

大は 46.4 mm であった。一歳魚以上の全長の最小は 67.8 mm、最大は 215.0 mm であった。河川流量と推定降下尾数の間には、有意な相関はみられなかった（図 7、当歳魚 $r=0.42$ 、一歳魚以上 $r=-0.21$ それぞれ n. s.）。日平均水温と推定降下尾数の間には有意な相関はみられなかった（図 8、当歳魚 $r=0.44$ 、一歳魚以上 $r=0.23$ それぞれ n. s.）。平成 31 年度（令和元年度）や令和 2 年度調査で確認された 4 月下旬から 5 月上旬の降下ピークは、ガキ沢では確認されなかった。一歳魚以上については、今までの調査の中で最も多く採捕された（表）。このことから、一歳魚以上についても河川によっては移動する可能性が示唆された。

平成 31 年度（令和元年度）や令和 2 年度調査の降下開始時の日平均水温は 5.5～7.5℃であり、本調査開始時の大倉沢とガキ沢の日平均水温（4.7℃、4.5℃）よりも高かった。過去の調査と同様の傾向があるならば調査期間以前には降下は起きていないと考えられるが、卵の発生に係る冬期間の水温の違いについて調査できていないため実態は明らかでない。

○しみ出し調査河川の選定

次年度にイワナ稚魚の降下調査を実施する河川を選定するために、信濃川水系奈良井川と信濃川水系土尻川のイワナ生息状況を調査した。奈良井川の 6 支流で、目視によるイワナ稚魚の出現状況を調査し、土尻川の 4 支流で、電気ショッカーによる採捕により、イワナ稚魚の出現状況を調査した。そのうち、奈良井川では 4 支流、土尻川では 3 支流でイワナ稚魚が確認された。

稚魚出現河川のうち土尻川の 2 支流（藤沢、裏の沢）を選定し、10 月 19 日から 20 日の 2 日間に電気ショッカーによる採捕を行い、ピーターセン法により全個体の生息密度を推定した。生息密度 $\pm 95\%$ 信頼区間はそれぞれ、藤沢 0.35 ± 0.13 尾/ m^2 、裏の沢 0.37 ± 0.17 尾/ m^2 と推定された。

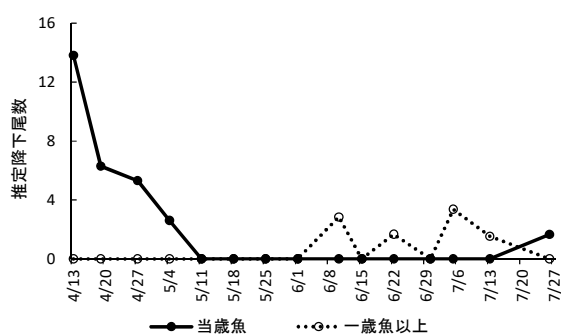


図 1. 推定降下尾数の推移（大倉沢）

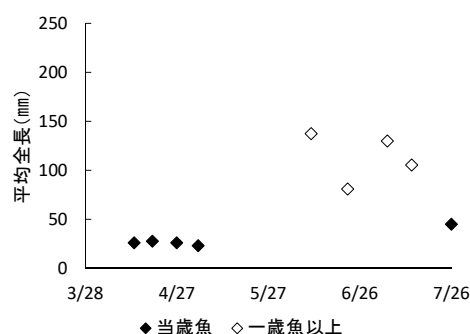


図 2. 採捕されたイワナの平均全長（大倉沢）

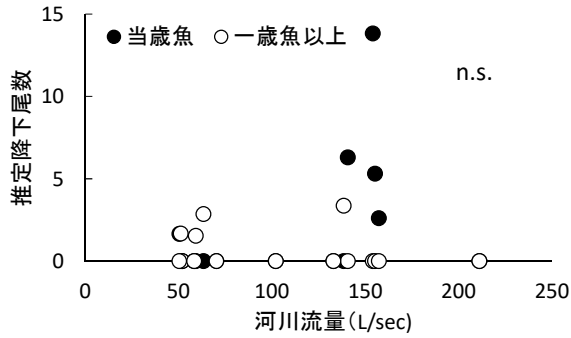


図3. 河川流量と推定降下尾数の関係（大倉沢）

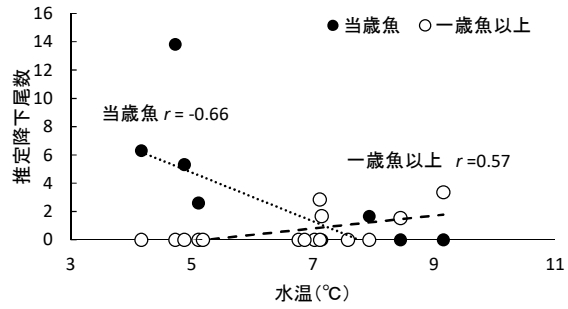


図4. 河川水温と推定降下尾数の関係（大倉沢）

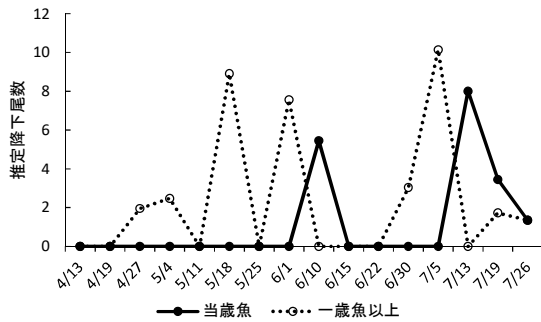


図5. 推定降下尾数の推移（ガキ沢）

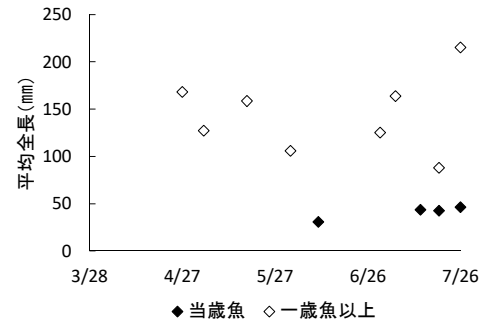


図6. 採捕されたイワナの平均全長（ガキ沢）

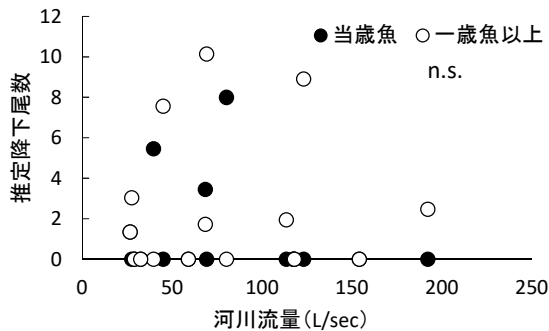


図7. 河川流量と推定降下尾数の関係（ガキ沢）

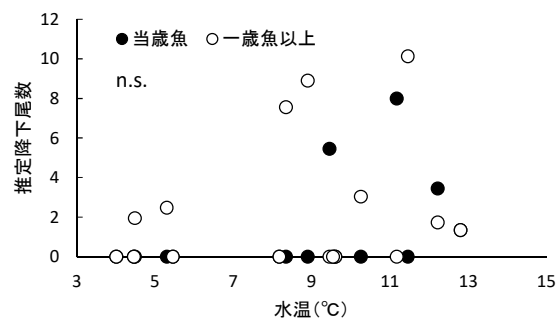


図8. 河川水温と推定降下尾数の関係（ガキ沢）

表 一歳魚以上の採捕数

調査年	調査河川	採捕数
R1	小西沢	1
R2	小西沢	0
R2	本沢	1
R3	大倉沢	5
R3	ガキ沢	17

課題と対応策：

今回、雑魚川においてイワナの降下特性についての知見が得られた。来年度以降、他の河川においても調査を実施し、稚魚の降下についてのデータを蓄積していくことが必要である。

令和4年1月25日

令和3年度 環境収容力推定手法開発事業 報告

課題番号	3. (3)	事業実施期間	令和3年度
課題名	漁場環境に応じた資源増殖等の手法開発 溪流魚課題		
主担当者	岐阜県水産研究所 岸 大弼		
分担者	なし		

令和3年度の成果の要約：「禁漁区における生息状況」では、看板がないと禁漁の効果が小さいことが示唆された。「産卵場所の立地条件」では、ヤマメ・アマゴおよびイワナが選好する2条件の範囲が概ね特定された。「支流から本流への資源供給機能（しみ出し効果）」では、2つの支流で稚魚の標識作業を行った。

全期間を通じた課題目標及び計画：アマゴ等溪流魚は、その由来によって自然繁殖魚と放流魚に大別される。自然繁殖魚は、放流魚よりも生残率が高いという長所があるが、資源量は限定的である。ただし、換言すれば、自然繁殖魚の希少価値が高く、遊漁者に重視される資源であることから、その資源量は漁協の集客力や収益に影響しうると存在といえる。近年、自然繁殖魚の持続的利用への関心が高まっている。そこで本課題では、環境収容力の高い支流を禁漁区として役立てることを目標とし、「禁漁区における生息状況」、「産卵場所の立地条件」、「支流から本流への資源供給機能（しみ出し効果）」の調査を行う。

当該年度計画：「禁漁区における生息状況」については、前年度に引き続き、溪流魚の生息密度の調査を行う。また、対照として入漁区でも調査を行うほか、過去の関連データ（県単事業）も収集し、本事業のデータと合わせて、入漁区／禁漁区 看板なし／禁漁区 看板ありの3つの区の間で生息密度を比較する。「産卵場所の立地条件」については、過去の関連データ（県単事業）も収集し、本事業のデータと合わせて集計を行う。「支流から本流への資源供給機能（しみ出し効果）」については、木曽川水系に調査地を新設し、支流で稚魚の標識作業を行う。

結果：

(1) 「禁漁区における生息状況」については、木曽川、長良川、神通川、庄川、九頭竜川水系において生息密度を調査し、計51地点のデータを追加した。これまでは飛騨地方の河川で調査を

行ってきたが、今年度は美濃地方の河川でも調査を行った。これにより現時点で計 198 地点（入漁区 120 地点／禁漁区 看板なし 18 地点／禁漁区 看板あり 60 地点）のデータが得られた。これら 3 つの区の生息密度の差異を検討するため、一般化線形モデルを作成した。応答変数は個体数推定値、説明変数は区（入漁区／禁漁区 看板なし／禁漁区 看板あり）、オフセット項は調査区間の面積、誤差構造は Poisson 分布、リンク関数は log を指定した。モデルの作成は、稚魚（全長 15cm 未満）、成魚（全長 15cm 以上）、全個体でそれぞれ行った。なお、個体数推定値は、ヤマメ・アマゴおよびイワナを合算して「溪流魚」として扱った。その結果、稚魚は「入漁区 ≒ 禁漁区 看板なし ≒ 禁漁区 看板あり」、成魚は「入漁区 ≒ 禁漁区 看板なし < 禁漁区 看板あり」、全個体は「入漁区 ≒ 禁漁区 看板なし ≒ 禁漁区 看板あり」という傾向であった（図 1）。現時点の暫定結果では、禁漁区の看板の効果は成魚で明瞭に現れることが示された。

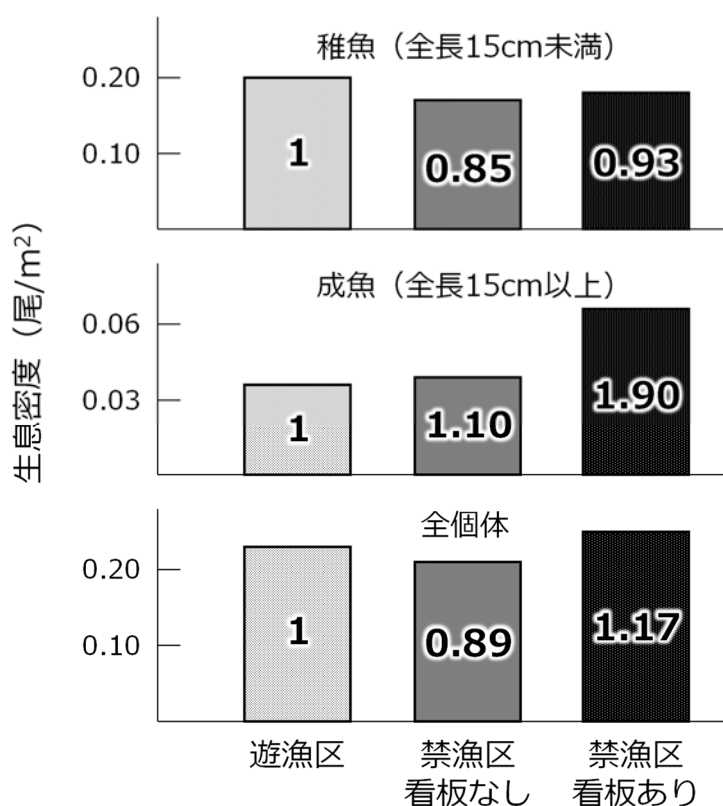


図 1. 「入漁区／禁漁区 看板なし／禁漁区 看板あり」における溪流魚の生息密度
(棒グラフの中の数字は入漁区を 1 とした場合の生息密度の相対値)

(2) 「産卵場所の立地条件」については、主に木曽川水系において産卵場所を探索し、ヤマメ・アマゴ 6 地点およびイワナ 5 地点のデータを追加した。これにより現時点で、ヤマメ・アマゴ 129 地点およびイワナ 137 地点のデータが得られた。産卵場所の立地条件（川幅および勾配）は、表 1 の通りだった。前年度までの結果と同様、ヤマメ・アマゴは、イワナより河川規模の大きい地点でも産卵することが示唆された。また、イワナは、ヤマメ・アマゴより勾配の急な地点でも産卵することが示唆された。

表 1. ヤマメ・アマゴおよびイワナの産卵場所の川幅および勾配（括弧内は 10～90%タイル）

魚種	川幅	勾配
ヤマメ・アマゴ	1.4～15.9 m (2.3～9.1 m)	1.6～23.5% (2.0～12.3%)
イワナ	0.8～9.7 m (1.2～4.7 m)	1.1～27.7% (2.2～18.7%)

（3）「支流から本流への資源供給機能（しみ出し効果）」については、6月に木曽川水系の一ツ梨谷支流で稚魚（0歳）の採捕および標識作業を行った。採捕・標識した稚魚はアマゴ 58 尾およびイワナ 732 尾であった（表 2）。標識率は 76.7%および 74.9%だった。一ツ梨谷本流における標識個体の生残状況の調査は令和 4 年度に実施する予定である。ただし、標識の 2 か月後に豪雨が発生したため、標識個体が大幅に減少しているおそれがある。

表 2. 木曽川水系における稚魚の標識数および標識率

魚種	アマゴ	イワナ	計
全長	45～80 mm	37～58 mm	—
採捕・標識数	58 尾	732 尾	790 尾
個体数推定値（2 回除去法）	69 尾	920 尾	989 尾
標識率	84.1%	79.6%	79.9%
生息密度	0.078 尾/㎡	1.037 尾/㎡	1.115 尾/㎡

課題と対応策：

（1）「禁漁区における生息状況」は、飛騨地方の入漁区および禁漁区については概ねデータが蓄積できたが、美濃地方のデータの追加が望ましい。また、標高や河川規模といった環境要因を加味した解析を行うことが課題である。特に標高については生息密度と正の相関があると予想されており、両者の関係を説明するものとして水温に注目する必要がある。現在、自記式温度計を木曽川水系 45 地点および長良川水系 108 地点に設置し、様々な標高において水温を測定中である。

（2）「産卵場所の立地条件」は、ヤマメ・アマゴおよびイワナのいずれについてもデータを追加できた。ただし、データが未集計の地点があるため、今後は集計作業に特化する必要がある。

（3）「支流から本流への資源供給機能（しみ出し効果）」については、木曽川水系の一ツ梨谷支流において稚魚の標識作業を行った。しかし、その 2 か月後に豪雨が発生したため、標識個体が大幅に減少しているおそれがある。令和 4 年度は、支流の合流点付近で漁獲調査を試行し、調査継続の可否を判断する予定である。

令和3年度 環境収容力推定手法開発事業 報告

課 題 番 号	3. (3)	事業実施期間	令和3年度
課 題 名	漁場環境に応じた資源増殖等の手法開発 溪流魚課題		
主 担 当 者	滋賀県水産試験場 幡野 真隆		
分 担 者	なし		

令和3年度の成果の要約：

〈アマゴ継代養殖稚魚の春放流の適正サイズの検証〉アマゴ継代養殖稚魚の春放流の適正サイズを明らかにするため、2018年から2020年にかけてサイズの異なる稚魚を同時に放流する同時放流(2.0gおよび6.1gの種苗)ならびに約1ヶ月毎に小さな稚魚から順番に放流する順次放流(0.5g、1.4g、3.4g、5.3gの種苗)の2種類の放流試験をそれぞれ6試験ずつ実施した。放流した翌年の春時点(3月下旬～4月下旬)における種苗サイズごとの費用対効果を比較すると、同時放流試験では、2.0gサイズの方が6.1gサイズより3.4倍高かった。順次放流試験では1.4gサイズの費用対効果が最も高く、3.4g、5.3g、0.5gサイズの順番であった。以上の結果から、アマゴ継代養殖稚魚の春放流においては、2.0g前後の種苗を放流すると費用対効果が高いと示唆された。

〈イワナにおける禁漁の増殖効果の検証〉禁漁区から下流域への資源添加効果を調べるため、現在禁漁となっている姉川上流のナガレモンイワナ生息域とその支流ならびに姉川支流のカラオ谷の3か所において調査を行った。3月下旬から5月上旬に禁漁区内上流部において、稚魚ネットで採捕したすべてのイワナ当歳魚(計420尾)の脂鰭を切って標識し、再放流した。その後、10月に禁漁区域内全域で採捕調査を行ったところ、禁漁区下流部へ標識魚の移動が確認され、標識魚の9%～13%が禁漁区下流部へ移動したことが確認された。

全期間を通じた課題目標及び計画：

〈アマゴ継代養殖稚魚の春放流の適正サイズの検証〉現在、溪流魚の春放流では2～10gの種苗を用いて4～6月に行われている。しかし、2～10gのうち放流効果の高い種苗サイズについては検討されていない。そこで本課題では、アマゴ継代養殖稚魚を用いて春放流の適正サイズについて放流試験で明らかにすることを目的とする。犬上川上流域において、サイズの異なるアマゴ継代養殖稚魚を同時または順次放流し、標識再捕法により定期的に個体数推定を行うとともに、生残、成長についても調べる。

〈イワナにおける禁漁の増殖効果の検証〉溪流魚の漁場管理策の一つとして禁漁がある。禁漁が効果的であるという報告はいくつかあるが、禁漁で増えた魚をどのように有効に利用するかについて検討する必要がある。そこで本課題では、禁漁によって増えた魚が、禁漁区域外へ移動するか否かについて調べることを目的とする。現在、禁漁になっている姉川上流のナガレモンイワナ生息域に

において禁漁区内でイワナを標識し、そのイワナが非禁漁区である下流域へ移動するか否かを調べる。

当該年度計画：

〈アマゴ継代養殖稚魚の春放流の適正サイズの検証〉2020 年に実施した同時放流試験および順次放流試験における放流翌春の成長および生残率を調査する。また、これまでに実施した放流試験の放流翌年における平均生残率から滋賀県における種苗サイズ別の費用対効果を分析するとともに、各県の種苗単価から種苗サイズ別の費用対効果を比較検討する。

〈イワナにおける禁漁の増殖効果の検証〉現在禁漁になっている姉川上流のナガレモンイワナ生息域とその生息域内に流れ込む支流および姉川支流のカラオ谷の3か所において調査を行う(図1)。3月下旬から5月上旬に禁漁区内上流部において、稚魚ネットで採捕したすべてのイワナ当歳魚の脂鰭を切って標識し、再放流する。ナガレモンイワナ生息域の支流ではナガレモンイワナと普通模様イワナが混生しており、普通模様個体のみ標識する。10月に禁漁区全域で調査を行い、脂鰭を切ったイワナが採捕されるかを調べる。また、過去の調査で禁漁区内において個体識別標識されたイワナが非禁漁区域で採捕されるか調べる。それらの結果から、下流への資源添加効果を推定する。



図1 ナガレモンイワナ生息域の概要

結果：

〈アマゴ継代養殖稚魚の春放流の適正サイズの検証〉

- (1) 2018年から2020年に行った同時放流試験の放流した翌年の春時点(3月下旬～4月下旬)での種苗サイズごとの費用対効果を滋賀県の種苗単価を用いて比較すると、2.0gサイズの方が6.1gサイズより3.4倍高かった(図2)。
- (2) 順次放流試験では1.4gサイズの費用対効果が最も高く、3.4g、5.3g、0.5gサイズの順番であり、1.4gサイズと0.5gサイズでは2.0倍の差があった(図1)。
- (3) 7県のアマゴないしヤマメのサイズ別種苗単価を比較したところ、多くの県は滋賀県と類似の単価比を示し、7県平均と滋賀県の種苗単価比はほぼ同じであった
- (4) よって、アマゴ継代養殖稚魚の春放流においては、2.0g前後のサイズで費用対効果が高いと考えられた。

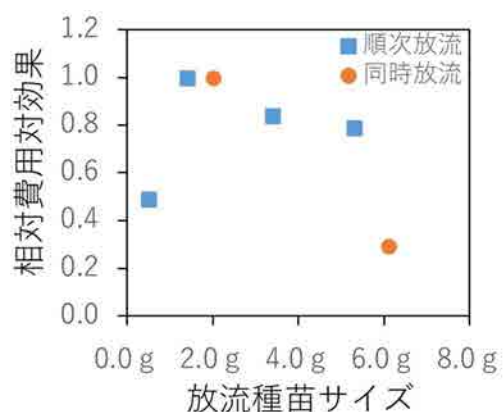


図2 放流翌年春の種苗サイズ別費用対効果

〈イワナにおける禁漁の増殖効果の検証〉

- (1) 3か所の禁漁区上流部において3月30日～5月10日の11日間で計420尾のイワナ当歳魚を採捕した。平均尾叉長は28.0-30.9 mm、平均体重は0.24gであり、測定後は脂鰭を切っ

て再放流した。

- (2) 10月15-11月5日の間の6日間で禁漁区全域において電気ショッカーで調査を行ったところ、標識したイワナ当歳魚が禁漁区上流部および下流部で採捕され、春から秋にかけての生残率は24%~46%であり、標識魚のうち9%~13%の個体が禁漁区下流部に移動していた。
- (3) 標識魚の分布は春から秋にかけて全体的に下流側に移動しており、分布重心は61-67m移動していた。また、禁漁区下流部で採捕された標識魚の平均移動距離は禁漁区上流部と下流部の境界にある滝ないし堰堤を起点にすると、70-83mであった。
- (4) 禁漁区下流部の当歳魚のうち、禁漁区上流部由来の個体数を推定すると、ナガレモンイワナ生息河川では51個体であり、下流部の当歳魚の13%が上流由来と推定された。また、カラオ谷では上流由来が23個体で禁漁区当歳魚の58%が上流由来であると推定された(図3)。
- (5) 6月、7月11月に非禁漁区域において3回の採捕調査を行ったところ、11月12日に個体識別標識されたイワナ親魚3尾および当歳魚11尾が確認された。当歳魚の非禁漁区への移動は初めて確認されたが、その要因として禁漁区内での当歳魚生息密度が高かったことや秋の少雨によって河川水量が少なかったことが考えられた。

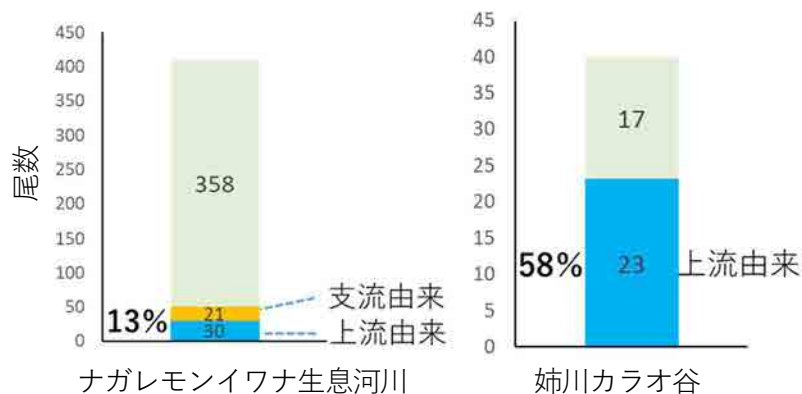


図3 禁漁区上流部から下流部に移動した個体数の推定結果

課題と対応策：

〈アマゴ継代養殖稚魚の春放流の適正サイズの検証〉

これまでの結果をとりまとめ、放流適正サイズの解析を行う。

〈イワナにおける禁漁の増殖効果の検証〉

引き続き今年度と同様の試験を行うほか、過年度のデータを解析し、当歳魚資源尾数に影響を及ぼす要因の検討を行うことで下流への資源添加効果を検証する。

令和3年度 環境収容力推定手法開発事業 報告

課 題 番 号	3. (4)	事業実施期間	令和3年度
課 題 名	漁場環境に応じた資源増殖等の手法開発 ワカサギ		
主 担 当 者	水産研究・教育機構水産技術研究所 宮本幸太		
分担者	なし		

令和3年度の成果の要約：粘着性を除去したワカサギ卵の放流方法を開発するため、プラスチック製の人工芝と直径2-5 cm程度の石を用いた簡易的な放流方法について検討した。ふ化実験の結果、人工芝区と対照区では、同日にふ化仔魚が観察され始め、ふ化仔魚の観察個体数のピークや観察個体数が確認できなくなる時期は、ほぼ同様の傾向を示した。人工芝区と対照区で観察した累積ふ化仔魚個体数に、統計的な有意差は認められなかった。これらの結果から、人工芝区では、石や人工芝により卵の流出や外敵からの捕食を防ぐとともに、通水性の不足による酸素欠乏等の問題も起こりにくいと推察された。これらの結果をもとに、栃木県日光市の湯の湖の湖岸にて、人工芝を用いたワカサギ標識卵の実証放流実験を開始した。

全期間を通じた課題目標及び計画：ワカサギは、従来から漁業や遊漁の重要な対象種である。近年ではドーム船など女性や子供でも安心してワカサギ釣りができる施設が各地で増加しており、遊漁対象種としての期待が高まっている。その一方、ワカサギについては増殖効果を把握する際に必要となる標識技術に関する知見が乏しく、資源管理を検討するうえで課題となっている。さらに、ワカサギの卵や仔稚魚の体サイズが極めて小さいことや標識対象となる個体数が膨大であることから、標識法は耳石標識等の着色法が有効と考えられる。従来、魚類の耳石標識には標識剤としてアリザリンコンプレクソン（ALC）が使用されていたが、食の安全・安心の声が高まっていることや標識コストの観点から代替品が望まれている。そこで、本事業では天然色素を用いたワカサギの耳石標識技術とその放流手法の開発を行う。

当該年度計画：天然色素を使用した標識技術の開発：標識用の試薬として使用されてきたアリザリンコンプレクソン（ALC）の食品としての安全性は確認されていない。そこで、食の安心・安全のため、天然色素剤コチニールによる耳石標識技術を開発する。本年度はワカサギ標識卵の粗放的な放流技術の開発を行うため、粘着除去したワカサギ卵を野外に放流する技術の開発に着手した。

結果：

- (1) 粘着除去を行ったワカサギ卵の放流技術の開発を行うため、プラスチック製の人工芝と直径 2-5 cm 程度の石を用いた簡易的な放流方法を検討した。2021 年 4 月から 5 月にかけて、国立研究開発法人水産研究・教育機構日光庁舎において、エアレーションにより通気を施した 10L 水槽 6 つに 0.5g ずつワカサギ卵を収容して、ふ化実験を行った（写真 1）。なお、実験用水槽は湧水をかけ流した大型水槽内にウォーターバス方式で設置することで水槽内水温を 9.3-9.8℃の範囲に保った。また実験期間中は、ワカサギ卵のふ化状況を評価するため、3 日に 1 度の頻度で午前 9 時に水槽内のふ化仔魚の個体数を水槽上部から目視により計数した。人工芝を設置した試験区（以下、人工芝区とする）では、水槽内の砂利を整地して、その上に芝生側を底面に向けたプラスチック製の人工芝を設置して、人工芝が動かないよう、こぶし大の石を人工芝の四隅に設置した後、人工芝全体に卵を散布した。卵が人工芝下の底面に沈んだら、2-5 cm の石を人工芝の上面を覆うように設置した。人工芝区においては、人工芝や石で上面が覆われ、通水性が失われて酸素が欠乏することで卵が死亡したり、仔魚が浮上できなくなったりする恐れがあった。この影響を評価するため、単に卵のみを水槽底面に設置した対照区を設定した。本実験では、人工芝区 3 つと対照区 3 つをランダムに配置し、両区のふ化個体数を比較することで人工産卵床としての人工芝区の有用性を検証した。
- (2) ふ化実験の結果、人工芝区、対照区ともに 4/19 にふ化仔魚が観察され始め、5/3 以降、ふ化仔魚は観察されなくなった。ふ化個体数のピークは 35-62 個体であり、1 つの対照区を除き、全ての実験区で 4/23 にふ化仔魚の観察個体数がピークを示した（図 1）。累積ふ化個体数は、人工芝区で 124 ± 13.8 個体、対照区で 140 ± 12.1 個体であり、両者に統計的な有意差は認められなかった（t 検定, $p = 0.43$ ）（図 2）。このように人工芝区では、卵を単に底面に設置した場合と変わらぬふ化状況であったと考えられる。このため、人工芝区では、石や人工芝により卵の流出や外敵からの捕食を防ぐとともに、通水性の不足による酸素欠乏等の問題も起こりにくいと推察された。
- (3) 人工芝区の実証実験として、栃木県日光市に位置する湯の湖の湖岸にて、コチニール耳石標識を施した河口湖産のワカサギ卵 350 万粒程度（コチニールによる耳石標識は山梨県水産技術センターが実施）を以下の手順で 3 月から 4 月にかけて埋設した。なお、卵の埋設は 3/18 に約 100 万粒、3/24 に約 100 万粒、4/8 に約 150 万粒を 3 度に分けて実施した。卵の埋設場所は、湖岸の水深 15-30 cm 程度かつ、湧水の湧き出す地点で実施した。初めに、卵を設置する場所の石等を整え平地にし、卵の散布時に波や水流で卵が流出しないよう大型の塩化ビニール管（以下、塩ビ管とする。）を設置場所にかぶせた（写真 2）。塩ビ管と底面の間に隙間があると、隙間から水流が入って卵が流れ出るので、塩ビ管と底面の間は砂利等で隙間を埋め、そこに人工芝（芝面を底にして）を設置した。人工芝の四隅にこぶし大の石を置き、浮き上がらないようしっかり固定し、人工芝の全面にワカサギ標識卵を散布して、人工芝下の底面にゆっくり沈ませた。一つの人工芝に入れる卵の量は小型のメ

ダカ用たも網8分目の量を2-3回分程度とした。人工芝下の底砂利に卵が落ちたことを確認したら、人工芝が見えなくなるよう2-5 cm程度の石を敷き詰めた。これでゆっくり塩ビ管を外せば完成。これで一連の動作は完了となり、慣れれば10-15分程度の作業で1つの埋設が完了する。今後、放流方法の有用性や標識放流効果を検証するため、同湖での標識採捕調査を予定している。

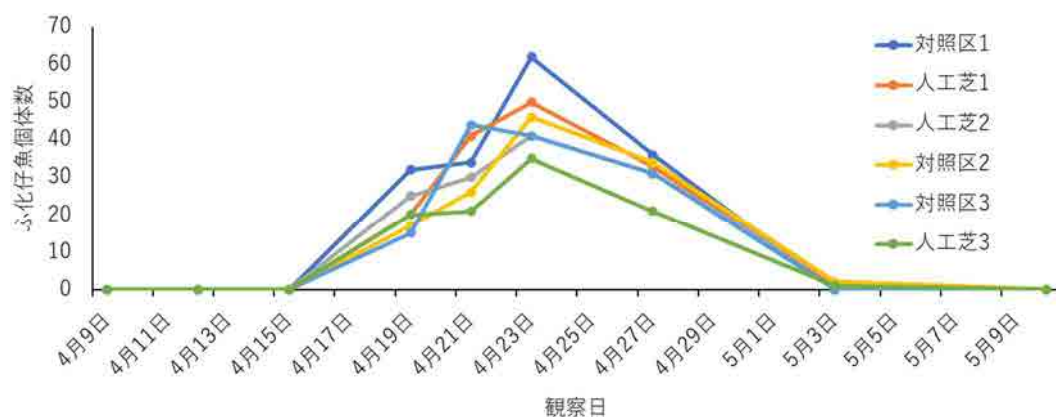


図1. 人工芝区と対照区で観察したふ化仔魚個体の推移

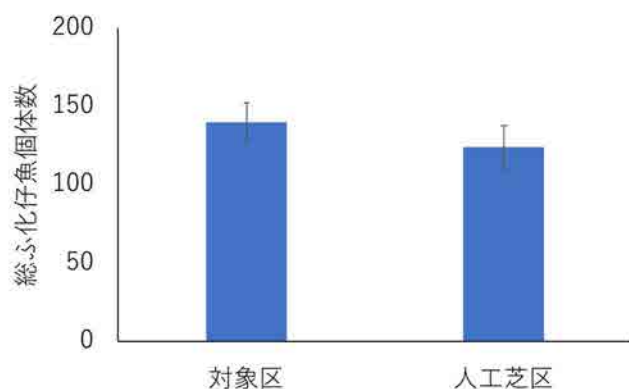


図2. 人工芝区と対照区で観察した累積ふ化仔魚個体



写真1. 実験水槽と人工芝の様子



写真2. 湯の湖の湖岸で人工芝を用いて耳石標識卵の放流場所を造成している様子

課題と対応策：

特に問題なく順調に実施された。

令和3年度 環境収容力推定手法開発事業 報告

課題番号	3. (4)	事業実施期間	令和3年度
課題名	漁場環境に応じた資源増殖等の手法開発 ワカサギ		
主担当者	長野県水産試験場諏訪支場 松澤 峻		
分担者	長野県水産試験場諏訪支場 降幡 充		

令和3年度の成果の要約：天然色素による耳石標識技術を開発するため、ワカサギ発眼卵の標識液への浸漬条件を検討した。標識前に26%上白糖溶液への浸漬による脱水で標識改善の効果を検討した結果、耳石標識の発色が向上するものの、ふ化率が低下するため、今年度の試験では見合った効果はなかった。一方、ふ化仔魚に対して標識を施した結果、濃度4g/Lおよび5g/Lのコチニール標識液に24時間浸漬した区で、これまでの発眼卵標識と同程度の生残率および発色強度が得られた。

全期間を通じた課題目標及び計画：標識用の試薬として使用されてきたアリザリンコンプレクソン(ALC)は食品としての安全性が確認されていないため、コチニールやラック等の天然色素剤による大量標識が可能な標識技術を開発する。また、開発された標識技術を使用した放流手法の開発を行う。

当該年度計画：本年度はふ化率または生残率を確保しつつ、耳石の標識の強化および均一化を図るために(1)上白糖溶液を用いた脱水後のコチニール標識液への浸漬、(2)ふ化仔魚に対する標識を検討し、それら試験でふ化率または生残率、耳石標識の発色強度を調査する。

結果：

(1)試験区は発眼卵を標識直前に26%上白糖溶液への1分間浸漬する上白糖処理あり区と浸漬しない上白糖処理なし区とした。コチニール標識液の濃度は、上白糖処理の有無別に0、4、8、16および32g/Lとし、それぞれについて次の条件で標識した。浸漬時間は24時間、浸漬水温は12℃、光条件は恒暗とした。試験開始時の卵の積算水温は180℃・日であった。評価はふ化率(ふ化率(%)=正常ふ化尾数/供試発眼卵数×100)および耳石の発色強度(発色なしを1、ALCの発色を4として相対的に比較)で行った。

上白糖処理あり区のふ化率は、コチニール濃度0、4、8および16g/Lで上白糖処理なし区と変わらなかったが(図1)、コチニール濃度32g/Lで上白糖処理なし区より有意に低下した(ウェルチのt検定 $P<0.05$)。耳石の平均発色強度は、コチニール濃度0、8および32g/Lでは有意差はなかった。4g/Lでは上白糖処理あり区が上白糖処理なし区より有意に低く、32g/Lでは上白糖処理あり区

が上白糖処理なし区よりも有意に高かった（図 2、ウェルチの t 検定 $P < 0.05$ ）。以上より標識前の 26% 上白糖溶液浸漬は、耳石標識の発色が強化される一方で、ふ化率が低下するため、標識強度改善に見合った効果はなかった。

（2）①ふ化仔魚のコチニール標識が可能か検討するため、ふ化仔魚に対して次の条件で標識した。コチニール標識液の濃度は 0、2、4、8、16 および 32g/L、浸漬時間は 24 時間、浸漬水温は 12℃、光条件は恒暗とした。試験に用いたふ化仔魚はふ化後 4 日以内であった。試験の評価は生残率（生残率（%）＝生残尾数/供試尾数×100）および耳石の発色強度で行った。

生残率はコチニール濃度 0、2 および 4g/L で 80%以上と変わらなかったが、コチニール濃度 8g/L では 30%まで低下し、16 および 32g/L では 0%であった（図 2）。耳石の平均発色強度は、コチニール濃度 0g/L を対照区とし、それ以外の区と比較した結果、4 および 8g/L で有意に発色強度が高かった（図 2、DUNNET 法 $P < 0.05$ ）。以上より、ふ化仔魚に対してコチニール標識は可能であり、その条件は、発眼卵標識よりも低い濃度で標識可能であることがわかった。加えて、コチニール濃度の最適条件は生残率と発色強度の結果から、4g/L から 8g/L の間であることが示唆された。

②ふ化仔魚標識の最適条件を検討するため、ふ化仔魚に対して次の条件で標識した。コチニール標識液の濃度は 0、1、2、3、4 および 5g/L とし、それ以外の試験条件および評価項目は試験（2）①と同様とした。試験に用いたふ化仔魚はふ化後 2 日以内であった。

生残率はコチニール濃度 0、1、2、3 および 4g/L で変わらなかったが、コチニール濃度 5g/L では 85%まで低下した（図 3）。耳石の平均発色強度はコチニール濃度 0g/L を対照区とし、それ以外の 5 区と比較した結果、3、4 および 5g/L で有意に高かった（図 3、DUNNET 法 $P < 0.05$ ）。コチニール濃度 5g/L での生残率は 85%まで低下したが、この値はこれまでの発眼卵標識と同程度であり、許容範囲であると考えられる。加えて、耳石の発色強度もコチニール濃度 4g/L で 2.8、5g/L で 2.7 と発眼卵標識と同程度であった。

③試験（2）①の結果について再度検討するため、ふ化仔魚に対して次の条件で標識した。コチニール標識液の濃度は 0 および 8g/L とし、それ以外の試験条件および評価項目は試験（2）①と同様とした。試験に用いたふ化仔魚はふ化後 2 日以内であった。

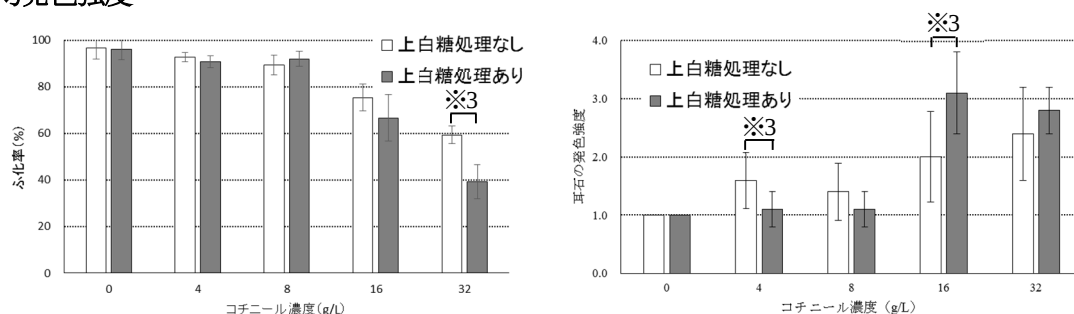
生残率はコチニール濃度 8g/L が 0g/L よりも優位に低く、耳石の発色強度はコチニール濃度 8g/L が 0g/L よりも有意に高かった（図 4、ウェルチの t 検定 $p < 0.05$ ）。以上より、試験（2）①と同様に耳石の発色強度は 3 程度と良好であったが、生残率が 2 分の 1 まで低下するため、ふ化仔魚に対してコチニール濃度 8g/L は高すぎる濃度であると考えられた。

④ふ化仔魚標識の最適条件を検討するため、ふ化仔魚に対して次の条件で標識した。コチニール標識液の濃度は 0、4、6 および 8g/L とし、それ以外の試験条件および評価項目は試験（2）①と同様とした。試験に用いたふ化仔魚はふ化後 24 時間以内であった。

生残率はコチニール濃度が高くなるにつれて減少し、4g/L で 83%、6g/L で 4%、8g/L で 0%であった（図 5）。耳石の平均発色強度はコチニール濃度 0g/L を対照区とし、それ以外の 3 区と比較した結果、全ての区において有意に高かった（図 5、DUNNET 法 $P < 0.05$ ）。同様に、コチニール濃

度4g/Lを対照区として、6および8g/Lと比較した結果、発色強度に有意差はなかった(図5、DUNNET法)。コチニール濃度4g/Lでの生残率および耳石の発色強度は試験(2)②と同様、これまでの発眼卵標識の成績と同程度であった。6および8g/Lでは生残率が低下する一方、発色強度の向上は見られなかった。以上より、ふ化仔魚標識の最適条件は、24時間浸漬の場合、コチニール濃度4g/Lから5g/Lであると考えられた。

図1. 26%上白糖処理の有無別、コチニール標識液の濃度別での平均ふ化率^{※1}(%)および耳石の平均発色強度^{※2}

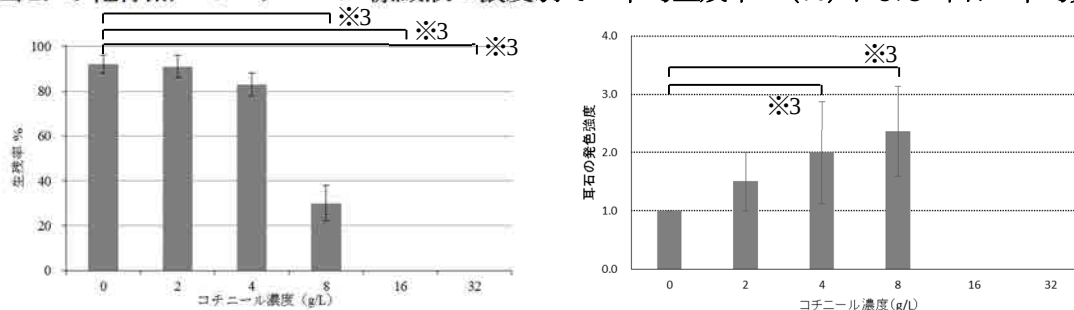


※1：ふ化率は各区3回実施した平均値、バーは標準偏差を示す

※2：発色強度は各区10個体の平均、バーは標準偏差を示す

※3：有意差あり (p<0.05)

図2. ふ化仔魚へのコチニール標識液の濃度別での平均生残率^{※1}(%)および耳石の平均発色強度^{※2}

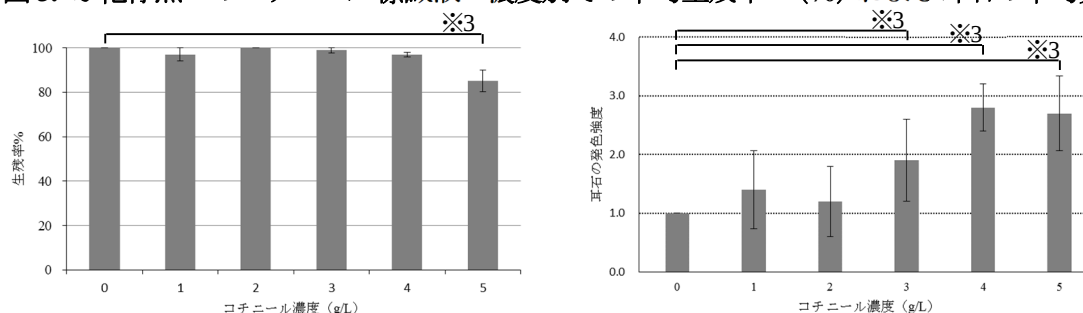


※1：生残率は各区2回実施した平均値、バーは標準偏差を示す

※2：発色強度は0g/Lは9個体、2g/Lは16個体、4g/Lは13個体、8g/Lは10個体の平均、バーは標準偏差を示す

※3：有意差あり (p<0.05)

図3. ふ化仔魚へのコチニール標識液の濃度別での平均生残率^{※1}(%)および耳石の平均発色強度^{※2}

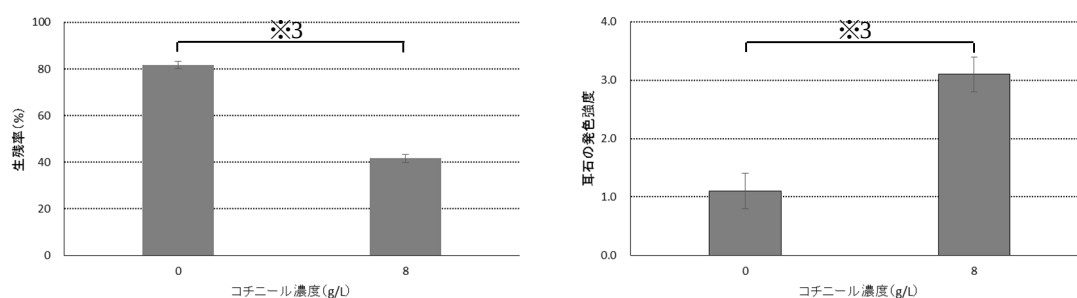


※1：生残率は各区2回実施した平均値、バーは標準偏差を示す

※2：発色強度は各区 10 個体の平均、バーは標準偏差を示す

※3：有意差あり ($p<0.05$)

図 4. ふ化仔魚へのコチニール標識液の濃度別での平均生存率※¹ (%) および耳石の平均発色強度※²

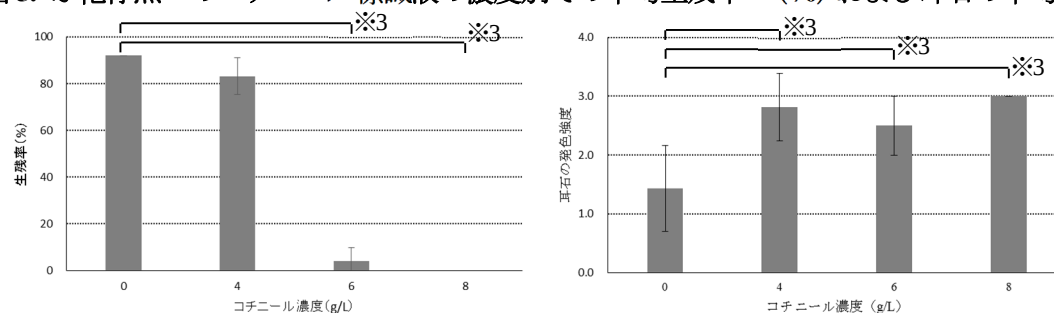


※1：生存率は各区 2 回実施した平均値、バーは標準偏差を示す

※2：発色強度は各区 10 個体の平均、バーは標準偏差を示す

※3：有意差あり ($p<0.05$)

図 5. ふ化仔魚へのコチニール標識液の濃度別での平均生存率※¹ (%) および耳石の平均発色強度※²



※1：生存率は 0 および 8g/L は 2 回、4g/L は 4 回、6g/L は 3 回実施した平均値、バーは標準偏差を示す

※2：発色強度は 0g/L は 7 個体、4g/L は 11 個体、6g/L は 4 個体、8g/L は 3 個体の平均、バーは標準偏差を示す

※3：有意差あり ($p<0.05$)

課題と対応策：26%上白糖溶液への浸漬によって発色強度は向上したが、それ以上にふ化率が低下するため、見合った効果は得られなかった。26%上白糖溶液では濃度が高すぎた可能性があるため、ふ化率を低下させない上白糖溶液の最適濃度を検討し、課題に対応する予定である。今年度示唆されたふ化仔魚に対するコチニール標識液の濃度および浸漬時間の条件について検討し、ふ化仔魚標識の最適条件を明らかにする。加えて、ふ化仔魚への大量標識技術を検討する。

引用文献

桐生 透・内田和男 1993. アリザリンコンプレクソンによるワカサギの耳石標識. 山梨県魚苗センター事業報告書 21

相澤 康・戸田久仁雄 1995. ワカサギの ALC 標識. 神奈川県淡水魚増殖試験場報告 31

令和3年度 環境収容力推定手法開発事業 報告

課 題 番 号	3. (4)	事業実施期間	令和3年度
課 題 名	漁場環境に応じた資源増殖等の手法開発 ワカサギ		
主 担 当 者	山梨県水産技術センター 名倉盾		
分担者	山梨県水産技術センター 加地弘一、藤原亮		

令和3年度の成果の要約：天然色素を使用した標識技術の確立のため、コチニールを用いたワカサギの耳石標識について検討した。コチニール標識の発光強度のばらつきを抑えるために染色時に酸素をばっ気する試験及びコチニール溶液にNaClを添加する試験を実施したところ、NaClの添加については、NaCl濃度が高いほど発色強度が上がったが、ふ化率が悪化した。酸素ばっ気効果については、ワカサギ卵を大量に染色するのに効果が認められ、コチニール60g/L 前処理あり酸素ばっ気ありが有効と考えられた。

自作の染色器具を作成し、一度に1.6kg（356万粒）の染色を実施した。染色した卵は縦型ふ化槽に収容し、ふ化後河口湖流入河川へ放流した。同時に河口でふ化仔魚を採捕し、採捕魚を131尾検鏡し、11尾から標識を確認した。

全期間を通じた課題目標及び計画：ワカサギは、従来から漁業や遊漁の対象種であり、内水面漁業の重要な魚種であったが、近年ドーム船など女性や子供でも安心して釣りを行える施設が増えてきたこともあり、特に遊漁対象種として有望な魚種である。その一方で、増殖については詳細な知見が少なく、安定的な資源管理が難しい。また、資源推定のために用いる標識として従来はアリザリンコンプレクソンが使用されていたが、食の安全の観点からその使用は好ましくない。そこで、ワカサギの耳石に天然色素による標識を施すための染色条件と持続期間について技術開発を行う。

当該年度計画：昨年までコチニールを用いて耳石標識に最適な条件および持続期間を検討し、60g/L、24時間の染色で耳石に標識されること、発色強度3以上であれば1年後でも耳石を研磨しないで標識が確認できることを確認したが、同じ試験区内でも発色強度にバラつきが観察されている。コチニールによる染色直前に、ショ糖等による脱水処理を行うことで標識率の向上を図ったが、さらなる向上を目指すために、染色時に酸素を1時間ばっ気する試験を試みる。また、同様の目的でコチニールにNaClを添加する試験を試みる。さらに、実用化に向けて大量に染色するために染色器具を作成し大量染色を試みる。

結果：

- (1) 酸素ばっ気試験において、酸素ばっ気した試験区では発色強度 3 以上が 90%を占め、平均 RGB 値 34.9 となり、空気ばっ気した試験区の発色強度 3 以上が 70%、平均 RGB 値 24.0 よりも良好な成績を示した。このことから、コチニール濃度 60 g/L、前処理あり、酸素ありで染色をすることが有望と考えられた (図 1)。
- (2) 染色用のコチニール液に NaCl を 0.25%~0.5%添加すると、濃度が高いほど発色強度が良くなったが、ふ化率が低下した (図 2)。NaCl を 1%以上添加すると供試した全卵が死亡した。
- (3) 酸素ばっ気および NaCl 添加によりコチニールが低濃度であっても染色できるのではないかと考え、従来のコチニール量の半分に当たる 30 g/L で染色を試みたが、いずれの試験区も良好な結果は得られなかった (図 1, 図 2)。
- (4) 大量標識を実施するために、自作の染色用器具を作成し、10 万粒~356 万粒のワカサギ卵を染色した (図 3)。処理卵数が多くなるほど発色強度が落ちる傾向が見られた。しかし、酸素でばっ気することにより標識率や発色強度が改善された (表 1)。
- (5) 標識の持続性について 60 g/L、24 時間前処理あり条件で染色し、584 日齢のワカサギ耳石を検鏡したところ (外池飼育 R2 染色試験区)、耳石研磨なしでも 12 個体中 10 個体で標識を確認できた (図 4)。発色強度 3 以上の耳石は 58.3%で、耳石の厚みが増すことにより、0 歳魚より標識が観察しにくくなっていたが、研磨なしでも標識を確認することができた (表 1)。
- (6) 大量処理した卵を、漁協の卵管理施設に収容し、ふ化仔魚を河口湖流入河川に放流した。河口湖に流入する河口でふ化仔魚を採捕し、131 尾の耳石を確認したところ、11 個体の耳石から標識を確認した (表 2)。11 月に釣りで採集したワカサギ 55 尾の耳石を検鏡したが、標識個体は得られなかった。

課題と対応策：

実用化に向けて大量標識試験を実施したが、染色卵数が増加すると発色強度が落ちる傾向が見られた。しかし染色時に酸素ばっ気を行うことで、発色強度が回復する傾向が確認されたので、引き続き詩的条件を検討する。

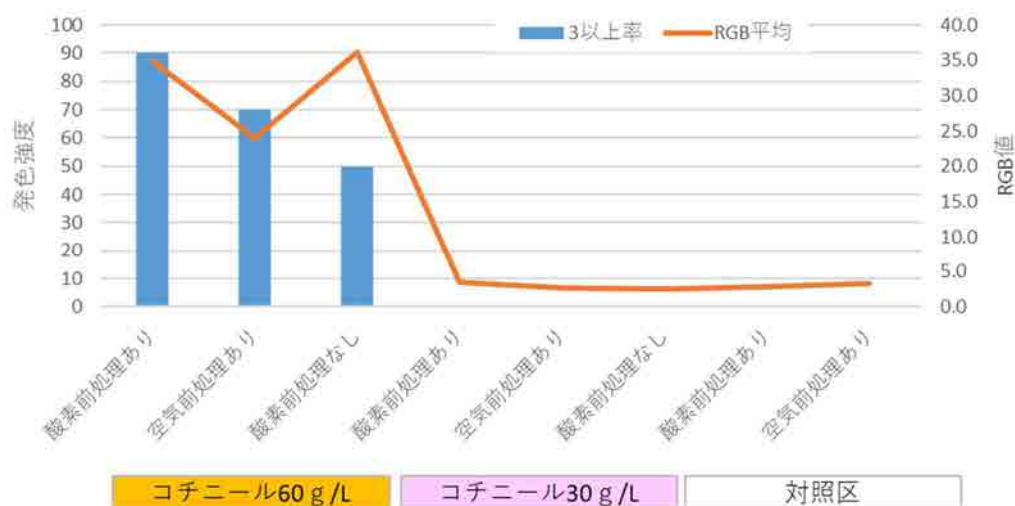


図 1. ばっ気方法とワカサギ耳石標識



図 2. NaCl 濃度とワカサギ耳石標識



図 3. 作成した大量染色用器で染色中のワカサギ卵

表 3. 10 万粒以上の大量標識をしたワカサギ耳石の標識発色強度

試験区	処理方法					検鏡尾数	発光LV				
	コチニール	染色粒数	前処理	ばっ気	ふ化率		1	2	3	4	3以上率
酸素区	60 g /L	356万	○	酸素	98.1	16	0	5	11	0	68.8
空気区	60 g /L	356万	○	空気	100.0	16	7	3	6	0	37.5
日光発送	60 g /L	320万	○	酸素	95.8	10	0	2	8	0	80.0
外池飼育115	60 g /L	10万	○	空気	良好	13	0	0	13	0	100.0
外池飼育116	60 g /L	10万	○	酸素	良好	11	0	1	10	0	90.9
シヨ糖処理なし	0g/L	漁協管理	—	—	92.2	10	10	0	0	0	0.0
シヨ糖処理あり	0g/L	漁協管理	○	—	82.8	10	10	0	0	0	0.0
外池飼育R2染色	60 g /L	10万	○	—	良好	12	2	3	7	0	58.3

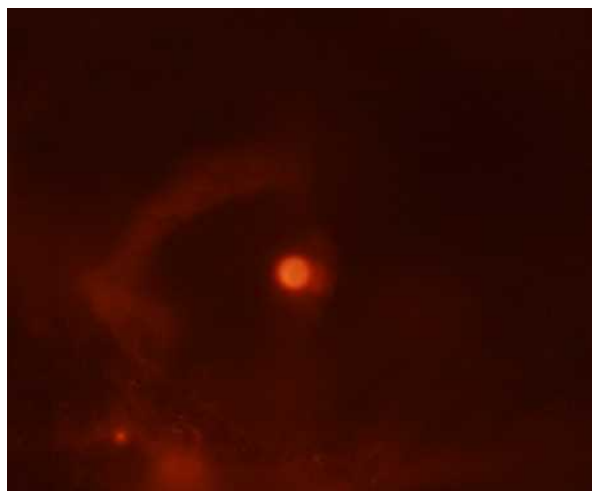


図 4. 飼育 584 日のワカサギ耳石標識の発色

表 2. 河口湖流入河川で採捕した流下仔魚と釣りで採集したワカサギの耳石標識結果

試験区	処理方法		検鏡尾数	発色強度					標識率
	コチニール	前処理		1	2	3	4	3以上率	
河口湖採捕3/12	60 g /L	○	78	75	1	2	0	2.56	3.85
河口湖採捕3/15	60 g /L	○	53	45	4	4	0	7.55	15.09
河口湖釣り採捕	60 g /L	○	56	56	0	0	0	0	0.00

令和3年度 環境収容力推定手法開発事業 報告

課 題 番 号	3. (4)	事業実施期間	令和3年度
課 題 名	漁場環境に応じた資源増殖等の手法開発 ワカサギ		
主 担 当 者	北海道立総合研究機構 楠田聡、佐藤敦一、山崎哲也、高畠信一、飯嶋亜内、橋本龍治、本間隆之		
分担者			

令和3年度の成果の要約

＜放流種苗用餌料の開発＞

飼育水に塩分を添加することで、低水温環境下においてもワムシの活力維持および給餌量の削減が可能となった。一方で、ワムシの活力向上がアンモニア態窒素の増加につながり、仔魚の生残率低迷に起因した可能性がある。そのため、塩分を維持しながら、水替えあるいは少量の加水を行いながら仔魚を飼育し、生残率向上を図る必要がある。

＜資源推定手法の開発＞

前年と同様に阿寒湖において、ワカサギ漁（9～10月）の前後に簡易普及型魚群探知機（以下、魚探）を用いて調査した結果、漁獲開始前のワカサギ資源量は51.9tであったと推定された。効率的な資源推定に必要な調査区間は、現状では10km程度を調査する必要があると考えられた。同様に、調査速度は、本調査環境では4kt程度が適当であることを確認した。

全期間を通じた課題目標及び計画：

ワカサギは、孵化仔魚の無給餌放流により資源造成を図る場合が多いが、年によっては低水温等の理由で、放流時期、湖沼内の餌生物密度が低い場合があり、期待した効果が得られないこともある。本課題では、人工種苗の生残を高めるために、放流仔魚の初期餌料として培養が確立されていない10～15℃程度の低温淡水ワムシ餌料を北海道内の湖沼から探索、作出し、これに加え道総研継代の低温・低塩分ワムシを低水温時の給餌放流等に利用することを検討する。また、湖沼のワカサギには密度効果が働くことから、利用目的にあった資源を形成するためには資源量を推定する必要がある。これまで開発された資源量推定手法は、十分な漁獲情報、水深が浅いという湖沼形状の特徴を前提としており、必ずしも一般的に利用できる手法ではない。本課題では、阿寒湖にて漁獲データと簡易型魚探データを取得し、両データの照合から、広く利用可能で、低コストなワカサギ資源量推定手法の確立を目指す。

当該年度計画：

＜放流種苗用餌料の開発＞

道総研が作出した低温・低塩分で培養可能なシオミズツボワムシ（以下、ワムシ）を用いた昨年度の実験において、飼育水に少量の塩分が含まれることでワムシの活力維持およびワカサギ仔魚の生残率向上に繋がった。本年度は異なる塩分環境において、ワムシ給餌量の調整を検討するために、まずワカサギ仔魚が不在の水槽でワムシ個体数密度やアンモニア態窒素濃度を比較した。この結果