

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、(副) 岡部 聖		
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、黒崎、熊の鼻、閉伊崎、トドヶ崎及び尾崎の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3年度の回帰尾数は、令和元年度以降と同様に、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、4歳魚以上の予測にはシブリング法を用いて全体の回帰尾数を予測したうえで、極端な低回帰率の場合、予測値との下振れのずれが発生するのを解消するために、自然対数を底とする対数変換を行った。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)。また、各河川の予測値は、あらかじめシブリング法により推定し、それらに対数変換した値を基に、時期別の年齢組成・資源変動を加味した補正をかけた。

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3年級は、主に沿岸河川片岸川産の卵を移入し、最適餌料の探索、遊泳力強化手法の検討、適期適サイズ放流の検討を行うとともに、高温耐性を有すると推測される北上川水系砂鉄川の卵を用いた移入試験を行った。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。また、砂鉄川、片岸川の卵に加え、県北部沿岸河川の安家川の卵を少数移入し、高温耐性試験を実施した。各試験区の稚魚は室内で小規模飼育を行い、発生や成長を併せて比較した。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。また、令和3年度は親魚の回帰尾数の激減に伴い、試験用種卵が十分に確保できなかったため、過去年度と比較して試験放流規模が縮小している。

(1) 令和2年級（令和3年春放流）稚魚の追跡調査

令和2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3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添加区	
	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	
令和元	流速強化	流速強化区2cm/s	対照区0.5cm/s	
	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	
令和2	大型稚魚放流	3～4g放流		
	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	
令和3	大型稚魚放流	4g以上放流		
	餌料	アスタキサンチン添加区	対照区(サケEPC)	
	流速強化	流速強化区3～5cm/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 ※	10g以上放流 ※	

※ 標識した試験魚は全て平均4g程度で放流、一部を長期飼育し10g以上で放流

(2) 令和3年級（令和4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收容した。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、主に県内の標準餌料であるサケ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を参考に給餌した。飼育水には大規模実証試験施設の井戸水（水温10～11℃台）を用いた。

ア 最適餌料の探索

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 10 倍希釈し、希釈溶液を標準餌料に対して重量比で 5%添加したものを給餌するアスタキサンチンオイル餌料添加区と標準餌料飼育の対照区を設定した。

試験中は概ね1週間毎に10～30尾（放流時は100尾）の尾叉長と体重を測定したほか、健苗性を検討するため、概ね1週間毎に10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1～2g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34mmの円形パイプ型水槽（流速制御型遊泳力測定装置、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10尾、瞬間遊泳力については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海水適応・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に黒カゴ（50cm×30cm×60cm）を投入し、各試験区400尾を無作為かつ均等になるよう2群に分けてその中に搬入し、海水かけ流しで飼育した。1群は無給餌であり、もう1群は定期的に給餌（概ね魚体重4%）した。試験期間中は1日ごとに死魚を計数し、無給餌飼育群の生残率が50%以下となった時点で試験終了とした。試験終了時には、各群の稚魚30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）

令和元年級及び2年級では、飼育池の排水部にポンプを取り付け、注水部へと戻すことで流速の強化を試みたが、水質の悪化により死亡数が増加したことから、令和3年級では小型ポンプにより、飼育池に井戸水を追加した。流速強化区では、100V水中ポンプ2台を用いて井戸から飼育池の注水部付近に水を流し、水量・流速を強化した。日中の8時間（8時～16時）にポンプを稼働して流量600～800L/分の強化行程とし、それ以外（16時～翌朝8時）はポンプを停止し、通常流量（200L/分）の安息行程とした。概ね1週間ごとに、アと同様の手順で遊泳力測定を行った。なお、令和3年級は種卵不足のため、流速強化区のみ試験となった。

ウ 適期適サイズ放流及び大型稚魚放流の検討

サイズを重視した放流を検討するため、放流適期外の6月まで飼育を行い、平均10gを超える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、アと同様の試験区を設定し、同様に成長比較、遊泳力測定及び飢餓耐性試験を行った。

なお、大規模実証試験施設におけるア～ウの各試験区を表2に示す。これらの試験区は全て片岸川由来である。

表2 大規模実証試験施設における試験区（令和3年級）

採卵月日	試験区	放流年月日	平均尾叉長(mm)	平均体重(g)	放流尾数(尾)
令和3年11月16,18日	アスタキサンチンオイル 餌料添加区※1	令和4年3月27日	76.50	3.75	54,560
令和3年11月20,22日	餌料対照区(サケEPC)※2	令和4年3月27日	78.13	3.90	40,674
令和3年11月27,29日 、12月2日	アスタキサンチンオイル 餌料添加区:長期飼育※1	令和4年6月2日	118.95	14.28	10,072
令和3年12月6,8,10日	餌料対照区(サケEPC) :長期飼育※2	令和4年6月2日	111.32	12.11	7,479
令和3年12月20,22,23日	流速強化区	令和4年5月14日	76.36	4.05	13,679

※1, 2それぞれの試験区には同様の耳石温度標識を標付。

エ 高温耐性試験

令和3年級においては、過去年度と同様に砂鉄川から種卵を移入し、片岸川卵・稚魚と発生・成長・遊泳力について比較を行った。また、上記2河川及び安家川から採卵時期別に500～2,000粒程度の種卵を移入し、プラスチック小水槽(30cm×50cm×40cm)内で給餌飼育を行い、短期及び長期高温耐性試験に用いた。高温耐性試験に用いた採卵群を表3に示す。

表3 高温耐性試験に用いた試験群(令和3年級)

採卵月日	移入河川名	移入時の状態	移入卵数(粒)	飼育方法
令和3年9月24日	安家川	発眼卵	1,800	池
令和3年10月29日	安家川	発眼卵	1,000	小水槽
令和3年11月29日	安家川	発眼卵	2,000	小水槽
令和3年11月19日	砂鉄川	受精卵	1,200	小水槽
令和3年10月20日	片岸川	受精卵	500	小水槽
令和3年11月20日	片岸川	受精卵	1,000	小水槽
令和3年11月14～16日	砂鉄川※	発眼卵	23,000	池
令和3年11月13日	片岸川※	発眼卵	17,000	池

※本試験群は回帰率を求めるための移入試験とし、温度耳石標識を付し、成長・遊泳力の比較のみ実施。

また、安家川(10月)及び砂鉄川(11月)のそ上雄親魚から精子を採取して冷蔵保存し、翌日以降に片岸川で採卵された卵と受精させ、2種の交雑種を作成した(表4)。発生・成長・高温耐性について、片岸川の同個体由来の純系稚魚(表3、高温耐性試験に用いた試験群)との比較を行った。

表4 作成した交雑試験群(令和3年級)

試験群	採卵月日	♂親魚	♀親魚	卵数(粒)	飼育方法
安家川♂×片岸川♀ 交雑種	令和3年10月20日	安家川	片岸川	500	小水槽
砂鉄川♂×片岸川♀ 交雑種	令和3年11月20日	砂鉄川	片岸川	1,000	小水槽

① 発生比較

高温耐性試験に用いる各試験群について、ふ化開始及び完了時点の積算水温を算出し、河川別・時期別に比較した。また、表3中の小水槽内で飼育した計6試験群及び表4中の交雑種2試験群について、ふ化直前(積算水温400～450℃程度)の発眼卵を小水槽内に入れたステンレス製カゴ(30cm×20cm×5cm)に移送し、1日ごとにふ化の様子を観察した。

② 短期高温耐性試験

1～2g台時点及び4g以上の各河川の稚魚・交雑種を原水温(約11.0℃)から26.5℃の水中に投入し、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、高温耐性の指標とされるヒートショックプロテイン(HSP)遺伝子の発現量を測定するため、試験後の各河川の稚魚30～40個体について、尾叉長及び体重を測定後、筋肉と脳をサンプリングし、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。同サンプルについては、随時静岡大学へと移送し、リアルタイム定量PCR法により、当該遺伝子の発現解析を行った。

③ 長期高温耐性試験

1～2g台の各河川の稚魚について、原水温区（約11.0℃）と昇温区（12.0～26.0℃）に分け、概ね60尾ずつプラスチック容器（74cm×44cm×35cm）内で無給餌飼育した。両試験区の温度管理及びサンプリングのスケジュールを表5に示す。各試験区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、HSP遺伝子の発現解析を行った。

表5 令和3年級における長期高温耐性試験スキーム

	飼育日数	0	1	2	3	4	5	6	7
昇温区（14℃→26℃）	水温（℃）	14	16	18	20	23	25	26	26
原水温区（10～12℃台）	水温（℃）	原水温							

※色付きの部分でHSP遺伝子解析用のサンプリングを実施。

(3) 耳石温度標識放流魚の回帰率調査

平成29年以降、熊野川にそ上した3～5歳魚について、頭部から耳石を摘出し、サケ大規模実証試験施設で標付した温度標識を確認し集計した。年齢査定により放流年度を特定し、当該年級における温度耳石標識放流データ及び各試験区の放流尾数と合わせ、試験区ごとの回帰率を算出した。

5 令和2年級（令和3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1週間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、通常の飼育網（26節、目合約12mm）と改良大目網（16節、目合約20mm）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る。海中飼育開始時は通常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。

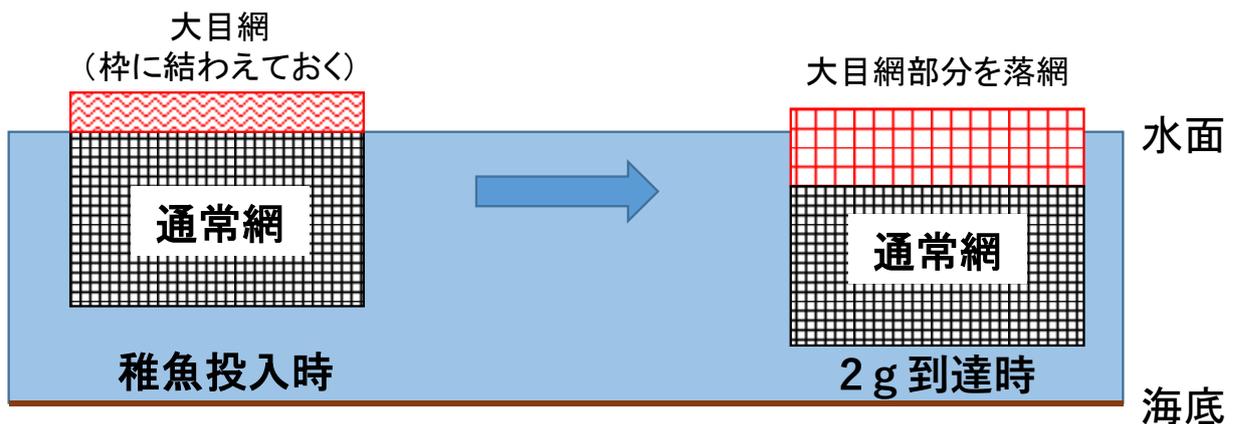


図1 改良大目網海中飼育群の飼育模式図

各海中飼育群については、令和3年3月5日に山田湾の海中生簀に移行した。概ね10日ごとに各試験群の尾叉長と体重を測定したほか、海中生簀収容時、目合いの切替え時（令和3年4月8日）及び各試験群の放流前等の段階において、4（2）アと同様の手順で遊泳力を測定した。また、改良大目網海中飼育群と通常海中飼育群について、北里大学にて肝臓及び幽門垂におけるトリグリセリド含有率を比較した。

放流後は、北上丸による火光利用敷網調査（4（1））及び船外機船による山田湾内のまき網調査により、

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3年春季（令和2年級）の調査では、過去2年の調査（平成30、令和元年級）と同様に、分布密度は0尾/km²であった（図2）。

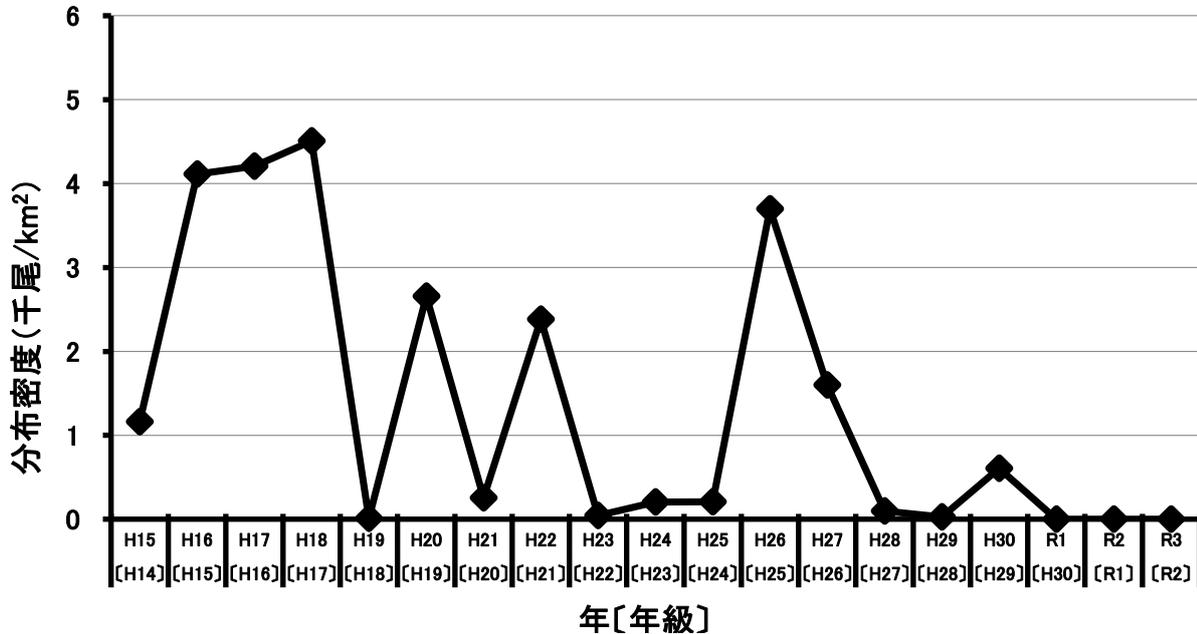


図2 表層トロール調査によるサケ幼稚魚分布密度の経年変化

2 親魚の回帰状況

(1) 令和3年度の回帰状況

令和3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139千尾（令和2年度591千尾、対前年比23.6%）となり、回帰尾数と単純回帰率（主となる4歳魚の放流尾数に対する回帰尾数の割合）ともに昭和45年以降、最低となった（図3）。

回帰尾数の内訳は、沿岸漁獲が92千尾（対前年比18.9%）、河川捕獲が40千尾（対前年比37.7%）、海産親魚捕獲が7千尾（対前年比15.4%）であり、特に海面での漁獲量が大幅に減少した。

地区別漁獲割合では、県北の漁獲割合が69%と高い割合を占め、県央が23%、県南が9%と平成29年以前と比較して極端に低くなった（図4）。

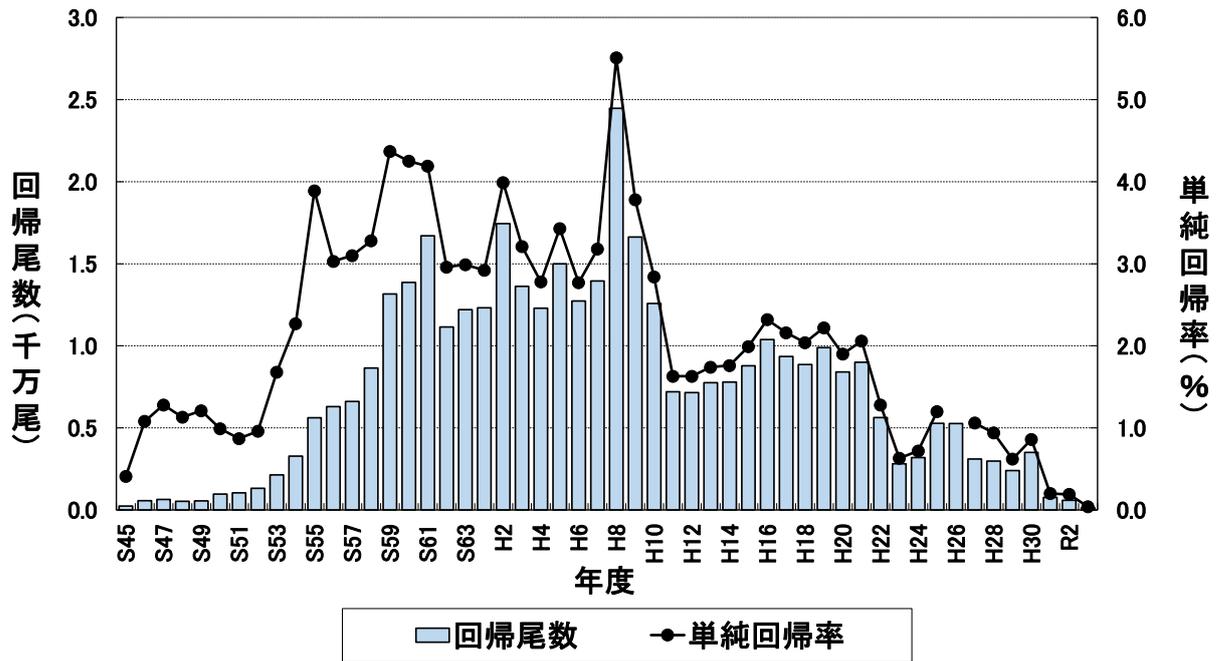


図3 年度別回帰尾数と単純回帰率

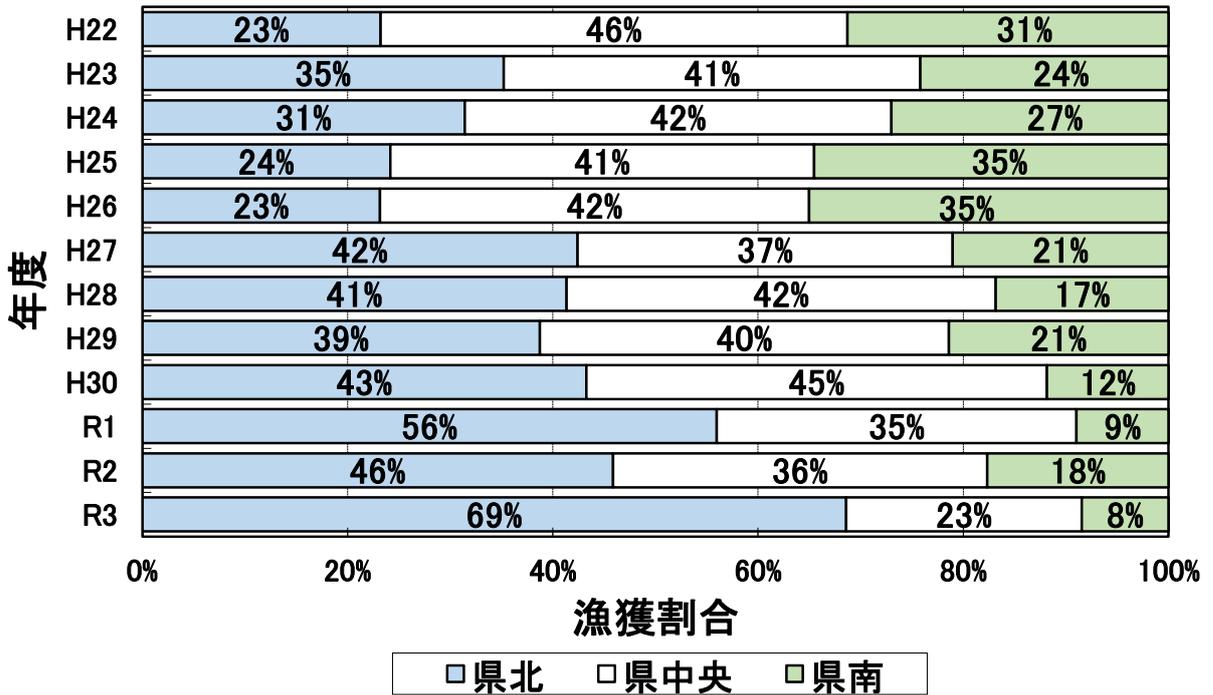


図4 地区別漁獲割合の推移

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

(2) 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、3歳魚の割合が増加し、4歳魚の割合が減少した(図5)。

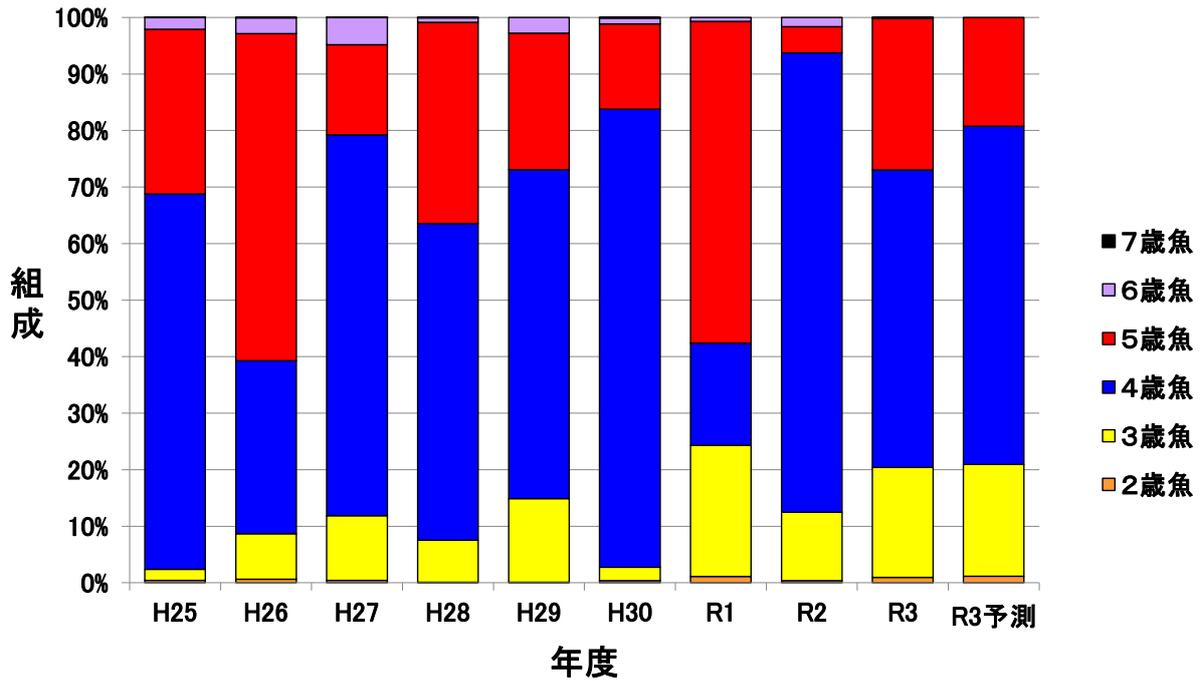


図5 年度別県全体の年齢組成

片岸川、織笠川及び津軽石川に回帰した雌4歳魚の体重は、前年と同程度となり、津軽石川の体重が他2河川と比較して大きい傾向にあった(図6)。また、4歳魚の平均孕卵数は、織笠川では2,927粒(平成8~令和3年の平均値2,736粒)、津軽石川では3,846粒(同3,062粒)であり、ともに前年度と比較して増加しており、津軽石川では平成8年の調査以来、最大となった(図7)。なお、片岸川ではその上数の減少により、同調査に用いる親魚及び卵が確保できなかった。

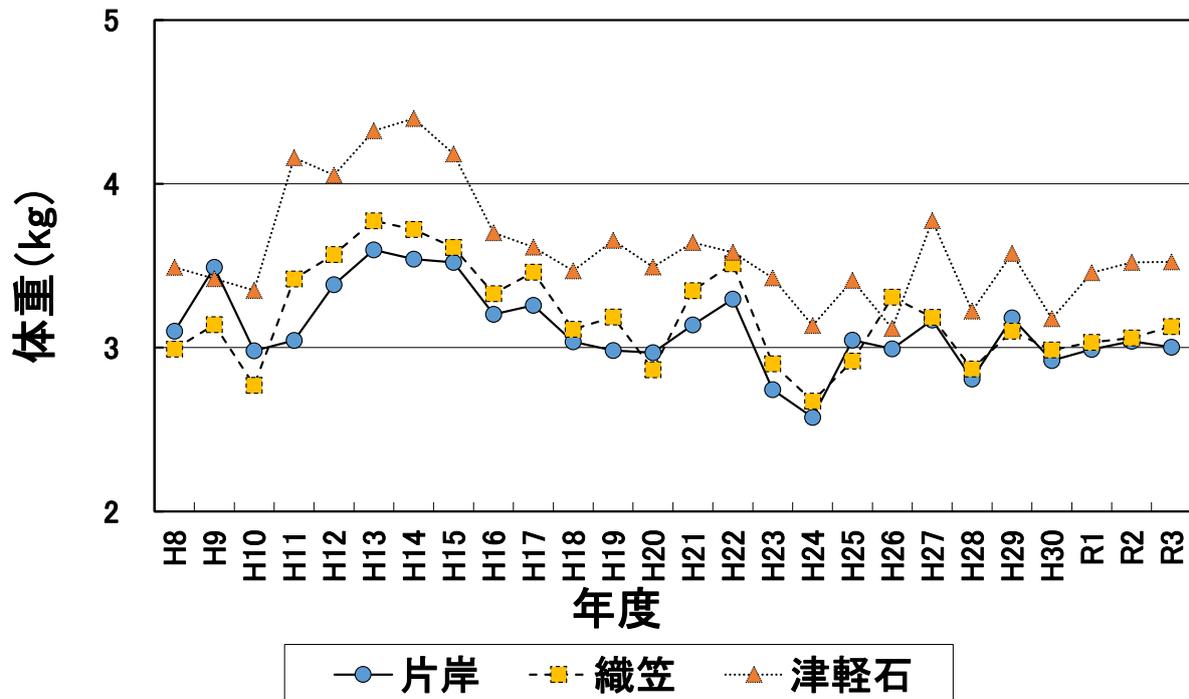


図6 片岸川、織笠川及び津軽石川における回帰親魚(雌、4歳魚)の平均体重の経年変化

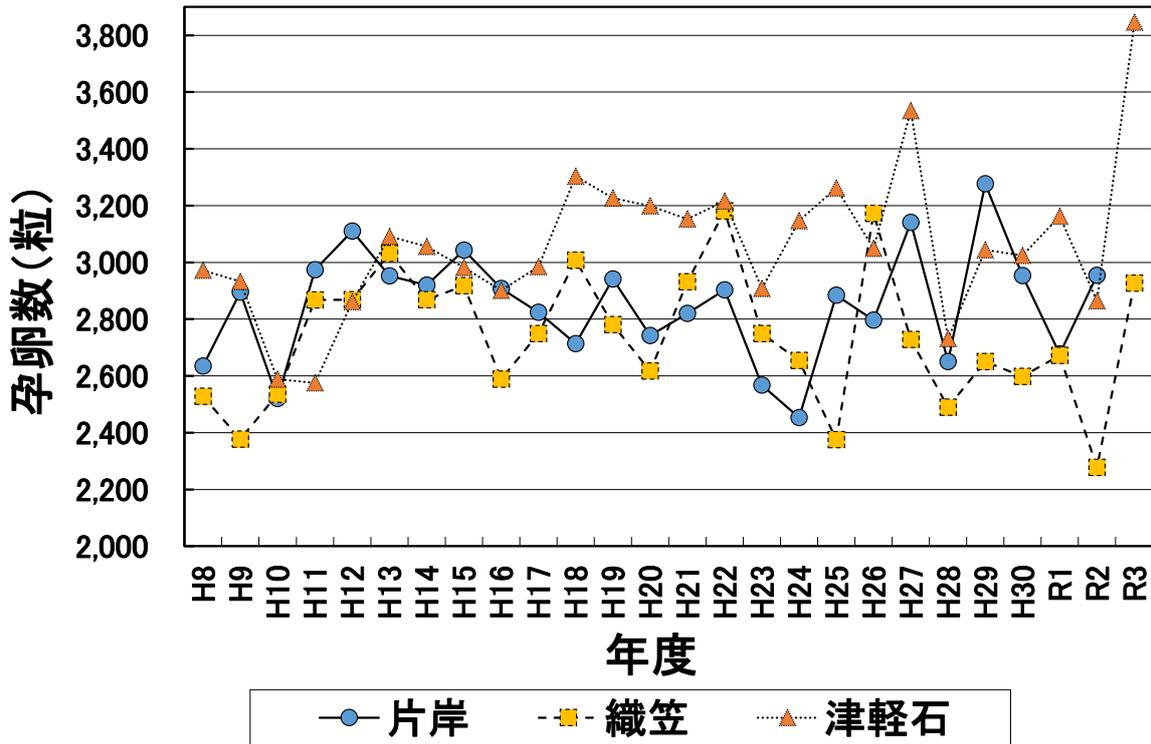


図7 片岸川、織笠川及び津軽石川における孕卵数の経年変化

3 秋サケ回帰予測

令和3年度の予測尾数は中央値615千尾であったが、漁期を通して予測下限値を下回り、回帰実績は139千尾となり、予測値を大きく下回った(図8)

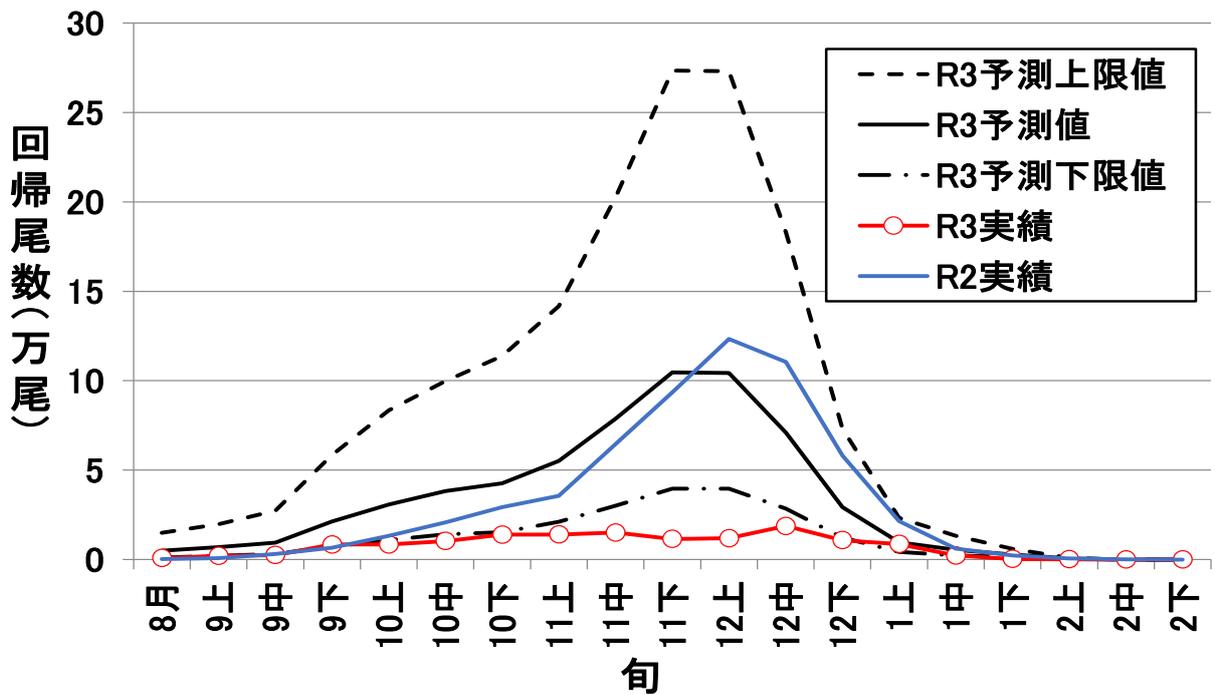


図8 海面及び河川における回帰の予測値と実績値

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

(1) 令和2年級（令和3年春放流）稚魚の追跡調査

令和3年3月18日から5月31日までの期間に、1,201尾のサケ幼稚魚を採捕し、そのうち235尾が耳石温度標識魚であった。耳石を解析したところ、サケ大規模実証試験施設から標識放流された令和2年級稚魚はそのうち118尾であり、全て唐丹湾で採捕されていた。標識種類毎の採捕数は、アスタキサンチン添加区35尾（採捕率0.0179%）、フィードオイル添加区21尾（同0.0109%）、砂鉄川移入稚魚9尾（同0.0172%）、移入対照区（片岸川稚魚）25尾（同0.0169%）、遊泳力強化区9尾（同0.0124%）、遊泳力対照区（低密度飼育区）13尾（同0.0170%）となった。

(2) 令和3年級（令和4年春放流）稚魚の飼育試験

ア 餌料、遊泳力強化及び大型稚魚放流に係る試験

令和2年級の飼育試験において、アスタキサンチンオイル（アスタキサンチン：フィードオイル＝1：25）又はフィードオイル単体を標準餌料に添加した試験区で、池飼育60日時点で有意な体重増加が確認されており（図9）、令和3年級においても、同様にアスタキサンチンオイルの餌料添加による成長等への影響を確認した。なお、令和3年級のアスタキサンチン含量は、前年の2.5倍としている。

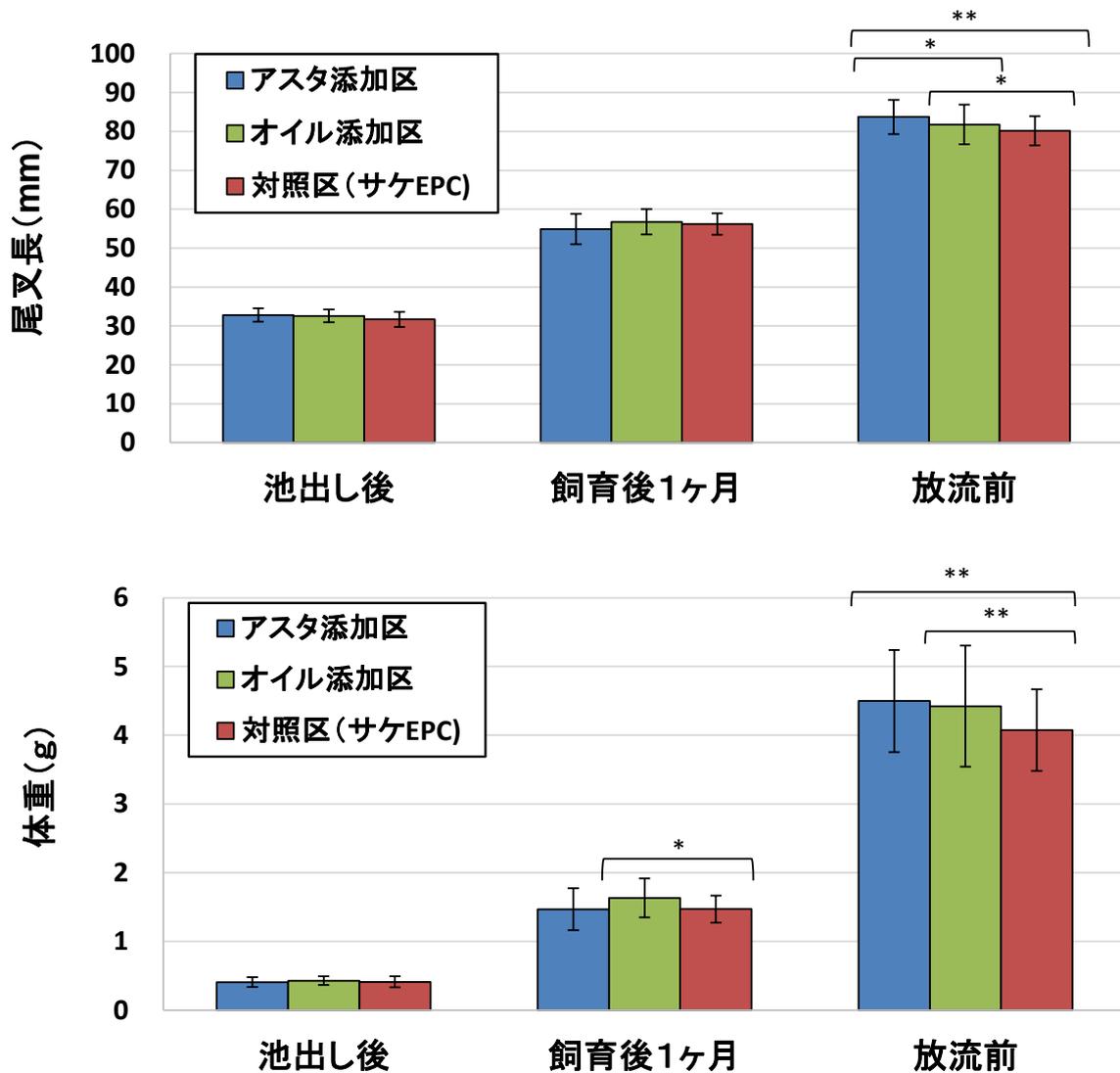


図9 令和2年級長期飼育試験区におけるアスタキサンチンオイル及びフィードオイルの餌料添加による尾叉長（上）と体重（下）の比較

（池出し後、飼育後1ヶ月：N=30、放流前：N=100、*：P<0.05、**：P<0.01、t-test with Bonferroni correction）

アスタキサンチンオイルの餌料添加による効果を把握するため、試験区と対照区について、成長・遊泳力・飢餓耐性の比較を行っており、現在解析中である。一部を大型稚魚放流試験区として、令和4年6月2日まで長期飼育を行い、同様の比較・解析を実施している。なお、ふ化場管理を行う職員から、アスタキサンチンの餌料添加による稚魚の餌食の向上が報告されており、それが成長に反映されているか同時に確認する。

また、流速強化試験については、十分な試験用種卵が確保できず、対照区を設定できなかったため、遊泳力の推移を確認するに留まったが、令和元年級及び2年級で発生した大量への死は起こらなかった。

なお、飼育池で飼育した試験区については、大型となった稚魚を除き、過去の年級と比較して、ごく低密度環境での飼育となったことに留意する必要がある。

イ 高温耐性試験

令和元年級において、砂鉄川、安家川及び片岸川の稚魚について、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、HSP遺伝子の発現量を調べた。その結果、飼育水温18℃及び23℃の昇温区の安家川稚魚において、HSPファミリーの1つであり、生体内でコラーゲンの生成に関与するHSP47遺伝子の発現量が、他2河川と比較して有意に高い傾向があることが分かった(図10)。一方で、コラーゲン遺伝子の発現量の増加は認められず、サケにおける高水温ストレスに対する応答について、詳細な機構は分かっていない。

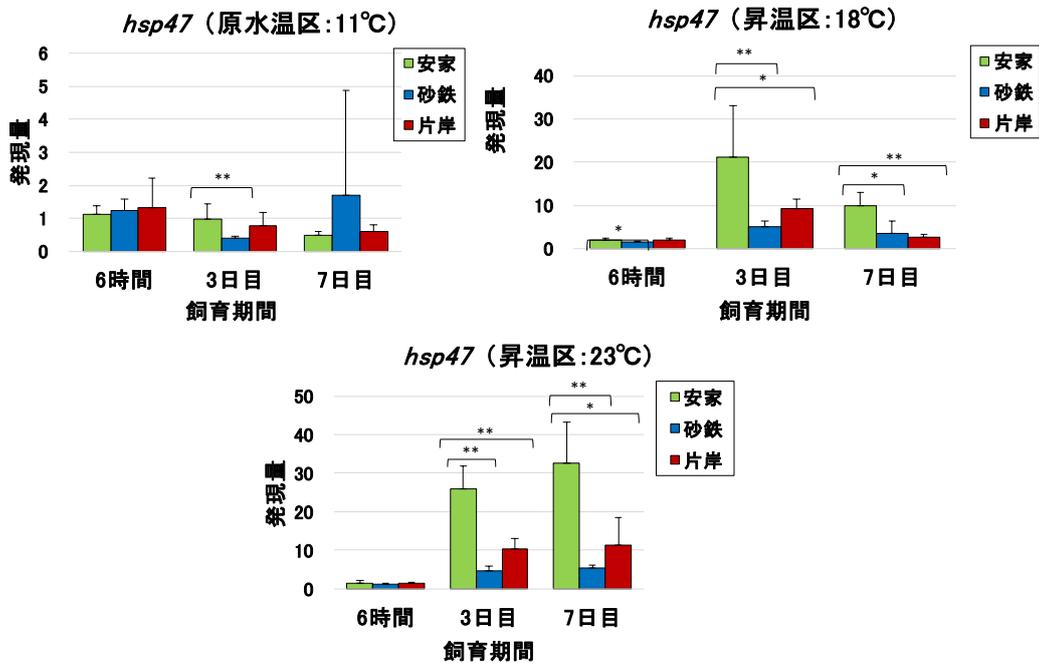


図10 砂鉄、安家及び片岸川の稚魚における高水温飼育下でのHSP47遺伝子の発現量比較 (砂鉄、片岸川: N=10、安家川: N=5、*: P<0.05、**: P<0.01、Steel-Dwass test)

令和3年級については、表3に示す河川群及び表4に示す交雑種間において、成長や短期・長期高温耐性形質について、河川間・そ上時期での比較を行うほか、同試験中で調整した各試験群のサンプルについて、HSP遺伝子の発現量を確認する見込みである。本報告では、同試験群における発生比較と令和2年級のHSP遺伝子の解析結果の一部を示す。

① 発生比較

各試験群のふ化開始時及びふ化完了時の積算水温を表6に示した。安家川産のふ化開始積算水温は466.7~485.2℃となり、片岸川産(448.2~460.0℃)と比較してふ化が遅かった一方で、砂鉄川産は417.2℃であり、過去3年の結果と同様に砂鉄川産の方がふ化が早かった。また、安家川雄と片岸川

雌の交雑種（10月採卵）では、ふ化開始積算温度（487.9℃）は両河川純系の間となったが、ふ化完了積算温度（501.7℃）は片岸川純系と同様であった。砂鉄川雄と片岸川雌の交雑種（11月採卵）では、ふ化開始積算温度（471.4℃）は両河川純系よりも遅くなったが、ふ化完了積算温度（538.9℃）は砂鉄川純系と同様であった。砂鉄川、片岸川（11月）及び両河川の交雑種について、ふ化時の様子を観察したところ、砂鉄川産では、片岸川産及び交雑種と比較して、早い段階でふ化する卵が多い傾向にあった（図11）。

表6 令和3年級砂鉄川、安家川、片岸川及び交雑種のふ化積算水温

採卵月日	試験群	ふ化開始年月日	ふ化開始積算温度(℃)	ふ化完了年月日	ふ化完了積算温度(℃)
令和3年9月24日	安家川	令和3年10月23日	466.7	令和3年10月30日	564.1
令和3年10月29日	安家川	令和3年12月2日	496.6	令和3年12月5日	538.5
令和3年11月29日	安家川	令和4年1月4日	485.2	令和4年1月9日	551.2
令和3年11月19日	砂鉄川	令和3年12月19日	417.2	令和3年12月28日	539.4
令和3年10月20日	片岸川	令和3年11月22日	460.0	令和3年11月25日	501.7
令和3年11月20日	片岸川	令和3年12月23日	448.2	令和4年1月1日	569.5
令和3年10月20日	安家川♂×片岸川♀ 交雑種	令和3年11月24日	487.9	令和3年11月25日	501.7
令和3年11月20日	砂鉄川♂×片岸川♀ 交雑種	令和3年12月24日	471.4	令和3年12月29日	538.9

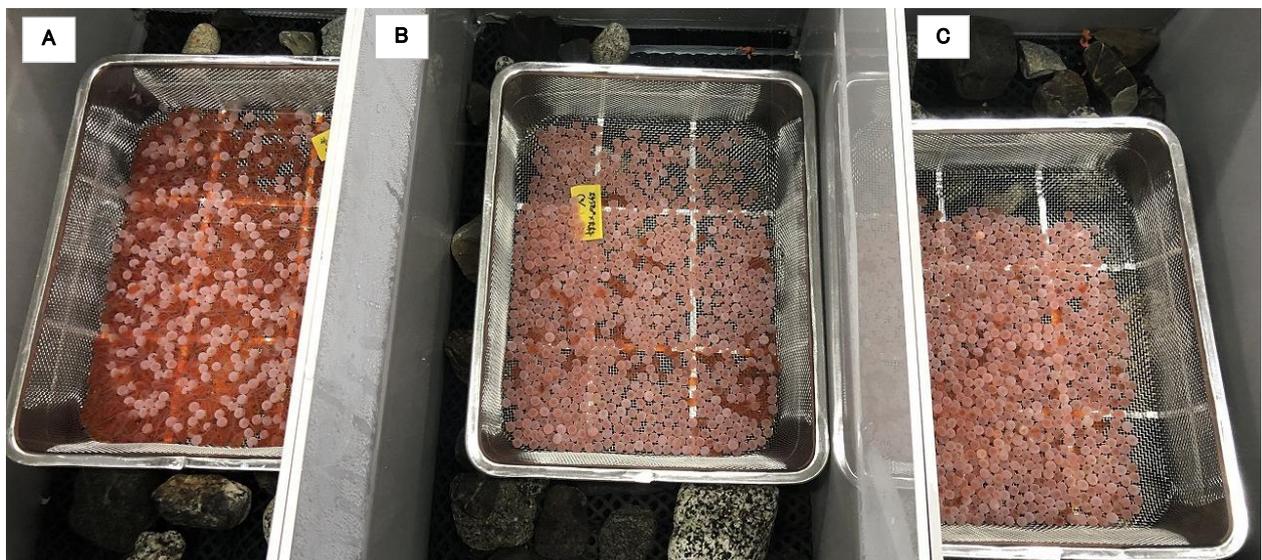


図11 砂鉄川、片岸川（11月採卵）及び両河川交雑種の発生比較（令和3年12月24日時点）

A：砂鉄川純系（積算水温：485.4℃） B：交雑種（同：471.4℃） C：片岸川純系（同：461.8℃）

② 令和2年級片岸川産稚魚のHSP遺伝子の発現解析

令和2年級の片岸川産稚魚の短期高温耐性試験サンプルを分析した結果、HSP47のほか、HSP30、HSP70-1等の遺伝子について、平衡喪失時間と発現量との間に正の相関が見られた。HSP47遺伝子については、令和元年度試験において、高温環境飼育に対する有意な発現量増加が認められているが、その他のHSPファミリー遺伝子の発現量増加は、急激な温度変化に対する応答と考えられる。令和2年級の砂鉄川及び令和3年級のサンプルについても、今後、解析を行う予定である。

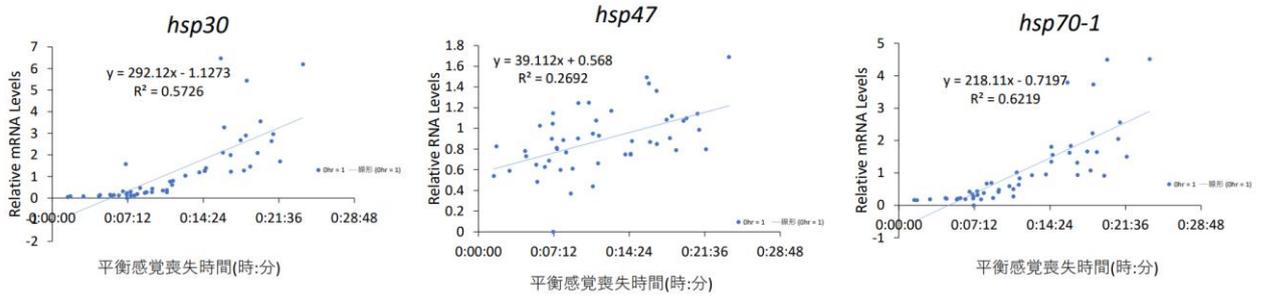


図12 令和2年級片岸川稚魚における短期高温耐性試験のHSP遺伝子発現解析（水産学会、成島、2022）

(3) 耳石温度標識放流魚の回帰率調査

平成26、27年級では大規模実証試験施設において、飼育密度に係る試験を実施しており、それぞれ通常密度（20kg/m³）、高密度及び低密度の3つの試験区を設定し、2月下旬と4月上旬の2回放流している（表7）。平成29～令和2年度に熊野川で採捕された3～5歳魚の耳石温度標識の解析により、各年級の試験放流魚の回帰率を調べた（表8）。

表7 大規模実証試験施設における平成26、27年級の放流実績

年級	採卵日	放流年月日	試験区	平均尾叉長(mm)	平均体重(g)	放流尾数
平成26年	平成26年 11月18日	平成27年 2月26日	高密度 (30kg/m ³)	53.80	1.07	309,718
			通常密度 (20kg/m ³)	53.61	1.06	206,191
			低密度 (10kg/m ³)	53.68	1.08	103,648
	平成26年 12月17日	平成27年 4月6日	高密度 (30kg/m ³)	55.19	1.03	301,634
			通常密度 (20kg/m ³)	54.22	1.07	199,108
			低密度 (10kg/m ³)	55.19	1.13	99,974
平成27年	平成27年 11月16日	平成28年 2月23日	高密度 (25kg/m ³)	53.40	1.11	256,247
			通常密度 (20kg/m ³)	53.90	1.09	209,471
			低密度 (15kg/m ³)	55.16	1.14	157,476
	平成27年 12月14、16、18日	平成28年 4月1日	高密度 (22kg/m ³)	52.58	1.00	222,236
			通常密度 (20kg/m ³)	52.57	1.00	98,217
平成26年 11月18、21日	平成28年 4月8日	低密度 (12kg/m ³)	52.79	1.00	125,934	

表8 大規模実証試験施設からの平成26、27年級試験放流魚（3～5歳魚）の回帰率

年級	試験放流魚の採捕尾数/調査尾数(当該年度のそ上数)				回帰率(%)	試験区	回帰率(%)
	平成29年度	平成30年度	令和元年度	令和2年度			
平成26年	19/76 (370)	66/362 (2,438)	48/154 (645)	-	0.0529	高密度	0.0626
						通常密度	0.0336
						低密度	0.0619
平成27年	-	4/17 (104)	2/36 (160)	0/6 (58)	0.0029	高密度	0.0056
						通常密度	0.0013
						低密度	0

平成27年級の3～5歳魚の回帰率は平成26年級と比較して全体的に大きく低下した。また、両年級ともに2月下旬放流の稚魚（平成26年級：0.0050%、平成27年級：0.0003%）は4月上旬放流の稚魚（平成26年級：0.1022%、平成27年級：0.0065%）と比較して回帰率が低かった。上記年級では、高密度飼育においても回帰率への影響は出ていない結果となったが、当該年級の飼育では、池の総重量に合わせて水量を調節しており、特に低密度試験区では飼育水量が少なくなる傾向になっていたことから、当該試験区の回帰率が過少に評価されている可能性がある。平成30年級以降の密度試験では水量を固定しており、本試験結果との比較により、飼育密度の影響を正確に判断する必要がある。

5 海中飼育試験（さけます等栽培対象資源対策事業）

短期海中飼育群は令和3年3月16日（海面飼育日数：12日）、通常海中飼育群は4月20日（同：47日）、改良大目網海中飼育群は5月11日（同：68日）に各40万尾を放流した。なお、河川放流群は令和3年4月22日から27日にかけて40万尾、5月25日に23万3千尾を放流した。

各試験群の尾叉長及び体重の推移を図13に示した。各試験群ともに海中生簀への移行後20日程度は尾叉長・体重の増加が見られず、海水適応へのストレスが影響しているものと考えられる。その後、改良大目網海中飼育群と通常海中飼育群の尾叉長・体重は同程度で推移したが、目合いの切替え後は改良大目網海中飼育群において成長の促進が見られ、放流時には平均体重8gとなった。なお、海中飼育中の水温は7～11℃台で推移した。

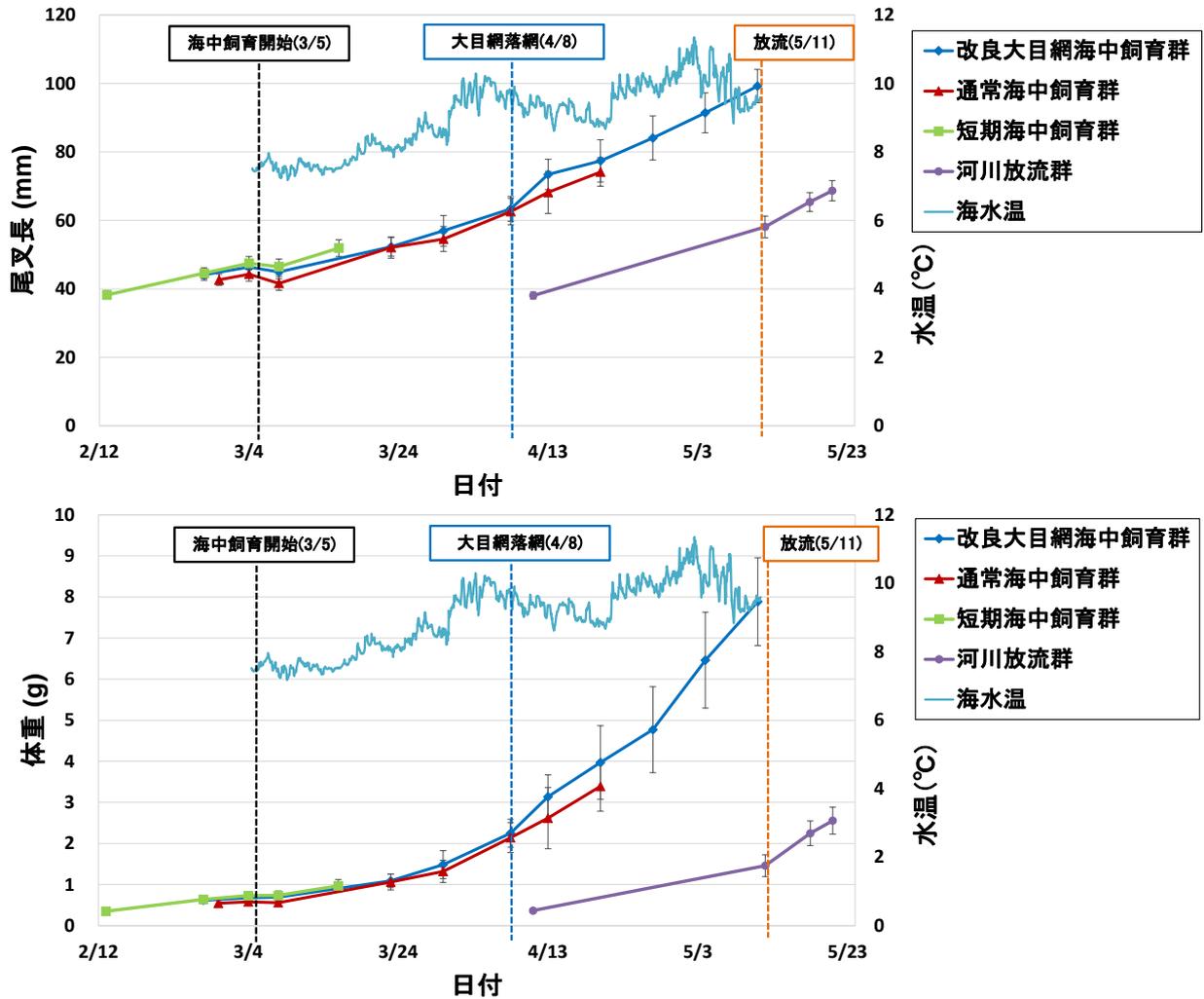


図13 各海中飼育試験群の平均尾叉長（上）及び体重（下）の推移

各試験群の遊泳力について、図14に示した。瞬間遊泳力については、各試験群ともに成長するにつれて概ね上昇する傾向にあったが、持続遊泳力については、海中生簀投入後に低下が見られた。改良大目網海中飼育群では、目合いの切替え後に持続・瞬間遊泳力ともに大幅な上昇が見られた。

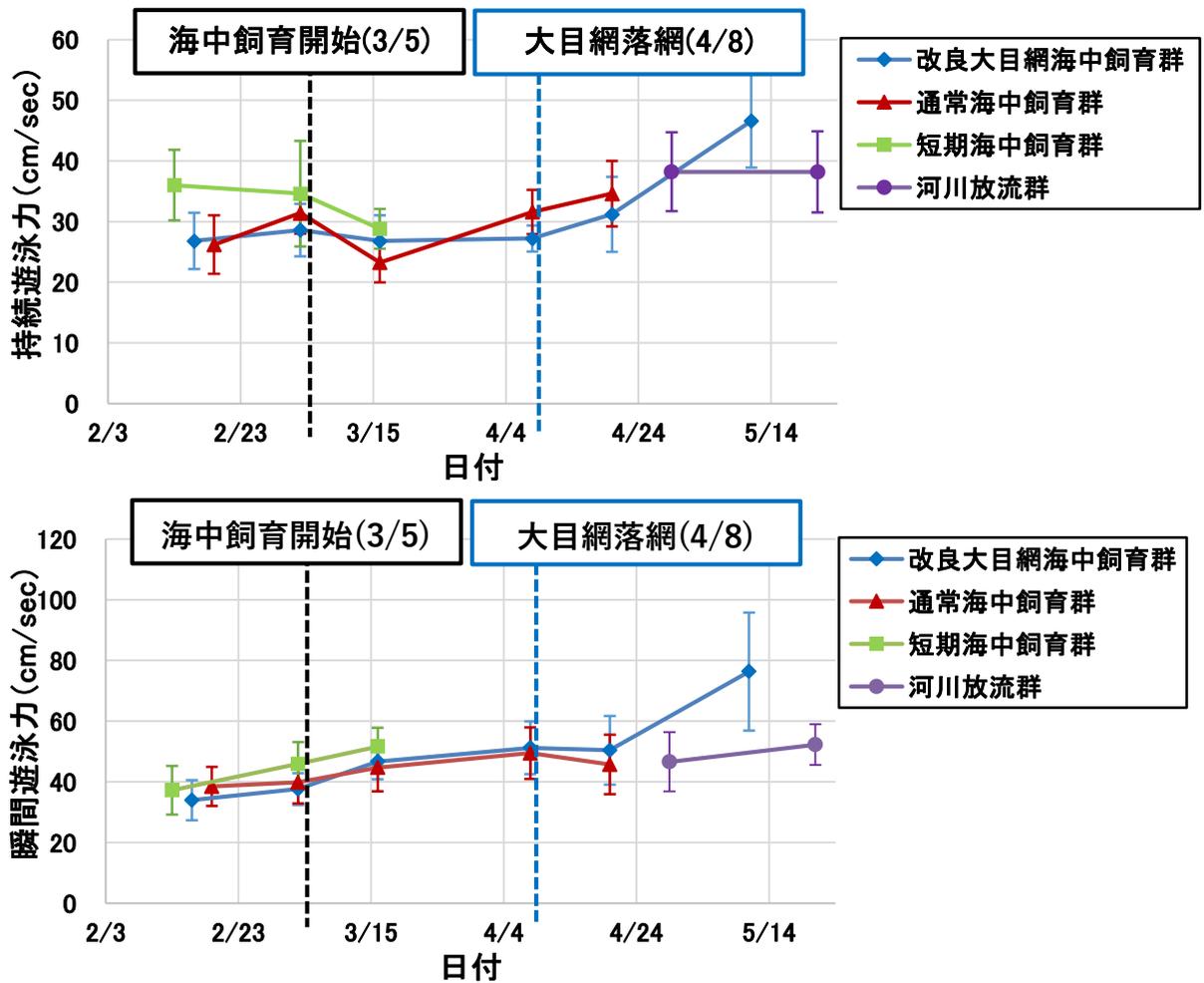


図14 各海中飼育試験群の持続（上）・瞬間（下）遊泳力の推移

海中飼育時の摂食量や栄養状態を確認するため、改良大目網海中飼育群と通常海中飼育群の腸管充満度及び内臓脂肪の蓄積量の推移を目視で確認した（図15）。通常海中飼育群では海中飼育47日目には腸管内容物や内臓脂肪の減少が認められたが、目合いの切替え後の改良大目網海中飼育群では、変わらず蓄積が確認された。また、海中飼育47日目の両試験群の肝臓及び幽門垂におけるトリグリセリド含有率を調べたところ、肝臓では差が見られなかったが、幽門垂では改良大目網海中飼育群の方が有意に高かった（図16）。

	海中飼育26日目(3/30)	海中飼育40日目(4/13)	海中飼育47日目(4/20)				
通常群	腸	内臓脂肪	腸	内臓脂肪	腸	内臓脂肪	
	++	+	+	+	+	-	
	++	+	++	+	+	-	
	++	+	++	+	+	-	
	+	+	++	+	+	-	
	++	+	++	+	+	-	
	++	-	++	+	-	-	
	+	-	++	+	+	+	
	+	+	++	+	+	-	
	++	-	++	+	-	-	
+	-	++	+	+	-		
大目網群	腸	内臓脂肪	海中飼育35日目(4/8) 大目網切替	腸	内臓脂肪	腸	内臓脂肪
	+	-		+	+	+	-
	+	-		+	+	++	+
	+	-		++	+	++	+
	+	+		-	+	++	+
	++	-		++	+	++	+
	+	-		++	+	++	+
	++	+		++	+	++	+
	+	-		++	+	++	+
	+	+		++	+	++	+
+	-		+	+	+	+	

図15 改良大目網海中飼育群及び通常海中飼育群の腸管充満度と内臓脂肪の有無の評価
 腸管充満度：内容物無し(-)、中程度(+)、充満(++)の3段階評価
 内臓脂肪：無し(-)、有り(+)の2段階評価

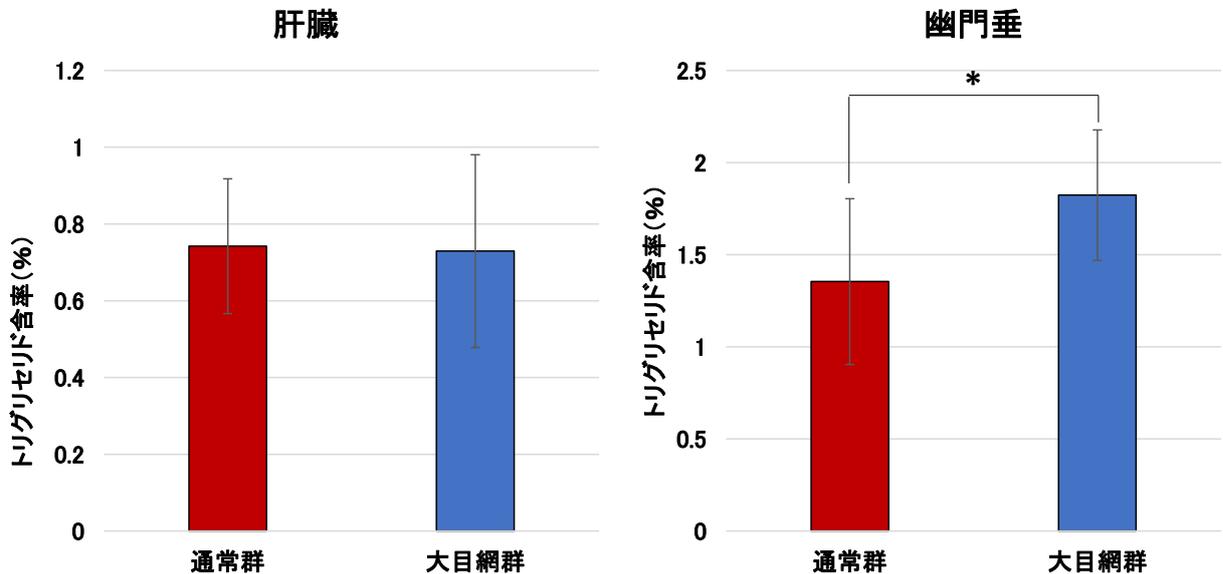


図16 海中飼育47日目における改良大目網海中飼育群及び通常海中飼育群の肝臓・幽門垂のトリグリセリド含有率 (* : P<0.05、t-test)

北上丸による火光利用敷網による追跡調査(4(1))では、山田湾で661尾の稚魚が採捕され、そのうち100尾が耳石温度標識魚であった。海中飼育試験に係る標識種類毎の採捕数は、河川放流群22尾(採捕率0.0035%)、短期海中飼育群26尾(同0.0065%)、通常海中飼育群8尾(同0.0020%)、改良大目網海中飼育群15尾(同0.0038%)であった。

また、山田湾におけるまき網による追跡調査では、令和3年3月18日から5月12日までの期間に376尾の稚魚を採捕し、そのうち152尾が耳石温度標識魚であった。海中飼育試験に係る標識種類毎の採捕数は、河川放流群41尾(採捕率0.0066%)、短期海中飼育群29尾(同0.0073%)、通常海中飼育群13尾(同0.0033%)、改良大目網海中飼育群1尾(同0.0003%)であった。

<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、近年の海況の動向を踏まえた更なる補正を検討する。
- 4 サケ大規模実証試験での種苗生産・放流技術の開発
 - (1) 令和3年級(令和4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。
 - (2) 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、概ね2ヵ月以上の長期飼育において、体重増加や遊泳力の向上に寄与する傾向が見られているが、令和3年級ではフィードオイル単体添加の試験区が設定できなかったことから、アスタキサンチン単体の効果については、慎重に評価を行う必要がある。
 - 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)
令和3年級では、十分な量の試験用種卵を確保できず、対照区を設定できなかったことから、小型ポンプを用いた流速強化について、再度、効果を検証する必要がある。また、これまでの試験において、遊泳力は個体差が大きいことが示唆されていることから、飼育池全体での評価等、より効果的な遊泳力の評価方法を検討する必要がある。
 - ウ 適期適サイズ放流及び大型稚魚放流の検討
遊泳力の高い大型稚魚放流や海洋環境を考慮した適期適サイズ放流の効果を検証する必要がある。
 - エ 高温耐性試験
北上川水系及び安家川早期回帰群について高温耐性を評価し、高水温環境に適応する稚魚生産が可能か検討する必要がある。
- 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する傾向が見られた。また、内臓の観察により、摂食や内臓脂肪の蓄積が促進された可能性が示唆されている。今後は、適性飼育密度の把握や給餌量・給餌方法の検討により、大型で健康な稚魚の放流が可能となる海中飼育手法を開発する必要がある。

<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し、放流後の稚魚の分布動向を把握する。
- 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

回帰時の海況や放流時の沿岸環境を加味し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

(1) 令和4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や放流後の稚魚の分布動向を把握する。

(2) 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

アスタキサンチン及び油脂添加餌料の有効な摂餌方法・条件を検討するほか、成長速度、耐病性、遊泳力、飢餓耐性等を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 適期適サイズ放流及び大型稚魚放流の検討

令和元年級以降に続き大型稚魚放流を行うと同時に、沿岸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

北上川水系及び早期回帰群由来の稚魚について、成長に係る形質比較や高温耐性の有無の確認を行うほか、高温耐性を有する雄親魚を用いた交雑種の作成により、同形質を遺伝させることが可能か検討する。

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について、飼育環境をモニタリングすることにより、適正な飼育密度や給餌量・給餌方法を検討する。

<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3年度いわて水産アカデミー講義）

清水 令和3年度岩手県秋さけ回帰予報（定置大謀研修会）

清水 岩手県のサケ資源変動に関する海流の影響、水産海洋連絡会

清水 岩手県のサケふ化放流事業、第2回海洋環境適応研究会

清水 令和3年度秋サケ回帰予報（ぎょれん情報）

令和3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）

2 研究論文・報告書等

長坂・清水 Effects of the Great East Japan Earthquake and Tsunami on fisheries and salmon in Iwate prefecture（北太平洋遼河性魚類委員会（NPAFC）ワークショップ）

長坂 東日本大震災津波が岩手県のサケ資源に与えた影響について（研究集会「三陸地域における漁村民俗学」）

成島 シロサケ稚魚における温度耐性とヒートショックプロテイン遺伝子の発現量の相関（令和4年度日本水産学会春季大会、静岡大学：共同研究）

飯野 岩手県沿岸域に降海したサケ稚魚の成長と運動のエネルギー配分に関する研究（令和3年度岩手県三陸海域研究論文知事表彰、東京大学大気海洋研究所：共同研究）