

人工授精で約 30 年間継代飼育された スイゲンゼニタナゴによる保護池での二枚貝類への繁殖成功

Successful reproduction in freshwater mussels within a conservation pond by the endangered bitterling *Rhodeus atremius suigensis* maintained for 30 years via artificial insemination

重政和祐¹・神崎重人¹・高橋拓也¹・佐藤豊輝¹・古本哲史^{1,2}・森内海渡³・中田和義^{1,3*}

Kazuyoshi Shigemasa¹, Shigeto Kanzaki¹, Takuya Takahashi¹,

Toyoki Sato¹, Satoshi Furumoto^{1,2}, Kaito Moriuchi³, Kazuyoshi Nakata^{1,3}

¹芦田川水系スイゲンゼニタナゴ保全地域協議会, 広島県福山市東桜町3-5

²スイゲンゼニタナゴを守る市民の会, 広島県福山市本庄町中3丁目11-5

³岡山大学大学院環境生命自然科学研究科, 岡山県岡山市北区津島中3-1-1

¹Conservation Council for Suigen-zenitanago in the Ashida River system, 3-5 Higashisakura-machi, Fukuyama, Hiroshima 720-8501, Japan. ²Citizens' Association for the Conservation of Suigen-zenitanago, 11-5, Naka 3-chome, Honjo-cho, Fukuyama, Hiroshima 720-0076, Japan. ³Graduate School of Environmental, Life, Natural Science and Technology, Okayama University, 3-1-1 Tsushima-naka, Okayama, Okayama 700-8530, Japan.

*Corresponding author, e-mail: nakatak@cc.okayama-u.ac.jp

Abstract

At Eishin High School, Fukuyama City, Hiroshima Prefecture, an ex-situ conservation program has been conducted for a population of the endangered bitterling fish *Rhodeus atremius suigensis* from the Ashida River system. This population has been maintained in aquaria through successive generations by artificial insemination for approximately 30 years. In July 2021, 31 juveniles obtained from these generations were introduced into a conservation pond, where they were reared without supplemental feeding and natural reproduction was encouraged using artificial spawning beds with mussels. In May and June 2022, seven and 26 juveniles of *R. a. suigensis* were confirmed, respectively, after emerging from the mussels collected from the pond and subsequently reared in an aquarium. A survey in the pond in October 2022 confirmed 17 individuals born in 2022. These results indicate that the individuals released in 2021 had spawned in the mussels. This paper presents a case in which an endangered bitterling fish species, maintained in aquaria for about 30 years through successive breeding by artificial insemination, successfully reproduced by spawning in mussels under semi-natural conditions.

Key words: artificial insemination; endangered bitterling fish; lineage conservation

緒言

タナゴ類はコイ科 Cyprinidae タナゴ亜科 Acheilognathinae に属する小型の純淡水魚類の総称で、淡水性二枚貝類の鰓内に産卵するという特異的な繁殖生態を有する (Smith et al. 2004)。タナゴ類は日本に生息する淡水魚類の中でも特に減少傾向が著しく、国内で確認されている在来タナゴ類全 16 種のうち 15 種 7 亜種が環境省レッドリストに掲載されているため、保全策の検討が急務である。これを受け、各地の水族館や研究機

関などにおいて、系統保存や再導入を目的としたタナゴ類の生息域外保全が積極的に行われている (勝呂・戸田 1998; 池谷 2012; 阿部ら 2015)。一方で、タナゴ類が産卵基質として利用する淡水性二枚貝類 (以下、「産卵母貝」とする) は、人工繁殖手法が十分に確立されておらず (根岸ら 2008; 高橋 2012)、自然繁殖によるタナゴ類の安定的な再生産は困難である。そのため、タナゴ類の生息域外保全では、搾出法による人工授精後に仔魚をシャーレで養育する、シャーレ式人工繁殖

法が採用されている(北川・細谷 2012; 勝呂 2013)。しかしながら、飼育下で人工繁殖により累代飼育が行われてきた生物では、近親交配などが原因で遺伝的多様性が減少する可能性があり(Wang and Ryman 2001)、それにより人工繁殖個体が野生個体と異なる行動特性や生態的特性を示す場合があるほか(例えば、Mery and Kawecki 2002; Pasquet 2008)、野外での繁殖率の低下が生じる事例も報告されている(Araki et al. 2007)。したがって、生息域外保全によって維持されてきた個体を自然環境へ導入する際には、上記のような影響を考慮することが重要である。

スイゲンゼニタナゴ *Rhodeus atremius suigensis* は、バラタナゴ属に属する最大体長 5 cm 程度の小型タナゴ類であり、主に平野部を流れる小河川の中下流域や農業水路に生息する(河村 2014)。本種はかつて兵庫県千種川水系から広島県芦田川水系にかけて自然分布していたが、千種川水系の個体群は既に絶滅したと考えられており(兵庫県 2017)、現在の自然分布域は広島県福山市の芦田川水系と岡山県南部のみに限られる(阿部ら 2015)。本種は、圃場整備や宅地化等による生息地の破壊のほか、水質汚濁、密漁、産卵母貝となる二枚貝類の減少などの影響を受けて、各地で個体群が地域絶滅または個体数が著しく激減している(河村 2014; 阿部ら 2015)。このため本種は、環境省レッドリスト 2020 で絶滅危惧 IA 類に選定されているほか、種の保存法では国内希少野生動植物種に指定されている。したがって、本種の保全対策は急務となっており、その保全生態学的研究が進められている(中田ら 2017a, b; Otsuki et al. 2023)。

福山市の芦田川水系では、スイゲンゼニタナゴはかつて、芦田川本川を含む複数の支川や水路で生息が確認されていたが(笠原・松島 1976; 福山市 2024)、地域絶滅および個体数の激減が続き極めて危機的な状況にあり、現在確認されている生息地は 1 ヲ所の水路のみである(Otsuki et al. 2023; 福山市 2024)。したがって、芦田川水系において本種は地域絶滅の危機に瀕しており、今後、日本魚類学会の「生物多様性の保全をめざした魚類の

放流ガイドライン」に準拠したうえで、域外保全による本種の飼育増殖個体の放流による補強や再導入を検討する必要性が生じる可能性も考えられる。

このような状況を踏まえて、福山市では、地域住民・有識者・行政機関等で構成される「芦田川水系スイゲンゼニタナゴ保全地域協議会」が 2014 年に設立され、本種の保全活動が進められている。2025 年 12 月現在、4 ヲ所の施設において本種の芦田川水系個体群の域外保全が進められているが、いずれも水槽飼育で成長させた親魚を用いる人工授精による増殖である。これらの個体については、上述の目的で将来的に芦田川水系の生息地に放流する場合に、二枚貝類に対する繁殖能力が喪失している可能性が懸念されてきた。とりわけ、域外保全施設の 1 つである盈進中学高等学校(学校法人盈進学園)(以下、「盈進学園」とする)の個体については、既に自然絶滅したと思われる 2 ヲ所の系統を 1994 年から約 30 年間にわたって継代飼育してきたため、その懸念は大きかった。この間、二枚貝類を用いた自然産卵法については、当初の 2 年間は実施したものの、親魚数を超える稚魚数を得ることができなかったため断念し、その後は人工授精を継続してきたことから、繁殖能力の消失が強く懸念されていた。

そこで、芦田川水系スイゲンゼニタナゴ保全地域協議会は、現在は使用されていない保育所のプールを改修し、面積 18.06 m²、水量 7 m³の保護池を整備した。そして、盈進学園で継代飼育してきたスイゲンゼニタナゴの稚魚を保護池に導入し、無給餌による粗放的飼育と二枚貝類を用いた自然産卵による増殖を試みた。その結果、人工授精により約 30 年間にわたり継代飼育されてきたスイゲンゼニタナゴが、二枚貝類を利用した自然繁殖に成功したので、前例のない成果として報告する。

材料および方法

実験場所

本実験に用いた保護池は、現在は使用されていない、広島県福山市内の保育所の敷地にある



Fig. 1. Photograph of the conservation pond. Photo by S. Kanzaki on 5 July 2022.

園児用プール（34 m×51 m×0.47 m）を耐水加工したものであり、端には階段状の段差を有している（Fig. 1）。保護池は四方をフェンス、上部を防鳥ネットで囲い、季節に応じて寒冷紗で遮光した。保護池内には、水流発生装置（ウォータークリーナー吉野 DR TW-531、タカラ工業株式会社製）を設置し、排水桝でオーバーフローによる排水を行った。また、芦田川水系の本種生息地で見られる沈水植物であるセキショウモ *Vallisneria asiatica* と、同水系の水路で見られる抽水植物であるマコモ *Zizania latifolia* をそれぞれ植栽したプランター（小型 10 個：44 cm×20 cm×17 cm、大型 3 個：54 cm×22 cm×18 cm）を設置した（Fig. 2A）。

保護池に導入した飼育水は、フィルター（スタンダード・クラシック、マーフィード社製）を通してカルキを抜いた水道水を用いた。定期的に注水してオーバーフローさせることで換水管理を行った。本実験期間中の保護池の水温は、約 4～27 °C で推移した。

保護池へのスイゲンゼニタナゴの導入と管理

盈進学園では、盈進中学高等学校環境科学研究部の活動の一環として、芦田川水系産のスイゲンゼニタナゴ個体群を系統保存している。このファウンダー（始祖集団）は、芦田川水系の用水路で捕獲した約 70 個体と、芦田川の支流で捕獲した約 25 個体から構成されている。これらの個体の採集方法は、タモ網とセルビンであった。両集団の採集地点間の距離は 5 km 程度であることから、遺伝的には同一集団と考えられるが、用水路系と芦田川支流系は別々に飼育し、両者を交配させずに管理している。しかし、オスが精子を放出しない場合には、もう一方の系統のオスを用いて授精し、得られた個体を交雑系統として管理している。

人工授精に用いる親魚は、搾卵可能なほど十分に産卵管を伸ばしたメスと、放精可能な婚姻色を発現したオスを選定している。これらの条件を伴う雌雄がそれぞれ 1 個体しか存在しない場合は、それらの個体を用いて人工授精を行ったが、複数個体がいる場合は、1 つのペトリ皿に

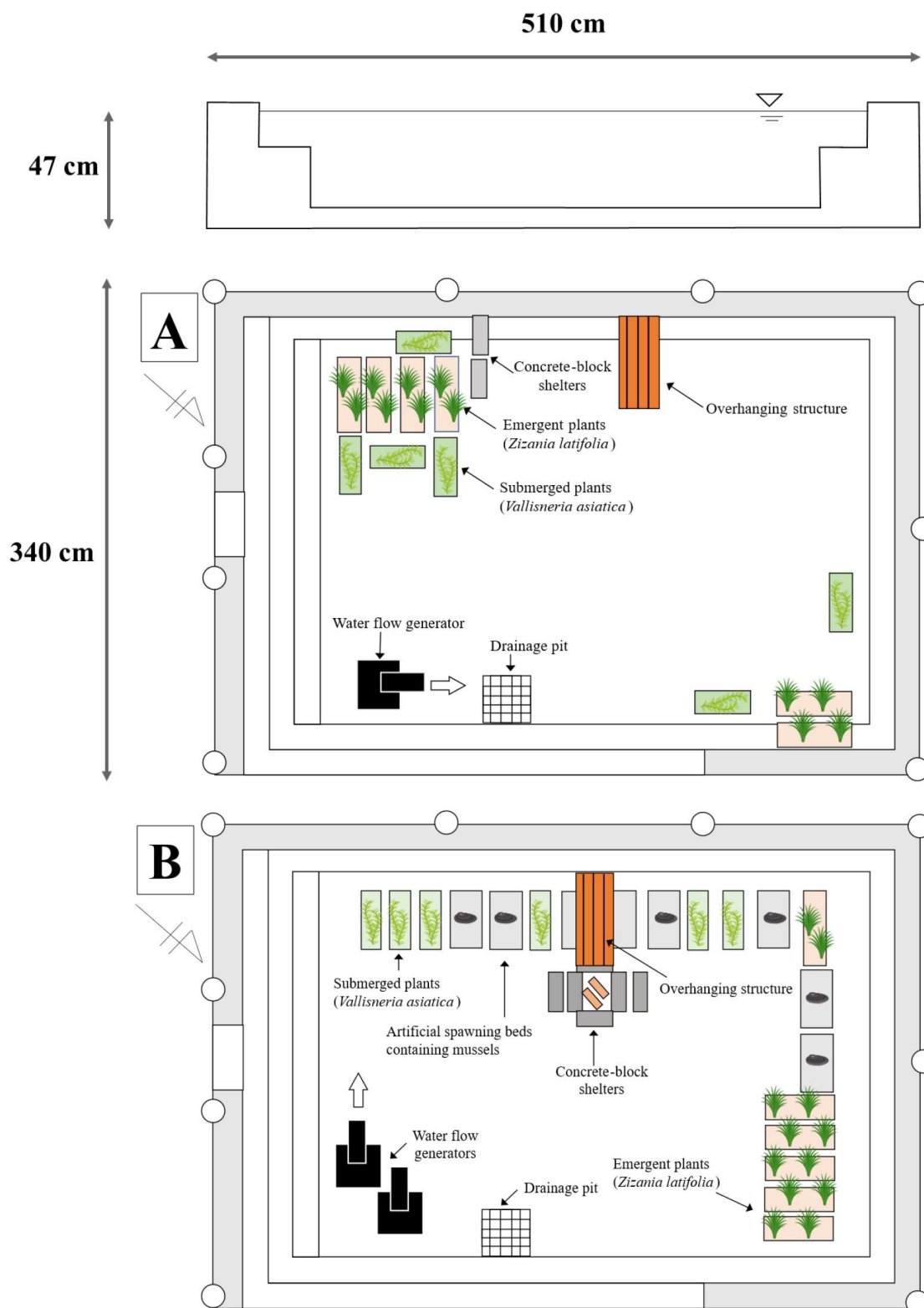


Fig. 2. Cross-sectional diagram (top) and schematic diagrams (A and B) of the environmental conditions in the conservation pond. A: prior to the change on 14 December 2021, B: after the change on 14 December 2021 (note: both conditions cooccurred during part of 14 December).

3~4個体のメスから順次搾卵し、オスについても同様に複数個体から放精させ、精子を混合し

て授精させた。浮遊仔魚には生きているアルテミア幼生を、その後50日程度経過してからは配

合飼料（テトラフィン、テトラ社製）を粉末にしたものを、それぞれ1日1回与えた。

2021年7月6日に、盈進学園で約30年間継代飼育してきた個体から同年に人工授精で得られたスイゲンゼニタナゴの稚魚31個体（体長約1 cm）を保護池に導入した。導入後は給餌を行わず、粗放的に飼育した。

2021年12月14日に、保護池内においてスイゲンゼニタナゴの個体数調査を実施した。保護池内の本種を手網により捕獲し、雌雄別の個体数を記録した。個体の観察後、保護池の水生植物やブロック等の配置を Fig. 2B に示すとおりに変更した。その際、既往研究により希少タナゴ類の繁殖利用が確認されている人工産卵床（中田ほか2017a）として、底に市販の砂を2 cm 程度敷いたトレイ（36 cm×50 cm×8 cm）を計8基設置した。人工産卵床に収容した二枚貝類は、スイゲンゼニタナゴの非繁殖期である2021年12月から2022年2月にかけて芦田川水系の水路で採集したイシガイ *Nodularia douglasiae*、マツカサガイ広域分布種 *Pronodularia cf. japonensis* 1（以下、「マツカサガイ」とする）、ササノハガイ *Lanceolaria oxyrhyncha* とした。

本研究では3つの実験期間を設け、二枚貝類を交換して実施した（Table 1）。なお、本実験は二枚貝類の種の選好性などを定量的に評価することを目的としなかったため、3つの実験期間で使用する各二枚貝種の個体数は統一しなかった。また、人工産卵床1基あたりの二枚貝類の使用個体数は、1～3期の順に1個体、2個体、

4個体程度とし、複数個体を収容する場合には複数種の二枚貝類を用いた。

その後、2022年10月26日に、同様の方法で保護池内の本種の雌雄別の個体数を記録した。捕獲された個体については、体サイズに基づき、2022年に生まれた当歳個体を識別した。

二枚貝類からの浮出仔魚の観察

2022年4月21日・6月10日・7月1日の計3回、人工産卵床内の二枚貝類を回収した。回収した二枚貝類は、芦田川水系スイゲンゼニタナゴ保全地域協議会事務局（福山市役所内）に運搬し、ガラス製水槽（60 cm×30 cm×36 cm）に全個体をまとめて収容し管理した。そして、二枚貝類からの仔魚の浮出の有無を毎日観察した。4月・6月・7月に回収した二枚貝類の各観察期間は、22日・28日・19日間とした。観察期間中の水槽の水温は、15～24 °C程度で推移した。仔魚が得られた場合は、北村・内山（2020）に従い外部形態から種を同定し、スイゲンゼニタナゴと同定された個体は保護池に放流した。観察期間の終了後、二枚貝類は保護池の人工産卵床に戻した。すなわち、上述の実験期間のうち3期においては、1期に使用した二枚貝類を再使用した。

結果および考察

2021年12月14日に実施した個体数調査の結果、体長2.5–3 cm程度にまで成長したスイゲンゼニタナゴ28個体（雄雌各14個体）が確認された（Table 2）。これらの個体と同じ時期に孵

Table 1. Introduction period of mussels into the conservation pond, observation period in the aquarium, number of individuals by species, and number of *Rhodeus atremius suigensis* juveniles observed emerging from mussels.

Mussel introduction periods in the conservation pond	Observation period for juvenile emergence from mussels in the aquarium	Mussel species (number of individuals)	Total number of <i>R. a. suigensis</i> juveniles
1 June 2021 – 21 April 2022	21 April – 13 May 2022	<i>Nodularia douglasiae</i> (1) <i>Pronodularia cf. japonensis</i> 1 (6) <i>Lanceolaria oxyrhyncha</i> (1)	0
21 April – 13 May 2022	13 May – 10 June 2022	<i>Nodularia douglasiae</i> (1) <i>Pronodularia cf. japonensis</i> 1 (15)	7
13 May – 10 June 2022	10 June – 1 July 2022	<i>Nodularia douglasiae</i> (8) <i>Pronodularia cf. japonensis</i> 1 (25) <i>Lanceolaria oxyrhyncha</i> (1)	26

Table 2. Numbers of male, female, and young-of-the-year individuals of *Rhodeus atremius suigensis* observed in the conservation pond on each survey date.

Date	No. of <i>R. a. suigensis</i>			
	Male	Female	Young-of-the-year individual	Total
6 July 2021	0	0	31	31
14 December 2021	14	14	0	28
26 October 2022	12	5	50	67



Fig. 3. Mussel-inspection behavior of male and female *Rhodeus atremius suigensis* observed in the conservation pond. Photo by S. Furumoto on 28 May 2022.

化し、室内で水槽飼育されている盈進学園の個体の体長は 2 cm 程度であったことから（古本私信）、保護池のスイゲンゼニタナゴの成長速度は、水槽飼育個体に比べて速かった。一般に魚類では、個体の密度や餌資源の利用可能性などが成長の制限要因となり（Nepal et al. 2021; Watson et al. 2022）、タナゴ類でもため池などの閉鎖的な水域では個体が矮小化することが報告されている（北村・内山 2020; 藤本・福田 2023）。また、盈進学園の水槽飼育では、投餌は 1 日 1 回のみであり、飼育個体は飽食状態と空胃状態を繰り返すことになるのに対して、保護池では常に摂餌することが可能となる。以上の理由から、保護池と水槽飼育で個体の成長速度

に差が生じたと考えられる。

保護池での観察の結果、2022 年 4 月 19 日以降に、人工産卵床内の二枚貝類の周辺で縄張り行動や貝の視察行動を示すオス個体が確認されるようになった（Fig. 3）。また、4 月 21 日に回収した二枚貝類からはスイゲンゼニタナゴの仔魚は浮出しなかったが、5 月 13 日に回収した二枚貝類からは、計 7 個体の仔魚が浮出した（Fig. 4）。さらに、6 月 10 日に回収した二枚貝類からは、計 26 個体のスイゲンゼニタナゴの浮出仔魚が確認された。以上から、本実験期間を通して、28 個体の親魚から計 33 個体の仔魚が得られたことになる。

2022 年 10 月 26 日に行った個体数調査の結

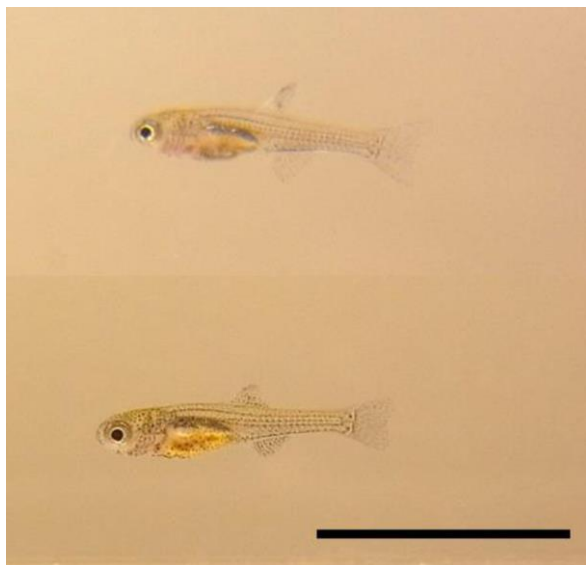


Fig. 4. Juveniles of *Rhodnius atremius suigensis* after emerging from mussels that had been collected from the conservation pond and reared in an aquarium. Black bar indicates 5 mm. Photo by S. Furumoto on 17 May 2022.

果では、計 67 個体のスイゲンゼニタナゴが確認された。体長から判断したところ、2021 年導入個体が 17 個体（オス 12 個体、メス 5 個体）、当歳個体が計 50 個体（オス 20 個体、メス 30 個体）であった。したがって、2022 年においては、飼育水槽内で浮出した 33 個体に加え、保護池の人工産卵床から浮出した個体が 17 個体存在することが判明した。すなわち、2021 年に導入した 31 個体（上述のとおり 2021 年 12 月の時点では内 28 個体が生残）のスイゲンゼニタナゴから、少なくとも 50 個体の仔魚が得られたことになる。このように、当初導入個体数の 161% に相当する個体数のスイゲンゼニタナゴが得られたことから、保護池での自然繁殖による域外保全が個体数の増加を見込めることを示唆しており、本種の生息域外保全に寄与できる可能性が示された。また、本保護池の面積や水量については、スイゲンゼニタナゴの再生産において適切であったと考えることができるだろう。

一方で、2021 年に導入した 31 個体については、2022 年 10 月までに当初の個体数の 55% にまで減少した。盈進学園の水槽飼育個体では、本種は 3~5 年程度生残することが確認されて

いる（古本 私信）。このことを踏まえると、保護池での飼育個体は水槽飼育個体よりも寿命は短いと考えられる。2021 年 12 月時点で確認された個体数（雌雄各 14 個体）に比べると、特にメスの個体数が減少していた。スイゲンゼニタナゴと同様に春産卵型の繁殖生態をもつミヤコタナゴ *Tanakia tanago* では、多くの個体が産卵後に死亡する可能性が示唆されている（北村ら 2021）。また、魚類では繁殖が免疫応答を低下させることが報告されている（Krams et al. 2017; Campbell et al. 2021）。以上を踏まえると、保護池においても産卵を終えたメスが死亡した可能性が考えられる。

本研究により、約 30 年にわたって人工授精のみで長期継代飼育されてきたスイゲンゼニタナゴであっても、適切な環境の保護池に導入して飼育することで、無給餌の粗放的環境下でも良好に成長し、二枚貝類に対する自然産卵での繁殖が可能であることが明らかになった。著者らが知る限り、スイゲンゼニタナゴでは、人工授精により約 30 年間に及び継代飼育された個体が二枚貝類に繁殖した例は過去になく、他の国内希少野生動植物種に指定されているタナゴ類でも例は限られていると思われる。スイゲンゼニタナゴを含むタナゴ類の繁殖においては、求愛・二枚貝類への誘導・放精・二枚貝類への産卵管の挿入などの行動を経る（北村・内山 2020）。また、その後の精子の受精能や、卵や孵化後の仔魚が一定期間、二枚貝類の体内に留まる形質も重要である。人工授精の場合にはこれらの形質が失われていても成立するため、本研究の成果は、約 30 年に及んで人工授精で系統保存された個体であっても、再生産に不可欠な形質が維持されたことを意味している。

先述したとおり、飼育下で人工繁殖により累代飼育が行われてきた生物では、近親交配などが原因で遺伝的多様性が減少する可能性があり（Wang and Ryman 2001）、それにより人工繁殖個体が野生個体と異なる行動特性や生態的特性を示す場合があるほか（例えば、Mery and Kawecki 2002; Pasquet 2008）、野外での繁殖率

の低下が生じる事例も報告されている (Araki et al. 2007)。盈進学園で人工授精によって系統保存されてきた個体の遺伝的多様性については、2016年に環境省中国四国地方環境事務所が評価したところ、比較的高いことが明らかになっている (河村 2017)。この理由として、河村 (2017) は、盈進学園では親魚として雌雄ともに複数個体を用いた人工授精による継代が行われていることであると考察している。スイゲンゼニタナゴのように、繁殖時に強い縄張り形成を行う種の場合、飼育環境下での自然繁殖においては、少数オスによる複数メスの寡占により次世代集団の遺伝的多様性が低下しやすい (Allendorf et al. 2013)。タナゴ亜科魚類は繁殖時に何れも縄張り形成を行うことから、複数個体を用いた人工授精による繁殖は遺伝的多様性に限らず、スイゲンゼニタナゴの遺伝的特徴の保持において極めて有効であると考えられる (河村 2017)。

芦田川水系のスイゲンゼニタナゴ個体群については、地域絶滅のリスクが高まっている状況から、今後、域外保全による飼育増殖個体の放流による補強や再導入を検討する必要性が生じる可能性がある。保護池を使った自然産卵と粗放的飼育の取り組みは、人工授精で継代飼育してきた個体を自然水域に放流した場合に、放流個体が自然産卵による再生産に貢献できるかを検証するという観点でも意義が大きいと考えられる。また、人工授精については、実施するための技術が必要であるとともに、飼育水槽での孵化仔魚および稚魚の飼育・育成に相当の労力・コストを要することが課題となる。一方で、保護池での系統保存では、本研究により、粗放的な飼育で継代飼育できることが示されたため、低労力・低コストでの系統保存が可能となることが期待できる。今後の課題としては、人工授精に比べて保護池での系統保存では、繁殖に参加する親魚の雌雄別個体数などの操作が難しいため、将来的に遺伝的多様性が劣化していく可能性も否定できないことから、遺伝的多様性の状態を長期的に評価していくこと

が重要と考えられる。

今後の研究では、二枚貝類の種と個体数を管理することで、スイゲンゼニタナゴが繁殖に利用する二枚貝類の種やサイズなどの条件を定量的に解明する必要がある。なお、本研究の試みを実施した保護池では、その後も 2025 年現在に至るまで、スイゲンゼニタナゴが次世代によって自然繁殖していることが継続的に確認されている。

謝辞

本稿で紹介した飼育繁殖実験を進めるに際して、芦田川水系スイゲンゼニタナゴ保全地域協議会の会員各位には、総会や技術検討会の場で多くのご助言を頂いた。2名の匿名査読者からは、本論文を改訂するうえで有益なコメントをいただいた。また、本研究は環境省生物多様性保全推進支援事業と一般財団法人セブンイレブン記念財団の助成を受けて実施した。ここに記して感謝の意を表す。本研究は、芦田川水系スイゲンゼニタナゴ保全地域協議会が、環境大臣認定のスイゲンゼニタナゴ保護増殖事業計画の一環として実施した。

引用文献

- 阿部 司・鬼倉徳雄・中島 淳 (2015). カゼトゲタナゴとスイゲンゼニタナゴ：種の保存法指定種・未指定種における保全の現状と課題. 魚類学雑誌 62: 65–69.
- Allendorf, F. W., Luikart, G. H., Aitken, S. N. (2012). Conservation and the genetics of populations. John Wiley & Sons. Chichester, West Sussex, UK.
- Araki, H., Cooper, B., Blouin, M. S. (2007). Genetic effects of captive breeding cause a rapid, cumulative fitness decline in the wild. Science 318: 100–103.
- Campbell, J. H., Dixon, B., Whitehouse, L. M. (2021). The intersection of stress, sex and immunity in fishes. Immunogenetics 73: 111–129.
- 藤本泰文・福田亘佑 (2023). ゼニタナゴ *Acheilognathus typus* 再導入個体群の急激な減少：愛好家等の採集圧による可能性. 魚類学雑誌 70: 111–118.
- 福山市 (2024). 芦田川水系スイゲンゼニタナゴ

- 保全地域協議会 <https://www.city.fukuyama.hiroshima.jp/site/kankyo/282665.html>. (参照 2025 年 12 月 9 日).
- 兵庫県 (2017). 兵庫県版レッドリスト 2017 (哺乳類・爬虫類・両生類・魚類・クモ類). https://www.kankyo.pref.hyogo.lg.jp/jp/environment/leg_240/leg_289/leg_6089. (参照 2025 年 12 月 9 日).
- 池谷幸樹・佐川志朗・大原健一 (2012). イタセンパラの野生復帰を見据えた生息域外保全への取り組み. 野生復帰 2: 121–128.
- 笠原正五郎・松島孝信 (1976). 広島県芦田川で採れたスイゲンゼニタナゴ *Rhodeus suigensis* について. 魚類学雑誌 23: 121–122.
- 河村功一 (2014). スイゲンゼニタナゴ. Red Data Book 2014, 汽水・淡水魚類, (編) 環境省. ぎょうせい, 東京, pp. 30–31.
- 河村功一 (2017). 平成 28 年度スイゲンゼニタナゴ・アユモドキ保護増殖事業 スイゲンゼニタナゴ飼育下繁殖個体群遺伝的多様性解析等業務報告書 (環境省中国四国地方環境事務所請負業務).
- Krams, I. A., Rumvolt, K., Saks, L., Krams, R., Elferts, D., Vrublevska, J., Rantala, M. J., Kecko, S., Cīrulis, D., Luoto, S., Krama, T. (2017). Reproduction compromises adaptive immunity in a cyprinid fish. *Ecol. Res.* 32: 559–566.
- 北川哲郎・細谷和海 (2012). バラタナゴのシャーレ式人工繁殖法における水カビ病の抑制技術. 水産増殖 60: 139–141.
- 北村淳一・内山りゅう (2020). 日本のタナゴ生態・保全・文化と図鑑. 山と溪谷社, 東京, 223 pp.
- 北村淳一・石鍋壽寛・間瀬浩子 (2021). 千葉県の農業水路におけるタナゴ亜科魚類ミヤコタナゴ *Tanakia tanago* の繁殖生態と生活史. 千葉県生物多様性センター研究報告 10: 31–44.
- Mery, F., Kawecki, T. J. (2002). Experimental evolution of learning ability in fruit flies. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 99: 14274–14279.
- 中田和義・小林蒼茉・川本逸平・宮武優太・青江 洋 (2017a). 岡山県南部の農業水路における希少タナゴ類の人工産卵床利用. 応用生態工学 20: 33–41.
- 中田和義・宮武優太・川井健太・小林蒼茉・成南・齋藤 稔・青江 洋 (2017b). 岡山県南部の農業水路におけるスイゲンゼニタナゴの選好環境. 応用生態工学 19: 117–130.
- 根岸淳二郎・萱場祐一・塚原幸治・三輪芳明 (2008). イシガイ目二枚貝の生態学的研究: 現状と今後の課題. 日本生態学会誌 58: 37–50.
- Nepal, V., Fabrizio, M. C., Brill, R. W. (2021). Effects of food limitation on growth, body condition and metabolic rates of non-native blue catfish. *Conserv. Physiol.* 9: coaa129.
- 日本魚類学会 (2005). 生物多様性の保全をめざした魚類の放流ガイドライン. 魚類学雑誌 52: 80–82. https://www.fish-isj.jp/message/guideline/2005_0326/. (参照 2025 年 12 月 9 日).
- Otsuki, K., Hamada, M., Koizumi, N., Sakamoto, T., Nakata, K. (2023). Quantitative PCR method to detect an extremely endangered bitterling fish (*Rhodeus atremius suigensis*) using environmental DNA. *Landsc. Ecol. Eng.* 19: 79–86.
- Pasquet, A. (2018). Effects of domestication on fish behaviour. *Animal Domestication IntechOpen*.
- Smith, C., Reichard, M., Jurajda, P., Przybylski, M. (2004). The reproductive ecology of the European bitterling (*Rhodeus sericeus*). *J. Zool.* 262: 107–124.
- 勝呂尚之・戸田久仁雄 (1998). 生態試験池を使用したミヤコタナゴ自然繁殖試験. 水産増殖 46: 37–46.
- 勝呂尚之 (2013). 日本産希少淡水魚の保護増殖に関する研究. 近畿大学農学部紀要 46: 133–248.
- 高橋一考 (2012). 小型水槽によるイシガイの飼育試験. 山梨県水産技術センター事業報告書 39: 55–59.
- Wang, J., Ryman, N. (2001). Genetic effects of multiple generations of supportive breeding. *Conserv. Biol.* 15: 1619–1631.
- Watson, A. S., Hickford, M. J., Schiel, D. R. (2022). Interacting effects of density and temperature on fish growth rates in freshwater protected populations. *Proc. R. Soc. B* 289: 20211982.

Received: 19 December 2025 | Accepted: 13 January 2026 | Published: 16 January 2026