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・ます増殖緊急強化対策事業)、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４年度		
担　当	（主）長坂　剛志　　（主）岡部　聖　、(副）清水　勇一		
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、各河川の雌最大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４年度の回帰尾数は、２歳魚の予測には平成23年度から令和元年度までの算術平均、３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。そのうえで、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（令和３年度予測より実施)。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、それらを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て作成した。

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

⑴　令和３年級（令和４年春放流）稚魚の追跡調査

令和３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。また、採捕した稚魚の耳石について、耳石温度標識魚を中心に日周輪紋解析を行い、降海時期や体サイズから稚魚の放流後の成長速度を推定した。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※1	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	北上川水系砂鉄川	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	北上川水系砂鉄川	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	北上川水系砂鉄川	沿岸河川片岸川	
	大型稚魚放流	4g以上放流		
令和3 ※2	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	北上川水系砂鉄川	沿岸河川片岸川	
	大型稚魚放流	4g以上放流	10g以上放流	

※１　年級は生まれ年のこと。令和５年度には４歳魚となる令和元年級主体の回帰見込み。

※２　標識した試験魚は概ね平均４ｇ以上で放流。

⑵　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に試験用種卵を収容した。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、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９～13℃台）を用いた。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。

令和３年級は、例年と同様に沿岸河川片岸川及び北上川水系砂鉄川より発眼卵を移入した。令和３年級の試験区を表２に示した。最適餌料の探索、遊泳力強化手法の検討、他河川からの移入放流及び適期適サイズ放流の検討を行うための試験区を設定し、各試験区について、成長及び遊泳力（後述、ア）により飼育稚魚を評価した。

また、北上川水系砂鉄川及び県北部沿岸河川安家川から1,000～2,000粒の種卵を移入し、高水温耐性を比較した（表３）。高水温耐性試験用の稚魚は、室内のプラスチック小水槽（30cm×50cm×40cm）で飼育した。

なお、沿岸滞泳期における分布と成長を把握するため、高水温耐性試験群及び一部の稚魚を除く試験区において、個別の耳石温度標識を施標し、放流後に沿岸域での追跡調査を行った。

表２　令和３年級の大規模実証試験施設における試験区

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11月14,15,16日	移入試験区(砂鉄川)	令和4年3月28日	81.18	5.16	11,193
令和3年11月13日	移入試験対照区(片岸川)※3	令和4年3月28日	83.12	5.29	10,850
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施標

※3　耳石温度標識なし

表３　令和３年級の高温耐性試験に用いた試験群

採卵月日	移入河川名	移入時の状態	移入卵数(粒)
令和3年9月24日	安家川	発眼卵	1,800
令和3年10月29日	安家川	発眼卵	1,000
令和3年11月29日	安家川	発眼卵	2,000
令和3年11月19日	砂鉄川	受精卵	1,200
令和3年11月20日	片岸川	受精卵	1,000

ア　遊泳力測定試験

池出し直後、魚体重１～２g 台時点及び放流直前の各試験区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（有限会社タカツ産業社製、流速制御型遊泳力測定装置）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。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を持続遊泳力とし、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を瞬間遊泳力とした。持続遊泳力については10 尾、瞬発遊泳力については20 尾を測定した。

イ　最適餌料の探索

総カロテノイドー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、希釈溶液を重量比で５%添加した餌料を与えるアスタキサンチンオイル餌料添加区と標準餌料を与えて飼育する対照区を設定した。

ウ　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のうちさけます不漁対策事業）

令和元年級及び２年級では、飼育池の排水部から循環ポンプにより、注水部へ戻すことで流速を上げて遊泳力強化を試みたが、水質の悪化により放流間際に死亡数の増加と遊泳力の減少がみられたことから、令和３年級の強化行程では排水ポンプにより未使用井戸から飼育池の注水部付近に清浄な水を流し、流速を上げた。日中の８時間（８時～16 時）にポンプを運転して流量600～800L/分の強化行程とし、それ以外（16 時～翌朝８時）はポンプを停止して流量 200L/分の安息行程とした。概ね１週間ごとに、遊泳力を測定（アの手順）した。なお、令和３年級は種卵不足のため、対照区が設定できなかった。

エ　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方法を検討するため、放流適期外の６月まで長期飼育を行い（長期飼育試験区）、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、イと同様の試験区を設定した。

オ　高水温耐性試験

表３に示した各試験群について、概ね１ｇ台時点の各試験群の稚魚を水温 10～11℃台で飼育し、26.5℃の水中に投入して、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（平衡感覚喪失時間）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、転覆後の各試験群 30～40 個体について、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。また、８～10 個体について、2-フェノキシエタノールを用いて麻酔をかけ、コントロールとして同様にサンプリングを行い保管した。同サンプルについては、随時静岡大学へ送り、リアルタイム定量ＰＣＲ法により、当該遺伝子及び関連遺伝子の発現量を解析した。

⑶　耳石温度標識を付した放流魚の回帰率調査

平成30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施標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、当該年級における耳石温度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３年級（令和４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のうちさけます不漁対策事業）

試験は北海道大学、北里大学、水産研究教育機構の水産技術研究所神栖庁舎・宮古庁舎、同水産資源研究所宮古庁舎及び三陸やまだ漁業協同組合と連携して実施した。令和３年級は、県内サケのそ上不振により、試験用種卵を確保するために山形県枡川産の種卵 60 万粒を移入し、群別の耳石温度標識を施標した。試験は、通常海中飼育群（以下、通常群）及び大目網海中飼育群（以下、大目網群）の２試験群を設定し、それぞれ30万尾を飼育試験に用いた。大目網群は、通常の飼育網（26節、目合約12㎜）と大目網（16節、目合約20㎜）を結合し、２段式の海中飼育生簀を用いて飼育した試験群である。海中飼育開始時は通常の目合いで飼育を行い、魚体重が２ｇに到達した時点で大目網部分を海中に落網することで（図１）、潮通しの改善による飼育環境の改善と一部稚魚の逃避により、適正密度での飼育による大型種苗の生産と健苗性向上を目的としている。

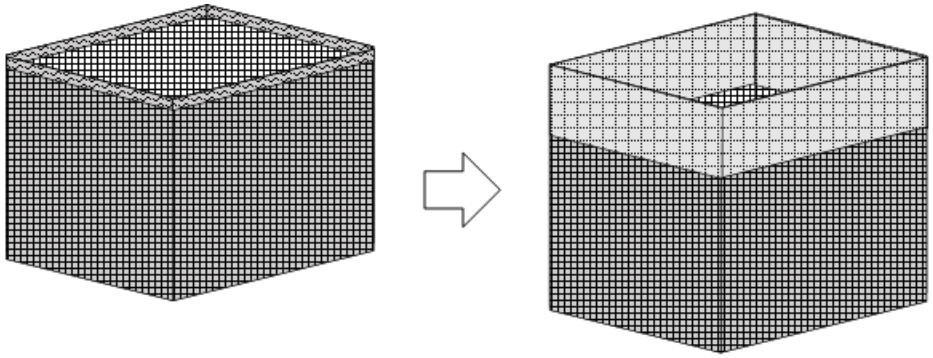

図１　海中飼育開始時と目合い切替え後の大目網群の生簀模式図

各試験群は、令和４年３月 22 日に海中生簀に収容し、海中飼育を開始した。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４年４月 25 日）及び各試験群の放流前において、４（２）アと同様の手順で遊泳力を測定した。

また、生簀移送後の３月 30 日、４月 13 日及び 27 日並びに５月 11 日及び 17 日に、各生簀から稚魚を捕獲して活魚で北里大学三陸キャンパスに移送し、水槽で 24 時間絶食後にドライアイスで凍結保存した。適宜解凍後、消化管、肝臓、頭部及び胴体のトリグリセリド含量を測定し、検体重量に対する割合（以下、トリグリセリド含有率）を算出した。さらに、個体ごとに消化管を撮影し、画像解析ソフト imageJ を用いて消化管全体の面積と脂肪組織面積（脂肪部分は目視判別）を測定し、消化管における脂肪組織面積の割合を算出した。

大目網切替え以降の一部稚魚の逃避による飼育密度の変化を推定するため、大目網生簀に音響プロファイラー（ＡＺＦＰ）を設置した。生簀内は、魚群が濃密なため、送受波器を 45 ° 傾けて設置して探知体積を広げ、音響信号の飽和を防いだ。密度は、水産研究教育機構の水産技術研究所神栖庁舎において、125 kHz のエコーグラムを用い、送受波器から２m から 4.56m までの範囲において、１分毎の体積散乱強度から推定した。さらに、大目網切替え以降において、網目から逃避する稚魚の体サイズを推定するため、光学カメラ（Gopro HERO６）２台を防水ハウジングに封入してステレオカメラとして設置した。令和４年４月 25 日（目合いの切替日）と４月 30 日に撮影した画像を北海道大学にて解析し、網から抜け出る稚魚の尾叉長を推定した。

試験終了後は各試験群を山田湾に放流し、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１艘まき網調査により、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４年春季（令和３年級）の調査では、過去３年の調査と同様に、分布密度は０尾/km^2 であった（図２）。

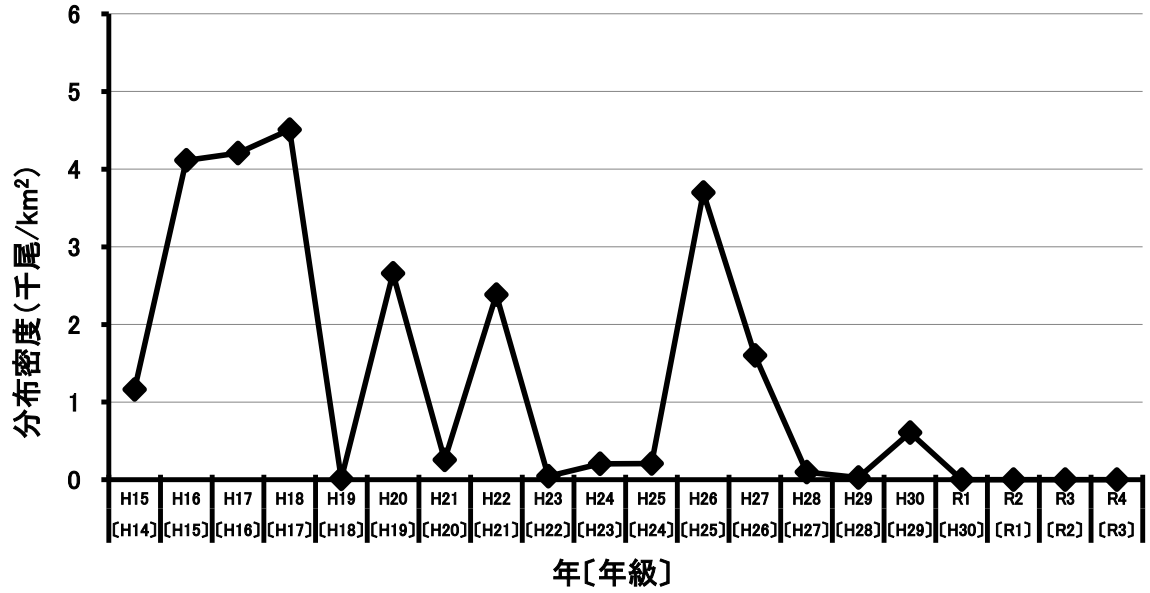

図２　表層トロール調査によるサケ幼稚魚分布密度の経年変化

２　親魚の回帰状況

⑴　令和４年度の回帰状況

令和４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 169 千尾（令和３年度 139 千尾、対前年比 121%）となり、回帰尾数は前年度を上回ったものの、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）は前年度と同様に昭和 45 年以降、最低となった（図３）。

回帰尾数の内訳は、沿岸漁獲 113 千尾（対前年比 124%）、河川捕獲が 49 千尾（対前年比 124%）、海産親魚捕獲が６千尾（対前年比 80%）であり、特に海面での漁獲量の減少傾向が続いている。

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 22%、県南が 10%と平成 29 年以前と比較して極端に低くなった（図４）。

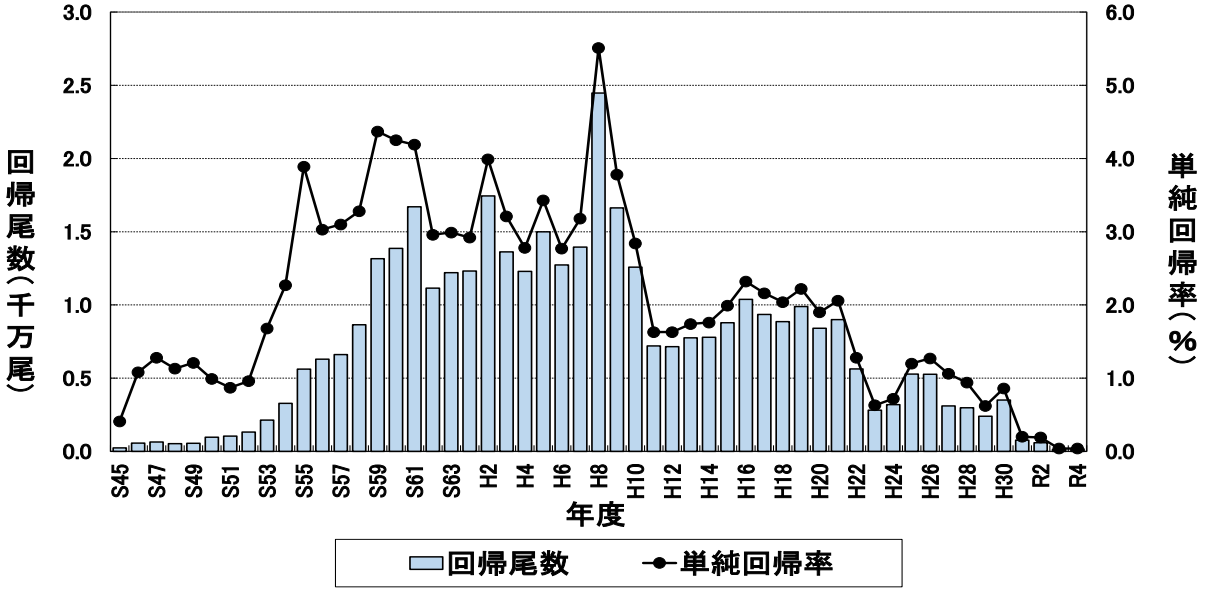

図３　年度別回帰尾数と単純回帰率

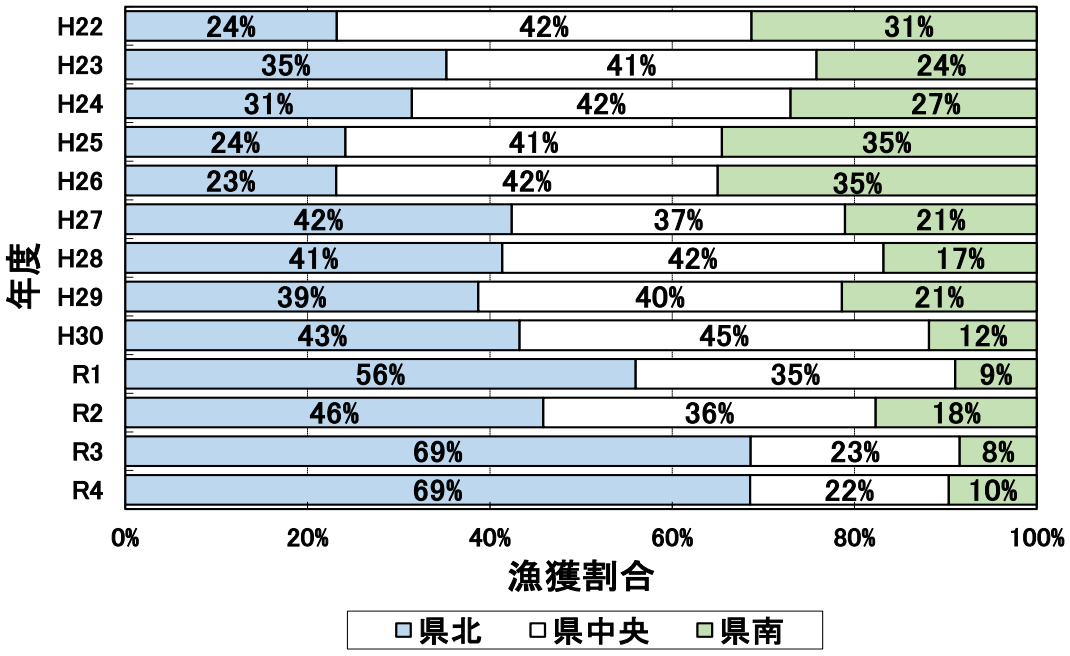

図４　地区別漁獲割合の推移

※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

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、現在解析中である。

主群となる４歳魚において、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、前年を下回り、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５）。また、４歳魚の平均孕卵数は、片岸川では2,614粒（平成８～令和４年の平均値2,841粒）織笠川では2,359粒（同2,722粒）、津軽石川では3,128粒（同3,065粒）であり、織笠川及び津軽石川では前年度と比較して減少した（図６）。なお、片岸川については、令和３年度はそ上親魚不足のため、繁殖形質の調査を実施できなかった。

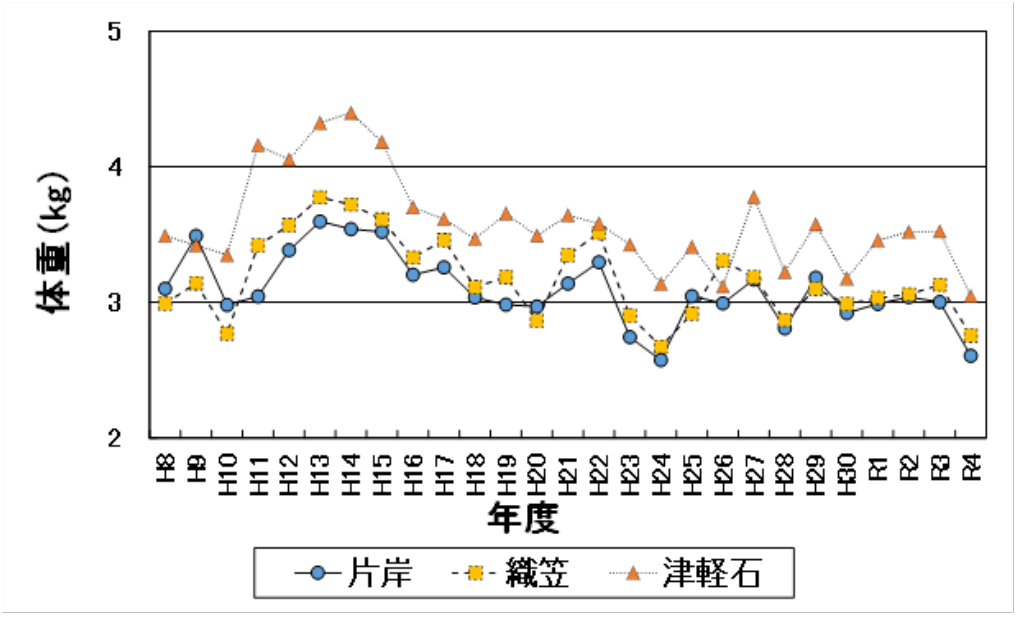

図５　調査３河川における雌４歳魚の体重の経年変化

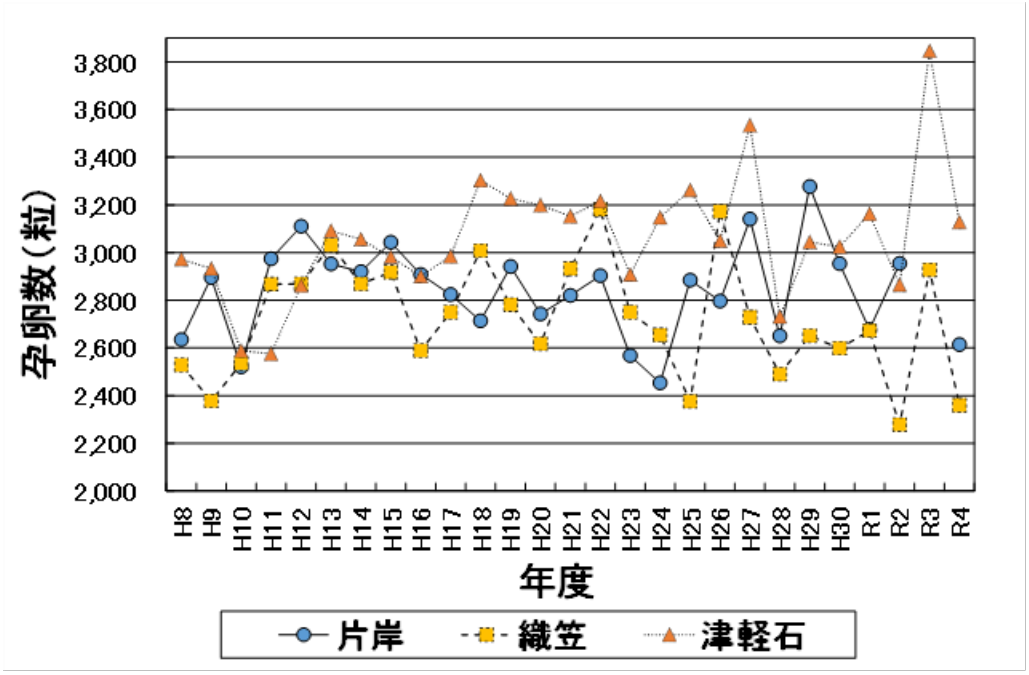

図６　調査３河川における孕卵数の経年変化

３　秋サケ回帰予測

令和４年度の予測尾数は中央値 114 千尾であったが、回帰実績は 169 千尾となり、予測値を上回った（図７）。旬ごとの水揚量実績を見ると、10 月上旬から 11 月下旬にかけて多い傾向であったが、12 月上旬に予測した水揚量のピークは現れず、そのまま減少した。

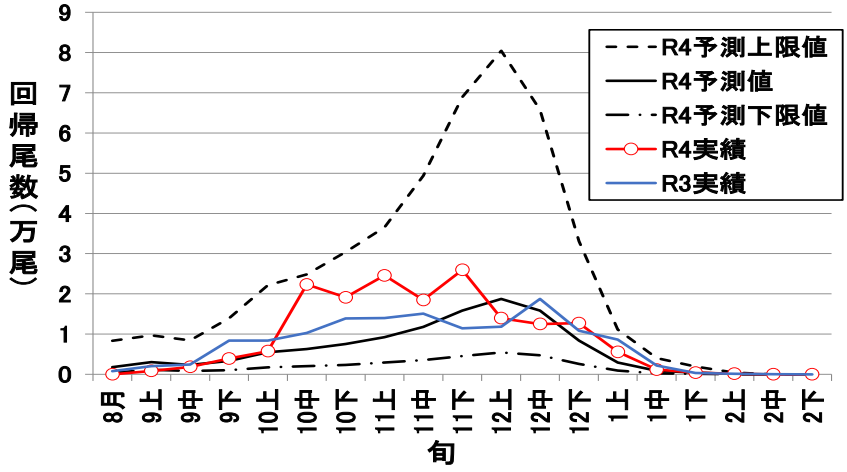

図７　海面及び河川における回帰の予測値と実績値

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３年級（令和４年春放流）稚魚の追跡調査

令和４年３月 24 日から５月 30 日までの期間に、192 尾のサケ幼稚魚を採捕し、そのうち 76 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３年級稚魚はそのうち２尾のみであり、いずれも唐丹湾で採捕されていた。標識種類毎の採捕数は、遊泳力強化区１尾（採捕率 0.0073%）、アスタキサンチン添加区１尾（同 0.0018%）であり、他の試験区は採捕されなかった。また、耳石日周輪紋解析を行ったところ、降海後１週間から２ヶ月の稚魚が採捕されており、降海後のサケ稚魚の日間成長速度は 0.50～1.00㎜ 程度であった（表４）。

表４　令和３年級のサケ稚魚の耳石日周輪紋による成長解析結果

単位：mm、g、mm/日

標識の種類と目的			採捕時			海水移行			測定数
			採捕月日	尾叉長	体重	推定月日	推定尾叉長	日間成長速度	
2,1,3H	県統一（低密度）	平均値	4/13、25	66.55	2.86	3/27	56.02	0.64	27
		標準偏差		5.98	0.73	8	4.84	0.13	
2,1,4H	県統一（通常密度）	平均値	4/13、25	71.23	3.71	3/24	58.76	0.61	24
		標準偏差		8.95	1.96	5	6.22	0.14	
2,5n,2H	津軽石3M放流	平均値	4/13	80.52	4.94	3/20	54.33	1.01	1
		標準偏差		–	–	–	–	–	
2,2nH	4M3g、5M8g放流	平均値	4/13、25	66.80	2.66	4/6	60.11	0.77	4
		標準偏差		7.89	0.86	6	7.51	0.16	
2n,2n,2H	大型放流	平均値	4/12、5/19	74.50	3.57	4/7	56.12	0.74	2
		標準偏差		17.90	2.50	18	4.32	0.32	
2,5H	海中飼育（大目）	平均値	4/25、5/19	81.85	5.02	3/22	46.19	0.62	5
		標準偏差	5/25、5/30	13.97	1.98	0	2.96	0.14	
2-2,2H	海中飼育（通常）	平均値	4/25、5/19	74.58	3.80	3/22	39.85	0.61	10
		標準偏差	5/25、5/30	11.04	1.59	3	4.81	0.12	
2,5H2	遊泳力強化	平均値	5/19	81.70	4.08	5/14	76.55	1.03	1
		標準偏差		–	–	–	–	–	
2,4H	アスタ	平均値	3/24	77.96	4.02	3/14	66.91	1.11	1
		標準偏差		–	–	–	–	–	
無標識	釜石湾で採捕	平均値	4/13、4/25	65.73	2.74	4/4	53.73	0.66	10
		標準偏差		13.14	2.04	18	5.35	0.18	
無標識	唐丹湾で採捕	平均値	5/19	88.63	5.44	4/14	59.75	0.84	6
		標準偏差		5.80	1.03	8	5.62	0.13	
無標識	山田湾で採捕	平均値	4/12、4/25	94.58	7.39	3/30	62.23	0.90	33
		標準偏差	5/19、5/30	17.71	3.68	17	7.52	0.18	

⑵　令和３年級（令和４年春放流）稚魚の飼育試験

ア　最適餌料の探索

アスタキサンチン餌料添加区は１月 30 日、対照区は２月２日から給餌飼育を行い、アスタキサンチン餌料添加区では、給餌後 15 日目から餌料にアスタキサンチンを添加した。いずれも３月 28 日に放流し、概ね 55 日間の給餌飼育を行った。

給餌飼育開始から終了までの尾叉長及び体重は、アスタキサンチン餌料添加区と対照区で、同程度で推移した（図８）。

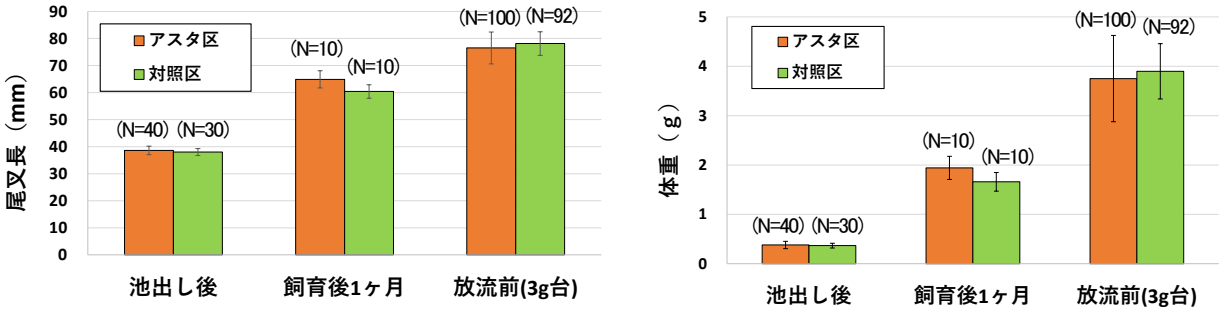

図８　令和３年級アスタキサンチン餌料添加区と対照区の成長比較

各試験区の遊泳力は、過去年度の試験と同様に、飼育日数の経過とともに持続・瞬間遊泳力ともに概ね上昇する傾向が見られた（図９）。また、アスタキサンチン餌料添加区と対照区で遊泳力に明確な差は見られなかった。

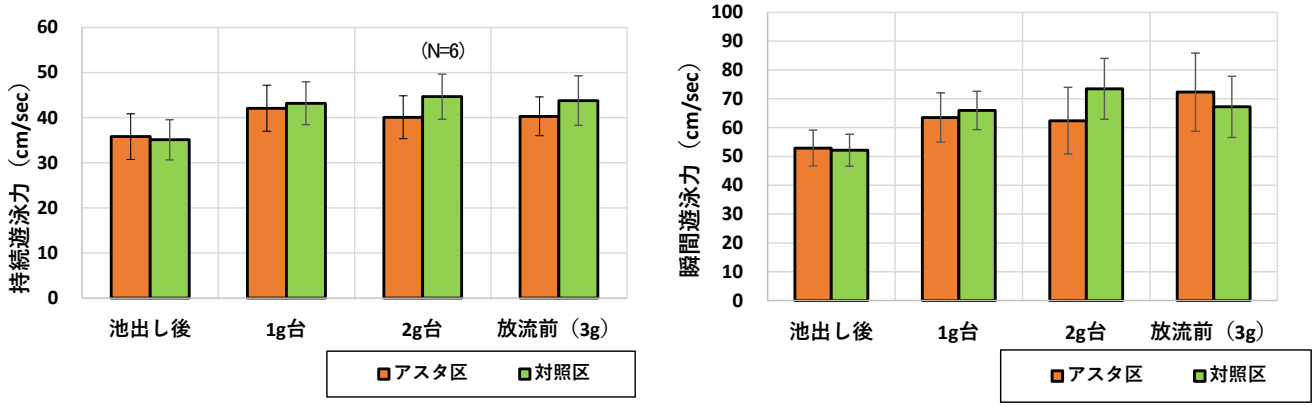

図９　令和３年級アスタキサンチン餌料添加区と対照区の遊泳力比較
（持続遊泳力；N=10、瞬間遊泳力；N=20）

イ　遊泳力強化方法の検討

遊泳力強化工程に供した稚魚は、対照区は１月 27 日から給餌飼育を行い、いずれも３月 28 日に放流し、概ね 60 日間の給餌飼育を行った。

同試験区の成長の推移及び遊泳力の推移を図 10 ア～エに示す。給餌試験中の稚魚では、大量へい死は見られず、尾叉長・体重及び持続・瞬間遊泳力ともに増加傾向にあった。

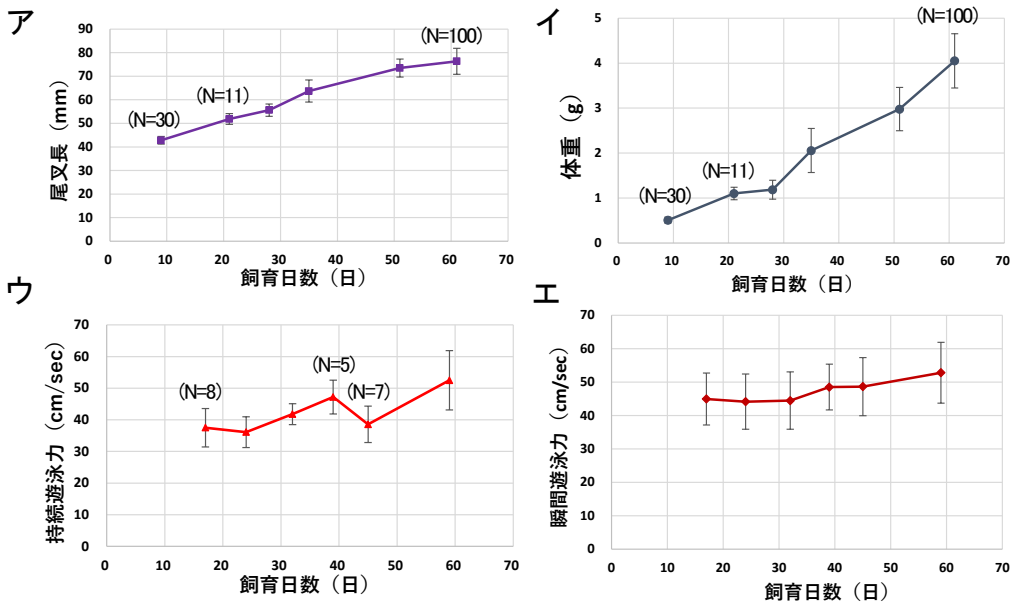

図 10　令和３年級流速強化試験区の成長及び遊泳力の推移
（ア；尾叉長（N=10）イ；体重（N=10）、ウ；持続遊泳力（N=10）、エ；瞬間遊泳力（N=20））

ウ　他河川からの卵移入の検討

砂鉄川から移入した稚魚は１月 26 日、対照区は１月 27 日から給餌飼育を行い、いずれも３月 28 日に放流し、概ね 60 日間の給餌飼育を行った。

給餌飼育開始から終了までの尾叉長及び体重は、砂鉄川と片岸川で、同程度で推移した（図 11）。

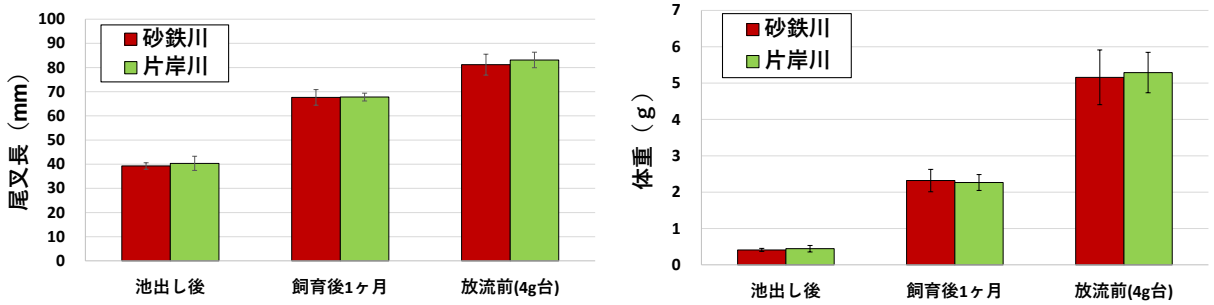

図 11　令和３年級砂鉄川及び片岸川産稚魚の成長比較
（池出し後、飼育後１ヶ月：N=10、放流前（４g 台）：N=100）

各河川区の遊泳力は、過去年度の試験と同様に、飼育日数の経過とともに持続・瞬間遊泳力ともに概ね上昇する傾向が見られた（図 12）。また、遊泳力に明確な差は見られなかった。

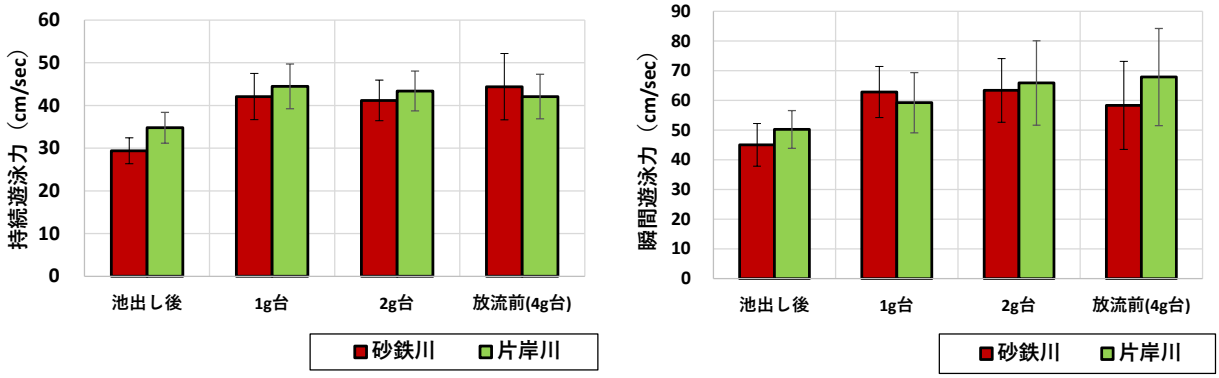

図 12　令和３年級砂鉄川及び片岸川産稚魚の遊泳力比較（持続遊泳力：N=10、瞬間遊泳力：N=20）

エ　適期適サイズ放流（大型稚魚放流）の検討

アスタキサンチン餌料添加区は２月 14 日、対照区は２月 23 日から給餌飼育を行い、給餌後 17 日目から餌料にアスタキサンチンを添加した。いずれも６月１日に放流し、アスタキサンチン添加区では 107 日間、対照区では 100 日間の給餌飼育を行った。

給餌飼育開始から終了までの尾叉長及び体重は、アスタキサンチン餌料添加区と対照区において、同程度で推移した（図 13）。

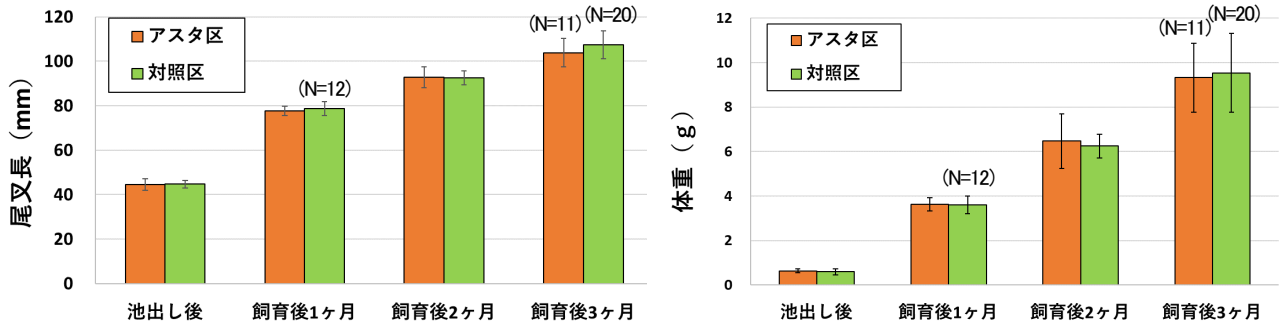

図 13　令和３年級長期飼育試験区におけるアスタキサンチン餌料添加区と対照区の成長比較(N=10)

各試験区の遊泳力は、過去年度の試験と同様に、飼育日数の経過とともに持続・瞬間遊泳力ともに上昇する傾向が見られた（図 14）。また、５g 台以降において、アスタキサンチン餌料添加区の瞬間遊泳力が対照区と比べ有意に上昇した。

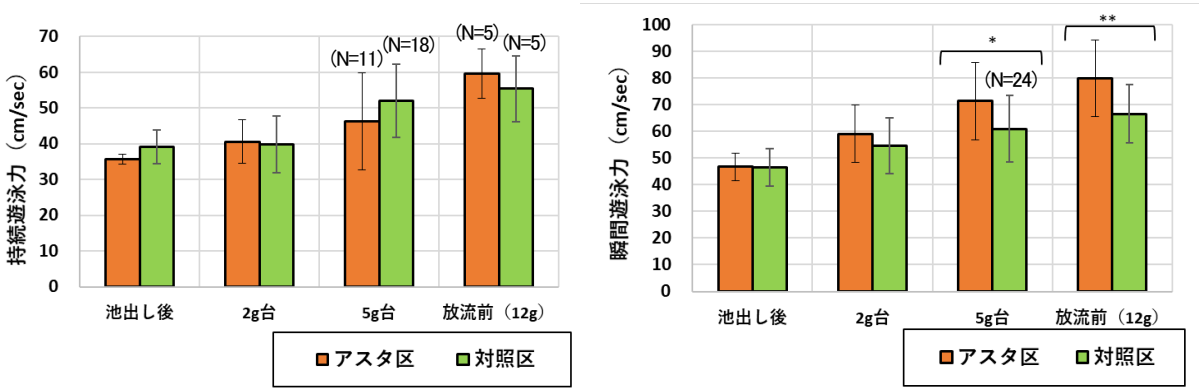

図 14　令和３年級長期飼育試験区におけるアスタキサンチン餌料添加区と対照区の遊泳力比較
（持続遊泳力；N=10、瞬間遊泳力；N=20、＊：p<0.05、＊＊：p<0.01、
Mann-Whitny U test with Bonferroni correction）

オ　高水温耐性試験

令和３年級の片岸川産稚魚及び砂鉄川産稚魚の平衡感覚喪失時間を調べたところ、両河川群間に差は見られなかったが、いずれの河川群においても、平均よりも長い平衡感覚喪失時間を示す個体が見られた（図 15）。

また、HSP 遺伝子の発現量との関係性を調べたところ、*hsp30*、*hsp47* 及び *hsp70* の３種の遺伝子について正の相関が見られた（図 16）ことから、同遺伝子の発現量をサケ稚魚の高水温耐性の指標とできることが確認された。

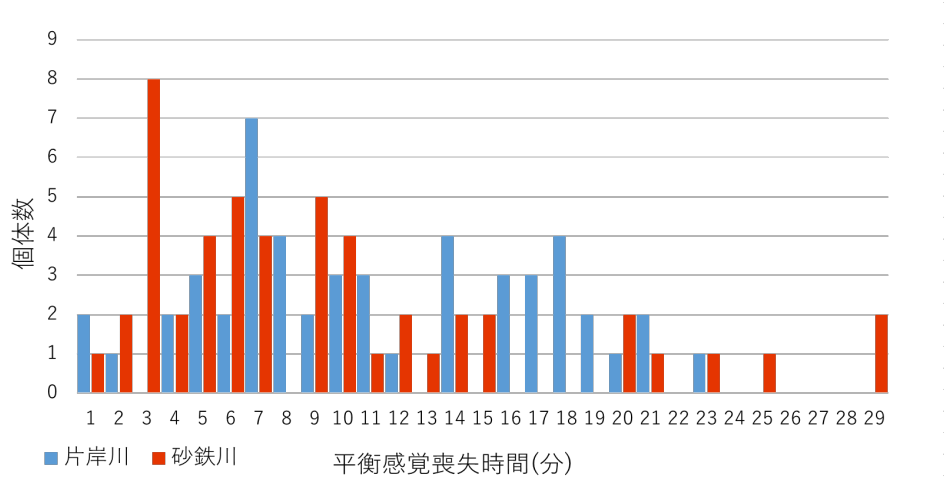

図 15　令和３年級片岸川及び砂鉄川産稚魚における平衡感覚喪失時間の比較
（春季水産学会、成島ら 2023）

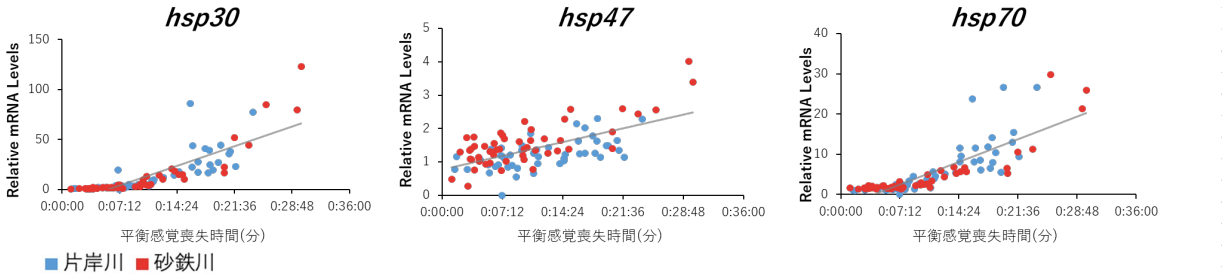

図 16　令和３年級片岸川及び砂鉄川産稚魚における平衡感覚喪失時間とＨＳＰ遺伝子発現量の相関関係
（春季水産学会、成島ら 2023）

また、令和３年級の異なる採卵時期（９月下旬、10 月下旬及び 11 月下旬）の安家川産稚魚の平衡感覚喪失時間を調べたところ、９月採卵群で長い傾向にあった（図 17）。HSP 遺伝子の発現量を調べたところ、*hsp30*、*hsp47* 及び *hsp70* において、安家川９月採卵群で有意な発現量の増加（Tukey 法、P<0.05）が認められた（図 18）。以上のことから、異なる経験水温を持つ親魚由来の稚魚に高水温耐性の相違があることが認められ、回帰時期が影響している可能性が示唆された。

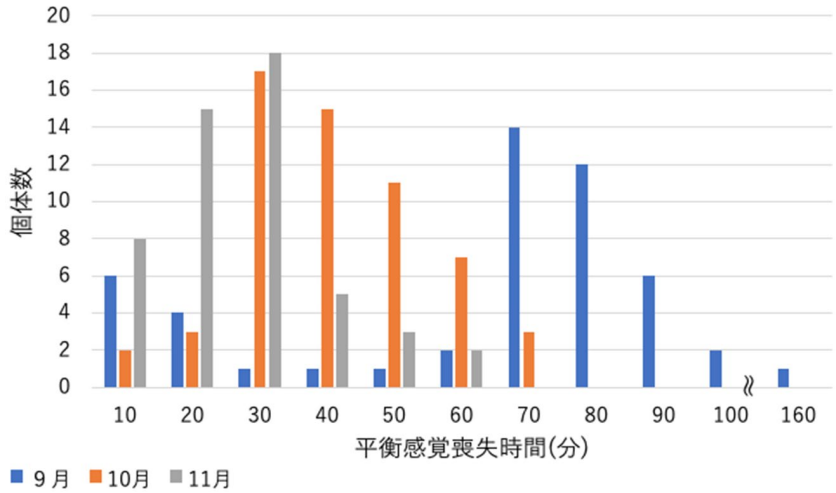

図 17　令和３年級安家川産稚魚における由来親魚のそ上時期による平衡感覚喪失時間の比較
（春季水産学会、成島ら 2023）

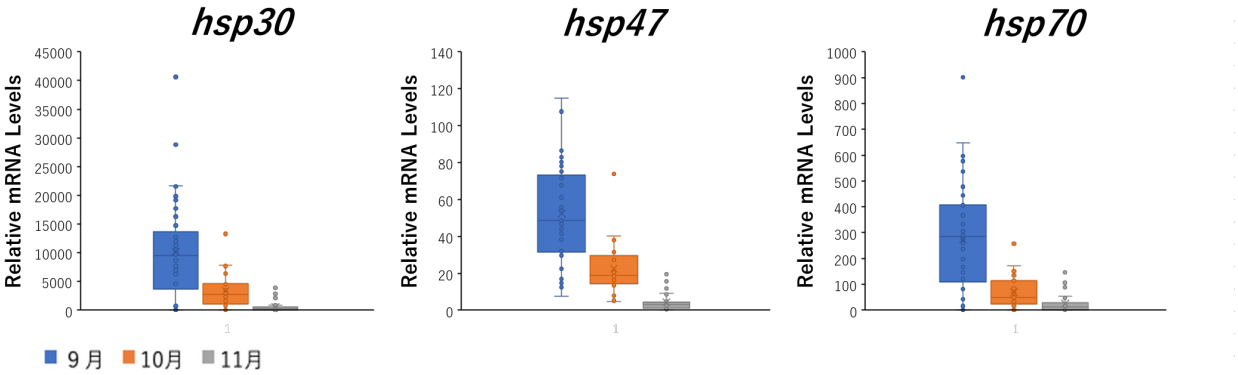

図 18　令和３年級安家川産稚魚における由来親魚のそ上時期によるＨＳＰ遺伝子発現量の比較
（春季水産学会、成島ら 2023）

⑶　耳石温度標識放流魚の回帰率調査

平成 28、29 年級では大規模実証試験施設において、異なる配合飼料による給餌試験を実施した（表５）。平成 28 年級では、サケ DPC（ドライペレット）、サケ EPC（エクストルーダーペレット）及びマス用飼料であるマス EPC を給餌した試験区を設定し、平成 29 年２月下旬と３月下旬の２回放流した。平成 29 年級では、サケ EPC、マス EPC 及び海産魚用飼料を給餌した試験区を設定し、平成 30 年２月下旬と４月中旬の２回放流した。なお、マス用飼料はサケ用飼料よりも粗脂肪や脂肪酸の含量が、海産魚用飼料は粗タンパク質や粗脂肪の含量が高く、いずれもサケ用飼料と比較して成長や遊泳力が強化される傾向が認められた（平成 28、29 年年報）。

表５　大規模実証試験施設における平成 28、29 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28年	平成28年 11月14日	平成29年 ２月21日	サケDPC区	55.77	1.22	199,615
			サケEPC区	51.94	1.20	206,049
			マスEPC区	54.30	1.30	199,636
	平成28年 12月２日	平成29年 ３月27日	サケDPC区	57.14	1.35	201,871
			サケEPC区	58.87	1.56	199,514
			マスEPC区	57.71	1.56	204,308
平成29年	平成29年 11月10日	平成30年 ２月26日	サケEPC区	57.64	1.44	170,785
			海産魚用EPC区	59.06	1.59	171,347
			マスEPC区	57.44	1.52	170,415
	平成29年 12月２日	平成30年 ４月18日	サケEPC区	55.57	1.24	200,908
			海産魚用EPC区	52.79	1.11	202,068
			マスEPC区	52.78	1.13	202,269

平成 30～令和４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求めた（表６）。

平成 28 年級の回帰率は平成 26 年級（0.0529%）と比較して大きく低下していた。また、２月下旬放流の稚魚（0.0005%）では３月下旬放流の稚魚（0.0144%）と比較して回帰率が低かった。同年級では、マス EPC

区、サケEPC区、サケDPC区の順で回帰率が高くなった。

また、平成29年級では回帰率がさらに低下し、令和４年度では５歳魚の回帰がほとんど見られなかった。同年級では試験区による回帰率の違いは認められなかった。

表６　大規模実証試験施設からの平成28、29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（%）
	令和元年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度			
平成28年	39/79 (509)	49/164 (643)	2/23 (35)	－	0.0075	サケDPC区	0.0065
						サケEPC区	0.0072
						マスEPC区	0.0089
平成29年	－	4/16 (74)	4/23 (69)	0/3 (※)	0.0007	サケEPC区	0.0009
						海産魚用EPC区	0.0007
						マスEPC区	0.0005

※令和４年度は熊野川への５歳魚のそ上が非常に少なく、推定することができなかった

５　海中飼育試験（さけます等栽培対象資源対策事業のうちさけます不漁対策事業）

令和３年級の試験では、令和４年３月22日に海中飼育生簀に稚魚を収容し、４月25日に目合いの切替え、５月18日に放流を行った。成長は、大目網群が目合いの切替え後から通常群を徐々に上回った（図19）。また、瞬間及び持続遊泳力は、陸上飼育池での飼育開始から令和４年４月14日の測定までは概ね同程度で推移したが、放流直前は大目網群が通常群を上回った（図20）。

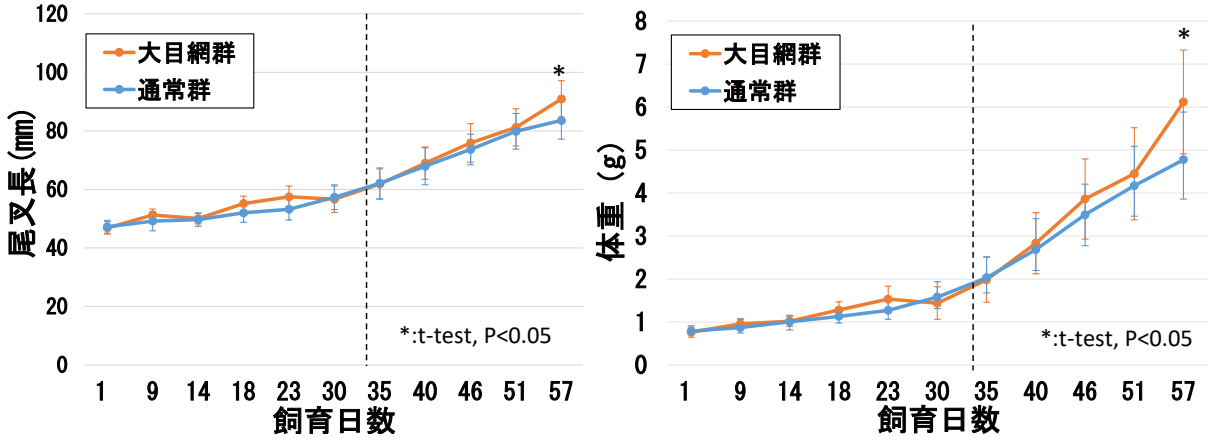

図19　大目網群及び通常群における尾叉長及び体重の推移（点線は目合いの切替日）

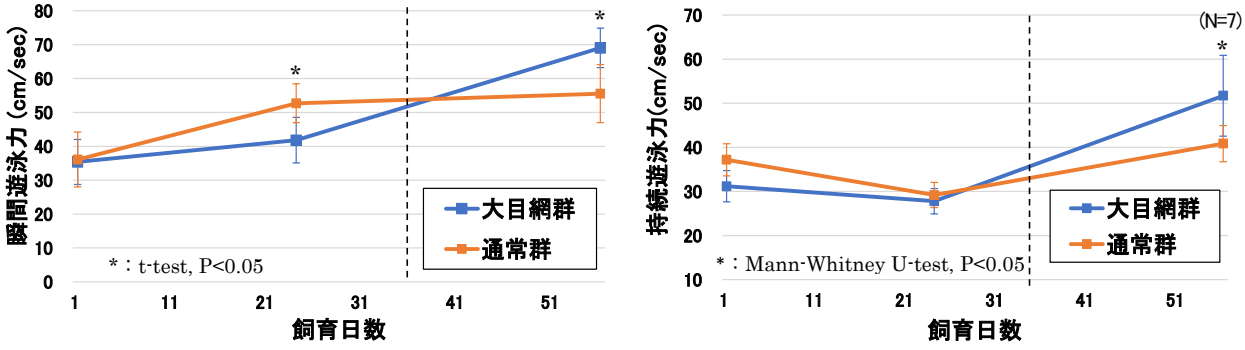

図20　大目網群及び通常群における遊泳力の推移

（点線は目合いの切替日、瞬間遊泳力：N=20、持続遊泳力：N=5）

各部位におけるトリグリセリド含有率は、肝臓と他の部位では異なる変動を示した（図21）。肝臓のトリグリセリド含有率は海面移行直前に１%程度を示し、その後低下して放流直前の５月17日には0.5%まで低下した。消化管のトリグリセリド含有率は海面移行直前に約３%を示し、４月13日に両群ともに1.7%程度まで大きく低下した。その後、徐々に回復していき、目合を切替えた４月25日以降は大目網群の回復が早く、放流直前には大目網群は3.2%、通常群は2.7%を示した。胴体、頭部のトリグリセリド含有率は、生簀移行後には大目網群と通常群に大きな差は見られなかったが、大目網切替え後には消化管の変動と同調し、放流直前には通常群より大目網群のほうが高い値を示した。また、消化管のトリグリセリド含有率と画像解析により算出した脂肪組織面積の割合については正の相関がみられた（図22）。

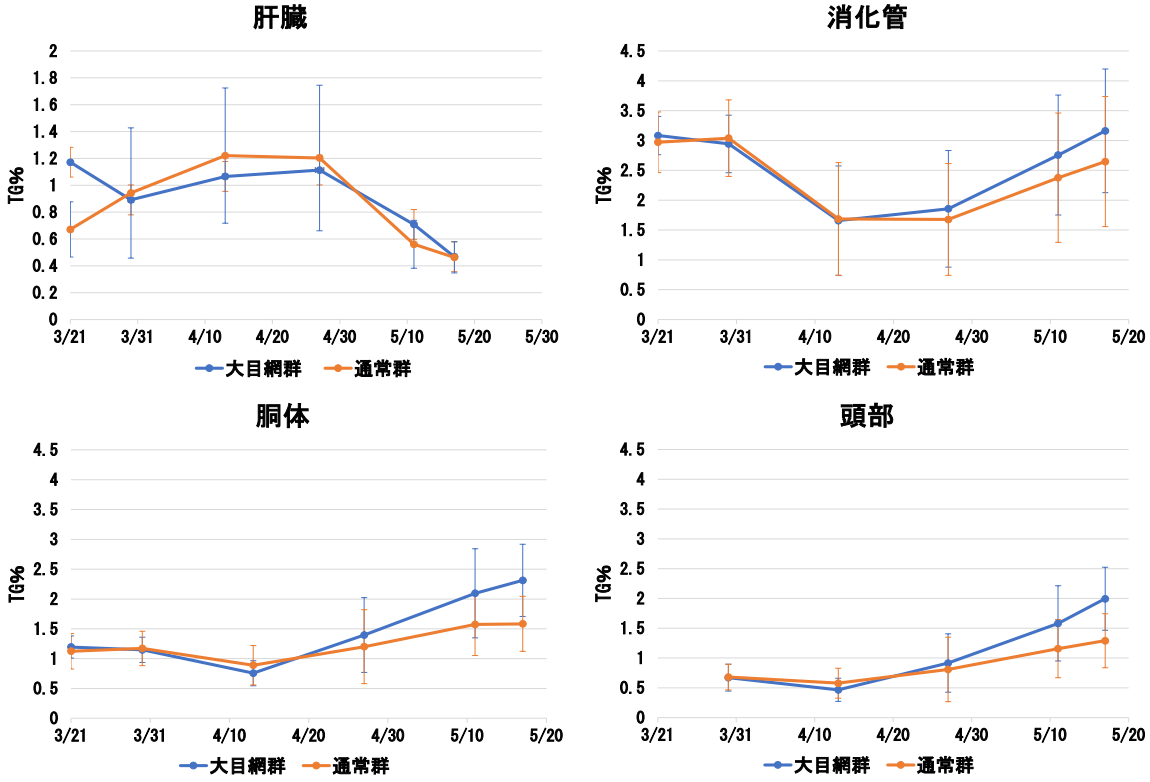

図21　各部位におけるトリグリセリド含有率の推移

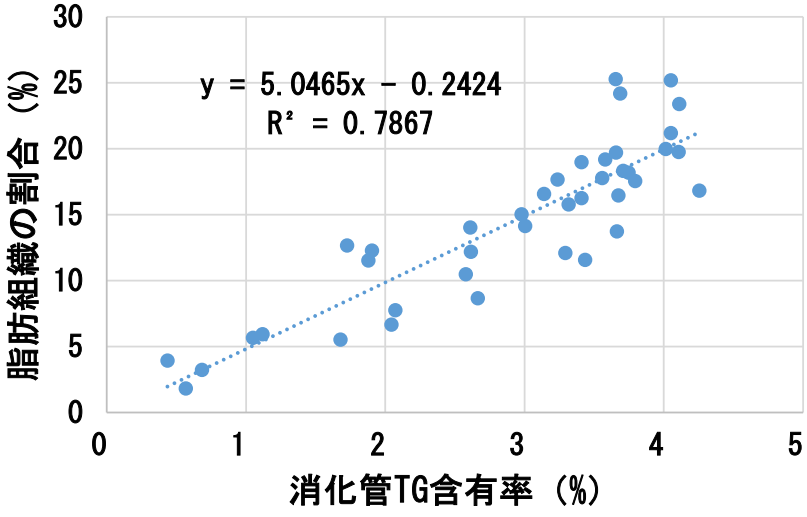

図22　消化管のトリグリセリド含有率と脂肪組織の割合との関係

音響プロファイラーにより推定した飼育密度は、目合いの切替えから９日間は徐々に低下し、その後一定になったが、15 日目以降に大きく低下し、20 日目にかけて上昇した（図 23）。目合いの切替え以降は、１日の密度変化が規則的になり、昼間に低下、夜間に上昇した（図 24）。また、夜間に浮上した個体が一定数抜け出ていくと仮定した場合、放流時には４割程度まで密度は低下したと推定された（表７）。

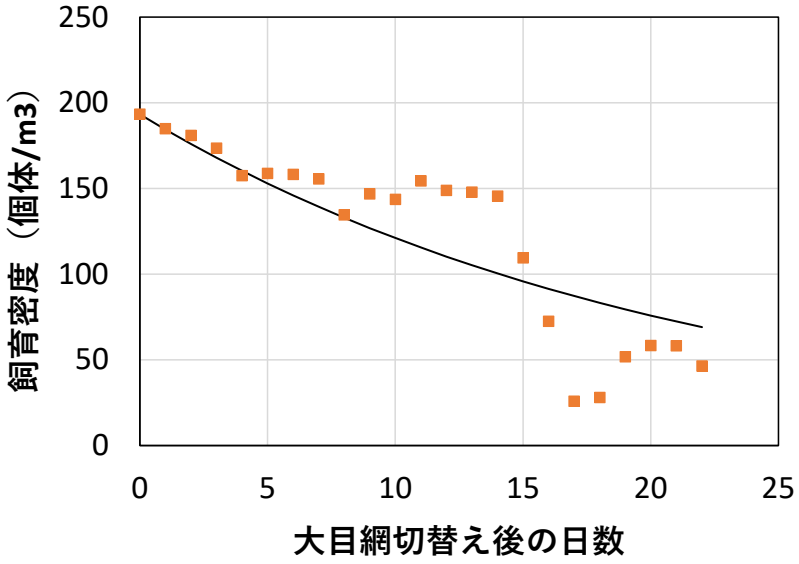

図 23　音響プロファイラーによる大目網切替え後の飼育密度変化の推定

表７　音響データから推定した海中生簀内の稚魚の密度及び残り尾数

日数	密度(尾/m^3)	尾数※	平均魚体重(g)	魚体測定日
0	193.2	300,000	1.98	4月25日
5	152.7	237,063	2.83	4月30日
10	120.6	187,329	3.86	5月6日
15	95.3	148,029	4.45	5月11日
20	75.3	116,974	－	－
22	68.6	106,460	6.12	5月17日

※尾数は密度に比例すると仮定

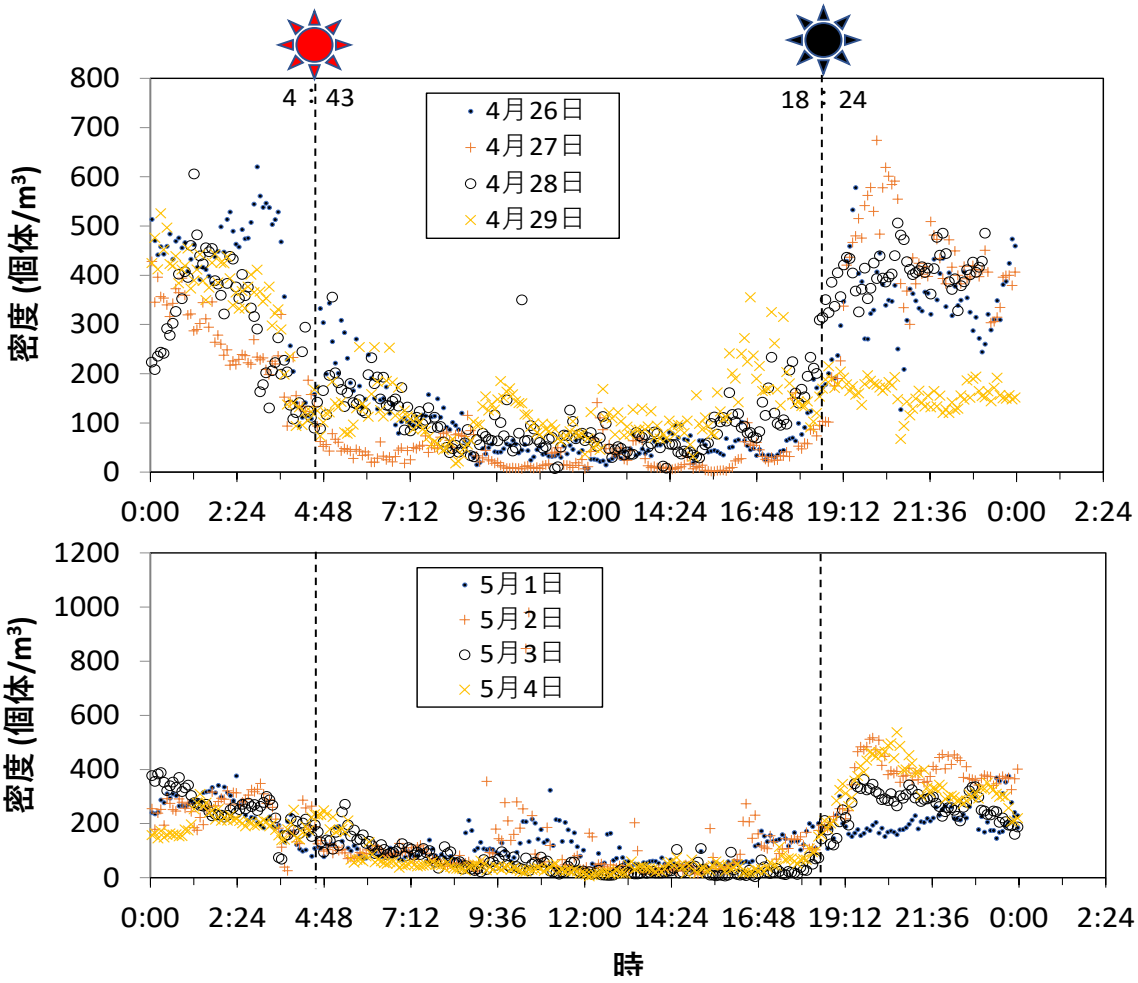

図 24　目合い切替え前後における１日間の飼育密度変化

光学カメラによる観察では、網目から抜け出ていく稚魚の様子が観察された（図 25）。抜け出た稚魚の推定尾叉長は実測データとほぼ一致し、撮影した２日間で平均尾叉長に大きな差はなく、40～80㎜台で 60 ㎜台が多かった（表８、図 26）。成長とともに稚魚が大型化する中、急激に密度が低下する原因は不明であり、今後、光学カメラによる撮影頻度を増加させ、加えて、飼育実験等で網目から抜け出せる稚魚サイズについて調べていくことが必要である。

図 25　網目から生簀外に逃避する稚魚

表８　光学カメラにより推定した平均尾叉長と実測値

	カメラ推定値		実測値	
	平均尾叉長(mm)	標準偏差	平均尾叉長(mm)	標準偏差
4月25日	64.3	9.8	61.9	5.2
4月30日	60.6	9.8	69.0	5.5

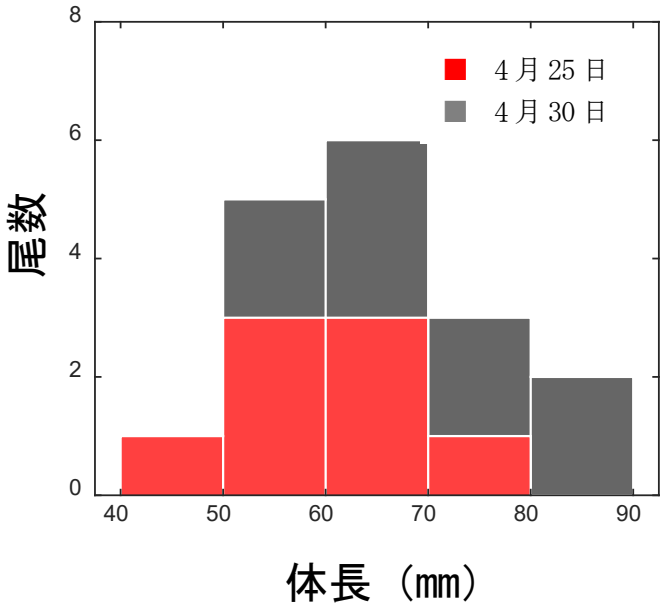

図 26　生簀外に逃避した稚魚の体長の推定値

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 67 尾の稚魚が採捕され、そのうち 15 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通常海中飼育群６尾（採捕率 0.0019%）、改良大目網海中飼育群３尾（同 0.0010%）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４年５月 19 日及び５月 25 日に 20 尾の稚魚を採捕し、そのうち９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、通常海中飼育群７尾（採捕率 0.0022%）、改良大目網海中飼育群２尾（同 0.0006%）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

水温や海流、餌料環境など近年の海況の動向を反映した予測手法を引き続き検討する。

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４年級（令和５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、稚魚放流時の餌料環境・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。

⑵　飼育試験（令和４年級）

遊泳力、血糖値及び飢餓耐性は健苗性や降海後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測定試験を実施するほか、サケ親魚の回帰状況の調査結果と合わせ、回帰率との関連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、再度検討する必要がある。

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のうちさけます不漁対策事業）

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。今後、令和４年級の遊泳力、体成分、遺伝子発現、血糖値、乳酸値及び体成分の変化について調べ、民間ふ化場規模でも効率的に成長促進と遊泳力を強化する飼育条件を検討する。

ウ　河川間の卵・稚魚移入・移出試験の検討

令和４年度から県内ふ化場が拠点・サブふ化場体制に移行し、受精卵、発眼卵及び稚魚のふ化場間移送が増加しているため、卵移送・稚魚移送に係る知見のニーズが高まっている。特に、親魚が卵・稚魚期のどの段階を記憶して母川回帰に至るかは判明しておらず、早急に調べる必要がある。

エ　適期適サイズ放流（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。令和４年級では従来サイズ放流区（1.0～1.5g で放流）と大型サイズ放流区（８g 以上で放流）を設定し、それぞれに耳石温度標識を施標することにより、親魚回帰率等を確認する。

オ　高水温耐性試験

安家川早期回帰群由来の稚魚は高い高水温耐性を有する可能性があることが示された。今後、同系群由来の卵及び精子を用いて、高い高水温耐性を持つ種苗生産が可能か、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のうちさけます不漁対策事業）

生簀から逃避した稚魚の体サイズの推定と音響による密度の変化要因の探索と適性飼育密度の把握が必要である。また、内臓の観察により、大目網化によって摂食や内臓脂肪の蓄積が促進された可能性が示唆された。今後は、給餌量・給餌方法と体成分との関係を調査し、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調査

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引き続き実施し、放流後の稚魚の分布動向の把握や回帰率との関連性を調べる。

２　親魚の回帰状況調査

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

⑴　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、稚魚放流時の餌料環境・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。

⑵　飼育試験

遊泳力、飢餓耐性、血糖値の測定等により、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油脂系餌料の探索を行う。

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のうちさけます不漁対策事業）

流速の強さや強化時間を再検討するほか、給餌量や給餌方法等、遊泳力向上のための飼育条件の設定を併せて検討する。

ウ　河川間の卵・稚魚移入・移出試験の検討

北上川水系をはじめ、他河川からの卵を移入し、成長、遊泳力などの形質を調べるほか、耳石温度標識を施標した卵・稚魚を各成長段階で他河川へと移出し、親魚の回帰率を調べることで、母川回帰における記憶のメカニズムの一端の解明を目指す。

エ　適期適サイズ放流（大型稚魚放流）の検討

令和元年級以降に続き放流適期外における大型稚魚放流の効果を検証すると同時に、沿岸の海況を考慮した適期・適サイズ放流手法を検討する。

オ　高水温耐性試験

高水温耐性を有すると見られる早期回帰群由来の卵を確保し、成長に係る形質比較や高水温耐性の有無の確認を行うほか、早期回帰群由来の精子の凍結保存を試み、交雑種の作成により雄親魚由来の高水温耐性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のうちさけます不漁対策事業）

光学カメラによる観察頻度を増やし、網目から逃避した稚魚の体サイズを推定する。また、AI 自動給餌機の導入などにより、海中生簀内の飼育環境をより詳細に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４年度いわて水産アカデミー講義）

清水　令和４年度岩手県秋さけ回帰予報（定置大謀研修会）

岡部　サケ稚魚へのアスタキサンチンオイルの餌料添加による効果の検証（令和４年度成果報告会）

令和４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４回）

サケ稚魚放流情報（水技ＨＰ、年５回）

２　研究論文・報告書等

飯野、北川、阿部、長坂、清水、太田、川島、川村　Effect of food amount and temperature on growth rate and aerobic scope of juvenile chum salmon　（Fisheries Science）

勾、樋口、飯野、長坂、清水、白井、北川　Determination of temperature-dependent otolith oxygen stable isotope fractionation on chum salmon *Oncorhynchus keta* based on rearing experiment （Frontiers in Marine Science）

長坂、岡部、清水　岩手県山田湾におけるサケ稚魚の海中飼育方法の改良（岩手県水産技術センター研究報告）

成島、長坂、岡部、清水、兵藤、日下部　シロサケ稚魚における高水温暴露に対する影響の評価（令和４年日本動物学会中部支部大会、口頭発表）

成島、長坂、岡部、清水、日下部　岩手県河川における高水温耐性を保持するサケ系群の探索（令和５年日本水産学会春季大会、口頭発表）