研究分野	３　生産性・市場性の高い産地形成に関する技術開発	**部　名**	漁業資源部
研究課題名	(1)　秋サケ増殖に関する研究		
予算区分	県単（さけ・ます増殖事業）、国庫委託（さけます等栽培対象資源対策事業）		
試験研究実施年度・研究期間	平成24～令和５年度		
担当	（主）清水　勇一、（副）長坂　剛志		
協力・分担関係	水産振興課、国立研究開発法人水産研究・教育機構（水産資源研究所、水産技術研究所）、北海道さけ・ます内水面水産試験場、一般社団法人岩手県さけ・ます増殖協会、北里大学、北海道大学、東京大学、静岡大学、唐丹町漁業協同組合、三陸やまだ漁業協同組合		

＜目的＞

岩手県の秋サケ回帰尾数は、平成８年度をピークに近年低迷しており、回帰尾数減少の原因解明と回復に向けた対策が求められている。

本研究では、確実な種卵確保による増殖事業の推進に資するため、資源変動を把握しながら回帰予測の精度向上を図ることを目的に、放流稚魚の追跡調査と回帰親魚の年齢・魚体サイズ・耳石等に係る調査を行う。また、早急な資源回復に資するため、人為的に関与できる種苗生産・放流技術の改良と普及を目的に、沿岸の高水温化に対応した放流時期やサイズの検討、環境変化に強い種苗を生産するための飼育環境や餌料、系統の検討を行うとともに、稚魚放流後の初期減耗を緩和するための海水馴致放流等の技術開発を行う。

＜試験研究方法＞

１　岩手県沿岸におけるサケ幼稚魚の分布状況

岩手県沿岸におけるサケ幼稚魚の分布状況を明らかにするため、漁業指導調査船「岩手丸」（以下、岩手丸）により表層トロール網（ニチモウ製LCネット、袖網間隔10m、袖口高さ７m）を用いて採集調査を実施した。表層トロールは、３ノットで30分間曳網し、採捕尾数と曳網面積から分布密度を算出した。採集調査と併せて、CTD（シーバード社 SBE9plus）による水温・塩分の測定とノルパックネットによる動物プランクトンの採集を行った。調査点は、野田湾、宮古湾、山田湾、大槌湾、釜石湾、唐丹湾及び吉浜湾の各湾口付近の７地点並びに八木、黒埼、熊の鼻、閉伊埼、トドヶ埼及び尾埼の６地点の距岸距離５マイル以内の沿岸海域とした。

２　親魚の回帰状況

県内の沿岸河川のうち、片岸川、織笠川及び津軽石川にそ上した親魚については、それぞれの河川で盛期を中心に雌雄各600尾程度を目安に魚体測定と年齢査定を行ったほか、各河川の雌100尾については、繁殖形質（孕卵数等）を測定した。なお、その他の河川については、（一社）岩手県さけ・ます増殖協会が、そ上したサケ親魚から雌雄約２万尾の鱗を採取し、年齢査定を行った。

３　秋サケ回帰予測

令和２年度の回帰尾数は、令和元年度と同様に、２歳魚及び２歳魚との相関が弱い３歳魚の予測については県沿岸域の幼稚魚分布密度を用い、４歳魚以上の予測にはシブリング法を用いて予測した。また、各河川の予測には河川ごとにシブリング法を用い、各河川の年齢組成・資源変動を反映した予測としたほか、時期別に回帰効率を補正した。なお、分布密度と３年後の４歳魚の回帰尾数には、有意な正の相関関係がある（平成29年年報で報告）。

４　サケ大規模実証試験施設での種苗生産・放流技術の開発

令和２年級は、最適餌料の探索試験、遊泳力強化手法の検討試験、適期適サイズ放流の検討試験を行うとともに、平成30年級及び令和元年級と同様に北上川水系の卵を用いた高温耐性試験を行った。各試験区について、成長、遊泳力、飢餓耐性により飼育稚魚を評価した。なお、沿岸滞泳期における分布と成長を把握するため、高温耐性試験を除く試験区において個別の耳石温度標識を施標して放流し、沿岸域での追跡調査を行った。

⑴　令和元年級（令和２年春放流）稚魚の追跡調査

令和元年級の試験魚を放流後、山田湾、唐丹湾及び釜石湾において、漁業指導調査船「北上丸」（以下、北上丸）による火光利用敷網を用いた追跡調査を行い、採捕数を各試験区で比較した。なお、これまでに大規模実証試験施設で標識放流した試験区を表１に示した。

表１　大規模実証試験施設で実施した試験（平成26～令和２年級）

年級	実施試験	試験設定		
平成26	密度	低密度10kg/m^3	通常密度20kg/m^3	高密度30kg/m^3
平成27	密度	低密度15kg/m^3	通常密度20kg/m^3	高密度25kg/m^3
平成28	餌料	サケEPC区	サケDPC区	マスEPC区
平成29	餌料	サケEPC区	海産魚用EPC区	マスEPC区
平成30	餌料	サケEPC区	乳酸Ca区	
	密度	低密度10kg/m^3	通常密度20kg/m^3	高密度50kg/m^3
	移入	北上水系砂鉄川	沿岸河川片岸川	
	流速強化	流速強化区2cm/s	対照区0.5cm/s	
令和元	餌料	サケEPC区	アスタキサンチン添加区	オイル添加区
	流速強化	流速強化区2cm/s	対照区0.5cm/s	
	移入	北上水系砂鉄川	沿岸河川片岸川	
	大型稚魚放流	3～4g放流		
令和2	餌料	アスタキサンチン添加区	オイル添加区	
	流速強化	流速強化区2cm/s	対照区0.5cm/s	
	移入	北上水系砂鉄川	沿岸河川片岸川	
	大型稚魚放流	4g以上放流		

⑵　令和２年級（令和３年春放流）稚魚の飼育試験

大規模実証試験施設の飼育池に各河川からの発眼卵又は受精卵を収容した。飼育はサケ・ふ化飼育管理の手引（平成20年度版）に従った。餌料にはサケEPC（日清丸紅飼料株式会社製）を用い、ライトリッツの給餌率表に従って給餌した。飼育水には大規模実証試験施設の井戸水（水温10～11℃）を用いた。

ア　最適餌料の探索

県内の標準餌料であるサケEPCにアスタキサンチンオイル（バイオジェニック株式会社製：アスタビオAR-F、令和元年級試験の追試として設定）をフィードオイル（AオイルS16）で10倍希釈し、希釈溶液を重量比で５％添加したものを給餌するBGアスタキサンチン添加区、フィードオイルを５％添加したオイル添加区（対照試験区として設定）及び総カロテノイド-アスタキサンチン混合液（サイエンテック株式会社製：アスタアップ®（アスタキサンチン含有量85～93%））をフィードオイルで25倍希釈し、希釈溶液を重量比で５%添加したものを給餌するSTアスタキサンチン添加区の３試験区を設定した。STアスタキサンチン添加区及びオイル添加区には令和２年12月２日採卵群（山形県産）各20万粒、BGアスタキサンチン添加区には令和２年12月11日採卵群（片岸川産）10万粒を用いた。

試験中は概ね１週間毎に30尾（放流時は100尾）の尾叉長と体重を測定した。また、健苗性を検討するため、概ね１週間毎に５尾の血液中の血糖値をワンタッチベリオビュー（ジョンソンエンドジョ

ンソン株式会社製）を用いて測定した。

また、池出し直後、魚体重１ｇ台時点及び放流直前のサケ稚魚について、稚魚１尾を直径34㎜の円形パイプ型水槽（スタミナトンネル、有限会社タカツ産業社製）に封入し、ポンプにより水流を起こし強制的に遊泳させることで、遊泳力を測定した。持続遊泳力については５尾、瞬発遊泳力については20尾を測定した。持続遊泳力は、10cm/secから１分間に１cm/secずつ流速を強め、遊泳できなくなった時点の流速とした。瞬間遊泳力は、10cm/secから１秒に1cm/secずつ流速を強め、遊泳できなくなった時点の流速とした。

さらに、放流直前の稚魚を用いて飢餓耐性試験を実施した。水産技術センターの種苗棟水槽内のカゴ（50cm×30cm×60cm）に各試験区400尾を無作為かつ均等になるよう２群に分けて搬入し、海水かけ流しで飼育した。１群は無給餌での飼育とし、もう１群は饑餓による死亡を明確にするために飽和量給餌での飼育とした。試験期間中は１日ごとに死魚を計数し、生残率が50%を下回った時点で試験終了とした。試験終了時には、各群の稚魚概ね100尾の尾叉長及び体重を測定した。

イ　遊泳力強化方法の検討（さけます等栽培対象資源対策事業）

試験区は、流速強化区（流速約２cm/sec）と対照区（同約0.5cm/sec）の２つとし、令和２年12月14日採卵群（片岸川産）を８万粒ずつ２群に分けて飼育した。流速強化区では、飼育池の排水部に取り外し式のポンプを取り付け、注水部へと戻すことで流速を強化し、昼間の12時間（６時～18時）を流速２cm/secの強化行程、夜間（18時～翌朝６時）を流速0.5cm/secの安息行程として飼育した。また、アと同様に成長比較、遊泳力測定及び飢餓耐性試験を行った。

ウ　適期適サイズ放流の検討（大型稚魚放流）

サイズを重視した放流を検討するため、前年度と同様に、放流適期外の６月まで飼育を行い、４ｇ以上の大型稚魚を放流した。なお、添加餌料の効果を追試するため、通常のサケEPC餌料（対照区）、アスタキサンチン（アスタアップ®）添加餌料（STアスタキサンチン添加区）及びフィードオイル添加餌料（オイル添加区）での飼育を行った。STアスタキサンチン添加区及びオイル添加区には令和２年12月16日採卵群（片岸川産）各6.7万粒、対照区には令和２年12月19日採卵群（片岸川産）及び21日採卵群（片岸川産）5.6万粒を用いた。また、アと同様に成長比較、遊泳力測定及び飢餓耐性試験を行った。

エ　高温耐性試験

高水温耐性を有すると想定される北上川水系の砂鉄川と、対照区として沿岸の片岸川から大規模実証試験施設に受精卵を移入した。砂鉄川産は令和２年11月12日及び13日採卵群５万粒、片岸川産は令和２年11月14日採卵群15万粒を用いた。

平成30年級の砂鉄川及び片岸川産稚魚について、水温によるストレス反応に関与し、高温耐性の指標とされるヒートショックプロテイン（HSP）遺伝子を分析したところ、高水温区（18℃で飼育）において、HSPファミリーの一部である*hsp30*と*hsp47*について、砂鉄川産が片岸川産より高く発現していた（令和元年年報報告）。令和元年級においては、１日ごとに飼育水温を上昇させる長期高温耐性試験を実施した。令和２年級では、令和元年級と同様にHSP遺伝子の発現解析及び長期高温耐性試験を実施したほか、砂鉄川産の高温耐性の有無をより正確に判断するため、高水温に即座に投入し、その反応を確認する短期高温耐性試験を追加した。

また、平成30年、令和元年及び令和２年度に実施した各稚魚の特徴把握試験の追試として、アと同様に成長比較、遊泳力測定及び飢餓耐性試験（魚体重１ｇ台時点及び放流直前）を実施した。

①　発生比較

受精卵各100粒を、砂利を敷いたカゴ（30cm×20cm×５cm）に播き、ふ化開始時の積算水温を比較した。また、両河川親魚の交配による子孫（以下、交雑種）の形質について調査するため、砂鉄川及び片岸川産親魚の交配（片岸川 雌×砂鉄川 雄）により交雑種を作出し、同様に比較した。

②　短期高温耐性試験

砂鉄川及び片岸川産稚魚を原水温（約 11.0℃）から 26.5℃の水中に投入し（５尾投入×10 回試行）、通常遊泳の状態から魚体が転覆し通常遊泳が不可能となるまでの時間（平衡喪失時間）を測定した。また、HSP 遺伝子の発現を測定するため、試験後の各河川稚魚及び両河川の交雑種 10 個体について、尾叉長及び体重を測定後、筋肉と脳を RNAlater（Qiagen 社製）に浸漬して４℃で一晩インキュベートした後、－80℃で保存した。

③　長期高温耐性試験

砂鉄川、片岸川、気仙川及び田老川由来の稚魚並びに交雑種２種（片岸川 雌 × 砂鉄川 雄及び田老川 雌 × 気仙川 雄）について、原水温区（約 11.0℃）と昇温区（12.0～26.0℃）に分け、概ね 60 尾ずつ容器（74cm×44cm×35cm）内で給餌飼育（魚体重 2.5%、１日につき午前中に１回）した。昇温区の水温は 12℃から開始し、最高設定水温（26℃）まで１日に２℃ずつ上昇させ、各水温における生残率を確認した。また、HSP 遺伝子の発現を測定するため、試験開始前、開始後１日目、３日目、５日目、７日目及び８日目に、各試験区概ね 10 尾ずつ尾叉長及び体重を測定後、筋肉と脳のサンプリングを行い、②と同様の手順で保存した。なお、昇温区において生存個体が３尾未満となった時点で試験を終了した。

④　令和元年級サケ稚魚の HSP 遺伝子の発現解析

令和元年級の砂鉄川及び片岸川由来の稚魚について、静岡大学においてリアルタイム定量 PCR 法により、HSP 遺伝子の発現解析を行った。各稚魚を原水温区（約 11.0℃）、高水温区（約 18.0℃）及び生存限界水温区（約 23.0℃）に暴露して飼育し、試験開始前、開始後６時間、３日目及び７日目に筋肉と脳のサンプリングを行い、②と同様の手順で保存した。また、予備実験として、安家川産令和元年９月 17 日採卵群（早期回帰群）由来の稚魚についても、同様に解析を行った。

５　令和元年級（令和２年春放流）の海中飼育試験（さけます等栽培対象資源対策事業）

試験は山田湾において、三陸やまだ漁業協同組合と連携して実施した。個別の耳石温度標識を施標した河川放流群、短期海中飼育群、通常海中飼育群及び改良大目網海中飼育群の４試験群を設定し、それぞれ 40 万尾を飼育試験に用いた。短期海中飼育群は、通常１ヶ月程度海中生簀で飼育する期間を２週間（1/2）に短縮して放流する試験群である。改良大目網海中飼育群は、通常の海中飼育網と１寸目にイセを入れて目合をつぶした飼育網（イセ大目網）を結合した、２段式の海中飼育生簀（図１）を用いて飼育した試験群であり、海中飼育開始時は通常の目合いで飼育を行い、１ヶ月が経過した時点で大目網部分を海中に落網することで、潮通しの改善による飼育環境の改善と一部小型稚魚の逃避により、適正密度での飼育による健苗性向上を目的としている。

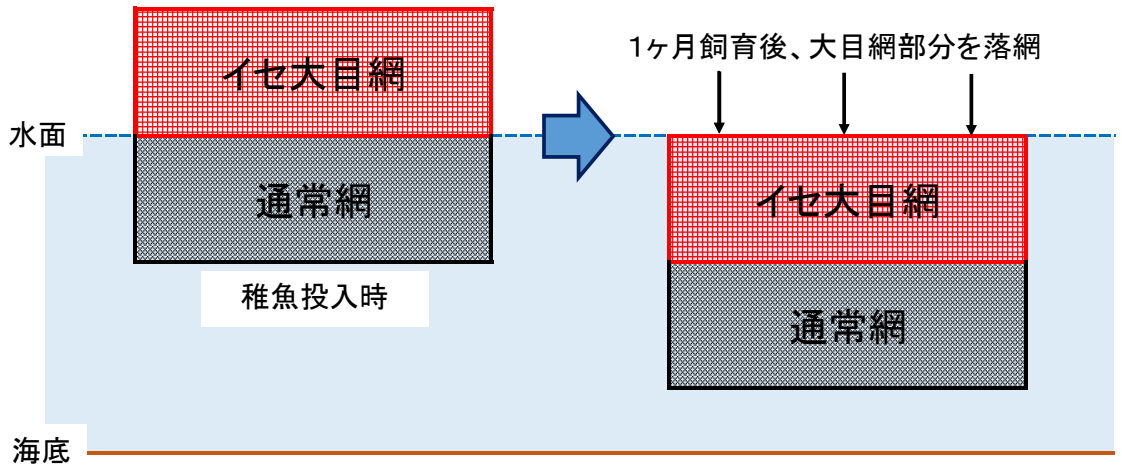


図１　改良大目網海中飼育群の飼育模式図

各海中飼育群については、令和２年３月 23 日より山田湾の海中生簀において海中飼育を開始した。各成長段階における各試験群の尾叉長と体重を測定したほか、４⑵アと同様の手順で、池出し直後及び海中飼育開始直後並びに各成長段階におけるサケ稚魚の遊泳力を測定した。また、各成長段階において、一部の稚魚を-80℃で凍結保存し、北里大学にて筋肉及び肝臓中のトリグリセリドとグリコーゲン含有率を測定した。

放流後は、北上丸による火光利用敷網調査及び船外機船によるまき網調査により、稚魚の追跡を行った。

＜結果の概要・要約＞

１　岩手県沿岸におけるサケ幼稚魚の分布状況

令和２年春季（令和元年級）の調査では、前年度調査（平成 30 年級）と同様に、分布密度は０尾/㎢となった。（図２）

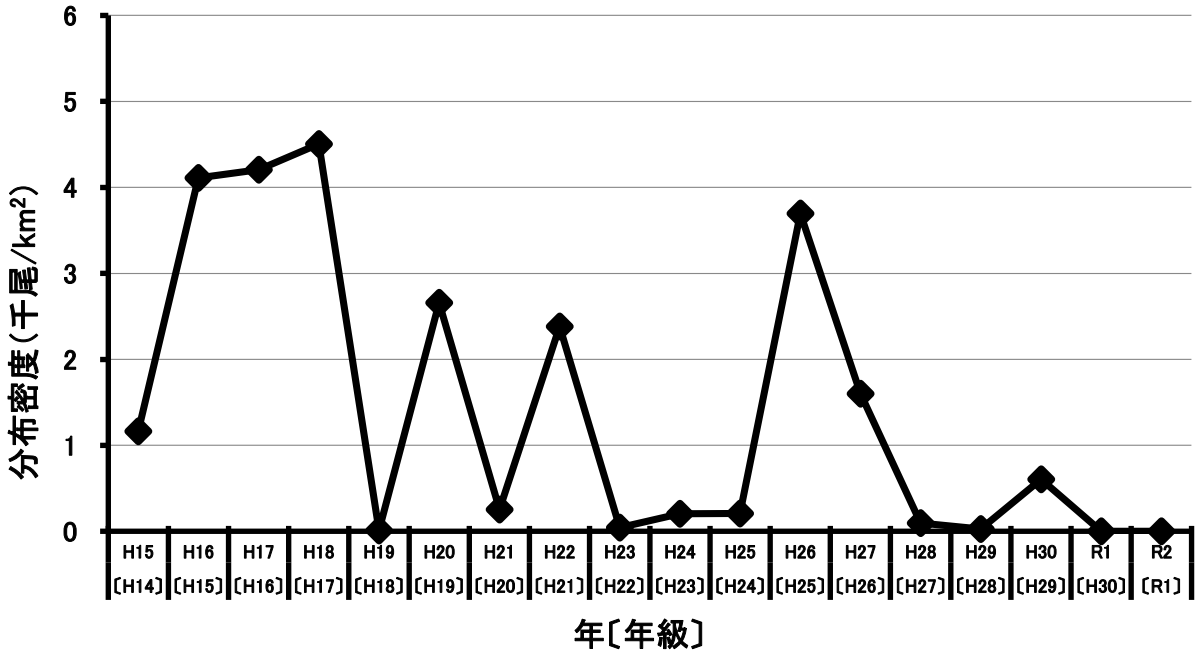


図２　表層トロール調査によるサケ幼稚魚分布密度の経年変化

２　親魚の回帰状況

⑴　令和２年度の回帰状況

令和２年度の沿岸漁獲（海産親魚捕獲含む）及び河川捕獲を合わせた回帰尾数は 591 千尾（令和元年度 765 千尾、対前年比 77.2%）となり、昭和 50 年以前のレベルまで減少した（図３）。また、目立った回帰のピークは見られなかった。

回帰尾数の内訳は、沿岸漁獲が 436 千尾（対前年比 71.1%）、河川捕獲が 106 千尾（対前年比 92.6%）、海産親魚捕獲が 50 千尾（対前年比 127.6%）であり、河川そ上率は 17.9%と前年度の 14.9%を上回った。

地区別漁獲割合では、平成 25～27 年度の平均放流割合（県北：県央：県南＝25：44：31）に対し、県北の漁獲割合は 46%（平均放流割合の約 1.8 倍）と高く、県南は 18%（平均放流割合の 58%）と低く、平成 27 年以降県北偏重の同様の傾向となった（図４）。

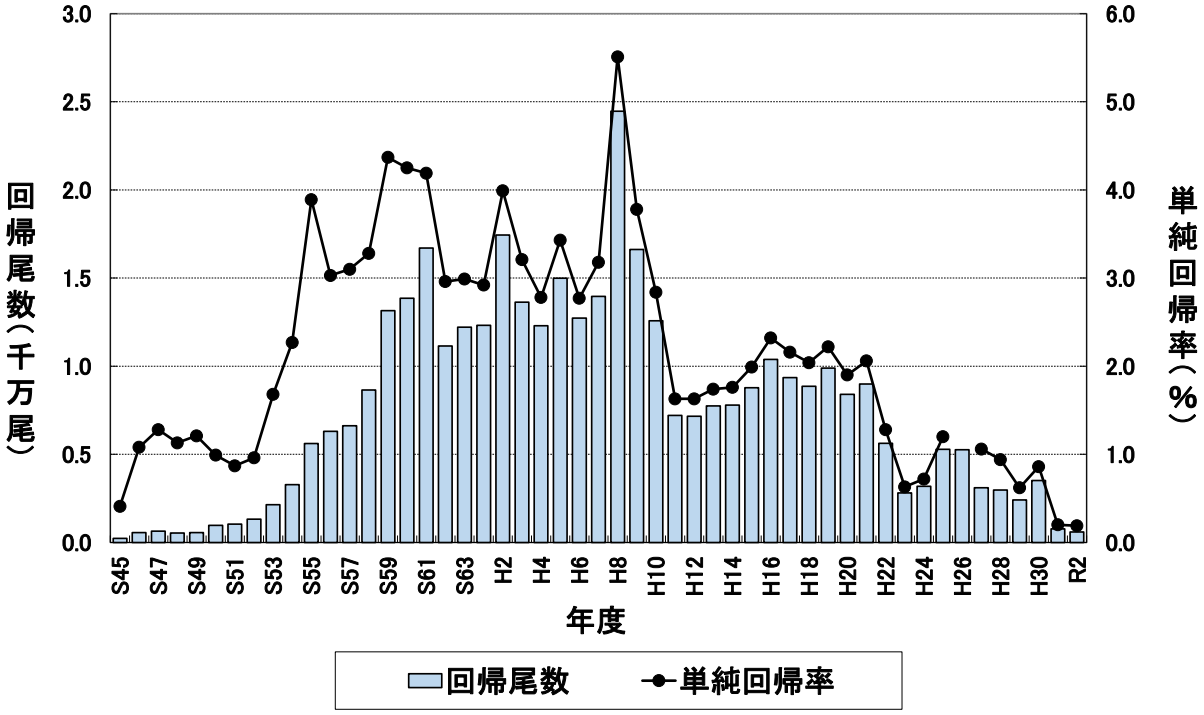


図３　年度別回帰尾数と単純回帰率

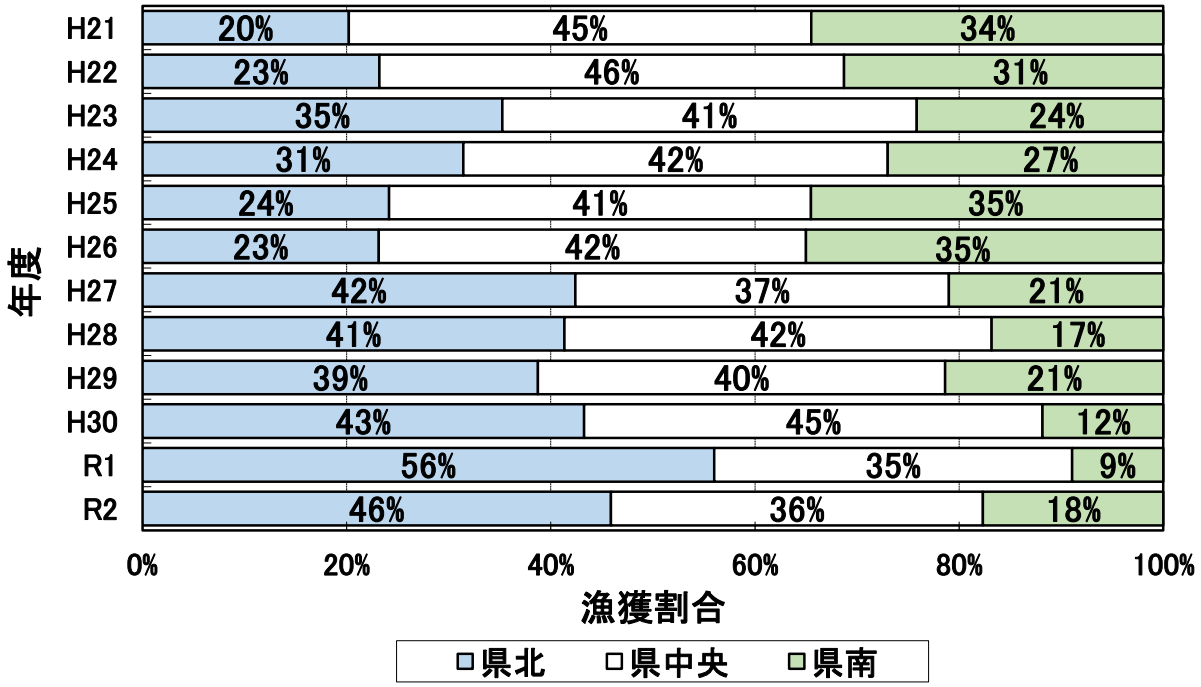


図４　地区別漁獲割合の推移

県北：種市～普代市場　県中央：田野畑～船越市場　県南：大槌～大船渡市場

⑵　年齢構成、体サイズ及び繁殖形質調査結果

県全体における回帰親魚の年齢組成は、主群を占める４歳魚の割合が著しく高くなった（図５）。片岸川、織笠川及び津軽石川に回帰した雌４年魚の体重は、前年を下回った（図６）。

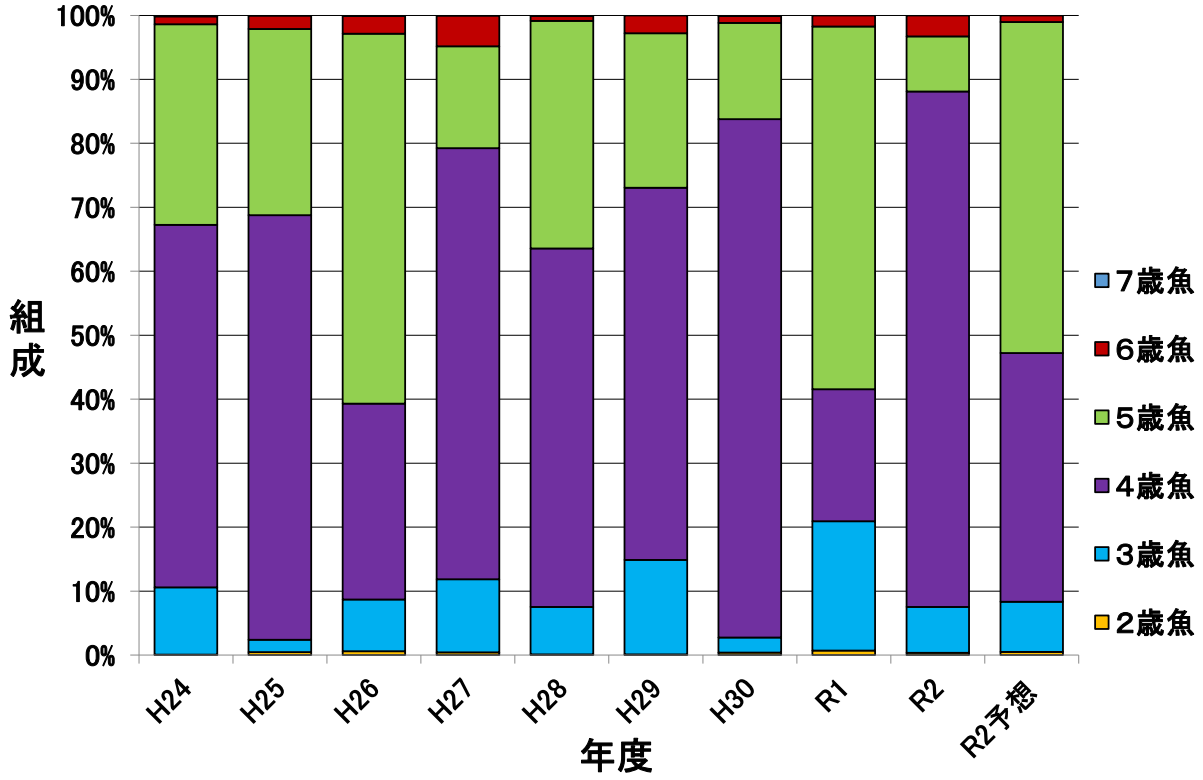


図５　年度別県全体の年齢組成

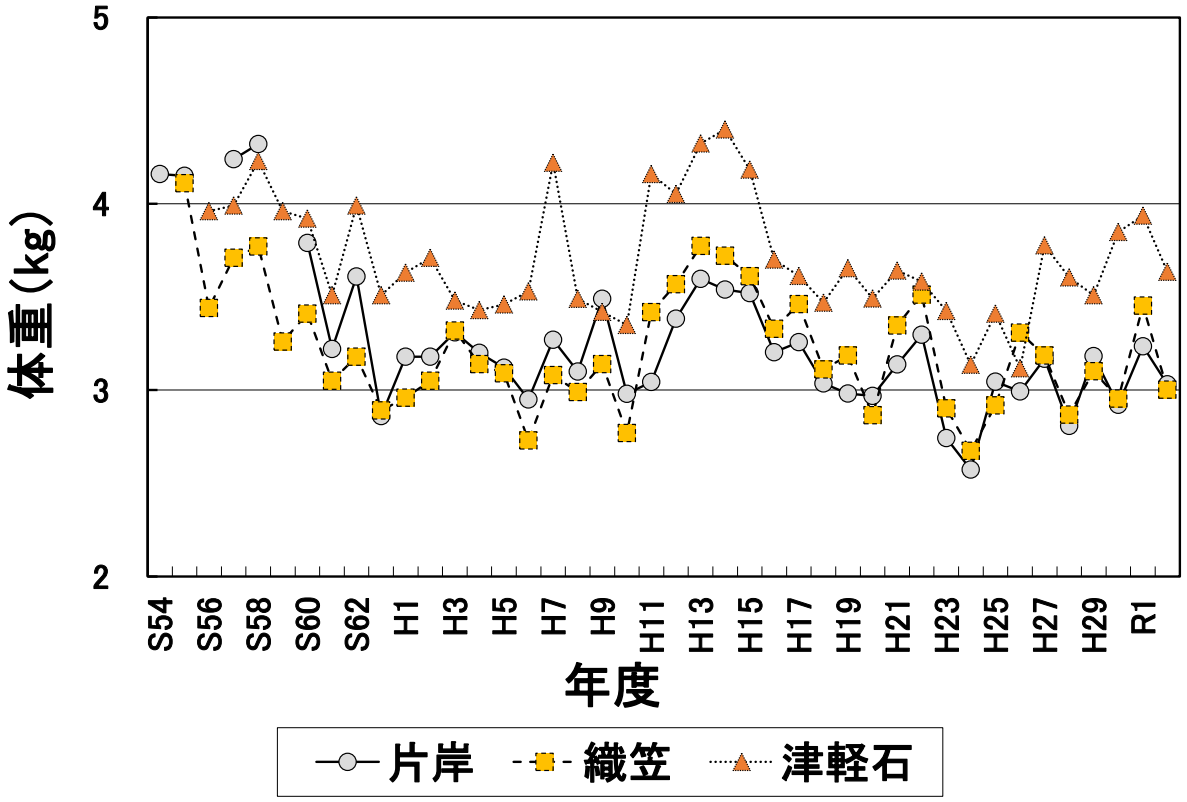


図６　片岸川、織笠川及び津軽石川における回帰親魚の平均体重の経年変化

４年魚の平均孕卵数は、片岸川では2,954粒（平成８～令和２年の平均値2,850粒）、織笠川では2,278粒（同2,729粒）、津軽石川では2,865粒（同3,031粒）であり、片岸川で前年度よりも増加したが、津軽石川及び織笠川で減少した（図７）。なお、織笠川４年魚の平均孕卵数は過去最低となった。

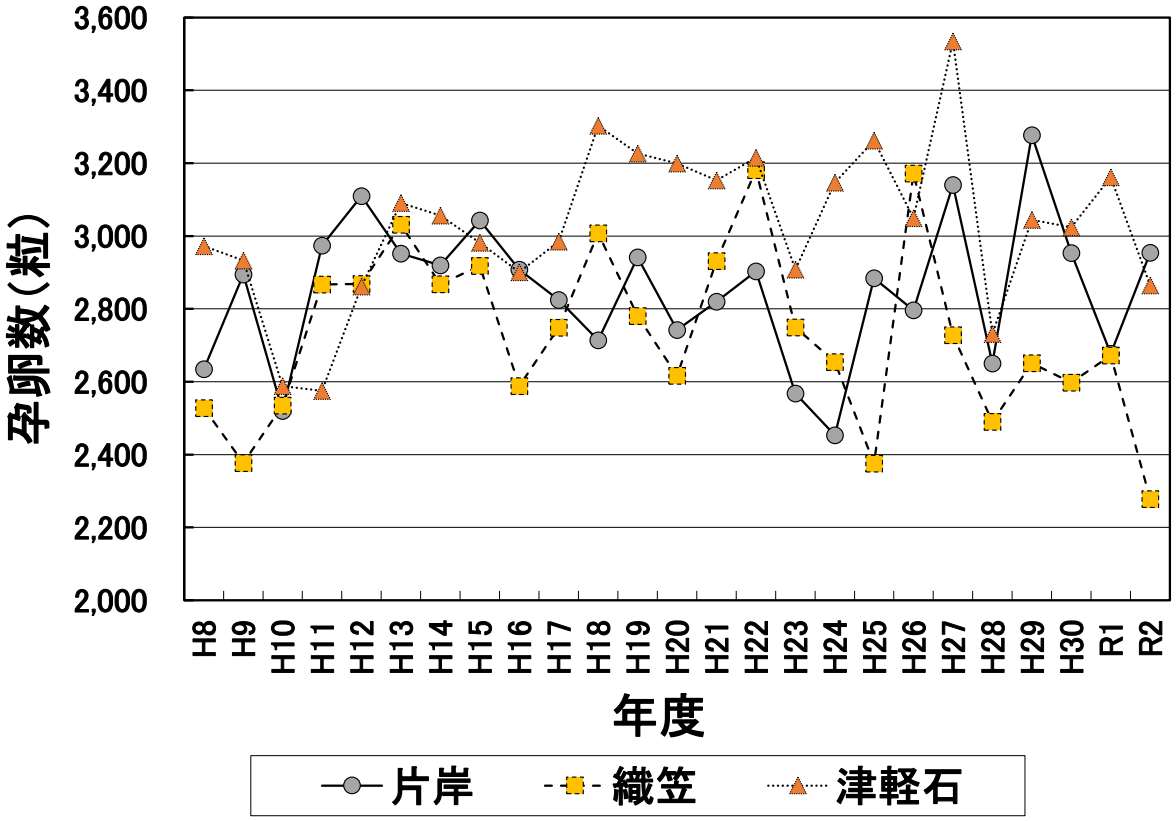


図７　片岸川、織笠川及び津軽石川における孕卵数の経年変化

３　秋サケ回帰予測

令和２年度の予測尾数は中央値1,948千尾であったが、漁期を通して予測下限値を下回り、回帰実績は591千尾と予測値を大きく下回った（図８）。

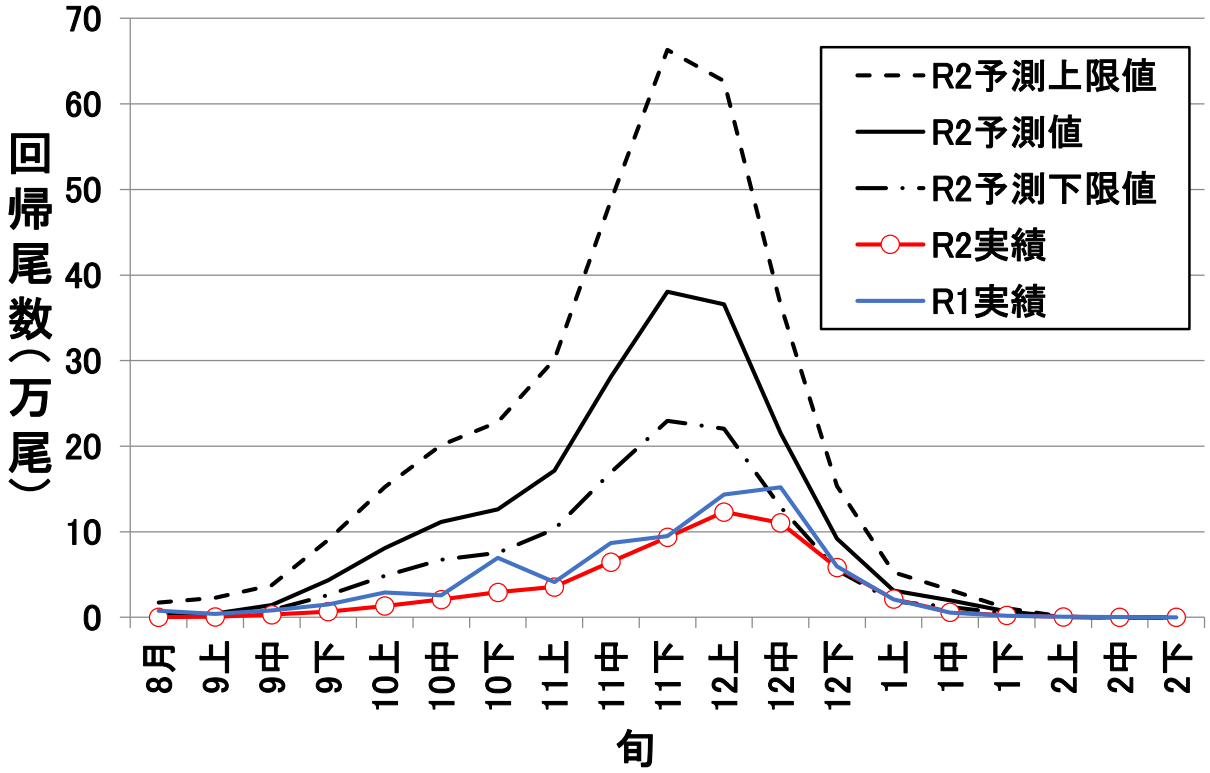


図８　海面及び河川における回帰の予測値と実績値

４　サケ大規模実証試験施設での種苗生産・放流技術の開発

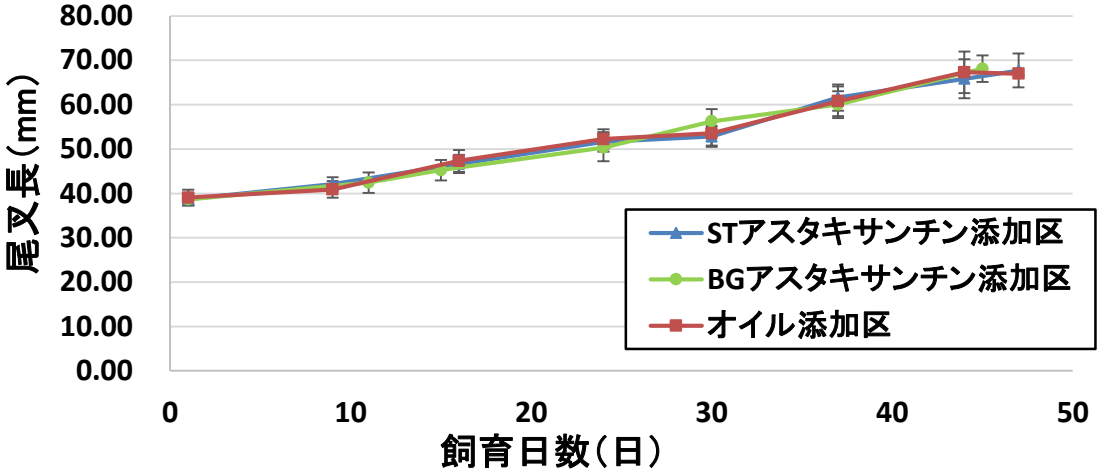
⑴　令和元年級（令和２年春放流）稚魚の追跡調査

令和２年３月 26 日から５月 24 日までの期間に、1,081 尾のサケ幼稚魚を採捕し、そのうち 367 尾が耳石温度標識魚であった。標識種類毎の採捕数は、アスタキサンチン添加区 54 尾（採捕率 0.0284%）、フィードオイル添加区 61 尾（同 0.0321%）、遊泳力強化区 19 尾（同 0.0146%）、低密度飼育区９尾（同 0.0069%）と試験区間で明確な違いは見られなかった。なお、サケ大規模実証試験施設で放流した稚魚以外の標識魚が 224 尾採捕され、うち 125 尾は山田湾で実施した海中飼育試験の稚魚であった。

⑵　令和２年級（令和３年春放流）稚魚の飼育試験

ア　最適餌料の探索

飼育開始から終了までの尾叉長及び体重は、アスタキサンチン添加区とオイル添加区で、同程度で推移した（図９）。



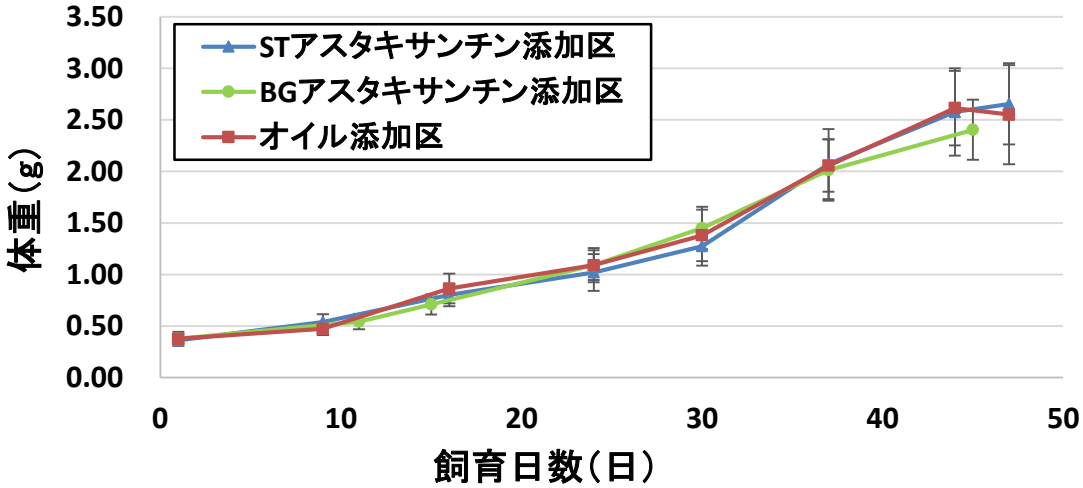


図９　各試験区における平均尾叉長及び体重の推移

いずれの試験区も飼育試験中の稚魚の状態は良好であり、血糖値は100mg/dL前後で推移した（図10）。

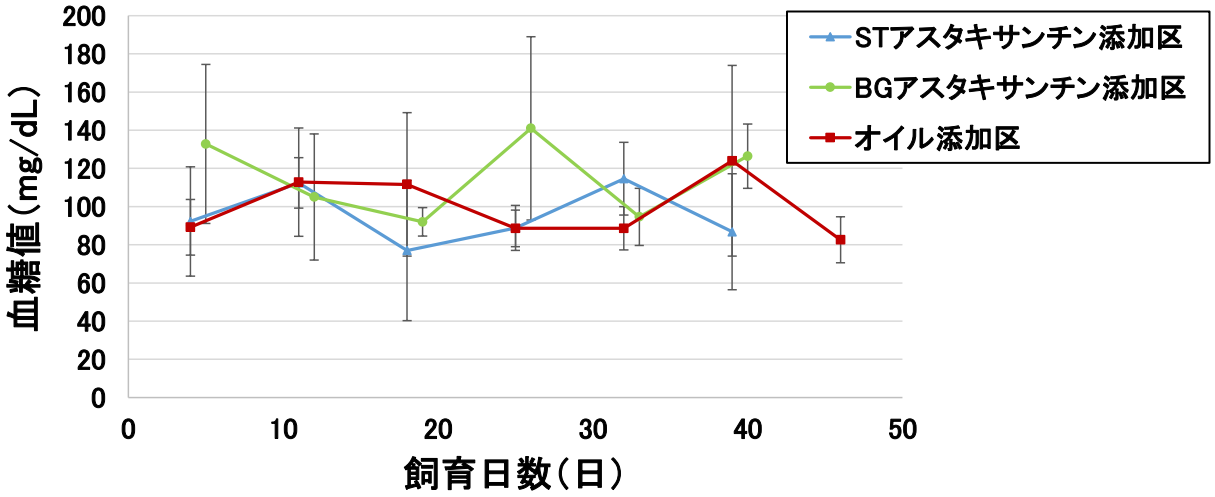


図10　各試験区における平均血糖値の推移

各試験区の遊泳力は、令和元年度と同様に、飼育日数の経過とともに持続・瞬間遊泳力が上昇する傾向が見られた（図 11）。また、各試験区間で遊泳力に差は見られなかった。

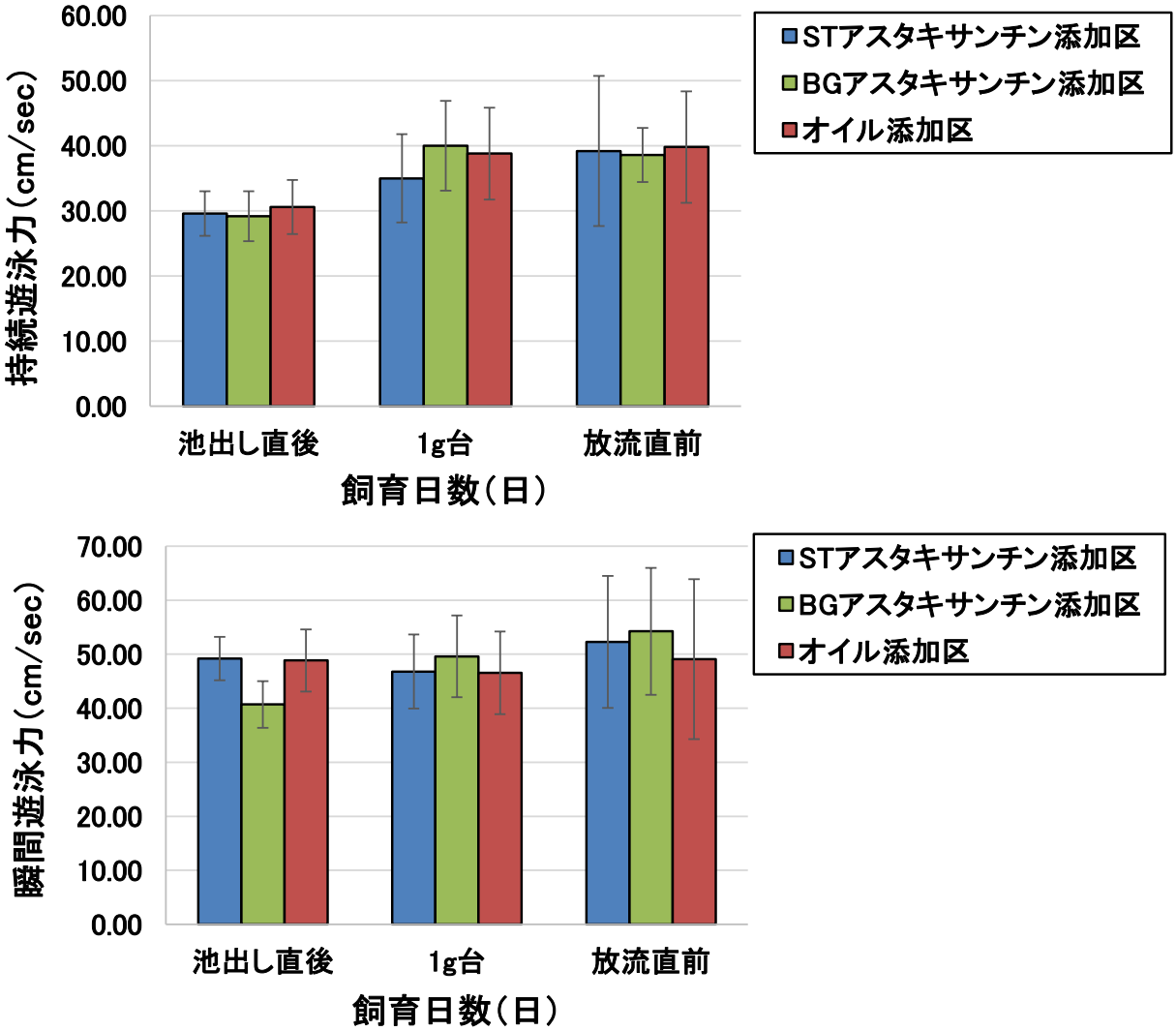


図 11　各試験区における持続・瞬間遊泳力の推移

飢餓耐性試験を実施したところ、各試験区の無給餌群とも試験開始から 18～19 日で生残率が 50%を下回った（図 12）。なお、給餌群については、飼育期間中の生残率は 100%であった。

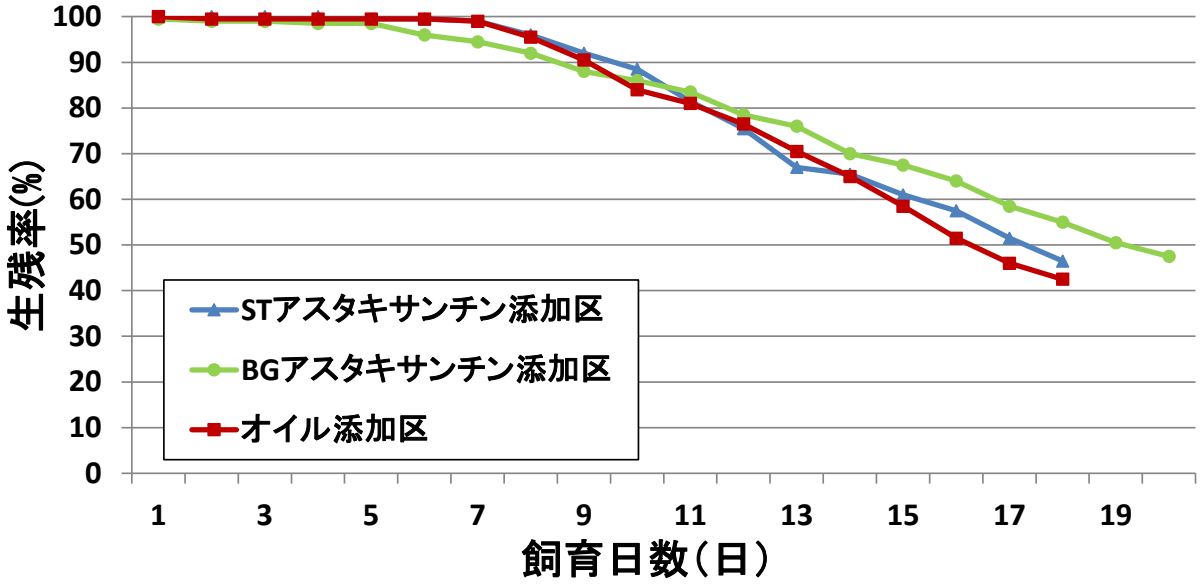


図 12　各試験区の無給餌飼育における生残率の推移

表２　各試験区の飢餓耐性試験の試験期間、日数及び水温

	試験期間	試験日数	水温
STアスタキサンチン添加区	R3.4.12～4.29	18	9.7～11.0℃
BGアスタキサンチン添加区	R3.4.30～5.19	19	10.0～12.9℃
オイル添加区	R3.4.12～4.29	18	9.7～11.0℃

表３　各試験区の無給餌飼育開始時と終了時の尾叉長、体重及び肥満度

試験群		無給餌区			給餌区		
		尾叉長(mm)	体重(g)	肥満度	尾叉長(mm)	体重(g)	肥満度
STアスタキサンチン添加区	開始	67.72	2.66	8.52	67.72	2.66	8.52
	終了	65.64	2.09	7.37	78.53	4.33	8.89
	増減率(%)	97	79	86	116	163	104
BGアスタキサンチン添加区	開始	66.97	2.55	8.43	66.97	2.55	8.43
	終了	64.61	1.95	7.04	77.43	4.17	8.95
	増減率(%)	96	77	84	116	163	106
オイル添加区	開始	68.12	2.40	7.60	68.12	2.40	7.60
	終了	64.98	1.81	6.52	73.87	3.52	8.68
	増減率(%)	95	75	86	108	146	114

イ　遊泳力強化方法の検討（さけます等栽培対象資源対策事業）

飼育開始から終了までの尾叉長及び体重は、令和元年度と同様に、流速強化区と対照区で同程度の推移を示した（図 13）。

血糖値については、飼育 20 日目までは流速強化区の方が高い傾向があったが、26 日目以降は同様の推移を示し、30～40 日目に 140～150mg/dL 前後の高い値を示した後、47 日目に 60mg/dL 前後まで低下した（図 14）。

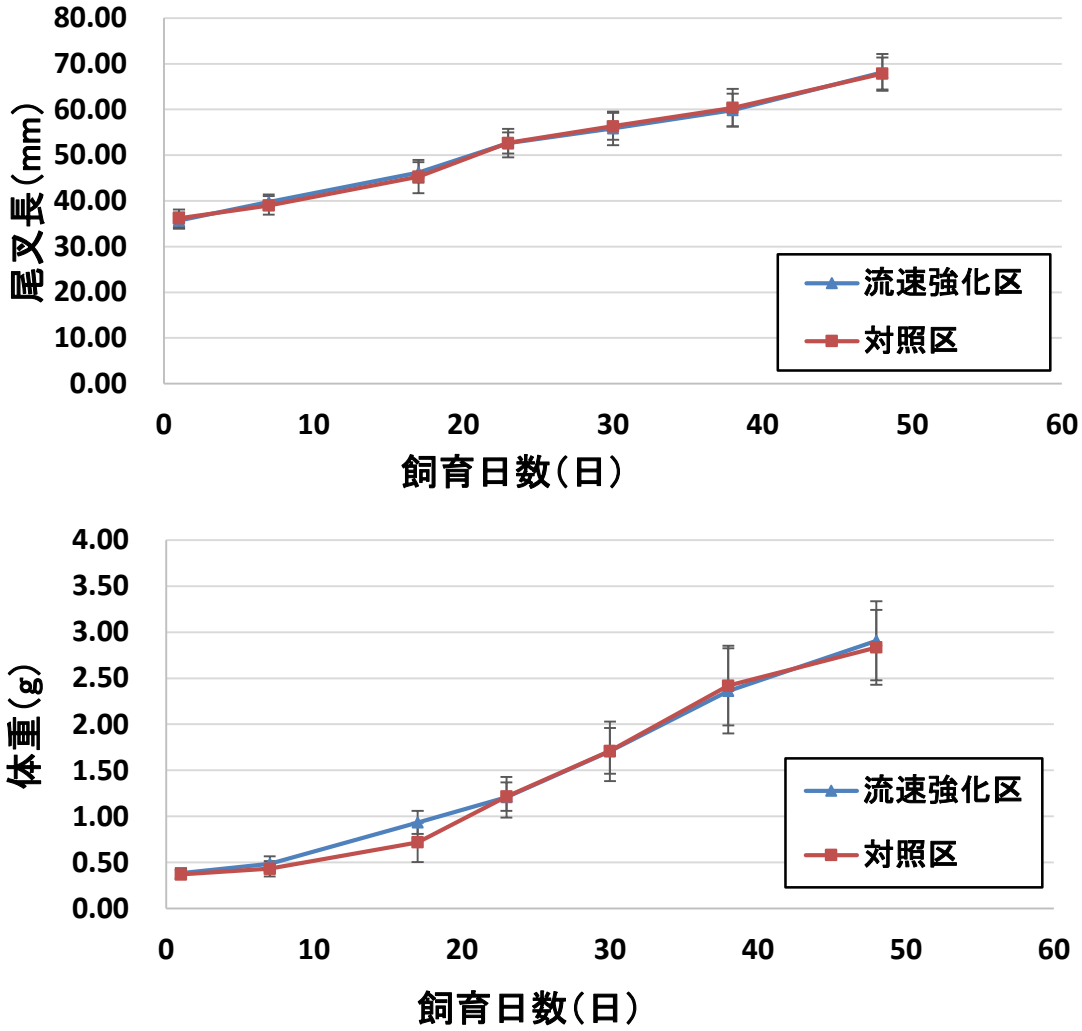


図 13　各試験区における平均尾叉長及び体重の推移

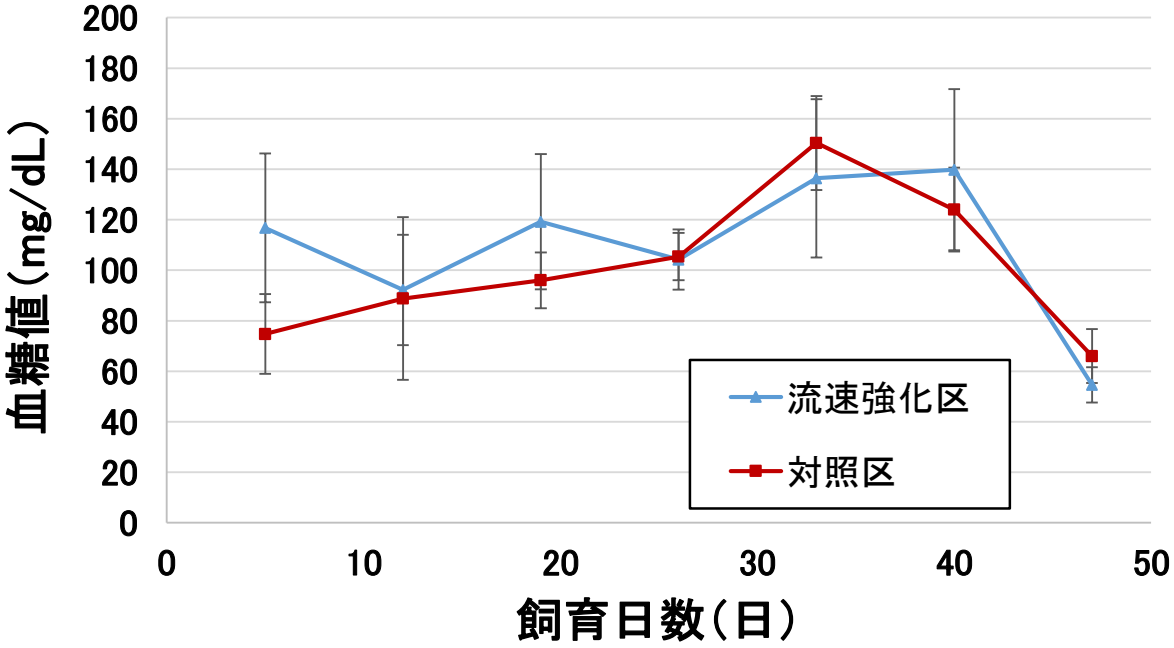


図 14　各試験区における平均血糖値の推移

遊泳力は持続・瞬間遊泳力ともに流速強化区と対照区で同程度の推移を示し、飼育 26 日目までは増加傾向、それ以降は低下傾向を示した（図 15）。

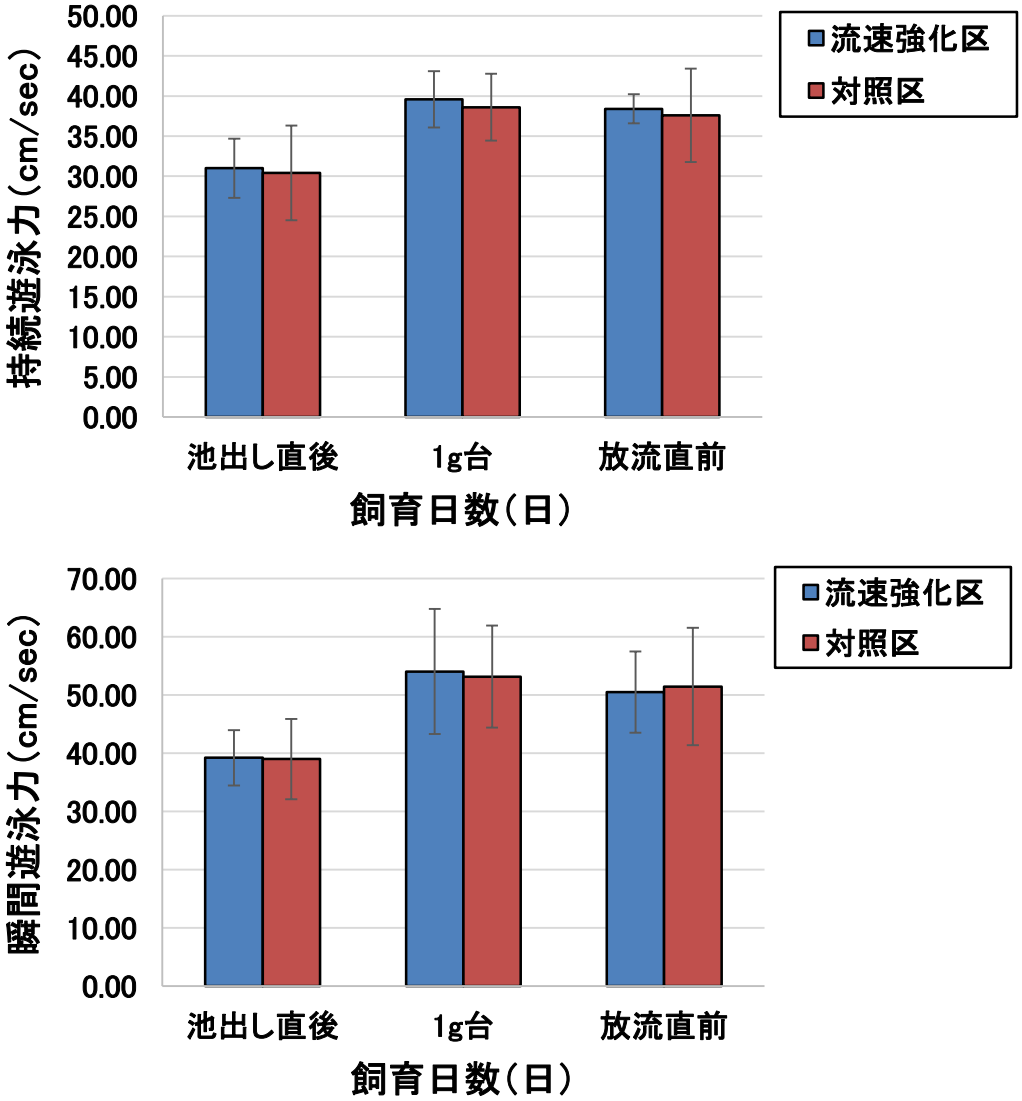


図 15　各試験区における持続・瞬間遊泳力の推移

飢餓耐性試験を実施したところ、飼育 11 日目までは、流速強化区の無給餌群の方が対照区よりも低い生残率を示したが、12 日目以降逆転した（図 16）。試験終了時の尾叉長、体重及び肥満度の増減率については、両試験区で同程度であった（表５）。なお、給餌群については、飼育期間中の生残率は 100％であった。

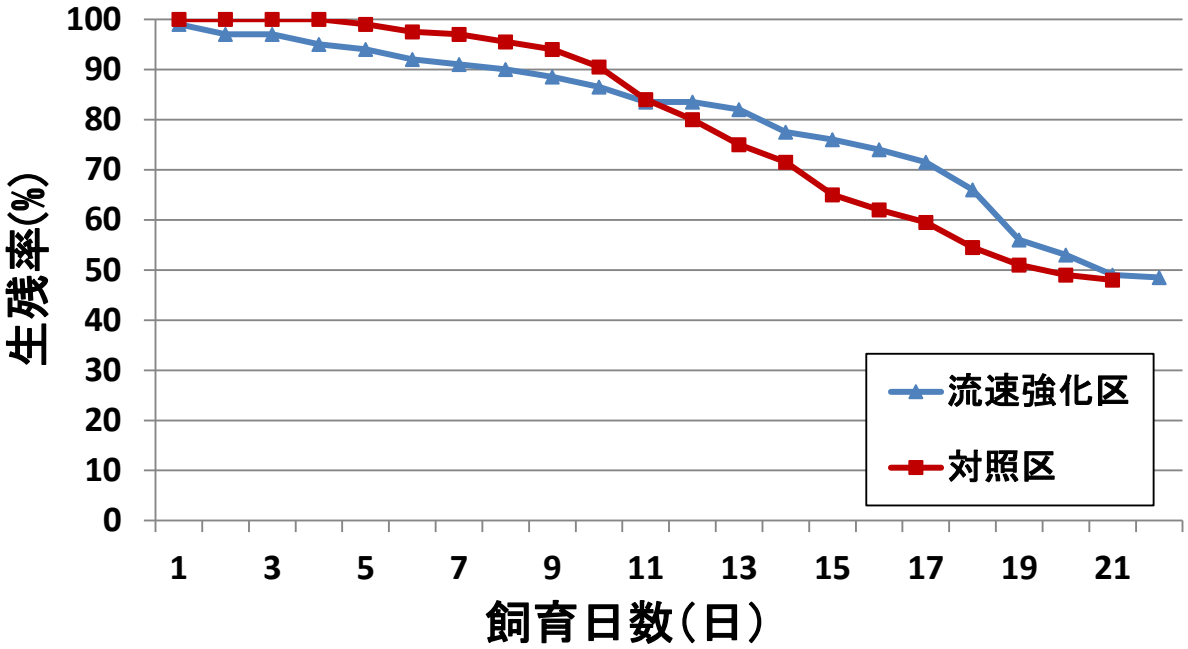


図 16　各試験区の無給餌群における生残率の推移

表４　各試験区の飢餓耐性試験の試験期間、日数及び水温

	試験期間	試験日数	水温
流速強化区	R3.5.10～5.31	22	11.0～14.0℃
対照区	R3.5.10～5.30	21	11.0～13.7℃

表５　各試験区の無給餌飼育開始時と終了時の尾叉長、体重及び肥満度

試験群		無給餌区			給餌区		
		尾叉長(mm)	体重(g)	肥満度	尾叉長(mm)	体重(g)	肥満度
流速強化区	開始	67.88	2.83	9.04	67.88	2.83	9.04
	終了	69.33	1.95	5.79	80.45	4.84	9.24
	増減率(%)	102	69	64	119	171	102
対照区	開始	68.11	2.91	9.21	68.11	2.91	9.21
	終了	69.48	2.00	5.91	83.92	4.89	8.22
	増減率(%)	102	69	64	123	168	89

ウ　適期適サイズ放流の検討(大型稚魚放流)

令和２年４月 21 日から大規模実験施設内にて大型稚魚放流に向けて飼育を開始し、令和３年６月 18 日（飼育日数：59 日）に放流した。放流サイズは、尾叉長 76～88㎜、体重 7.1～8.5ｇ（表６）で、前年度の大型稚魚のサイズ(2.7～4.3g)を大きく上回った。

表６　令和２年級大型放流稚魚の尾叉長、体重及び肥満度

池番号	飼育方法	放流年月日	尾叉長(mm)	体重(g)	肥満度
No.1	STアスタキサンチン添加	令和3年6月18日	83.70±4.38	4.50±0.74	7.61±0.48
No.2	フィードオイル添加	令和3年6月18日	81.75±5.09	4.42±0.88	8.01±0.56
No.6	通常餌	令和3年6月18日	80.15±3.77	4.07±0.59	7.87±0.50

※尾叉長、体重、肥満度は100個体の平均±標準偏差で示した。

※肥満度＝体重÷尾叉長^3

飼育開始から終了までの尾叉長は各試験区で同程度の推移を示したが、体重については、飼育 30 日目以降、ST アスタキサンチン添加区及びオイル添加区において、対照区と比べて有意に増加した（図 17）。血糖値については各試験区で同様の傾向を示し、飼育 30 日目までは変動が大きかったが、それ以降は 80～100mg/dL 前後で安定して推移した（図 18）。試験開始後から 30 日目までに各試験区で斃死が発生しており、血糖値の変動はその影響を反映しているものと考えられる。

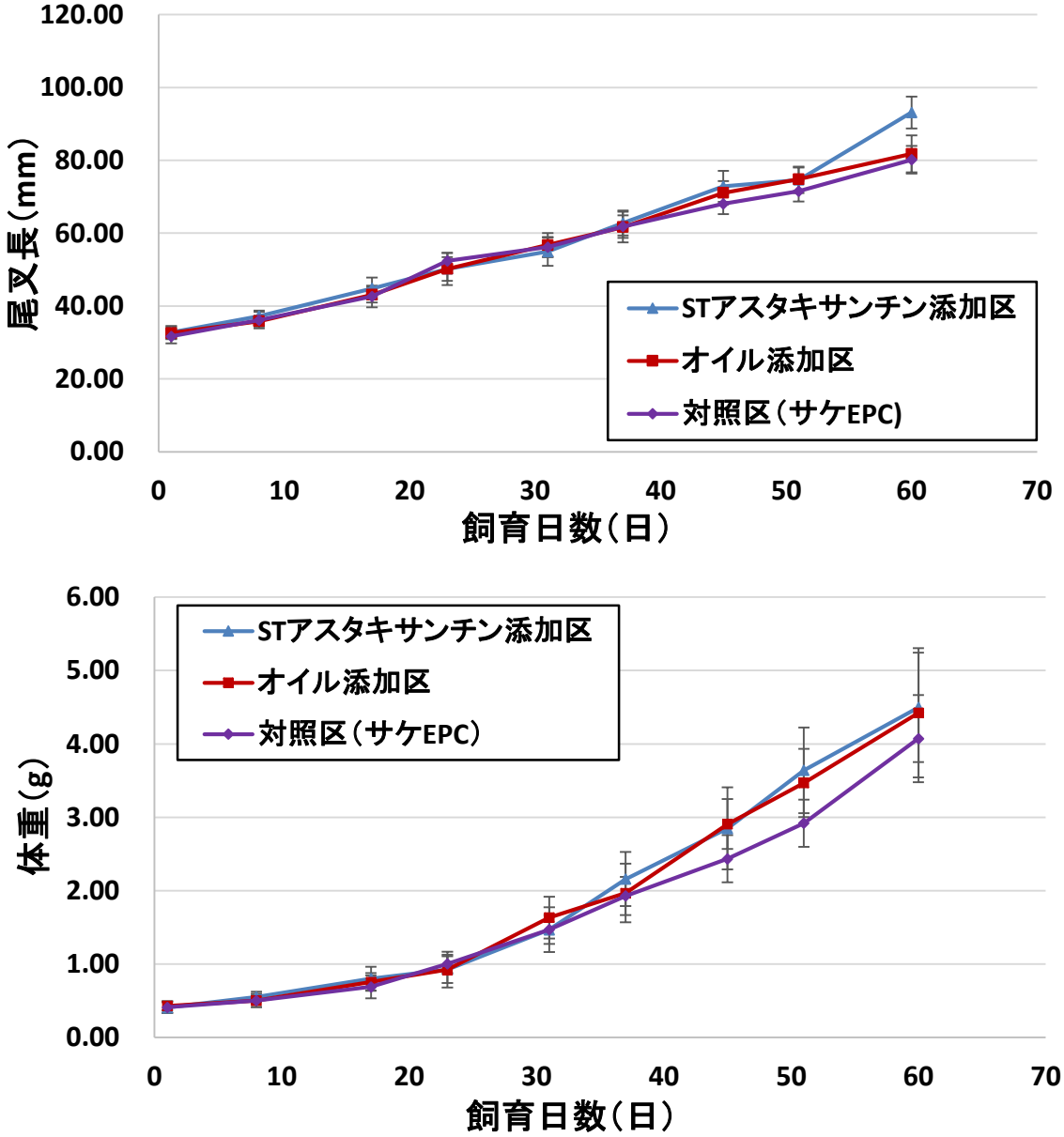


図 17　長期飼育試験区における平均尾叉長及び体重の推移

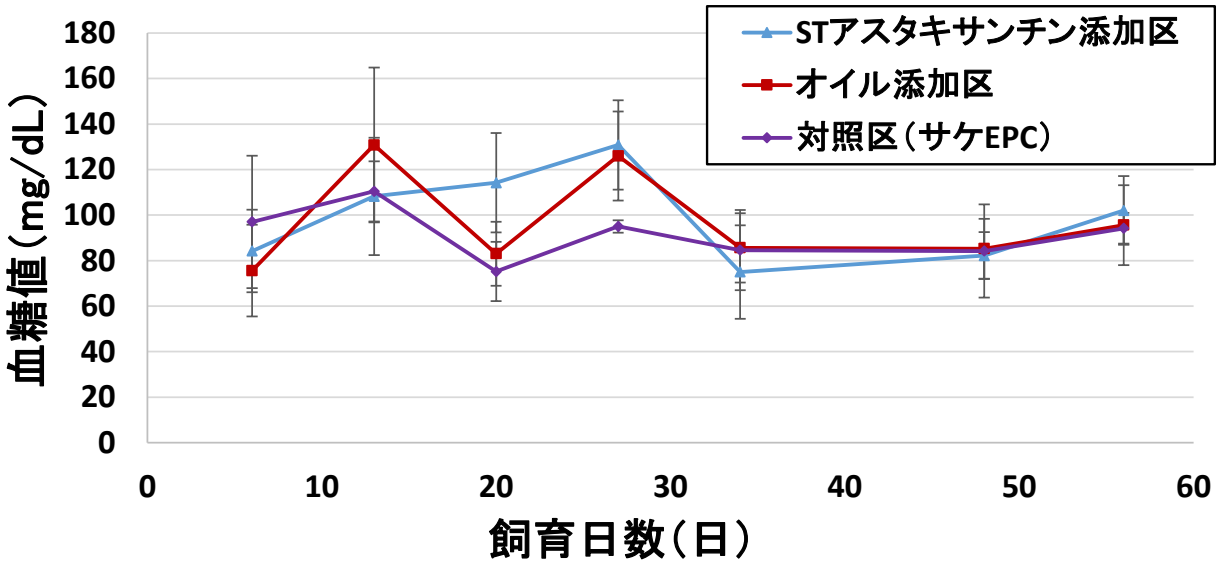


図 18　各試験区における平均血糖値の推移

遊泳力を測定したところ、各試験区で飼育日数の経過につれて、持続・瞬間遊泳力が上昇する傾向が見られ、放流直前の ST アスタキサンチン添加区で最大となった（図 19）。飢餓耐性試験については、現在実施中である。

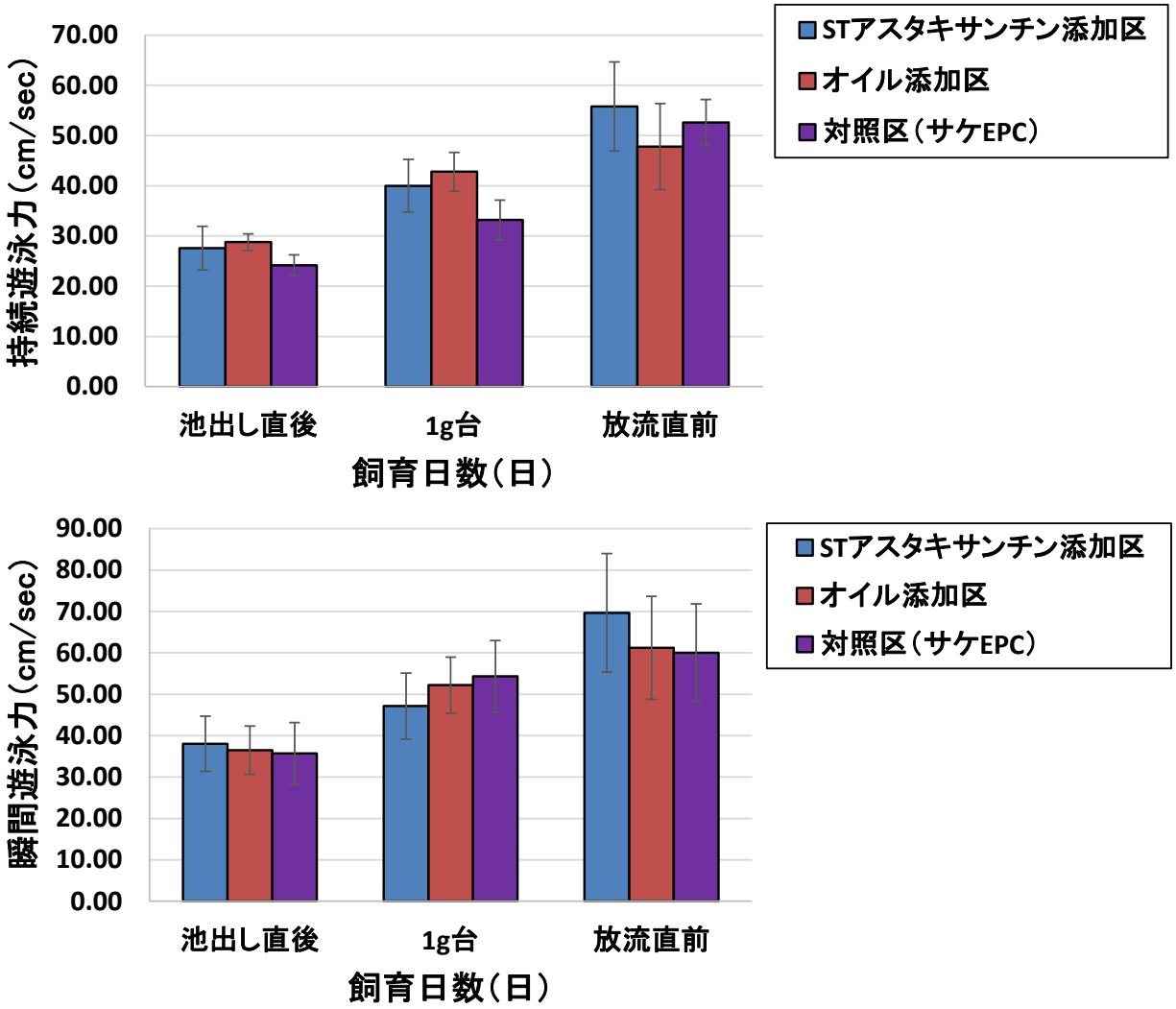


図 19　各試験区における持続・瞬間遊泳力の推移

エ　高温耐性試験

飼育開始から終了までの尾叉長及び体重は、砂鉄川及び片岸川産で同程度の推移を示した（図 20）。いずれの試験区も飼育試験中の稚魚の状態は良好であり、血糖値は 80～120mg/dL の範囲で推移した（図 21）。

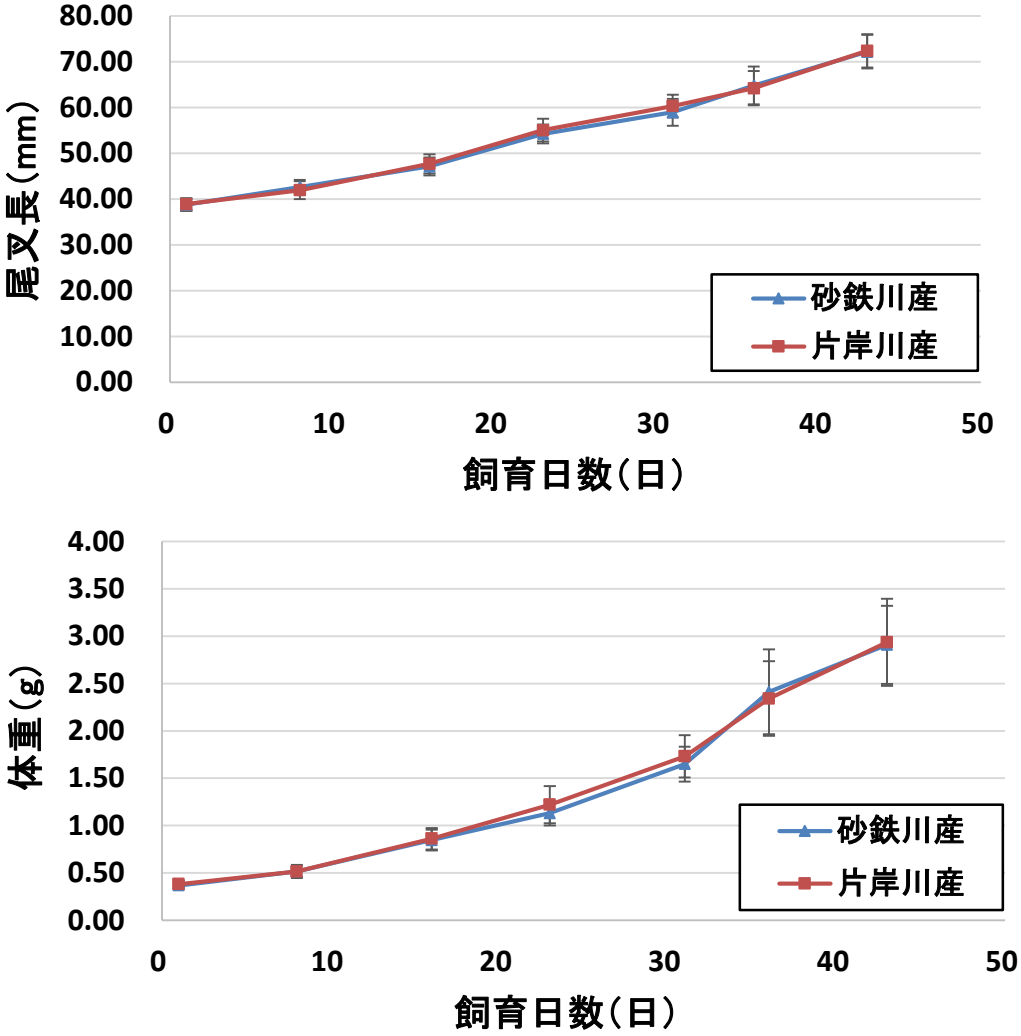


図 20　砂鉄川及び片岸川産稚魚の平均尾叉長及び体重の推移

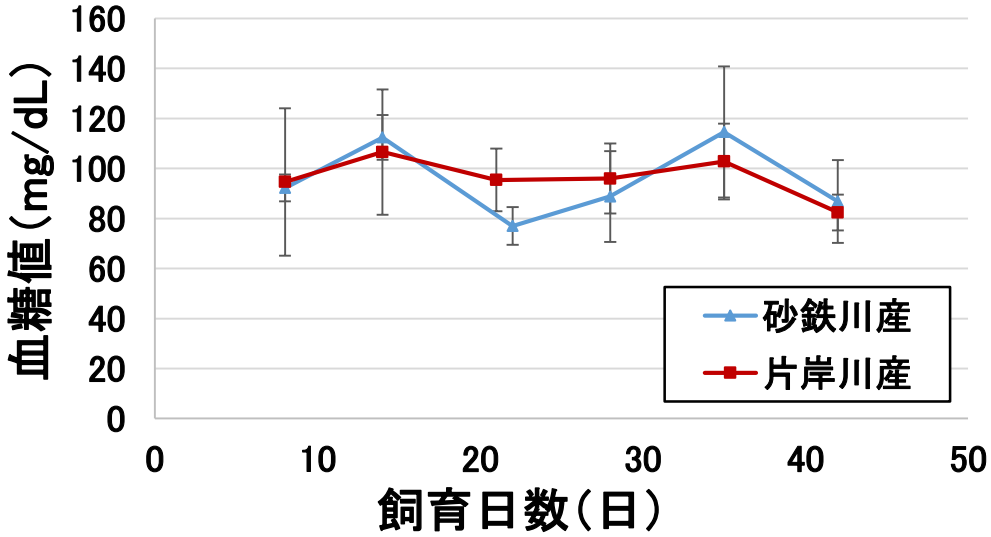
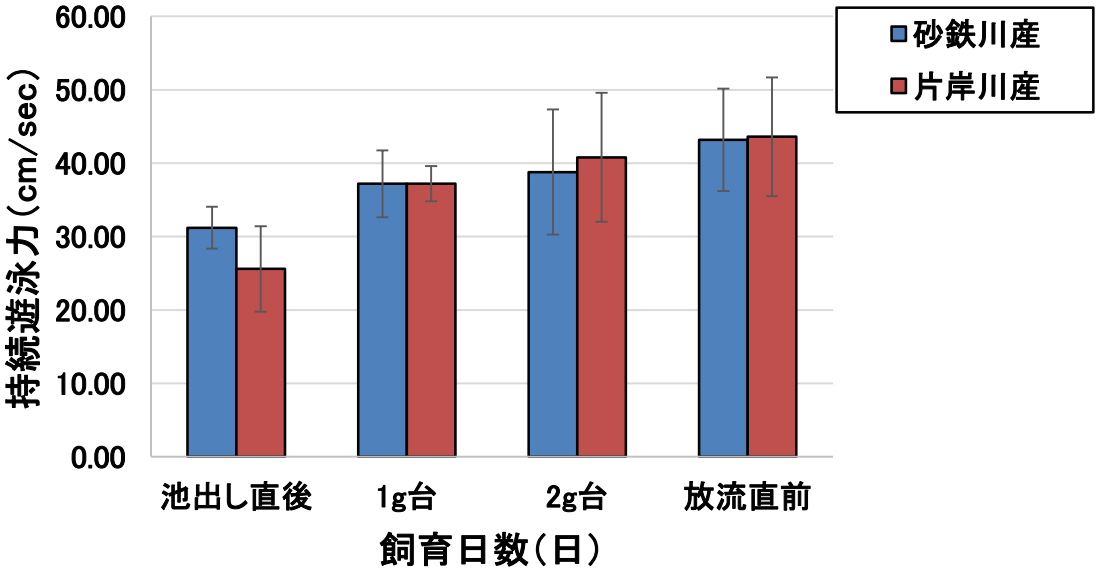


図 21　砂鉄川及び片岸川産稚魚の平均血糖値の推移

遊泳力は持続・瞬間遊泳力ともに砂鉄川及び片岸川産で同程度の推移を示し、飼育 26 日目までは増加傾向、それ以降は低下傾向を示した（図 22）。



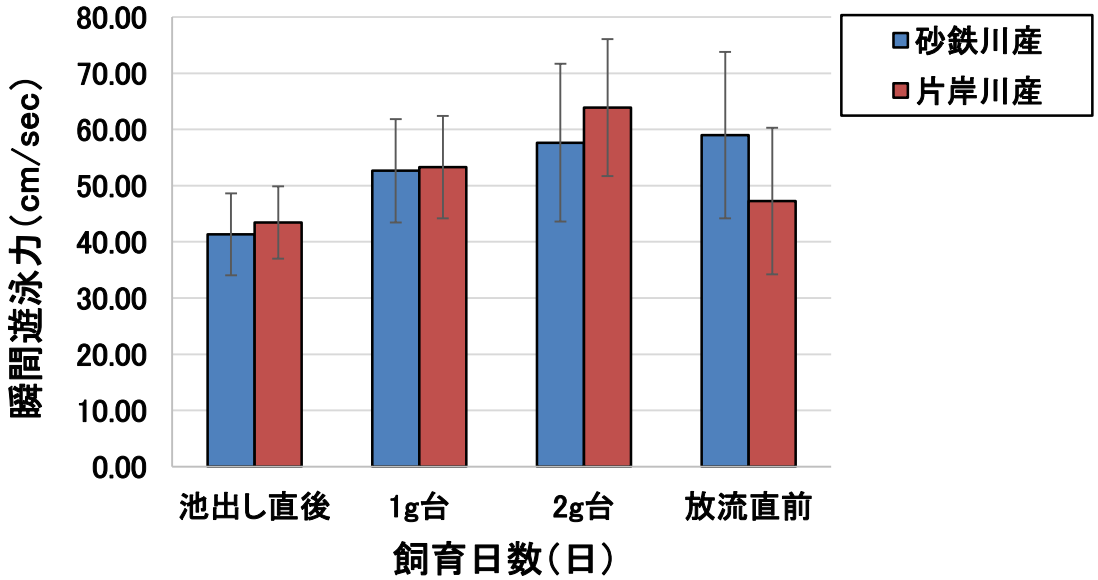


図 22　砂鉄川及び片岸川産稚魚の持続・瞬間遊泳力の推移

魚体重１ｇ台時点及び放流直前の両河川由来稚魚について、飢餓耐性試験を実施したところ、１ｇ台時点の稚魚では、砂鉄川産の方が飼育 19 日目以降の生残率の低下が緩やかであった。一方で、放流時点の稚魚では片岸産稚魚の方が高い生残率を示し、平成 30 年度及び令和元年度の試験結果とは逆の傾向を示した（図 23）。なお、給餌飼育を行った稚魚については、飼育期間中の生残率は 100％であった。

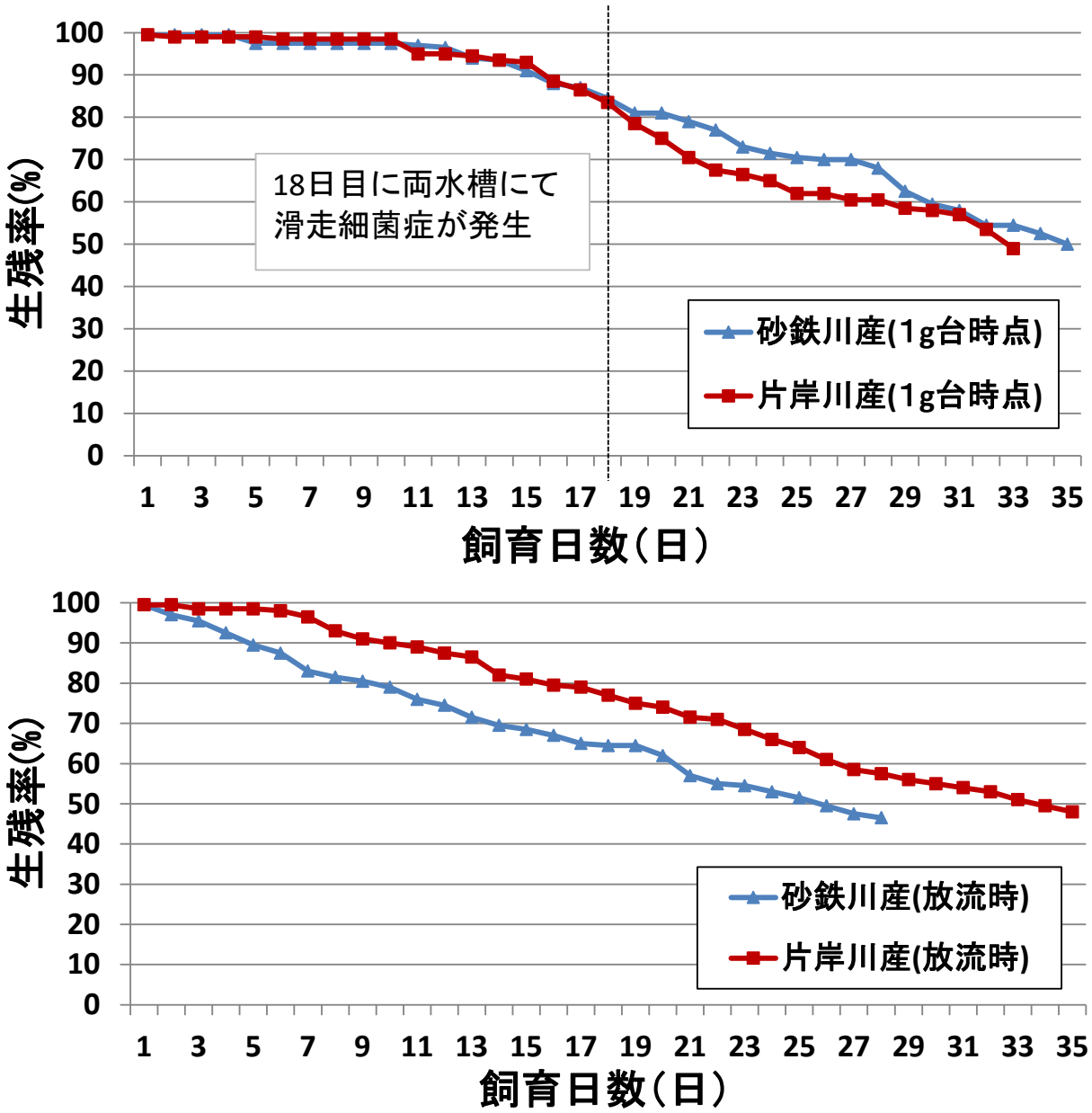


図 23　砂鉄川及び片岸川産稚魚の無給餌飼育における生残率の推移

表７　砂鉄川及び片岸川産稚魚の飢餓耐性試験の試験期間、日数及び水温

	試験期間	試験日数	水温
砂鉄川産（1g台時点）	R3.2.12～3.17	35	7.1～8.9℃
片岸川産（1g台時点）	R3.2.12～3.15	33	7.1～8.9℃
砂鉄川産（放流時）	R3.3.9～4.5	28	8.1～10.7℃
片岸川産（放流時）	R3.3.9～4.12	35	8.1～10.7℃

表８　砂鉄川及び片岸川産稚魚の無給餌飼育開始時と終了時の尾叉長、体重及び肥満度

試験群		無給餌区 尾叉長(mm)	無給餌区 体重(g)	無給餌区 肥満度	給餌区 尾叉長(mm)	給餌区 体重(g)	給餌区 肥満度
砂鉄川産(1g台時点)	開始	49.72	0.97	7.85	49.72	0.97	7.85
	終了	49.89	0.72	5.77	68.43	2.95	9.15
	増減率(%)	100	74	73	138	303	117
片岸川産(1g台時点)	開始	48.65	0.90	7.76	48.65	0.90	7.76
	終了	51.40	0.80	5.86	71.07	3.11	8.64
	増減率(%)	106	89	76	146	344	111
砂鉄川産(放流時)	開始	72.22	2.91	7.69	72.22	2.91	7.69
	終了	66.60	2.14	7.25	85.82	5.64	8.89
	増減率(%)	92	74	94	119	194	116
片岸川産(放流時)	開始	72.40	2.94	7.69	72.40	2.94	7.69
	終了	67.62	1.98	6.38	91.35	6.33	8.26
	増減率(%)	93	68	83	126	216	107

①　発生比較

ふ化開始時の積算水温は、砂鉄川産は448.5℃、片岸川産は475.8℃であり（表９）、平成30年級及び令和元年級と同様に砂鉄川産の方がふ化が早かった。また、両河川の交雑種は積算水温475.8℃でふ化が開始したが、ふ化のピークは片岸川産より早かった（図24）。

表９　令和２年級砂鉄川、片岸川及び交雑種のふ化時の積算水温

採卵月日	♀親魚	♂親魚	試験群	ふ化年月日	ふ化積算温度(℃)
令和2年11月13日	砂鉄川産♀	砂鉄川産♂	砂鉄川(純系)	令和2年12月14日	448.5
令和2年11月14日	片岸川産♀※	片岸川産♂	片岸川(純系)	令和2年12月19日	475.8
令和2年11月14日	片岸川産♀※	砂鉄川産♂	交雑種	令和2年12月19日	475.8

※ 同一個体を使用

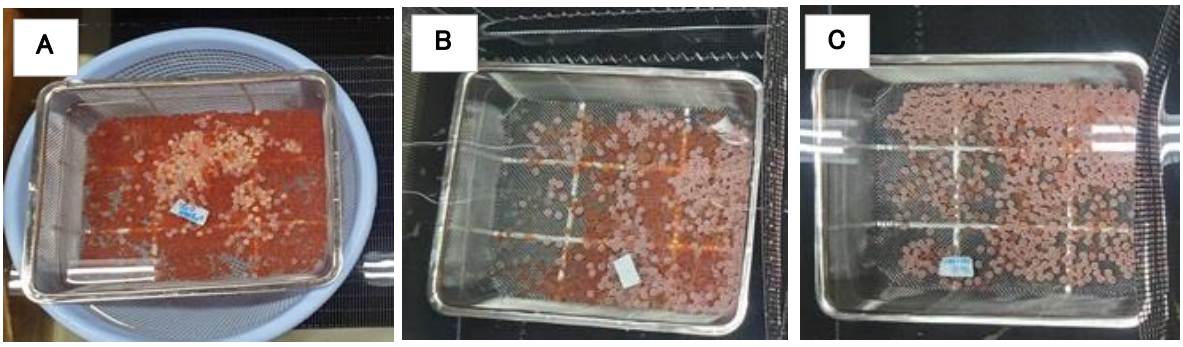


図24　令和２年級砂鉄川、片岸川産及び交雑種の受精卵観察

Ａ：砂鉄川純系（積算水温：489.2℃）　Ｂ：交雑種（同：475.8℃）　Ｃ：片岸川純系（同：475.8℃）

②　短期高温耐性試験

砂鉄川産は投入後５分以内に平衡を喪失した尾数が片岸川産よりも多かったが、26分以降も平衡を維持する個体が認められた（図25）。また、同一の試験群の中でも平衡喪失時間は１～30分間まで多岐にわたり、個体差が大きかった。

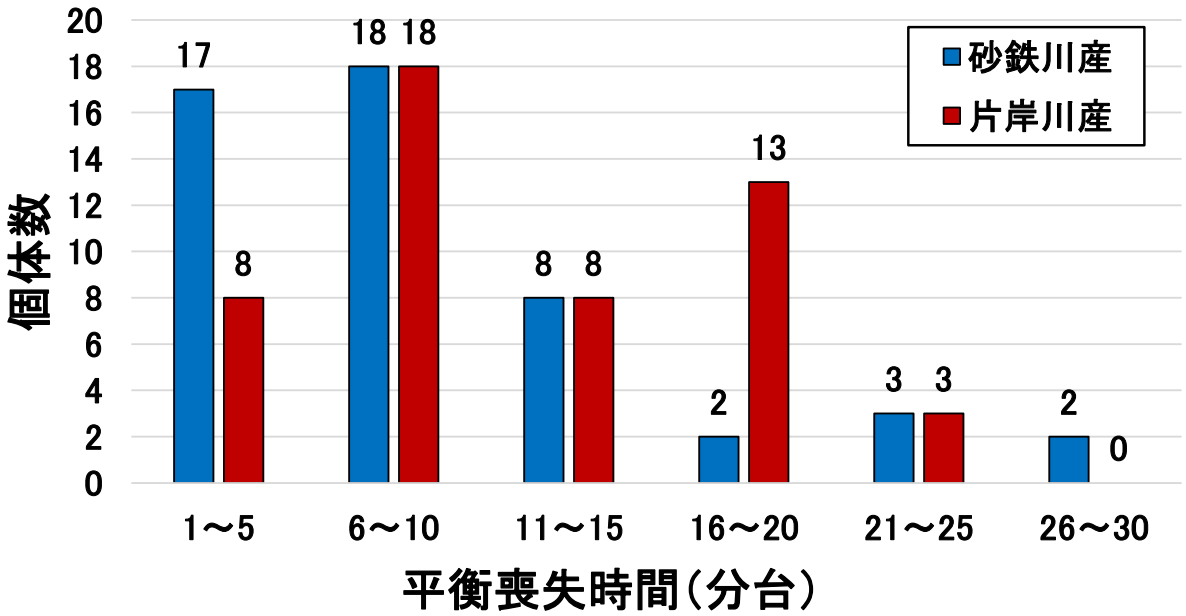


図 25　砂鉄川及び片岸川産稚魚の高水温下（26.5℃）における平衡喪失時間

③　長期高温耐性試験

砂鉄川産は 22℃の飼育水温で生残率が低下したが、片岸川産は 26℃の飼育水温においても生残率が 100%のままであった（表 10）。なお、砂鉄川の昇温区については 22℃（飼育６日目）、気仙川の昇温区については 18℃（飼育４日目）でへい死が多発したことから、その時点で試験を終了した。田老川産及び砂鉄・片岸川産交雑種については、現在試験を実施中である。

表 10　長期高温耐性試験における各試験区の生残率

試験区	飼育日数（日）（昇温区水温（℃））							
	1（12）	2（14）	3（16）	4（18）	5（20）	6（22）	7（24）	8（26）
砂鉄川 昇温区	100.0	100.0	98.1	95.0	84.2	22.7	－	－
砂鉄川 原水温区	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	96.7	－	－
片岸川 昇温区	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
片岸川 原水温区	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
気仙川 昇温区	98.1	90.2	76.1	52.0	－	－	－	－
気仙川 原水温区	100.0	100.0	94.0	80.6	－	－	－	－
交雑種 昇温区（気仙川♂×田老川♀）	98.3	100.0	95.9	97.3	100.0	83.3	100.0	28.6
交雑種 原水温区（気仙川♂×田老川♀）	98.3	100.0	93.9	100.0	94.4	100.0	100.0	100.0

④　令和元年級サケ稚魚のヒートショックプロテイン（HSP）遺伝子の発現解析

令和元年級の砂鉄川及び片岸川産稚魚のサンプルを分析した結果、原水温区・高水温区ともに HSP 遺伝子の発現に有意差は認められなかった（図 26）。一方で、安家川の早期回帰群由来のサケ稚魚サンプルを分析したところ、高水温区（18℃）及び生存限界水温区（23℃）において、砂鉄川及び片岸川産稚魚と比較して *hsp47* が有意に高く発現していた。

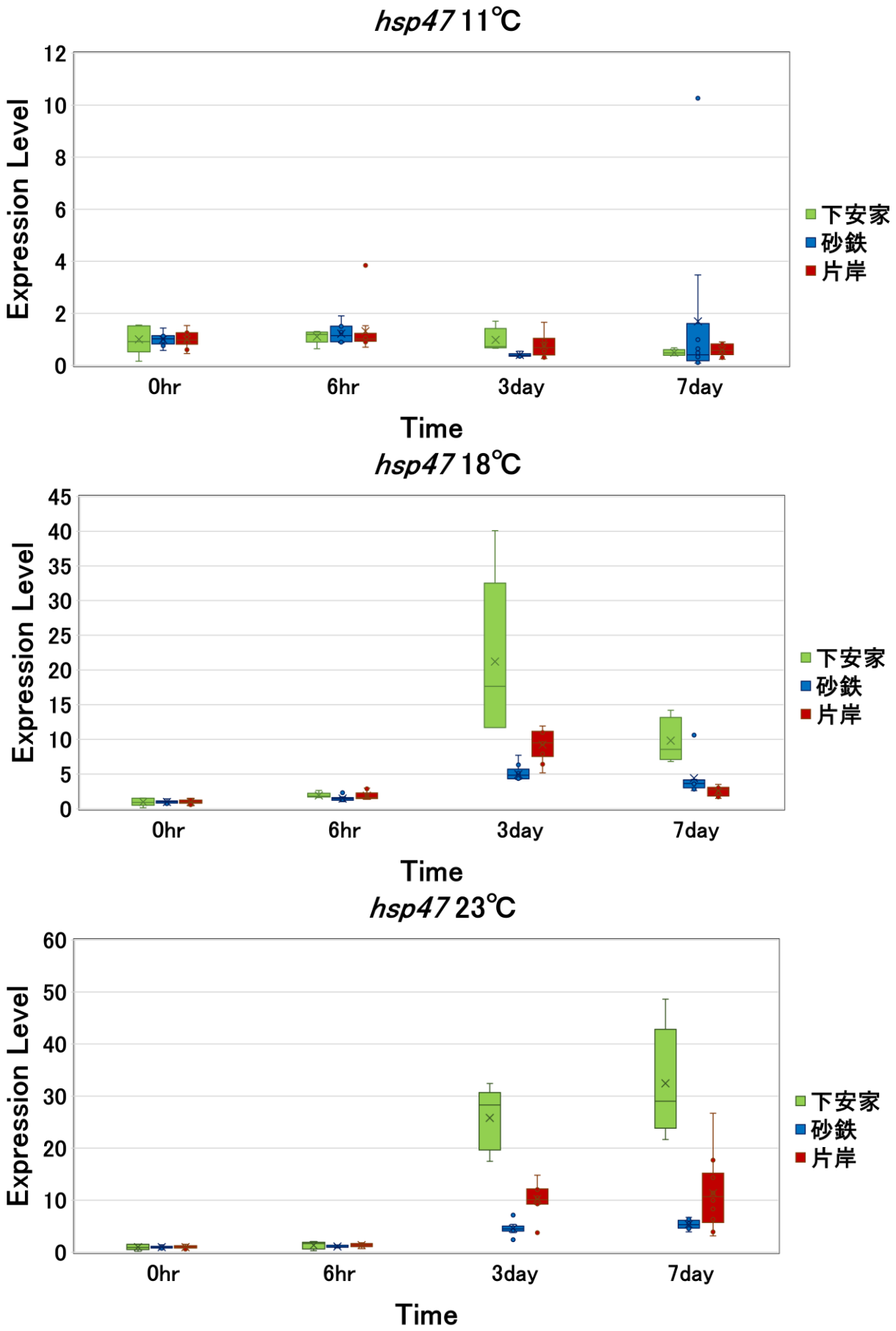


図 26　砂鉄川、片岸川及び安家川（早期回帰群）産稚魚の高水温区における *hsp47* の発現解析

5　海中飼育試験（さけます等栽培対象資源対策事業）

短期海中飼育群は令和２年４月７日（飼育日数：47 日うち海面 14 日）、通常海中飼育群は４月 22 日（同：62 日うち海面 29 日）、改良大目網海中飼育群は５月 13 日（同：83 日うち海面 50 日）、河川放流群は４月 20 日（同：60 日）に放流した。

各試験群とも飼育日数の経過とともに体重の増加が見られた（図 27）。特に改良大目網海中飼育群については、大目網落網後に大きく体重が増加した。

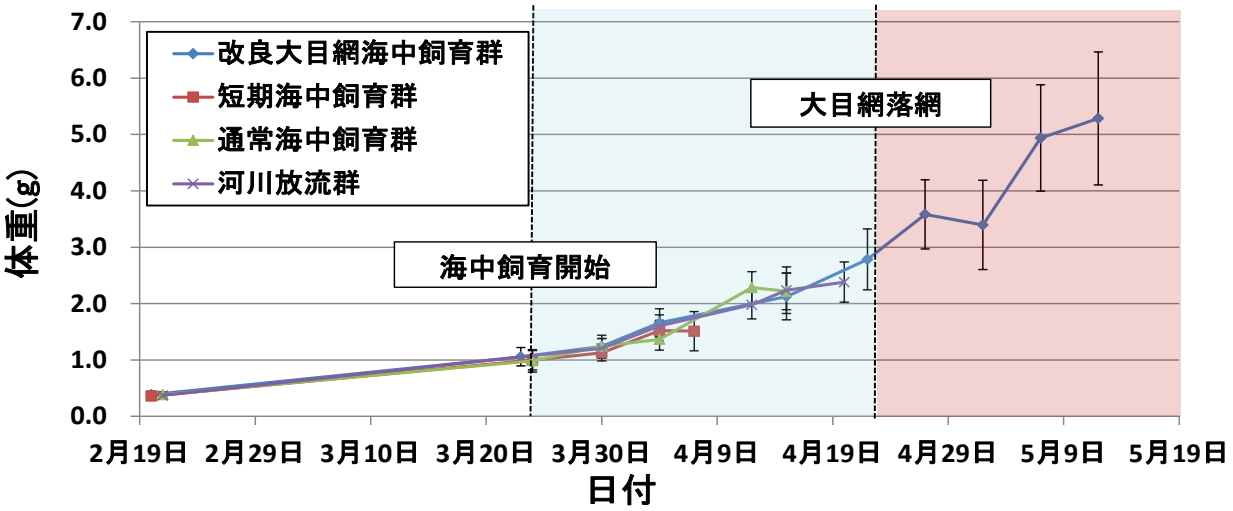


図 27　各試験群の平均体重の推移

各試験群の遊泳力は、持続・瞬間遊泳力ともに飼育 30 日目頃までは、各試験群とも概ね上昇する傾向が見られた。通常海中飼育群では、飼育 59 日目の測定で持続遊泳力が低下した。改良大目網海中飼育群では、飼育 61 日目に持続・瞬間遊泳力ともに低下したが、77 日目以降では上昇に転じ、最大となった（図 28）。

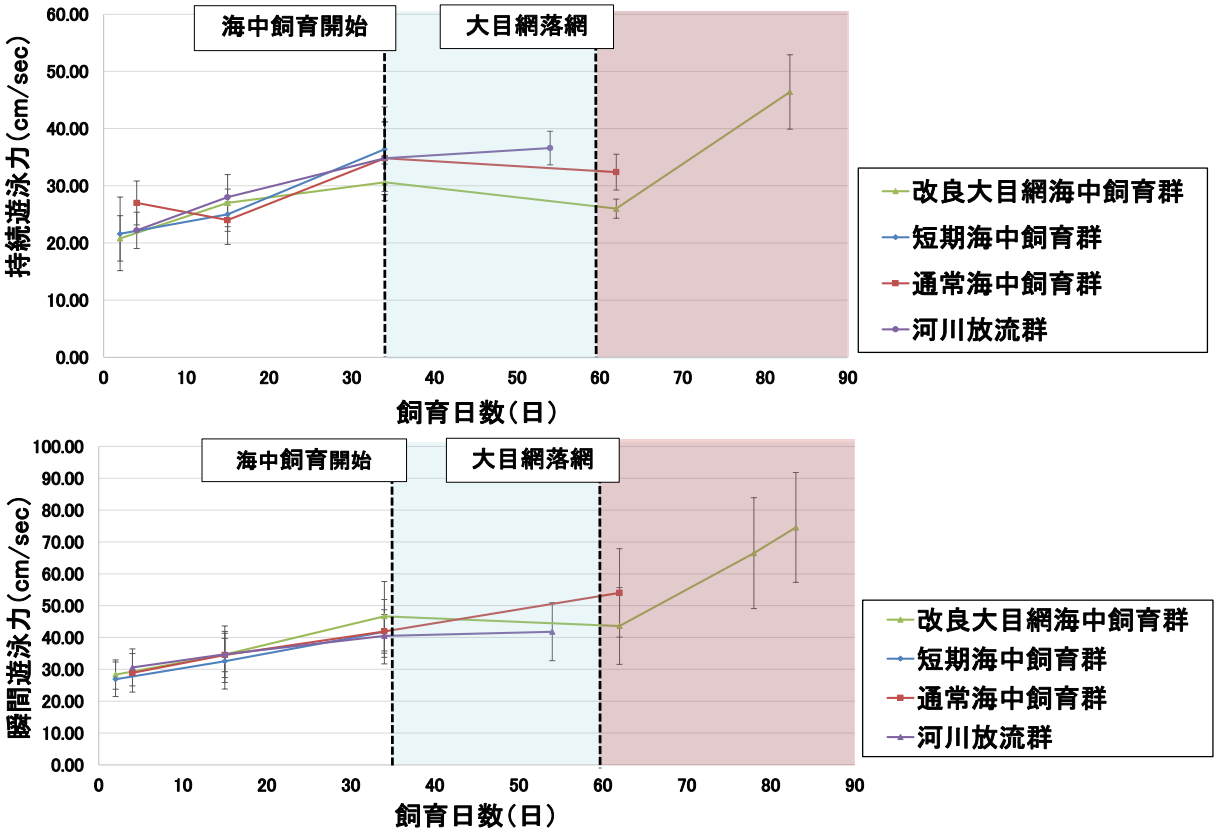
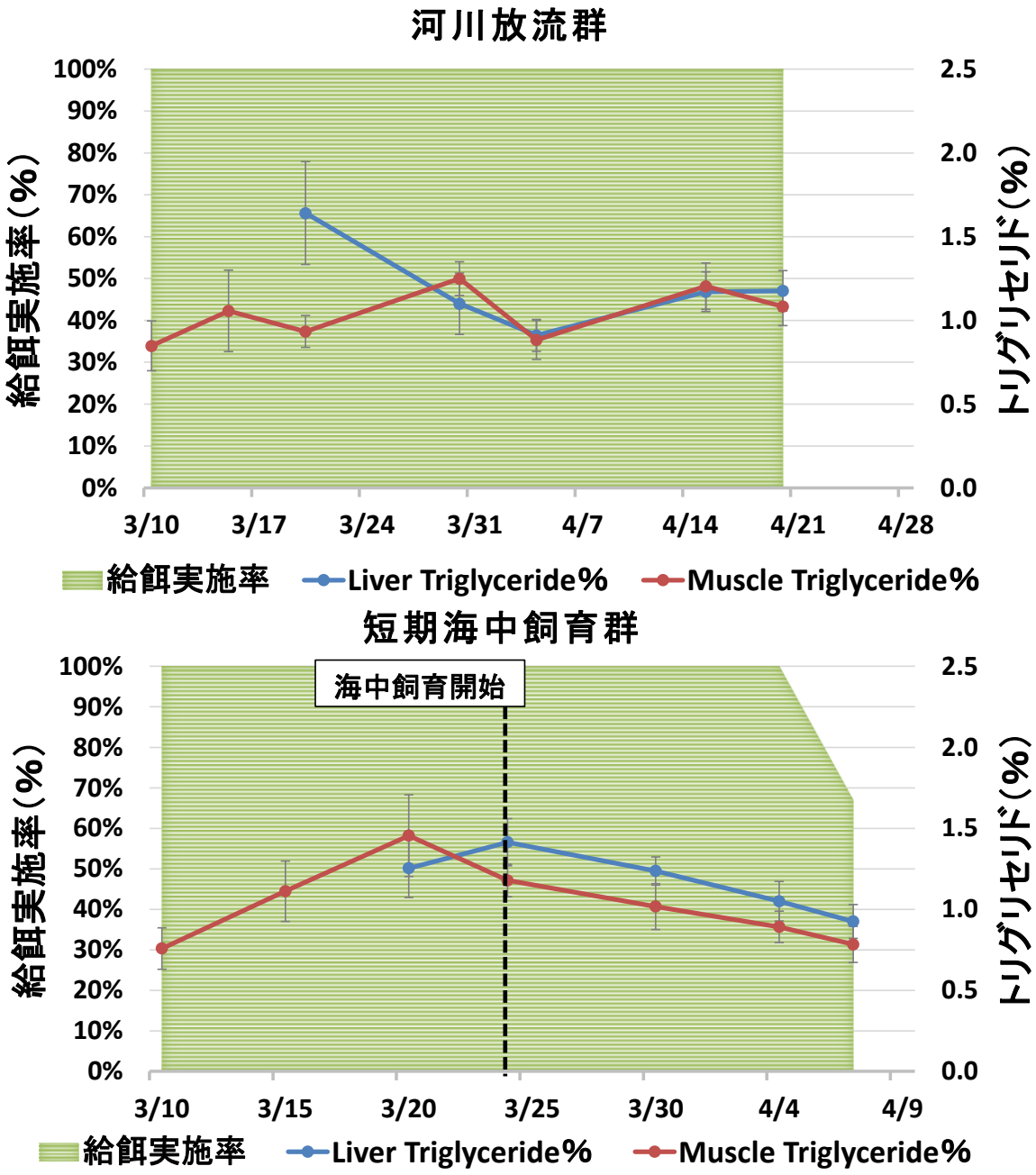


図 28　各試験群の持続・瞬間遊泳力の推移

肝臓及び筋肉中におけるトリグリセリド含有率と給餌実施率（１日の給餌実施予定回数に対する実際の給餌回数の割合）の関係を図 29 に示した。トリグリセリド含有率は、給餌実施率と同調している傾向が見られた。

また、尾叉長と肝臓及び筋肉中におけるグリコーゲンの含有率の関係を図 30 に示した。グリコーゲン含有率は、尾叉長が 50㎜ を超えると筋肉、肝臓の順に大きく低下した。



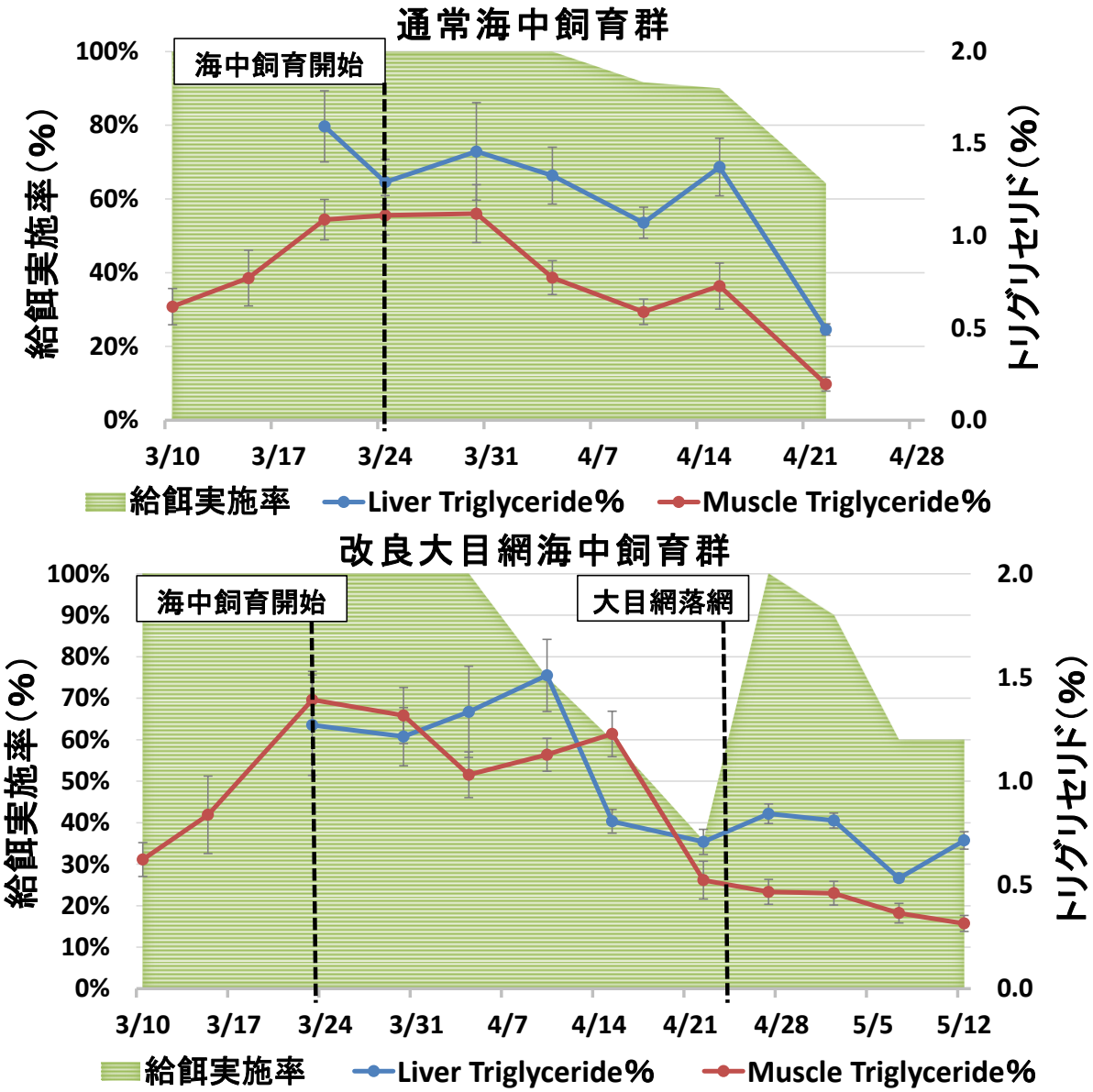
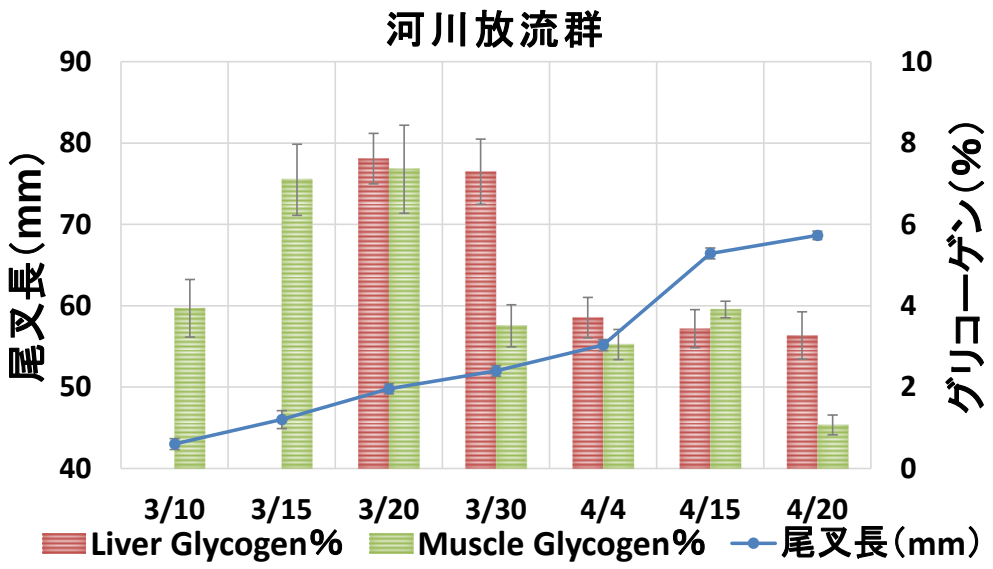


図 29　各試験群の給餌実施率とトリグリセリド含有率の推移



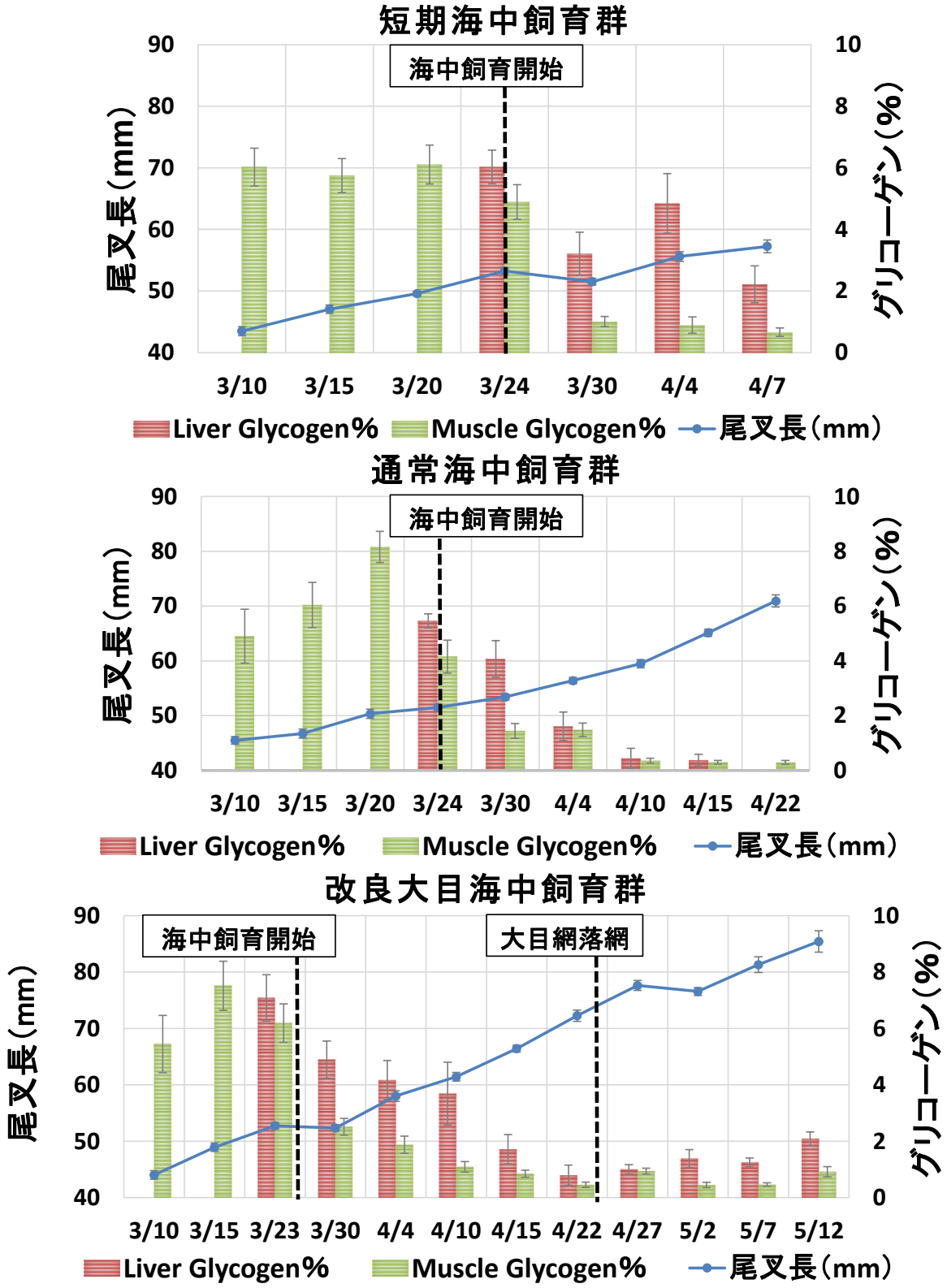


図 30　各試験群の尾叉長と肝臓・筋肉中のグリコーゲン含有率の推移

火光利用敷網調査による追跡では、河川放流群65尾（採捕率0.0163%）、短期海中飼育群15尾（同0.0038%）、通常海中飼育群34尾（同0.0085%）、改良大目網海中飼育群11尾（同0.0028%）が採捕された。また、まき網調査による追跡では、令和２年４月23日に1,150尾のサケ幼稚魚を採捕し、そのうち310尾が耳石温度標識魚であった。標識種類毎の採捕数は、河川放流群83尾（採捕率0.0208%）、短期海中飼育群18尾（同0.0045%）、通常海中飼育群73尾（同0.0183%）、改良大目網海中飼育群３尾（同0.0008%）であり、同試験以外の標識魚が133尾採捕された。

＜今後の問題点＞

１　岩手県沿岸におけるサケ幼稚魚の分布状況

初期減耗要因を解明するため、モニタリングの継続が必要である。

２　親魚の回帰状況

岩手県の回帰資源状況の把握及び採卵に必要な回帰予測を行うため、モニタリング調査の継続が必要である。

３　秋サケ回帰予測

予測値と実績値にずれが生じていることから、使用するデータ範囲の見直しや近年の海況の動向を踏まえた補正を検討する。

４　サケ大規模実証試験での種苗生産・放流技術の開発

⑴　令和２年級（令和３年春放流）稚魚の追跡調査

北上丸による追跡調査を行い、耳石日周輪紋を解析して、餌・流速・魚体サイズが幼稚魚期の成長と生残に与える効果を把握する必要がある。また、放流した稚魚の状態を把握するため、採捕した稚魚の体成分分析（一般成分、グリコーゲン、トリグリセリド等）を行う必要がある。

⑵　飼育試験

遊泳力及び飢餓耐性は健苗性や近年の海況条件への適応能力を評価する指標として有効と考えられるため、今後も各試験区において当該能力の測定試験を実施するほか、サケ親魚の回帰状況調査結果と合わせ、稚魚の健苗性を評価する指標としての適格性を評価する必要がある。

ア　最適餌料の探索

餌料へのアスタキサンチンの添加は、１ヵ月の飼育期間における投与の場合、サケ稚魚の遊泳力や飢餓耐性の向上は認められなかったが、２ヵ月の長期投与により遊泳力の向上に寄与する傾向が見られた。一方、これまでの試験において、成長に伴い遊泳力が高まる傾向が見られたことから、サケ稚魚の成長を効率的に促進する新たな餌料の探索が必要である。

イ　遊泳力強化方法の検討（さけます等栽培対象資源対策事業）

現行の条件での流速強化ポンプシステムによる飼育では、有意な遊泳力の上昇が見られなかったことから、流速を強化する時間や最適な流速、摂餌方法等の詳細な条件を再度検討する必要がある。

ウ　適期適サイズ放流の検討（大型稚魚放流）

近年の海洋環境等を考慮した適期適サイズ放流の検討を行う必要がある。

エ　高温耐性試験

これまでの試験において、北上水系サケの高温耐性の有無を明らかにできていないことから、北上水系のサケ稚魚について追試を行い、高温耐性の有無を再確認するほか、HSP遺伝子の発現量の有意な増加が認められた早期回帰群由来の稚魚についても、同様の調査を行う必要がある。

５　海中飼育試験（さけます等栽培対象資源対策事業）

海中飼育網の大目化により稚魚の成長及び遊泳力が向上したほか、トリグリセリドと摂餌、グリコーゲン含有率と尾叉長の間に関係性が見られた。今後は、本試験で得られた知見を基に適性飼育密度の把握や給餌量・給餌方法の検討等を試み、大型で健康な稚魚の放流が可能となる海中飼育手法を検討する必要がある。

＜次年度の具体的計画＞

１　岩手県沿岸におけるサケ幼稚魚の分布状況

岩手丸表層トロール調査による幼稚魚の採集と採捕したサンプルの耳石日周輪紋による成長解析を実施する。

２　親魚の回帰状況

片岸川、織笠川及び津軽石川における年齢組成、魚体と繁殖形質のモニタリング調査及び県内各河川の年齢組成から、年級別・年齢別回帰尾数を求め、資源状態を把握する。

３　秋サケ回帰予測

回帰時の海況や地域毎に分けた予測手法を検討する。

４　サケ大規模実証試験施設での種苗生産・放流技術の開発

⑴　令和３年級稚魚の追跡調査

北上丸による追跡調査を行い、耳石日周輪紋を解析して、餌・流速・魚体サイズが幼稚魚期の成長と生残に与える効果を把握する。また、採捕した稚魚の体成分分析（一般成分、グリコーゲン、トリグリセリド等）を行い、放流した稚魚の状態を把握する。

⑵　飼育試験

遊泳力及び飢餓耐性を測定し、各試験区のサケ稚魚の健苗性評価を行う。

ア　最適餌料の探索

成長速度、耐病性、遊泳力、飢餓耐性等を効率的に向上させる新たな餌料の探索を行う。

イ　遊泳力強化方法の検討（さけます等栽培対象資源対策事業）

流速の強化時間や最適な流速、摂餌方法等の飼育条件を再検討する

ウ　適期適サイズ放流の検討（大型魚放流）

令和元年級及び令和２年級に引き続き大型魚放流を行うとともに、近年の海況を考慮した適期適サイズ放流を検討する。

エ　高温耐性試験

北上川水系の稚魚の特徴の再現性を確認するほか、早期回帰群由来の稚魚について、高温耐性の有無を確認する。

５　海中飼育試験（さけます等栽培対象資源対策事業）

改良大目海中飼育網を用いた海中飼育環境のモニタリングによる適正飼育密度の把握及び適正給餌量・給餌方法の検討。

＜結果の発表・活用状況等＞

１　研究発表等

清水　さけますふ化放流事業の概要（令和２年度いわて水産アカデミー講義）

清水　令和２年度岩手県秋さけ回帰予報（定置大謀研修会）

清水　令和２年度秋サケ回帰予報（ぎょれん情報）

令和２年度岩手県秋サケ回帰予報（水技ＨＰ、年１回）

秋サケ回帰情報（水技ＨＰ、年３回）

サケ稚魚放流情報（水技ＨＰ、年５回）