広島県三津大川におけるシロウオの遡上および産卵場の環境特性

長谷川拓也,* 小路 淳

(2016 年 12 月 27 日受付, 2017 年 3 月 11 日受理, 2017 年 5 月 19 日 J-STAGE 早期公開)

広島大学大学院生物圏科学研究科付属瀬戸内圏
フィールド科学教育研究センター竹原水産実験所Upriver migration and environmental conditions around spawning grounds of the ice goby
Leucopsarion petersii in the Mitsuo River, Hiroshima Prefecture, southwestern Japan

TAKUYA HASEGAWA* AND JUN SHOJI

Takehara Fisheries Research Laboratory, Hiroshima University, Takehara, Hiroshima 725-0024, Japan

Surveys for upriver migration and conditions around spawning grounds of the ice goby *Leucopsarion petersii* were conducted in the Mitsuo River, Hiroshima Prefecture, southwestern Japan. A set net fishing for the ice goby was operated near the river mouth from late February to late April 2016. Daily catch of the ice goby was high during the spring tide period and low during the neap tide period. Abundance of egg mass was highest at the sampling site located about 350 m upriver from the river mouth, where salinity was about 0 throughout the day in the neap tide period and increased to about 25 during high tide hours in the spring tide period. In the Mitsuo River, where the maximum tidal amplitude is about 4 m, the spawning ground of ice goby was exposed to higher salinity conditions during the spring tide period compared to other rivers flowing into the Sea of Japan with lower tidal amplitude (<1 m). Exposure to both freshwater and brackish water seems to be an indispensable environmental factor for the formation of the spawning ground of the ice goby in the Mitsuo River.

キーワード：河口域, 産卵場, シロウオ, 瀬戸内海, 遡上生態, 底質, ハゼ科, 三津大川

シロウオ *Leucopsarion petersii* はスズキ目ハゼ科に属し、北海道南部から鹿児島にわたる日本各地と朝鮮半島南部に分布する魚類である。^{1,2)} 本種は生活史の大半を海域で過ごす、産卵期には河川を遡上し、下流域で産卵する遡河回遊魚である。¹⁾ 全長約 50 mm で仔稚魚期にみられる特徴を残したまま成熟する「幼形成熟」が本種の特徴の一つである。³⁻⁵⁾ 近年国内の多くの地域で資源量が減少傾向にあると考えられており、⁶⁻⁸⁾ 環境省版のレッドデータブックで絶滅危惧Ⅱ類 (VU) に、またいくつかの県では県版のレッドデータブック・レッドリストで絶滅危惧種に指定されている。⁹⁾ 海域生活期の生態的知見が乏しく、増養殖技術が未確立であるため、産卵場の保全や漁獲規制などが本種の資源管理・回復に効果的である可能性が高い。

本種には遺伝的に異なる日本海系統と太平洋系統の 2 つの地理的集団があることが近年明らかとなってい

る。¹⁰⁾ 瀬戸内海域は、太平洋系統と日本海系統が混合した個体群が生息すると報告されている。¹⁰⁾ 広島県では、シロウオの遡上は春の風物詩とされ、「踊り食い」などのような料理で地域住民に親しまれている。広島県安芸津町では本種の漁獲が集中する 3 月–5 月に河川遡上と産卵が生じていると想定される。安芸津町周辺においても漁獲量は年々減少しているが (安芸津漁協組合 私信), 河川への遡上、産卵などに関する科学的知見は存在しない。本種の産卵期およびその前後の生態に関する知見は、日本海側や飼育条件下において得られたものがほとんどである。^{1,7,11-14)}

シロウオの繁殖様式は一夫一妻配偶の一回繁殖とされており、¹⁾ 河床の岩や石の下に雌が産み付けた卵を雄が保護する。^{1,3)} 水槽実験では、産卵に最適な塩分は、0–9 であり、¹⁾ 産卵基質として粒形 1–5 mm の礫を好むことが明らかとなっている。¹⁾ 自然環境下では、塩分や粒径

を左右する河川の物理的特性（河川勾配、流量）や気象条件（降水量）により産卵場の形成域が左右される。^{1,3,14} 瀬戸内海のように潮位差が大きい海域へ流入する河川においては、小さな時空間スケールでの塩分変動が大きく、産卵場の時空間分布に影響する可能性が高いが、そのような特性を備えた河川での知見は皆無である。

そこで本研究では、広島県三津大川において、シロウオの遡上実態、産卵場の流程分布および産卵場の環境特性に関する調査を実施した。春季のシロウオの日別遡上量にもとづいて、産卵のための河川遡上時期を特定するとともに、産卵場とその周辺域の環境条件を連続的モニタリングにより明らかにし、先行研究が実施された他海域に注ぐ河川における知見との比較を行うことを目的とした。

材料と方法

調査サイト 2016年2月から5月に、広島県東広島市安芸津町三津大川下流域 (Fig. 1) で調査を実施した。三津大川は三津湾に注ぐ2級河川であり、流路延長4.95 km、流域面積25.3 km²の比較的小規模な河川である (広島県河川課, https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki_file/kouhou/oldsrv/1208909986720/files/river_map_hiroshima.pdf, 2017年2月1日)。

河川遡上実態および遡上個体の調査 シロウオ漁獲量の季節変化を明らかにするために、遡上個体を捕獲する漁業（四つ手網）による漁獲量を2016年の漁期（2月下旬から4月中旬までの約2か月間）に、毎日調査した。月齢周期との対応を検討するために、各漁獲日の漁獲量と潮位差（同一日の最低潮位と最高潮位の差：cm）

の関係を単回帰分析により検討した。

産卵場調査 2016年3月上旬から6月上旬の大潮干潮時に、月2回の頻度で卵塊の分布調査を行った。本種の産卵場の推定には、単位面積当たりの卵塊数が指標として用いられている。⁷ 三津大川河口から150–500 m上流側に50–100 m間隔で調査定点を5箇所設け (Fig. 1)、各定点において1辺1 mのコドラート4区画内に分布する卵塊を採集した。得られた卵塊を10%ホルマリン溶液で固定して実験室に持ち帰った。定点ごとに平均卵塊密度と標準偏差を算出した。調査時に各定点において流心部に近い表在水の水温と塩分を測定した。

潮汐変動に伴う塩分の変化を調べるために、5箇所の定点のうち最下流部、最上流部およびそれらの中間付近（それぞれ、St. 1, 5, 3）にデータロガー（Hobo U24, Onset社）を5月16日（潮位差173 cm）～5月21日（潮位差311 cm）の間設置し、底層の水温、塩分を1時間間隔で測定した。各定点の粒径組成を調べるため、河床の砂を採取してオープンにより60°Cで24時間乾燥させたのち、0.063–8.0 mmの8段階のふるいで分けて各粒径範囲の重量を測定した。

結 果

遡上量と潮位差の関係 2016年には2月26日～4月21日の間に漁獲が確認された (Fig. 2)。期間中の最大潮位差は366 cm（4月8日）、最低潮位差は99 cm（3月3日）であった。1日あたり漁獲量の最小値は0 kg、最大値は2.70 kg（4月5日）であった。単回帰分析の結果、一日の潮位差が大きい大潮時にシロウオ漁獲量が多く、逆に小潮時に少ない傾向が認められた ($p < 0.001$, Fig. 3)。

産卵場周辺の水温・塩分 調査時に測定した水温は季節の進行とともに上昇した。最低水温は3月11日のSts. 2–5における11.8°C、最高水温は6月3日のSt. 1における24.1°Cであった (Fig. 4)。同一調査日におけ

Fig. 1 Map showing downriver area of the Mitsuo River, Hiroshima Prefecture, southwestern Japan, where physical and biological surveys were conducted from February to May 2016. Eggs of ice goby were collected at five sampling stations (Sts. 1–5). Star shows the location where adult ice goby were collected during their spawning migration.

Fig. 2 Daily changes in ice goby catch (bar) and tidal amplitude (dot) in the Mitsuo River during the fishing season in 2016.

Fig. 3 Plots of daily ice goby catch with tidal amplitude during the fishing season in 2016. There was a significant positive correlation between the daily catch and tidal amplitude ($p < 0.001$).

Fig. 4 Water temperature (top), salinity (middle) and egg-mass density (bottom) at each sampling station from 11 March to 3 June 2016. Vertical bar shows standard deviation.

る定点間での最大水温差は 2.0°C (5月20日) であった。

調査時に測定した塩分は Sts. 2-5 では調査期間を通じてほとんどの場合 0 であり、6月3日に St. 2において 0.5 となったのが最高値であった (Fig. 4)。いっぽう St. 1 においては調査日間での差が大きく、0 (4月8日) から 14.2 (5月20日) の間で変動した。塩分が 0 もしくは 0 に近かった 3月11日、4月8日および 23日の前日には降雨があった。

シロウオ卵の分布 シロウオの卵塊は St. 3 において最も多く採集され、調査期間に採集された全卵塊 (150個) のうち 92.7% を占めた。定点あたりの卵塊密度は St. 5 (6月3日に最高密度) を除くすべての定点において 5月20日に最高となった (Fig. 4)。

水温・塩分の連続観測結果 データロガーによる連続観測の結果は、先述の調査時に測定した水温・塩分のみから推定されたものとは異なる時空間変動パターンを示した。連続観測された水温は、期間を通じて上昇するとともに、潮汐周期に対応して上げ潮時に上昇した (Fig. 5)。Sts. 1, 3, 5 の 3 箇所の間で同一観測日内の最高・最

Fig. 5 Water temperature (solid line) and salinity (broken line) monitored at 1-hour intervals by data logger at Sts. 1, 3 and 5 in the Mitsuo River from 16 May (neap tide) to 21 May 2016 (spring tide).

低水温の差は小さく 1.0°C 以下であった。最低水温は 14.2°C (5月17日の St. 3), 最高水温は 22.3°C (5月20日の St. 1) であった。

これに対し、連続観測された塩分の時空間変動は大きかった。St. 1 では潮汐周期に対応して満潮時に約 25, 干潮時に 0 となる変動を繰り返したが, St. 5 では期間中を通じてほぼ 0 で推移した (Fig. 5)。St. 3 では観測期間前半の小潮時にはほぼ 0 で推移し, 期間後半 (中潮と大潮時) には St. 1 と同様に満潮時に約 25, 干潮時に 0 となった。干潮時に実施した調査の際に塩分がほとんど検出されなかった場所においても, 月齢や潮位によっては汽水にさらされることが, 今回の連続観測により明らかとなった。

底質の粒径分布 各定点ともシルト (粒径 0.063 mm 以下) および泥分 (0.004 mm 以下) の割合が 0.7% 以下であった (Fig. 6)。粒径 2 mm 以上の礫量の割合は St. 1, 3, 5 でそれぞれ $52.2, 51.6, 11.4\%$ であった。

考 察

2016 年の当河川におけるシロウオの漁期は, 2月26日から4月21日の約 2 ヶ月であった。福岡県室見川における本種の遡上期は, 2月初旬一下旬から4月上旬～下旬であり,¹⁾ 長崎県佐々川においては, 2月上旬から3月下旬と報告されている。¹⁴⁾ 各地での遡上開始期の水温は, 福岡県室見川で 6.8°C ,¹⁾ 長崎県佐々川で 7.0°C (竹垣 毅氏 私信) であり, 当海域でも隣接する河口域の2月下旬の水温から約 7.0°C と推定される。¹⁵⁾ 海域生活期における分布域や経験水温に関して利用可能な情報は存在しないが, 瀬戸内海の奥部に位置する当海域においても, 日本海や東シナ海へ注ぐ上記 2 河川を遡上する個体群と同様に, 遡上開始時期には水温が影響している可能性が高い。遡上期間についても地域間で大きく異な

らず, 各地でおよそ 2 ヶ月間であった。¹⁾ また, 当河川におけるシロウオ遡上期の漁獲量は, 潮位差の大きい大潮時に漁獲量が多く, 小潮時に少ないという傾向が認められた (Figs. 2, 3)。福岡県室見川においても潮位差と漁獲量の対応関係が報告されており,¹⁾ 本種は潮汐を利用して河川遡上を行うことが潮汐作用の大きい瀬戸内海域においても裏付けられた。

当河川において採集されたシロウオ卵塊のほとんど (全体の 92.7%) が St. 3 において採集され, これ以外の定点での採集卵塊数は非常に少なかった (Fig. 4)。この結果は, 広島県三津大川におけるシロウオの主産卵場が St. 3 (河口から 350 m 上流) 付近に集中して形成されていたことを示す。福岡県室見川 (本調査と同じ期間中の 1 日の最大潮位差 208 cm , 最低潮位差 35 cm), 山口県松本川 (同最大潮位差 76 cm , 最低潮位差 24 cm) および宮城県名取川 (同最大潮位差 146 cm , 最低潮位差 59 cm) では, 本種の産卵場はそれぞれ河口から 1.3 km ,¹⁾ 約 2 km ,⁷⁾ および約 7 km 上流側で形成されていたと報告されており,¹⁶⁾ 流程に沿った産卵場の長さは, 知見のない名取川を除き, それぞれ約 0.9 km ,¹⁾ 約 2 km にわたると推定される。⁷⁾ これに対し, 当河川における産卵場の形成域は, 主産卵場と考えられた St. 3 付近を含め最長 100 m 程度の流程範囲内と推定される。三津大川では, 河川勾配が急なため, これまでシロウオの産卵場形成要因として重要と考えられてきた好適な底質環境が, 河口域に近い下流域に局所的に形成されるという特性があるものと考えられる。

さらに, 当河川における産卵場の流程距離が他河川に比べて短いことの要因として, 塩分環境が小規模な時間スケールで比較的大きく変動することが挙げられる。St. 5 付近では常に塩分が約 0 で推移し, St. 3 では大潮時に塩分濃度が上昇したこと (Fig. 5) から, St. 3 と St. 5 の間に塩水遡上の最上流部が位置すると考えられる。主産卵場が形成されていた St. 3 は, 塩水遡上の最上流部のやや下流側であり, 産卵がほとんど確認されなかった St. 4, 5 は, 塩水遡上の最上流部のやや上流側に位置すると考えられる (Fig. 5)。本種には河川の流れに逆らって継続的に遡上できるほどの遊泳能力は備わっておらず,¹⁷⁾ 本種の産卵にともなう河川遡上にとって, 潮汐による輸送が重要な要因であることが, 瀬戸内海のような潮汐作用の強い海域で確認された。

塩分の連続観測を行った結果, 主産卵場と推定された St. 3 付近では, 中潮と大潮時のみ海水にさらされる環境であることが示唆された (Fig. 5)。一般に, 汽水域の塩分は, 底層が表層に比べて高いことが多いが, 伏流水が存在する河川では, 川底の塩分が表流水に比べて低い可能性も想定される。そのような環境下においては, 営巣中のシロウオ成魚や産み付けられた卵が, 表流水に

Fig. 6 Particle size composition of bottom sediment at each sampling station in the Mitsuo River.

比べて低い塩分環境を経験している可能性も想定され、言い換えれば、本河川における主産卵場 (St. 3) 周辺では、大潮と中潮の満潮時には表流水が比較的高塩分 (約 25) にさらされる環境であったものの、干潮時の塩分は常にはほぼ淡水であったことから、繁殖期間のほとんどの時間は淡水—低塩分汽水の環境で本種が過ごしている可能性も考えられる。St. 3 よりも下流川の定点 (St. 1 および 2) では、比較的高い塩分濃度にさらされる期間が長いため、高塩分が産卵場形成の阻害要因になったと推察される。過去にシロウオの産卵場環境に関する調査がなされた福岡県室見川では、¹⁾ 河川流量と潮位の違いが産卵場の流れ分布や塩分環境に影響することが示唆されている。干潮時と満潮時のみに限定的な情報ではあるが、河川流量が多い年には、産卵場は潮位にかかわらず淡水域に形成されるのに対し、河川流量が少ない年には、満潮時に産卵場が塩水にさらされる可能性が報告されている。¹⁾ 水槽実験では、塩分 20.3 以上の高塩分よりも、淡水や塩分 9 程度の低塩分条件下で雄による営巣が盛んであり、塩分 24.3 以上では卵が孵化しないことが明らかにされている。¹⁾ したがって、他河川においても、塩分の連続観察を行えば、大潮満潮時に塩水にさらされる環境に産卵場が形成される可能性があるため、本種の産卵場の環境特性を把握するためには、より小さな時空間スケールでとりわけ塩分に着目したモニタリングを行うことが重要と考えられる。

シロウオの産卵基質を調べた過去の室内飼育実験によれば、特定の粒径が選択的に利用されることが示されている。^{1,11)} また、野外で実施された底質選択実験において、泥分よりも礫分の多い底質に対する嗜好性が認められている。¹⁴⁾ 一方、各河川における底質を分析した結果によると、本種の主要産卵場の粒径組成は河川間で異なる。山口県松本川の主産卵場では粒径 2 mm 以上の礫が約 90% を占めたのに対し、¹⁸⁾ 福岡県室見川および静岡県波多打川では約 70% であり、^{1,9)} 当河川では 51.6% であった (Fig. 6)。さらに当河川の Sts. 2, 4, 5 では、礫がそれぞれ 23.3, 26.8, 11.4% と他河川の主産卵場や本河川の St. 3 (主産卵場) よりも少なかった (Fig. 6)。いっぽう、シルト・泥分の割合に関して報告のある福岡県室見川では、これらの割合が 5–7% であり、¹⁾ 当河川において 0.7% であった。以上のように、シロウオは産卵場の底質に対して、河川にかかわらず、ある程度の嗜好性をもつことが本調査においても裏付けられた。しかしながら、産卵場の形成要因には、他の汽水性のハゼ類同様、底質だけでなく、塩分等を含めた複合的な環境条件で規定されている可能性が高い。^{19,20)} 底質は、河川流量と河床勾配が主な形成要因になっており、塩分変動は、潮汐と河川流量が主な形成要因になっていると考えられているため、²¹⁾ 河川流量、河川勾配、潮汐等、より

大きな空間スケールの環境変動が、河川ごとの産卵場形成の重要な背景となる可能性が高い。

以上の結果より、本種の産卵場形成の要因として、先行研究ではおもに底質の重要性が注目され、塩分環境については淡水—汽水域の形成が重要であると認識されてきたものの、塩分の変動を詳細に調べた事例は存在しなかった。本研究により、低塩分環境のなかでも淡水および汽水にさらされる限られた条件が産卵場形成要因となる可能性が示された。今後、本種の資源や産卵場の保全を効率的に推進するうえで、底質に加えて塩分環境の時空間変動を詳しくモニタリングすることが重要であると考えられる。

謝 辞

野外調査および漁獲データの収集に際し、安芸津漁業協同組合の山田明光氏、柴孝利組合長および同組合の皆さまに多大なるご協力をいただいた。長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科の竹垣毅博士より、本種の生態調査法をご教示いただいた。本研究メンバーには野外調査にご協力いただいた。各位に謝意を表する。

文 献

- 1) 松井誠一. シロウオの生態と増殖に関する研究. 九大農学芸誌 1986; **40**: 135–174.
- 2) 中坊徹次. シロウオ. 「日本産魚類検索」(中坊徹次編) 東海大学出版会, 東京. 2013; 1382.
- 3) 道津喜衛, 内田隆信. ハゼ類の生活史—シロウオを中心に. 海洋と生物 1979; **3**: 9–16.
- 4) Harada Y, Kinoshita I, Kaneko T, Moriyama S, Tanaka M, Tagawa M. Response of a neotenic goby, ice goby (*Leucopsarion petersii*), to thyroid hormone and thiourea treatments. *Zool. Sci.* 2003; **20**: 877–882.
- 5) Harada Y, Harada S, Kinoshita I, Tanaka M, Tagawa M. Thyroid gland development in a neotenic goby (ice goby, *Leucopsarion petersii*) and a common goby (ukiogori, *Gymnogobius urotaeneus*) during early life stages. *Zool. Sci.* 2003; **20**: 883–888.
- 6) 尾串好隆. 増養殖試験研究重要浅海生物増殖研究事業(3) 松本川シロウオ産卵調査 2) シロウオ漁協の現状と対策について (昭和 44 年から平成 18 年までの調査結果のとりまとめ). 山口県水産研究センター事業報告 2007; 2006: 60–68.
- 7) 安成 淳. シロウオの産卵調査について. 水産研究センターだより 2008; **1**: 17–19.
- 8) 福岡市水産業振興審議会. 第 9 次福岡市水産業総合計画 (素案), 福岡. 2011.
- 9) 秋山信彦. シロウオ. 「レッドデータブック 2014—日本の絶滅の恐れのある野生生物—4 汽水・淡水魚類」(環境省自然環境局野生生物課希少種保全推進室編) ぎょうせい, 東京. 2015; 316–317.
- 10) Kokita T, Nohara K. Phylogeography and historical demography of the anadromous fish *Leucopsarion petersii* in relation to geological history and oceanography around the Japanese Archipelago. *Mol. Ecol.* 2011; **20**: 143–164.
- 11) 秋山信彦, 北野 忠, 引地邦夫, 小笠原義光. シロウオの営巣と砂粒形・流速の関係. 水産増殖 1995; **43**: 289–

- 296.
- 12) 秋山信彦, 小笠原義光. 飼育状態下でのシロウオの繁殖行動. 水産増殖 1994; **42**: 577-584.
- 13) Takegaki T, Matsumoto Y, Kawase S, Ide Y, Sato N. The possibility of simultaneous polygamous mating in ice goby *Leucopsarion petersii* males. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2013; doi:10.2331/suisan.79.793 (in Japanese with English abstract).
- 14) Takegaki T, Nagase S, Ide Y, Sasaki M, Amagai T, Kanatani Y, Terada R. The effects of developing an artificial spawning ground for ice goby *Leucopsarion petersii*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2015; doi:10.2331/suisan.81.722 (in Japanese with English abstract).
- 15) Hata M, Sugimoto R, Hori M, Tomiyama T, Shoji J. Occurrence, distribution and prey items of juvenile marbled sole *Pseudopleuronectes yokohamae* around a submarine groundwater seepage on a tidal flat in southwestern Japan. *J. Sea Res.* 2016; **111**: 47-53.
- 16) Takeshi T, Honda H, Okata A, Omori M. Larval drift patterns of diadromous gobioids in the lower course of the Natori River, Northern Japan. *Tohoku J. Agr. Res.* 1999; **50**: 11-21.
- 17) 泉 完, 大田敏貴, 東 信行. 河川水を用いた遊泳実験によるシロウオの遊泳能力と尾部の動き. 農業農村工学会論文集 2013; **283**: 41-50.
- 18) 中村達夫, 西村忠恭, 羽倉伯士. シロウオ生態調査. 昭和 44 年度山口県外海水試事報 1969; 85-95.
- 19) Inui R, Onikura N, Kawagishi M, Nakatani M, Tomiyama Y, Oikawa S. Selection of spawning habitat by several gobiid fishes in the subtidal zone of a small temperate estuary. *Fish. Sci.* 2010; **76**: 83-91.
- 20) 乾 隆帝, 赤松良久, 新谷哲也, 小山彰彦. 希少種イトミミズハゼの生息環境と生息場の河床変動および塩分変動特性. 土木学会論文集 B1 (水工学) 2015; **71**: 949-954.
- 21) 楠田哲也, 山本晃一. 河川汽水域—その環境特性と生態系の保全・再生. (河川環境管理財団編) 技報堂出版, 東京. 2008; 31-60.