

琵琶湖の人为的水位低下がホンモロコ卵の生残に与える影響の解明

米田 一紀

滋賀県

1. はじめに

コイ科魚類は世界中に広く分布する淡水魚最大のグループであり、淡水魚類相の主要な構成要素を担うとともに、主にアジア地域の内水面漁業における重要な漁獲対象として利用されてきた。一方で、多くの種で人为的要因による個体数減少が見られ、早急な保護管理が必要な種も非常に多い。Santos ら¹⁾は個体数減少時期や生態知見等の状況証拠から、産卵場所の減少や卵・仔稚魚の生育環境の悪化が個体数減少の要因であると指摘しており、コイ科魚類の主要な産卵育成場である河川や湖沼の沿岸域の環境改変は淡水魚の初期生残に大きな影響を与えると考えられている。しかし評価手法の不足から、指摘されている要因が個体数減少にどの程度影響を与えていているのか、本当に個体数減少の主要因であるのかといった点は不明である。こうした中で、近年、魚類の初期生活史解明のため、耳石日周輪を用いた解析手法が海水魚を中心に研究されてきた。²⁾耳石は脊椎動物の内耳に存在する硬組織であり、扁平石、礫石および星状石から成るが、多くの魚種で扁平石と礫石に日周性のある微細構造（＝耳石日周輪）が形成される。耳石日周輪の輪紋数や間隔を測定することで孵化日や成長速度の履歴を辿ることができるとともに、初期生活史における外的要因の定量的な影響評価が可能である。そのため、個体数動向や生態の知見と組み合わせることで、初期生活史の解明が可能となると期待される。しかし、コイ科魚類の耳石を対象とした研究事例は、耳石輪紋の日周性の確認等の基礎研究に留まっており、日齢解析等の応用研究の事例は皆無である。本研究では、琵琶湖固有のコイ科魚類であるホンモロコ *Gnathopogon caerulescens* を対象とし、耳石日周輪の解析による初期生活史の解明例を提示し、本種の保護管理策に科学的根拠を提供するとともに、コイ科魚類の保全現場における耳石を用いた応用研究の事例を提供し、コイ科魚類の保全に関する研究の促進に寄与することを目的とする。

ホンモロコ（図1）はコイ科タモロコ属に分類される小型の淡水魚である。本種は、晚秋から冬季にかけては主に琵琶湖北湖の深部に生息するが、産卵期になると湖岸および内湖、接続河川等の浅水域に移動し産卵を行う。産卵期は4月初旬～7月上旬であり、4月上旬～6月上旬が盛期である。稚魚は7月中旬頃まで浅水域にとどまって成長した後、沖へ移動する（図2）。³⁾

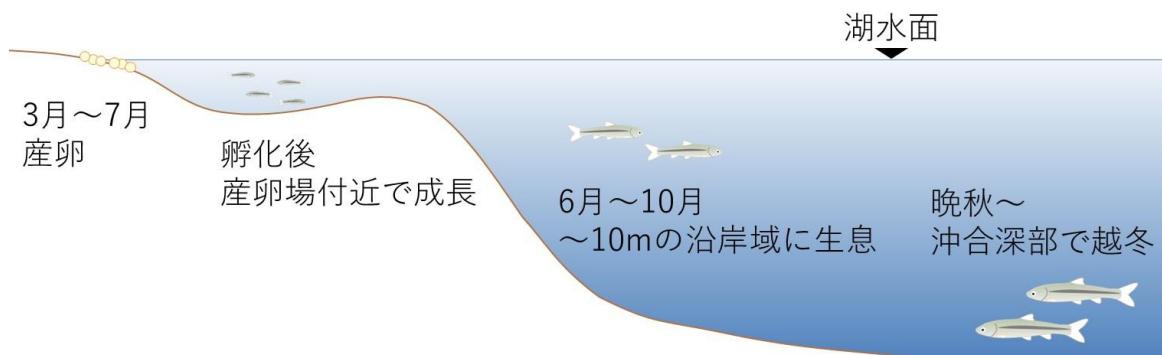
図1 ホンモロコ (*Gnathopogon caerulescens*)

図2 ホンモロコの主要な生活史イメージ

本種は琵琶湖の水産業における重要魚種として古くから利用されてきた。1900年代後半の漁獲量は概ね年間150～350トンで推移していたが、1995年を境として急激に下落し、2004年には5トンにまで減少した（図3）。⁴⁾ 漁獲量の急減以降、本種の主要な産卵地で

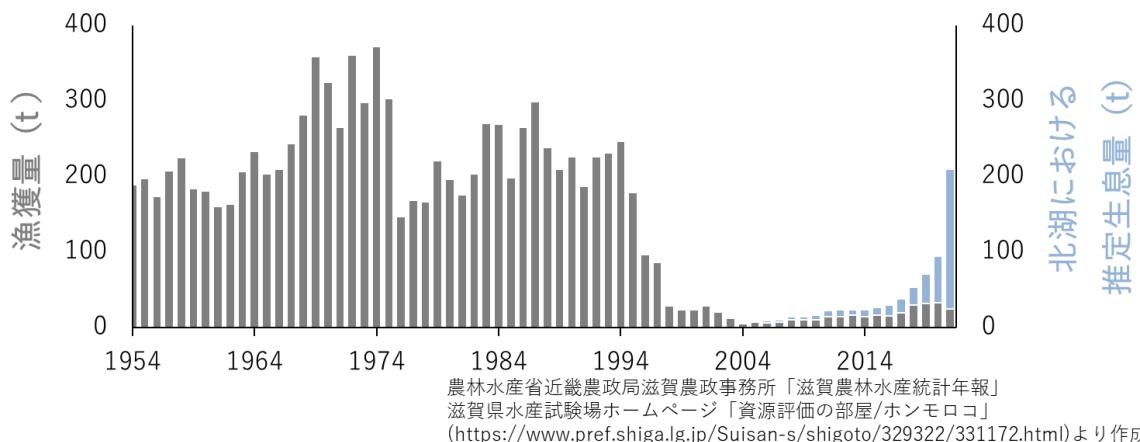


図3 ホンモロコの漁獲量および秋季の北湖における生息量（2006～2021）

あったと考えられている琵琶湖南湖の湖岸域では、産着卵がほとんど認められない状況が続き、初期加入量の減少が資源量低迷の大きな要因の一つと考えられた。これを受けた滋賀県では、ホンモロコ資源の回復のため、全長20mm稚魚の南湖への放流を草津市下笠沖および守山市赤野井地先の赤野井湾を中心に実施してきた（下笠沖：2013年～2018年、赤野井湾：2014年～2021年）。近年、南湖湖岸域において本種の産着卵が再び確認されるようになり、2019年には南湖の広い範囲で産着卵が確認された。⁵⁾ しかしながら、ホンモロコの初期加入について、琵琶湖の水位調整が大きな影響を与えていた可能性が指摘されており、^{4, 6, 7)} 本種の資源回復の妨げとなる可能性がある。琵琶湖では瀬田川洗堰操作規則に基づいて1992年より治水のための水位調整が実施されており、洪水期である6月16日までに基準水位から-20cm以下になるよう水位を低下させる。水位調整は5月中旬頃より開始されるため、5月中旬から6月中旬までの1ヶ月間程度の期間、琵琶湖水位は低下を続けることとなる。水位低下の時期はコイ科魚類の主要な産卵期と重なるため、卵の干出による初期加入量の低下が問題視されてきたが、特にホンモロコについては河川を除いて、水面直上を中心とした産卵を行う特性からその影響は特に顕著であると懸念される。本研究では、本種の日齢解析を実施し、産卵動態との比較から水位調整がホンモロコの初期加入に与える影響について検討を行った。

2. 日齢解析

2.1 材料と方法

2.1.1 調査場所および試料の取得

ホンモロコの主要な産卵地である琵琶湖南湖のうち赤野井湾（図4）を調査場所とし、2020年および2024年に稚魚の採捕を実施した。赤野井湾は在来魚回復のモデル地区とされ、前述のとおり稚魚の放流を行うとともに、外来魚駆除等の対策を集中的に実施した

地域であり、南湖で最も早く、2016年より広範囲での産卵再開が確認されている。加えて、湾形状のため、稚魚の多くが湾内から湾外への一方向に移動することが分かっており（米田未発表）、湾外で孵化した稚魚の存在を考慮する必要がない。そのため、初期加入動態の追跡に適すると考えられることから、当該地域を調査場所として選定した。稚魚の採捕にはビームトロール網を用い、湾内の4か所（図4）で採捕を行った。

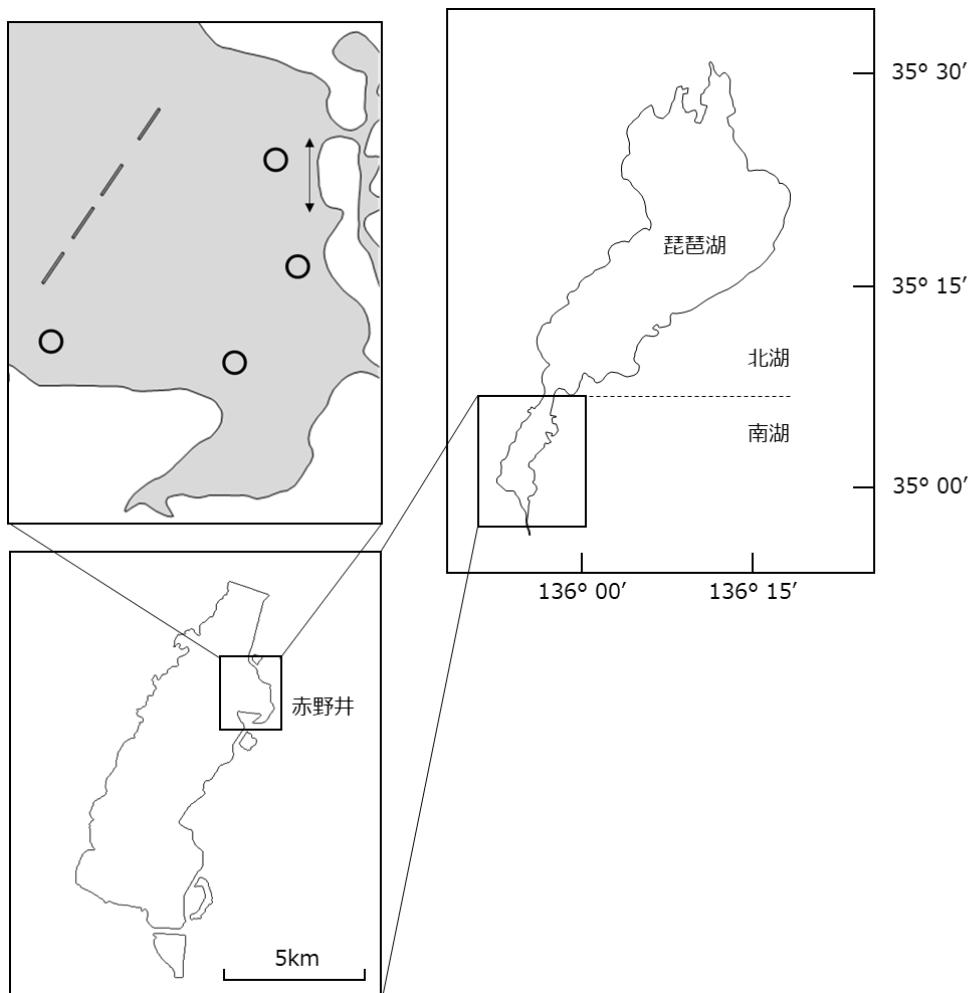


図4 調査地点の位置図。◀→：産着卵数調査区間 ○：稚魚採捕地点

2020年は、6月24日、7月8日、7月22日、8月4日、8月19日、9月4日に、2024年は6月25日、7月8日、7月22日、8月5日、8月19日、9月2日に採捕を試みたが、2020年9月4日および2024年9月4日には稚魚が採捕されなかったため、2020年は8月19日までに採捕された116個体（標準体長13.71mm～64.69mm）、2024年は8月19日までに採捕された267個体（標準体長11.20mm～61.44mm）を試料とした。

2.1.2 耳石薄片作成および耳石日周輪の輪紋数計数

日齢解析には扁平石を用いる場合が多いが、ホンモロコの扁平石は非常に薄く、摘出時に容易に破損するため、日齢解析には適さない（図5）。そのため、日齢解析には礫石を用いることとした。礫石は厚みがあることから、稚魚期においても表面観察では耳石日周輪を確認することができず、耳石を研磨処理し耳石薄片を作成する必要がある。耳石薄

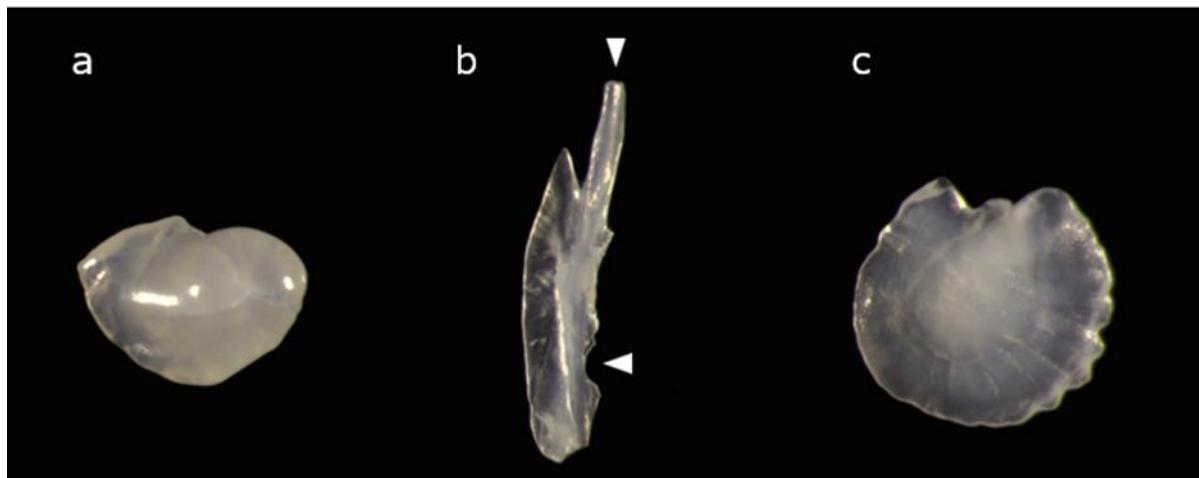


図5 ホンモロコの耳石（左側）。a：礫石，b：扁平石，c：星状石。扁平石には矢印の位置に摘出時に発生した明確な破損が確認される。

片は次の手順で作成した。まず、スライドグラス上に塩化ビニル製テープ（日東电工株式会社）を貼付し、テープ上にシアノアクリレート系接着剤を用いて耳石を接着した。接着剤の硬化後にエポキシ樹脂（NER-814, 日新EM株式会社）で包埋後、60度5時間でインキュベートし樹脂を硬化させた。次に樹脂および耳石の研磨を行った。研磨面の観察には実体顕微鏡（SMZ-U, 明視野照明, Nikon）を用いた。耳石上端まで電動研磨機（FG-18, 京セラインダストリアルツールズ株式会社: 9820, 株式会社マキタ）を用いて樹脂を研磨した後、耐水性紙やすり（600番、1000番、2000番）で耳石の核が観察されるまで研磨した。研磨フィルム（6000番, 三共理化学株式会社）およびアルミナ研磨剤（バイカラックス 0.3cr, Baikowski）を用いて研磨痕を除去した後、超音波洗浄機で10分間洗浄し、室温で乾燥させた。研磨面にエポキシ樹脂を塗布した後に別のスライドグラスを被せ、60度5時間でインキュベートし樹脂を硬化させた。硬化後に塩化ビニル製テープを貼付した側のスライドグラスを剥離し、上記と同じ手順で剥離面を研磨した後、研磨面に封入剤（マルチマウント480, 松浪硝子工業）を滴下し、カバーグラスを被せて測定サンプルとした。耳石日周輪の輪紋数計数には耳石日輪魚鱗計測システム（ラトックシステムエンジニアリング株式会社）および正立光学顕微鏡（BX53M, オリンパス株式会社）を用い倍率200倍で検鏡した。耳石の最長径と核を介して対角となる位置に直線を引き、直線と耳石日周輪の交点を計数し、サンプルの輪紋数とした（図6）。この際、孵化輪と直線の交点も計数に含めた。なお、ホンモロコ稚魚の礫石では孵化前に輪紋の形成が始まるため、孵化輪とその他の輪紋の判別が困難な場合がある。その場合には、孵化0日齢仔魚の礫石半径であるとされる、核から $16.75 \mu\text{m}$ の位置に最も近い輪紋を孵化輪とみなして計数を行った。

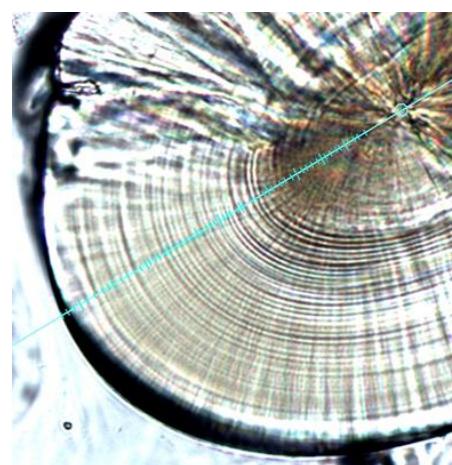


図6 磫石断面。水色直線との交点を計数。

2.1.3 孵化日組成の復元および産卵動態との比較

計数した輪紋数を基に孵化日の推定を行った。輪紋数には孵化輪が含まれているため、孵化日の計算は以下の通りとなる。

$$\text{孵化日} = \text{採捕日} - \text{輪紋数} + 1 \quad (2.1)$$

計算式(2.1)を用いて、各個体の孵化日を推定した後、採捕日ごとに孵化日を集計することで孵化日組成を復元し、水位変化および産卵動態と比較した。水位変化は国土交通省水文水質データベース (<http://www1.river.go.jp/>) より、大津市雄琴沖に設置された水文水質観測所 ($35^{\circ} 05.47'N$, $135^{\circ} 54.46'E$) の観測データを取得し用いた。産卵動態は滋賀県水産試験場が実施した、赤野井湾最奥部（図4）における産着卵数調査の結果を用いた。

2.2 結果

結果を図7, 8に示す。2020年に採捕された稚魚の孵化日組成は明白なピークを示さなかったが、6月3日孵化と推定された1個体を除き、4月7日から5月17日の間で孵化したと推定された。2020年における単位あたりの総産着卵数は4月6日に1,131粒/mを記録した後は一旦低下し、5月24日に1,998粒/mまで上昇した。その後、単位あたりの総産着卵数は減少傾向を示し、7月14日以降は産卵がほぼ確認されなくなった。2020年の琵琶湖水位は5月20日に基準水位+21cmを記録した後は6月11日まで低下し、基準水位-19cmとなった。その後、6月12日から6月27日の期間において、降水による水位上昇と調整による水位低下が1週間程度の短期間で繰り返された。この期間は産卵期の後半における産卵盛期と重複した。

2024に採捕された稚魚の孵化日組成は6月25日採捕群では4月の中旬、7月8日採捕群では5月上旬に孵化尾数が増える傾向があったが、それ以降の採捕群では明確なピークは見られなかった。採捕された稚魚の孵化日は3月21日から6月5日の間と推定された。2024年の産卵は3月19日から6月11日の期間で確認され、単位あたりの総産着卵数は4月24日に8,360粒/mをピークとする单峰に近い推移を示した。2024年の琵琶湖水位は5月29日に基準水位+22cmを記録した後6月15日まで低下し、基準水位-23cmとなった。この期間における産卵は非常に低調であった。

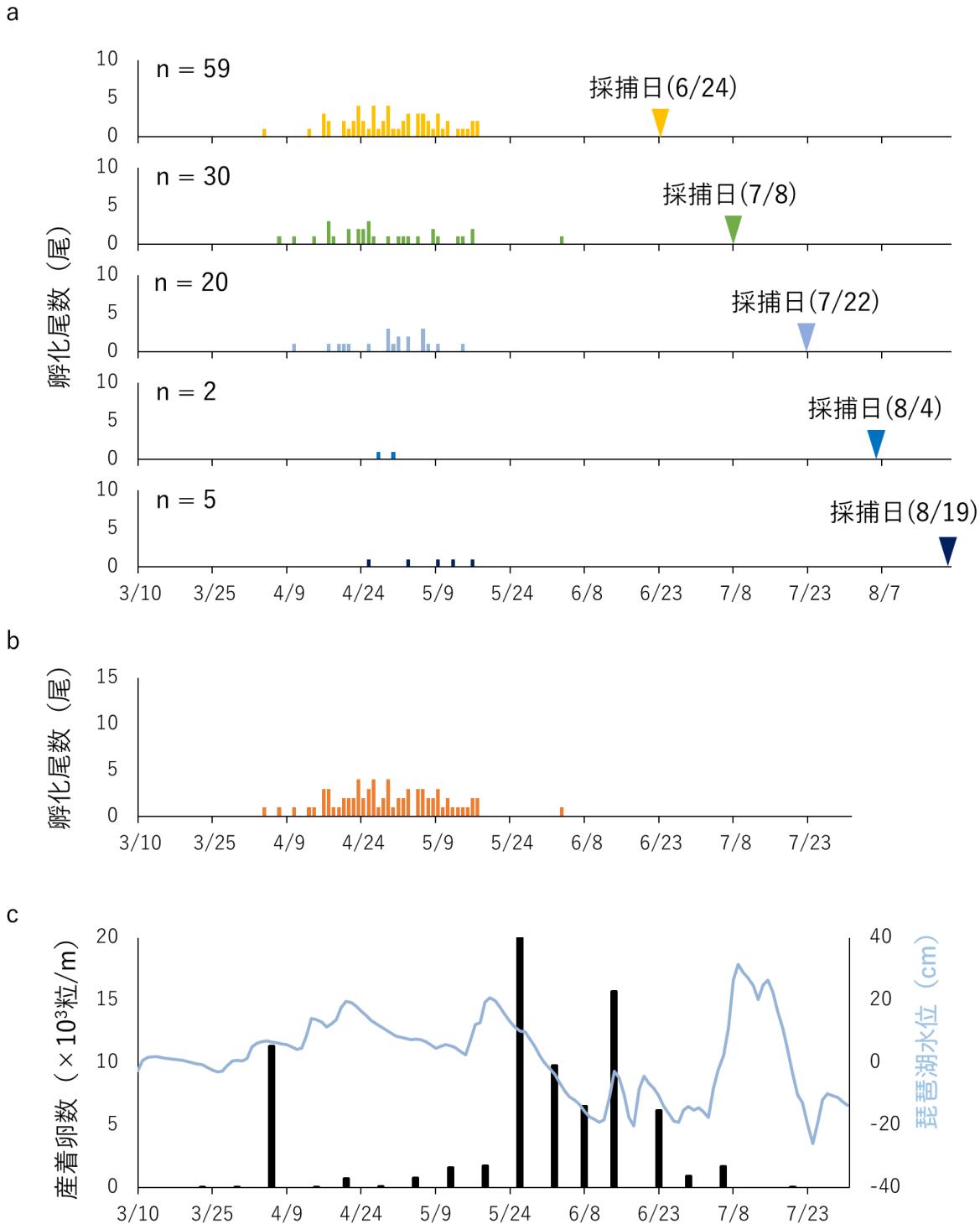


図 7 2020 年に赤野井湾で採捕されたホンモロコの孵化日組成、赤野井湾最奥部沿岸域における産着卵数の動態および琵琶湖水位の動態。a:各採捕日における孵化日組成、孵化日組成グラフの矢印はサンプルの採捕日を示す。b:2020 年における孵化日組成、各日の最大孵化尾数を孵化尾数として図示。c: 産卵動態および水位動態、棒グラフは各調査日の単位あたりの総産着卵数を線グラフは基準水位を 0 とした場合の琵琶湖水位を示す。

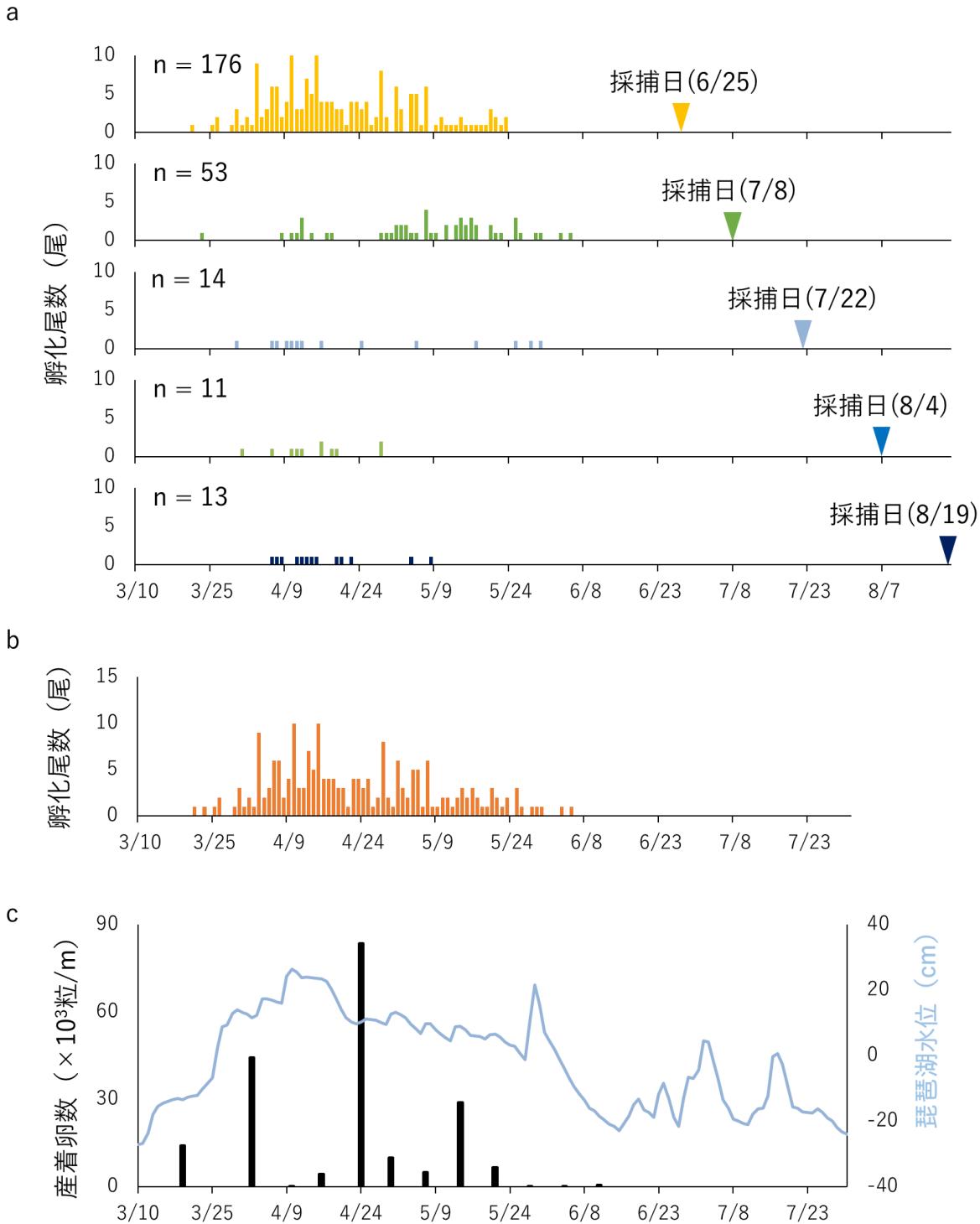


図 8 2024 年に赤野井湾で採捕されたホンモロコの孵化日組成、赤野井湾最奥部沿岸域における産着卵数の動態および琵琶湖水位の動態。a:各採捕日における孵化日組成、孵化日組成グラフの矢印はサンプルの採捕日を示す。b:2024 年における孵化日組成、各日の最大孵化尾数を孵化尾数として図示。c: 産卵動態および水位動態、棒グラフは各調査日の単位あたりの総産着卵数を線グラフは基準水位を 0 とした場合の琵琶湖水位を示す。

2.3 考察

赤野井湾における2020年の産卵の中心は5月下旬から6月中旬と考えられたが、推定された孵化日は1個体を除き5月17日までであり、上記の期間に孵化した個体はほとんど確認されなかった。5月下旬以降に孵化した個体がビームトロール網による採捕サイズに達する以前に全て湾外に移動したとは考え難く、5月下旬から6月中旬に産み付けられた卵の多くは卵から稚魚までのいずれかの段階で死亡した可能性が高い。卵から稚魚までの死亡要因として想定されるものとしては、卵の干出による死亡と外来魚等による卵や稚魚の捕食が考えられる。もし、捕食が主要因であるとすると、5月18日以降に孵化した個体とそれ以前に孵化した個体で、個体が一切確認されなくなるほど捕食圧が急激に変化したこととなる。時期による外来魚等の捕食圧の変化については更なる研究が必要であるが、上記の仮定はあまり現実的ではない。前述のとおり、この期間は琵琶湖水位が調整され、緩やかに低下し続けた期間と重複する。そのため、2020年に産み付けられた卵の多くが干出により死亡した可能性は十分に考えられる。

一方、2024年は産卵が確認された期間と推定された孵化日組成が概ね一致した。2024年は、琵琶湖水位低下時期の初めに大雨により水位が急激に上昇しており、水位低下の開始が2020年と比較して9日遅くなった。加えて、水温が2020年よりも早く上昇し、親魚の卵巣の退縮が起こったために、産卵時期が2020年よりも早く終了した（図9）。これらの

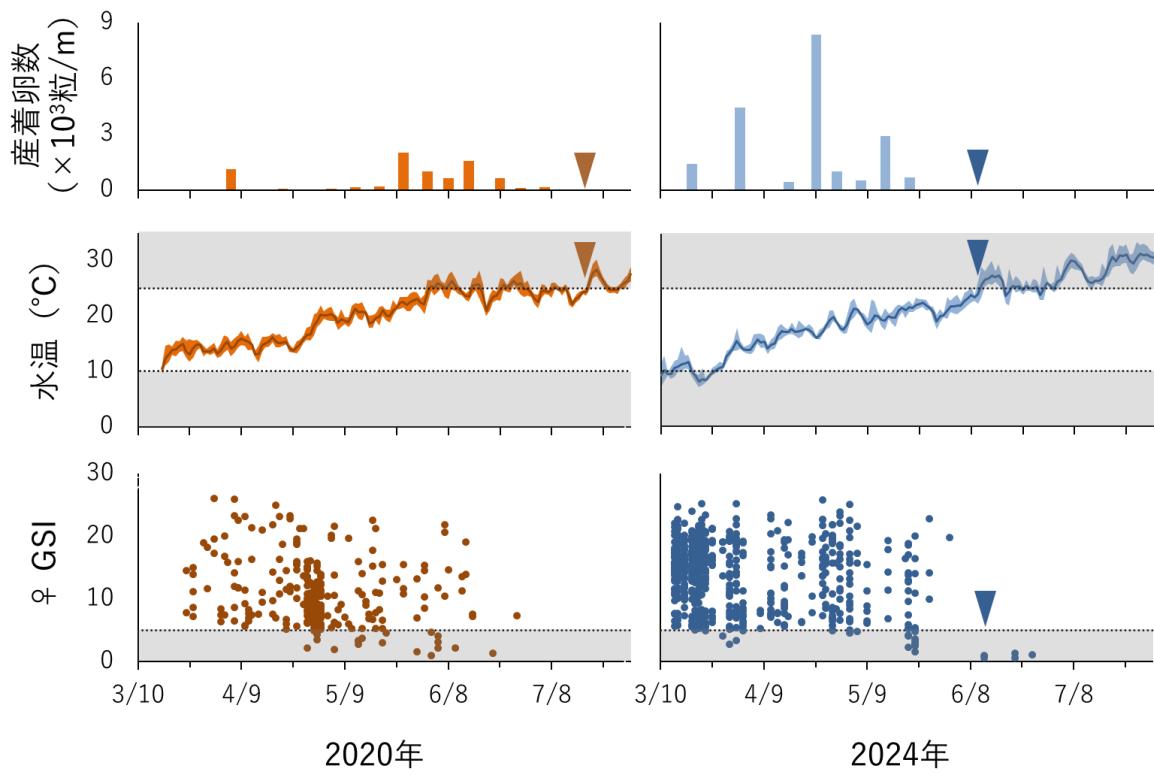


図 9 2020 年および 2024 年の産着卵数、水温および雌親の GSI（魚体重に占める生殖腺重量の割合）の推移。

矢印はホンモロコの産卵可能水温の上限とされる 25°C を超えた日を示す。2024 年の雌親の GSI は矢印以後において、卵巣中の卵が退縮するとされる 5 を下回った。

要因により、水位低下時期における産卵は非常に低調であった。2024年は通常5月の中旬以降に行われる琵琶湖の水位低下の影響をあまり受けなかつたものと考えられる。ただし、8月4日以降の採捕群においては、7月22までの採捕群でみられた、後期産卵由来の稚魚が出現しておらず、捕食等により減耗した可能性がある。

2020年および2024年の結果を基に、数理モデルによる卵の干出が初期減耗に与える影響の定量的評価を試みたが、現実に即した結果は得られなかつた。この理由として、産卵動態の調査間隔が1週間毎と長く開いており、産卵動態を十分に捉え切れていないことに加え、卵の孵化日数の変化や水位の変動量による影響度合いの変化等の基礎知見が、室内実験における結果と現場との間で乖離している可能性が考えられた。そこで、次章のとおり、2025年の産卵期において、より詳細な産卵動態の調査を実施した。

3. 産卵動態

3.1 材料と方法

産卵動態は 2020 年および 2024 年に滋賀県水産試験場が調査を行つた調査区間（湖岸線長 212.5m）と同区間で調査を実施した。2025 年 3 月 9 日を調査開始日として日に 1 回の頻度で調査を実施し、同年 6 月 28 日まで継続した。ホンモロコは日中に産卵を行うため、調査は日没前後に実施したが、波浪等で計数が困難な場合は翌日の日出前後に調査を行つた。また、3 月 19 日、3 月 26 日、3 月 28 日から 3 月 30 日の 5 日間については、荒天その他の理由により調査を実施できなかつたため、欠測とした。調査は次の手順で実施した。箱眼鏡等を用いてホンモロコの卵を目視で探査し、産着卵が見られた場合は、産着卵が連續的に確認される範囲（以下、産卵範囲とする）の面積を求めた。産卵範囲の形状は長方形の集合とみなし、メジャーを用いて産卵範囲の幅と奥行きを 1cm 単位まで測定した。その後、コドラート法により産着卵の密度を求めた。1 辺が 10cm の正方形の枠を描画した透明アクリル板を産卵範囲内に無作為に設置し、産着卵の重なりを無くすため、産卵基体に密着させた。アクリル板上方より枠内の産着卵を計数し、100 cm²範囲内の卵数とした。枠内の産着卵数が多い場合や産卵範囲の短辺が 10 cm に満たない場合は、枠内を 64 等分した 1 辺 1.25cm の正方形枠を用い、対角線上に位置する 4 から 16 の正方形枠内の卵数の合計から 100 cm²範囲内の卵数を計算した。計数回数は産卵範囲ごとに 3 回としたが、産卵範囲が広い場合や計数結果のばらつきが大きい場合は最大 7 回まで計数を行つた。計数結果の平均値を 100 で除した値を当該産卵範囲の産着卵の密度として用いた。産卵範囲の面積と産着卵の密度を掛け、各産卵範囲における産着卵数を算出した後、調査日に確認された産着卵数を合計して、総産着卵数とした。また、4 月 2 日より死亡して白化した卵や乾燥により変形した卵が確認されるようになったため（図 10）、これらの卵を死卵として別に計数した。

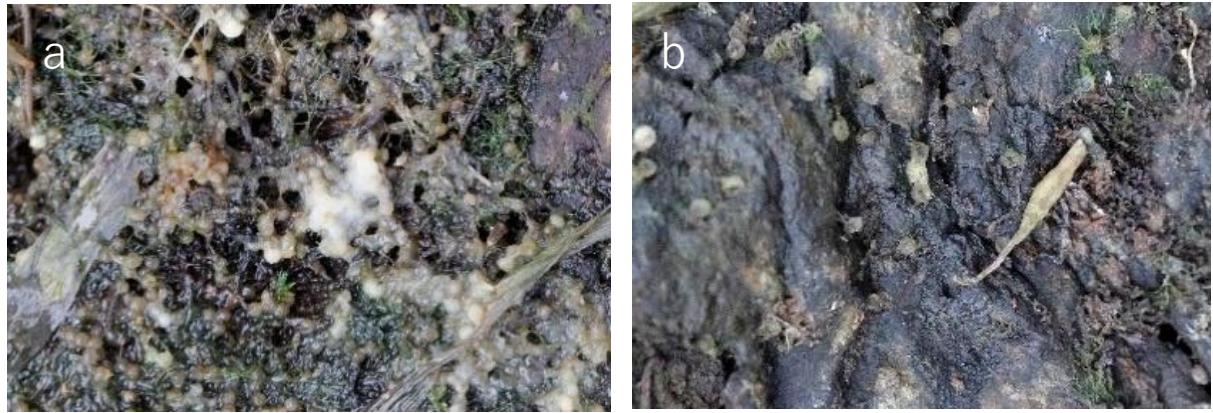


図 10 死卵として計数した卵の例. a:白化した卵が混在, b:乾燥により変形した卵.

3.2 結果

結果を図 11 に示す。調査区間において 産卵は 3 月 14 日に初確認され、6 月 17 日までの約 3 か月間産卵が行われた。4 月中旬ごろより産卵量が上昇し、4 月下旬をピークとする水位低下前の産卵群（以下、前期産卵群とする）、5 月下旬をピークとする産卵群（以下、中期産卵群とする）、6 月上旬をピークとする産卵群（以下、後期産卵群とする）が確認された。

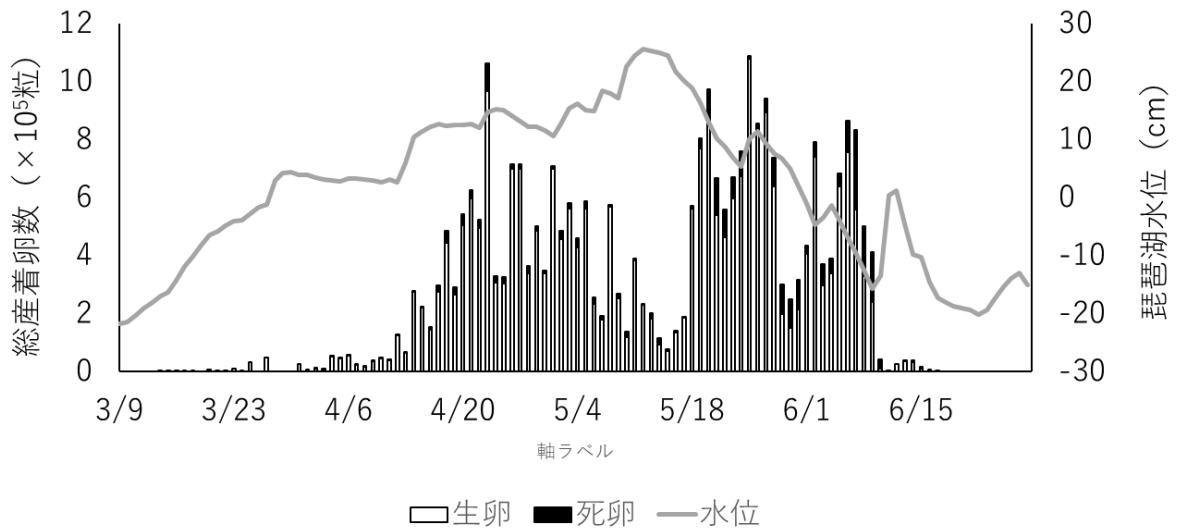


図 11 2025 年における調査区域内の総産着卵数および琵琶湖水位の推移

産卵群毎に期間中の死亡率の平均を比較したところ、データのばらつきが大きいために有意な差は得られなかつたが、前期産卵群と中期産卵群・後期産卵群では、中期産卵群・後期産卵群の死亡率が高い傾向にあった（図 12, 13）。

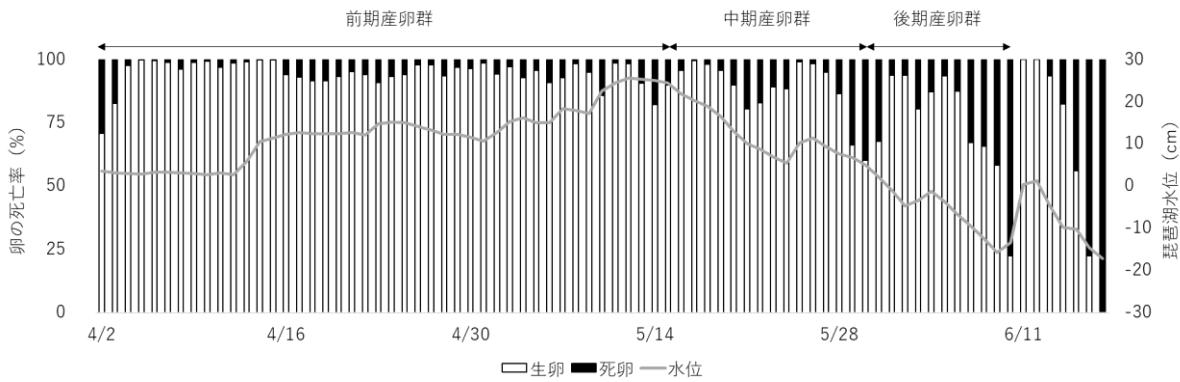


図 12 2025 年における調査区域内の卵死亡率および琵琶湖水位の推移

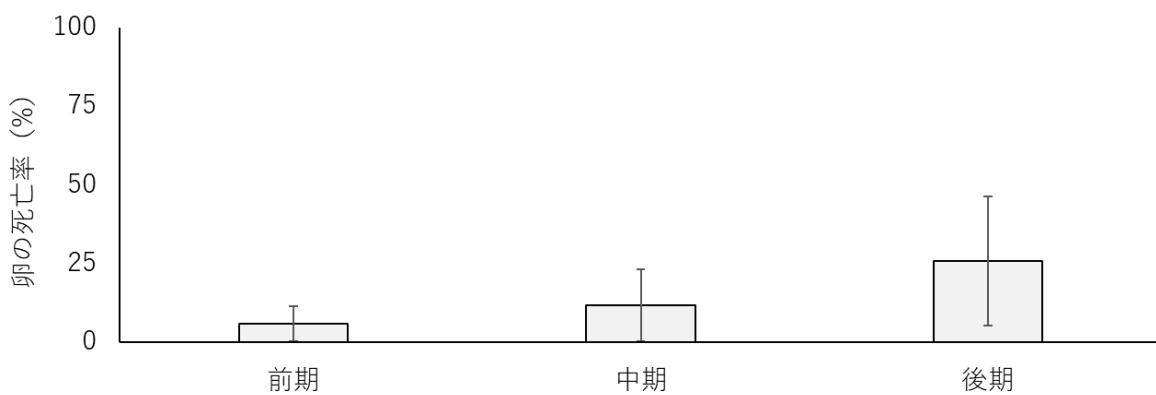


図 13 各産卵群の卵死亡率の比較、バーは標準誤差を示す。

3.3 考察

本研究の研究期間においては、各産卵日における新規産卵数および孵化までの日数を精査することはできなかったが、現地での観察では、4月上旬で1週間、5月下旬以降は2日から3日程度で孵化したものと思われた。室内実験では、4月上旬の水温では孵化までに2週間程度必要であるとされていることから、半分程の日数で孵化したこととなる。ホンモロコは水面直上に産卵を行うことから、特に水温の低い時期においては、日照および地熱の影響により、卵が経験する温度は水温の測定よりも高い可能性がある。現場で測定した孵化日数でモデルを組むことにより、現実に即した結果を得られる可能性がある。前期産卵群と中期産卵群・後期産卵群では、中期産卵群・後期産卵群の死亡率が高い傾向にあった。今回は、新規産卵を考慮しなかったため、死亡率は実際よりも低く算出されている場合が多く、水位低下時の死亡率は本研究での結果より高くなると見積もられる。卵が死亡するまでの日数には、産卵基質により差が見られ、岩石に産み付けられた卵では2日から3日程度で死亡し痕跡的になるのに対し（図14）、木の幹や太い根に産み付けられた卵では、死亡率は緩やかに上昇した。一方で、ヤナギ類の細根に産み付けられた卵では、干出後数日経過しても、比較的高い生残率のまま維持される傾向にあった。次章にヤナギ類の細根に産み付けられた卵の干出に対する耐性および孵化仔魚の干出耐性について得られた成果を記述する。



図 14 干出 3 日目の卵、岩石に産み付けられた卵では死亡および変形までの日数が短く、数日で卵の痕跡が残る程度になる例も確認された。

4. ヤナギ類の細根に産み付けられた卵および孵化仔魚の干出耐性

4.1 材料と方法

4.1.1 卵の採取および孵化仔魚の計数

3 章の調査において、白化や変形をせずに卵形を維持している卵が観察された（図 15）。当該卵は水面付近の卵と比較し色が褐色に近く、表面の透明性も低い。しかしながら水中に入れると卵内から孵化仔魚が発生したことから生卵であることが確認され、孵化した仔魚を 2 週間程度飼育したところ正常に成長することが観察された。本章では 6 月 5 日に産卵後に干出し、5 日経過した卵を 6 月 10 日に採取し、これを試験に用いた。

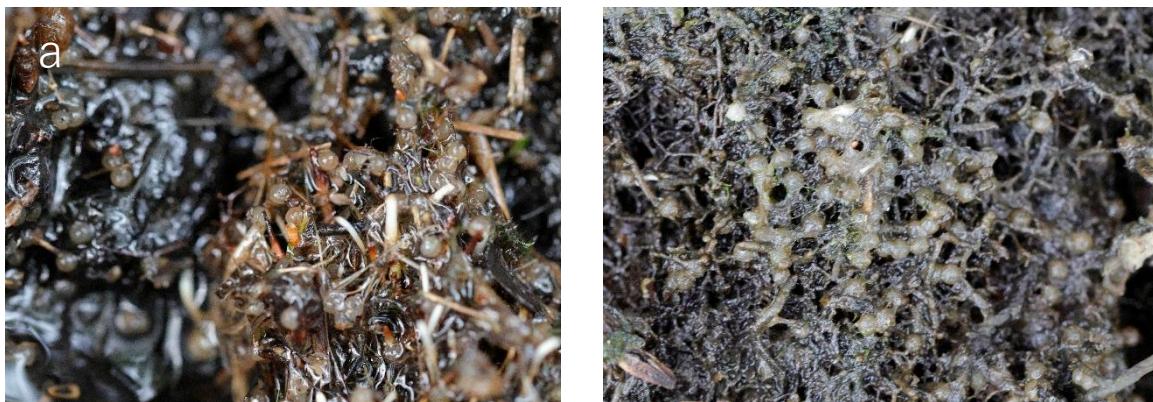


図 15 a:水面付近の卵（産卵後 1 日経過）、b:干出後 4 日経過した卵、一部は白化しているが、多くは孵化直前の状態で維持されている。

卵はヤナギ 3 本の根元でそれぞれ 50 粒程度採取した。採取した卵は環境水を入れた 100ml ポリ瓶に直ちに収容し、1 時間経過したのちに、孵化した仔魚のうち生存していた仔魚数および死亡していた仔魚数をそれぞれ計数した。

4.1.2 孵化仔魚の干出耐性

4.1.1 で得た孵化仔魚を用いて試験を行った。疑似的に干出を経験させるため、シャー

レに水を飽和状態まで含ませた脱脂綿を置き、ここに 10 個体ごとに分けた孵化仔魚を静置した。静置から 15 分、30 分、45 分。60 分後に仔魚を 100ml ビーカーに移し、生残個体数を測定した。また、対象区として 60 分間 100ml ビーカーに収容した群を設けた。試験は 3 回実施した。

4.2 結果

干出した卵から孵化した仔魚の生残率は 76.2–86.0 %であった（表 1）。孵化仔魚の干出耐性は比較的低く、干出後 15 分時点では 90–100 %の仔魚が生存していたが、干出から 30 分後の生残率は 0–10 %に低下した（図 16）。

表 1 採取した干出卵より孵化した仔魚の生残率

Lot.	採取卵数	生存卵数	生存孵化仔魚	死亡孵化仔魚	生残率 (%)
1	59	57	49	8	86.0
2	68	66	53	13	80.3
3	43	42	32	10	76.2

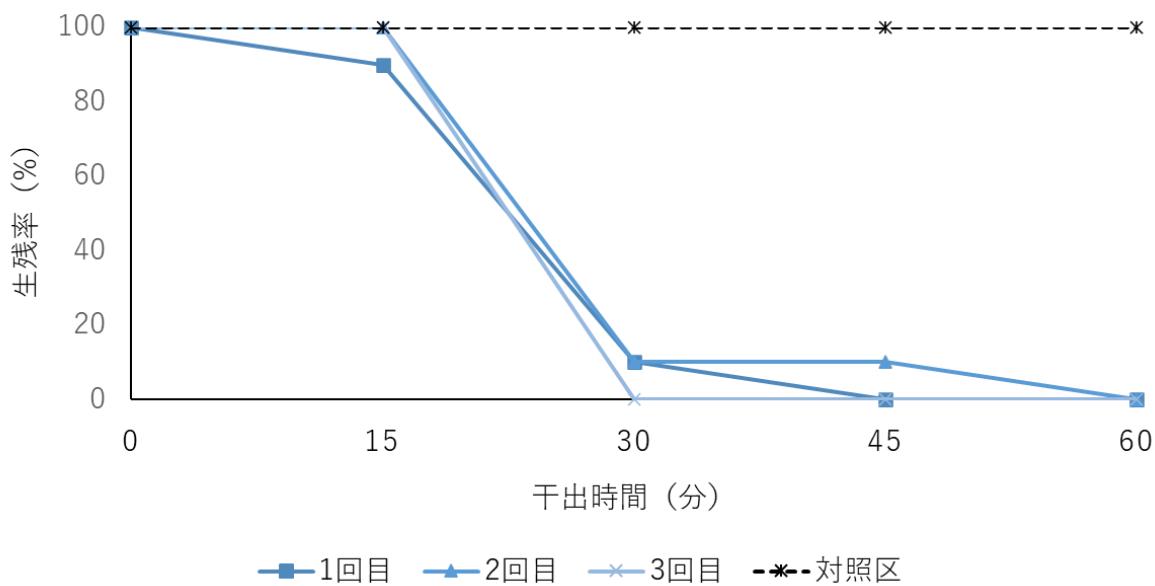


図 16 疑似的に干出を経験させた孵化仔魚の生残率

4.3 考察

干出した卵の孵化率は非常に高い値を示した。本種はヤナギの根等の水面直上の比較的安定した基体に産卵を行う性質を持ち、この性質は卵の捕食圧を低減せると考えられる。3 で実施した産卵調査においても、水中に高い密度で産卵が確認された地点において、翌日に卵の密度が極端に低下している例が複数確認されており、卵が水面よりも上方にある

ことは生存戦略として有効であると思われる。一方で、他の魚種と比較して卵が干出しやすい危険性も持つ。卵の非常に高い干出耐性はこの危険性を低下させる効果を持つと考えられる。今回試験に用いた卵は産卵から 5 日経過した卵であったが、同時期の卵の孵化日数は 2 日程度であり、干出後の日数は明らかに孵化日数を超過していた。水面よりも上方で孵化直前まで発達が進んだ状態で長期間維持し、大雨や波浪、水位上昇等で水に触れた際に孵化するという機構は、水中に卵がある場合よりも高い生残率を得られる可能性もある。

今回の事例においても 6 月 10 日の雨の後に調査地点における卵数の大幅な低下が確認されており、雨の刺激により干出卵の多くが孵化したものと予想される。しかしながら、多くの卵が孵化した時点で、卵が確認されていた地点と水面との間は、直線距離で 40 cm から 200 cm 程離れていた。本研究の結果を当てはめると、少なくとも 30 分以内に孵化仔魚は水面にたどり着く必要があるが、孵化仔魚の移動能力の低さを勘案すると、雨により形成された流れに偶発的に乗った個体を除き、孵化仔魚が水面まで到達できたとは考え難い。水位が低下を続ける時期においては、当該機構は有効に機能していない可能性が高い。

5. おわりに

今回の研究により、継続的な水位の低下により卵が干出すると、産卵された個体の多くが死亡する可能性が示された。産卵期間のうち初期加入に有効な期間が短くなることは、多様性の消失を意味し、突発的な環境の変化に対する脆弱性を高める。特にホンモロコは多くが1年で成熟し産卵後に死亡するため、単年度の異変に対しての柔軟性が低い。現在の環境は、1995年に見られたような急激な個体数減少を招きやすい状態にあると考えられる。ホンモロコの個体数は近年増加傾向にはあるものの、1995年以前と比較すると未だ低水準にある。今後、個体数の回復を考えるうえでも、上記の問題は大きな課題となる可能性がある。

6. 謝辞

本研究を実施するにあたり、宝ホールディングス株式会社、みずほ信託銀行株式会社の皆様には多大なご支援を賜った。また、滋賀県水産試験場の岡本晴夫氏、太田滋規氏、根本守仁氏、片岡佳孝氏、大植伸之氏、滋賀県水産課の磯田能年氏、松田直往氏には調査にご協力いただくとともに、調査手法についてご助言をいただいた。滋賀県立琵琶湖博物館の藤岡康弘氏、寺井章人氏、国立環境研究所の馬渕浩司氏にはホンモロコの生態および産卵状況に関する貴重な情報を提供いただいた。近畿大学の亀甲武志准教授、東京大学の良永知義特任教授、高須賀明典教授には研究計画および指針についてご指導をいただいた。皆様に厚く御礼申し上げます。

7. 引用文献

- 1) C. Sousa-Santos, F. Gil & V.C. Almada (2014) Ex situ reproduction of Portuguese endangered cyprinids in the context of their conservation. Ichthyological Research 61:193-198

- 2) S. E. Campana (2001) Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *Journal of fish biology* 59(2):197-242
- 3) 中村守純 (1969) ホンモロコ. 日本のコイ科魚類. 資源科学研究所, 東京. 117-125
- 4) 藤岡康弘 (2013a) 琵琶湖固有（亜）種ホンモロコおよびニゴロブナ・ゲンゴロウブナ激減の現状と回復への課題. *魚類学雑誌* 60(1):57-63
- 5) 馬渕浩司・西田一也・吉田 誠 (2020) マルチプレックス PCR 法を用いた琵琶湖水系産タモロコ属 2 種のミトコンドリア DNA の簡易識別法：手法開発と南湖の産着卵への適用. *魚類学雑誌* 67(1):51-650
- 6) 亀甲武志・根本守仁・澤田宣雄・藤岡康弘 (2012) 琵琶湖沿岸におけるフナ類およびコイ産着卵の大量干出. *魚類学雑誌* 59(1):84-86
- 7) 藤岡康弘・田口貴史・亀甲武志 (2013b) 多回産卵魚ホンモロコの産卵時期・産卵回数・産卵数. *日本水産学会誌* 79 : 31-37