

1. 小型種苗の早期放流試験

早期小型種苗放流試験として斐伊川支流の三刀屋川において放流試験を実施した（図1）。2022年4月26日に、江川漁業協同組合あゆ種苗センターにおいて生産された、平均魚体重5.7gの海産系種苗の種苗14,000尾を放流した。放流魚のうち4,458尾は標識として脂鰭カットを行った（標識率32%）。放流種苗の定着状況を確認するため、放流の29日後となる2022年5月25日に、放流地点から2kmの範囲で潜水目視によるアユの生息状況について潜水観察を行った。

斐伊川のアユ漁解禁日である2022年7月1日に放流地点近郊において友釣りによる釣獲並びに投網によりアユを採集した。採集されたアユ全長、体重を測定し日間成長率を求めた。



図2 調査河川位置図

2. 天然遡上アユ遡上不振の原因解明

2022年3月24日から5月19日までの期間、7日～10日の間隔で計8回、高津川（図2）において天然遡上魚の採集を行い、一部個体について耳石の日週輪から遡上魚の孵化時期を推定した。また、流下仔魚の出現時期・数量については、10月12日から12月8日まで、高津川下流域において、毎週1回、17時～24時まで1時間おきに、北原式プランクトンネットにより5分間の採集を行った。北原式プランクトンネットに取り付けた濾水計から濾水量を算出し、採集された流下仔魚数から流下仔魚の密度を算出した。調査時毎の流下仔魚密度を基に、国土交通省浜田河川管理事務所より提供を受けた河川水位データ並びにH-Q式から調査日の流下仔魚数を算出した。また、調査日毎に得られた流下仔魚数を基に、10月上旬から12月下旬までの総流下仔魚尾数を推定した。

3. コチニール色素によるアユ発眼卵への標識技術開発試験

発眼卵への標識付けは、2022年10月27日に江川漁協の種苗生産用養成親魚、並びに2022年11月17日に高津川の天然親魚から搾出し人工授精させたものを用いた。受精卵は染色を行うまでの期間、循環式の孵化器内で管理した。受精卵が発眼し耳石の形成が確認された翌日から複数回の染色試験を行った。染色濃度はコチニール色素（株式会社キリヤ化学製 カルミンレッド MK40）50g/Lの濃度に6時間浸漬する区と、20g/Lの濃度に24時間浸漬する2区とした。また、水温による染色状況の違いを確認するため、上記2区の染色濃度で10℃、15℃、18℃の3温度帯で染色を行った。染色は各濃度、水温別に発眼卵200粒程度を21%ショ糖液に5分間浸漬し、浮上した発眼卵のみを調整済みの染色液500mlを満たした500mlビーカー中に入れ染色し

た。染色した発眼卵は、汲み置き水道水で洗浄後、1 試験区あたり 90 粒を汲み置き水道水を分注した 3 つのシャーレに 3 等分し、インキュベーター内に収容した。孵化までは、18℃および 15℃で染色したものは染色時の水温で孵化させた。10℃で染色を行った試験区については、過去の染色試験で低水温による活性低下により孵化に失敗し、頭部に卵膜を被ったまま斃死する個体が多く見られていたため、15℃の条件下で孵化を行った。染色後、各試験区について孵化率を算出するとともに、孵化仔魚は冷凍保存し、後日、各試験区から 10 個体を蛍光顕微鏡（ニコン ECLIPS Ni-U 光源装置ニコン INTENSIGHT C-HGFI）を用い、G 励起下、200 倍で耳石の蛍光発色を観察した。コチニール染色の結果を評価するため、顕微鏡観察下での蛍光発色の程度を 1 から 4 までの 4 段階（図 3）で評価した。

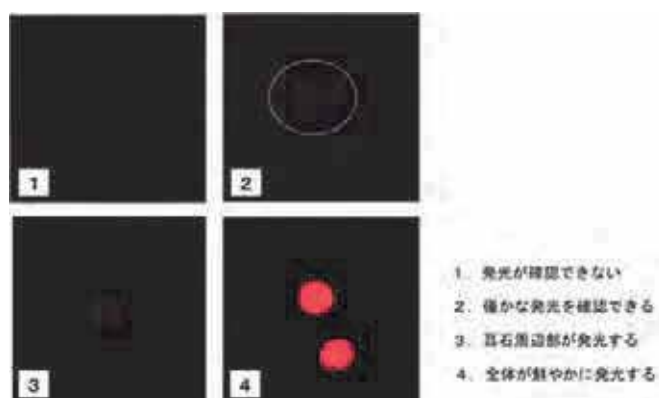


図3 コチニール染色の評価基準

4. 孵化時期調整を目的としたアユ受精卵の発生抑制技術の開発

2022 年 11 月 17 日に高津川産天然親魚から搾出した受精卵を用いた。採卵・受精は採集地で行い、受精卵を河川水 5L と共に透明ポリ袋に収容し、水産技術センターまで輸送した。水産技術センター到着後、直ちに陶土による不粘着処理を行なった後、水温 18℃の循環式孵化装置内に収容した（図 4）。収容した卵重量は 142.3 g であった。翌日、受精卵の発生が進行していることを確認後、循環式孵化装置の循環水を水温 10℃に降温させた。発眼までの期間、2～3 日の間隔でブロナポール製剤（エランコ社製 パイセス）による卵消毒、ならびに循環水の交換を行った。受精卵は、発眼・耳石の形成後に標識試験用の検体として一部を使用するとともに、受精後 25 日目となる、2022 年 12 月 12 日にコチニール色素染色による標識付けを行った。染色前には 21%ショ糖液 1L 中に 5 分間受精卵を浸漬し、浮上した卵 105.7g、推定 113,056 粒をコチニール色素 20 g/L 濃度の染色液 5L を入れた 5L 三角フラスコ内に収容し、水温 10℃、微通気条件下で染色した。染色終了後の受精卵は、汲み置き水道水で十分洗浄した後、汲み置き水道水 5L を入れた 5L 三角フラスコ 2 個に分割し、微通気条件下で孵化まで管理した。またコチニール色素による標識技術開発試験と同様の手法で、15℃のインキュベーター内で孵化させ、孵化率ならびに孵化仔魚耳石の標識付けについて評価した。

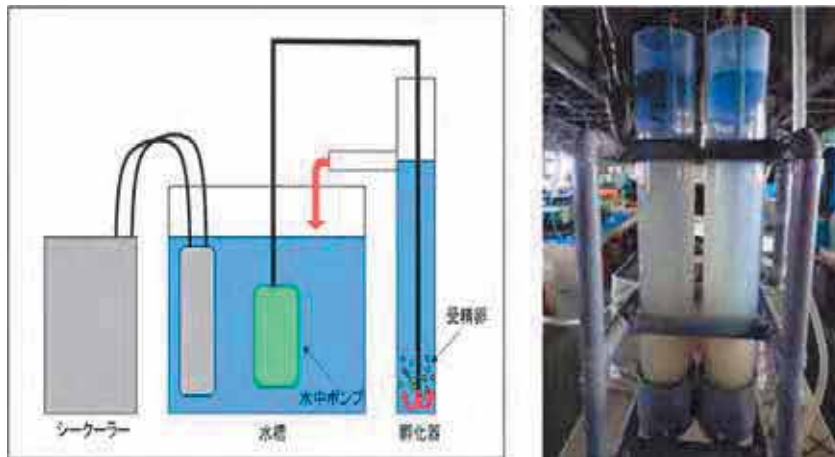


図4 循環式孵化装置概要

結果

1. 小型種苗の早期放流試験

最終年度の結果として、斐伊川水系三刀屋川で実施した放流試験については、放流後 66 日経過の解禁時に釣獲されたアユは 4 尾で、全長は 135～167 mm の範囲にあり、全長の平均値は 154.3 mm であった。また魚体重は 18.1～27.2 g の範囲にあり、魚体重の平均値は 28.8 g であった。同日、投網によって採集したアユは 9 尾で、全長は 128～163 mm の範囲にあり、全長の平均値は 145 mm であった。また魚体重は 14.6～27.2 g の範囲にあり、魚体重の平均値は 21.8 g で、放流から解禁日までの日間成長率は 2.5% であった。

全体の結果として、放流試験については、同一水系でありながら放流地点によって成長に差が見られた。日間成長率について見ると、2020 年に斐伊川本流で行った放流試験では 3.8% であったのに対し、2021 年は 2.7%、2022 年では 2.5% と放流後の成長が劣っていた。2021 年、2022 年に解禁前に行った採集調査では、いずれも放流区に残留する個体が少なく、放流地点より下流側で観察・採集される個体が多く見られた。特に 2021 年の放流では、放流場所から下流 5 km にあるダムを通過し、9 km 下流にある 2020 年の放流試験区まで降下していたことが確認された。また、2020 年から放流実施後 1 か月程度の時期に放流アユの生息状況について潜水観察を行っているが、2021 年、2022 年の放流試験区では放流数の割にアユが観察される尾数が少なかった。さらに、川底を流れる砂が目立つことや、河床の石表面の藻類も少ないことなどから、両年の放流試験区はアユ種苗の放流場所として適していない可能性が示唆された。

2. アユ遡上不良の原因解明

最終年度の結果として、2022 年は 463 個体の遡上魚を採集し、そのうちうち 103 個体について孵化時期の推定を行った。その結果、遡上魚の孵化時期は全て 11 月上旬から 12 月下旬に孵化した個体であり、10 月中に孵化した個体は見られなかった。遡上魚中も最も多かったのが 12 月上旬生まれ群の 37 尾 (35.9%) であり、続いて 11 月下旬生まれ群の 26 尾 (25.2%)、12 月中旬生まれ群 24 尾 (23.3%) であった。2021 年の総流下仔魚量は 18.6 億尾で、11 月上旬と 12 月中旬に流

下のピークが見られ、2 峰型の流下パターンであった。しかし、6.0 億尾と最も流下仔魚量の多かった 11 月上旬流下群は、孵化日推定を行った 104 尾中のうち僅か 3 尾（6.0%）に留まった。一方、11 月中旬以降の流下仔魚出現傾向と、遡上魚の推定孵化時期の出現傾向は一致しており、11 月中旬以降の流下仔魚量が翌年の遡上量に関係する可能性があると考えられた（図 5）。

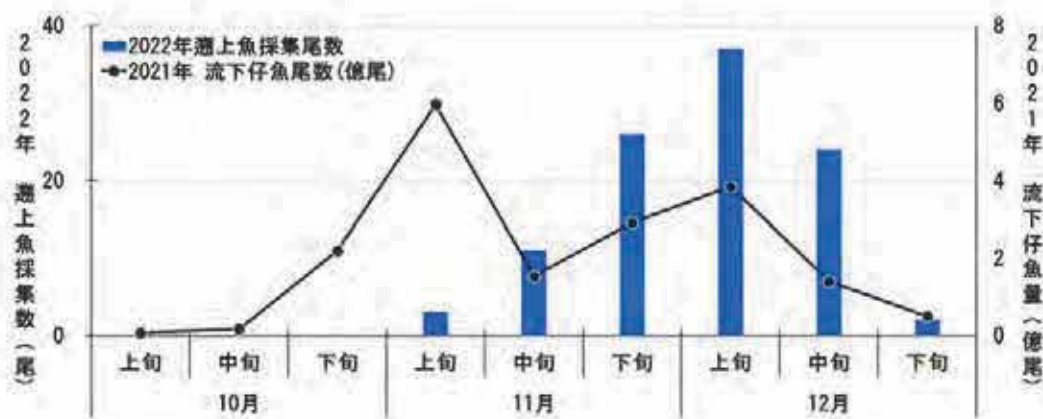


図 5 2022 年遡上群の流下仔魚と遡上魚の孵化時期別出現分布

2022 年の流下仔魚調査では、総流下仔魚尾数 23.1 億尾が流下したと推定され、2020 年から始めた本事業において最大の流下仔魚尾数であった。また、仔魚の流下ピーク時期は 11 月中旬の 8.8 億尾と推定された（図 6）。

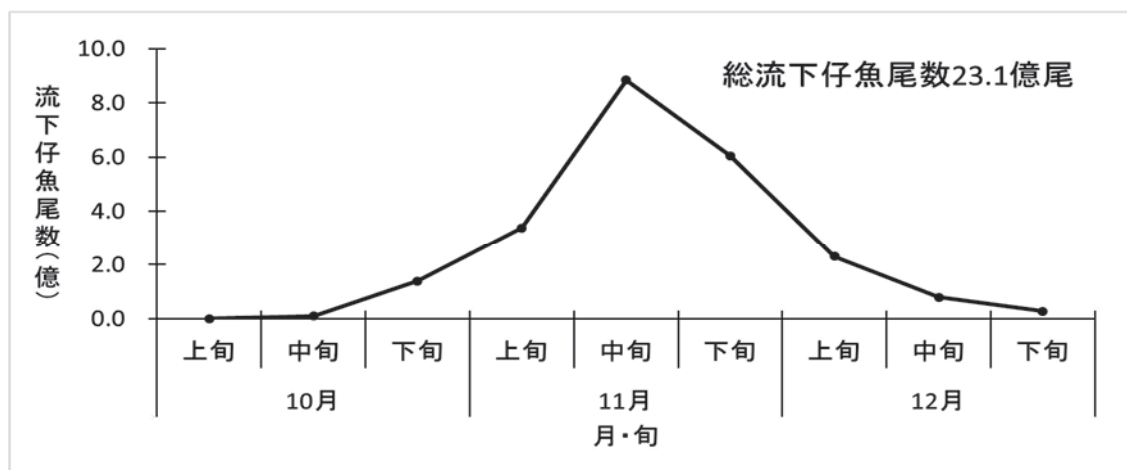


図 6 2022 年の流下仔魚出現状況

全体の結果として、2020 年から 2022 年までの孵化日組成の推定を行った天然遡上群の月・旬別の割合と、前年の総流下仔魚尾数に占める時期別流下尾数について割合を算出し比較を行った（図 7）。遡上魚の孵化時期は、2020 年と 2021 年遡上群では 11 月中旬以降に流下した群の割合が高く、2022 遡上群では、11 月下旬以降に流下した群の遡上が主体となっていた。流下仔魚出現割合を見ると、2020 年では、11 月上旬以前に流下した仔魚割合が全体の 48.3%を占めたのに対

し、同時期に孵化した遡上魚全体に占める割合 5.3%に留まっていた。2020 年と 2022 年の遡上魚についても、11 月上旬以前に孵化した遡上魚の割合は低かった。以上の結果から、島根県においては 11 月中旬以降に流下した仔魚の生残条件が好転するものと推測された。

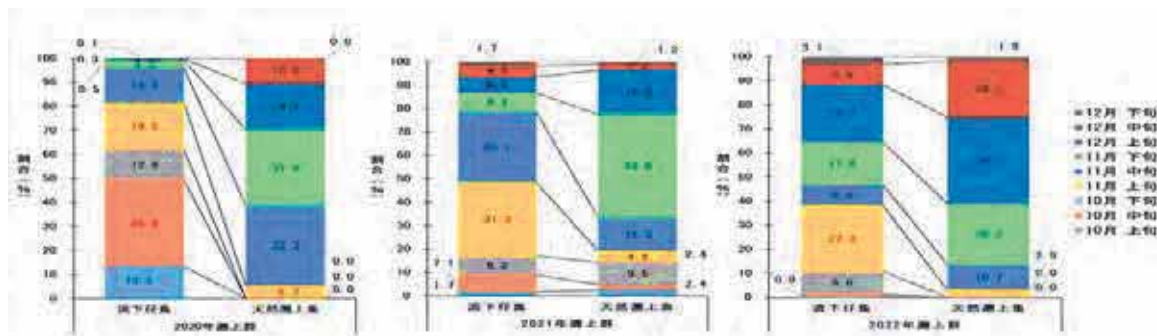


図7 月・旬別の流下仔魚出現割合と遡上魚の孵化時期出現割合

3. コチニール色素によるアユ発眼卵への標識技術開発試験

最終年度の結果として、コチニール色素 50 g/L の濃度に 6 時間浸漬区と、20 g/L の濃度に 24 時間浸漬とでは、水温 18℃、15℃共に蛍光が観察されたが、20 g/L の濃度に 24 時間浸漬区の方が安定してはっきりとした蛍光発色を観察できた（表 1）。また、水温 10℃で染色した場合は、20 g/L の濃度に 24 時間浸漬したものでは、18℃、15℃と同様な蛍光発色が観察できた一方、50 g/L 濃度 6 時間浸漬区では、20 g/L の濃度に 24 時間浸漬したものとは比べ、蛍光発色の程度が低い結果となった。また、耳石形成後の経過日数と蛍光発色の程度に違いは確認できなかった。なお、全ての観察は、使用した顕微鏡の光源の強度を最強の状態を観察した。コチニール染色による孵化率への影響については、11 月 4 日に行った水温 18℃、20 g/L、24 時間染色の事例で孵化率 58.9%となった以外、いずれの試験区も 77.8%～97.8%であり、コチニール色素の濃度、染色水温による孵化率への影響は確認できなかった。

表 1 コチニール色素による耳石の染色結果

コチニール濃度 ・ 染色時間	染色水温 (℃)	実施 回数	平均孵化 率 (%)	染色評価基準の割合 (%)				備考
				1	2	3	4	
50 g/L・6時間	18℃	6	87.6			16.7	83.3	
	15℃	7	86.7			28.6	71.2	
	10℃	2	87.2		30	60	10	染色後15℃で管理
20 g/L・24時間	18℃	6	84.6			3.3	96.7	
	15℃	7	85.9			8.6	91.4	
	10℃	2	92.6				100	染色後15℃で管理

4. 孵化時期調整を目的としたアユ受精卵の発生抑制技術の開発

受精翌日から 10℃での低温管理を行った結果、採卵・受精 27 日後となる 12 月 14 日から翌 15 日にかけて孵化した。孵化率は 97.8%と良好で、推定孵化尾数は 110,795 尾であった。また、コチ

ニール色素による染色は全て評価基準の4に該当する蛍光発光であった（図8）。孵化仔魚は斐伊川水系宍道湖沿岸に放流した。全体の結果として、2021年および2022年に行ったによる受精卵の低温管理による発生抑制実験については、受精後翌日から10℃管理した場合、孵化までの期間は2021年が21日、2022年が27日であった。

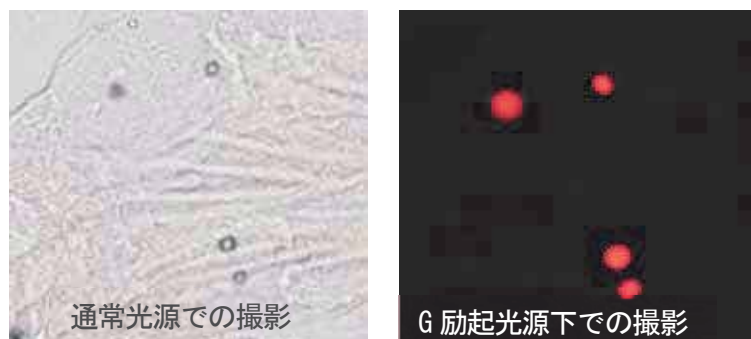


図8 発生抑制卵へのコチニール色素による耳石の染色結果

考察

1. 小型種苗の早期放流試験

2020年と比べ2021年と2022年の放流試験は放流後の成長が悪くなった要因については、放流場所の餌料環境が良好ではなかった可能性が考えられた。斐伊川流域は花崗岩の風化した「マサ」と呼ばれる砂が多い地質であり、2021年と2022年に行った潜水調査時には、常時砂が河床直上を流れている様子が観察されている。一方、良好な成長が見られた2020年の放流試験区は、三成ダム直下に位置し、ダムに砂礫が貯留されるためか、2021年や2022年の放流試験区のような常時砂が流されている様子は観察されなかった。坪井らは、土砂供給が多い河川では、アユの放流前に流下する砂礫量を把握し、放流場所選定の判断材料とすることが望ましいとしており、斐伊川のような流砂の多い河川では、アユの放流場所選定時には流砂量の把握についても実施する必要があると考えられた

2. アユ遡上不良の原因解明

高津川では2010年より県単独事業で流下仔魚調査並びに解禁前資源量調査を継続して実施しており、天然遡上魚の推定尾数は2021年が31万尾、2022年が77万尾と天然遡上魚の増加が確認されている。遡上量が低調であった2014年から2020年までの推定遡上魚数は1～16万尾であり、この期間の流下仔魚の出現ピークは10月中旬から11月上旬にあり、出現ピークの後、急激に流下仔魚量が減少するパターンであった。2021年から天然遡上魚は増加し始めているが、2020年の流下仔魚調査から、流下仔魚量の増加だけではなく、11月中旬以降に流下する仔魚群が増加していることが資源回復に繋がっていると考えられる。島根県における天然アユ資源を早期に回復するためには、流下仔魚量を確保するための親魚保護のみならず、11月中旬以降に孵化する卵を産む後期産卵群とも呼べる親魚の確保が必要と考えられた。

3. コチニール色素によるアユ発眼卵への標識技術開発試験

コチニール色素による標識は、コチニール色素の濃度が 50 g/L の染色液に 6 時間浸漬するより、コチニール色素の濃度が 20 g/L の染色液に 24 時間浸漬する方が、水温 10℃から 18℃まで安定した蛍光発光が観察されており、低濃度・長時間の染色が安定した染色結果を得られる可能性が高いと考えられた。水温 10℃でコチニール色素の濃度が 50 g/L の 6 時間染色区の発光強度が弱くなった原因としては、低水温により卵の発生が緩やかなため、耳石の形成も緩やかとなり、耳石内へのコチニール色素の含有量が少なかったためと推測された。また 2021 年に行った水温 10℃での染色試験では、2022 年に 20 g/L の染色液に 24 時間浸漬行った事例と異なり、殆ど蛍光発色が見られなかったが、これは観察に使用した顕微鏡の光源出力が弱く、コチニール色素の蛍光発色が弱かったことに起因すると考えられた。このため、コチニール色素による標識の効果判定には、ある程度の光源出力を備えた蛍光顕微鏡下で観察を行う必要があると考えられた。

4. 孵化時期調整を目的としたアユ受精卵の発生抑制技術の開発

アユ受精卵の孵化日数は、水温 18℃で 10 日程度、水温 15℃で 16 日、水温 10℃で 30 日とされている。本実験では、水温 10℃の環境下で受精卵を管理することで水温 18℃条件下より最大 18 日、15℃条件下より 12 日程度孵化時期を遅延できる可能性が示された。本手法を用いて受精卵の入手しやすい 10 月中・下旬の受精卵を低温管理できれば、海面域での生残が良いと考えられる 11 月上旬・中旬に孵化・放流を実施することが可能となり、天然遡上アユの資源回復の手段として活用できると考えられる。2021 年と 2022 年で孵化までの日数が異なることについては、降温までの間の水温が 2021 年は実験開始時期が早く、降温前の循環水水温が 2022 年の実験と比べ高めであり、卵発生が進行していたためと考えられた。孵化日数を安定させるためには、降温前の温度管理にも注意が必要であると考えられた。

参考文献

水産庁 (2012) 良好なアユ漁場を維持するための河川環境調査の指針」

坪井潤一, 芦澤晃彦, 熊田那央, 有馬智子, 阿部信一郎, 「流下する砂礫が放流されたアユ

Plecoglossus altivelis の定着に及ぼす影響」 日本水産学会誌 2017 ; 78 ; 705-710

Masaaki Kashiwagi ,Toshio Iwai, Hiroki Yamamoto and Yoshio Sokabe (1986) Effect of Temperature and Salinity on Egg Hatch of Ayu *Plecoglossus altivelis* Bull.Fac.Fish Mie Univ, No.13:17-24

担当者

令和2年～4年度 島根県水産技術センター 内水面浅海部 内水面科 福井 克也
沖 真徳

5. 漁場環境に応じた資源増殖等の手法開発アユのとりまとめ

高知県内水面漁業センター

要旨

「種苗性や河川環境にあった放流方法の開発」として、小型種苗の早期放流の有効性について検討したところ、多くの事例で早期に放流したものが優位に成長し、なわばりを形成する「先住効果」が確認された。ただし、天然遡上群が多い場合や放流魚のサイズ（通常放流群の5割程度の大きさ）によっては先住効果が得られない事例があり、放流種苗の優位性を決定するのは漁場に加入した時点でのサイズ差によるものと考察された。

「次世代に寄与する天然アユ親魚の特定と保護」として、高知県中央部に位置する物部川で晚期遡上群（4月以降の遡上群）の資源的価値を検討したところ、遡上魚の耳石日周輪解析に基づく孵化日組成から、晚期遡上群は概ね晚期孵化群（前年12月以降の孵化群）であることが確認できた。また、晚期遡上（孵化）群の標識再捕により、複数年にわたり産卵場で産卵後の標識個体が観察されたことから、晚期遡上（孵化）群が再生産に寄与していることが確認できた。さらに、晚期遡上（孵化）群の資源量及び全体に占める比率を推定したところ、実施した2年（2021年、2022年）で共に、物部川に遡上するアユの9割以上を同群が占めていることが確認され、高知県中央部の天然アユ資源において重要な資源的価値を持つことが確認できた。

全期間を通じた課題目標及び計画

近年、わが国のアユ漁獲量は著しく減少しており、アユ資源の増殖活動が必要不可欠となっている。本県においても、各内水面漁業協同組合が種苗放流や産卵場の保全等により資源増殖に努めているが、漁獲量が過去の水準に回復するまでには至っていない。このため、今後はより効果的な方法を確立し、増殖活動を進める必要があるが、それに資する知見はまだ十分でない。

本課題では、種苗放流や資源保護を効果的に実施するための知見収集を目的として、「種苗性や河川環境にあった放流方法の開発」並びに「次世代に寄与する天然アユ親魚の特定と保護」の2項目について調査する。

方法

(1) 種苗性や河川環境に合った放流方法の開発

2018年度から2022年度までの5年間に、鏡川（2018年度～2020年度 括弧内は各河川における調査期間を示す）、仁淀川（2019年度～2022年度）及び物部川（2021年度～2022年度）の天然アユの遡上がない、または少ない上流部に、それぞれ1～2km程度の試験放流区間を設定した。いずれの河川でも漁協等が増殖活動として行う通常の放流時期である4月中下旬よりも2～3週間早い4月上旬に、予め脂鰭切除による標識を施した高知県産の人工種苗、数千尾～1万尾

程度を試験放流した。なお、脂鰭切除による魚体への影響がないことを 2018 年に遡上実験等により確認した。また、放流魚のサイズについては、2018 年度～2020 年度までの期間は県内で放流に用いられる人工アユの標準的なサイズである平均体重 10g 程度、2021 年度については通常の 7 割程度（平均体重 7g 程度）、2022 年度については通常の 5 割程度（平均体重 5g 程度）と徐々に小型化させることで、早期放流する場合に種苗の小型化がどこまで可能か検討した。

試験放流から約 2 ヶ月後（当該区間のアユ漁解禁直前）に友釣りによる試験釣獲を行い、釣獲魚については、側線上方横列鱗数による由来判別及び体重等を計測した。このうち、天然遡上魚と判別されたものについては頭部から耳石（扁平石）を摘出し、光学顕微鏡及び日輪計測システム（ラトックシステムエンジニアリング社製）を用い、Tsukamoto et al. (1987) の方法に従って日輪を計数し、採捕日から日輪数を差し引くことにより孵化日を推定した。

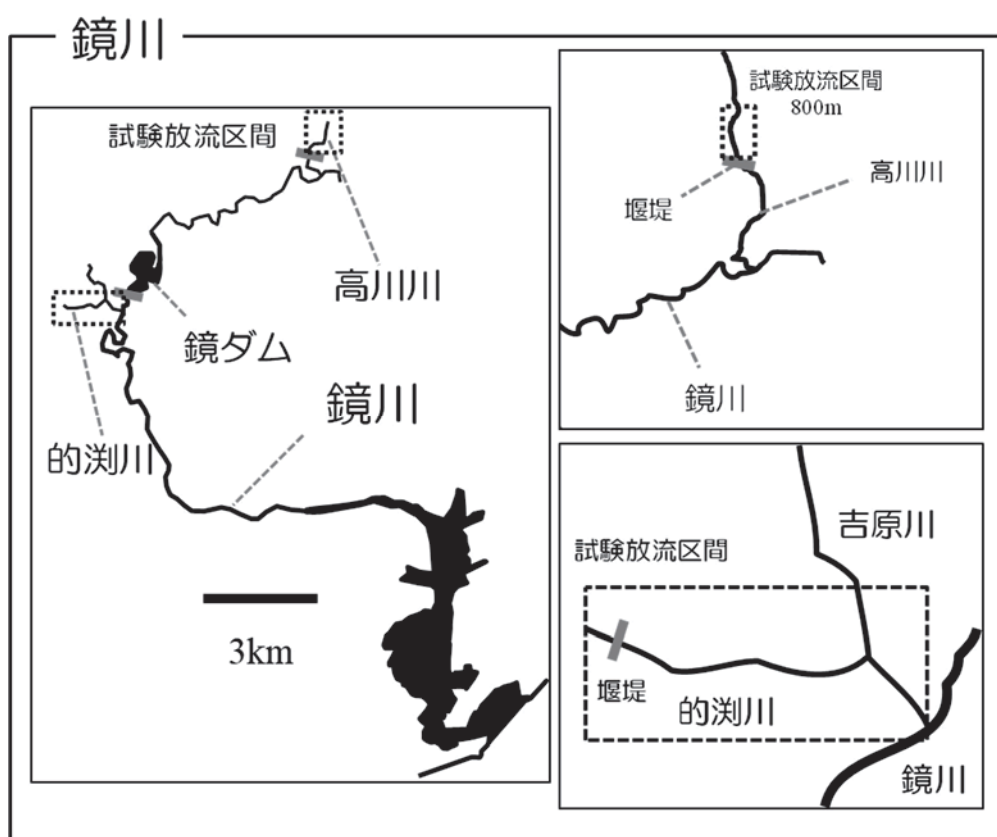


図 1 鏡川水系高川川（2018～2020）及び的漕川（2020）の試験放流区間

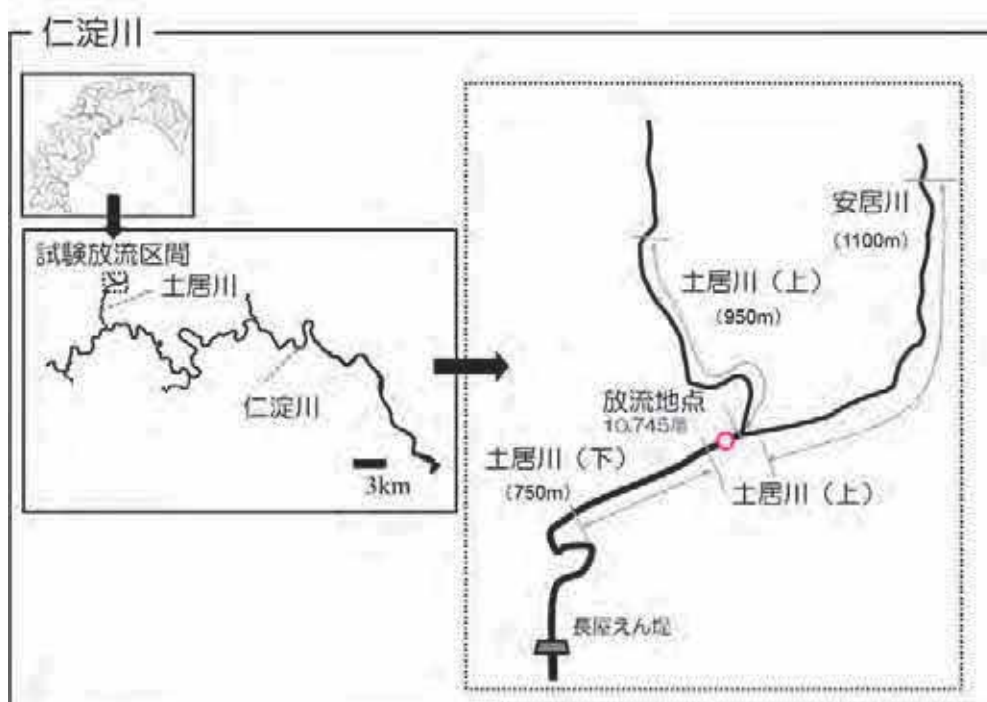


図2 仁淀川水系土居川（2019～2022）の試験放流区間

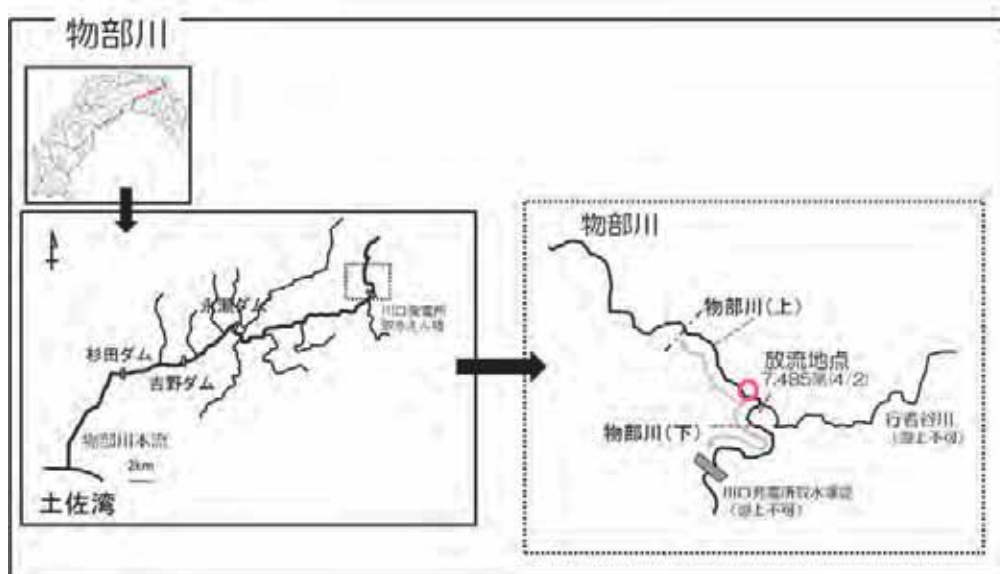


図3 物部川水系物部川（2021～2022）の試験放流区間

(2) 次世代に寄与する天然アユ親魚の特定と保護

高知県では近年、天然アユ資源の保護策として親魚保護の取り組みを進めている。現在、県内の複数の河川において落ちアユ漁を全面禁漁としており、それによって守られるであろう12月以降に誕生した晩期孵化群の動向を把握することに主眼をおいた。

高知県中央部に位置する物部川は河口より13.9km上流に魚道の設置されていない杉田ダムがあり、天然アユの遡上はそれより下流の水域に限定されている（図4）。また、物部川では物部川漁協の遊漁規則において10月以降のアユ漁を全て禁止しており、産卵期の漁獲圧がない

ことに加え、当該水域においては同漁協が、各時期のアユの資源量調査や遊漁者数のカウントを行っており、様々なデータの蓄積がある。このような条件をふまえ、物部川の下流部を試験対象水域として、この水域に遡上する天然遡上群について、以下の調査を実施した。

1) 遡上魚の孵化日組成の把握（2018 年度～2022 年度）

1 月から 5 月の間に経時的に、河口に進入したばかりのアユを投網やすくい網を用いて採捕し、その体長、体重及び孵化日を把握した（日齢の査定については（1）と同様）。

2) 晩期遡上群の標識再捕（2020 年度～2022 年度）

物部川で遡上アユが一時滞留する深淵床止め（河口より 3 km 上流）周辺において、5 月から 6 月の間に電撃ショッカー（スミスルート社製）とタモ網及び投網（26～30 節）を用いて天然アユを採捕した。採捕したアユは速やかに 100 リットルの水槽に収容し、早期遡上群と思われる全長 70mm 以上の個体を除去した。そこから数十尾ずつ別水槽に移し、FA100 により麻酔した後、ハサミで脂鰭を切除した。脂鰭を切除したアユは別の 100 リットル水槽で 30 分間通気しながら静置したうえで、斃死したアユを除去した後、尾数を計数して放流した。また、一部は当センターに持ち帰り、無給餌で 3 週間飼育して生残率を把握し、放流尾数に生残率を乗じたものを標識放流尾数とした。

標識放流後は物部川漁協の協力のもと、遊漁者に標識アユの再捕に係る情報提供を依頼し、漁期中の釣獲等で減耗した標識アユの個体数を推定した。

また、11 月から 12 月の間、産卵場（河口より約 1.2km 上流左岸側）において、投網（12～14 節）による親魚の採捕及び潜水器具を用いた死魚の採集を行い、標識の有無を確認した。併せて、採捕又は採集した標識個体の GSI を測定した。

3) 晩期遡上群の資源量の推定（2021 年度～2022 年度）

物部川漁業協同組合は、例年 4 月期にアユ生息状況調査を実施している。当該調査の手法は以下のとおり。

河口域～物部川下流統合堰までの間に設定した区間において、潜水目視観察により一定範囲内に分布するアユの個体数を計数するとともに、その観察面積（観察幅×観察距離）から生息密度（尾/m²）を算出した。また、水面形状に関する調査も実施し、GIS ソフトウェアにより水面面積を算出した。このように求めた生息密度、および現状地形から概算した水面面積の双方から、各区間におけるアユの生息尾数（生息密度×水面面積）を推定した（2021 年 4 月期物部川アユ生息状況調査から一部抜粋）。

この調査に併せ、それぞれの区間で投網を用いてアユ遡上魚 60 尾程度を採捕した。採捕したアユ遡上魚は日齢査定を行い、1 週間単位に区分した孵化日グループに分類し、比率を求めた（日齢の査定については（1）と同様）。この比率を各区間の稚魚遡上量に乗じたものを、各区間の総計として積算することで、物部川下流域の天然遡上群における孵化日グループごとの資源量とした。なお、人工種苗の追加放流がある場合は、側線上方横列鱗数、耳石結晶化等の異常の有無及び孵化日から総合的に判断して人工種苗とされるものを除外した。

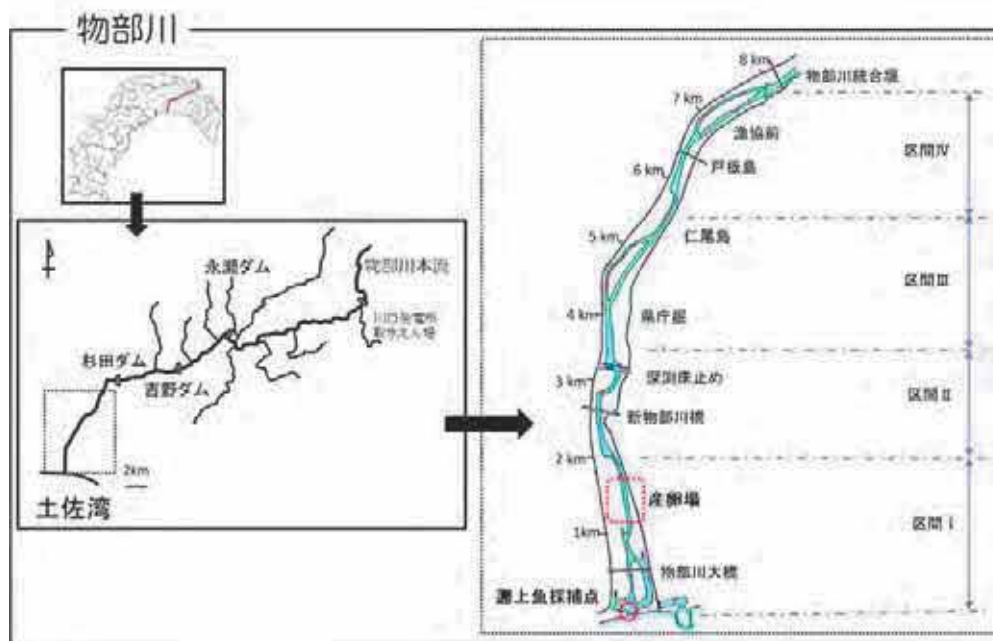


図4 物部川の標識放流地点及び産卵場

結果

(1) 種苗性や河川環境に合った放流方法の開発

最終年度 2022 年の結果として、土居川における放流後 49 日目の早期群（標識人工アユ、以下早期群と表記）の平均体重は 34.5g、放流後 30 日目の通常群（非標識人工アユ、以下通常群と表記）の平均体重は 26.1g、天然アユの平均体重は 43.0g であり、天然アユが最も大きかった。混獲率でみると早期群が 8%、通常群が 10%、天然アユが 73%と天然アユが最も高くなった（表 1）。物部川における早期群の平均体重は、放流後 52 日目で 29.1g、87 日目で 53.3g、通常群の平均体重は、放流後 35 日目で 34.3g、放流後 70 日目で 54.3g と通常群が若干高くなった。混獲率は、早期群では放流後 52 日目で 33%、87 日目で 29%、通常群では放流後 35 日目で 67%、放流後 70 日目で 71%と共に通常群が高くなった（表 1）。

全放流量に占める早期群の標識率と釣獲時の混獲率を比較すると、物部川においては放流時の平均体重が通常の放流サイズより 5g ほど小さい早期群の混獲率は有意に低下していた

（Pearson's Chi-squared test $P=0.002$ ）が、土居川では人工アユの標識率と混獲率に差は認められなかった（Pearson's Chi-squared test $P=0.089$ ）。

一連の試験では、アユが放流される環境の要素として、主に競合するアユ群の有無について検討した。全体を通しての結果として、2018～2022 年度の早期群（標識人工アユ）及び通常群（非標識人工アユ）における放流時の標識率と釣獲時の混獲率を比較すると、有意に早期群の比率が高くなった（早期放流が優位であった）のは、天然アユの遡上がないもしくは少ない場合で、かつ、早期群のサイズが後に放流する通常群の 7 割程度（平均体重として 3g 程度小さい）から同等の場合であった（表 1）。

表1 アユ試験放流における釣獲調査結果

調査年	河川名	調査項目	日付	水温 (℃)	人工アユ（標識魚）			人工アユ（非標識魚）			天然アユ		
					放流、再捕 尾数（尾）	平均体重 (g)	割合	放流、再捕 尾数（尾）	平均体重 (g)	割合	釣獲 尾数	平均体重 (g)	釣獲 割合
2018年	鏡川水系 高川川	放流	4/5	12.4	4,270	8.1	100%						
			5/21	15.4	14	29.6±7.4	100%						
		釣獲調査	6/8	16.7	28	42.2±8.1	100%						
			6/26	18.1	29	43.7±12.1	100%						
2019年	鏡川水系 高川川	放流	4/4	9.9	5,057	8.7	100%						
			5/16	15.3	34	23.1±7.7	100%						
		釣獲調査	6/4	16.7	23	29.1±7.2	100%						
			6/24	16.2	23	40.4±9.7	100%						
	仁淀川水 系土居川	放流	4/4	10.4	13,793	8.7	15%	90,704	10	85%			
		釣獲調査	5/22	16.0	60	33.8±7.9	87%*	N.D			N.D		
2020年	鏡川水系 高川川	放流	4/2	11.2	3,575	9.8	78%	1,000	10	22%			
			5/18	16.6	14	24.4±7.0	78%	4	20.4±4.6	22%			
		釣獲調査	6/4	19.5	13	30.8±7.5	81%	3	25.8±2.1	19%			
			6/24	20.0	9	39.5±6.6	82%	2	34.9±8.9	18%			
	鏡川水系 的瀧川	放流	4/2	14.1	4,576	9.8	34%	13,576	10	66%			
			5/18	15.4	2	36.1±0.1	12%	9	29.0±12.8	53%	6	38.8±10.7	35%
		釣獲調査	6/4	16.7	10	42.3±3.9	26%	15	34.6±9.5	38%	14	50.5±10.9	36%
			6/24	18.8	6	62.1±9.3	14%	9	52.8±14.8	21%	28	63.5±15.6	65%
	仁淀川水 系土居川	放流	4/2	10.3	12,399	9.8	23%	53,899	10	77%			
		釣獲調査	5/20	16.4	4	26.3±1.2	15%	10	17.3±7.3	38%	12	43.5±13.2	46%
2021年	仁淀川水 系土居川	放流	4/2	12.4	10,745	6.9±2.3	35%	19,900	9	65%			
		釣獲調査	5/25	15.2	64	35.4±6.8	54%*	26	30.7±9.9	22%	28	44.2±9.4	24%
	物部川水 系物部川	放流	4/2	11.4	7,485	6.9±2.3	45%	9,090	10	55%			
		釣獲調査	6/7	15.2	62	31.2±6.8	71%*	23	17.3±7.3	29%			
2022年	仁淀川水 系土居川		6/24	27.0	44	41.9±9.7	69%*	20	39.4±14.3	31%			
		放流	4/2	10.0	11,392	4.7±2.0	25%	34,000	9	75%			
	物部川水 系物部川	釣獲調査	5/21	14.8	7	34.5±10.6	8%	9	26.1±9.2	10%	65	43.0±9.8	73%
		放流	4/2	8.5	10,891	4.7±2.0	44%	13,636	10	56%			
	釣獲調査	5/24	16.3	17	29.1±7.5	33%	35	34.3±9.3	67%				
			6/28	18.7	30	53.3±11.5	29%*	73	54.3±15.3	71%			
*：P<0.05													

* : P<0.05

天然アユと人工アユの関係について見ると、漁獲時のサイズが平均体重で総じて 10g 以上天然アユが大きく、釣獲魚に占める比率も、概ね天然アユが高くなった。天然アユの孵化日組成を見ると 10 月から 11 月生まれの早期孵化群であることが確認された（図 5）。このような個体は、2 月から 3 月頃には数 g で河川内に進入しており、試験放流区間の位置する上流部に比べ水温の高い下流部から遡上する過程で、かなり大きく成長するものと考えられる。天然アユの

遡上が見られた土居川や的湊川では、早期群（標識人工アユ）放流時の4月上旬には天然アユが試験放流区間で観察されなかったことから、成長した天然アユが早期群放流の後で当該区間に加入してきたものと思われるが、このような場合でも天然アユの漁獲サイズが人工アユよりはるかに大きいことから、天然アユが遡上してきたときには人工アユよりも大型であったと推察された。

人工アユ同士の比較においては、放流のタイミングは早期群が通常群よりも半月程度早いということ、放流量は早期群よりも通常群の方が多いという条件で固定し（鏡川水系高川川の事例を除く）、早期群のサイズのみを徐々に小型化させた。通常群と同等（平均体重10g程度）もしくは7割程度（平均体重7g程度）のサイズの場合では早期群の混獲率が放流時よりも有意に高くなる結果となった。一方、通常群の5割程度（平均体重5g程度）のサイズでは、混獲率が有意に高くなることは無かった。この結果をもたらした要因について、放流群の平均瞬間成長率（ LN （釣獲時の体重/放流時の平均体重）/放流から釣獲までの日数）から導いた放流群の推定サイズによって説明が可能と考えられた（図6）。物部川の水温では、半月ほどの間に3～6g程度成長していたと推定され、通常群が放流された時点で半月前に7～10gで放流された早期群は通常群以上に成長しており、優位に立てたと可能性がある。一方、半月前に5gで放流された早期群については通常群放流時点で8g程度にしか成長しておらず通常群より小型であったことから、優位に立てなかった可能性がある。

これらのことから、同一水域内で由来の異なる群（天然、早期放流、通常放流）の優位性を決定する要素の一つとして、漁場に加わった時点でのサイズ差が考えられた。

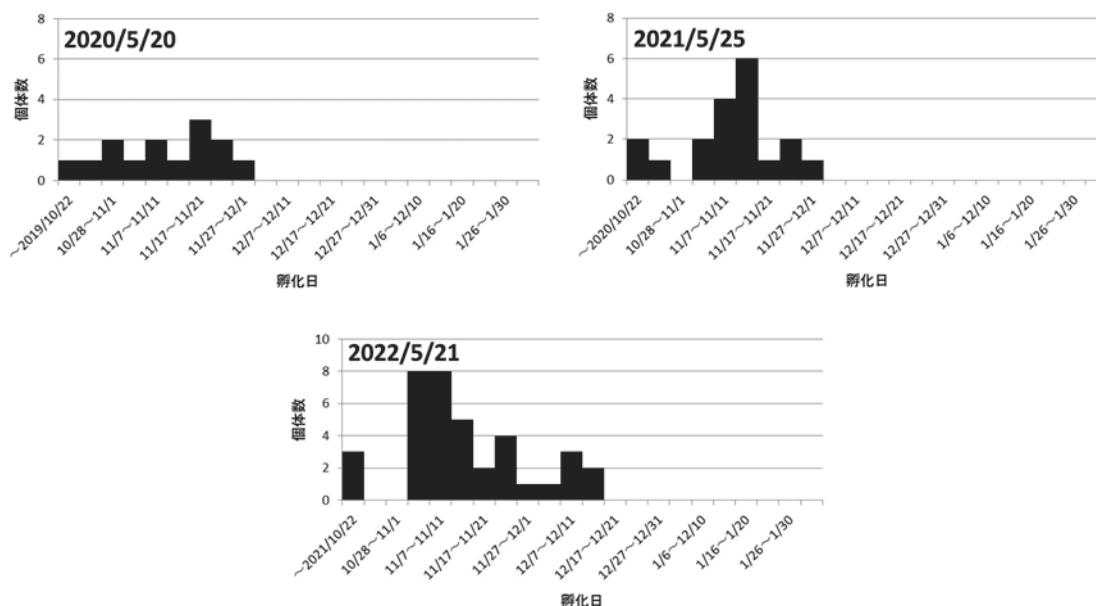


図5 仁淀川水系土居川で釣獲された天然アユの孵化日組成

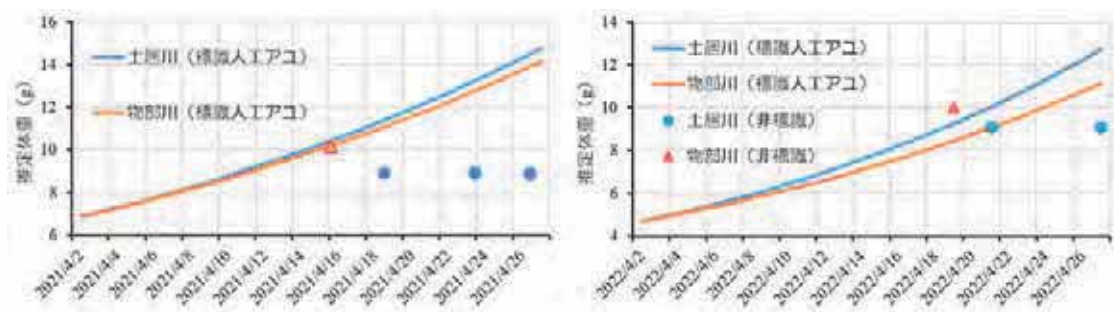


図6 早期群（標識人工アユ）の瞬間成長率から導いた推定体重と通常群（非標識人工アユ）の放流時点の平均体重

(2) 次世代に寄与する天然アユ親魚の特定と保護

1) 遡上魚の孵化日組成の把握

2022 年の結果として、2 月 22 日に物部川河口で採捕されたアユの孵化日組成は 2021 年 10 月 25 日から 11 月 28 日の範囲にあり、中央値は 11 月 18 日、最頻区間は 11 月下旬（第 4 週）であった。同様に 3 月 8 日に物部川河口で採捕されたアユの孵化日組成は 11 月 9 日から 12 月 11 日の範囲にあり、中央値は 11 月 24 日、最頻区間は 12 月上旬（第 1 週）であった。同様に 4 月 1 日に物部川河口で採捕されたアユの孵化日組成は 12 月 5 日から 31 日の範囲にあり、中央値は 12 月 18 日、最頻区間は 12 月下旬（第 4 週）であった。3 月上旬以降の遡上群では 12 月以降の孵化群が主体となる傾向が見られた（図 7）。

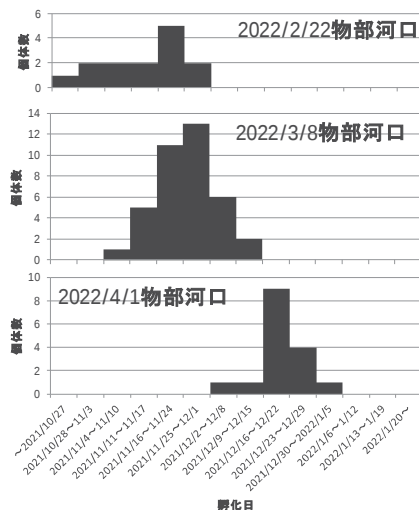


図7 採捕日ごとの孵化日組成

全体を通しての結果として、2018～2022 年度に物部川河口で採捕されたアユの日齢は、74 日齢から 123 日齢の範囲で、平均 99 日齢であった。年や遡上時期によって多少の差異はあったものの、概ね 100 日齢程度で河川に遡上していることから（図 8）、孵化時期と遡上時期がある程度関連する結果となった。便宜上、晩期孵化群として設定している 12 月以降の孵化群は、3 月中旬以降に遡上することとなり、概ね、晩期遡上群（便宜上、4 月以降の遡上群と設定）になると考えられた。

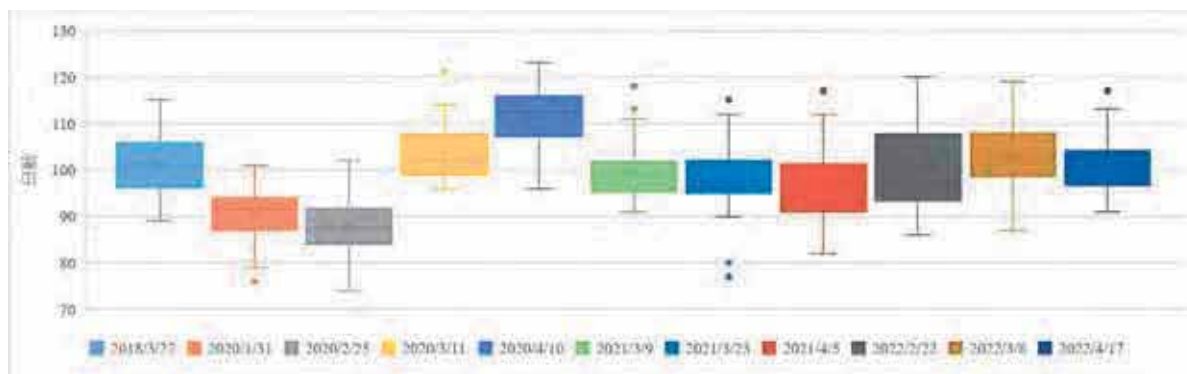


図8 採捕日ごとの日齢の構成

2) 晩期遡上群の標識再捕

2022年5月上旬から中旬に、物部川下流部で全長70mm以下のアユ1,035尾を投網で採捕し、脂鱭切除による標識を行った後、放流した。4月17日に物部川漁業協同組合と共同で行った物部川下流部におけるアユ資源量調査では、天然アユの遡上可能な水域における資源量はおおよそ66.9万尾（人工アユ約4万尾を含む）と推測され、これに対しての標識率は0.15%となった。物部川漁業協同組合の協力のもと、漁期中に漁獲された標識天然アユについての情報提供を遊漁者に依頼し、漁期中に減耗した標識天然アユの個体数を推定した。標本遊漁者が、漁期中82日の友釣り釣行で2,093尾のアユを釣獲し、うち3尾が標識天然アユであり標識魚の率は0.14%であった。再捕された標識天然アユのうち8月中旬に再捕された2尾は体重49.8g及び67.6g、9月上旬に再捕された1尾は体重166.6gと、当該時期に漁獲されるアユのサイズと同等かそれ以上であった（表2）。

全体を通しての結果は、漁期中の標本遊漁者の釣獲データ及び産卵場で採集されたアユの混獲率から見ると、標識された晩期遡上群は、標識率と概ね同率で再捕されており、大きな減耗等はなく量的な面から見ても晩期遡上群が有効な釣獲対象となっていると考えられた（表3）。また、釣獲魚のサイズについても、漁期の後半（8月以降）に再捕されたものは、当該時期に再捕されるアユと同程度のサイズであり、この面からも有効な漁獲対象となっていることが確認できた（表2）。産卵への貢献については、2020及び2021年に、産卵場で産卵後の斃死個体（写真1）が採集されており、晩期遡上群が産卵に参加していることも確認できた。産卵場で確認された時期は、投網で採捕された産卵前のものを除き11月下旬から12月中旬であり、孵化までの期間を考慮すると、概ね晩期遡上群は、晩期産卵群となり、晩期孵化群の産卵に親魚として関与している可能性が高く、これらの群がリンクしているものと考えられた。

表 2 物部川で再捕された標識個体 (2020～2022 年)

調査年	日付	釣獲場所	漁法	TL	BW	性別	GSI
				(mm)	(g)		
2020年	6/20	漁協前	友釣り	149.5	30.8	♀	-
	9/20	柳ソ	友釣り	221.6	89.2	♀	1.1
	9/28	戸板島	友釣り	197.9	77.0	♂	5.1
	11/5	産卵場	投網	243.6	116.4	♂	5.8
	12/2	産卵場	死魚採集	196.6	58.9	♂	4.6
	12/2	産卵場	死魚採集	214.2	54.6	♀	4.9
	12/10	産卵場	死魚採集	231.1	76.2	♀	7.1
2021年	8/27	仁尾島	友釣り	215.8	85.8	♀	-
	8/27	仁尾島	友釣り	171.6	36.4	♀	-
	9/1	漁協前	友釣り	199.4	67.7	♀	-
	11/25	産卵場	死魚採集	174.6	35.2	♀	6.0
	11/25	産卵場	死魚採集	194.2	44.8	♂	4.9
2022年	8/13	戸板島上	友釣り	194.6	67.6	不明	不明
	8/13	戸板島上	友釣り	176.3	49.8	不明	不明
	9/10	町田堰上	友釣り	215.6	166.6	♂	3.1

※2022 年は産卵場での採集を行わなかった。

	遡上時期の標識率	漁期中の混獲率	産卵期の混獲率
	5月	6～9月	10～12月
2020年	0.36%	0.17%	0.43%
2021年	0.12%	0.12%	0.35%
2022年	0.15%	0.14%	—

表 3 物部川下流域における晩期遡上群
の標識率及び混獲率



写真 1 産卵期に再捕された標識個体数
(上：雌、下：雄)

3) 晩期遡上群の資源量の推定

2022 年の結果として、それぞれの区間で採捕した天然アユの孵化日は、2021 年 10 月 27 日から 2022 年 1 月 6 日の範囲にあり、中央値は 12 月 7 日であった。この孵化日組成を 1 週間単位の階級として振り分け、それぞれの階級の構成比率を算出したところ、比率の高かった階級は、12 月第 2 週（12 月 8 日～14 日）で全体に占める比率が 27.1%、次いで 12 月第 1 週（12 月 1 日～7 日）で比率 17.9%、12 月第 4 週（12 月 22 日～28 日）で比率 17.1%がこれに続いた。また、それぞれの区間ごとに孵化日組成を見ると、昨年と同様に上流の区間ほど孵化日の早い個体の比率が高くなる傾向が見られた。この階級ごとの構成比率に各区間の生息尾数を乗じて孵化日階級ごとの尾数を推定した（表 4）。その結果、2022 年度遡上群の孵化日組成は 12 月以降に集中しており、12 月 1 日以降に孵化した晩期孵化群は 60 万尾、調査時点（4 月 17 日）で物部川に遡上している天然アユの約 9 割であると推定され、晩期孵化群が 2022 年度の物部川における天然アユ資源の重要な位置を占めていることが確認できた。

全体を通しての結果は、当初、耳石解析により産卵群の日齢組成を把握することで、次世代に寄与する群を明らかにすることを試みたが、200 輪を超える耳石の解析は誤差が多く断念した。そのため、逆に耳石解析が可能な遡上魚について、遡上終期における河川内の立体的な分布と、それぞれの区間における孵化日組成を明らかにすることで、孵化日を基準とした遡上に貢献している群を定量的に求めることとした。調査を実施した 2021 年と 2022 年の結果では、双方とも 12 月以降に孵化した晩期孵化群の構成比率が全体の 9 割以上と物部川に遡上する天然アユの主群となっていることが確認できた。

表 4 2021 年 4 月及び 2022 年 4 月の物部川における区間ごとの遡上量と孵化日組成

孵化日	区間Ⅰ (河口～平松)		区間Ⅱ (平松～深淵床止)		区間Ⅲ (深淵床止～戸板島橋)		区間Ⅳ (戸板島橋～統合堰)		合計	
	稚魚遡上量 (尾)	構成 比率	稚魚遡上量 (尾)	構成 比率	稚魚遡上量 (尾)	構成 比率	稚魚遡上量 (尾)	構成 比率	稚魚遡上量 (尾)	構成 比率
～2020/10/27	0	0.0%	0	0.0%	1,761	1.6%	840	6.7%	2,601	0.6%
11/3～11/9	0	0.0%	0	0.0%	1,761	1.6%	840	6.7%	2,601	0.6%
11/10～11/16	0	0.0%	0	0.0%	1,761	1.6%	1,680	13.3%	3,441	0.8%
11/17～11/23	4,295	2.3%	0	0.0%	12,329	11.3%	840	6.7%	17,464	4.2%
11/24～11/30	0	0.0%	5,460	5.0%	7,045	6.5%	840	6.7%	13,345	3.2%
12 /1～12/7	12,886	6.8%	19,110	17.5%	14,090	12.9%	1,680	13.3%	47,767	11.4%
12/8～12/14	30,068	15.9%	24,570	22.5%	24,658	22.6%	1,680	13.3%	80,976	19.3%
12/15～12/21	68,727	36.4%	27,300	25.0%	28,181	25.8%	1,680	13.3%	125,888	30.0%
12/22～12/28	60,136	31.8%	24,570	22.5%	14,090	12.9%	2,520	20.0%	101,317	24.1%
12/29～	12,886	6.8%	8,190	7.5%	3,523	3.2%	0	0.0%	24,599	5.9%
合計	189,000	100.0%	109,200	100.0%	109,200	100.0%	12,600	100.0%	420,000	100.0%
うち晩期遡上群の合計	184,705	97.7%	103,740	95.0%	84,542	77.4%	7,560	60.0%	380,546	90.6%

孵化日	区間Ⅰ (河口～平松)		区間Ⅱ (平松～深淵床止)		区間Ⅲ (深淵床止～戸板島橋)		区間Ⅳ (戸板島橋～町田堰)		合計	
	稚魚遡上量 (尾)	構成 比率	稚魚遡上量 (尾)	構成 比率	稚魚遡上量 (尾)	構成 比率	稚魚遡上量 (尾)	構成 比率	稚魚遡上量 (尾)	構成 比率
～2021/10/27	0	0.0%	3,741	1.8%	13,733	11.3%	2,027	7.5%	19,500	2.9%
11/3～11/9	0	0.0%	11,222	5.4%	3,924	3.2%	0	0.0%	15,146	2.3%
11/10～11/16	0	0.0%	0	0.0%	1,962	1.6%	1,351	5.0%	3,313	0.5%
11/17～11/23	0	0.0%	0	0.0%	0	0.0%	2,027	7.5%	2,027	0.3%
11/24～11/30	10,361	3.3%	7,481	3.6%	5,885	4.8%	3,379	12.5%	27,107	4.1%
12/1～12/7	51,806	16.7%	33,666	16.1%	25,503	21.0%	8,784	32.5%	119,760	17.9%
12/8～12/14	77,709	25.0%	52,369	25.0%	45,121	37.1%	6,082	22.5%	181,281	27.1%
12/15～12/21	56,987	18.3%	26,185	12.5%	5,885	4.8%	2,703	10.0%	91,759	13.7%
12/22～12/28	77,709	25.0%	26,185	12.5%	9,809	8.1%	676	2.5%	114,378	17.1%
12/29～	36,264	11.7%	48,628	23.2%	9,809	8.1%	0	0.0%	94,702	14.2%
合計	310,836	100.0%	209,476	100.0%	121,631	100.0%	27,029	100.0%	668,973	100.0%
うち晩期遡上群の合計	300,475	96.7%	187,032	89.3%	96,128	79.0%	18,245	67.5%	601,880	90.0%

※稚魚遡上量は物部川漁業協同組合より提供されたデータを使用

考察

(1) 種苗性や河川環境に合った放流方法の開発

本試験により、小型種苗の早期放流に関する有効性がフィールドで一定確認できた。天然アユ及び人工アユの早期放流群や通常放流群など複数の群の釣獲データから比較を行う中で、任意の群が放流水域内に加入した時点での大きさが当該水域内における群間の優位性を決定する要素になると考えられた。県内の実際の放流においては、各漁協が例年、同じ時期に10g程度の種苗を放流しているが、上流域であっても、当該水域の水温がアユの生残に悪影響を与えない8℃を安定して超えるところから放流は可能である。その場合、現状放流を行っている時期から遡行可能な期間（安定して水溫が8℃を超える時期まで）と当該水域の水溫によって、現状の放流効果を損なわずに種苗のサイズがどこまで小型化できるかの推定が可能になり、現在の放流手法よりも効率化できると思われる。

(2) 次世代に寄与する天然アユ親魚の特定と保護

本試験により、高知県中央部の物部川においては、晩期孵化群、晩期遡上群、晩期産卵群が次世代に寄与する群となっていることが確認できた。これらの群は、当該年の気象や環境条件に左右され、それぞれのステージの時期は若干ずれるものの、概ね相対的にリンクしていることが確認された（晩期孵化群→晩期遡上群→晩期産卵群）。さらに、12月以降に孵化した晩期孵化群の構成比率が非常に高いことが判明し、当該群は海域生活期の生残率が高いものと推測された。これらのことから、晩期孵化群の産卵に関与する晩期産卵群はできるだけ多く残すことが望ましく、高知県内で一般的に落ち鮎漁が解禁となる12月以降の産卵群を守ることが重要と考えられた。

ただし、今回確認された現象は、物部川の地理的要因に起因する可能性がある。物部川を含む本県の中部から東部に位置する河川は概ね急峻で、河口域は内湾等に面しておらず汽水域の規模も小さい。このような河川では、降下したアユ仔魚がそのまま海に到達すると考えられ、水温の高い11月頃の孵化群の生残を悪くしている可能性がある。広大な汽水域を有する河川や河口が内湾に接続する河川などでは、結果が異なる可能性がある。

参考文献

Tsukamoto K and Kajihara T (1987) Age determination of ayu with otolith. Nippon Suisan Gakkaishi. 53: 1985-1997.

占部敦史・海野徹也（2018）人工および天然アユにおける計量形質の比較. Nippon Suisan Gakkaishi, 84, 70-80.

水産庁（2018）赤字にならないアユ放流マニュアル

担当者

平成30年度～令和元年度 高知県内水面漁業センター 占部 敦史

令和2年度～令和4年度 高知県内水面漁業センター 石川 徹

6. 令和4年度（2022年度）環境収容力推定手法開発事業 報告

最近の種苗性や河川環境に合った放流方法の開発及び天然アユ遡上群の回復に向けた研究

熊本県水産研究センター

要旨

河川環境に合ったアユ人工種苗放流技術を開発するため、熊本県内の緑川水系御船川七滝地区において、人工種苗の放流を実施した。3月下旬に体重2g程度の早期小型群を、4月上旬に体重3g程度の中間群を、4月下旬に体重4g程度の通常群をそれぞれ放流した。

その後、漁獲されたアユから放流後の成長等を比較したところ、アユ漁解禁日である6月1日に友釣りによって漁獲されたアユは、早期小型群及び中間群が通常群より有意に成長していた。また、漁獲割合については、6月は早期小型群及び中間群が約8割を占め、その後、8月後半以降は通常群と早期小型群及び中間群が半々の割合で漁獲された。上述した3群について、年度間で成長差は見られたものの、早期小型群は通常群に比べて早く成長して漁獲されることから、早期小型群での放流の有効性が示された。

また、天然アユの遡上量の変動する要因を解明するため、熊本県球磨川で遡上稚アユ及び流下仔アユのモニタリング調査を行い、遡上稚アユ数と推定流下仔アユ数を算出した。直近年である令和3年度（2021年度）の推定流下仔アユ尾数は311,319,958尾、令和4年度（2022年度）の遡上稚アユ尾数は1,047,482尾と算定した。

全期間を通じた課題目標及び計画

近年の集中豪雨等による河川形状の変化や濁水等による水質等の変化は、河川に生息するアユの資源量や漁獲量に影響を及ぼすと考えられている。同様な状況は全国的に見られており、国立研究開発法人水産研究・教育機構等とのJV方式での共同研究により、漁場環境の変化に応じたアユ増殖手法の検討及び遡上量減少要因の解明を目的としたモニタリング調査を行った。

方法

（1）河川環境に合ったアユ放流方法の検討

調査対象区間とした緑川水系御船川に、公益財団法人くまもと里海づくり協会及び緑川漁業協同組合が中間育成したアユ人工種苗を放流した（図1及び図2）。当該区間の河川幅は約19mである。また、落差30m程の七滝があり、天然遡上が困難な場所であること、及び本調査以外で人工種苗放流が行われていないことから、漁獲されたアユは全て当該放流群として取り扱った。種苗生産の期間中に、冷水病の発生や斃死は認められなかった。早期小型群及び中間群（両方とも無標識）、通常群（全数脂鰭カットによる外部標識）の各群を1万尾ずつ放流した後、6～9月にかけて当該区間で友釣り、投網及び刺網による漁獲調査を実施した。

漁獲されたアユは放流群及び漁法毎に個体数、体長、体重等を精密測定し、成長差や漁獲割合について比較検討を行った。

また、6～10 月にかけて、当該区間における友釣り又はがっくり掛けによる釣獲状況を把握するため、緑川漁業協同組合の組合員 5 名に釣獲日誌記録を依頼し、それを回収して解析することで CPUE や月別の全長組成割合を求めた。

放流日以降の詳細な水温変化の把握を目的として、当該区間に水温データロガー（Onset 社製 Hobo ペンダントロガー UA001）を設置し、1 時間毎の水温を連続観測した。

（2）天然アユ遡上群の回復に向けた研究

遡上稚アユモニタリングについて、球磨川漁業協同組合が行った稚アユの掬い上げ量から遡上量を算出した（図 3）。

推定流下仔アユモニタリングについて、球磨川の球磨川堰において、仔アユの流下時期に計 2 回、18 時から翌朝 6 時までの毎正時に 5 分間、プランクトンネットを用いて流下する仔アユを採捕し、エタノール固定した後に計数した。

推定流下仔アユ数は、毎正時 5 分間の採捕尾数と濾水量から算出した個体数密度（尾/1,000 m³）を当該 1 時間の代表値とみなした。この個体数密度に、国交省横石観測所の流量速報値（m³/sec）に基づく 1 時間当たり累積流量（m³/h）を掛けて 1 時間当たりの流下個体数とし、調査日毎の日間流下尾数を算出した。なお、球磨川堰の 300m 上流で球磨川から前川が分流するが、ここでは球磨川堰の観測値のみを用い、分流点より上流にある横石観測所の流量を用いることで、球磨川における総流下尾数として取り扱った。また、流下の開始日を 10 月 1 日、流下の終了日を 12 月 31 日、1 日当たり流下尾数は直線的に変化するものと仮定し、調査日以外の日 (x) の流下尾数 (y) は、直前の調査日 (x1) の流下尾数 (y1)、直後の調査日 (x2) の流下尾数 (y2) から、 $y=y1+(x-x1)(y2-y1)/(x2-x1)$ の線形補間により推定流下尾数を求めた。また、同様の方法により流下仔アユ調査を行っている国土交通省八代河川国道事務所の調査結果と併せて推定流下仔アユ尾数を算出した。

結果

（1）河川環境に合ったアユ放流方法の検討

最終年度である令和 4 年度（2022 年度）は、4 月 7 日に平均体重 3.0g の中間群 10,000 尾を、4 月 20 日に平均体重 3.1g の通常群 12,240 尾を緑川水系御船川七滝地区に放流した。放流日の日平均水温は、中間群が 13.7℃、通常群が 15.4℃であった。

友釣りによる漁獲調査結果について、解禁日の 6 月 1 日に漁獲された各放流群における平均体重（平均体長）を比較したところ、中間群は 48.5g（141.1mm）、通常群は 36.6g（130.2mm）であり、中間群は通常群に比べて平均体重が有意に大きかった（図 4）。

また、解禁月の 6 月に実施した投網・刺網による漁獲調査から、平均体重（平均体長）は、中間群が 15.4g（153.9mm）、通常群が 14.6g（146.0mm）であり、漁具による漁獲の選択

がない投網・刺網においても、解禁日の友釣りによる漁獲調査結果と同様の結果が得られた。

友釣りによる漁獲割合について、中間群と通常群の半月別漁獲尾数を比較したところ、降雨による河川増水で漁獲がなかった8月前半を除き、6月前半から9月後半の全期間にかけて、中間群が6割以上を占めた。（図5）

緑川漁業協同組合の組合員5名に依頼した釣獲日誌の記録から、CPUEは6月が最も大きく2.0で、釣獲のなかった10月を除き、0.8から2.0で推移した（表1）。また、月別の全長組成割合を見ると、6月から9月にかけて順調に成長し、漁期後半の9月では全ての漁獲物が20 cm以上であった（図6）。なお、本年度はがっくり掛けによる釣獲はなかった。

5カ年にわたる本事業全体の結果として、解禁日の友釣りによる漁獲調査では、平均体重は令和2年度（2020年度）の早期小型群が51.9gと最も大きく、令和3年度（2021年度）の通常群が14.4gと最も小さかった（図7）。また、解禁月の6月に実施した投網・刺網による漁獲調査では、平均体重は令和4年度（2022年度）の中間群が60.9gと最も大きく、令和3年度（2021年度）の通常群が39.7gと最も小さかった。このことから、漁具による漁獲の選択がない投網・刺網でも友釣り同様に、早期に放流した群（早期小型群及び中間群）が通常群に比べて早く成長する傾向が認められた。また、漁法を問わず、早期に放流した群（早期小型群及び中間群）は通常群に比べて平均体重が有意に大きかった。

また、友釣りによる漁獲割合について、令和2年度（2020年度）から令和4年度（2022年度）の半月別漁獲尾数に占める早期小型群及び中間群と通常群の割合を比較したところ、6月前半から8月前半にかけては早期小型群及び中間群が7～8割を占め、8月後半以降は通常群が4～6割を占めた（図8）。このことから、早期に放流した群（早期小型群及び中間群）は漁期前半に漁獲され、通常群は漁期後半に漁獲されることが考えられる。

放流群別の費用対効果を比較するため、放流尾数と種苗単価（kg/円）の積から放流種苗金額（費用）を、友釣りによる漁獲重量と販売単価（円/kg）の積から回収金額（収益）を求め、回収金額（収益）を放流種苗金額（費用）で除することで費用対効果を算出した。なお、費用対効果の算出には佐藤ら（2018年）の方法を用いた。また、アユの販売単価については、調査対象河川の漁業権者である緑川漁業協同組合の販売単価（3,500円/kg）を用いた。

令和2年度（2020年度）から令和4年度（2022年度）の費用対効果は、令和4年度（2022年度）の中間群が0.09と最も高く、次いで令和3年度（2021年度）の早期小型群が0.03、令和2年度（2020年度）、令和3年度（2021年度）及び令和4年度（2022年度）の通常群が0.01と最も低かった（表2）。

水温データロガーを設置して計測した御船川七滝地区の放流日から解禁日（6月1日）までの日間最低水温は、令和3年度（2021年度）が12.7℃、令和4年度（2022年度）が13.7℃であった。なお、令和2年度（2020年度）は計測機器の不具合により3～4月の水温

を測定することが出来なかった（図9）。

（2）天然アユ遡上群の回復に向けた研究

遡上稚アユモニタリング調査について、球磨川の球磨川堰で球磨川漁業協同組合が行った稚アユの掬い上げ量から遡上量を算出した。令和4年度（2022年度）の掬い上げは3月15日から5月9日までの56日間行われ、遡上量は1,047,482尾（前年比86.2%）であった（図10）。

本事業期間の遡上量は、令和3年度（2021年度）が1,240,891尾で最も多く、令和2年度（2020年度）が192,305尾で最も少なかった。

推定流下仔アユモニタリング調査について、球磨川の球磨川堰で令和4年度（2022年度）11月11日及び11月25日の計2回実施した。本年度の流下仔アユ尾数については、同様の方法で調査を行っている国土交通省八代河川国道事務所の調査結果と併せて推定予定である。

本事業期間の推定流下仔アユ尾数は、令和元年度（2019年度）が664,358,511尾で最も多く、令和2年度（2020年度）が51,142,172尾で最も少なかった（図10）。

考察

- （1）河川環境に合ったアユ放流方法について、体重4g程度を4月下旬に放流する通常群、体重2g程度を3月下旬に放流する早期小型群、体重3g程度を4月上旬に放流する中間群、の3群を放流して成長差を比較したところ、友釣りによる解禁日時点では早期に放流した群（早期小型群及び中間群）の平均体重が大きく、漁獲割合も過半数を占めた。この結果は、佐藤ら（2018年）らが行った早期小型群の放流試験と同様であった。

縄張りを形成する個体は縄張りを形成しない個体に比べて成長が早いことが片野（2014年）により示されており、また、海産系人工種苗の大型個体、特に重量が重い個体は、軽い個体に比べて有意に縄張りを主張することが中嶋ら（2009）により示されている。これらのことから、当該放流試験で早期に放流した群（早期小型群及び中間群）は、通常群に比べて早い時期に縄張りを形成し、餌料環境に恵まれたことが考えられる。

令和3年度（2021年度）の放流試験では、他年度に比べて解禁日時点で友釣りにより漁獲された平均体重が小さかった（早期小型群27.5g、通常群14.4g）。河川の濁りはアユにとってストレスになることが阿房田ら（2010）により示されている。この年度は調査対象区間の上流地点で河川工事が行われており、放流直後に河川が白く濁っていたため、その濁りが生残や成長等に影響を与えていた可能性がある。

- （2）天然アユ遡上群の回復に向けた研究として、各年度の掬い上げ量と推定流下仔アユ尾数をモニタリングした。特に令和3年度（2020年度）は、推定流下仔アユ尾数が51,142,172尾と、前年の18.4%まで減少したが、翌年の遡上量は1,047,482尾と、5年間にわたる本事業で確認された平均的な遡上量であったことから、海域に降った後の減耗は少なかったと考えられる。

本事業の結果から、アユの放流方法として、早期かつ小型での放流も有効であることが示された。また、天然アユ遡上群の回復に向けた研究として、今回のモニタリング結果から近年の遡上量減少原因を解明することは難しいが、発眼卵から孵化した仔アユが海域に降るまでの過程と、海域に降って翌年稚アユとして遡上してくるまでの過程における餌料環境や被捕食に係る諸要因が、近年の遡上量に影響していることが考えられる。

本事業が終了した後も、アユ資源量の維持増大に向け、継続して調査を実施したい。

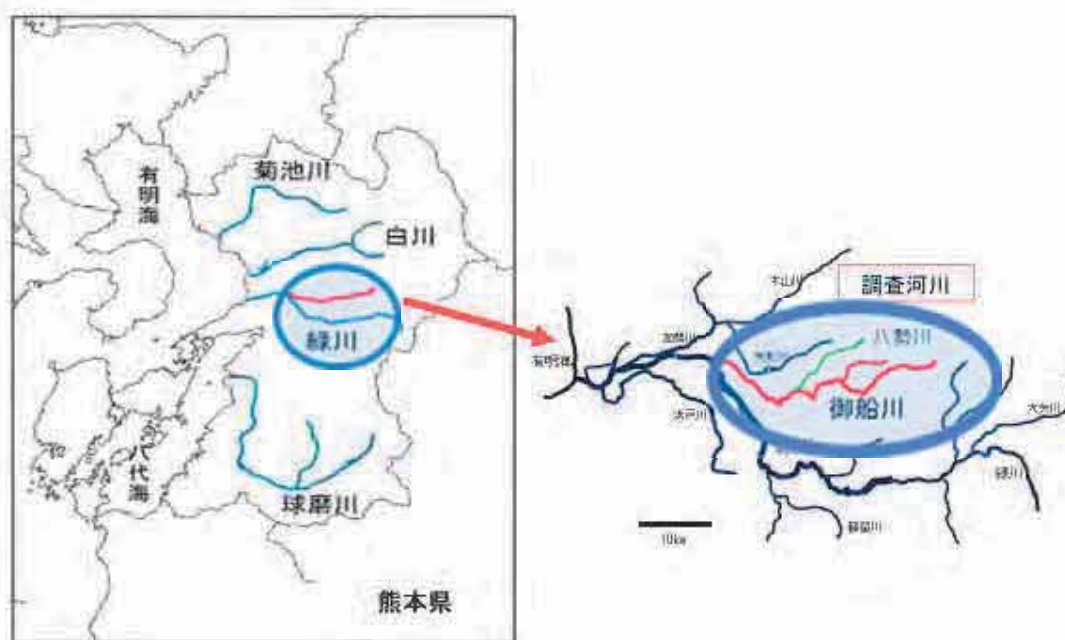


図1 調査対象河川箇所（緑川水系御船川七滝地区）

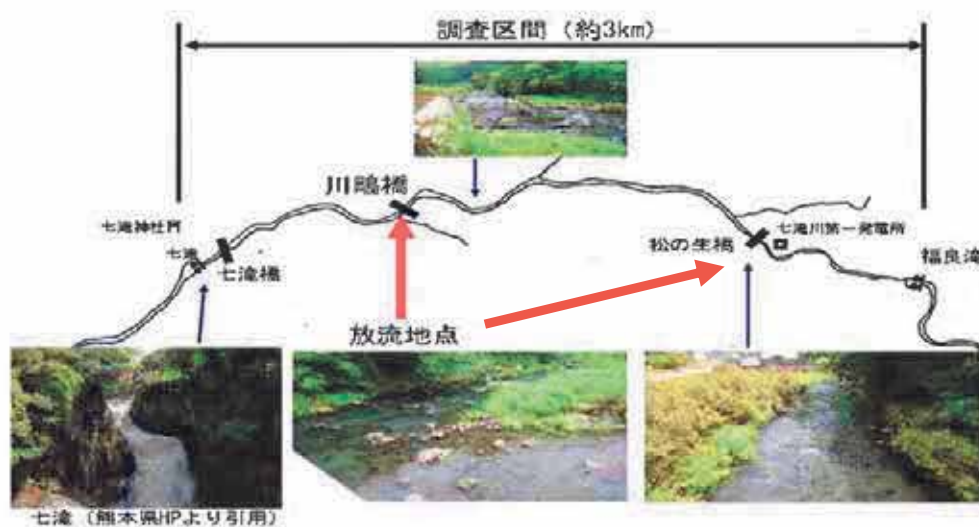


図2 緑川水系御船川七滝地区の放流試験実施箇所



図3 調査対象河川箇所（球磨川球磨川堰）

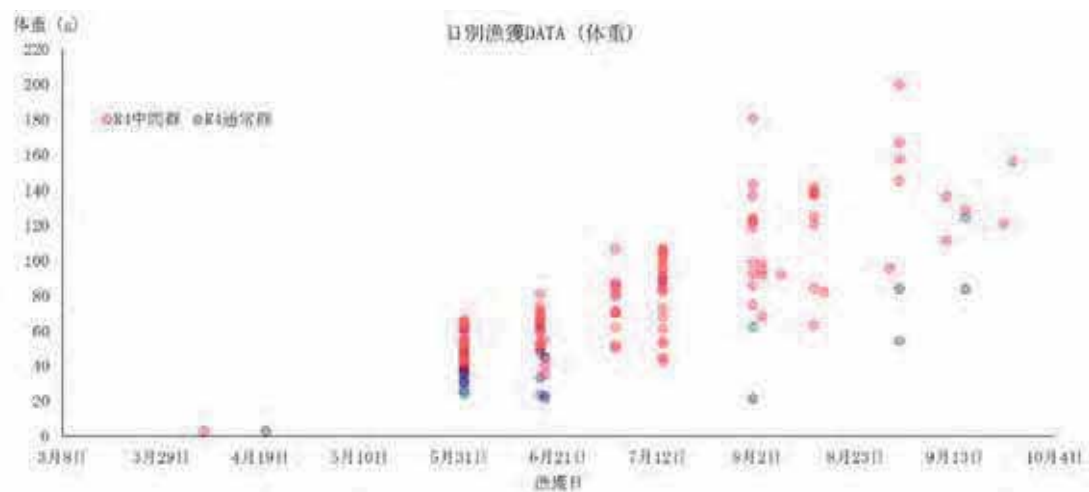


図4 令和4年度（2022年度）友釣りによる群別漁獲体重

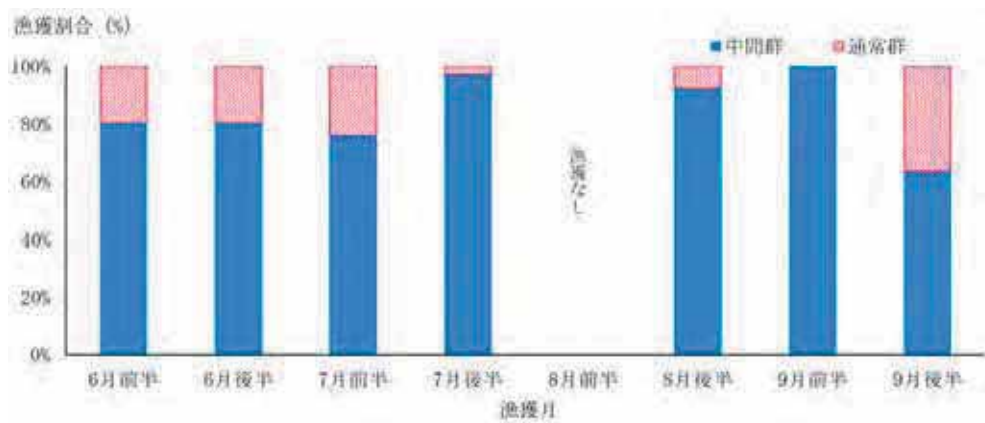


図5 令和4年度（2022年度）中間群と通常群の半月別漁獲割合

表1 令和4年度（2022年度）釣獲日誌による友釣りの月別釣獲状況

	6月	7月	8月	9月	10月
釣獲回数	5	3	5	3	0
釣獲時間	23.8	18.0	24.0	11.8	0.0
釣獲尾数	48	14	30	13	
CPUE	2.0	0.8	1.3	1.1	

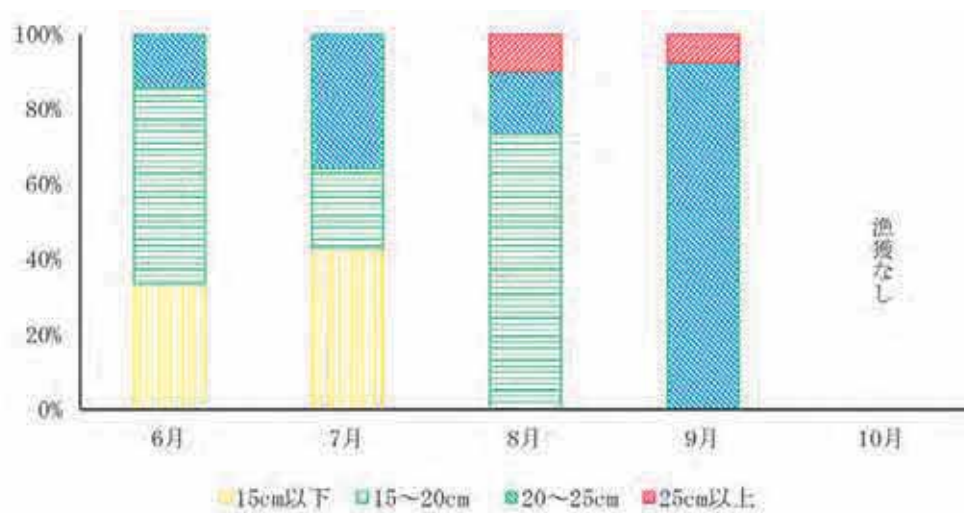


図6 令和4年度（2022年度）釣獲日誌における月別全長組成割合

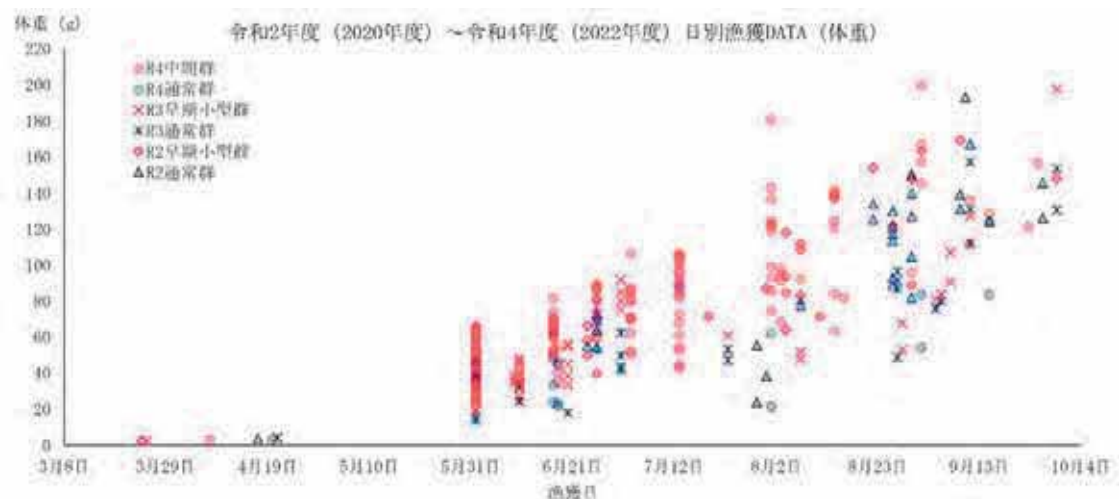


図7 令和2年度（2020年度）から令和4年度（2022年度）御船川七滝地区における
友釣りの群別漁獲体重

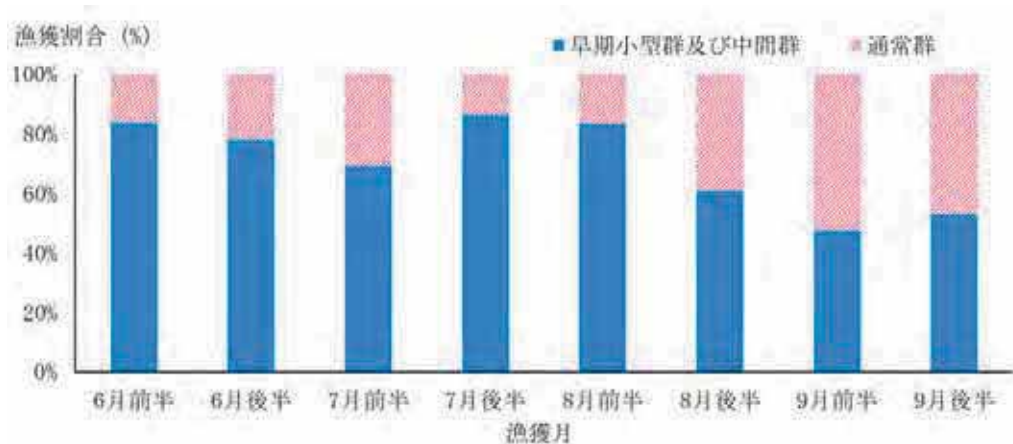


図8 令和2年度（2020年度）から令和4年度（2022年度）における
早期小型群及び中間群と通常群の半月別漁獲割合

表2 令和2年度（2019年度）から令和4年度（2021年度）までの費用対効果

群名	放流場所	放流地先県	種苗受入 サイズ (g)	放流 サイズ (g)	放流時期	放流尾数 (尾)	放流重量 (g) (放流サイズ× 放流尾数)	操業回数20での 漁獲重量 (g/20操業回)	種苗単価 (円/kg)	漁獲アユ単価 (円/kg)	費用対効果
R2早期小型群	七滝	熊本県	0.63	2.6	3/24	10,000	26,000	2,518	17,460	3,500	0.02
R2通常群	七滝	熊本県	0.63	3.5	4/17	10,000	35,000	2,326	17,460	3,500	0.01
R3早期小型群	七滝	熊本県	0.63	2.1	3/25	10,000	21,000	2,983	17,460	3,500	0.03
R3通常群	七滝	熊本県	0.63	4.1	4/21	10,000	41,000	1,928	17,460	3,500	0.01
R4中間群	七滝	熊本県	0.63	3.0	4/7	10,000	30,200	13,661	17,460	3,500	0.09
R4通常群	七滝	熊本県	0.63	3.1	4/20	11,240	34,394	1,498	17,460	3,500	0.01

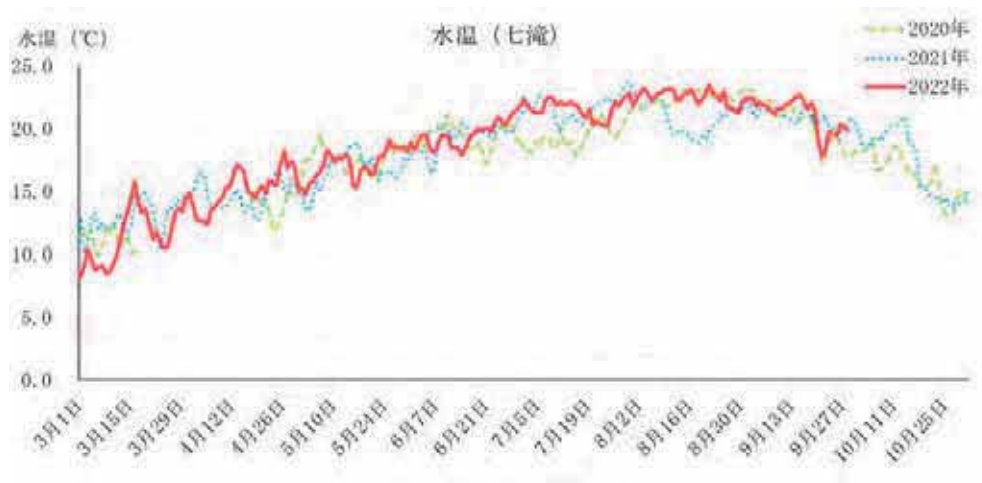


図9 令和2年度（2020年度）から令和4年度（2022年度）までの
緑川水系御船川七滝地区における日間平均水温

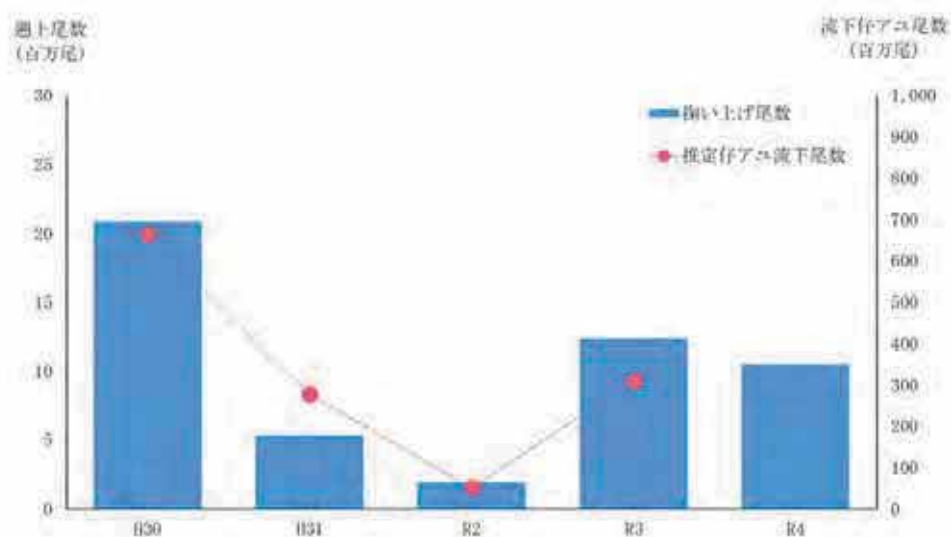


図10 平成30年度（2018年度）から令和4年度（2022年度）までの
球磨川における推定流下仔アユ尾数及び遡上稚アユ尾数

参考文献

- 佐藤正人・坪井潤一（2018）「アユ友釣り漁場管理における早期小型群の有効性」水産増殖 66巻 3号 223 - 233頁
- 国立研究開発法人水産研究・教育機構（2018）「赤字にならない！アユ放流マニュアル」
- 坪井潤一・高木優也（2016）「アユの生息にとって重要な環境要因の検討」日本水産学会 82巻 1号 12 - 17頁
- 片野修（2014）「河川中流域の魚類生態学」学報社
- 高橋勇夫・東健作（2016）「天然アユの本」築地書館

高橋勇夫（2009）「天然アユが育つ川」築地書館

中嶋康生・服部克也・曾根亮太・河根三雄（2009）「木曽川由来の海産系アユ人工種苗における体サイズとなわばり性」愛知県水産試験場報告書 15号 21－24頁

安房田智司・武島弘彦・鶴田哲也・矢田崇・井口恵一郎（2010）「短時間・長時間の濁りに対するアユのストレス応答」水産増殖58巻 3号 425 - 427頁

担当者

平成30年度（2018年度）～令和2年度（2020年度）

熊本県水産研究センター 資源研究部 研究参事 宗 達郎

令和3年度（2021年度）～令和4年度（2022年度）

熊本県水産研究センター 資源研究部 研究員 土井口 裕

7. 球磨川水系等をモデル河川としたアユ海洋生活期の 成長・生残に関する環境要因の抽出

長崎大学 水産・環境科学総合研究科

要旨

球磨川におけるアユ資源は、減少の一途をたどっている。事態の解消を目指して、アユの生活史初期における成長・生残にかかる環境要因について検討を行った。遡上個体の耳石を分析すると、早生まれは成長が速く早いタイミングで遡上するという実態が判明した。このまま地球規模的な温暖化が進行すると、早生まれ個体が生活史初期に塩分調節のために費やさなければならないコストは増大を余儀なくされるため、生残率の低下が予想され、ひいては個体群の衰退を招くおそれが生じる。また、河口堰の直上に形成される広大な湛水域には、内部栄養に依存する孵化仔魚の河川内滞在時間を延長させる働きがあり、回復不能点を経過した個体にとっては、その後の生残の見込みは極めて厳しいという状況が確認された。現在実施されている発眼卵放流には、流下時間の省略を通して、初期生残を保証する一定の効果が期待される。

全期間を通じた課題目標及び計画

近年のアユの漁獲量は低迷しており、漸減傾向に歯止めのかからない状況が続いている。事態の打開にむけて、天然アユ資源の回復に高い期待が寄せられている。しかしながら、本種の生残に影響を及ぼす環境要因に関する知見は乏しいため、有効な施策の構築には至っていない。本課題では、両側回遊魚であるアユの初期生活史に焦点を当てながら、体サイズ、行動、生息環境等に関するデータを収集・解析する。

方法

2018 年度ならびに 2019 年度は、主として、天然海域におけるアユの初期生活史を明らかにする目的で、熊本県を流れる球磨川において、早期遡上群ならびに晩期遡上群を採捕して、それらの耳石を調査対象とした。球磨川堰を通過する遡上個体から耳石を摘出して、日輪解析ならびに Sr/Ca（ストロンチウム/カルシウム）を指標とした微量元素分析を実施した。また、成長量に関しては、孵化時の脊索長が 6.1mm であると仮定して、比成長速度 $[(\text{Log}_{10} \text{標準体長} - \text{Log}_{10} 6.1) / \text{日齢}]$ によって評価した。

2020～2022 年度は、主として、内部栄養状態にある孵化仔魚の消耗の過程を明らかにする目的で、室内実験および野外調査を行った。孵化仔魚の無給餌飼育実験では、水温別（16, 18, 20℃）に卵黄残量の通時的変化を追跡した。このとき、卵黄を楕円体にみたてて、長径と短径から体積を算出した。感潮域に隣接する新前川堰においては、日没から日出までの時間帯にプランクトンネ

ットを用いて採集された仔魚を対象として、日輪解析を実施した。

さらに2022年度には、球磨川周辺河川におユの生息状況を把握する目的で、アユの産卵る10月中旬頃に、八代海流入河川のなかから調査河川を選定した(図1)。最下流側の瀬付水を行い、MiFishを用いて魚類に由来する環DNAの増幅を行い(Miya et al. 2015)、各魚種出されるリード数に基づいて現存量の多寡をた。

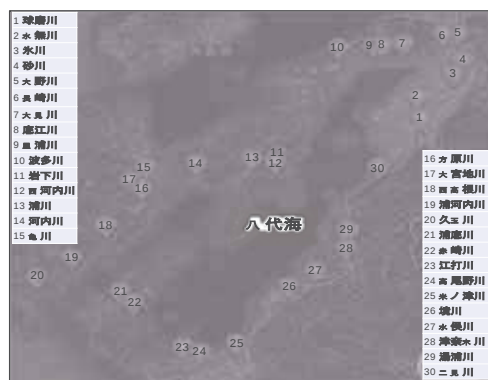


図1. 環境DNAを採取した八代海流入河川

耳石のけるアが始ま30の近で検境から検推定し

結果

(1) 遡上個体の体サイズ、日齢および成長履歴

3月遡上の早期遡上群と5月遡上の晚期遡上群について、河川遡上時の標準体長、日齢、初期の成長履歴の比較を実施した。早期遡上個体は早い時期に孵化し、より大型の体サイズで遡上する傾向を示した(図2)。また、早期遡上個体は、晚期遡上個体よりも、仔魚期においては、より低

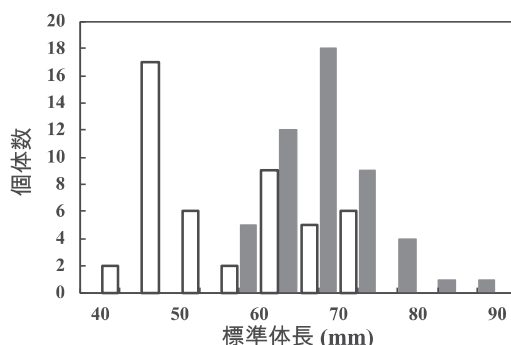
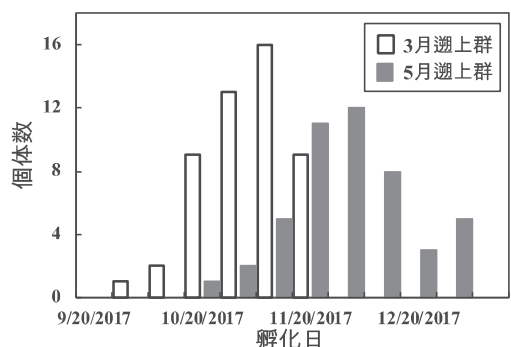


図2. 遡上群の孵化日・体サイズ組成

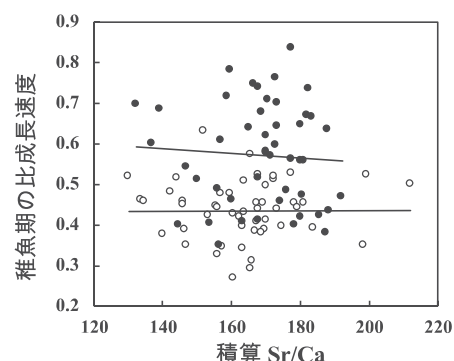
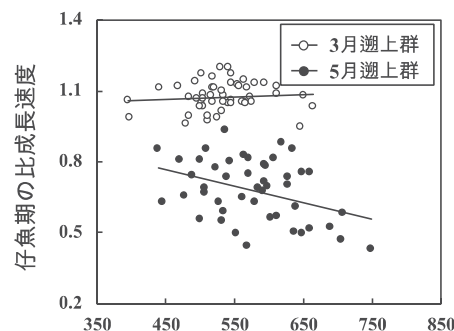


図3. 仔・稚魚期の塩分環境と成長

い塩分環境下でより高い成長速度を示したものの、稚魚期以降の成長速度はむしろ逆転した(図

3)。

(2) 流下個体の卵黄消費ならびに日齢

孵化日からの3日間（4日齢相当）において、卵黄体積は日数の経過とともに減少し（図4）、水温が高いほど減少の割合は大きくなった。水温に関わらず、4日目以降は卵黄の残余分を観察することが難しくなったことから、16～20℃の温度帯においては、アユ孵化仔魚の回復不能点

（PNR: point-of-no-return; Blaxter and Ehrlich 1974）が3日目から4日目にかけて訪れると判断された。新前川堰の魚道入口にて2020年11月19-20日に採集された流下仔魚の日齢は時間帯によっては一様ではなかった（図5）。未明までは孵化後経過日数が3日（4日齢）を超える個体が大勢を占め、明け方になってようやく平均日齢が2日を下回る個体が出現するようになった。

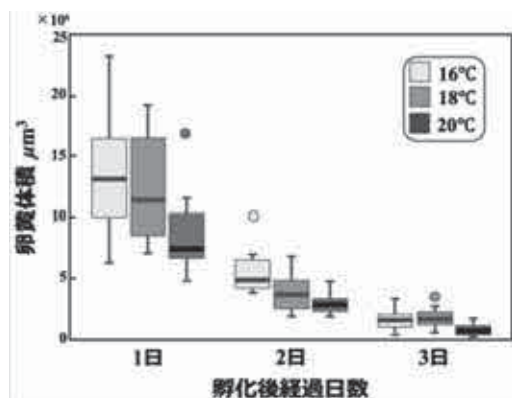


図4. 孵化仔魚の水温別卵黄サイズの経日変化

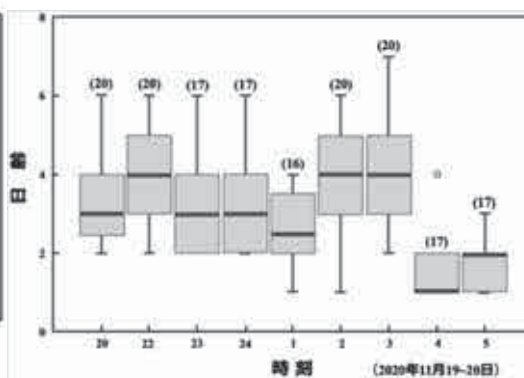


図5. 孵化仔魚の水温別卵黄サイズ変化

(3) 環境 DNA 分析によると、球磨川下流（河口堰直上の湛水域）では、リード数の多い順に、アユ、オイカワ、ウグイ、ギギ、ナマズ、スゴモロコ、ギンブナの生息が推測された。また、調査を行った 30 河川のうちの 17 河川において、リード数上位 5 種のなかにアユが含まれていた。アユに対応するリードの出現頻度が 1 番目に高かった河川は球磨川、氷川、米ノ津川の 3 河川、2 番目に高かったのは水無川、底江川、浦河内川、高尾野川、境川、水俣川、津奈木川の 7 河川、4 番目に高かったのは里浦川、5 番目に高かったのは大見川、浦川、河内川、亀川、浦底川の 5 河川であった。

考察

個体群を共有する早生まれ個体と遅生まれ個体のあいだには、初期成長様式さらには初期生前過程において相違が観察される。早期孵化群は、高水温条件下で浸透圧調節にコストを強いられる反面、優れた餌環境への遭遇が実現すれば、高成長が期待される。一方、晚期孵化群では、概して低調な餌条件のもとであっても、低水温下では浸透圧調節に費やされるコストが抑えられるため、減耗のリスクは軽減される。餌条件と水温条件の兼ね合いのもと、早期遡上群と晚期遡上群の孵化日ならびに体サイズのあいだに隔たりが生じることで、かねてから知られている通り、「早生まれは大きな体サイズで早い時期に遡上する」ことが裏付けられた（塚本 1988）。通常は、大型の個体から先に繁殖に参加していくため（Iguchi and Yamaguchi 1944）、早期孵化群の親魚は、縄張りを維持して高成長を獲得した経歴を有する可能性が高い。気候変動により温暖化が進行すると、海水温の上昇にともなって、早期孵化群の初期減耗リスクは高まっていくことが予想される。このことは、縄張りアユとして漁場形成に貢献してきた個体が子を残しにくい状況にさらさ

れることを意味する。裏を返せば、アユの縄張り社会において劣位に立たされた個体の子であっても、世代を追うごとに個体群のなかで占める割合が高まっていく可能性が指摘される。

球磨川の感潮域に隣接する新前川堰においては、3日齢を過ぎた個体の大半が、回復不能点(PNR)を経過していると考えられるため、遥拝堰下流の人工産卵場で孵化した仔魚については、明け方近くに河口堰魚道入口に到達した一部個体を除いて、その後の生残の可能性を高く積もることは難しい。球磨川では、河口堰直上に発達する湛水域が河川滞在時間を延長させるために、回復不能に陥る以前の状態で降海移動を完遂させることが可能な個体は流下仔魚全体の一握りに限られ、個体群全体の初期減耗を助長しているといえる。実際に、微量元素分析からでは、翌年に河口堰を遡上する個体のなかに、孵化直後の数日間を淡水で過ごした痕跡を有する個体を見出すことはできなかった。つまり、産卵場下流側に人為的に創出された大規模湛水域が、天然アユの再生産効率を劣化させる主要因として関与していると考えられる。

環境DNAリード数をみると、近隣河川のあいだで球磨川産アユ親魚の現存量は最多の部類に属することが判明した。アユの生息状況を見る限り、他の河川に由来する個体が、遡上を介して、本川の資源の添加に貢献している可能性は低い。一方で、球磨川河口堰が作り出す湛水域がアユの初期減耗を高めている現状を考えると、自然再生産だけで個体群が維持されているとは考えにくい。堰と湛水域は対をなし、切り離しのできる代物ではない。漁協が主体となって、河口堰の魚道で実施される発眼卵放流の取り組みには、初期減耗の回避によるリクルート個体の補填効果が期待される。

参考文献

- Blaxter JHS, Ehrlich KF (1974) Changes in behavior during starvation of herring and plaice larvae. "The Early Life History of Fish" pp. 575-588, Springer-Verlag
- Iguchi K, Yamaguchi M (1994) Adaptive significance of inter- and intrapopulational egg size variation in ayu *Plecoglossus altivelis* (Osmeridae). *Copeia*, 1994(1): 184-190
- Miya M, Sato Y, Fukunaga T, Sado T, Poulsen JY, Minamoto T, Yamamoto S, Yamanaka H, Araki H, Kondoh M, Iwasaki W (2015) MiFish, a set of universal PCR primers for metabarcoding environmental DNA from fishes: detection of more than 230 subtropical marine species. *Royal Society Open Science*, 2: 150088
- 塚本勝己 (1988) アユの回遊メカニズムと行動特性. 「現代の魚類学」 pp. 100-133, 朝倉書店

放流魚の定着条件の解明と釣獲日誌の有用性の検証

国立研究開発法人水産研究・教育機構
水産技術研究所 内水面研究グループ

要旨

河川中流域におけるヤマメの釣り場（以下、漁場とする）づくりを目的に、栃木県鬼怒川中流域で実施したヤマメの放流試験の結果、釣獲試験によって放流魚の23%を回収することができた。3月に放流した幼魚が9月には放流時の平均体重の10倍にまで成長した。7月以降には全長30cmを超える尺ヤマメが各月で採捕され、中流域の生産性を活用した大型ヤマメ漁場をつくることができた。

先住魚の存在が放流魚の定着へ及ぼす影響を明らかにするため、調査河川内の先住魚の個体数を操作して放流イワナの定着個体数を調査した。その結果、先住魚であったブラウントラウトを除去した場合には、イワナの放流効果が改善する傾向が認められた。このため、放流場所にサケ科魚類の先住魚がいない、または少ない環境では、稚魚放流の効果が発揮されると考えられた。

釣獲日誌による漁場把握の有用性を検証するため、2019年から2022年にかけて鬼怒川支流の約2km区間で実施した釣獲日誌（記録者1～20名）と聞き取り調査（対象252～398名）のデータを比較した結果、双方から得られた釣獲魚種の個体数組成は、おおそ一致しておりブラウントラウトの除去効果も把握することができた。また、両者の堰堤区間ごとの釣獲個体数の相関関係を調べた結果、正の相関関係が認められた。このように少人数でも実施可能な釣獲日誌は、漁場の変化を把握するうえで有用な指標になると考えられた。

標識放流と釣獲日誌による野生魚管理の有用性を検証した結果、栃木県内の調査河川では、放流魚と比較して野生イワナの釣獲個体数が少なかったことや、C&R区間における釣獲個体数の約4割を野生ヤマメが占めていたことが明らかとなった。さらにC&R区間には、下流の一般漁場へ放流魚を供給する役割があることも明らかとなり、釣獲日誌と標識放流を併用することで、野生魚を活用した釣り場づくりや一般漁場の持続的利用を検討するうえで重要なデータが得られた。

全期間を通じた課題目標及び計画

本課題では放流魚の定着に必要な環境条件を明らかにするため、イワナ等の溪流魚を用いて放流実験を行い、放流魚とその定着条件（先住魚の存在、体サイズ、行動、生息環境等）に関するデータを収集・解析する。近年、野生魚を活用した漁場管理への応用が期待されている釣獲日誌（宮本ら2019）についても、それらの有用性を検証する。

方法

- (1) 中流域の豊かな生産力を活用した溪流魚の釣り場（以下、漁場とする）づくりのため、2019 年 3 月に栃木県鬼怒川中流域（宇都宮市）にあぶら鰭を切除標識したヤマメ 1 歳魚（平均全長 138.2 ± 7.7 cm、平均体重 24.9 ± 4.6 g、6000 個体）を放流し、3 月（解禁から）から 9 月（禁漁期まで）の間、約 2km の調査区間において鬼怒川漁業協同組合とその関係者が記録した釣獲魚の個体数、体サイズおよび標識の有無と釣行時間のデータを集計して解析を行った。この実験の対照区として同年 5 月に鬼怒川上流域（日光市）で実施した放流実験（ヤマメ 1 歳魚、平均全長 149.4 ± 8.1 cm、平均体重 33.2 ± 5.9 g、2000 個体）では、栗山漁業協同組合とその関係者が記録したデータ（釣獲魚の魚種、個体数、体サイズおよび標識の有無と釣行時間）を集計し、解析を行った。これら 2 か所での放流実験の結果を比較することで鬼怒川の上流域と中流域で釣獲した放流魚の成長や放流効果の違いを調べた。
- (2) 先住魚の存在が溪流魚の放流効果へ及ぼす影響を評価するため、先住魚の生息個体数を操作してイワナ放流魚の定着を調べた。栃木県 C 湖の流入河川（A 区間：240m）と流出河川（B 区間：200m、C 区間：240m）に設定した 3 区間で 2018 年から 2020 年にかけて実験を行った。2018 年には、各調査区間に生息する先住魚を電気ショッカーにより調査（採捕後に魚種と体サイズを記録して再放流）し、鰭切標識（あぶら鰭およびしり鰭の一部を切除）したイワナ 0+（全長 50–90mm、日光庁舎で継代飼育）を 40m ごとに 400 個体ずつ放流した。2019 年には先住魚と放流したイワナの定着個体数の関係を調査するため、A 区間では採捕した先住魚を再放流した後にイワナ 0+を放流（体サイズや放流方法は 2018 年と同様）し、B と C 区間では採捕した先住魚を除去した後、イワナ 0+の放流を行った。2020 年には、2019 年と同様に放流魚と先住魚の採捕調査を行った。調査では、採捕した魚類の種類、体サイズおよび標識の有無を記録した。
- (3) 釣獲日誌による漁場把握の有用性を検討するため、2019 年から 2022 年にかけて、栃木県日光市鬼怒川支流の約 2km 区間において 4 月の解禁から 9 月の禁漁期までを対象に、漁協組合員と釣り人が記録した釣獲日誌を集計し、解析を行った。2019 年には鬼怒川漁業協同組合日光支部の組合員 1 名、2020 年には同組合員と釣り人の計 5 名、2021 年には同組合員と釣り人の計 20 名、2022 年には同組合員と釣り人の計 10 名から協力をいただき、釣獲日誌を作成した。聞き取り調査と釣獲日誌では、釣行日、釣れた場所、釣行時間、釣れた魚種、魚の全長、標識の有無（ヒレ切除）を記録した。なお、釣獲日誌の協力者には、あらかじめ調査区の堰堤区間に番号（番号が大きいほど上流を示す）をふった地図を配布し、その番号にもとづいて釣獲場所を記録してもらった。釣獲日誌の有

用性を検証するため、2019年から2022年にかけて、上述した釣獲日誌調査と同区間において4月の解禁から9月の禁漁期まで、1か月のうち平日3回と土日祝3回を基本として午前6時から午後6時までを対象に調査区間を訪れた釣り人に聞き取り調査を実施した。聞き取り調査の項目は釣獲日誌と同様とした。聞き取り調査では、2019年に398名、2020年に350名、2021年に257名、2022年に252名の釣り人から回答を得ることができた。

- (4) 釣獲日誌と標識放流による漁場把握の有用性を検証するため、2020年に鬼怒川漁業協同組合日光支部組合員と釣り人の合計5名が作成した釣獲日誌を用いて、栃木県日光市鬼怒川支流（約2km区間）のイワナ野生魚の存在や放流魚の移動について解析を行った。釣獲日誌には、釣行日、釣れた場所、釣りをした時間、釣れた魚種、魚の全長、標識の有無（ヒレ切除）を記録した。なお、釣れた場所の記録には、あらかじめ調査区の堰堤区間に番号をふった地図（番号が大きいほど上流）を記録者に配布した。釣獲日誌の記録期間は、漁期である4/1から9/19までとした。調査場所の堰堤区間12には、魚類の遡上が不可能な堰堤が設置されていた。12区より上流の区間では、本標識放流実験を除いて過去10年以上にわたりイワナの放流は行われていないため、この区間で採捕した未標識魚は野生魚とみなした。12区より下流では、毎年、漁協がイワナの発眼卵放流（無標識）を実施していた。18、19区間には、放流イワナの移動を調べるため2019年の秋にイワナ0+（全長50-90mm、鰭切除標識、2400個体）の放流を行った。
- (5) 標識放流と釣獲日誌の結果を組み合わせることで、C&R区間より下流への放流魚の移動やC&R区内の野生魚の割合を調査した。2022年に黒川漁業協同組合と釣り人団体「小来川の日光テンカラをつなぐ会」の協力のもと、栃木県日光市小来川地区を流れる西黒川にある小来川テンカラ釣り専用キャッチアンドリリース（以後、C&R区間とする）区間（約2km）とその下流の一般漁場（約1.2km）を対象に釣獲日誌を記録した。標識放流には、C&R区間に放流する全てのヤマメのあぶら鰭を切除した。釣獲日誌には、3月解禁から9月禁漁まで、釣行日、釣れた場所、釣りをした時間、釣れた魚種、魚の全長、標識の有無（ヒレ切除）を記録した。

結果

- (1) 中流域でのヤマメ漁場づくりを目的に、栃木県鬼怒川中流域でヤマメ放流魚の釣獲試験を実施した結果、調査期間を通して放流個体数の23%が回収された。月ごとに釣獲した放流魚の平均体重と釣獲個体数を掛け合わせてバイオマス（総重量）を算出した結果、調査期間を通して放流重量の71%を回収することができた。総釣獲個体数のうち

放流魚は 97%を占めており、鬼怒川中流域において放流によるヤマメ漁場をつくることができた。中流域の調査区間で釣獲した放流魚の体サイズを測定した結果、9 月には平均全長 263.0 ± 56.6 mm、平均体重 267.5 ± 140.7 g となり（図 1）、7 月以降は全長 30cm を超える個体が各月の調査時に釣獲された（写真 1）。一方、上流域へ放流したヤマメは、最後に確認された 7 月の時点で平均全長 121.0 ± 19.2 mm と放流時の平均全長よりも小さく、調査期間を通して低い成長を示した。鬼怒川中流域と上流域の CPUE（1 時間あたりに釣れた魚の数）を比較すると、鬼怒川上流域では 8 月・9 月の放流ヤマメの平均 CPUE が 0 を示し、放流個体が確認できなくなった。これに対して鬼怒川中流域では全期間を通して平均 CPUE が 0 となることは無く、釣れ続けた（図 2）。

- (2) 先住魚と放流効果との関係解明を目的に実施した先住魚調査の結果、2018 年の調査区間において先住魚として最も多く採捕した魚種はブラウントラウトであった（図 3, 4, 5）。一方、先住魚のイワナの割合は A 区で 0%、B 区で 1.2%、C 区で 0.9%であった。2019 年（前年、採捕した先住魚はすべて再放流し、イワナ稚魚を放流した状態）の調査区で採捕した放流イワナの個体数の割合は、A 区で 7.9%、B 区で 2.3%、C 区で 0%と低い値を示した。放流効果（調査区に残った放流魚の数 / 放流した魚の数 $\times$ 100）は 0~0.6%と極めて低い値であった。2020 年の調査で採捕した放流イワナの個体数の割合は、A 区（前年に先住魚を再放流してイワナ放流）で 6.4%、B 区（前年に先住魚であるブラウントラウトを除去してイワナ放流）で 80.4%、C 区（先住魚を除去）で 89.8%を示し、先住魚であるブラウントラウトを除去した区間に限って放流イワナの個体数割合が著しく増加する傾向が認められた。なお、放流効果は A 区で 0.4%、B 区で 7.7%、C 区で 5.7%となり、先住魚を除去すれば放流場所に定着するイワナの個体数が増えることが明らかとなった。採捕した全魚種の総重量の変化に注目すると、先住魚を除去した区間では、除去後も大きく変化しないか、初年度よりも若干増加する傾向が認められた。2020 年に採捕した放流イワナの平均全長は B 区で 172.6 ± 16.1 mm、C 区で 153.6 ± 23.1 mm であり、B、C 区ではイワナ 0+放流によって栃木県の漁業調整規則で定める体長制限以上のイワナが釣れる漁場をつくることができた。
- (3) 釣獲日誌による漁場把握の有用性を検証するため、聞き取り調査結果との比較を行ったところ、両者ともに 2019 年、2020 年に最も多く釣獲した魚種はブラウントラウトであった（図 6, 7 の左図）。この結果を受け、在来魚であるイワナ資源の回復を目的に、2020 年の秋に鬼怒川漁協日光支部の協力のもと調査区全域でブラウントラウトの除去を実施した。その結果、2021 年と 2022 年では、両者ともにブラウントラウトの採捕個体数の割合は減少し、イワナもしくはヤマメの割合が高くなった（図 8, 9 の左図）。このように釣獲日誌と聞き取り調査の双方が示した釣獲魚種の大まかな個体数組成の変化

は類似していた。堰堤ごとの釣獲魚種の組成を見ると、調査年を通して調査河川の下流域（1-8 区）ではイワナ・ヤマメの個体数の割合が高く、上流域（9 区より上流）では特にイワナ・ブラウントラウトの割合が高くなった（図 6, 7, 8, 9 の右図）。双方で記録した堰堤区間ごとの釣獲個体数の相関関係を考察するため、決定係数を算出した結果、2020 年には $R^2=0.4233$ と 2019 年（ $R^2=0.0042$ ）よりも正の相関関係が強まるということが明らかとなった。一方、2021 年以降、9-16 区では釣獲日誌と聞き取り調査の結果が異なる場合が認められた。

- （4） 釣獲日誌による漁場把握の有用性を検証するため、2020 年に鬼怒川漁業協同組合の組合員と釣り人が記録した釣獲日誌を集計した結果、前年の秋に稚魚放流したイワナが放流場所（図中の 18, 19 区）より下流で釣りによって採捕されていた（図 10）。12 区より上流で採捕された野生イワナの個体数はごくわずかであり、12 区よりも下流の野生魚と発眼卵由来の放流魚が混在する区域では、イワナの釣獲個体数が他区よりも多い傾向が認められた。
- （5） 釣獲日誌による漁場把握の有用性を検証するため、2022 年度に黒川漁業協同組合の組合員と釣り人団体「小来川の日光テンカラをつなぐ会」が記録した釣獲日誌の記録を解析した。その結果、C&R 区間より下流（約 1.2km 区間）の一般漁場（釣獲魚の持ち帰り可能な区間）で釣獲された魚の約 3 割が標識魚であった（図 11）。C&R 区での放流日と一般漁場で放流魚を釣獲した日との関係を調査した結果、放流がほとんど実施されなくなった 7 月以降にも一般漁場で標識魚が釣獲され続けた（図 12）。さらに C&R 区間（約 2km）では、釣獲した魚の約 4 割が無標識の野生魚であった（図 13）。釣獲した標識ヤマメの平均全長は 20.6 ± 3.8 cm、野生ヤマメでは 17.9 ± 4.1 cm であった。

考察

- （1） 中流域でのヤマメ漁場づくりの結果から、主にアユ漁場として活用される河川中流域でも、環境条件が合致すれば、放流によってサケ科魚類の釣り場をつくれると考えられた。釣獲日誌を解析した結果、放流個体の 23%、放流重量の 71% と高い回収率が得られた。一方、当区域では記録者以外にも数多くの釣り人が訪れたことから、実際にはさらに高い放流効果が得られたと考えられる。中流域と上流域でのヤマメの放流個体数は異なるものの、中流域の川幅は上流域の 3 倍以上はあり、流域面積で考えれば後者のほうがヤマメの生息密度は高くなる。上流域での C P U E が、中流域よりも低かった原因として、川幅が狭く簡単に渡渉できる上流域では、どこでも釣りが可能であったため、漁期の早期に釣獲圧が高まり放流魚が釣られ切ったことが原因と考えら

れる。上流域では、釣獲時の平均全長が放流時の全長よりも小さかった。これもCPUEと同様に、早期のうちに高い釣獲圧に晒されたことで栃木県の漁業調整規則の全長制限で定める全長15 cm以下の小型魚だけが釣り場に残ったためと考えられる。加藤

(1990) は、ダム下流域のように豊富な水量と餌に恵まれているが産卵適地が無いような場所においては、ヤマメ放流魚の良好な生残と成長が認められ、大型ヤマメの釣り場となることを報告しており、中流域の本調査区においてはこれと類似した環境であったと考えられる。また、中流域の調査区域については、書物(沢田1988)や現地で古くから釣りを行っている組合員の話から、過去には数多くのヤマメが生息しており、ヤマメ釣りも盛んであったことがわかっている。このように当区域の環境条件

(水温や水質等)がヤマメに適していたことが、今回の大型ヤマメの漁場づくりの成功につながった要因と考えられる。以上のことから、場所と条件によっては放流の効果が期待できる川や湖もあるため、放流については過大評価あるいは過小評価をせずに十分な調査を行ってから実施する必要がある。本調査による大型ヤマメ漁場づくりから、アユ釣りのオフシーズンである3, 4, 5月をヤマメ漁場として活用できることや、ヤマメ狙いの釣り人が立ち入ることによってカワウ対策としても有効であることなど、アユ漁場の管理面でもメリットとなる部分が多いことが明らかとなった。

- (2) 先住魚の有無と放流効果との関係を調査した結果、先住魚であるブラウントラウトを除去することで、イワナの放流効果が改善することが明らかとなった。ブラウントラウトを除去する前後でバイオマス(採捕した全魚種の総重量)を比較した結果、大きな変化は見られなかった。これは放流イワナがブラウントラウトの生息空間や餌資源を利用して定住・成長できたためであり、除去と放流によって外来魚が占拠した環境を在来魚の漁場へと復元できることを示唆している。先住魚の存在が溪流魚の放流効果へ及ぼす影響について、先住魚としてマス類の生息する河川では、稚魚放流後の累積採捕率が低下することが報告されている(山本1991)。本調査結果においても同じサケ科魚類であるブラウントラウトが先住魚として生息していた環境では、イワナ稚魚を放流しても定着できた個体数は少なく、山本(1991)の報告を支持する結果となった。さらに山本(1991)は、一般に水産生物の種苗放流は、卵や稚魚が成魚になるための環境は良好であるにもかかわらず、卵や稚魚の供給がないか少ない場合に最も有効に働くとしている。これらの知見と本成果から、イワナの稚魚放流で効果が発揮される河川とは、環境条件に問題はないが、マス類が存在しない河川、出水、乱獲および外来魚の侵入などの理由で、イワナが一時的に激減した河川、産卵場所がなく、再生産が期待できない状況と考えられた。

- (3) 2019年から2022年にわたって聞き取り調査と釣獲日誌のデータを比較した結果、たとえ