

江の川での養成アユ親魚の放流効果を推定するための屋外水槽実験

寺門弘悦¹・二本木俊二²・沖野 晃¹

Outdoor tank experiment to estimate the propagation effect
by releasing reared adult ayu *Plecoglossus altivelis altivelis* in the Gonokawa River

Hiroyoshi TERAKADO, Syunji NIHONGI and Akira OKINO

キーワード: アユ, 江の川, 親魚放流, DeLury 法

江川漁業協同組合（以下、江川漁協）では、低迷する江の川のアユ *Plecoglossus altivelis altivelis* の漁獲量を回復させるため、アユの漁獲規制強化による親魚保護（2011年以降）や産卵場の環境改善（2008年以降）などにより天然アユ資源を増やす取り組みを行っている。この取り組みの一環として、産卵期のアユ親魚量の底上げを目的として、養成したアユ親魚を産卵期に河川に放流する取り組み（以下、親魚放流）を2022年以降に行うことになった。

アユの親魚放流はいくつかの河川で既に行われている。例えば、広島県の太田川では、2020年は10月下旬に約4千尾、2021年は10月中旬と11月上旬に合わせて約5千尾のアユ親魚が放流されている（<https://blog.goo.ne.jp/gyororin/d/20201022>, <https://blog.goo.ne.jp/gyororin/d/20211102>, 太田川漁業協同組合, 2022年1月19日）。また、滋賀県の琵琶湖では、アユの産卵場となる人工河川が整備され、2022年は8月下旬～9月上旬に安曇川人工河川に養成親魚約8トン、9月上旬に姉川人工河川に天然親魚約4.1トンが放流されている。また、両人工河川ではふ化したアユの仔魚数が調べられており、放流したアユ親魚から産出される仔魚数の把握が可能である。一方、自然河川へ親魚を放流した場合、元々河川に生息していたアユと放流したものとで別々に仔魚の産出量を把握することは困難である。親魚放流を効果的に行うには、その増殖効果を客観的に把握しておく必要があるが、江の川ではこれまでアユの親魚放流に関する知見がない。

本研究では、屋外水槽実験によりアユ親魚から産出されるふ化仔魚数を試算し、実際に江の川にアユ親魚を放流した場合の増殖効果を検討した。

方法

親魚の収容 2021年10月10日、江川漁協の敷地内（島根県邑智郡川本町因原、北緯34度57分53秒・東経132度28分21秒）にある水槽（図1）（以下、実験水槽）に親魚としてアユ100尾〔雄49尾、雌51尾、標準体長： 157 ± 6.9 mm, $n=99$ （1尾は測定不能）〕を収容した。光周期や天候などの条件を自然河川と同じにするため屋外の実験水槽とした。実験水槽（縦6,020 mm×横3,030 mm）はコンクリート製で、手前から奥に向けて緩やかに深くなり、奥側（図1の点線部）で階段状に80 mm深くなる構造である。

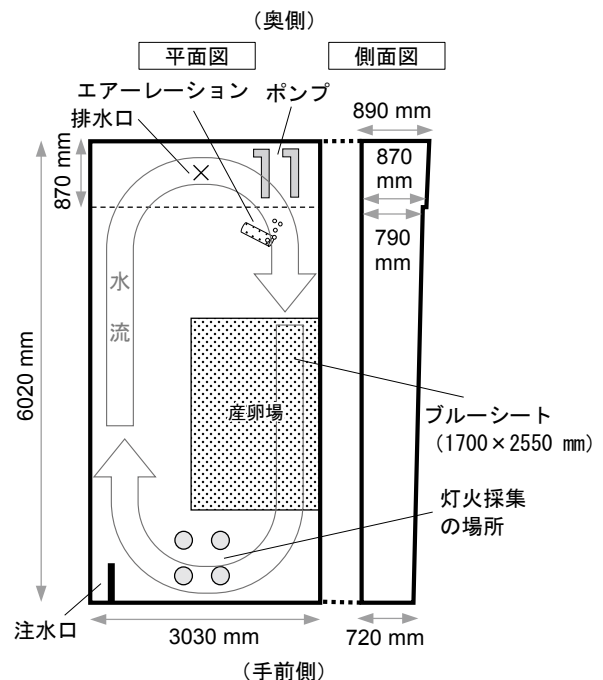


図1. 実験水槽の模式図

¹ 漁業生産部 Fisheries Productivity Division

² 江川漁業協同組合 Gogawa Fisheries Cooperative, Kawamoto-machi, Ochi-gun, Shimane 696-0003, Japan

地下水を汲み上げて注水し、飼育時の注水量は 0.92 L/s で、水深は手前側で 36 cm 程度であった。注水口の対角側に水中ポンプを設置し放水することで、時計回りの水流を発生させた。水槽の右側に敷いたブルーシート (1,700 mm×2,550 mm) 上に河床材料として高さが 10 cm 以上となるよう礫を敷き詰め、アユの人工産卵場 (面積 4.3m²) を作製した。人工産卵場でのアユの密度は最大 23 尾/m² である。使用した礫の長径は、中央値が 19.7 mm、範囲は 1.7 mm~70.1 mm であり、粒径 5 mm~50 mm の礫が全体の 93% を占め、アユ産卵場の河床材料として適した粒径²⁾であった。

収容 4 日後 (10 月 14 日)、産卵床に産着卵が初めて認められた。10 月 15 日、礫表面に付着した卵の一部にミズカビと推測される白い綿状のもの (以下、ミズカビ) の発生が確認されたが、礫間に入り込んだ卵には発生していないことを確認した。10 月 25 日にランダムに選定した産卵床の卵 (300 粒) を調べたところ、死卵の割合は 43.3% であった。その後数日間でミズカビの発生は終息した。

収容後は適宜、水槽内の水温を記録し、死魚を取り上げた。収容 60 日後 (12 月 9 日) に水槽内のアユを全て取り上げ、実験を終えた。実験期間中および終了時に取り上げたアユは速やかに凍結・冷凍保管し、2022 年 1 月 20 日に解凍し、標準体長 (1 mm 単位)、体重 (0.1 g 単位)、生殖腺重量 (0.1 g 単位) を測定した。生殖腺指数 (GSI) は生殖腺重量/体重×100 から求めた。

水槽内の仔魚数の推定 2021 年 10 月 22 日から 12 月 8 日の間、原則週 1 回の頻度で全 8 回、水槽内の仔魚数を調べるためのサンプリング調査を行った (表 1)。各調査回でのふ化した水槽内の仔魚数を推定し、調査期間中にふ化した全仔魚数は、各調査回間の変化が直線的と仮定し、次の計算式により推定した。

$$N_{total} = \sum_{i=1}^7 [(N_{0i} + N_{0i+1})(d_{i+1} - d_i)/2] + (N_{01} + N_{08})/2$$

ただし、 N_{total} は調査期間中の全仔魚尾数、 N_{0i} は調査 i 回目の水槽内の仔魚尾数、 d_i は調査 i 回目の日付である。調査を行わない日はふ化した仔魚が流失されるよう排水口を開放した (実験水槽内の水は約 2 時間で入れ替わる)。調査当日はその日にふ化する仔魚が流失しないよう 15 時から注水と排水を

表 1. サンプリング調査の実施状況

調査回次	調査日	水温 (°C)	採集回数	日没時刻*1
1	10月22日	16.4	—	17:28
2	10月26日	16.8	—	17:23
3	11月2日	17.2	10	17:16
4	11月9日	14.7	11	17:10
5	11月16日	16.5	10	17:06
6	11月24日	15.1	10	17:02
7	12月1日	14.0	11	17:00
8	12月8日	15.6	10	17:00

*1: 実験地と経度が近い広島の日没時刻 (国立天文台)

停止した。採集の時間帯は、江の川でのアユ仔魚のふ化ピーク時刻である 18 時以降とした。採集中はエアレーションを停止した。

水槽内の仔魚数は DeLury 法により推定した。すなわち、3~4 個の水中灯 (YF-500, Hapysyn 製および BF-8951, National 製) を用いてアユ仔魚を 5 分間集魚し、あらかじめ水中灯の下側に位置するように水槽の底に敷設していた四つ手網 (網地はカーテンのレース生地で大きさ 1.7 m×1.95 m、網目は 1 mm 未満でアユ仔魚は抜けない) ですくい上げ、2 名で四つ手網内の仔魚をたも網 (目合い 0.3 mm) で全て採集した。採集後、再び同様の灯火採集を開始する一連の採集を 1 回の調査につき 10~11 回繰り返した (表 1)。ただし、4 回目 (11 月 9 日) と 5 回目 (11 月 16 日) の調査のみ、初回の灯火時間を 30 分以上とした。採集した仔魚は 5% ホルマリンで直ちに固定し、水産技術センターに持ち帰って後日計数した。

各調査回における累積採集尾数と 1 回あたりの採集尾数の関係に以下の DeLury の第一モデル³⁾を用いて、R version 4.2.3 (R Core Team, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, <https://www.R-project.org/>) の lm 関数によりパラメータを推定した。

$$\frac{C_t}{X_t} = qN_0 - qK_t$$

ただし、 C_t は採集 t 回次のアユ仔魚の採集尾数、 X_t は採集 t 回次の努力量、 q は漁具能率、 N_0 は初期資源尾数、 K_t は採集 $t-1$ 回次までのアユ仔魚の累積採集尾数である。推定するパラメータは q および N_0 であり、ここでは N_0 が求める初期資源尾数となる。推定に際しては、横軸を累積採集尾数 (K_t)、縦軸を C_t/X_t (CPUE) として直線回帰を行い、得られた回

帰直線から q , N_0 を求めることができる。なお本研究においては、調査 i 回目ごとの $X_{i,t}$ はすべて 1 となるため、縦軸を $C_{i,t}$ として直線回帰を行った。

ただし、実際は 1 回目 (10 月 22 日) の調査では、水槽内の仔魚は全く視認できなかったこと、また、2 回目 (10 月 26 日) の調査では、水中灯を灯火し蝟集されたアユ仔魚を可能な限り採集する方法で水槽内の仔魚を計数したため、DeLury 法による推定は 3 回目以降の調査に適用した。これは 2 回目の調査が終了した時点で、灯火採集で採集可能な範囲を超えるアユ仔魚がふ化する場合も予想され、一部をサンプリングすることで全体の尾数を推定可能な手法に変更したためである。

結果

実験水槽内の水温 アユを収容した 10 月 10 日の実験水槽内の水温は 20.0°C であった。10 月 12 日には 20°C を下回り、その後も水温は降下傾向にあり、11 月は 15~17°C 台に、12 月は 14~15°C 台まで降下した (図 2)。

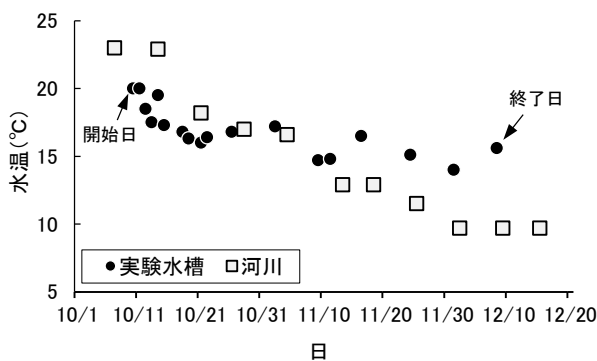


図 2. 実験水槽内および河川の水温 (河川水温は流下仔魚調査時に測定した値)

収容後のアユの生残状況 11 月 15 日以降、雄アユの斃死が目立ち始め、実験終了日の 12 月 9 日までに 10 個体が残った。一方、雌アユは雄個体と比較すると斃死は少なく、実験終了日まで 36 個体が残った (図 3)。実験期間中に斃死した個体の GSI の中央値 (最小値~最大値) は、雄アユ [n=31 (8 尾は測定不能)] は 2.1 (0.2~21.8)、雌アユ [n=14 (1 尾は測定不能)] は 3.5 (1.7~15.0) であった (図 4)。雌雄とも GSI が高い状態で斃死する個体がみられた。一方、実験終了時まで生存した個体の GSI の中央値は、雄アユ (n=10) は 2.7 (1.2~4.9)、雌アユ (n=36) は 4.0 (1.0~17.1) であった (図 4)。

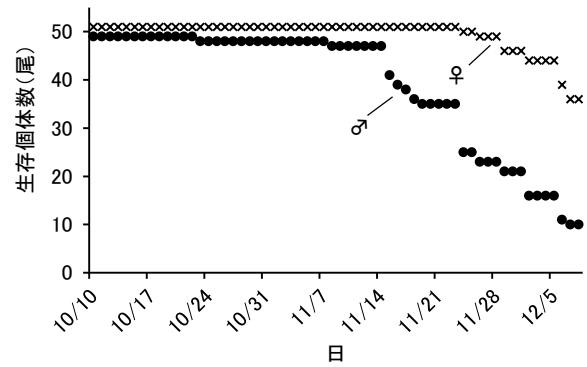


図 3. 実験期間中のアユ親魚の生存状況 (●: オス, ×: メス)

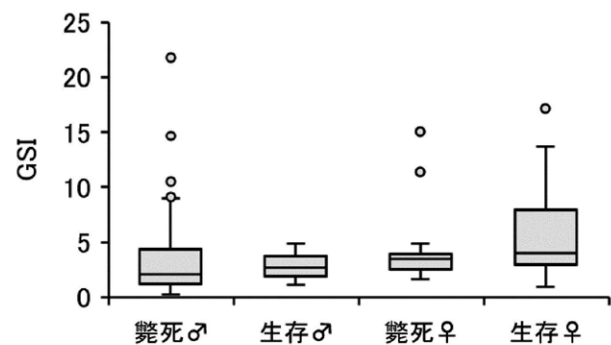


図 4. 実験期間中に斃死したアユと実験終了時まで生存したアユの雌雄別の GSI

各調査回の仔魚数の推定 1 回目 (10 月 22 日) の調査では、水槽内の仔魚は全く視認できなかった。2 回目 (10 月 26 日) の調査では、18 時 40 分から 20 時 10 分までの間 2~3 名で、光に蝟集される仔魚がほぼ視認できなくなるまで採集を繰り返し、17,816 尾のアユ仔魚を採集した。

3 回目 (11 月 2 日) 以降の調査では、DeLury 法で水槽内の仔魚を推定するためのサンプリングを行った。各調査回における採集回次ごとの灯火時間と採集尾数を表 2 に示す。採集 $t-1$ 回次までのアユ仔魚の累積採集尾数に対して採集 t 回次の採集尾数をプロットした (図 5)。これらのプロットから DeLury 法を用いて、各調査回の q および N_0 を求めたところ、4 回目と 7 回目では q が負の値となり N_0 は算出不能となった (パターン A, 表 3)。後述するように、この原因は環境条件の影響を受けて灯火採集の漁獲圧力が一定強度に達していないためと考えられ、5 回目、6 回目および 8 回目は採集 2 回次以降、3 回目、4 回目および 7 回目は採集 3 回次以降のこの影響を除去したデータを DeLury 法に適用することとした (パターン B)。その結果、 q は 0.011~0.124、 N_0 は

表 2. 調査 3 回目以降の灯火採集の実施状況

調査回次(調査日)	3回目(11月2日)		4回目(11月9日)		5回目(11月16日)	
採集回次	灯火時間	採集尾数	灯火時間	採集尾数	灯火時間	採集尾数
1	18:02 ~ 18:07	178	17:30 ~ 18:08	103	17:15 ~ 18:12	2,484
2	18:19 ~ 18:24	848	18:14 ~ 18:19	636	18:22 ~ 18:27	2,677
3	18:32 ~ 18:37	1,045	18:24 ~ 18:29	541	18:35 ~ 18:40	2,980
4	18:43 ~ 18:48	963	18:34 ~ 18:39	836	18:46 ~ 18:51	2,425
5	18:59 ~ 19:04	999	18:44 ~ 18:49	744	18:57 ~ 19:02	2,145
6	19:11 ~ 19:16	682	18:54 ~ 18:59	738	19:08 ~ 19:13	2,196
7	19:21 ~ 19:26	729	19:03 ~ 19:08	816	19:18 ~ 19:23	1,980
8	19:31 ~ 19:36	759	19:12 ~ 19:17	827	19:30 ~ 19:35	2,006
9	19:44 ~ 19:49	525	19:21 ~ 19:26	655	19:44 ~ 19:49	1,574
10	19:55 ~ 20:00	498	19:30 ~ 19:35	671	19:57 ~ 20:02	1,123
11	-	-	19:42 ~ 19:47	574	-	-

調査回次(調査日)	6回目(11月24日)		7回目(12月1日)		8回目(12月9日)	
採集回次	灯火時間	採集尾数	灯火時間	採集尾数	灯火時間	採集尾数
1	18:07 ~ 18:12	183	17:55 ~ 18:00	798	18:05 ~ 18:10	1,515
2	18:17 ~ 18:22	166	18:06 ~ 18:11	596	18:17 ~ 18:22	1,365
3	18:27 ~ 18:32	225	18:17 ~ 18:22	1,320	18:28 ~ 18:33	1,141
4	18:37 ~ 18:42	223	18:32 ~ 18:37	1,413	18:37 ~ 18:42	959
5	18:47 ~ 18:52	183	18:48 ~ 18:53	2,168	18:46 ~ 18:51	968
6	18:57 ~ 19:02	216	19:03 ~ 19:08	1,951	18:56 ~ 19:01	716
7	19:07 ~ 19:12	217	19:19 ~ 19:24	1,965	19:05 ~ 19:10	669
8	19:17 ~ 19:22	176	19:31 ~ 19:36	1,830	19:14 ~ 19:19	588
9	19:26 ~ 19:31	173	19:43 ~ 19:48	1,214	19:23 ~ 19:28	539
10	19:36 ~ 19:41	187	19:55 ~ 20:00	1,406	19:33 ~ 19:38	506
11	-	-	20:07 ~ 20:12	745	-	-

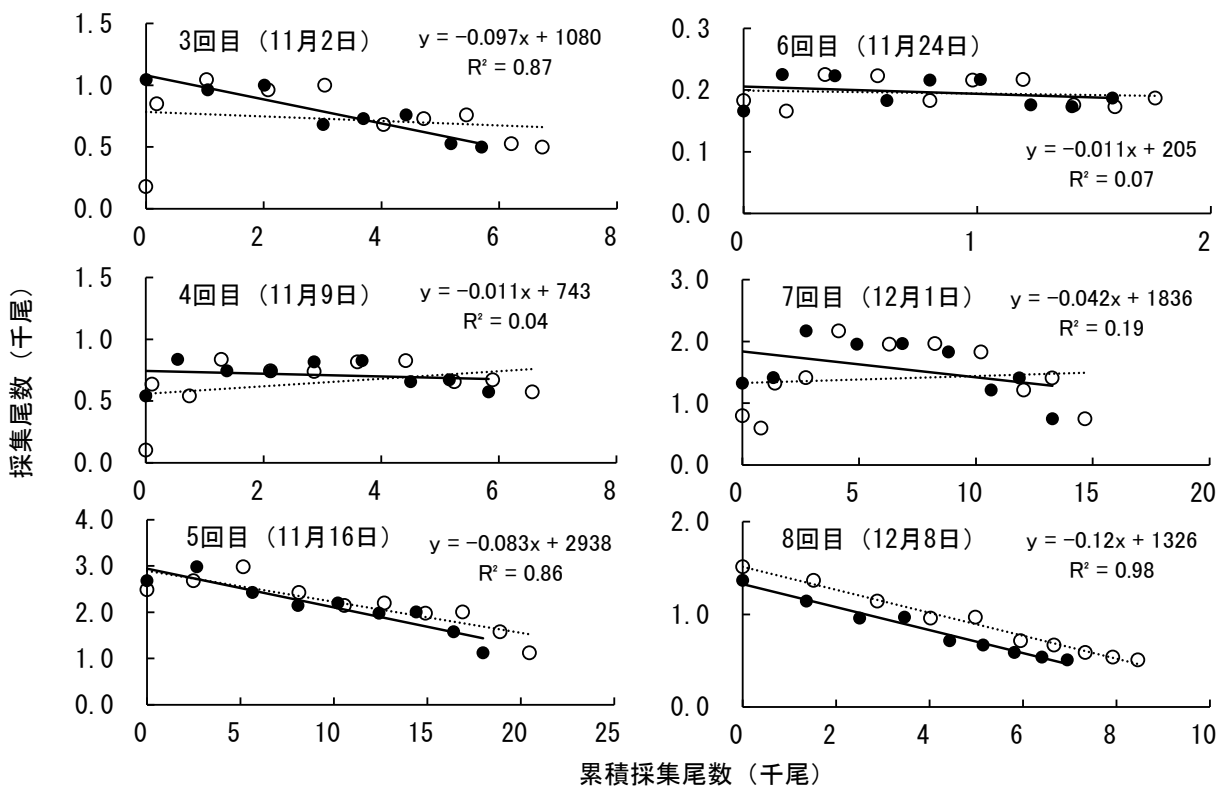


図 5. 各調査回における累積採集尾数に対する採集尾数のプロット

図中の白丸 (○) は各調査回で得られた全データを使用したプロットで、その回帰直線を黒い点線で示す (パターン A)。黒丸 (●) は 5 回目、6 回目および 8 回目の採集 2 回次以降、3 回目、4 回目および 7 回目の採集 3 回次以降のデータを使用したプロットで、その回帰直線を黒い実線で示す (パターン B)。図中の数式はパターン B の回帰式を、 R^2 は決定係数を示す。

10,677~67,987 尾と推定された (表 3). パターン B では推定に使用されないデータが出てくるため, 以下の式から最終的な初期資源尾数を求めた.

$$N_0' = N_{0i} + N_{ri}$$

ただし, N_0' は最終的な初期資源尾数, N_0 は DeLury 法で求められた初期資源尾数, N_r は推定に使用されない採集尾数の合計値, 添え字の i は調査回次である.

ふ化仔魚尾数の推定 アユ仔魚が視認できなかった 10 月 22 日 (1 回目) を起点 (0 尾) とし, 調査回間は直線的に変化すると仮定して, 2 回目は実際の採集尾数である 17,816 尾, 3 回目以降は DeLury 法のパターン B による推定値を採用した場合の水槽内でふ化した全仔魚尾数の推移を図 6 に示す. 2 回目, 4 回目および 7 回目にピークが見られる多峰型となり, 10 月 22 日から 12 月 8 日までの間にふ化した全仔魚尾数は 145 万尾と推定された.

表 3. 漁具能率 q および初期資源尾数 N_0 の推定結果

調査回次	調査日	パターン A ^{*1}		パターン B ^{*2}		
		q	N_0	q	N_0	N_0' ^{*3}
3	11月2日	0.018	43,556	0.097	11,084	12,110
4	11月9日	-0.030	— ^{*4}	0.011	67,987	68,726
5	11月16日	0.067	43,282	0.083	35,202	37,686
6	11月24日	0.005	40,176	0.011	17,867	18,050
7	12月1日	-0.011	—	0.042	44,150	45,544
8	12月8日	0.124	12,189	0.124	10,677	12,192

*1: 全データを使用したプロットに DeLury 法を適用した場合

*2: 一部データを除去したプロットに DeLury 法を適用した場合

*3: 推定に使用しなかった時点までの合計採集尾数を加えたもの

*4: 算出不能

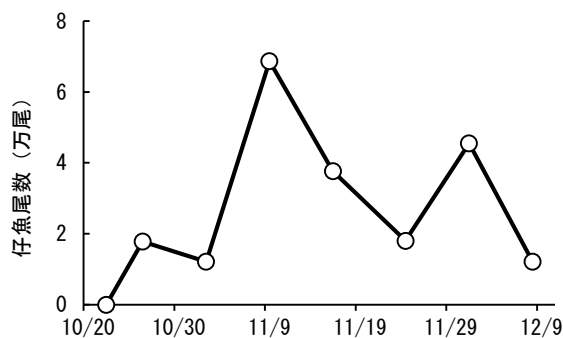


図 6. 水槽内でふ化したアユ仔魚尾数の推移

考察

DeLury 法は, 漁獲による資源尾数の減少に応じて CPUE が減少する過程から漁具能率および初期資源尾数を推定する方法である. この方法では, 資源の漁場への出入りがなく, 漁期が短く自然死亡や成長が無視でき, 漁獲圧力は高いことを全て満たすことが適用条件である. ⁴⁾本実験は水槽内で行っており, その日にふ化したアユ仔魚のみを対象としているため「資源の漁場への出入りがなく」と「漁期が短く自然死亡や成長が無視できる」という 2 つの条件を満たしていると考えられる.

本実験で得られた累積採集尾数に対する採集尾数のプロットに DeLury の第一モデルを適用したところ, 4 回目と 7 回目では q が負の値となり N_0 は算出不能となった (パターン A). この原因として, (1) 灯火の蝸集効果が水槽内全体の仔魚に対して速やかに及ばなかった可能性, (2) 4 回目と 7 回目の調査時の水温は 15°C を下回っており, ふ化後の仔魚の活性が低かった可能性が挙げられる. このような状況下でも DeLury 法の 3 つ目の適用条件である「漁獲圧力は高いこと」を満たすためには, 灯火採集による漁獲圧力が一定強度まで達するまでの一定時間の経過が必要と考えられる.

この「一定時間後」について 4 回目と 7 回目の結果から検討する. 灯火採集はアユ仔魚の正の走行性⁵⁾を利用したものであり, その漁獲圧力は周囲の照度の影響を強く受けると推察される. そこで照度の影響が除去できる程度に周囲が十分に暗くなり, 灯火の蝸集効果が十分に期待される時刻を日没時刻 (表 1) から 1 時間後と仮定すると, 4 回目では 18 時 10 分, 7 回目では 18 時 00 分となる (図 7). 日没時刻は, 実験地と経度が近い広島 (北緯 34 度 22 分 59.88 秒・東経 132 度 27 分 00 秒) の日没時刻

(<https://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/dni/>, 国立天文台, 2023 年 12 月 7 日) を代用した. 相対的に採集尾数が少ない (次の採集回次と比較して採集尾数が概ね半分より少ない場合) 採集回次は, 4 回目では 1 回次 (103 尾, 灯火時間は 17 時 30 分~18 時 08 分の 38 分間) まで, 7 回目は 2 回次 (596 尾, 灯火時間は 18 時 06 分~18 時 11 分の 5 分間) までと判断できる (図 5, 表 2). 4 回目, 7 回目とも採集 1 回次は日没 1 時間後より前に終了しており (図 7), この時間帯では 30 分以上灯火しても漁獲圧力は一定強度に達していないことが示唆される. なお, 3 回目の調査でも採集 1 回次は日没 1 時間後より前に行われ

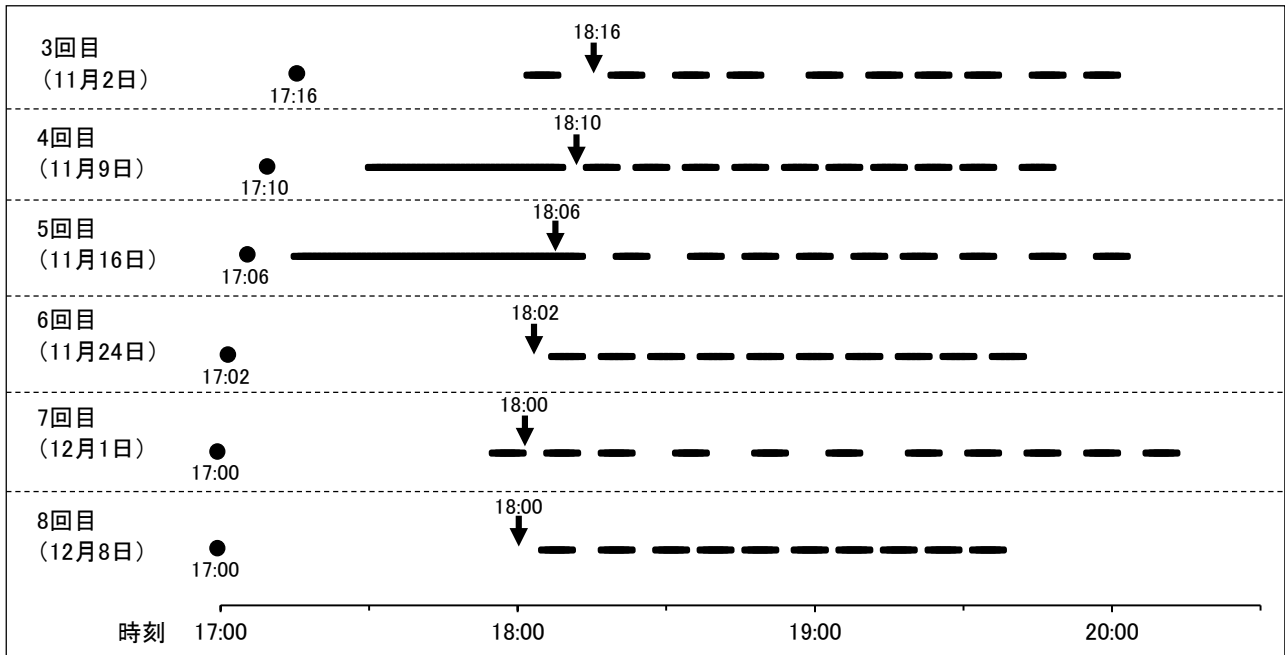


図7. 3回目以降の灯火採集における灯火時間(—), 日没時刻(●), 日没1時間後(黒い矢印)
日没時刻は実験地と経度が近い広島のもの

ており, 相対的に採集尾数が少なくなっている(図5, 7). 4回目, 7回目とも採集2回次は日没1時間後以降に行われたが, 4回目(14.7°C)よりも実験時水温が低かった7回目(14.0°C)のほうは, この段階でも漁獲圧力は一定強度に達していないことが示唆される. 7回目では日没1時間後の5分間の灯火を経た後の採集3回次以降は採集尾数が安定し(図5), 漁獲圧力は一定強度に達していると判断される. 環境条件の影響が顕著にみられた7回目でも「周囲が十分に暗くなる日没後1時間後」で, さらに「1回分(5分間)の灯火を経た後」であれば, 環境条件の影響を除去できると考えられる. 本報告ではこの2つの条件を満たすことを「一定時間後」とし, 3回目以降の全調査でこれを満たすデータにDeLury法を適用することとした(パターンB). 一定時間後となるのは5回目, 6回目および8回目では採集2回次以降, 3回目, 4回目および7回目では採集3回次以降である. この場合, この時点より前に採集された尾数はDeLury法の推定値に加えることで, その日の水槽内の仔魚尾数を推定した.

DeLury法での推定にパターンBを用いた場合, 調査期間中にふ化した仔魚尾数の推移は3つのピークを持つ多峰型を示し(図6), 実験水槽内で同一個体が多回産卵⁶⁾していることが示唆される. 多回産卵を考慮した場合の期待される仔魚尾数について以下の式により算出した.

$$N_{exp_j} = N_f W_f N_{e_j} R_h$$

ただし, N_{exp_j} は産卵回数 j 回の場合の期待される仔魚尾数, N_f は雌アユの尾数, W_f は雌アユ1尾あたりの体重, N_{e_j} は産卵回数 j 回の場合の体重1gあたりの抱卵数, R_h はふ化率である. 本実験に用いた雌アユ(140~168 mmSL)の収容時の体重は計測していないため, 2015年の親魚降下期にあたる10月下旬~11月上旬に江の川の吾郷地区で採集されたアユの測定データから作成した標準体長(SL)ー体重(W)関係のアロメトリー式($W=0.0000142 SL^{3.02}$, $n=30$, 適用範囲133~227 mmSL)を変換式として用いて, 収容時の雌アユの平均体重は58 gと推定した. 体重1gあたりの雌アユの抱卵数は, Shimizu *et al.*の報告⁸⁾から初回産卵で798個/g(N_{e_1}), 2回の多回産卵を行う場合は1,349個/g(N_{e_2}), 3回の場合は1,684個/g(N_{e_3})とした. ふ化率は0.6⁹⁾として, 今回の実験で用いた雌51尾から期待される仔魚尾数を計算すると, 産卵回数1回では142万尾, 2回では239万尾, 3回では299万尾となる. 水槽実験から得られたふ化仔魚尾数の推定値は145万尾であり, 産卵回数1回の期待値と同程度で, 多回産卵が示唆されるにもかかわらず2回以上の多回産卵の期待値を下回っており, 過少評価している可能性がある. この

期待値との間に生じた差異は、実験初期に産着卵に発生したミズカビ、実験期間中に GSI が高い状態で雌アユが斃死したこと、実験終了時でも GSI が高く放卵しきっていない雌アユがいたこと（図 4）が影響していると考えられる。琵琶湖の人工河川である姉川に放流された養殖アユの産卵効果調査では未産卵のまま斃死する雌アユが確認されており、¹⁰実際の河川に放流された場合でも十分に放卵できない個体がいることが推察される。

次に養成アユを江の川に放流する場合を想定し、実験水槽内との水温との違いに着目し、産卵・ふ化への影響について検討する。2021 年に島根県水産技術センターが江の川下流部のセジリの瀬の直下で行った、アユ流下仔魚調査時の 16 時に測定した水温を河川水温として図 2 に示す。実験に使用した飼育水は地下水であり、自然河川と比較して水温の変動幅が緩やかであった。実験水槽では親魚を収容した 4 日後の 10 月 14 日には産着卵が確認された。この日の水温は 19.5°C であり、アユが産卵を開始する水温 20°C 以下^{11,12}となるタイミングであった。河川水温が 20°C 以下となる時期は、図 2 に示す河川水温のプロットの回帰直線から判断すると 10 月 19 日頃と推定される。水槽実験と同じタイミングで江の川に親魚放流を行ったとすれば、実験水槽内と同様の 10 月中旬に産卵が開始されると考えられる。実験水槽内の水温は 15°C 前後であり、この水温では産卵からふ化までに要する期間は 2 週間程度である。¹³このことから水槽実験で見られた 3 回のふ化ピーク（2 回目の 10 月 26 日、4 回目の 11 月 9 日、7 回目の 12 月 1 日）から産卵ピークを遡ると、それぞれ 10 月中旬、10 月下旬、11 月中旬と推定される。これらの期間における河川水温は 10°C 台であり、アユが産卵可能な水温帯^{14,15}である。このことから、江の川に親魚放流を行う場合でも実験水槽内と同じように産卵行動を行うことが期待される。ただし、11 月中旬から河川水温が実験水槽内水温よりも低くなるため、相対的にふ化期間は長くなると考えられる。

以上のことから、養成されたアユ親魚を河川水温が 20°C に降下する前に江の川に放流することで、河川水温によりふ化期間の変動はあるものの、水槽実験と同様の親魚 100 尾（雌雄の数は同等）あたり 145 万尾程度のふ化仔魚の産出が期待できると考えられる。一方、実際の河川では河床表面の粗粒化やアーマー化が発生し、²必ずしも実験水槽内と同じ産卵環境下にあるとは言えない。産卵場の状態に応

じて産卵場造成を行うなど産卵環境のメンテナンスを組み合わせて行うことで、期待した親魚放流の効果が得られやすくなると考えられる。

謝辞

江川漁業協同組合の佛原 勇氏、島田佳堯氏、島根県水産技術センターの谷口祐介研究員には実験水槽の準備やサンプリング調査にご協力いただいた。また、匿名の査読者には有益なご助言をいただいた。ここに記して感謝申し上げる。

文献

- 1) 公益財団法人滋賀県水産振興協会：2022（令和 4）年度事業報告書，http://www.ex.biwa.ne.jp/~fishlake/hokoku/hokoku_22.pdf, 2023 年 8 月 16 日。
- 2) 高橋勇夫：産卵場造成の実際，「アユを育てる川仕事」（古川彰，高橋勇夫編），築地書館，東京，2010，pp. 116–123。
- 3) 赤嶺達郎：デルーリー法，「水産資源解析の基礎」，恒星社厚生閣，東京，2007，pp. 58–62。
- 4) 田中栄次：除去法，「新訂水産資源解析学」，成山堂書店，東京，2012，pp. 105–109。
- 5) 小山長雄：アユの生態，中央公論社，東京，1978，pp. 8–10。
- 6) A. Shimizu, K. Uchida, S. Abe, M. Udagawa, T. Sato, K. Katsura: Evidence of multiple spawning in wild amphidromous type ayu. *Fisheries Sci.*, **71**, 1379–1381 (2005).
- 7) A. Shimizu, K. Uchida, M. Udagawa, M. Ohkubo, H. Ito, S. Yamamoto, T. Takasawa: Multiple spawning of amphidromous type ayu *Plecoglossus altivelis* in a large river, Mogami River System. *Fisheries Sci.*, **74**, 1283–1289 (2008).
- 8) A. Shimizu, K. Uchida, M. Udagawa, A. Inoue, T. Sato, K. Katsura: Multiple spawning and related variations in female reproductive parameters of amphidromous type ayu. *Fisheries Sci.*, **73**, 9–18 (2007).
- 9) 内田和男：アユの親魚の密度が卵や子アユの生き残りに与える影響。平成 17 年度中央水産研究所主要研究成果集研究の動き，**4**, 37 (2006)。
- 10) 山村金之助，前河孝志：養殖アユの産卵親魚としての放流効果について－I 人工河川によ

- る産卵効果調査. 滋賀県水産試験場研究報告, **23**, 92–105 (1971).
- 11) 梶山 誠: 湊川におけるアユ *Plecoglossus altivelis* の産卵期及び産卵場の位置について. 千葉県内水面水産試験場研究報告, **6**, 1–6 (1996).
 - 12) 足立真綾, 吉田圭介, 矢島 啓, 山下泰司: 旭川の感潮域におけるアユの好適な産卵場の検討. 土木学会論文集 B1 (水工学), **77**, I_1429–I_1434 (2021).
 - 13) M. Kashiwagi, T. Iwai, H. Yamamoto, Y. Sokabe: Effects of temperature and salinity on egg hatch of the ayu *Plecoglossus altivelis*. *Bulletin of the Faculty of Fisheries, Mie University*, **13**, 17–24 (1986).
 - 14) 落合 明, 田中 克: アユ, 「新版魚類学 (下) 改訂版」, 恒星社厚生閣, 東京, 1998, pp.465–474.
 - 15) 乾 隆帝, 赤松良久, 岡田将治, 河野誉仁, 中尾遼平: 環境 DNA 分析を用いた高知県四万十川と島根県高津川のアユの降下・産卵期の比較～河川水温との関係性を中心に～. 河川技術論文集, **26**, 343–348 (2020).