

令和5年度 資源回復のための種苗育成・放流手法検討事業 報告

課題番号	エ(1)	事業実施期間	令和5年度
課題名	ニホンウナギ等内水面資源の生息状況調査・分析、資源増殖等の手法検討 (溪流魚)		
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			

令和5年度の成果の要約： 堰堤区間におけるイワナの在・不在を調査した結果、区間内に岩（直径50cm以上）が5つ以上存在すること、水深が20cm以上あることが堰堤区間においてイワナが存在するために必要な条件と考えられた。

全期間を通じた課題目標及び計画： 河川環境と溪流魚の生息状況に係る知見を収集・分析し、漁場環境に応じた資源の適切な増殖手法等について検討する。

当該年度計画： ダムや堰堤は、流況や水温、基質組成の変化など、バリア効果以外の面でも河川群落に悪影響を及ぼし（岸・前川 2009 など）、深刻な問題を引き起こす。たとえば、ダムや堰のすぐ下流の岸や河床は、流量を調節するためにコンクリートで覆われていることが多く、そのような河床は魚類にとって生息しにくい場所となる。特に、高勾配の河川における土砂調節には、河床堆積物を安定させるため、連続した複数の堰を建設することが多く、その結果、イワナが一般的に分布する急峻な山間部では、河道が大きく変化する。本研究では、このように大きく変化した環境におけるイワナの生息可能性について調べるため、栃木県日光市大谷川の堰堤区間において、イワナの生息状況を調査し、堰堤内の構造、水深、流速、底質および水表面積との関係を調査することで、イワナが生息可能な環境について考察を行った。

結果：

- (1) 全調査を通じて26尾のイワナ（FL：134.8±78.3mm、BW：51.9±57.4g、平均±SD）が採集され、20区間中7区間でイワナの存在が確認された。堰堤の物理的特性とイワナの生息状況との関係を明らかにするためGLMM分析〔説明変数を堰堤内の区間カテゴリ（図1）、水深（cm）、流速（cm/s）、水表面積（m²）および岩の多寡（直径50cm以上の岩が区間内に5つ以上存在するか否か）、応答変数にイワナの在・不在、ランダム変数にそれぞれの堰堤を設定〕を行った。その結果、ベストモデルとして3つのモデルが得られた。そのうち採用された変数が予測に有意に寄与したのは、岩の多寡のみを採用したモデル1

と、水深のみを考慮したモデル2であった(表1)。イワナの在・不在と岩の多寡との関係に着目すると、岩の多い場所(区画内に5つ以上)では、イワナが出現する確率が高まる傾向が認められた(図2)。一方、イワナの在・不在と水深との関係に着目すると、水深が深い場所、特に水深20cm以上の場所ではイワナの出現確率が高まる傾向が認められた(図3)。

考察:

副提区間ではイワナは確認されなかったが、護岸区間では4/5区でイワナの生息が確認された。岩を埋め込んだコンクリートからなる本堤区間のうち1/5区と護床工区間のうち2/5区でイワナの生息が確認された。イワナが確認された本堤区間では、下流に土砂が堆積してプールとなっていた。同様にイワナが確認された護床工区間では、大水等による洗堀でコンクリートブロックと河床との間や、コンクリートブロック間に溝ができた、一部が破損したりして水深が深くなっていた。このように、本調査区間(本堤から護床工区間)では、本来の堰堤機能が維持された状態の場所でイワナを観察することはできなかった。

GLMM分析の結果、水深と岩の有無がイワナの生息に影響する重要な要因であると考えられた。齋藤ら(2013)は、連続する堰の下流に位置する比較的深いプールにおいて、アマゴが底石のある底層を好むことを報告している。その要因として、水深が深いと鳥や他の陸上捕食者から発見されにくく、底石は捕食者から身を守るシェルターの役割を果たすためと考察している(齋藤ら, 2013)。Miyamoto and Araki (2019)は、アオサギによるイワナの捕食を調べたところ、アオサギの視界を遮る障害物を配置した場合と、水深が25cm以上の場合の2つの条件でアオサギによる捕食圧が有意に減少することを報告している。今回の調査地では、これまでに複数回にわたりアオサギが観察されていることから(宮本、未発表データ)、比較的深いプールや障害物(岩)がアオサギによる捕食からイワナを守り、生残のために必要な条件となったと考えられる。

引用文献

- 齋藤竜也, 金澤拓也, 森本溪一郎, 中道一彦, 川嶋尚正, 鈴木邦弘, & 赤川泉. (2013). 小規模堰堤の連なる溪流におけるアマゴの生息地選択と移動. 海-自然と文化= Journal of the School of Marine Science and Technology: 東海大学紀要海洋学部, 10(3), 1-10.
- Miyamoto K, Araki H (2019) Effects of water depth and structural complexity on survival and settlement of white-spotted charr (*Salvelinus leucomaenis*). Hydrobiologia, 840: 103–112.

モデル	AIC	ΔAIC	変数	G2	df	Coefficient	SE	P
モデル1	31.0		岩の多寡	5.810	1	0 and 2.079 ¹	0 and 0.863 ²	0.016
モデル2	32.5	1.5	水深	4.848	1	0.081	0.037	0.028
モデル3	32.5	1.5	岩の多寡	1.922	1	0 and 1.539 ³	0 and 1.110 ⁴	0.166
			水深	0.554	1	0.035	0.047	0.457

表1. 一般化線形混合モデル (GLMM) : イワナの出現率に対する物理的特性の効果



図1. 調査対象となる堰堤区間内のセクションとその位置

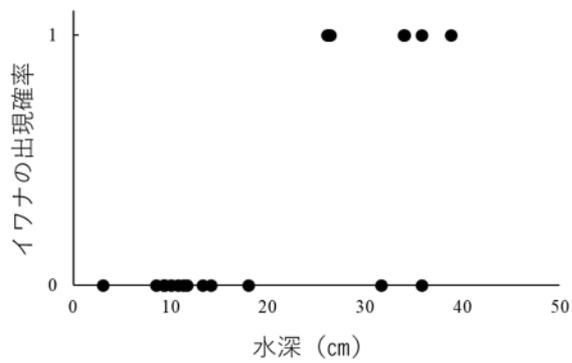


図2. イワナの在 (1)・不在 (0) と水深との関係。

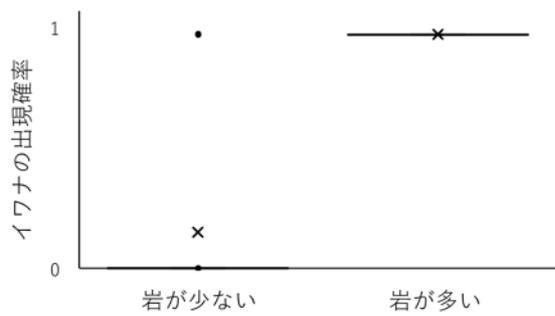


図3. イワナの在 (1)・不在 (0) と岩の多寡との関係。

令和5年度 資源回復のための種苗育成・放流手法検討事業 報告

課題番号	エ(2)	事業実施期間	令和5年度
課題名	ニホンウナギ等内水面資源の生息状況調査・分析、資源増殖等の手法検討 (溪流魚)		
主担当者	群馬県水産試験場 山下耕憲		
分担者	群馬県水産試験場 新井肇、井下眞		

令和5年度の成果の要約：溪流魚の増殖を目的とした漁場の環境改変のため、石組みを実施した本流および支流の漁場において環境測定および資源量調査を行った。その結果、石組みのある区間の環境は複雑な傾向がみられ、本流域ではヤマメ資源量が対照区よりも多かった。また、溪流魚漁場に設定されたキャッチアンドリリース（以下、C&R）規制が当該年度から解除された元C&R区および通常の入漁区における資源量調査を行った。その結果、元C&R区における溪流魚の生息密度は入漁区と同様であり、C&R規制が解除されたことにより資源が減少したことが示唆された。

全期間を通じた課題目標及び計画：溪流魚の資源増殖を目的とした環境改変および採捕規制の効果を検証する。前者については、人為的な環境改変が資源量および生息環境に及ぼす影響を評価する。後者については、C&R区設定による増殖効果を評価する。

当該年度計画：今年度は、本流および支流それぞれで石組みを行った区と対照区で資源量および生息環境の調査を行い、石組みによる環境改変が資源量および生息環境に与える影響を明らかにする。また、昨年まで10年間C&R区に指定されていた元C&R区および対照区である通常の入漁区における資源量および生息環境の調査を行い、C&R区設定の増殖効果を明らかにする。

結果：(1) 石組みによる環境改変が溪流魚の資源量および生息環境に与える影響に関する調査を、群馬県内を流れる神流川最上流域の本流およびその支流である住居附沢川の2スケールで行った。神流川最上流域は令和元年度東日本台風の影響により令和5年現在も河川の単調化（瀬化）が問題となっている。そこで、単調化した区間の複雑化を目的とした石組みによる介入操作を行い、溪流魚の資源量および生息環境に与える影響を評価した。評価は、チャンネルユニットスケールで行った。介入操作を行った区を介入区、単調化したままの区間を対照区、単調化しておらず溪流魚にとって好適と考えられる区間を基準区とし、これらを比較した。

神流川の本流では、令和3年および令和4年に実施された上野村の事業により本流右岸側から

川幅の約半分の長さで河道の垂直方向の石組みが3基設置された瀬を介入区、介入区の直上の単調化した瀬を対照区とした(図1)。本流では介入区および対照区と同規模かつ単調化していない区間は確認できなかったことから、基準区は設定しなかった。

住居附沢川では、川幅の約半分の長さで河道の垂直方向の石組みを左右交互に計2基設置した瀬を介入区、介入区と環境条件が近いと考えられた介入区の約20m下流側に位置する瀬を対照区、対照区から約150m下流に位置する淵を基準区とした。住居附沢川介入区の石組みは担当者らが2名で介入区付近の河原の石を手作業で運び造成した(図2)。

生息環境の測定のため、各試験区ではチャンネルユニットの全長を測定後、全長を平均川幅の0.5倍ずつになるように分割した。河道の垂直方向については、左岸、左岸中心間、中心、右岸中心間、右岸に均等に5分割した。これらの分割点において、水深ならびに底層、中層および表層それぞれの流速および流向、底質の平均径を測定した。流向および底質は最小0、最大1になるように正規化した。住居附沢川においては各区内の溪流魚が利用できると考えられたカバーの数を計数し、また、各カバーの面積を、カバー入口の幅を底辺、奥行きを高さとした三角形に近似して求めた。

資源量について、本流では担当者1名が下流端から上流端に向けて潜水してジグザグに移動しながら目視を1回行い、区内の生息魚を種毎にカウントした。ヤマメについては持ち帰り可能サイズである全長15cmより大きい魚と15cm以下の魚を分けてカウントした。住居附沢川では区間の上下端にネットを張り、生息魚が区外に逸脱しないようにした後、電気ショッカーを用いて2パス法でサイト内の生息魚を採捕し、魚体測定および生息尾数の推定を行った。調査は、本流では5月17日、住居附沢川では介入操作を7月12-13日、介入後調査を9月5日と7日に行った。

本流における介入区および対照区の生息環境を表1に示す。介入区では対照区よりも水深が深く流速が小さい傾向であった。目視された生息魚はヤマメ、アユ、ウグイ、カワムツ、カジカおよびシマドジョウであった。生息魚のうち、ヤマメとアユの目視数および生息密度を表2に示す。いずれの魚種およびサイズでも介入区で目視数が高い傾向であった。

住居附沢川における介入操作後の介入区、対照区および基準区の生息環境を表3にそれぞれ示す。石組み1基あたりの河道に対して水平方向の長さ(厚さ)は約50cm、垂直方向の長さは約200cm、造成時間は10-12分であった。生息環境は対照区、介入区、基準区の順で水深が深く、カバー面積が大きい傾向であった。住居附沢川で採捕された魚はイワナ、ヤマメおよびカワサバであった。各区における介入操作後の魚の推定生息密度を表4に示す。介入区と対照区では生息密度に大きな差は認められなかった。一方、基準区の生息密度は他区よりも高かった。

本流では生息魚が介入区で多かった一方、支流である住居附沢川では生息魚の生息密度に差が認められなかった。これは住居附沢川の介入区では介入操作から2か月程度しか経過していなかったため、基準区ほどの複雑性が生じなかったこと、また、介入区の上流側も単調化が生じているため区外から区内へ移動してくる魚の数自体が少なかったことが要因であると考えられた。なお、石組みによる生息環境の複雑化は溪流魚の好適な生息場所をもたらすだけでなく、好適な再

生産の場や浮上稚魚のナーサリーとなっている可能性もある。したがって、今回石組みを行った支流においては介入操作を行った年だけでなく、翌年以降に介入区に定着した稚魚の資源量等を評価する必要がある。また、本流と支流それぞれ1事例のみの調査であることから、今後は他河川において繰り返し調査を行い、再現性を検証する必要がある。

(2) C&R 区の設定が溪流魚の資源量に与える影響に関する調査を、群馬県内を流れる吾妻川において行った。吾妻川の東部地区は令和4年11月24日まで東日本大震災に伴う原子力災害対策特別措置法に基づくヤマメ・イワナの出荷制限水域に指定され、吾妻川流域のうち、吾妻郡内を管轄する吾妻漁業協同組合（以下、吾妻漁協）はこの東部地区を事実上のC&R区として扱っていた。また、これらのC&R区における令和3-4年の溪流魚生息密度は有意に通常の入漁区よりも高かったことが明らかにされている。そこで、吾妻漁協が管轄する吾妻川のうち、現在は入漁区となっている東部地区を本調査における元C&R区、出荷制限の指定が元々なかった西部地区の通常の入漁区を対照区とし、それぞれの区における典型的な溪流魚漁場計6か所を調査サイトとした。調査では電気ショッカーを用いてサイト内に生息する溪流魚を採捕し、魚体測定、成熟の有無の確認および2パス法による生息尾数の推定を行った。

各区における未成熟魚および成熟魚の生息密度を表5に示す。元C&R区と対照区で未成熟魚および成熟魚の生息密度に差は認められなかった。したがって、溪流魚漁場におけるC&R区設定が解除された場合、遊漁者の持ち帰りによって元C&R区内の溪流魚の生息密度は1年で入漁区と同程度になることが示唆された。



図1. 神流川本流調査区間（赤枠内は介入区、黄枠内は対照区）



図 2. 住居附沢川介入区に設置した石組み

表 1. 神流川本流における生息環境（平均±標準偏差、水表面積のみ合計値）

区	介入区	対照区
水深 (cm)	30.1 ± 14.6	24.6 ± 6.2
底層流速 (cm/s)	18.6 ± 11.6	23.7 ± 11.0
中層流速 (cm/s)	38.2 ± 22.5	45.5 ± 15.6
表層流速 (cm/s)	45.7 ± 28.1	56.8 ± 20.0
底層流向	0.5 ± 0.6	0.5 ± 0.5
中層流向	0.5 ± 0.6	0.5 ± 0.5
表層流向	0.5 ± 0.6	0.5 ± 0.5
底質	0.6 ± 0.6	0.6 ± 0.6
川幅 (m)	8.3 ± 2.0	7.5 ± 1.5
水表面積 (m ²)	331.1	179.3

表 2. 神流川本流における生息魚の目視数および推定生息密度

区	項目	ヤマメ ≤15 cm	ヤマメ >15 cm	アユ
介入区	目視数 (尾)	18	7	223
	生息密度 (尾/km ²)	54	21	674
対照区	目視数 (尾)	2	1	59
	生息密度 (尾/km ²)	11	6	329

表 3. 住居附沢川における生息環境

(水表面積およびカバー面積は合計値、カバー個数は計数值、その他は平均±標準偏差)

区	介入区	対照区	基準区
水深 (cm)	7.1 ± 3.3	5.8 ± 2.4	14.7 ± 6.3
底層流速 (cm/s)	10.8 ± 9.2	10.4 ± 8.9	17.9 ± 12.7
中層流速 (cm/s)	13.7 ± 14.9	18.7 ± 14.3	29.2 ± 12.9
表層流速 (cm/s)	20.8 ± 26.2	20.3 ± 17.1	31.5 ± 16.1
底層流向	0.4 ± 0.6	0.5 ± 0.7	0.5 ± 0.6
中層流向	0.5 ± 0.6	0.5 ± 0.6	0.5 ± 0.6
表層流向	0.5 ± 0.5	0.5 ± 0.6	0.5 ± 0.6
底質	0.6 ± 0.6	0.6 ± 0.6	0.7 ± 0.7
川幅 (m)	2.9 ± 0.6	2.8 ± 0.7	1.4 ± 0.4
水表面積 (m ²)	23.5	15.4	5.8
カバー数 (箇所)	13	8	9
カバー面積 (m ²)	0.2	0.1	0.7

表 4. 住居附沢川における生息魚の推定生息密度

区	介入区	対照区	基準区
生息密度 (尾/m ²)	0.13	0.13	0.69

表 5. 元 C&R 区および対照区における生息密度 (平均±標準偏差)

区	生息密度 (尾/m ²)	
	未成熟魚	成熟魚
元 C&R 区	0.14 ± 0.09	0.04 ± 0.06
対照区	0.12 ± 0.08	0.05 ± 0.04

令和5年度 資源回復のための種苗育成・放流手法検討事業 報告

課題番号	エ(3)	事業実施期間	令和5年度
課題名	ニホンウナギ等内水面資源の生息状況調査・分析、資源増殖等の手法検討 (溪流魚)		
担当者	長野県水産試験場環境部 小松典彦		
分担者			

令和5年度の成果の要約：支流から下流へのイワナの移動（以下、しみ出し）がある河川について、それらを有効活用した漁場を創出することを目指した人工構造物を造成してその効果を検証するため、まず、造成前のイワナの資源状況を調べた。その結果、生息密度についてはやや低い値であった。また、浮上後間もない稚魚がほとんど発見できず、支流からのしみ出しが有効に活用されていないことが推察された。そこで、浮上後間もない稚魚の生息場所を造成することを主な目的として、河川内に人工構造物として単一のバープ工、大小のバープ工を平行に並べた構造群、大小のバープ工と逆向きのバープ工を交互に並べた構造群を造成した。これら構造物がイワナの定着にもたらす効果を調べるため、電気ショッカーにより構造物の周辺でイワナの採捕を行った結果、当歳魚、1歳魚以上ともに人工構造物を利用していることが分かった。浮上後間もない稚魚の人工構造物の利用については、翌年春に実施する予定である。

全期間を通じた課題目標及び計画：ウナギ等内水面資源について、産卵回遊が期待できる個体の検討や放流個体の産卵参加状況の把握を行うほか、生息環境の調査・分析などを通じて漁場環境に応じた資源増殖等の手法を検討することを目的とする。前事業である環境収容力推定手法開発事業において、種川である支流から下流へのイワナのしみ出しの実態を県内6河川で調査した結果、いずれの河川においても降下がみられたことから、しみ出しは一般的な現象であり、下流への資源添加が期待できることが分かった。しかし、近年は河床の平坦化などにより魚類の生息場所が少ないと考えられる河川もたびたび見られ、しみ出しがあったとしても降下魚が定着できないことが推察される。そこで、本研究では降下魚の生息場所の造成を試行し、野生魚の増加により有用な漁場となるか検証する。

当該年度計画：長野県大町市美麻を流下する土尻川を調査河川とした。土尻川の2支流（藤沢川および裏の沢）では前事業において、イワナのしみ出しがあることが確認されている。この2支流と土尻川の合流点から下流にある別の支流（片岡沢）と土尻川の合流点までのおよそ800mを調

査区間とし、4つ(A~D)に区切った(図1)。本年度はそれぞれについて、生息場所造成後の資源状況のデータと比較するため、造成前の資源状況のデータを収集した。また、前事業でしみ出していた全長2~3cm程度の浮上して間もないと考えられる稚魚(以下、浮上稚魚)の生息状況を目視で調査したところ、生息できる場所がほとんどないと推察されたことから、本年度は浮上稚魚の生息場所の造成を主な目的として、3種類の人工構造物の造成を試行することとした。

結果：

(1) 人工構造物の造成前資源状況調査

資源状況の調査は次の4つとした。①目視による浮上稚魚生息状況調査、②標識採捕法による生息密度の推定、③フライフィッシングによる釣獲調査、④しみ出しを再確認するための浮上稚魚降下状況調査。①については4~5月にかけて4回、②は6月、8月、10月に3回、③については6月と7月に2回実施した。なお、④については令和6年3月に実施する予定である。

目視により浮上稚魚の生息状況を調査した結果、調査区間全体の100㎡あたりの発見数は0.02~0.07尾であり、ほとんど発見することができなかった(表1)。標識採捕法による生息密度推定では、6月から10月にかけて生息密度が減少する傾向が見られた(図2)。長野県の溪流釣り場17カ所のイワナ・ヤマメ・アマゴを合わせた生息密度は0.05~0.67尾/㎡(中央値0.26尾/㎡)と報告されている(河野ら,2006)*が、今回の調査では生息密度が0.03~0.45尾/㎡(中央値0.11尾/㎡)であり、やや低いと言える。また、釣獲調査を実施して単位努力量当たりの釣獲尾数を算出した結果、1.0~2.4尾/人・時間(釣獲サイズ全長16.5cm~24.8cm(平均20.5cm))であった(表2)。

(2) 人工構造物の造成

浮上稚魚の生息場所を想定し、流速のほとんどない場所を創出するため、調査区間Dに3種類の人工構造物を10月に造成した(図3)。

造成には河川内にある人頭大程度の石を利用し、構造物①は4名で0.5時間程度、②は3名で1.5時間程度、③は4名で1時間程度と比較的短時間で作業が完了した。

いずれの構造物においても概ね造成して1週間後には流れがあまりない止水に近い場所が形成され、落ち葉等の堆積が見られた(図4)。造成1か月後には増水によりいずれの構造物も一部に崩壊が見られたが、2か月後もほぼ同じ状態のまま残存していた(図5)。

また、少数ではあるが、落ち葉や石の隙間などにイワナが目視で観察されることがあったため、12月に標識採捕法により調査区間Dの生息密度を推定するとともに、構造物の周辺のイワナの位置を調査した。その結果、人工構造物を造成した調査区間Dで採捕されたイワナ31尾のうち、構造物①に形成された深みで1歳魚以上のイワナ2尾(概ね全長15cm程度)、構造物②の石の隙間で当歳魚のイワナ2尾(概ね全長10cm程度)を採捕した。なお、推定された生息密度は0.04(95%信頼区間0.03~0.04)尾/㎡であった。

以上のことから、造成した人工構造物は少なくとも2か月間は構造がある程度維持され、当歳

魚から1歳魚以上まで利用することがわかった。なお、浮上稚魚がこれら構造物を利用するかどうかについては、翌年3月から5月頃にかけて目視による稚魚生息状況調査で調べる予定である。

*長野県水産試験場研究報告第8号

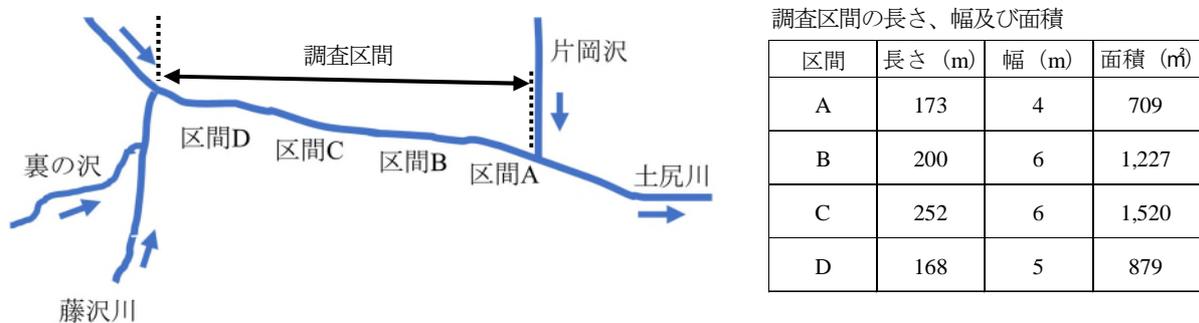


図1. 土尻川における調査区間の概略

表1. 目視による調査区間 100 ㎡あたりの浮上稚魚発見数 (尾/㎡)

調査日	区間				
	A	B	C	D	全体
4月13日	0	0	0	0.34	0.07
4月20日	0	0	0.07	0	0.02
5月12日	0	0	0	0.11	0.02
5月31日	0	0	0	0	0

表2. 釣獲調査における単位努力量当たりの釣獲数 (尾/人・時間)

調査日	区間				
	A	B	C	D	全体
5月24日	0	2.2	0	0	0.5
6月19日	2.0	0	1.0	2.4	1.3

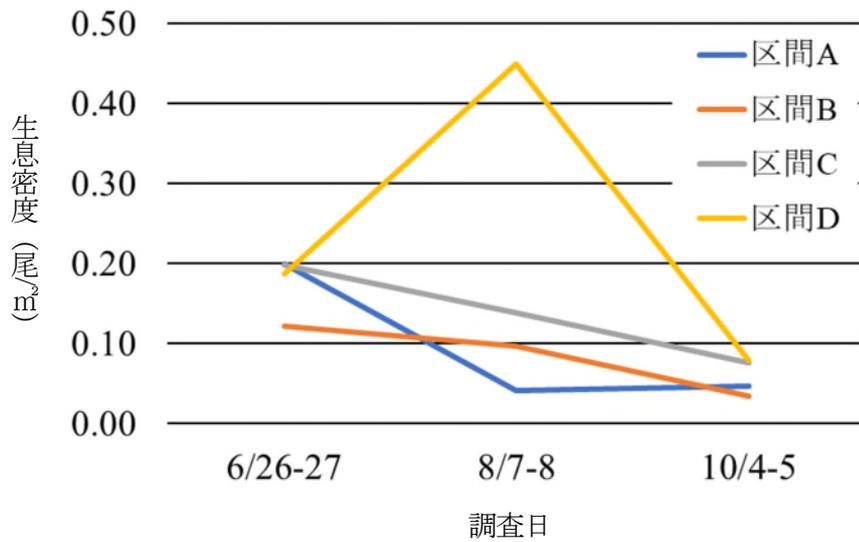


図2. 各調査区間におけるイワナの生息密度の推移

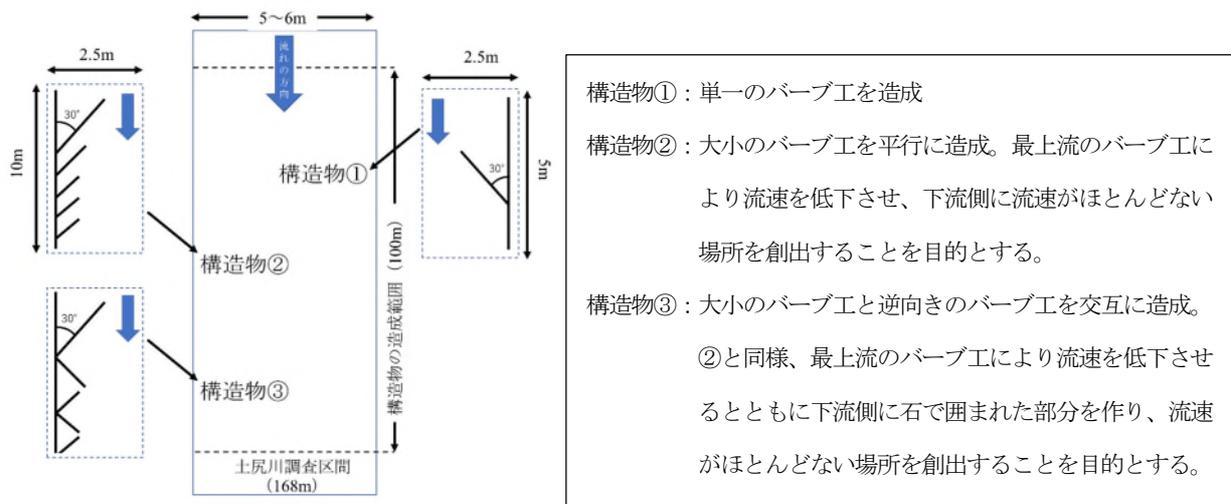


図3. 造成した人工構造物の概略



図4. 造成後1週間経過した人工構造物の様子



図5. 造成後2か月経過した人工構造物の様子

令和5年度 資源回復のための種苗育成・放流手法検討事業 報告

課題番号	エ(4)	事業実施期間	令和5年度
課題名	ニホンウナギ等内水面資源の生息状況調査・分析、資源増殖等の手法検討 (溪流魚)		
担当者	岐阜県水産研究所 岸大弼		
分担者			

令和5年度の成果の要約：当所は溪流魚の生育状況の改善を目指し、溪流へのバープ工の設置による物理環境の改善の試行、溪流魚人工産卵河川における産卵場整備の作業内容の整理およびコストの試算に取り組んだ。バープ工の調査は4河川で各3回実施し、水深・流速・河床材料サイズを測定した。また、標識放流したアマゴ稚魚の生残率を調査した。しかし、今回の調査では物理環境および稚魚ともにバープ工の有無による明瞭な差異は認められなかった。今後はバープ工の設置方法あるいは調査方法について再検討することが課題である。溪流魚人工産卵河川における産卵場整備の作業内容については5項目に整理した。また、産卵場の整備に要する労力は1㎡あたり3.51-3.58時間・人と試算された。

全期間を通じた課題目標及び計画：溪流魚（ヤマメ・アマゴおよびイワナ）は、内水面漁業の主要な対象魚種で、県内33漁業協同組合の8割以上に相当する27漁協が漁業権魚種に指定している。内水面漁業におけるもうひとつの主要な対象魚種であるアユと比較すると、溪流魚は採算性（入漁料収入／増殖事業経費）が良好であり、漁協の安定経営の鍵となる魚種として注目されている。

しかし、高度経済成長期以降、堰堤など人間活動に伴う環境改変によって溪流魚の生息状況は悪化しているのが実情である。そこで本事業のうち当所が分担する溪流魚の課題では、溪流魚の生育状況の改善に関する技術開発に取り組む。

当該年度計画：当該年度は、(1)溪流へのバープ工の設置による物理環境の改善の試行、(2)溪流魚人工産卵河川における産卵場整備の作業内容の整理およびコストの試算に取り組んだ。

(1)溪流へのバープ工の設置による物理環境の改善の試行は、岐阜県の本曾川水系池谷・池谷支流・松尾谷・富田川に5～7mの調査区間を設定して実施した。池谷支流と富田川はバープ工を設置する介入区、池谷と松尾谷は対照区とした。調査はバープ工設置前・設置後・撤去後の3回実施した。調査項目は水深・流速・河床材料サイズ（砂：1、小礫：2、中礫：3、大礫：4、巨礫：5）とし、池谷では縦横50cm間隔（58-59箇所）、池谷支流では縦横30cm間隔（121-131箇所）

所)、松尾谷では縦横 25cm 間隔 (125-132 箇所)、富田川では縦横 50cm 間隔 (48-53 箇所) で測定して河川ごとに平均値を算定した (4 地点 3 回の調査でのべ 1,094 箇所)。また、設置前・設置後・撤去後の各回の調査の 1 週間前に養殖アマゴ稚魚を 20 尾ずつ放流し、各調査日に個体数推定を実施して生残率を調査した。設置前の放流群は脂鰭、設置後の放流群は左腹鰭、撤去後の放流群は右腹鰭をそれぞれ切除して標識とした。

設置前の水深・流速・河床材料サイズおよび放流したアマゴ稚魚の調査は 10 月 3・5 日に実施した。その実施後、池谷支流と富田川では現地にある大礫や巨礫を使用してバープ工を 2 基ずつ人力で設置した。設置後の調査は 10 月 16・18 日に実施した。その実施後、池谷支流と富田川ではバープ工を撤去した。撤去後の調査は 10 月 30 日または 11 月 1 日に実施した。

(2) 溪流魚人工産卵河川における産卵場整備の作業内容の整理およびコストの試算では、過去の関連データの再解析を実施した。再解析には石徹白川人工産卵河川 (平成 29 年 9 月 24 日) および蒲田川人工産卵河川 (同 10 月 28 日) のデータを使用し、作業内容について整理した。また、整備コストの指標として、産卵場 1m²あたりの整備に要する労力を試算した。

結果：

(1) バープ工に関する調査結果は下表の通りであった。

表 1. バープ工の設置前・設置後・撤去後の物理環境の平均±標準偏差および放流したアマゴ稚魚の生残率

項目	調査	介入区		対照区	
		池谷支流	富田川	池谷	松尾谷
水深 (cm)	設置前	6.4±3.0	11.4±8.3	6.3±2.4	8.8±3.0
	設置後	7.1±3.0	11.5±8.0	8.9±3.0	8.2±3.3
	撤去後	4.6±2.1	10.8±6.4	6.7±2.3	7.2±3.1
流速 (cm/s)	設置前	21.0±9.9	27.2±16.8	16.8±11.6	36.5±22.9
	設置後	23.3±13.2	27.3±20.5	17.9±12.3	34.5±26.6
	撤去後	13.8±7.2	26.0±16.4	11.7±9.9	26.7±20.5
河床材料 サイズ	設置前	2.1±0.9	2.5±1.2	2.4±0.9	2.9±1.1
	設置後	2.1±0.7	2.6±1.5	3.0±1.0	2.8±1.2
	撤去後	1.9±0.7	2.6±1.3	2.6±1.2	2.7±1.3
生残率 (%)	設置前	0	0	0	0
	設置後	0	0	5.0	10.0
	撤去後	0	5.0	0	0

今回の調査では物理環境および稚魚ともにバープ工の有無による明瞭な差異は認められなかった。今後はバープ工の設置方法あるいは調査方法について再検討することが課題である。

(2) 溪流魚人工産卵河川における産卵場整備の作業内容については下図のように整理された。

	<p>1. 底面の清掃</p> <p>人工産卵河川は自然河川と異なり、出水の心配がないことが長所である。しかし、出水がないため、底面に堆積した土砂が流下しないことが短所である。そうした土砂を除去するため、水中ポンプ・鋤簾・ショベルで底面を清掃する。</p>
	<p>2. 礫の回収</p> <p>前年の整備作業で敷設した礫を回収する。回収した礫は再使用するため、現場付近に仮置きしておく。</p>
	<p>3. 大きめの礫による堰き上げ</p> <p>整備地点の下流側に大きめの礫（礫径 30-50cm 程度）を並べて堰き上げる。この時点での水深は 30-40cm が目安である。</p>
	<p>4. 中くらいの礫の敷設</p> <p>整備地点の底面に中くらいの礫（礫径 10-15cm 程度）を敷設する。敷設する際の層の厚さは 10cm 程度が目安である。</p>
	<p>5. 小さめの礫の敷設</p> <p>上記 4 で敷設した中くらいの礫の上層に小さめの礫（礫径 1-3cm 程度）を敷設する。敷設する際の層の厚さは 5-10cm 程度が目安である。</p>
	<p>6. 完成</p> <p>整備後、翌年の秋までには再び土砂が堆積する。そのため、翌年も上記 1-5 の整備作業があらためて必要となる。</p>

図 1. 溪流魚人工産卵河川における産卵場整備の作業の流れ

上記の図の作業 1-5 に要するコストについては下表のように試算された。石徹白川と蒲田川では整備面積や従事者数といった条件は異なるが、1m²あたりの整備に要する労力は類似していた。

表 2. 産卵場の整備作業に要する従事者数・作業時間・1m²あたりの整備労力

人工産卵河川	整備地点数	整備面積	従事者数	作業時間	1m ² あたりの整備労力
石徹白川	10 箇所	19.58m ²	28 人	2.5 時間	3.58 時間・人
蒲田川	18 箇所	30.75m ²	47 人	6.0 時間	3.51 時間・人

令和5年度 資源回復のための種苗育成・放流手法検討事業 報告

課題番号	エ(5)	事業実施期間	令和5年度
課題名	ニホンウナギ等内水面資源の生息状況調査・分析、資源増殖等の手法検討 (溪流魚)		
担当者	滋賀県水産試験場 幡野真隆		
分担者			

令和5年度の成果の要約：溪流魚の生息環境改善を目的として、砂防堰堤により平坦化した溪流漁場において人力で設置可能な規模の石組みを設置し、その環境変化や溪流魚の定着状況を調査した。石組みは集中的な降雨による出水で流失した場合もあったが、残存した場合は石組みの設置によって平坦で単調な地形や流れの環境から起伏があつて流れの複雑な環境に変化した。また、連続して残存した石組みがあれば溪流魚の生息場所として機能することが示唆された。

全期間を通じた課題目標及び計画：溪流魚の生息環境は長年にわたる人工工作物の設置による改変や、頻発する記録的な降雨による土砂の流入等により大きく損なわれている。溪流魚資源の維持回復には生息環境の改善が必要であるが、生息環境改善を主目的とした大規模な工事等の実施は容易ではない。そこで、本課題では人力で設置可能な規模の石組みや土木工事等の際に設置された投石等の効果を調査する。また、生息環境が改善された場所には上流からの資源供給が想定されるため、増殖した資源の下流への資源添加構造を調査することにより、溪流魚の増殖効果の検討を行う。

当該年度計画：渓流域において砂防堰堤の設置により平坦化した区間において、人力で設置可能な規模の石組みによる溪流魚の生息環境の創出効果を評価する。高時川水系大谷川の1か所および姉川水系足俣川の2か所（上流区、下流区）に調査区間（50-60m）を設けて（図1）、石組みの設置前と石組み設置後の数か月後に区間内の測量調査（地盤高、水深、流向流速）を行う。またイワナ当歳魚を放流して石組みへの定着状況を評価する。

結果：

(1) 大谷川の調査区間60mのうち下流側30mを試験区、上流側30mを対照区とした。試験区には河川内にある石を用いて、河岸から流心に向かって上向き（バープ工）の石組みを3か所、下向きの石組みを3か所設置した（図2、表1）。足俣川上流区では調査区間50mのうち下流25mを試験区、上流25mを対照区とし、上向きの石組みを2か所、下向きの石組みを1か所設置し

①高時川水系大谷川 ②姉川水系足俣川



図1 調査区間の位置と外観

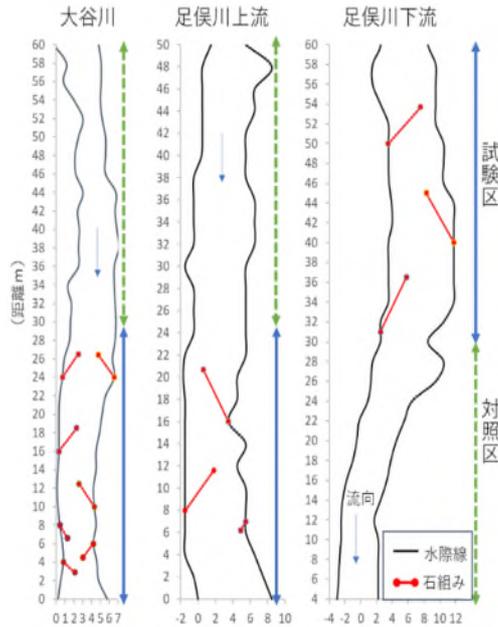


図2 設置した石組みの概略図

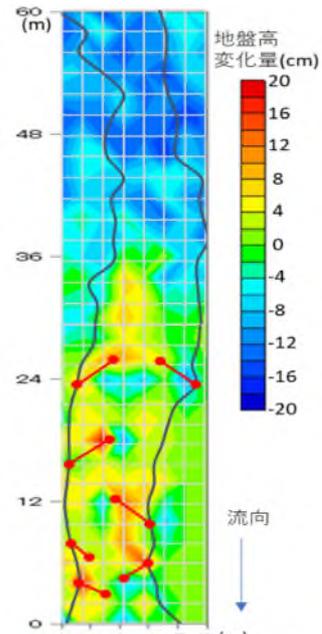


図3 大谷川の地盤高の変化

た。足俣川下流区では調査区間 56m のうち上流 30m を試験区、下流 26m を対照区とし、上向きの石組みを 3 か所設置した。調査区間の全体で石組みの設置前と設置後に区間の下流端から上流へ 2m 毎に横断方向の測線を設け、測線上 1m 毎に地盤高、水深、60% 水深の流向流速を測定した。

大谷川では調査期間中、連続して 100mm 以上の降雨が 2 回あり石組みの一部が崩れたものの、概ね元の形状を保っていた。地盤高は設置前には全体的に平坦であったものが、試験区間内の石組みの周辺で土砂の堆積による上昇や洗堀による低下で高低差が生じた (図 3)。また、試験区内

表 1 調査河川の概要

	大谷川	足俣川上流	足俣川下流
調査区間長	60m	50m	56m
平均川幅	4.3m	6.5m	6.6m
勾配	1.8%	0.9%	0.9%
設置前測量調査	6月26日	6月13日	6月6日
石組み設置	6月28日	6月19日	6月19日
イワナ放流	7月7日	7月7日	7月7日
採捕調査	9月7日	10月12日	10月12日
事後測量調査	9月12日	10月19日	10月17日

表 2 大谷川の調査区間内の流向

		測点合計	±45° 以上	%
設置前	試験区	65	2	3.1%
	対照区	48	1	2.1%
設置後	試験区	55	8 *	14.5%
	対照区	48	0	0.0%

*P<0.05

の流向は流路方向から左右 45° 以上変化した測点が設置後に増加していた（カイ二乗検定、 $P<0.05$ 、表 2）。このことから石組みの設置によって平坦な地形や流れの環境から流れの複雑な環境に変化したと考えられた。しかし、流れの変化を評価できなかった石組みもあり、評価方法を再検討する必要がある。足俣川では 8 月 15 日から 17 日にかけて河床が侵食されるほどの集中的な降雨があり、石組みの多くが流失した。そのため設置前後での物理的環境変化の比較を行うことはできなかった。

(2) 石組みへの溪流魚の定着状況を評価するため、イワナ当歳魚を調査区間内に分散放流し、測量調査前に調査区間を 10m 毎に区切って電気漁具により 2 パス除去法による採捕調査を行った。大谷川に放流したイワナ当歳魚は調査区間内の試験区、対照区ともに採捕されなかった。大谷川の採捕調査時は水量が少なく、イワナの定着が期待された石組みの下流側は水深が 5cm 程度とかなり浅くなっていたため、イワナの定着に適していなかった可能性がある（図 3）。しかし、石組み周辺は流れが緩やかで落ち葉が堆積するなど浮上稚魚の生息環境として期待されることから、今後浮上稚魚の定着状況を調査していく必要がある。足俣川上流区では石組みがほぼ流失したこともあって設置区内でイワナは採捕されなかった。一方、足俣川下流区では 1 か所のみ 1.7m 程度の石組みが残存した区間で計 10 尾のイワナが採捕され、うち 6 尾は石組み周辺で採捕された。この石組みは下流側の水深が約 18cm と他の石組みよりも深かった（図 3）。1 例のみではあるが、生息場所としての水深があって連続して設置された石組みであれば生息場所として機能することが示唆された。今後は溪流魚の生息場所として機能する石組みの大きさや形状、水深などの設置条件を検討していく必要がある。

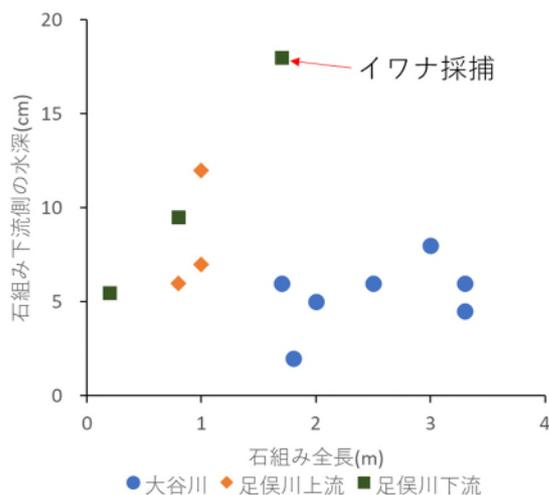


図 3 採捕調査時の石組み全長と下流側の水深

令和5年度 環境収容力推定手法開発事業 報告

課題番号	エ(1)	事業実施期間	令和5年度
課題名	ニホンウナギ等内水面資源の生息状況調査・分析、資源増殖等の手法検討 (ワカサギ)		
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			

令和5年度の成果の要約： ワカサギ仔魚の耳石の発色強度について、目視評価を行った同サンプルを用いてRGB値による標識判定を行ったところ、1（見えない）の指標となるRGB値10以下のサンプルは存在せず、目視判定による標識率100%の結果を裏付ける結果となった。稚魚サンプルの耳石発色強度の判定においても、目視評価の妥当性をRGB値によって客観的に支持する結果となった。

全期間を通じた課題目標及び計画： 湖沼等の環境とワカサギの生息状況に係る知見を収集・分析し、漁場環境に応じた資源の適切な増殖手法等について検討する。

当該年度計画： 天然色素を使用した標識技術の開発：食の安心・安全のため、従来使用されてきたALCよりも安全性が高いと考えられる天然色素剤コチニールを用いた大量耳石染色とその放流技術を開発する。本年度は湖での大量標識放流に取り組むため、長野県水産試験場と山梨県水産技術センターの協力のもと、ワカサギ卵の標識・放流後の仔魚、稚魚そして成魚のサンプルを用いて標識の確認を行った。なお、従来行われてきた目視による標識評価は、主観的な判断に委ねる部分が多く、客観性の担保が課題となっていた。このため、画像解析ソフトを用いた耳石の発色強度の測定も並行して行った。

結果：

(1) 耳石標識の評価には、検鏡時に目視による4段階評価（1. 見えない、2. ぼんやり見える、3. 見える、4. 強く発光する）を行うと共に、撮影した写真から画像解析ソフトを用いて耳石の平均RGB値を測定した。なお、耳石発色の目視評価を行う際、以下の点に気を付けて検鏡を行った。①耳石の表裏を確認し、溝の無い面（外側）を観察すること、②顕微鏡の倍率を200倍にして蛍光顕微鏡下で励起光（G励起）を照射しながら速やかに核にピントを合わせること。

(2) 長野県水産試験場が耳石標識を施した仔魚サンプルを用いて、耳石の発色強度を評価するためRGB値の測定と目視評価を行い、両者の結果を比較した。目視評価の結果、55サンプルのす

べてが評価2（ぼんやり見える）、3（見える）、4（強く発光する）のいずれかに判別され、1（見えない）は確認されず、耳石の標識率が100%を示した。目視評価を行った同サンプルを用いてRGB値による標識判定のダブルチェックを行ったところ、RGB判定においても1（見えない）の指標となるRGB値10以下のサンプルは存在せず、目視判定による標識率100%の結果を裏付けるものとなった。RGB値と目視判定結果を比較すると、両者に有意な正の相関（ $R^2=0.41$ ）が認められた。目視判定の結果を評価するため、目視判定により4段階評価（1. 見えない、2. ぼんやり見える、3. 見える、4. 強く発光する）したサンプルのRGB値の測定を行った。その結果 [本実験では1（見えない）は確認されていないので、事実上は3段階評価の比較]、2, 3, 4段階の全ての組み合わせで有意差が認められた（2-3, 2-4, 3-4, いずれの区間においても $p < 0.05$ 、Tukey検定）（図1）。これらの結果から、RGB値を用いることで、本研究における目視による判定の妥当性と客観性を示すことができた。一方で、評価3については、他の段階よりもばらつきが大きい傾向が認められ、仔魚サンプルの標識発色評価のダブルチェックを行う際には、まずは評価3に注目する必要があると考えられた。

（3）長野県水産試験場が美鈴湖で採集した稚魚サンプルのRGB値を測定するとともに目視評価を行い両者の結果を比較した。目視評価の結果、25サンプルのうち44%が1（見えない）に評価され、残りの56%が2（ぼんやり見える）、3（見える）に判定された。なお稚魚サンプルで4（強く発光する）に評価したサンプルは無かった。RGB測定値と目視判定結果を比較すると両者に有意な正の相関（ $R^2=0.71$ ）が認められた。目視判定の結果を評価するため、目視により4段階評価（1. 見えない、2. ぼんやり見える、3. 見える、4. 強く発光する）したサンプルのRGB値の比較を行った。その結果 [本実験では4（強く発光する）は確認されていないので、事実上は3段階評価の比較]、1, 2, 3段階の全組み合わせのうち1-3, 2-3の組み合わせで有意な差が認められた（ $p < 0.05$ 、Tukey検定）（図2）。1-2の組み合わせで有意差が認められなかった要因として、評価2に判定されたサンプル数が極めて少ないことが挙げられる。実際、評価1（見えない）に評価されたサンプルのRGB値は、5以下を示したが、2（ぼんやり見える）に評価されたサンプルのRGB値はいずれも10以上であった。また3（見える）に評価されたサンプルの最高値が102.2であり、仔魚サンプルを検鏡した際の目視評価3の四分位範囲内の範疇であり、RGB値においても4と評価できるサンプルは無かったことが裏付けられた。これらの結果から、稚魚サンプルの耳石発色強度の判定においても、目視評価の妥当性をRGB値によって客観的に示すことができた。

（4）目視で3（見える）と評価した仔魚サンプルと稚魚サンプルのRGB値を比較した結果、両者間に有意差は認められなかった（ $p > 0.05$ 、Student-t検定）（図3）。しかし、稚魚サンプルでは仔魚サンプルよりも中央値や平均値がやや低いことや、稚魚サンプルでは評価4（強く発光する）が認められなかったことから、標識後の経過時間と共に発色強度が減衰した可能性は否めない。しかし、本調査では稚魚サンプルの数が少ないことから、今後、稚魚のサンプリング技術の開発を進めて、標識効果についてより精度高く考察ができるようになることを期待したい。

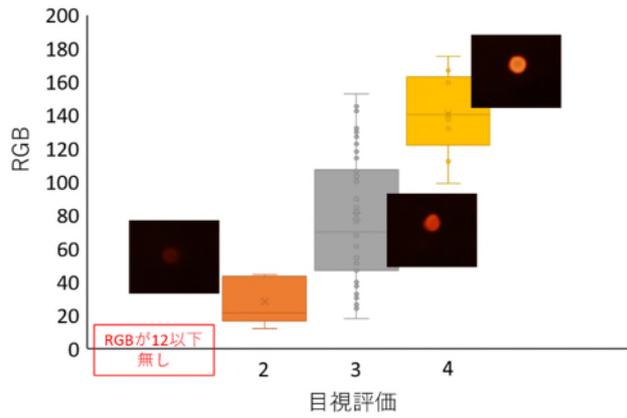


図1. 耳石サンプル（ワカサギ仔魚）の RGB 値と目視評価結果の比較

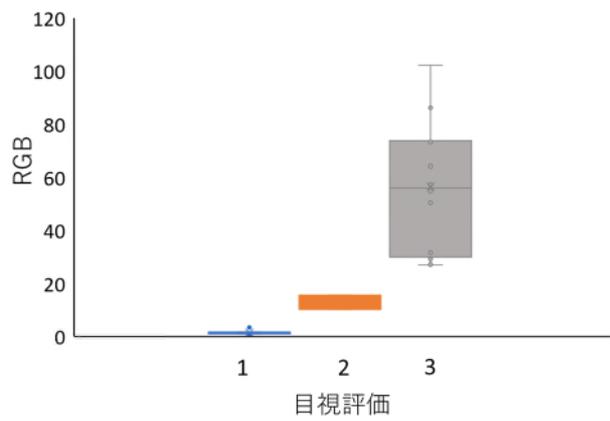


図2. 耳石サンプル（ワカサギ稚魚）の RGB 値と目視評価結果の比較

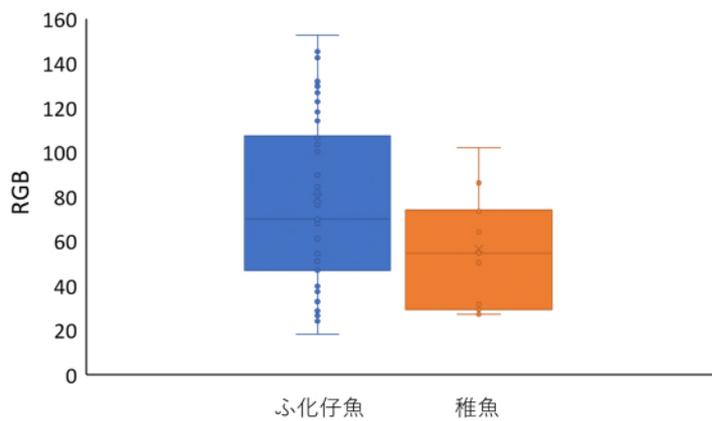


図3. ふ化仔魚と稚魚における耳石サンプルの RGB 値の比較

令和5年度 ニホンウナギ等内水面資源の生息状況調査・分析、資源増殖等の手法検討
(ワカサギ) 報告

課題番号	エ(2)	事業実施期間	令和5年度
課題名	ニホンウナギ等内水面資源の生息状況調査・分析、資源増殖等の手法検討 (ワカサギ)		
主担当者	茨城県水産試験場 山崎幸夫		
分担者			

令和5年度の成果の要約：

霞ヶ浦・北浦におけるワカサギ資源の変動要因を明らかにするために、ふ化後初期の生活時期に着目して、耳石日周輪解析を行った結果、ふ化日・ふ化のピーク時期と、初期の成長速度は年級毎に異なることが確認された。ワカサギの初期餌料となるワムシ類の3・4月の分布密度は、沖合水域において2016年以降減少傾向にあり、ワカサギ資源の減少動向と同様の傾向を示したが、湖岸水域の同時期のワムシ類の分布密度の変化動向とは明瞭な関係がみられなかった。定置網による湖内の魚類採取調査では、アメリカナマズ、スズキの現存量が多かったことから、それらの食性を鑑みると、小型魚類への食害の影響が大きい可能性が示唆された。

全期間を通じた課題目標及び計画：

ワカサギは、霞ヶ浦・北浦の重要な水産対象魚種である。ワカサギの漁獲量は2000年以降17～520トンと年変動が大きく、近年では2015年以降、減少傾向が続いている(図1)。特に2019年以降は湖内の水温が夏季に30℃を超える日が多くなり、この期間に資源が減耗したことがその後の資源の減少に影響していると考えられるが、2015年以降から続いている資源の減少要因や、北浦においては2019年以降ワカサギのみならずシラウオやエビ類も急激に減少している要因の解明が急務となっている。そこで、本事業ではワカサギの資源変動要因を解明するため、耳石の日周輪解析によるふ化時期の推定と初期の成長解析、餌料環境等との関係、ワカサギを捕食する魚類との関連性を明らかにするために調査、検討を実施した。

当該年度計画：

(1) 耳石日周輪解析 初年度のR5年度は資源の減少が著しい北浦を対象とし、漁獲量減少の開始年である2015年級、親魚量に対する翌年の加入量(重量ベース)割合が悪い2016年級と割合の良い2020年級の3つの年級群について耳石日周輪解析を実施した。

(2) **動物プランクトン分布密度の年変動の把握** 湖内の動物プランクトン分布密度の年変動を把握するため、霞ヶ浦・北浦の両湖において、沖合水域は調査船による月1回の採水を、湖岸水域は陸上からの採水（産卵期の3月に週1回）を実施し、動物プランクトンを計数して分布密度を算出するとともに、ここ数年の分布密度の変動を検討した。

(3) **漁獲資源の分布量調査** 霞ヶ浦・北浦の両湖において、定置網による魚類採集調査を年4回実施し、魚類相、特にワカサギの捕食者となる魚類の分布量を把握した。

結果：

(1) **耳石日周輪解析** 耳石の輪紋数から推定したふ化日は、3月14日から4月24日の範囲で、そのピークは、2015年級が3月下旬、2016年級は4月中旬、2020年級が3月中・下旬であり、年級により約1か月のずれが確認された（図2）。また、輪紋の間隔から、ふ化から採捕日までの成長履歴を計算し、10日ごとの成長速度を比較した結果、3つの年級とも同様な傾向を示し、ふ化時期に関係なく、ふ化から5月10～20日までの期間増加し、その後、横ばい・減少になる傾向が確認された。さらに、ふ化時期が遅い群ほど初期の成長速度が早い傾向が確認された（2020年の例を図3に示す）。

(2) **動物プランクトン分布密度の年変動の把握** 沖合水域の動物プランクトン分布密度は2016年以降に減少傾向が認められた。ワカサギの初期餌料として重要と考えられるワムシ類について3、4月の分布密度の経年推移をみると、霞ヶ浦・北浦ともに2016年に著しい分布密度の低下がみられ、その後、北浦では2018年以降に、霞ヶ浦では2020年以降に、さらに分布密度が低下し、以降低密度に推移している（図4）。また、北浦湖岸域のワムシ類の分布密度を、耳石日周輪解析を実施した3カ年で比較すると、2015年は分布密度が高かったが、2016年と2020年は2015年の半分以下の密度で推移した（図5）。

(3) **漁獲資源の分布量調査** 霞ヶ浦・北浦において定置網漁獲物調査を12月までに3回実施した。霞ヶ浦における結果を魚種別の重量比でみると（図6）、各回ともにアメリカナマズとスズキが80%以上を占めていた。同様に尾数比では、5月はシラウオ、アユが、9月はモツゴ、オイカワが、12月はシラウオの割合が多かった。また、アメリカナマズ、スズキの胃内容物からは魚類の消化物が確認された。

(4) **ワカサギの変動と各要因との関係** ワカサギの初期生残に関係すると考えられるワムシ類の分布密度は、沖合水域において2016年以降に減少しており、ワカサギの減少の動向と同様な傾向を示している。一方で、ワカサギのふ化時期は年により違いがみられたが、産卵域である湖岸域の餌料分布密度とふ化のピーク時期、成長速度については、再生産の良否との関連性についての解明まで至らず、今後、解析事例を増やし、検討していく必要がある。また、湖内でのアメリカナマズ、スズキ等の分布量が多いことから、ワカサギ等の有用水産資源を相当量捕食している可能性が高いことから、今後、モニタリングを継続するとともに、過去の状況と比較し、その影響について検討する必要がある。

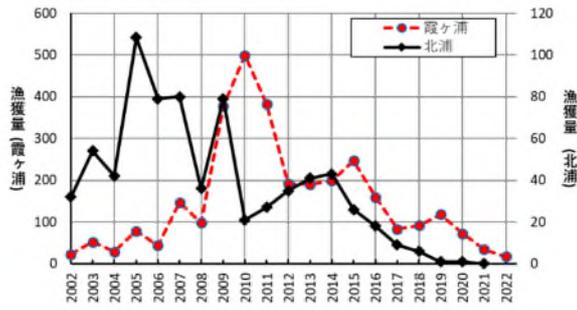


図1. ワカサギ漁獲量の推移

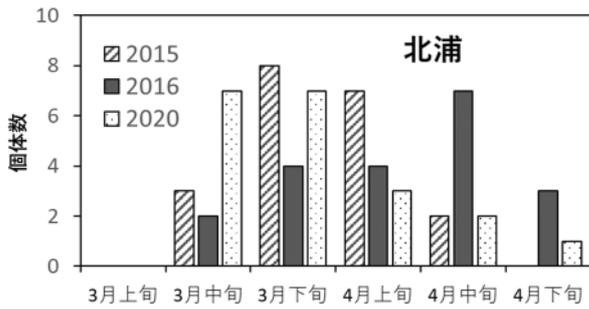


図2. 耳石輪紋数から推定したふ化日

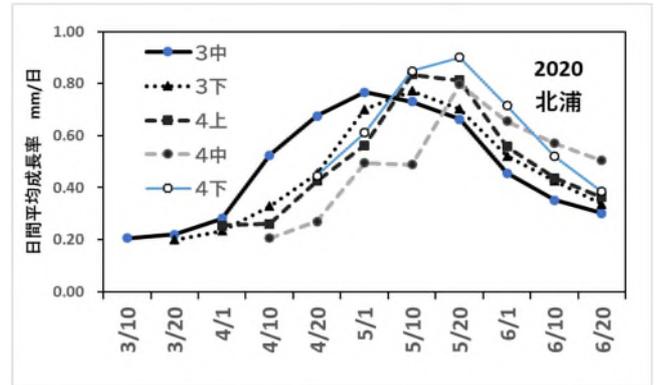


図3. 耳石輪紋間隔から計算した初期成長 (2020年サンプルの例)

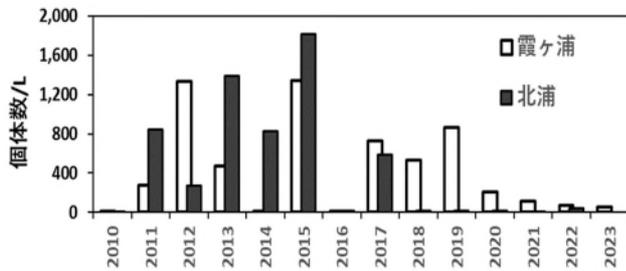


図4. 沖合域の3・4月のワムシ類分布密度の動向

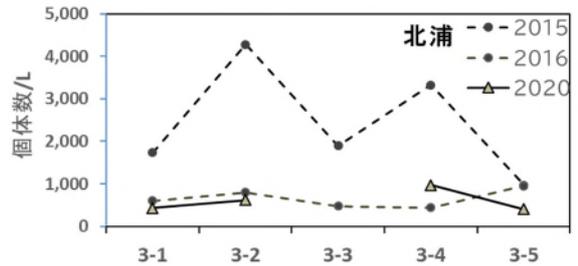


図5. 北浦湖岸域の3月のワムシ分布密度

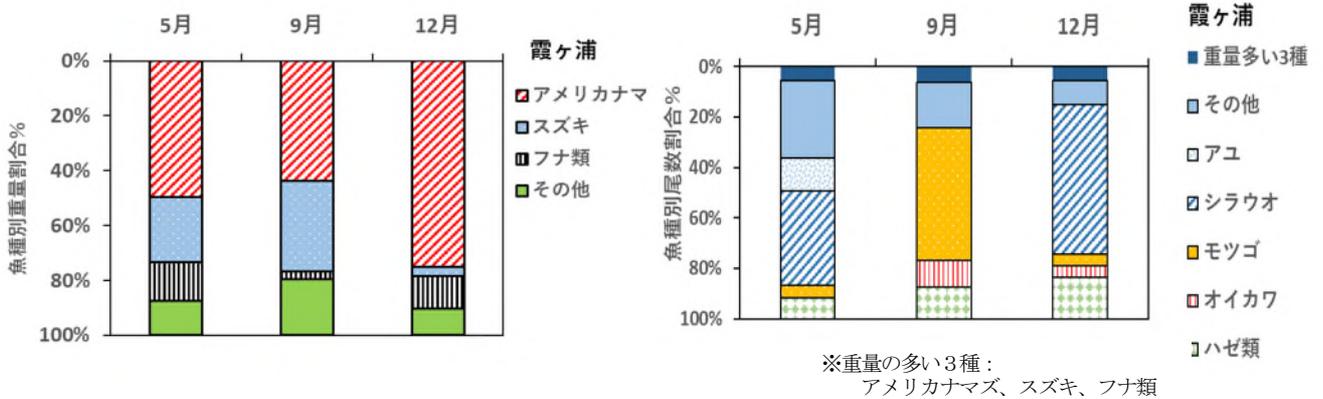


図6. 定置網で漁獲された魚種の重量比 (左図) と尾数比 (右図) (霞ヶ浦の結果)

令和5年度 資源回復のための種苗育成・放流手法検討事業 報告

課題番号	エ (3)	事業実施期間	令和5年度
課題名	ニホンウナギ等内水面資源の生息状況調査・分析、資源増殖等の手法検討 ワカサギ		
担当者	山梨県水産技術センター 小澤 諒		
分担者	谷沢弘将、芦澤晃彦		

令和5年度の成果の要約：天然色素を用いたワカサギ標識技術の実用化を目指し、最適な標識処理条件及び天然水域での簡易的な放流技術の開発について検討した。染色時の最適な処理卵数を検討するため、染色液 500mL に対しワカサギ卵 5、10、15、20 万粒の区を設け、さらに大量標識区として染色液 5L に対し卵 50 万粒の区を設定した。その結果、染色区の正常ふ化率が対照区と比較し低下したが、これは染色前のショ糖処理が影響している可能性が推察された。また、染色区のワカサギ耳石の発光強度については、染色液 500mL 当たりの処理卵数が増加することによる発光強度の低下はみられなかった。大量標識試験に当たっては令和4年度では染色液 6L に対し卵 150 万粒で統一したが、これは 500mL に換算すると 12.5 万粒であるが、今回の試験からは、この染色液量と卵数の組み合わせに特段問題点は見出せなかった。また自作放流器具を用いて、天然水域での放流を試みたが、試験中にポータブル電源の故障で放流器具内の循環が停止したことで、内部のワカサギ卵の異常ふ化と死亡が確認された。今後実用化に向け、使用するポータブル電源について種類や設置箇所等検討の余地がある。

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であり、内水面漁業において重要な位置付けにある。さらに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、遊漁対象種として益々期待が高まっている。一方、ワカサギの増殖効果については知見が乏しく、安定的な資源管理を維持する上で課題となっている。放流効果や資源量推定を行うためには、標識放流法が有効であるが、特にワカサギの卵や仔稚魚の体サイズが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適切と考えられる。また、従来魚類の耳石標識にはアリザリンコンプレクソン (ALC) が標識剤として使用されてきたが、食の安全・安心等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とその放流手法の技術開発を行うこととする。

当該年度計画：昨年度までに、天然色素剤コチニールによる耳石標識技術の確立に向けた標識条件等を検討し、ワカサギ発眼卵をコチニール 60g/L 溶液中に 24 時間浸漬することで標識発光強度とふ化率のバランスが良くなること、発光強度 3 以上であれば 1 年以上標識が維持されること、

ショ糖による標識前処理により発光強度が向上することなどが実験的に判明した。一方、実用化に向け R3～4 年にかけて自作染色容器を用いて、染色液 6L に対し、卵 10～356 万粒（R4 年は 150 万粒/6L に統一）で大量標識試験を実施した結果、発光強度及びふ化率が不安定になるという課題も残された。そこで本年度は、まず 1L 容の容器を用い染色液 500mL に対し、卵を 5、10、15、20 万粒の試験区を設定し、卵数と染色液量の最適な組み合わせを検討する（R4 年の 150 万粒/6L は染色液 500mL に換算すると卵 12.5 万粒）。また、再度自作染色容器による大量標識を実施するほか、簡易的な放流技術の開発に着手するなど、今後の実用化を見据えた試験に取り組む。

結果：

（1）ワカサギ発眼卵を 21% ショ糖液処理後、染色液 500ml を入れた 1L 容の容器中に卵 5、10、15、20 万粒を各々入れ、プロアーとエアーストーンにより曝気し 24 時間 15℃ 下で染色処理した。また対照区として各々非染色区を設けた。24 時間後、各区から 300 粒を取り出し、300mL 容の容器に井水と共に収容し 15℃ でふ化まで管理した（図 1）。正常ふ化率は対照区が 92.4～96.8% であったのに対し、染色区は 5、10、15、20 万粒区の順に、30.0%、35.7%、43.3%、44.3% となり、処理卵数の増加によるふ化率の低下はみられなかったものの、対照区と比較しふ化率が低下した（表 1）。長野県水産試験場の過去の報告からショ糖処理によるふ化率の低下が示唆されており、本試験においてもショ糖による脱水処理とその後の染色処理という一連の処理がふ化に悪影響を与えている可能性が推察された。また、染色区は対照区と比較し、ふ化率の低下以外にふ化開始から終了までの期間の長期化や奇形魚もみられた。

（2）各区で産まれたふ化仔魚は検鏡に供するまで -80℃ 下で凍結保存した。耳石標識の発光強度の評価は検鏡時の目視による 4 段階評価（1. 見えない、2. ぼんやり見える、3. 見える、4. 強く発光する）とした。各区約 30 尾を評価した結果、染色区の発光強度 3 以上率は 5、10、15、20 万粒区の順に 76.0%、52.9%、68.2%、54.0% となった。また染色前のショ糖による脱水処理やそれが原因と考えられるふ化率の低下から発光強度の向上が期待されたが、全ての染色区において全く標識されていない評価 1 のものが 2.3～16.0% 確認された。なお、対照区は全て評価 1 だった。また、今回行った処理卵数に限れば、卵数によって発光強度がバラついたものの、卵数の増加に伴う発光強度 3 以上率の割合が下がる傾向はみられず、R4 年の大量標識試験で実施した 150 万粒/6L 処理において、特段処理卵数の過多という問題はないものと推察された。

（3）実用化を狙い、大量標識試験として自作染色容器を用いた染色を実施した（図 2）。（1）で実施した試験のなかで最低密度である 5 万粒/500mL 区をもとに、染色液 5L に対し卵 50 万粒を入れて染色した。染色後 200 粒を抽出しふ化まで管理したところ、正常ふ化率は 10.5%、耳石標識の発光強度 3 以上率は 45.0% となり、（1）で実施した小規模での実験と比較し、正常ふ化率、発光強度ともにやや低下する傾向があった（表 1）。

（4）筒型ふ化槽を持たない漁業協同組合等に、簡易的な放流技術を開発し提案するための試験として（3）で染色した卵を、県内の野池に設置した自作放流器具に投入した（図 3）。この器具

はソーラーパネルとポータブル電源で作動し、卵管理から放流までできるものとなっていたが、試験中にポータブル電源のトラブルにより、放流器具内の水循環が停止し、内部の水温上昇による異常ふ化や死卵が発生した。放流したワカサギを定期的にサンプリングし、発光強度を調べる予定だったが、その後、集魚トラップにより捕獲されなかったことから容器内で全滅したと考えられた。実際に現場で使用する場合には、ポータブル電源の種類や設置箇所の選定を十分に行うこと、また予備電源を準備するなどのトラブル対策が必要である。



図 1. 1L 容の容器を用いた染色（下段）
及び染色処理後のふ化までの保管（上段）



図 2. 自作染色容器による大量標識

表 1. 標識卵の正常ふ化率と耳石の発光強度

染色試験区	処理方法		正常ふ化率(%)	検鏡尾数	発光強度					標識率(%)
	cochineal	ショ糖前処理			1	2	3	4	3以上率(%)	
5万粒/500mL	60 g/L	○	30.0	50	5	7	38	0	76.0	90.0
10万粒/500mL	60 g/L	○	35.7	51	6	18	27	0	52.9	88.2
15万粒/500mL	60 g/L	○	43.3	44	1	13	30	0	68.2	97.7
20万粒/500mL	60 g/L	○	44.3	50	8	15	27	0	54.0	84.0
50万粒/5L	60 g/L	○	10.5	20	4	7	9	0	45.0	80.0

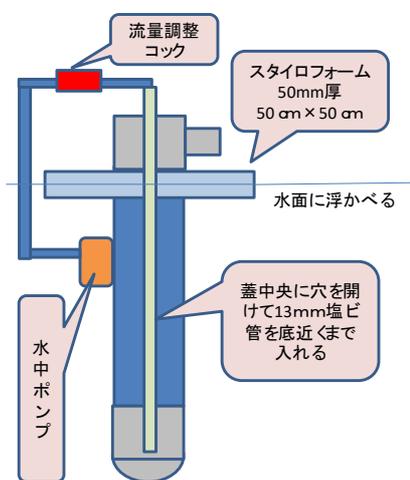


図 3. 自作放流器具の設計（左）及び野外での放流試験（右）

令和5年度 資源回復のための種苗育成・放流手法検討事業 報告

課題番号	エ (4)	事業実施期間	令和5年度
課題名	ニホンウナギ等内水面資源の生息状況調査・分析、資源増殖等の手法検討 (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			

令和5年度の成果の要約： 標識したワカサギ発眼卵を長野県内の美鈴湖へふ化放流した結果、放流後から2023年12月5日までの期間において標識魚が確認されたことから、自然湖沼においても標識放流の有効性が示された。また、本標識放流をするにあたり、標識作業はバケツに標識液を作製し、そこへ発眼卵を浸漬して行った。その結果、標識後のふ化仔魚において100%の標識率を確認したことから、簡易的な方法で大量の発眼卵を処理することが可能となった。

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（以下、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： 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。本年度は自然湖沼において耳石標識のふ化放流の有効性を検討するため、長野県内の美鈴湖において標識卵のふ化放流を行い、その後、サンプリングおよび採捕魚の耳石標識の有無を確認した。

結果： 美鈴湖での標識卵のふ化筒への収容日、収容卵数を表1に示した。ふ化放流には河口湖産の発眼卵（積算水温75～125℃）および網走湖産の発眼卵（積算水温約120℃）を長野県水産試験場において標識液濃度60g/L、浸漬時間24時間、水温12℃で標識したものをを用いた。標識作業は吊り下げ式密閉タンク（日東金属工業製 容量20L）に標識液を入れ、そこへ発眼卵を12.5万粒/Lとなるよう収容し、24時間浸漬した。浸漬中は蓋をせず、発眼卵の攪拌および酸欠防止のためエアレーションを実施した。加えて、水温を一定にするため、発眼卵を入れたバケツは12℃の井水をかけ流しにした水槽へ収容した（図1）。標識後の発眼卵の一部は汲み置きした水道水を入れたシャーレに収容、12℃に設定したインキュベーター内で管理し、そのふ化仔魚に標識が施されて

いることを確認した。放流後は魚のサイズに合わせ、光を利用した集魚トラップ（以下、集魚トラップ）および釣りによるサンプリングを行い、採捕したワカサギは検鏡まで冷凍保存した。釣りで得たサンプルにおいては、釣獲場所ごとで標識率に違いがあるか評価するとともに、検鏡時には標準体長の測定および耳石から年齢査定を行った。また、本標識放流の評価には年齢査定の結果から当歳魚のみを用いた。なお、美鈴湖では標識卵のふ化筒への収容日前後において、流入河川での自然再生産を確認した。加えて、釣りによるサンプリングには美鈴湖で日頃ワカサギ釣りを行っている方々にもご協力いただいた。

今回実施した標識方法の結果、ふ化仔魚の標識率は100%であり、平均発色強度は3.1と十分な標識が確認された。このことから、標識作業の際には専用の機材を必要とせず、簡易な方法で大量の発眼卵の処理が可能であることがわかった。

サンプリングは令和5年6月20日、6月28日および6月30日に集魚トラップ、9月14日、10月27日、11月21日および12月5日に釣りで実施した。集魚トラップによる採捕魚の標識率はそれぞれ61、100および33%であった。釣りによる採捕魚の標識率はそれぞれで16、18、19および19%あった（図2）。12月5日は美鈴湖のワカサギ釣り解禁日であり、その時点においても標識魚が確認できたことから、本標識技術は自然湖沼においても有効であると考えられた。一方、放流から約2ヶ月の時点では61%あった標識率は時間の経過とともに低下し、9月14日以降は16~19%で推移した。今回の試験では放流直後~稚魚期のサンプル数が1~18尾と少なく、標識率が過大評価となっている可能性が考えられる。今後はその期間におけるサンプル数を増やすため、サンプリング手法の検討が必要である。

標識がその後の成長に及ぼす影響を検討するため、12月5日の採捕魚について標識魚と無標識魚を区別して標準体長のヒストグラムを作成した（図3）。標準体長の最小は59.20 mm、最大は78.00 mmであり、ピークは70-72 mmに確認された。標識魚もその範囲に入っていることから、標識を施してもふ化後の成長に影響はないと考えられた。

9月14日の釣りサンプルの地点別の標識率を図4に示した。9月14日における地点別の標識率は11~43%と変動が見られたが、いずれの地点間においても標識率に有意な差はなかった（ χ^2 検定 ボンフェローニ補正、 $p < 0.0033$ n. s.）。このことから、9月14日以降においては美鈴湖に放流された標識魚は湖内全域に均等に分散しており、標識放流の評価の際には1地点のサンプルでも評価可能と考えられた。



図1 発眼卵への標識中の様子

表1 美鈴湖への標識卵の放流の概要

産地	収容卵数 (万粒)	収容日
河口湖	1,500	R5. 4. 14
	1,000	R5. 4. 21
網走湖	150	R5. 5. 2

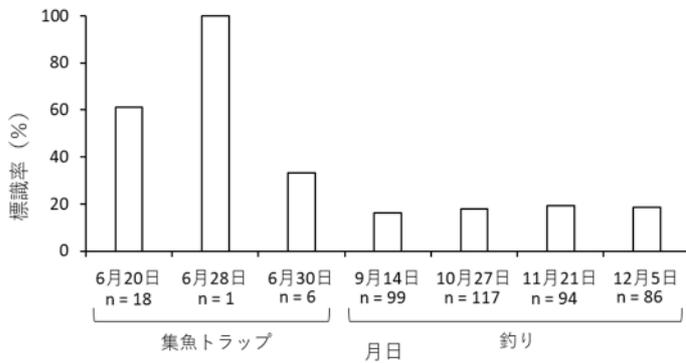


図2. 美鈴湖で採捕したワカサギの標識魚の割合の推移

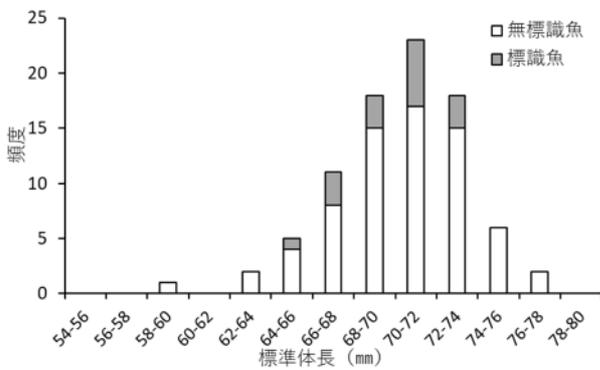


図3. 令和5年12月5日の採捕魚の体長組成

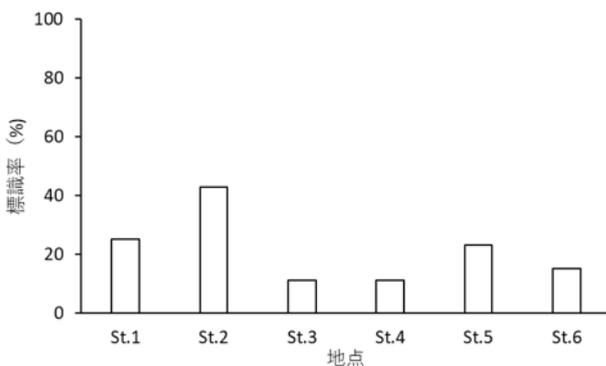


図4. 令和5年9月14日における地点ごとの標識率