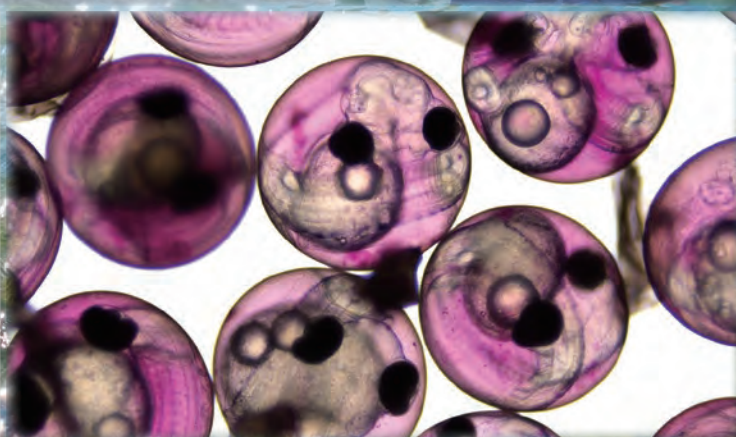
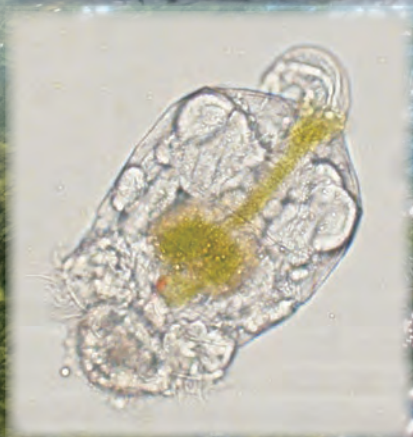




撮影者・名倉盾

まずは一步をふみだそう！
ワカサギの
資源管理技術の紹介



水産庁

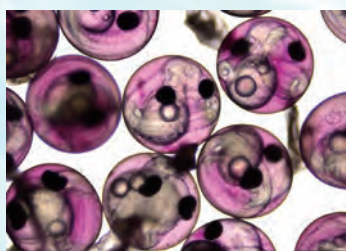
課題と解決策

ワカサギに関する3課題の解決に向けて、水産庁事業「環境収容力推定手法開発事業(2018-2022)」で実施した調査研究の成果をご紹介します。

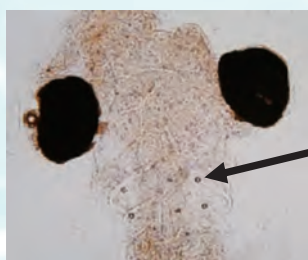
・放流の効果がわからない。

→放流魚に標識をする必要がある。

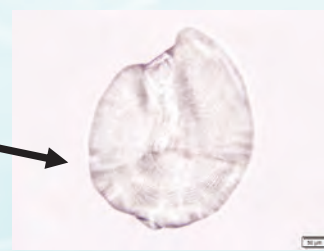
①天然色素(コチニール色素)を用いた耳石標識技術の開発



発眼卵を染色液に浸漬



耳石

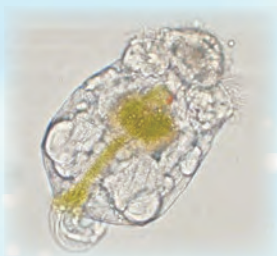


飼育後91日の耳石

・生まれた時に餌が少ないと死んでしまう。

→初期餌料&給餌放流技術の開発が必要。

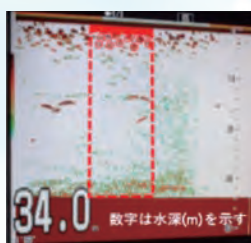
②低水温・低塩分で培養可能なワムシづくり



・湖での多い・少ないを予想できない。

→漁業者が大まかに資源量を把握できる技術が必要。

③簡易普及型魚探を用いた資源量推定手法の開発



阿寒湖の魚探画像



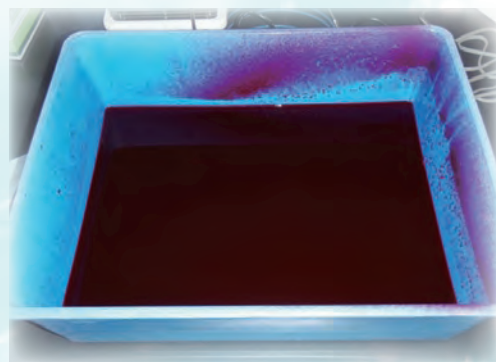
①耳石標識 標識の条件とタイミング

最適な耳石染色条件

- 発眼卵をコチニール色素 (カルミンレッドR) 溶液に浸漬して標識する際、**溶液濃度60g/L、浸漬24時間**が適していることがわかりました*¹。



コチニール色素粉末



染色溶液

*1 卵質や水温によって最適な濃度と時間が異なる場合があるので、事前に少数の卵で標識を行い、ふ化率や標識を確認してから実施するようにしてください。

コチニール色素を用いた標識の方法や条件の詳細については、以下の論文を参照ください。

Miyamoto, K., Hoshikawa, H., Nagura, J., Sawamoto, Y., Đorđević, M., & Ohta, K. (2021). Cochineal Dye Concentration and Treatment Time for Otolith Marking of Japanese Smelt *Hypomesus nipponensis* Embryos. Transactions of the American Fisheries Society. <https://doi.org/10.1002/tafs.10335>

耳石標識のタイミング

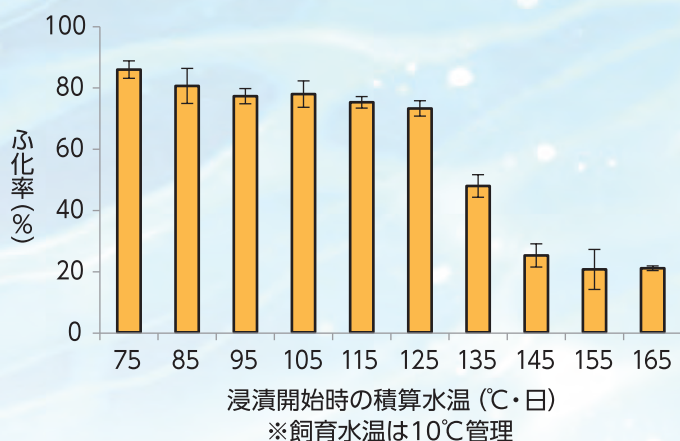


図1 標識時の積算水温とふ化率との関係

- 卵の積算水温 (水温×飼育日数) が高いと標識時の死亡率が高まる。

→ 積算水温 **75-125°C・日** の範囲が標識に適していると考えられました。

①耳石標識 耳石標識の確認

検鏡時のポイント

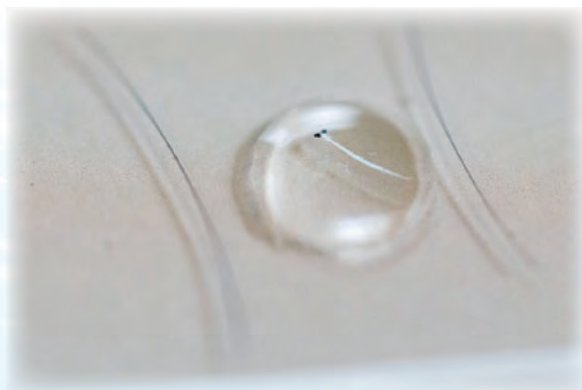
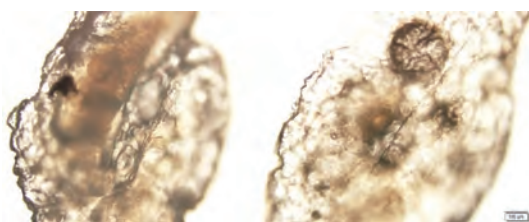


写真1 仔魚と釣り糸の様子

耳石の表裏に気をつけろ!



裏面

観察面

写真2 耳石の表裏



100倍

200倍

写真3 顕微鏡下の視野

コア(核)を探せ!

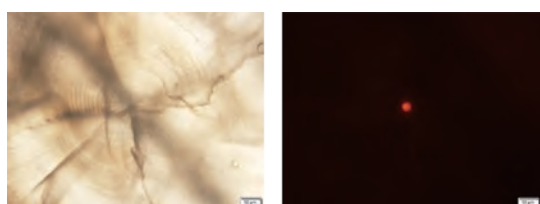


写真4 耳石の中心核

- サンプルは**冷凍**で保存します。
- 仔魚の検鏡の場合、ブリッジとして**釣り糸**(0.3号)をのせたスライドグラス(写真1)に少量の水と仔魚を置き、カバーグラスをのせて検鏡します。
- 成長したワカサギの場合、**耳石**を**取り出して**、少量の水と共にスライドグラスにのせて検鏡します。
- 倍率100倍で耳石を探し、表裏を確認(写真2)してから倍率200倍(写真3)で**耳石核**にピントを合わせて(写真4)検鏡します。
- 標識確認には蛍光顕微鏡を用いて、**G励起光**を照射します。



①耳石標識 放流～サンプリング

小規模湖沼への放流とサンプリング



写真5 標識卵のふ化放流の様子



写真6 採捕したワカサギ仔魚

- 小規模湖沼へ**標識卵をふ化放流**し(写真5)、放流から約1ヶ月後にふ化仔魚をサンプリングしました(写真6)。
- 湖岸を泳ぐ仔魚の群れを金魚網等の目の細かい網で掬ってサンプリングしました。

標識の確認



図2 ふ化稚魚の耳石 (標識あり)

- 採捕したワカサギ稚魚(全長2cm)の耳石を顕微鏡下で観察したところ、標識を確認でき(図2)、本耳石標識が**野外調査に有効**であると考えられました。

①耳石標識 標識の持続性と大量標識技術の開発

標識の持続性

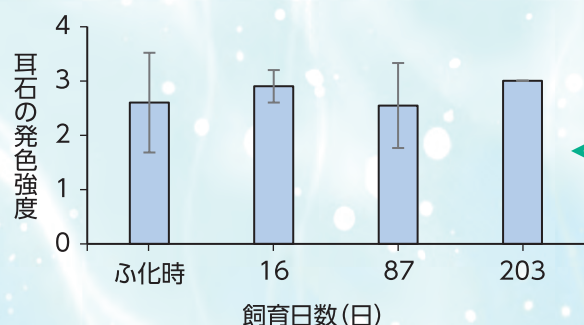
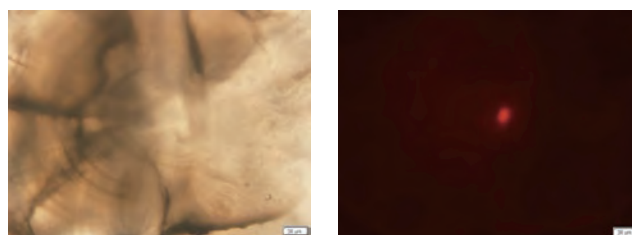


図3 発色強度の変化



203日齢のワカサギの耳石

- 標識魚の飼育試験では、標識直後に十分な発色が確認できれば、203日齢のワカサギ耳石も**研磨なし**で標識を確認することができました(図3)。

自作染色容器で大量染色



写真7 染色中のワカサギ卵

- 透明の塩ビ管を使用した容器に卵(150万粒)とコチニール溶液6Lを入れて染色している様子(写真7)。エアーレーションは、**卵が沈殿しない程度**の強さに調整します。
- 染色中の水温変動を抑えるため、保温シートで容器を包み、気温が高い場合には凍らせたペットボトルを投入して**水温を13℃程度**に調整します。

※大量標識については、標識の発色にバラつきがある等の課題も残されています。

①耳石標識 ワカサギの長期飼育技術の開発

最長584日の飼育が可能に!

- ワカサギの長期飼育は、耳石標識の持続性の確認や給餌放流試験に必要です。飼育のポイントを以下にまとめました。



写真8 飼育池のワカサギの様子

- ふ化したワカサギがすぐにエサを食べられるよう、ふ化2～3週間前に施肥をして水作りをします。施肥には**微生物繁殖促進飼料**を用いることで池底や水を汚さずに追肥も可能となります。



写真9 屋外での粗放的飼育

- 水温が低くプランクトンが増えない場合は、**濃縮淡水クロレラ**をうっすら色が付く程度、池に散布します(写真8)。
- ふ化後1週間程度から**アユ用配合飼料**(餌付け用)を与えます。その後、配合飼料はワカサギの成長に応じて大きくします。

- 藻の繁茂や水温上昇の抑制のために**寒冷紗**を、鳥害の防除のために防鳥ネットを池上面に設置します(写真9)。

②低水温・低塩分ワムシの作出

水温10℃かつ低塩分で培養可能なワムシの作出に成功!

- 餌となるシオミズツボワムシ(以下、ワムシ)は、低水温と低塩分に弱く、ワカサギの飼育水槽に入れると死んでしまいます。時間をかけてワムシを低水温・低塩分にならすことで、水槽内でも活力のあるワムシ(以下、低水温・低塩分ワムシ)を作出できました。

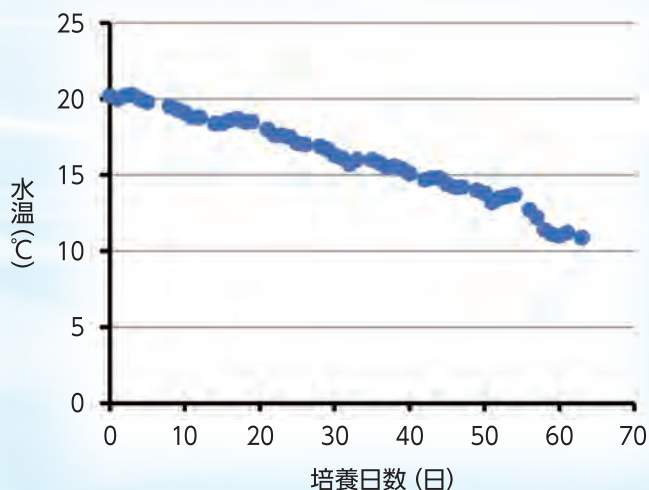


図4 ワムシの培養水温と増殖日数

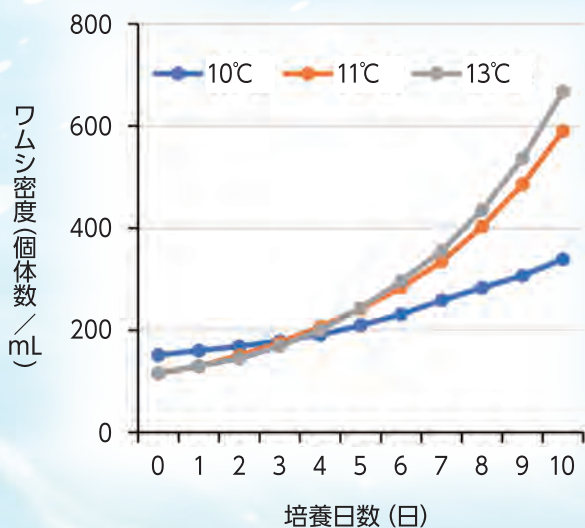


図5 異なる飼育水温での低水温・低塩分ワムシの密度の推移

- 温度変化に敏感であるため、徐々に水温を下げながらワムシを慣らしていく必要があります(図4)。
- 通常培養[25~28℃、25~30PSU(‰)]したワムシなら死んでしまう環境でも、低水温・低塩分ワムシでは個体数を増加させました(図5)。
- 10~13℃、7PSUで培養した低水温・低塩分ワムシの日間増殖率はそれぞれ105~125%でした。
- 培養中の個体数は5~9日で倍増しました。

②低水温・低塩分ワムシ 飼育環境での活力

低塩分(1PSU)でもワムシの活力が下がりにくい

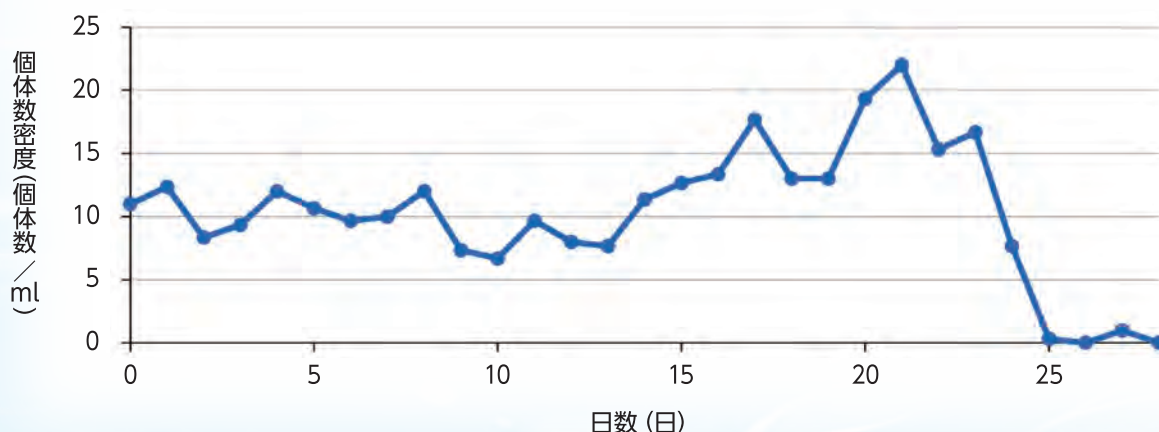
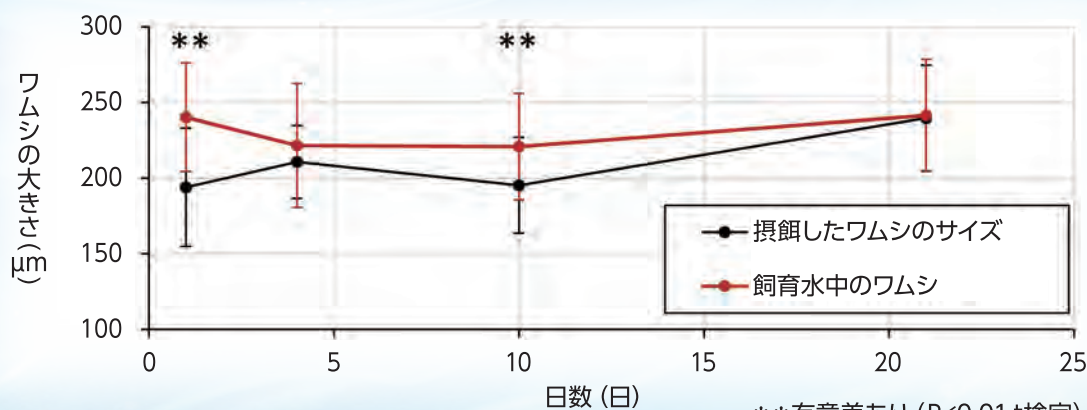


図6 低塩分環境下におけるワムシの個体数密度

- 低水温・低塩分ワムシでは、10℃で培養したワムシを10PSUの培養水槽から低塩分(1PSU)の水槽に移しても、3週間以上活力を失いませんでした(図6)。

ワカサギ仔魚は小さなワムシが好き



**有意差あり (P<0.01,t検定)

図7 ワムシのサイズと仔魚のふ化後の日数との関係

- ふ化直後の**ワカサギは小型のワムシを摂餌し、成長するにつれて大型のワムシを摂餌しました(図7)。
- 初期飼育時には、**S~L型サイズが混在するワムシ**を給餌できれば安定生産につながると考えられました。

※低水温・低塩分ワムシではこの条件のサイズを満たしています。

②低水温・低塩分ワムシ の給餌実験

止水環境で魚にも人にも優しい飼育を

- ワカサギは**止水環境**で飼育することで、生残率が高まり、かつワムシの給餌量も減らすことが可能になりました。

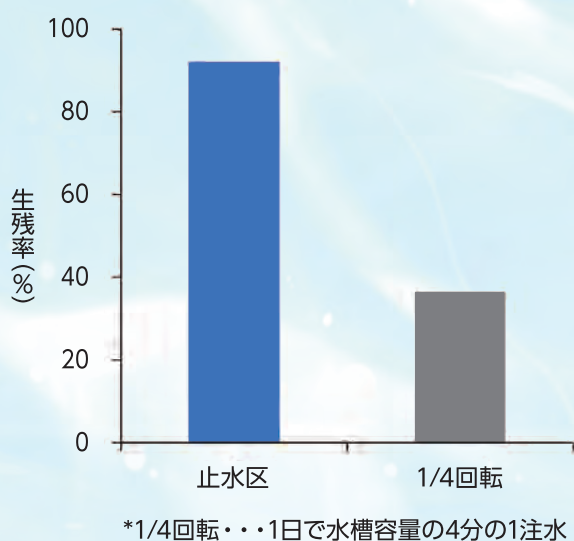


図8 ワカサギ仔魚の生残と飼育水の循環との関係

- 21日間の飼育実験の結果、止水区でワカサギの生残率が高まりました(図8)。

- これは止水環境で**ワムシの活性や密度が高まり**、ワカサギが多くワムシを食べることができたためと考えられます。

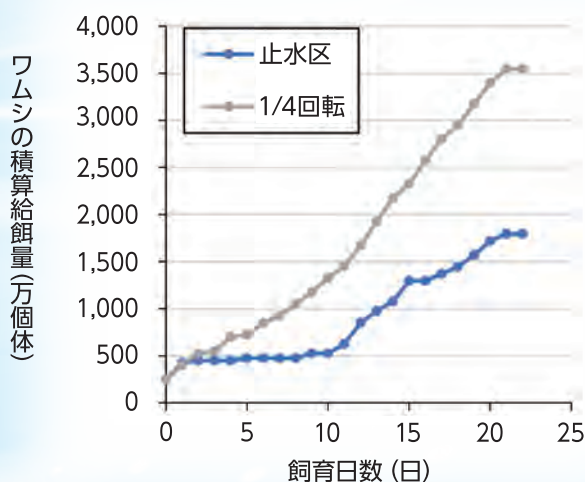


図9 ワムシの給餌量とワカサギ飼育水の循環との関係

- 止水環境では、**ワムシが高密度に存在したため**、給餌量を大幅に抑えることができました(図9)。

- 止水飼育により**人工海水、クロレラなどのワムシ培養コストの削減**および仔魚への給餌の手間の省力化が期待されます。

低水温・低塩分ワムシを実際の現場で使ってみた!



写真10 河口湖漁協でのワムシ培養状況

- ワカサギの種苗生産現場における低水温・低塩分ワムシの有用性を検証するため、河口湖漁業協同組合で実証実験を実施しました。
- 漁協では従来27℃でワムシを培養していましたが実験では20℃で培養しました(写真10)。

- 約2か月間の飼育を行い、前半は低水温・低塩分ワムシと通常ワムシを交互に、後半4週間は低水温・低塩分ワムシのみを給餌しました。収穫はバッチ式で行いましたが、2か月間安定してワムシを収穫できました。またワムシ培養にかかる電気代も節約することができました。

- 河口湖漁協のワカサギ飼育担当者から「飼育したワカサギは過去最高の成長と歩留まりだった」(写真11)、「ワムシの増殖率が安定していて、クロレラの量を調整することなく培養できたので管理が非常に楽だった」とのコメントをいただきました。

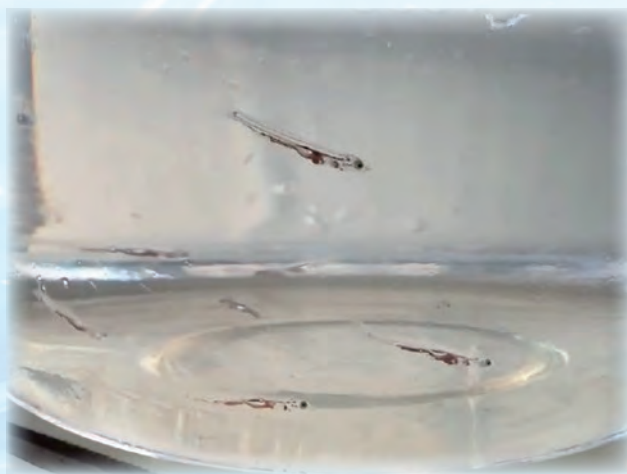


写真11 放流直前のワカサギ稚魚、従来はシラス状態での放流でしたが、稚魚サイズでの放流が可能となりました。

③魚探による資源推定

データ収集について

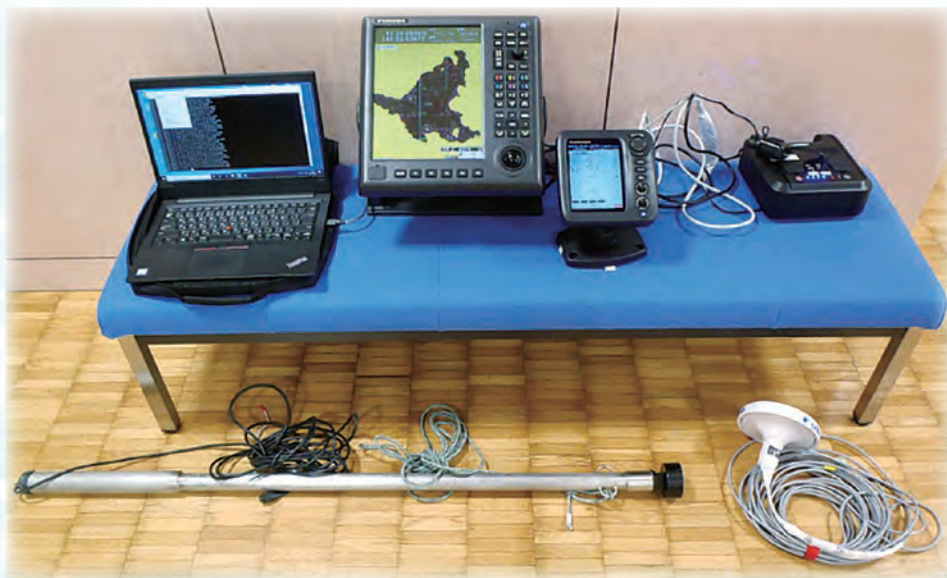


写真12 調査機材（古野電機株式会社製 FCV-628）

- 高周波数（200kHz）でのデータ収集が可能な簡易普及型魚群探知機（以下魚探、写真12）を用いることで、湖沼に生息するワカサギのような小型の魚も探査可能になります。
- 調査はワカサギが湖底から表層にまで広く分散する日没後に行います（写真13）。
- 調査船の速度は4ノットとすることで気泡の発生を抑え、正確な魚探データの収集が可能になります。

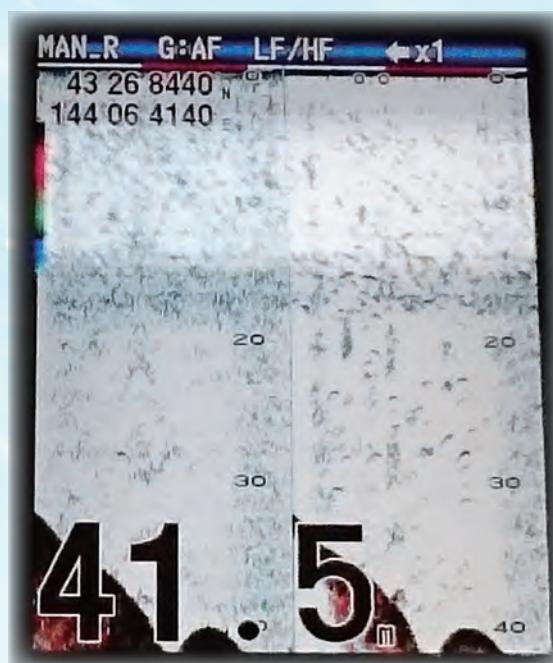


写真13 魚探映像：ワカサギが湖内で分散している様子

③魚探による資源推定

魚探は資源量推定に利用可能か？

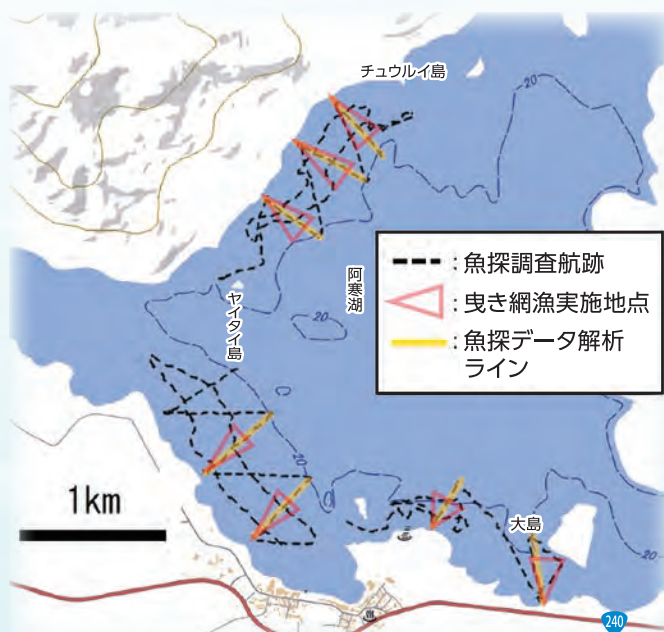


図10 魚探と曳き網の調査地点

※曳網調査では、陸側の三角形の頂点を起点として湖側に投網した。

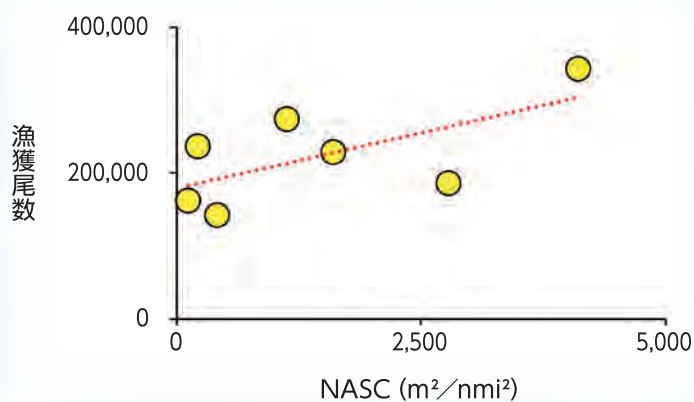
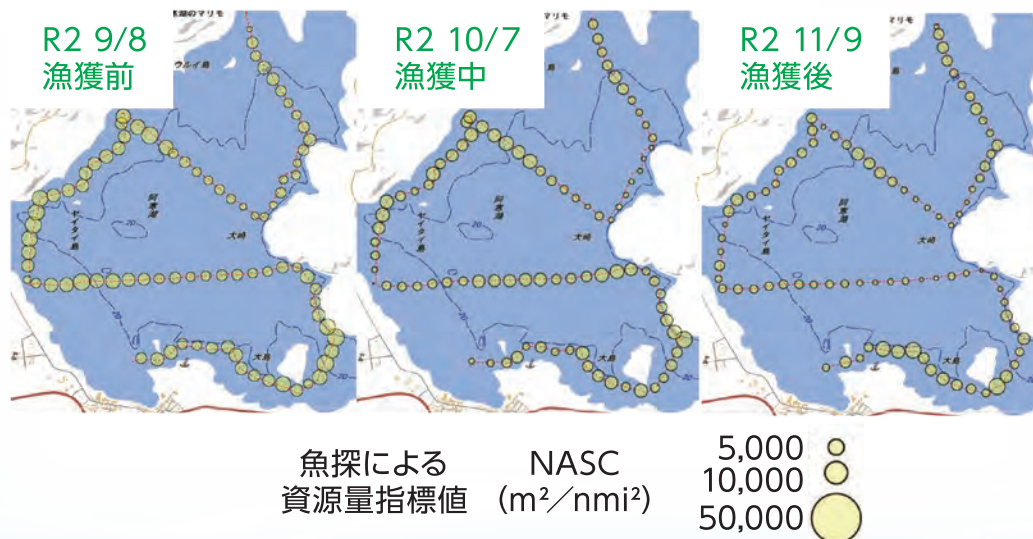


図11 資源量推定指標値(NASC)と漁獲尾数との関係

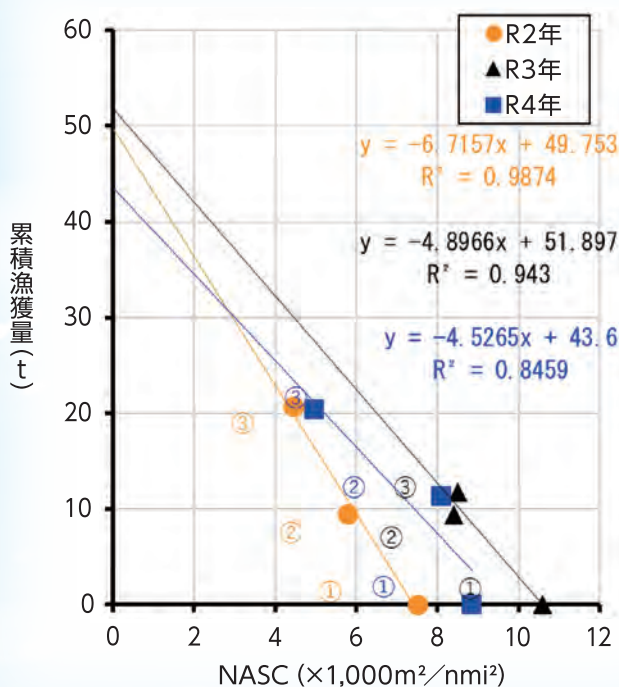
- 黄色のライン上の魚探調査の結果と同地点でのワカサギの曳き網漁の結果を比較することで魚探による資源量推定の精度を評価しました(図10)。
- 単位面積当たりのワカサギ魚探反応の強さを表す資源量推定指標値($NASC = 4\pi \times 1852^2 \times 10 \frac{SA}{10}$)を算出した結果、**ワカサギの累積漁獲量との相関性**(図11)がみられました。
- ワカサギの漁獲尾数とNASCに相関がみられたことから、ワカサギの資源量推定には魚探データが活用できると考えられました。

③魚探による資源推定

湖のワカサギの資源状況がわかる？



- ワカサギ漁の始まる前、中期、終漁後に魚探調査を実施し、累積漁獲量と資源量推定指標値 (NASC) との関係を調べました (図12)。



- 結果、ワカサギの累積漁獲量が多くなるほど、魚探反応 (NASC) も小さくなりました (図13)。

- 魚探調査から累積漁獲量とNASCの回帰式を作成し、ワカサギ初期資源量を推定することができました。阿寒湖ではこの推定値を用いて資源管理を行っています。

③魚探による資源推定

調査精度を維持して省力化!

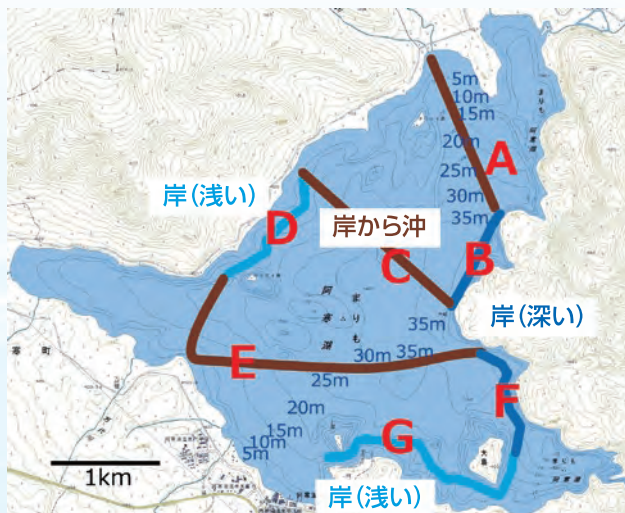


図14 区分化した調査コース(全長14km)

- 資源量推定に用いたデータを調査コースの特徴に応じて区分しました(A～G、図14)。
- A～G、個々のNASCを算出し、隣接した区間のデータを組合わせて資源量推定を行いました。

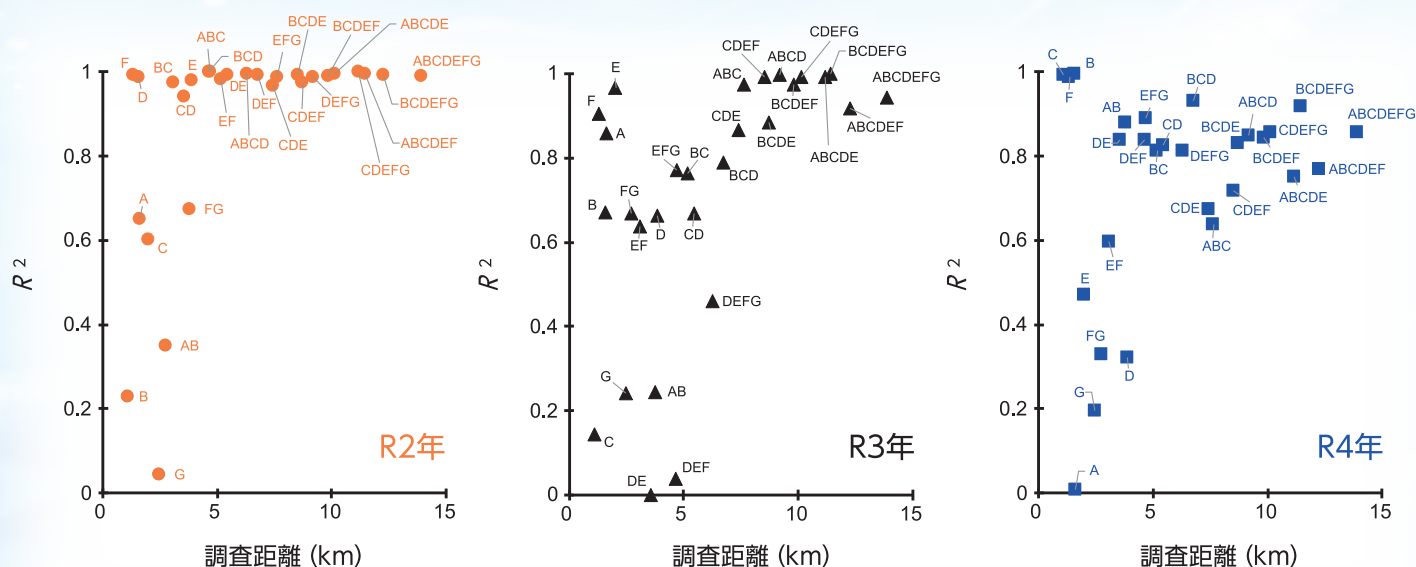


図15 調査区間の組合せと資源推定値へのあてはまり (R^2 値)

- 特徴的な地点をいくつか組合わせることで R^2 値は高くなり、全てのデータを用いずとも資源量が推定可能であることが分かりました(図15)。
- 湖沼の特徴を把握し、調査コースを事前に選定することで調査距離の短縮が可能であり、労力を軽減することが出来ます。

③魚探による資源推定

魚探を活用したワカサギ資源の持続的利用

従来の方法

漁獲量に上限を決めて
次世代資源を守る



資源量が少ない年には、
次世代資源を捕り過ぎてしまう



乱獲の恐れあり



秋の曳き網漁

魚探を活用した方法

魚探による資源予測



推定資源量に合わせて
漁獲量を決める



次世代資源を持続的に
残すことができる
(捕り過ぎることなく利用できる)



漁業資源の持続的利用

資源量を把握し、
捕りつくさないような資源の活用が
できると期待されます!

まずは一步をふみだそう! ワカサギの資源管理技術の紹介

【発行】水産庁 令和5年2月

【著者】(国研)水産研究・教育機構 宮本幸太

山梨県水産技術センター 名倉盾・長野県水産試験場 松澤峻・星河廣樹、
北海道立総合研究機構 山崎哲也・橋本龍治・飯島亜内

本研究成果は水産庁「環境収容力推定手法開発事業」により実施されました。