

令和2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2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			

令和2年度の成果の要約：ワカサギの簡易ふ化装置の開発について、その素材の有用性を検証した結果、サラン綿（サランロックを観賞魚用ロカ綿で巻き付けたもの）が、卵の落下・酸欠防止とふ化仔魚の移動の双方の観点から有用と考えられた。コチニール染色による耳石標識の持続性を調査した結果、長期飼育した個体（長野県水産試験場で203日飼育）で耳石標識が確認された。山梨県水産技術センターでも同様に長期間飼育した個体から標識を確認できたものの、発色のバラツキが大きいことが課題として残された。なお、長期飼育したワカサギ幼魚、成魚の耳石標識を確認する際は、耳石の裏表の確認後、200倍率にて励起光を照射しながら速やかに核にピンポイントを合わせることで、画像解析結果が顕著に改善することが明らかとなった。

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、資源管理を進め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。本年度は標識の持続性を確認するため、長野県水産試験場と山梨県水産技術センターにて、耳石標識後に長期飼育した個体を用いて、標識の持続性を確認した。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、昨年度の事業成果である画

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。さらに粗放的なワカサギ標識卵の放流技術の開発を行うため、粘着除去卵を野外に放流するための簡易ふ化装置の開発に着手した。

結果：

(1) ワカサギの簡易ふ化装置に適した材料を検討するため、99%遮光ネット、観賞魚用ロカ綿、サランロック OM150-50 mm およびサラン綿（サランロックを観賞魚用ロカ綿で巻き付けたもの、図1参照）の有用性を検証した。本ふ化器については、野外への設置を目的とするため、波浪等により卵が流されない構造が必要となる。本研究では上記の材料を用いてワカサギ卵を包み、玉ねぎネットに収容した後、水中で左右に10回揺らして落下した卵の重量を測定することで落下卵の割合を調べた。その結果、サラン綿を使用した場合は、落下卵の割合が極めて低いことが明らかとなった（図1）。さらに、サラン綿を使用してワカサギ卵のふ化実験を行ったところ、サラン綿から抜け出せずに死亡した仔魚の数は0-1.6%とごくわずかであった。このため、卵の脱落と孵化後の移動の面から、サラン綿が簡易ふ化装置の材料として有用と考えられた。

(2) 長野県水産試験場と山梨県水産技術センターが長期間飼育をした耳石標識個体を用いて、標識の持続性を確認した。耳石標識の評価には、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）を行うと共に、検鏡時に撮影した写真から耳石の平均RGB値を測定した。長野県水産試験場で長期飼育（203日間）したワカサギ耳石を検鏡した結果、標識を確認することができた。なお、耳石の評価を行う際、以下の点に気を付けることで、成長したワカサギ幼魚や成魚についても無処理で標識を確認することが可能と考えられた。

①耳石の表裏を確認し、溝の無い面（外側）を観察すること（写真1）、②顕微鏡の倍率を200倍にして蛍光顕微鏡下で励起光を照射しながら速やかに核にピントを合わせる。この2つの作業を行うことで、目視評価は平均 2.5 ± 0.81 から平均 3.0 ± 0.0 にまで改善した。さらにRGB値では、平均 33.27 ± 18.13 から平均 72.76 ± 19.22 と有意な改善が認められた（対応のあるt検定、 $p < 0.001$ ）（図2）。

(3) 山梨県水産技術センターが長期飼育したワカサギ個体（2020/9/1、10/12、11/9、12/7サンプリング）の耳石標識からRGB値を測定した結果、測定値のばらつきが非常に大きいことが明らかとなった。この原因は不明であるが、ワカサギ卵の大量標識の際に生じた問題と考えられる。本結果から画像解析ソフトを用いた耳石評価システムの有効性が示されたとともに、染色時の標識のばらつきを緩和することが今後の課題と考えられた（図3）。



写真 1

左写真は耳石の溝面

右写真は耳石の観察面

検鏡時は観察面を上にする。

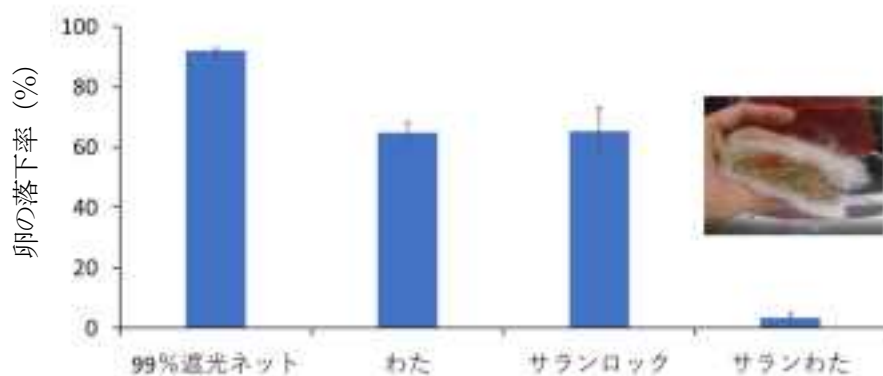


図 1. それぞれの素材を用いてワカサギ卵を包み、水中で左右に揺らした際の卵の落下割合（平均値±標準偏差）

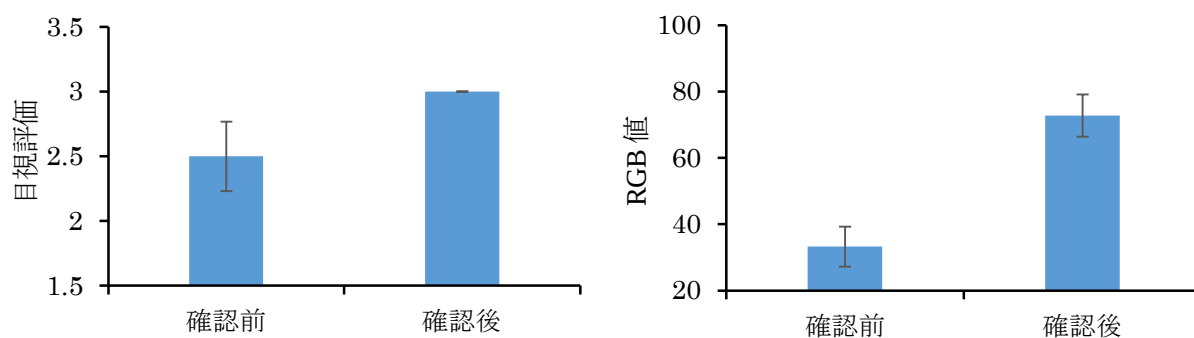


図 2. 検鏡時の注意事項の確認前後での目視判定結果と画像解析結果（平均値±標準偏差、サンプルは長野県水産試験場で長期飼育された個体：2020/12/14 サンプル）

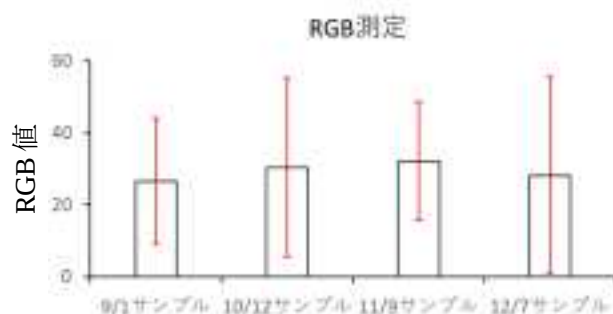


図 3. 長期飼育した耳石標識個体の画像解析（RGB 値測定）結果（平均値±標準偏差、サンプルは山梨県水産技術センターで長期飼育された個体）

令和2年度 環境収容力推定手法開発事業 報告

課 題 番 号	3. (4-4)	事業実施期間	令和2年度
課 題 名	ワカサギ		
主 担 当 者	長野県（長野県水産試験場諏訪支場）	星河廣樹	
分担者	長野県（長野県水産試験場諏訪支場）	降幡 充	

令和2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。標識前のショ糖溶液への浸漬による脱水で標識改善の効果を主に検討したが、ショ糖溶液の濃度が20%では耳石標識の発色がわずかに強化されるものの、ふ化率が低下するため、今年度の試験区の範囲では見合った効果はなかった。一方、濃度60g/Lのコチニール標識液に24時間浸漬した発眼卵からふ化した標識魚を屋外円形水槽で飼育した結果、ふ化後203日（平均体長72.5mm）まで未研磨で耳石標識が確認できた。

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）ショ糖溶液を用いた脱水後のコチニール標識液への浸漬、（2）ショ糖の適正な濃度を検討し、それら試験での仔魚の生残率、耳石標識の発色強度を調査する。さらに、（3）屋外の円形水槽で標識魚を飼育し、その成長と耳石標識の持続性を調査する。

結果：（1）試験項目を標識直前の20%ショ糖溶液への10分間浸漬の有無とコチニール標識液の濃度として、20%ショ糖溶液浸漬の有無別に0、40、45、50、55および60g/L区を設定し、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℃とした。試験開始時の卵の積算水温は91℃・日であった。

20%ショ糖溶液に浸漬した試験区のふ化率は、コチニール濃度45、55および60g/Lで浸漬しなかった試験区より有意に低下した（ウェルチのt検定 $P<0.05$ 図1）。耳石の平均発色強度は、コチ

ニール濃度 55g/L のみ 20% ショ糖溶液に浸漬した試験区が浸漬しなかった試験区より有意に高かった（ウェルチの t 検定 $P < 0.05$ 図 2）。以上より標識前の 20% ショ糖溶液浸漬は、耳石標識の発色がわずかに強化される一方で、ふ化率が低下するため、今年度の試験区の範囲では見合った効果はなかった。

（2）試験項目を標識する直前に卵を 10 分間浸漬するショ糖溶液の濃度として、0、5、10 および 20% 区を設定し、それぞれについて次の条件で標識した。コニチール標識液の濃度は 60g/L、浸漬時間は 24 時間、浸漬水温は 12℃とした。試験開始時の卵の積算水温は 91℃・日であった。

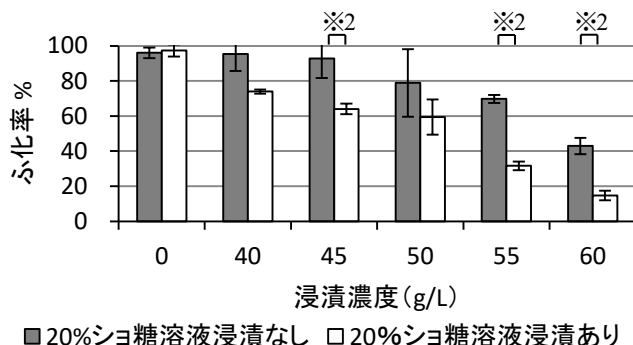
ふ化率および耳石の発色強度はともに、ショ糖濃度 0% 区を対照区としたそれ以外の 3 区との比較で有意差はなかった。（DUNNETT 法 図 3、図 4）。以上より標識前に使用するショ糖溶液の濃度は、濃度 0% から 20% の間で耳石標識の発色の強化は見られず、標識改善の効果は認められなかった。

（3）網走湖産の受精卵を、河川水を通水した筒型ふ化装置で、ミズカビ類の寄生繁茂の蔓延抑制のためにパイセスの薬浴を毎日実施して発眼まで管理した。ショ糖溶液に浸漬しない卵 10 万粒を用いて次の条件で標識した。コニチール標識液の溶液量は 1L、濃度は 60g/L、浸漬時間は 24 時間、浸漬水温は 12℃とした。試験開始時の卵の積算水温は 105℃・日であった。標識した発眼卵は、再び筒型ふ化装置で管理した。ふ化仔魚は排水とともに屋外の円形水槽内に放流された。ふ化予定の 2 日前から毎日シオミズツボワムシ 200 万～4000 万個体と餌付けのためにわずかなアユ用配合飼料を給餌した。また、ワムシへの給餌と水槽内の照度低下のために、飼育水が緑色になるまで適宜クロレラを添加した。配合飼料に餌付いた 6 月下旬に、給餌は配合飼料のみに切り替えた。防鳥と水草の繁茂抑制のために水槽上部の約 7 割を遮光シートで覆って標識魚を飼育した。採捕した標識魚は全長もしくは体長を計測した後、検鏡まで冷凍保存した。

本試験と同じ条件、同じロットの卵を使用した室内実験ではふ化率が 6.0% で、収容卵数が 10 万粒であったことから、ふ化尾数は多くとも 6,000 尾と推定された。ふ化率が低かった要因はパイセスの用量を誤って通常の 10 倍量で使用したことが考えられる。室内実験では 5 月 25 日からまとまってふ化し始めたので、円形水槽でのふ化からの日数の起算日は 5 月 25 日とした。6 月 10 日に水位を下げたところ、稚魚数百尾の生存が確認できた。その後、7 月下旬から 8 月にかけてわずかに死亡した以外、大規模な死亡は見られなかった。まとまった採捕魚が得られた 6 月 10 日（ふ化後 16 日）、8 月 20 日（ふ化後 87 日）および 12 月 14 日（ふ化後 203 日）の 3 回を供試し、その体長はそれぞれ 12.0、47.9、72.5mm であった。耳石の発色強度は、本試験と同じ浸漬条件となる上記（1）での 20% ショ糖溶液浸漬なしのコチニール濃度 60g/L の試験区を対照区とした 6 月、8 月および 12 月との比較で有意差はなかった（DUNNETT 法 図 5）。ワカサギの ALC 標識の先行研究では、ふ化後 308 日（平均体長 73.89mm）まで未研磨で確認できた例（山梨魚苗センター）とふ化後 234 日（平均全長 62.8mm）まで未研磨でも確認できたが、標識の確認を確実にするためふ化後 55 日（平均全長 16.7mm）以降は研磨が不可欠とする例（神奈川淡水試）がある。本試験では多くの湖でワカサギ釣りが解禁となる 12 月、ふ化後 203 日（平均体長 72.5mm）まで未研磨で耳石標識が確認で

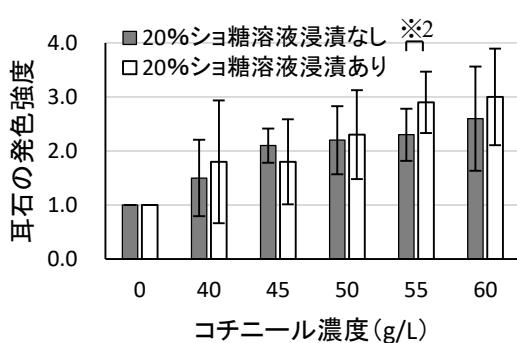
きたため、今後、放流魚に耳石標識を施すことで、夏季以降の網漁のみならず遊漁の漁獲物が放流か天然産卵かの由来判別が可能である。

図1. 20%ショ糖溶液浸漬の有無別、コチニール標識液の濃度別での平均ふ化率^{※1} (%)



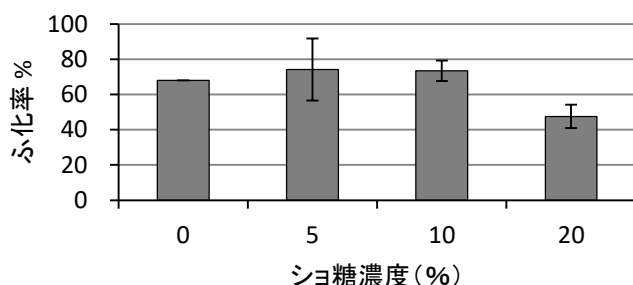
※1：ふ化率 (%) = 正常ふ化尾数/供試発眼卵数×100
 ふ化率は各区三回実施した平均値、バーは標準偏差を示す
 ※2：有意差あり (p<0.05)

図2. 20%ショ糖溶液浸漬の有無別、コチニール標識液の濃度別での耳石の平均発色強度^{※1}



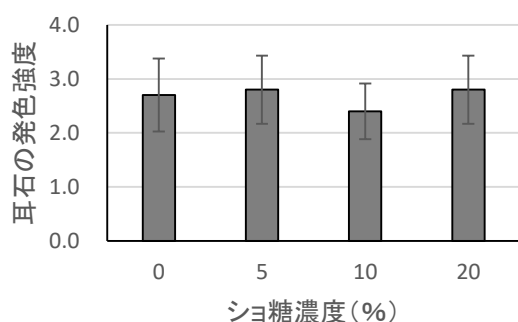
※1：発色なしを1、ALCの発色を4として相対的に比較
 発色強度は各区10個体の平均 (ショ糖あり 60g/Lのみ6個体)、バーは標準偏差を示す
 ※2：有意差あり (p<0.05)

図3. 各濃度のショ糖溶液浸漬後、60g/L コチニール標識液に浸漬した卵のふ化率^{※1} (%)



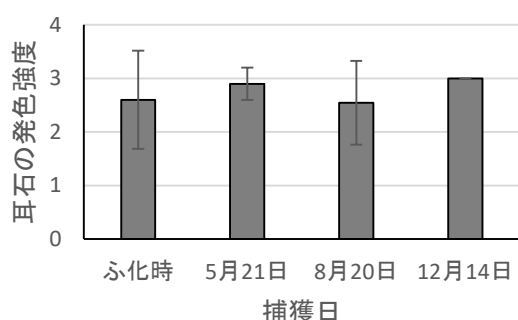
※1：ふ化率 (%) = 正常ふ化尾数/供試発眼卵数×100
 ふ化率は各区二回実施した平均値、バーは標準偏差を示す

図 4. 各濃度のショ糖溶液浸漬後、60g/L コチニール標識液に浸漬した耳石の平均発色強度※1



※1：発色なしを 1、ALC の発色を 4 とし、相対的に比較
発色強度は各条件につき 10 個体の平均、バーは標準偏差を示す

図 5. 屋外円形水槽に放流した標識魚の採捕日別での耳石の平均発色強度※1



※1：発色なしを 1、ALC の発色を 4 とし、相対的に比較
発色強度は各条件につき 9~10 個体の平均、バーは標準偏差を示す

課題と対応策：発色強度 3 の標識ができれば、親魚サイズといえる 70mm 程度まで成長しても標識を確認できることが明らかになったことから、生残率を低下させずに大量の卵に安定して標識する技術の開発が次の課題となる。20%ショ糖溶液の濃度設定は従来の卵管理で用いられてきた、発眼時に死卵と活卵を分離するための濃度を基にしており、さらに高濃度浸漬を検討する余地がある。併せて卵の生残率を上げるためにもコチニール標識液の低濃度もしくは浸漬時間短縮を図り、課題に対応する予定である。

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2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2年度
課 題 名	環境収容力推定手法開発事業		
主 担 当 者	名倉盾		
分担者	青柳敏裕 加地弘一		

令和2年度の成果の要約：天然色素を使用した標識技術の開発について、コチニールを用いたワカサギの耳石標識についての試験を実施した。ワカサギの水槽飼育方法及び屋外池での飼育方法について技術開発を行った。またその技術を用いて飼育したワカサギの耳石を検鏡し、コチニール標識を確認した。

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などもあり、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技術開発を行う。耳石標識技術が開発された後は、その持続期間を調査する。

当該年度計画：昨年に続き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た。コチニールによる染色直前に、ショ糖等で脱水させる前処理を行うことで標識率の向上を図った。コチニールによる染色は、昨年の結果より有効と思われた60 g/L、24時間の条件で実施する。屋外の大型池と室内の60 cm水槽を用いてワカサギ飼育試験を行った。

結果：

- (1) 標識持続期間を検討するため小型水槽および屋外池でワカサギの飼育を試みた（図1）。
- (2) 小型水槽は、60 cm水槽を使用し、シオミズツボウムシと配合飼料を給餌した。飼育水はふ化後アレン処方1/10の薄い人工海水で飼育し、2か月後に井水による飼育とした。飼育終了までろ過循環飼育を行った。飼育魚はサンプリング後検鏡まで-80℃で冷凍保管した（図2）。
- (3) 屋外池での飼育は、176.3 m²の池に、飼育開始約3週間前にムックリワーク（ミジンコ繁

殖促進飼料、拓洋水産工業製）を 15 k g 施肥し、初期餌料となる生物餌料（ワムシ）を沸かして、発眼卵を収容してふ化させた。屋外池には遮光シートを張り鳥害を防ぐとともにミドロ類の繁茂による損耗を防ぐようにした。ワカサギがプランクトンを食べている期間には、飼育水の色が薄緑色になるように淡水クロレラを撒いた。動物プランクトンの沸き具合を観察しながらムックリワークを追加施肥した。ワカサギが成長した 7 月以降には配合飼料を給餌した。飼育魚は小型水槽同様に、サンプリング後に検鏡まで -80°C で冷凍保管した。

- (4) コチニール標識をするワカサギ卵の粘着性除去方法を検討したところ、カオリンによる粘着除去法の生存率が高く、より好ましいと思われた（図 4）。
- (5) ショ糖による前処理を実施することで、コチニール標識時間を短縮できないか検討したところ、6 時間の染色で着色が確認された（表 2）。しかし発色のばらつきを抑えるため、現時点では 24 時間の染色を行うことが望ましいと判断された。
- (6) 飼育 378 日後のワカサギ耳石（ショ糖による前処理無）を検鏡したところ、標識を確認できた（10 個体中 7 個体）。また耳石を研磨しなくても標識は確認できた（図 4）。
- (7) 飼育 244 日後のワカサギ耳石（ショ糖による前処理あり）を検鏡したところ、10 個体中 10 個体で標識を確認できた。
- (8) 大量処理の試験として 506 万粒を標識した。ショ糖による前処理後に 506 万粒をコチニール 60 g/L、24 時間浸漬で染色したところ、標識が着いていることを確認した（図 5）。



図 1. 小型水槽（左）及び屋外池（右）による飼育



図 2. 小型水槽で飼育したワカサギ (2 か月)



図 3. 屋外池で飼育したワカサギ (6 か月)

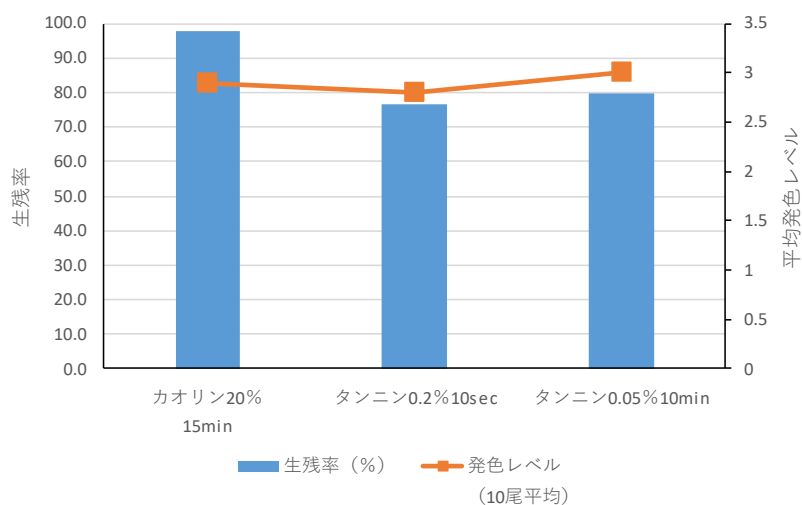


図 4. 粘着性除去法による標識後の生存率と耳石標識発色レベル

表 2. 前処理後のコチニール染色時間による標識の発色レベル

前処理方法	染色方法	染色時間 (時間)	生存率 (%)	発色レベル (5尾平均)
ショ糖処理 (21%10min)	コチニール 60 g /L	1.5	97.3	1.0
		3	98.6	1.4
		6	97.7	2.9
		24	98.1	2.9
	ALC 40mg/L	24	98.4	4.0
塩処理 (2%60min)	コチニール 60 g /L	1.5	97.3	2.4
		3	96.9	2.6
		6	96.6	2.9
		24	98.4	3.1
	ALC 40mg/L	24	99.1	4.0
無処理	無染色	0	98.1	1.0
	無染色	0	99.6	1.0
無処理	ALC 40mg/L	24	100.0	4.0
	無染色	0	98.6	1.0

※コチニール処理濃度は 60 g /L

発色レベル 1 : 確認できない 2 : わずかに発光 3 : 発光 4 : ALC 並みに発光



図 4. 飼育 378 日後の耳石標識



図 5. 大量処理試験および大量処理卵からふ化したワカサギ耳石の標識（ふ化当日）

課題と対応策：

昨年度に確立した飼育方法を改良して飼育試験を実施した結果、試験に用いる飼育方法を開発した。現在、取りまとめてマニュアルを作成している。

標識について、検鏡の仕方によっても評価が変わる可能性が認められた。このことについても統一的な検鏡方法を定める必要がある。検鏡方法を統一したとしても、同一ロット内で標識の判定ランクがばらつくため、ばらつきをなくしていくことが必要であると考えられる。また、普及に向けて大量標識技術の開発に取り組み、実用化につなげる必要がある。

令和2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2年度
課 題 名	ワカサギの放流種苗用餌料と資源推定手法の開発		
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			

令和元年度の成果の要約

＜放流種苗用餌料の開発＞

ワカサギ仔魚を掛け流し飼育と止水飼育で比較した結果、止水飼育における仔魚の生残率が高かった。その要因として、給餌したワムシが長時間生存していたことが考えられる。21日間の飼育期間中、仔魚が摂餌したワムシの背甲長は107~313 μm であった。孵化直後から200 μm を中心に、最大265 μm のワムシを摂餌しており、成長に伴い、大きいワムシを摂餌する傾向がみられた。またワムシの活力試験を行い、ワムシを含む培養水を9℃で0.1PSUあるいは1PSUになるよう希釈した場合、1PSUで長期間活力を維持することを確認した。

＜資源推定手法の開発＞

令和2年度は、阿寒湖全域をカバーした調査ラインを設定し、ワカサギ漁(9~10月)の開始前、漁期中、漁期終了後に湖全体を簡易普及型魚群探知機(以下、魚探)により調査した。調査ラインにおいて単位面積当たりのワカサギ魚探反応量を示すNASCを算出し、NASCと各調査時点までのワカサギの累積漁獲量との関係を調べたところ、累積漁獲量の増加に伴いNASCが減少する傾向がみられたことから、湖沼単位の資源量推定に本手法が有効であると考えられた。また、NASCと累積漁獲量の関係式により、阿寒湖の漁獲開始前のワカサギ資源量は49.8 tであったと推定された。

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＞

ワカサギ仔魚の飼育条件（掛け流し・止水）の比較および仔魚の摂餌選択性を調べるため、飼育試験を行った。さらに、飼育試験で使用したワムシを用いて、活力試験を行った。また低塩分・低水温で培養できるワムシの作出を試みた。

＜資源推定手法の開発＞

阿寒湖におけるワカサギの資源量を推定するため、湖全域をカバーした調査ラインを設定した。ワカサギ漁（9～10月）の開始前と漁期終了後に魚探を用いて調査を行い、魚探による資源量指標値と漁獲による資源減少量を比較することで、魚探による資源量の推定精度を確認した。

結果

＜放流種苗用餌料の開発＞

飼育方法別の飼育成績 30Lの円形水槽（実水量20L）2基に孵化仔魚をそれぞれ1,000尾收容し、21日間飼育した。注水量を20L/日の掛け流しとした試験区（掛け流し区）と、注水しない試験区（止水区）を設定した。14℃、14.4PSU（11.6～17.2PSU）で培養したシオミズツボワムシ（以下、ワムシ）を給餌し、仔魚の成長と生残率を比較した両試験水槽は水温を10.0℃（8.8～12.2℃）に管理した。掛け流し区は試験期間を通し0PSUであったが、止水区では給餌した培養水に含まれる塩分の蓄積により、12日後から塩分が上がり始め実験終了時には3.1PSUに上昇した（図1）。ワムシの給餌量および飼育水中のワムシ密度を図2に示した。掛け流し区では、飼育水中にワムシが確認された日は少なく、個体数も2.7個体/mL以下と少なかった。一方、止水区では3日後からほとんどの日で確認され、塩分の増加と同時期に増加傾向を示し、実験終了時は70.7個体/mLになった。11日後のワカサギ仔魚の生残率は止水区（59.0%）が掛け流し区（38.0%）より高かった（図3）。実験終了時も同様の傾向を示し、それぞれ46.0%、20.6%であった。実験終了時における脊索長は、掛け流し区（平均±標準偏差、7.4±0.7mm）と止水区（7.5±0.8mm）で差はなかった。少量の塩分が飼育水に含まれることでワムシの活力が維持され、仔魚の摂餌機会が増加し、生存率が向上したと考えられる。

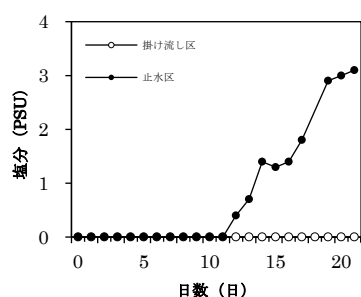


図1 飼育期間中の塩分

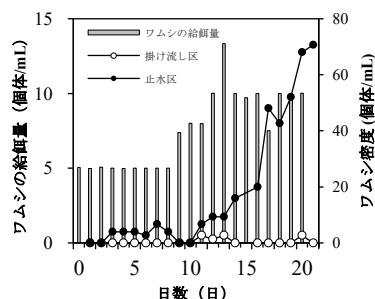


図2 飼育期間中におけるワムシの給餌量と飼育水中のワムシ密度

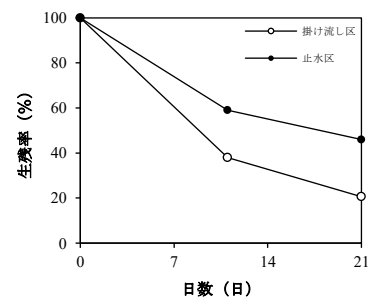


図3 飼育期間中におけるワカサギ仔魚の生残率

ワカサギ仔魚の摂餌選択性 8Lの角型水槽(実水量5L)に孵化仔魚を300尾収容し、21日間飼育した。餌料は掛け流し区および止水区で使用したワムシを用いて、5~30個体/mLになるように日に1回、計10回給餌した。飼育期間中に4回サンプリングし、脊索長および背甲長を測定した。試験水槽は水温を14.0℃(13.5~15.0℃)に管理した。孵化仔魚の脊索長は試験開始時に 5.4 ± 0.6 mmで、21日後に 9.0 ± 0.9 mmへ成長した(図4)。飼育水中および摂餌ワムシの背甲長を図5に示した。収容から1日後、4日後、10日後における飼育水中のワムシサイズに対し胃内容中のワムシサイズは有意に小さく(t検定, $P<0.01$)、小型のワムシを選択的に摂餌していた。脊索長により仔魚を5グループに分けたところ、摂餌したワムシのサイズが最も大きかったのは脊索長10-11mmのグループであり(231.8 ± 21.6 μm)、成長に伴い大型のワムシを摂餌する傾向が見られた(図6)。

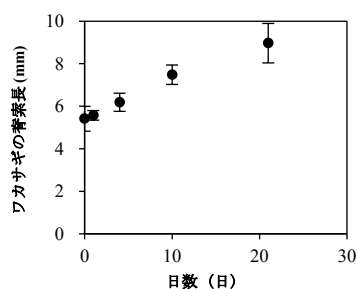


図4 摂餌選択性試験で使用したワカサギ仔魚の脊索長

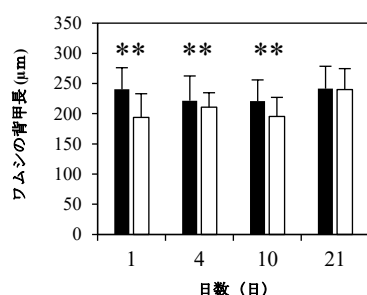


図5 飼育水中(■)およびワカサギが摂餌したワムシ(□)の背甲長 ** : t検定, $p<0.01$

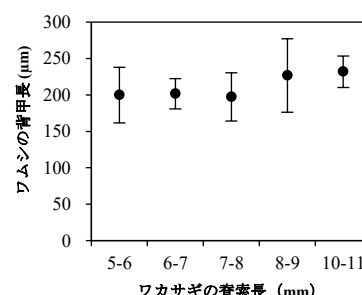


図6 ワカサギの脊索長別の摂餌ワムシの背甲長

ワムシの低水温、低塩分投入試験 飼育試験で使用したワムシを実験終了後も同一条件で培養を続け、50 mLの細胞培養フラスコに表1で示した溶液とワムシを含む培養水(以下、培養水)を計50 mLになるよう加えた。希釈前における培養水の塩分は12.4~15.3PSUの範囲であり、希釈後の塩分はそれぞれ1PSU、0.1PSU、1PSUに調整した。細胞培養フラスコに培養水を投入後、9℃で最大30日間培養し、ワムシの生存個体数、抱卵個体数、遊泳個体数を計数した。投入直後におけるワムシの個体数密度が 34.0 ± 9.1 個体/mLであった10倍+1PSU区は、2日後まで増加し(43.0 ± 4.5 個体/mL)、その後、減少傾向を示した(図7)。3試行それぞれ22日後、27日後、28日後に全滅を確認した。100倍+0.1PSU区は、投入直後は 7.0 ± 2.2 個体/mLだったが、1日後に3試行すべて全滅した。100倍+1PSU区は 14.0 ± 4.2 個体/mLから1日後には 8.3 ± 2.5 個体/mLに減少し、7日後まで横ばいだった($8.3\sim6.7$ 個体/mL)。8日後に 2.3 ± 1.2 個体に減少し、3試行それぞれ19日後、26日後、30日後に全滅を確認した。10倍+1PSU区の抱卵率は投入直後($3.2\pm1.2\%$)から2日後($22.4\pm10.6\%$)にかけて増加し、12日後までは3.2~16.7%で推移した。13日後以降は25.0~61.1%であった。投入直後の10倍+1PSU区の遊泳率は $22.7\pm22.7\%$ で低かったが、翌日以降、50.0~100.0%と高かった。100倍+1PSU区は投入直後から全滅する前日まで高い遊泳率を示した(50.0~100.0%)。塩分が1PSUあることで水温9℃でも高い活力を維持した。

表1 試験区および培養溶液内訳

試験区	溶液 (mL)	クロレラ (mL)	培養水 (mL)	塩分 (PSU)	
10 倍+1PSU	蒸留水	44.8	0.2	5	1
100 倍+0.1PSU	蒸留水	49.3	0.2	0.5	0.1
100 倍+1PSU	濾過海水+蒸留水	49.3	0.2	0.5	1

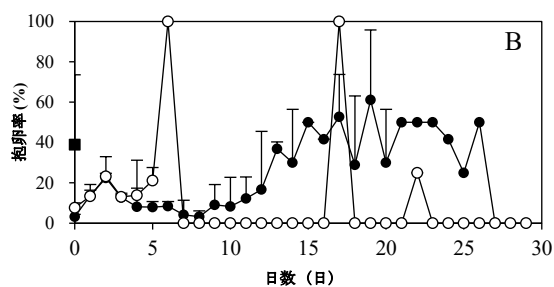
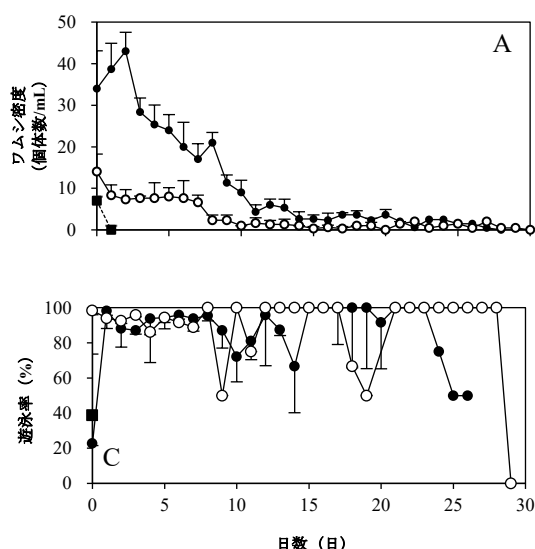


図 7 9℃の細胞培養フラスコ投入時におけるワムシの個体数密度 (A)、抱卵率 (B)、遊泳率 (C) の推移

● : 10 倍+1PSU 区 ■ : 100 倍+0.1PSU 区
○ : 100 倍+1PSU 区

低塩分、低水温で培養できるシオミズツボワムシの作出 栽培水産試験場において、25PSU、20℃で培養しているシオミズツボワムシ (以下、栽培水試ワムシ) を、7PSU・11℃と 7PSU・13℃の条件下で 10 日間培養し、日間増殖率を比較した。7PSU・13℃で培養したワムシは、栽培水試ワムシ (25PSU・20℃) とほぼ同じ日間増殖率を示した (図 8)。7PSU・11℃で培養したワムシは、栽培水試ワムシよりやや低かったが、日間増殖率は 115%以上を示し、餌培養としては十分な値であった。

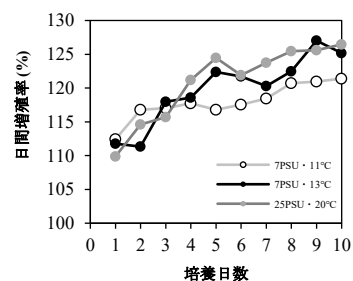


図 8 ワムシの日間増殖率

<資源推定手法の開発>

阿寒湖全域をカバーした調査ラインを設定し (図 9)、令和 2 年 9 月 8 日 (漁獲前)、10 月 7 日 (漁期中)、11 月 9 日 (漁獲後) において、ワカサギが表層に分散する日没後に、魚探 (古野電気株式会社製, FCV-628, 50 kHz/200 kHz) を用いて調査を行い、調査データをノートパソコンに収録した。阿寒湖でのワカサギ漁は 9 月 15 日から実施され、10 月 7 日の漁期中の魚探調査前までの累積漁獲量は 9.5 t であった。ワカサギ漁は 10 月 29 日で終了し、9~10 月の漁獲量合計値は 20.7 t であった。調査データのうち 200 kHz のデータを、Echoview (Ver.8, Echoview Software 社製) を用いて解析し、調査ラインにおいて、単位面積当たりのワカサギ魚探反応量を示す NASC (面積散乱係数) を算出したところ、岸側において NASC の値が高い傾向を示した (図 10)。調査ラインの NASC と各調査時点までのワカサギの累積漁獲量との関係を調べた結果、累積漁獲量の増加に伴い NASC が減少する傾向がみられ、湖沼単位の資源量推定に本手法が有効であると考えられた (図 11)。ま

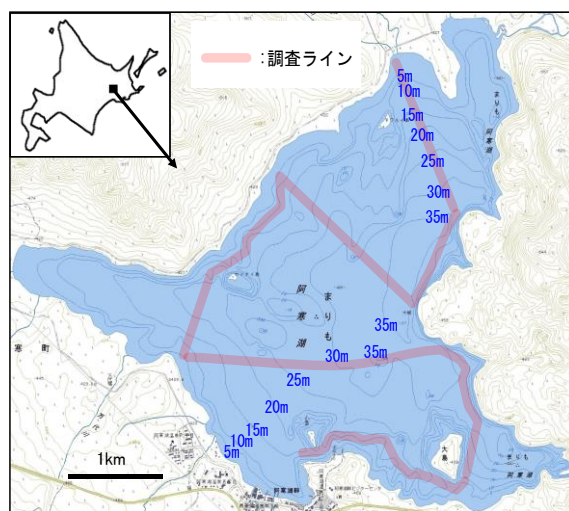


図 9 阿寒湖における魚探の調査ライン

た、漁期中の自然死亡は漁獲量より遥かに少なく、その影響を無視できると仮定すると、阿寒湖において漁獲開始前のワカサギの資源量は、NASC と累積漁獲量の関係式により 49.8 t と推定された(図 12)。

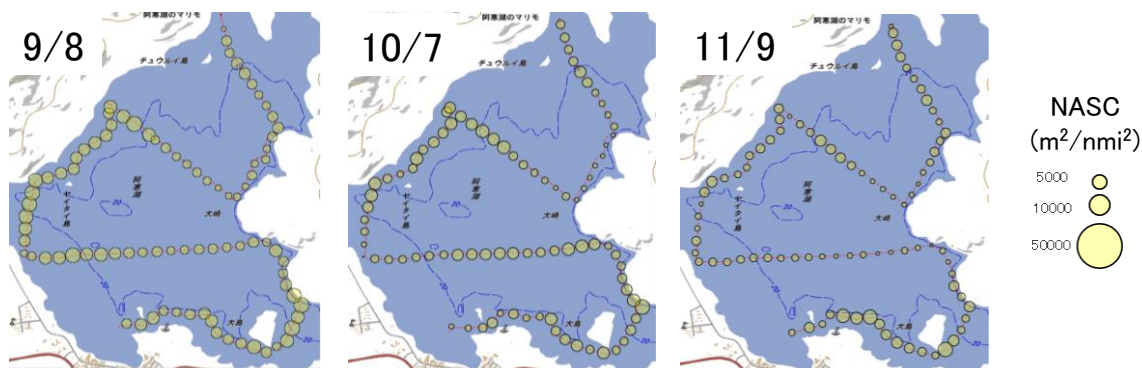


図 10 ワカサギの資源量指標値 (NASC) の分布
100mメッシュで出力した

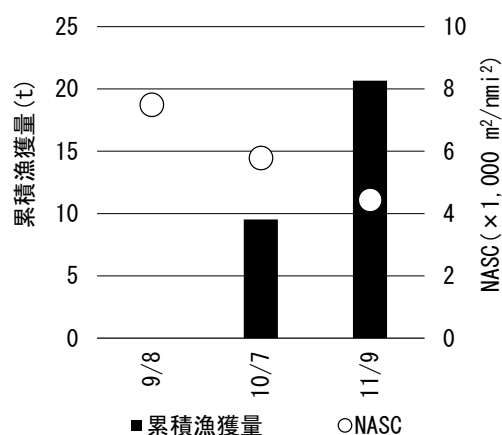


図 11 NASC と累積漁獲量の関係

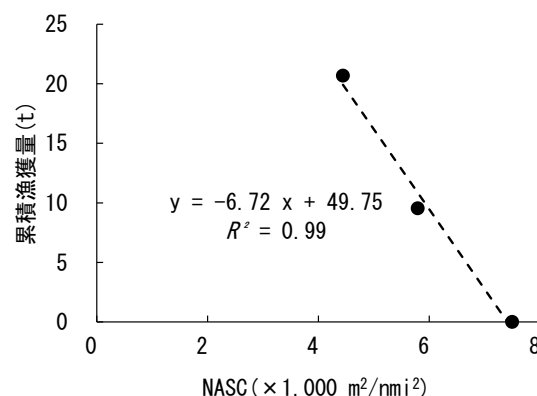


図 12 NASC と累積漁獲量の関係式

課題と対応策

<放流種苗用餌料の開発>

実用レベルを目指して、規模を拡大し、本実験と同程度の飼育成績になるのか確認する必要がある。給餌回数を減らし、コストおよび労力の削減する「ほっとけ飼育」に向け、給餌後のワムシの活力維持に関する技術開発が求められる。

<資源推定手法の開発>

湖沼におけるワカサギの資源量は年によって大きく変動することが知られており、より幅広い資源状況下でも頑健な推定技術を開発するため、複数年でデータの取得を行い、解析する予定である。