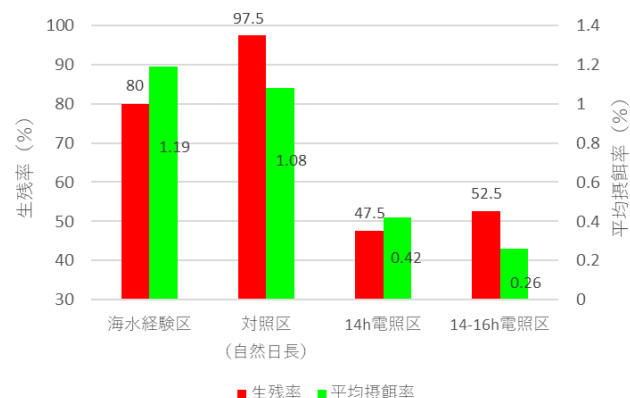


図 8 各試験区の最終生残率と試験期間中の平均摂餌率

(3) 海水馴致後継続飼育試験

12 月 1 日の海水馴致より、12 月 15 日までの生残率と平均摂餌率を図 9 に示した。

生残率は電照した 2 区とも 100%、海水経験区と対照区は 99%とほとんど差がなかった。また、平均摂餌率は海水経験区 1.1%、対照区 1.07%、14-16h 電照区 0.95%、14h 電照区 0.82%と、14-16h 電照区で海水経験区、対照区と遜色ない摂餌率を示した。

昨年の継続飼育試験同様、6 時間で 1/3 海水、翌日に全海水に置換という緩やかな海水馴致条件では、14-16h 電照はニジマスの海水馴致能力への影響が少ないことが再現された。

今年度の各試験区の成長を全体として評価するため、14-16h 電照区、14h 電照区、対照区、海水経験区の間育成試験、継続飼育試験中の平均体重の推移を図 10 に示した。

11 月 29 日の中間育成試験終了時の平均体重は、14h 電照区で 987.8g、14-16h 電照区で 845.6g、海水経験区で 680.5g、対照区で 632.6g であった。その後、12 月 1 日に海水馴致をし、2 週間後の 12 月 15 日の平均体重は 14h 電照区で 1,108g、14-16h 電照区で 963.4g、海水経験区で 831.1g、対照区で 786.4g であった。3 月 27 日現在では、14h 電照区で 2,567g、海水経験区で 2,169.4g、14-16h 電照区で 2,091.8g、対照区 2,046.3g と全ての区で 2kg を超えた。

電照した2区において、2月21日まで馴致後も順調に成長していることから、電照したニジマスは海水馴致時に過度のストレス（水温差や急激な塩分濃度の変化等）を与えなければ、順調に成長することが示唆された。しかし、実際の養殖現場において、今回の試験のような6時間で1/3海水、翌日に全海水に置換という緩やかな海水馴致法は現実的ではない。今後は電照したニジマスに影響を与えず、養殖現場で可能な海水馴致条件の検討が必要である。

3月27日の測定において、海水経験区の平均体重が14-16h電照区を逆転しているが、これは14-16h電照区において、体重1,000g前後の極端に成長の悪い個体（ビリ）が数尾おり、そのことで平均体重を押し下げたことが原因である。今後は選別等のビリへの対応策を検討する必要があると考えられる。

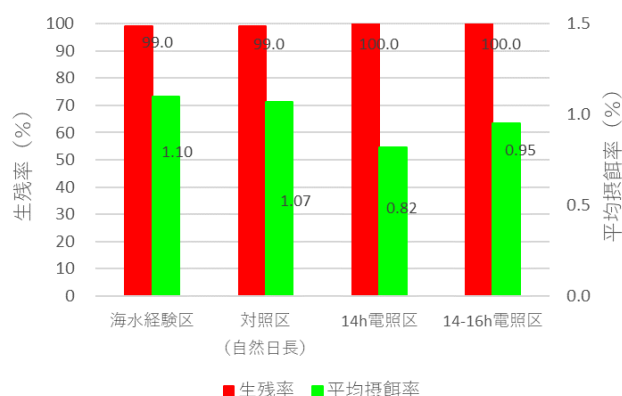


図9 海水馴致後2週間の各試験区の生存率と平均摂餌率

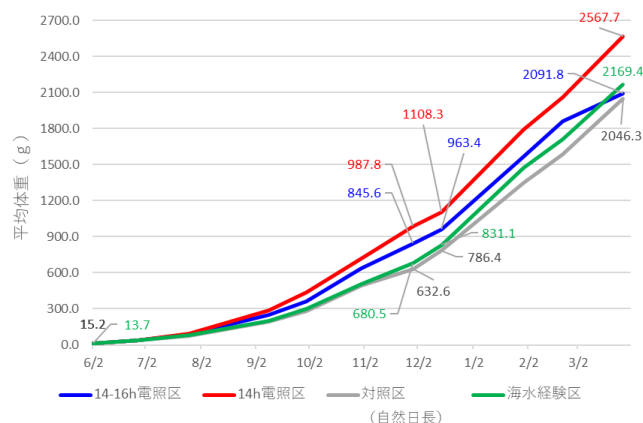


図10 各試験区の平均体重の推移

4 文献

- 1) 仲野 大地・中嶋 登・水嶋 亨 (2019): トラウトサーモン共同研究事業 ア 淡水飼育時の電照・飼料条件の最適化. 平成30年度福井県水産試験場事業報告: 173-176
- 2) 家接 直人・仲野 大地・中嶋 登 (2020): ふくいサーモン養殖安定化技術開発. 令和元年度福井県水産試験場事業報告: 151-156
- 3) 家接 直人・中嶋 登・谷保 文野 (2021): トラウトサーモン共同研究事業. 令和2年度福井県水産試験場事業報告: 181-187
- 4) 田中 直幸・中嶋 登・谷保 文野 (2022): トラウトサーモン共同研究事業. 令和3年度福井県水産試験場事業報告: 162-168