

島根県水産技術センター研究報告 第16号

令和6年3月

島根県水産技術センター

島根県水産技術センター研究報告

第16号

2024年3月

目次

報 文

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・二本木俊二・沖野 晃	1
---	-----------------	---

資 料

2022年の江の川におけるアユの産卵場造成と産卵状況	寺門弘悦・谷口祐介・沖野 晃・二本木俊二	9
-------------------------------------	----------------------	---

島根県沿岸域におけるケンサキイカ <i>Uroteuthis edulis</i> のタル流し釣漁業の 導入に向けた基礎的調査	寺戸稔貴	17
--	------	----

本号掲載要旨		21
--------------	--	----

他誌掲載論文の抄録		23
-----------------	--	----

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。

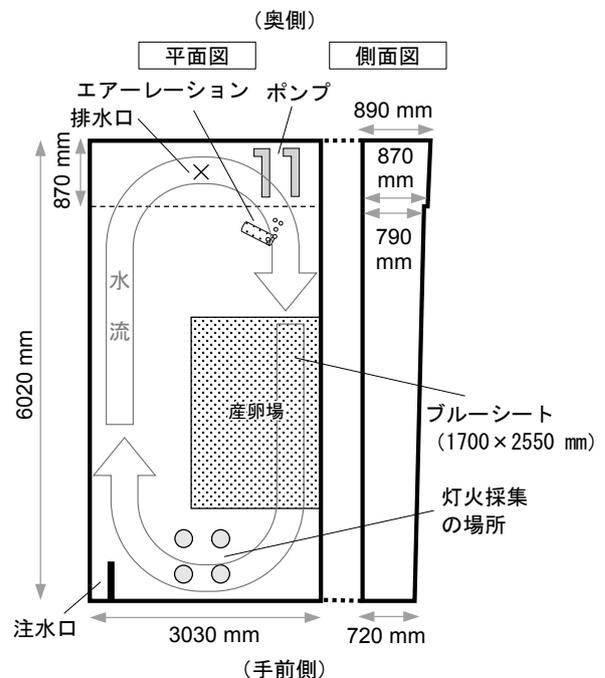


図1. 実験水槽の模式図

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 $15\sim 17^{\circ}\text{C}$ 台に、12 月は $14\sim 15^{\circ}\text{C}$ 台まで降下した (図 2)。

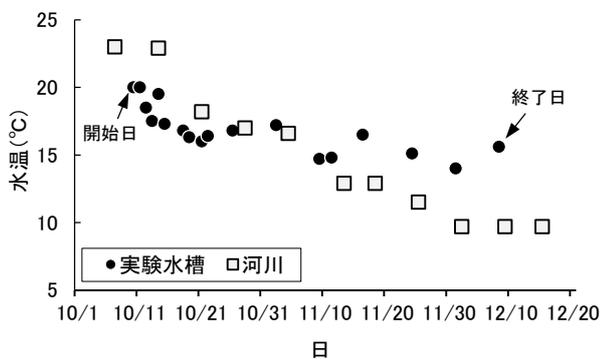


図 2. 実験水槽内および河川の水温 (河川水温は流下仔魚調査時に測定した値)

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見られた。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)。

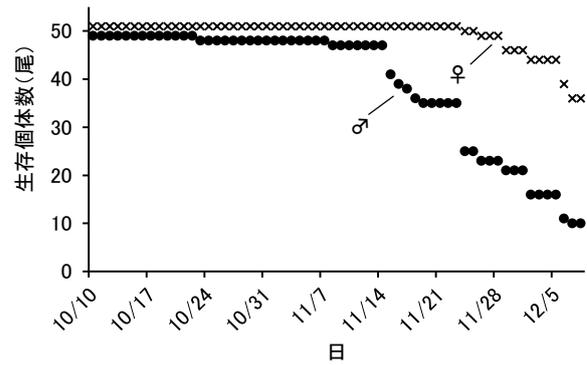


図 3. 実験期間中のアユ親魚の生存状況 (●: オス, ×: メス)

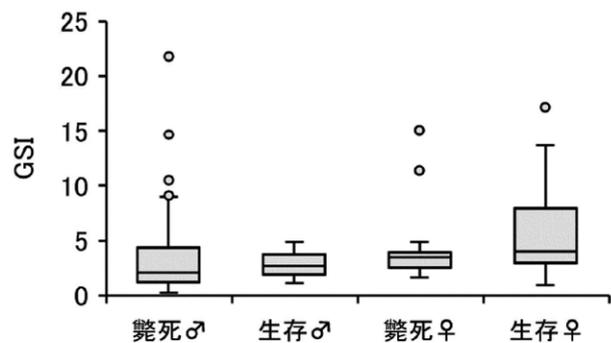


図 4. 実験期間中に斃死したアユと実験終了時まで生存したアユの雌雄別の GSI

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 $0.011\sim 0.124$, 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	-	-

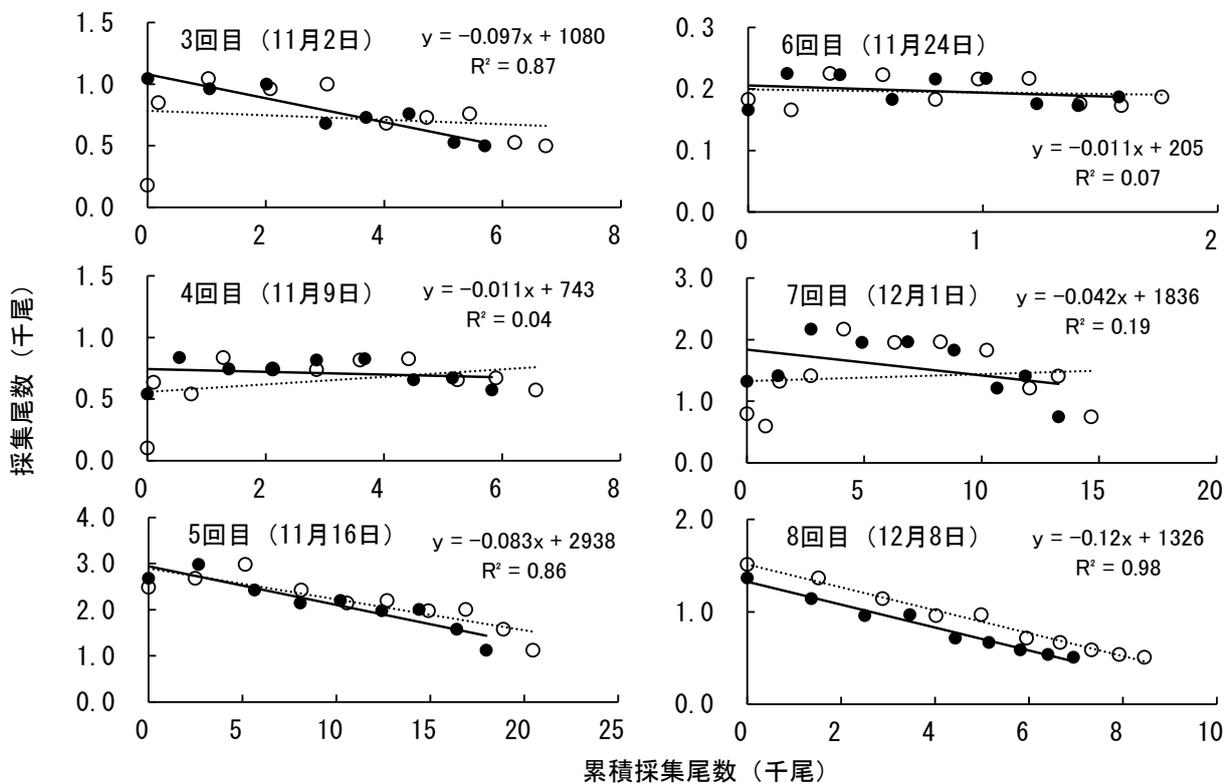


図 5. 各調査回における累積採集尾数に対する採集尾数のプロット
 図中の白丸 (○) は各調査回で得られた全データを使用したプロットで, その回帰直線を黒い点線で示す (パターン A). 黒丸 (●) は 5 回目, 6 回目および 8 回目の採集 2 回次以降, 3 回目, 4 回目および 7 回目の採集 3 回次以降のデータを使用したプロットで, その回帰直線を黒い実線で示す (パターン B). 図中の数式はパターン B の回帰式を, R^2 は決定係数を示す.

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

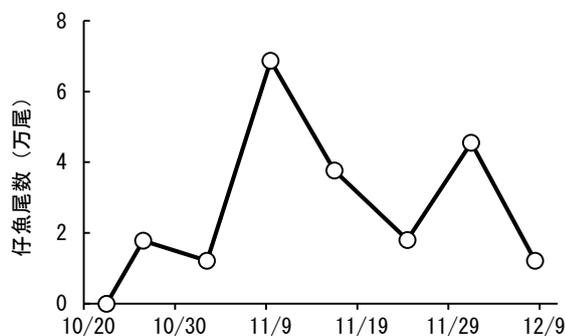


図 6. 水槽内でふ化したアユ仔魚尾数の推移

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

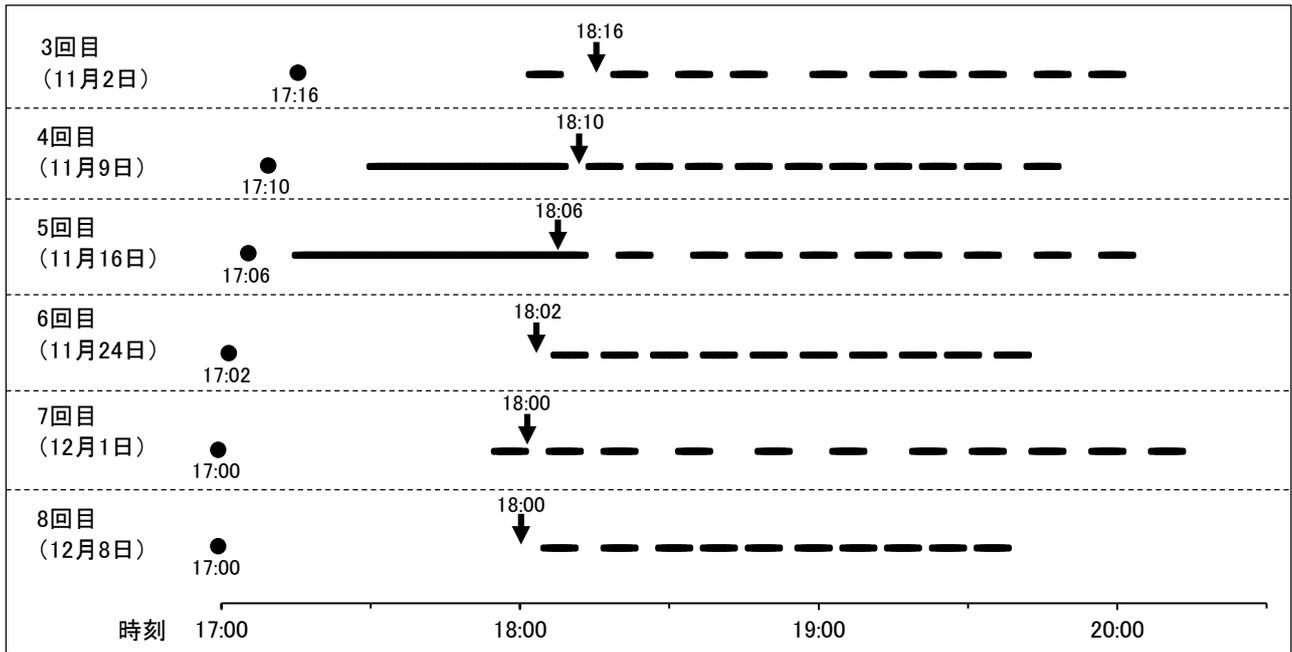


図7. 3回目以降の灯火採集における灯火時間(—), 日没時刻(●), 日没1時間後(黒い矢印)
日没時刻は実験地と経度が近い広島のもの

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).

資料

2022 年の江の川におけるアユの産卵場造成と産卵状況

寺門弘悦¹・谷口祐介^{1,3}・沖野 晃¹・二本木俊二²

Maintenance of spawning ground of ayu *Plecoglossus altivelis altivelis*
and its spawning status in the Gonokawa River in 2022

Hiroyoshi TERAKADO, Yusuke TANIGUCHI, Akira OKINO and Syunji NIHONGI

キーワード: アユ, 江の川, 産卵場, 産卵場造成, 卵の埋没深, 八戸川

アユ *Plecoglossus altivelis altivelis* の漁獲量の減少が顕著である江の川では、2008 年以降、江川漁業協同組合（以下、江川漁協）が主体となり天然アユ資源を回復させるための取り組みが実施されている。

この取り組みは、種苗放流のみに依存せず、資源回復に必要な親魚量を獲り残すとともに、必要に応じて産卵環境を整備することで、河川が有する生産力を利用してアユ資源の回復を促すものである。具体的には、落ち鮎漁期の漁獲規制の強化（2011 年以降）、適宜産卵場造成（2008 年以降）による産卵適地の拡大を図ってきた。島根県水産技術センターではこの取り組みの技術支援の一環として、下流域に

おいて事前に産卵場候補地の河床の状態を調べ、産卵適地を把握する調査（産卵場事前調査）やアユの産卵状況を把握する調査（産卵状況調査）などを毎年、継続的に実施してきた。2022 年は産卵場事前調査の結果、見込まれる親魚量に対して産卵適地の不足が懸念されたことから、産卵場造成を行った。また、これらの毎年実施している調査とは別に、例年、産卵場が形成される範囲よりも上流側における形成状況を把握する調査（産卵場分布調査）を実施した。本報告ではこれら一連の調査結果および産卵場造成について報告する。

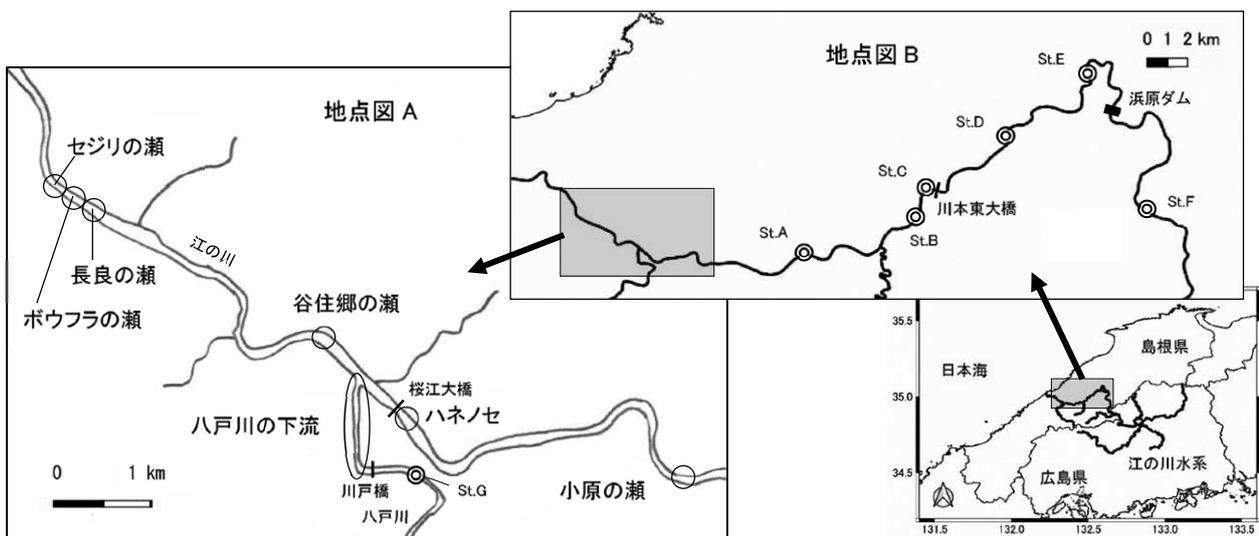


図 1. 調査地点図

地点図 A 中の○で囲まれた部分は産卵場事前調査および産卵状況調査の調査地点を、地点図 A, B 中の◎は産卵場分布調査の調査地点を示す。

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

³ 現所属：島根県東部農林水産振興センター Shimane Prefectural Eastern Agriculture, Forestry and Fisheries Promotion Center, Matsue, Shimane 690-0011, Japan

方法

産卵場事前調査 本調査（以下、事前調査）はアユの産卵場として適した場所（以下、産卵適地）がどの程度あるかを産卵期前に推定するものである。調査は2022年8月29日に実施し、調査地点は産卵場の候補地である、本流・江の川の小原の瀬、ハネノセ、谷住郷の瀬、長良の瀬、ボウフラの瀬およびセジリの瀬、支流・八戸川の川戸橋から本流との合流点までの範囲とした（図1）。調査日の日平均水位（長良観測所）は0.86mであった（国土交通省水文水質データベース <http://www1.river.go.jp/>、2023年5月24日入手、以下同様）。各地点を調査員2名～3名で踏査・潜水目視し、河床の状態を観察した。アユの産卵場として適した河床は、小石（粒径5-50mm¹⁾）が主体の浮き石底であるため、河床の礫の粒径組成と貫入度を測定した。河床の礫の粒径組成の調査は線格子法で行い、礫の粒径区分は谷田・竹門の簡便階級²⁾に従った。すなわち、10cm間隔で10個の点が刻まれた木製の棒を河床に固定し、各点の下に位置する礫の粒径（長径）を目視で5階級（砂泥:<4mm, 砂利:4mm-50mm, 石:50mm-250mm, 巨石:250mm-500mm, 岩:>500mm）に区分した。なお、本調査では泥(<0.125mm)、細砂(0.125mm-1mm)および粗砂(1mm-4mm)をまとめて砂泥(<4mm)として扱った。河床の柔らかさの目安として、石井³⁾に準じてシノによる貫入度を測定した。水温はデジタル水温計（ULTRAPEN PT1, Myron L製）で測定した。流路の形状は、本調査の実施前（2022年8月26日）に無人航空機（Phantom 4 Pro, DJI製）で空撮した画像を、画像加工ソフトウェア（Metashape, Agisoft製）で合成した平面図から把握した。アユの産卵が可能であると判断した範囲の外周の位置情報をハンディGPS（GPSMAP 64SCJ, GARMIN製）で取得し、GISアプリケーションソフトウェア（Google Earth Pro, Google製）を使って位置情報から面積と形状を求めた。

産卵場造成 事前調査の結果、産卵適地の面積不足が懸念されたため、産卵場造成を計画した。造成場所は重機の出入りが可能で、過去に産卵場造成の効果が認められた長良の瀬⁴⁾とした。長良の瀬では全体的に河床に砂の混入が多く、河床が硬くなってしまったため、アユ産卵場としての質向上と面積拡大を目的とし次のとおり造成方針を立てた。造成方針は、長良の瀬の右岸側の河川幅3分の1程度を造成範囲とし、①瀬肩上流の右岸側を深く掘り下げ、右岸側

に回る水量を増やす。②河床高を20cm程度掘り下げ、河床材料として土砂600m³を投入する。③河床表面の大礫、砂泥を除去し、小石の浮き石底をつくる。④河床の起伏を均す。⑤目標とする造成面積は2,500m²とする。具体的な造成プランを図2に示す。産卵場造成は2022年10月17日から10月19日にかけて、重機のオペレーター1～2名で実施した。



図2. 長良の瀬における造成プラン
水色の矢印は流向を示す。

産卵状況調査 本調査は江の川下流域でのアユの産卵状況を把握するため、2022年10月29日に事前調査と同じ調査地点で実施した（図1）。調査日の日平均水位（長良観測所）は0.64mであった。各地点を調査員1名～3名で踏査・潜水目視し、河床の状態を観察するとともにアユの産着卵の有無を確認した。産着卵が確認された場合、産卵床が分布する範囲の外周にポールを立て、事前調査と同様の方法で産卵面積および形状を求めた。卵の埋没深の測定は、高橋ら⁴⁾に従い、卵が付着している最も深い部分と周辺の河床面との高低差と定義し、産卵場内で無作為に選定した産卵床で行った。また、事前調査と同様の方法で河川の形状を把握した。水温はデジタル水温計（ULTRAPEN PT1, Myron L製）で測定した。

産卵場分布調査 本調査はアユの産卵場の形成範囲がどの程度上流まで及ぶかを把握するため、2022年11月10日の夜間（17時台～22時台）に実施した。前述の産卵状況調査の調査地点より上流側の範

围で、本流は St.A (坂本), St.B (因原), St.C (川本), St.D (乙原), St.E (高畑) および St.F (都賀行), 支流・八戸川は St.G (桜江町小田) を調査地点とした (図1). 調査日の日平均水位 (長良観測所) は 0.58 m であった. 各地点で網口に濾水計 (GO-2030, General Oceanics 製) を装着した NORPAC ネット (目合い GG52) を用いて 10 分間の採集を行った. 採集物は 5%ホルマリンで固定した.

結果と考察

産卵適地および産卵状況 事前調査および産卵状況調査の結果を表1に、各調査地点の産卵適地における貫入度を図3に、礫の構成比率を図4に、各産卵場における卵の埋没深を図5に示す. 事前調査の結果、ハネノセ、谷住郷の瀬、長良の瀬および八戸川に産卵適地があり、面積は合計で 405 m² と推定した (表1). その後の産卵状況調査ではアユの産着卵は全調査地点で確認され、産卵面積は合計 6,380 m² であった (表1). 産卵面積は長良の瀬が 2,319 m² (うち造成範囲で 2,065 m²) と最も広く、造成を行った範囲がこの年の主要産卵場と考えられた. 次いで自然産卵場であるセジリの瀬が 1,221 m², 谷住郷の瀬が 972 m² であった. いずれの調査地点でも事前調査時より広い産卵面積が確認された. この理由として、事前調査の実施日 (8月29日) から産卵状況調査の実施日 (10月29日) の間、2回の期間累計 100 mm を超える降水 (川本観測所, 8月31日~9月3日の累計降水量 124 mm, 9月18日~9月20日の累計降水量 115 mm : 気象庁 <https://www.data.jma.go.jp/>, 2023年8月15日入手) に伴う出水が発生し (当該期間の長良観測所の最大水位, 9月3日8時台 4.2 m, 9月20日3時台 7.1 m), 河床の攪乱や礫の移動が起こ

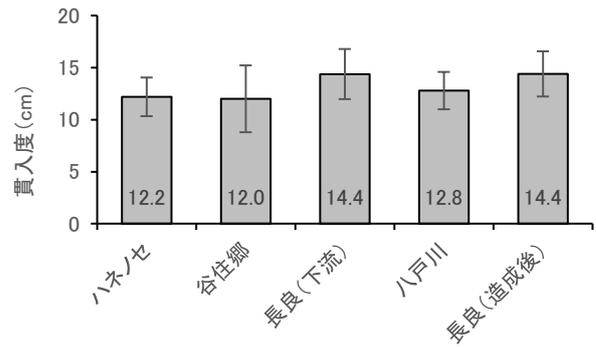


図3. 各調査地点における産卵適地および造成後の長良の瀬の貫入度

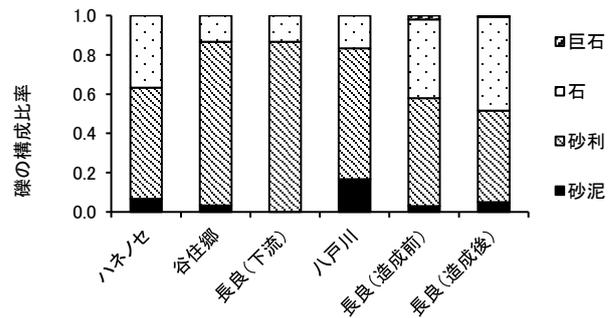


図4. 各調査地点における産卵適地および長良の瀬 (右岸) の造成前後の礫の構成比率

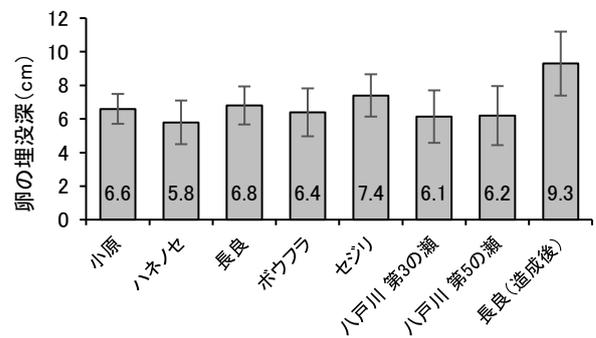


図5. 各産卵場におけるアユ卵の埋没深
図中の数値は平均を、バーは標準偏差を示す.

表1. 産卵場事前調査および産卵状況調査の結果

地点名	産卵場事前調査 (2022年8月29日実施)		産卵状況調査 (2022年10月29日実施)	
	産卵適地 面積 m ²	水温°C (測定時刻)	産卵面積 m ²	水温°C (測定時刻)
小原の瀬	-	-	178	16.7 (7:30)
ハネノセ	92	25.1 (7:40)	470	17.4 (9:15)
谷住郷の瀬	63	23.1 (10:30)	972	17.9 (13:30)
長良の瀬	219	25.5 (12:25)	2,319	18.3 (14:55)
ボウフラの瀬	-	-	693	-
セジリの瀬	-	-	1,221	-
支流・八戸川	31	21.6 (8:55)	527	17.5 (10:40)
合計	405		6,380	

り、産卵環境が好転した可能性が考えられる。また、各調査地点では遊泳する多数のアユが視認されただけでなく、放卵・放精後に疲弊して死亡したと考えられる多くの死骸が川底で観察された。各調査地点の状況を以下に詳述する。

(1)小原の瀬 平面図を図 6 に示す。事前調査時は流れが強く、川に入って調査はできなかった。流路は中州を挟んで二手に分岐し、左岸側のほうが流量は多い。右岸側の流路の河床は浮き石状態であるが、礫組成は確認できなかった。左岸側の流路は、左岸寄りのワンドに流れ込むチャラ瀬（波立ちのある緩やかな瀬）を形成しており、産卵場が形成される可能性が考えられた。

産卵状況調査では、左岸側のチャラ瀬で産着卵が確認された（図 6 中の赤線で囲まれた範囲）。産卵面積は 178 m^2 であった。卵の埋没深は $6.6 \pm 0.9 \text{ cm}$ （平均 \pm 標準偏差、 $n=5$ 、図 5）で、良好な産卵環境の目安である 10 cm 以上 \uparrow に達していなかった。

なお、川底に横たわるアユの死骸をランダムに拾い上げ、体長（標準体長、 1 mm 単位）を測定したところ、メスは $166 \pm 26 \text{ mm}$ （ $n=18$ ）、オスは $184 \pm 30 \text{ mm}$ （ $n=9$ ）であった。



図 6. 小原の瀬の平面図
図中の赤線で囲まれた部分は産卵範囲を、水色の矢印は流向を示す。

(2)ハネノセ 平面図を図 7 に示す。事前調査の結果、瀬の右岸側の一部で小石主体の浮き石底になっている範囲が確認された。この範囲の礫組成は砂利（粒径 $4 \text{ mm} \sim 50 \text{ mm}$ ）が 6 割を占め（図 4）、貫入度は $12.2 \pm 1.9 \text{ cm}$ （ $n=10$ 、図 3）であり、産卵適地と推定した（図 7 中の黄色線で囲まれた範囲）。面積は 92 m^2 であった。

産卵状況調査では、事前調査で産卵適地と推定した範囲の周辺で産着卵が確認された（図 7 中の赤線で囲まれた範囲）。産卵面積は 470 m^2 であった。卵の埋没深は $5.8 \pm 1.3 \text{ cm}$ （ $n=5$ 、図 5）で、良好な産卵



図 7. ハネノセの平面図
図中の黄色線で囲まれた部分は事前調査時の産卵適地を、赤線で囲まれた部分は産卵範囲を、水色の矢印は流向を示す。



図 8. 谷住郷の瀬の平面図
図中の黄色線で囲まれた部分は事前調査時の産卵適地を、赤線で囲まれた部分は産卵範囲を、水色の矢印は流向を示す。

環境の目安である 10 cm 以上 \uparrow に達していなかった。

(3)谷住郷の瀬 平面図を図 8 に示す。事前調査時、左岸寄りに中州が形成され、右岸側の流路が湍筋である。右岸側の流路の流心部は流れが強く、河床の状態を確認できなかった。中州に沿って流心から分派する流れがあり、その瀬尻部分は砂の混入が若干多いが、小石は多く、浮き石状態であった。その範囲の礫組成は砂利（粒径 $4 \text{ mm} \sim 50 \text{ mm}$ ）が 8 割を占め（図 4）、貫入度は $12.0 \pm 3.2 \text{ cm}$ （ $n=7$ 、図 3）であり、産卵適地と推定した（図 8 中の黄色線で囲まれた範囲）。面積は 63 m^2 であった。

産卵状況調査では、事前調査で産卵適地とした場所ではなく、右岸側の流心部沿い（事前調査では確認できなかった範囲）およびその瀬尻で産着卵が確認された（図 8 中の赤線で囲まれた範囲）。産卵面積は合計で 972 m^2 であった。なお、谷住郷の瀬では卵の埋没深は測定しなかった。

(4)長良の瀬 平面図を図9に示す。事前調査時、右岸側の半面のうち、岸沿いに設置された護岸ブロック付近では、小石は多いが河床は堅く締まっていた。下流になるに従い、20 cm以上の大石の混じりが多くなり、砂の混入も多くなった。一方、左岸側の半面は粒径20 cm以上の大石の混じりが多いが、下流になるに従い小石が多くなり、それらが堆積し中州が形成されていた。中州周辺は小石が多く、そこから右岸側に広がる瀬は浮き石状態であった。この範囲の礫組成は砂利(粒径4 mm~50 mm)が9割を占め(図4の長良(下流))、貫入度は 14.4 ± 2.4 cmであり($n=26$, 図3の長良(下流))、産卵適地と推定した(図9中の黄色線で囲まれた範囲)。面積は 219 m^2 であった。

産卵状況調査の結果、産卵面積は $2,319 \text{ m}^2$ であった(図9中の長良の瀬における赤線で囲まれた範囲)。長良の瀬では産卵場造成を行っており、このうち造成した産卵場の産卵面積は $2,065 \text{ m}^2$ であった(産卵場造成の詳細は後述)。造成範囲以外では産卵適地の周辺で、4ヶ所に分散して自然産卵場が確認された。これらの産卵面積の合計は 254 m^2 あった。

卵の埋没深は、造成産卵場で 9.3 ± 1.9 cm ($n=60$, 図5)、自然産卵場で 6.8 ± 1.1 cm ($n=10$, 図5)であり、いずれも良好な産卵環境の目安である10 cm以

上⁷)に達していなかった。

(5)ボウフラの瀬 平面図を図9に示す。ここは前年(2021年)の主要産卵場である⁸⁾。事前調査時、前年の産卵範囲は水深が深くなっており、河床の詳細は観察できなかった。産卵状況調査の結果、産着卵はボウフラの瀬の上流側と下流側の2ヶ所で確認された(図9中のボウフラの瀬における赤線で囲まれた範囲)。産卵面積は合計で 693 m^2 であった。卵の埋没深は、上流側で 6.4 ± 1.4 cm ($n=10$, 図5)で、良好な産卵環境の目安である10 cm以上⁷)に達していなかった。

(6)セジリの瀬 平面図を図9に示す。事前調査の結果、ここの河床は産卵場に適したサイズの礫が多いが、近年同様、産卵場にはなりにくい状態だと考えられた。しかし、産卵状況調査の結果、この年は産着卵が確認された(図9中のセジリの瀬における赤線で囲まれた範囲)。産卵面積は $1,221 \text{ m}^2$ であった。造成範囲を除いた自然産卵場のなかでは、ここの産卵面積が最も広がった。卵の埋没深は 7.4 ± 1.3 cm ($n=10$, 図5)で、良好な産卵環境の目安である10 cm以上⁷)に達していなかった。

(7)支流・八戸川 平面図を図10に示す。事前調査では川戸橋から本流との合流点までを踏査した。この間に8つの瀬が存在し、便宜的に上流側から第



図9. 長良の瀬、ボウフラの瀬およびセジリの瀬の平面図

図中の黄色線で囲まれた部分は事前調査時の産卵適地を、赤線で囲まれた部分は産卵範囲を、白線で囲まれた部分は造成した範囲を、水色の矢印は流向を示す。



図10. 八戸川下流の平面図

図中の黄色線で囲まれた部分は事前調査時の産卵適地を、赤線で囲まれた部分は産卵範囲を、群青色の矢印は流向を示す。なお、第1の瀬は図示されていないが、第2の瀬の約90 m上流側に位置している。

1の瀬, 第2の瀬, …, 第8の瀬と呼称する. このうち産卵適地と判断したのは第2の瀬と第6の瀬であった. 第2の瀬は, 小石主体の浮き石底であり, 産卵適地であるが面積はかなり狭いため測量しなかった. 沈下橋の上流側に位置する第6の瀬は, 右岸側は小石が多く浮き石状態であった. 礫組成は砂利(粒径4 mm~50 mm)が7割を占め(図4), 貫入度は 12.8 ± 1.8 cm ($n=5$, 図3)であり, 産卵適地と推定した(図10中の黄色線で囲まれた範囲). 面積は 31 m²であった.

産卵状況調査の結果, 産着卵は第1の瀬および産卵適地と推定した第6の瀬では確認されず, 第2, 第3, 第4, 第5, 第7および第8の瀬で確認された(図10中の赤線で囲まれた範囲). 産卵面積の合計は 527 m²であった. このうち第3および第5の瀬で卵の埋没深を測定した結果, それぞれ 6.1 ± 1.6 cm ($n=14$, 図5)および 6.2 ± 1.8 cm ($n=10$, 図5)であり, 良好な産卵環境の目安である10 cm以上に達していなかった.

産卵場造成 事前調査の結果, 産卵適地の合計面積は約 400 m²であった. 流下仔魚量が前年(2021年: 6.7億尾⁹⁾)並みとしても, 前年の産卵面積は $1,426$ m²であり⁸⁾, 産卵適地の不足が懸念される. さらに江川漁協への聞き取りによると, 2022年の江の川のアユ遡上状況は前年より好調で, 10月15日から11月30日の間のアユ漁禁止による親魚保護対策も継続されており, 産卵期に残る親魚量も前年より多いと考えられることから, 江川漁協と相談のうえ産卵場造成を行うこととした. 造成の目標面積は次とおり設定した. 理想的な産卵環境が提供された場合, 産卵場 100 m²あたり1億尾のアユ仔魚のふ化が期待できる. これは高知県奈半利川における自然産卵場がほぼ無い年で, 最適な粒度組成に調整した砂利を投入した造成産卵場における産卵実績であり, 理想値に近いと考えられる(たかはし河川生物調査事務所 高橋勇夫氏, 未発表). これを目安として適用し, 流下仔魚量を前年の約2倍の15億尾とすれば, 必要な産卵場面積は $1,500$ m²と見積もられる. これに産卵環境の不確実性を見込んで有効面積を6割とし, 造成の目標面積は $2,500$ m²とした.

造成作業の概略を以下に示す. まず造成範囲の右岸側の半面の河床をバックホー(320D, 日本キャタピラー製)で掘り下げた(図11のA). 掘り下げた土砂は, 右岸側の護岸ブロックに沿って置いた. 残る左岸側の半面はブルドーザー(D6N, 日本キャタピラー製)で河床の土砂を造成範囲外の左岸側に広



図11. 産卵場造成の作業の様子(長良の瀬)

A: 河床の掘り下げ作業, B: 河床の土砂を造成範囲外に押し出す作業, C: 投入した土砂を敷き広げる作業, D: 砂抜きと均しの作業

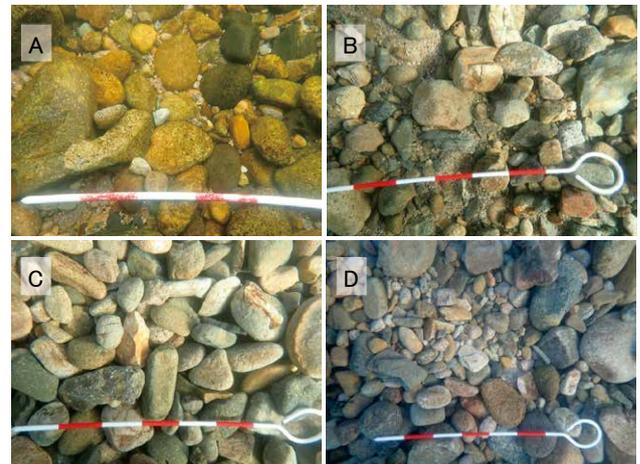


図12. 産卵場造成の前後の河床(長良の瀬)

A: 造成前の河床, B~D: 造成後の河床(Bは造成範囲の上流側, Cは中央付近, Dは下流側)

げるように押し出し, 河床を掘り下げた(図11のB). 全面をブルドーザーで粗く均した. 河床材料として投入する土砂はキャリアダンプ(MST-2300VD, 諸岡製)で造成範囲に山積みした後, ブルドーザーで土砂を造成範囲内に敷き広げた(図11のC). 河床面の仕上げとして, 可能な限り砂抜きと均しを行った(図11のD). 最後に造成範囲に流れ込む水量を増やすため, ブルドーザーで上流側の河床を掘り下げた. この工程では河床を掘り下げた後の水の流れを確認しながら試行錯誤を繰り返した. 造成作業は造成プランに概ね従って行ったが, 造成範囲の水量を増やすための工程は計画どおりとはいかず, 現場でオペレーターと相談しながら行った.

造成した範囲を図9に示す(白色の線で囲まれた

部分). 造成面積は2,553 m²であり, 概ね計画 (2,500 m²) どおりであった. 造成前後の河床の画像を図12に示す. 造成前の固く締まった河床 (図12のA) は, 造成により浮き石状態の河床に改善された (図12のB~D). 貫入度は14.4 ± 2.2 cm (平均±標準偏差, n=56) であり, 他の産卵適地と同程度になった (図3). ただし, 造成範囲の上流側は砂が抜けきらない部分が残った (図12のB). 河床の礫の構成比率を造成前後で比較すると, 砂泥 (粒径4 mm<) は3%から5%に, 砂利 (4 mm-50 mm) は55%から47%に, 石 (50 mm-250 mm) は40%から48%に, 巨石 (250 mm-500 mm) は2%から1%になり, 砂利の比率が低下した一方で石の比率が高まった (図4, 造成前 n=100, 造成後 n=180). 造成後の石は5-10cmのものが過半数であり (図12のC), 産卵場の河床材料として許容範囲 (粒径1 mm~100 mm)¹⁰⁾ である. 造成範囲の水深は40~67cmであった.

産卵状況調査の結果, 造成した範囲の大部分で産着卵が確認され, 産卵面積は2,065 m²であった. 卵の埋没深は9.3 ± 1.9 cm (n=60, 図5) で, 良好な産卵環境の目安である10 cm⁷⁾に及ばなかったが, 他の自然産卵場よりは良好であると言える (図5). 造成した産卵場は, 卵の埋没深が平均6 cm前後であった自然産卵場と比較して良好な環境であり, 産卵面積も広がったことから, 産卵場造成は効果があったと判断した.

アユの産卵場の形成範囲 産卵場分布調査の結果を表2に示す. St.B (因原) は河川工事中で立ち入りが禁止されており調査が行えなかった. 本流の浜原ダム下流域 (St.A-E) では, アユ仔魚はSt.D (乙原) を除き全地点で採集され, St.C (川本) が最も密度が高かった. このことは, 2022年は本流の浜原ダム下流域で広域的にアユ産卵場が形成されていることを意味する. 同日, セジリの瀬の直下で島根県水産技術センターが実施した流下仔魚調査では, 調査開始の16時台で仔魚の流下密度はすでに9.4 尾/m³で, ピークとなる18時台では223 尾/m³であった. これらの密度と比較すれば, 産卵場分布調査で採集されたアユ仔魚の密度は最大でもSt.C (川本) の1.6 尾/m³であることから, St.A (坂本) から浜原ダムまでの範囲にある産卵場の規模は小さいものと考えられる. この範囲内ではSt.C (川本) からSt.D (乙原) にある産卵場が比較的規模の大きいものと考えられるが, この2点間にある川本東大橋の下流の瀬 (久座二の瀬) はアユの産卵場であった記録¹¹⁾ があり, 今回の調査結果と矛盾しない.

一方, 浜原ダムより上流のSt.F (都賀行) ではアユ仔魚は採集されず, 浜原ダムより下流の減水区にあたるSt.E (高畑) ではアユ仔魚が採集された. このことは, 浜原ダムより上流域でのアユの産卵はないか, あっても小規模であると推察される. また, St.F (都賀行) の下流から浜原ダムの間は湛水域でありアユの産卵場となる瀬は存在しないため, 浜原ダムからSt.E (高畑) の間の減水区に産卵場が形成されている可能性が高い.

支流の八戸川ではSt.G (桜江町小田) でアユ仔魚が採集された (表2). このことは, 八戸川での産卵状況調査の調査範囲よりも上流側にも産卵場があることを示しているが, 採集されたアユ仔魚の密度 (0.1 尾/m³) からは小規模なものと推察される.

表2. 産卵場分布調査の結果

St.	地点名	水温 °C (測定時刻)	採集 尾数	密度 (尾/m ³)
A	坂本	15.4 (21:35)	8	0.1
B	因原	調査できず		
C	川本	15.3 (20:05)	140	1.6
D	乙原	15.3 (19:25)	0	0.0
E	高畑	14.8 (18:40)	3	0.1
F	都賀行	14.4 (17:50)	0	0.0
G	桜江町小田	15.6 (22:40)	3	0.1

謝辞

国土交通省中国地方整備局浜田河川国道事務所には産卵場造成を実施していただいた. 中国電力株式会社東部水力センター邑智事務所には産卵場造成に必要な河床材料の提供でご支援いただいた. 島根県水産技術センターの松村優太 甲板員には産卵場分布調査でご協力いただいた. ここに記して深く感謝を申し上げます.

文献

- 1) 高橋勇夫:天然アユが育つ川. 築地書館, 東京, 2009, 194pp.
- 2) 竹門康弘:水域の棲み場所を考える, 「棲み場所の生態学」, 平凡社, 東京, 1995, pp.11-66.
- 3) 石井 徹:貫入度. アユの産卵場づくりの手引き (魚類再生産技術開発調査報告書), 全国内水面漁業協同組合連合会, 1993, pp.228.
- 4) 高橋勇夫, 寺門弘悦, 村山達朗:島根県西部河

川におけるアユ産卵場造成について，島根水技セ研報，**2**，39-48（2009）．

- 5) 高橋勇夫，寺門弘悦，村山達朗：島根県西部河川におけるアユ産卵場造成について－II．島根水技セ研報，**3**，69-84（2011）．
- 6) 高橋勇夫，寺門弘悦，曾田一志，安木 茂，沖野 晃：2012年の江の川におけるアユ産卵場造成について．島根水技セ研報，**6**，19-29（2014）．
- 7) 高橋勇夫：産卵場造成の必要性和その実際．天然アユを増やすと決めた漁協のシンポジウム第1回天竜川大会記録集，天然アユ保全ネットワーク，2007，pp.11-18．
- 8) 寺門弘悦，谷口祐介，沖野 晃：2021年の江の川下流域におけるアユの産卵状況および浜原ダム上流域における産卵の確認，島根水技セ研報，**15**，27-30（2023）．
- 9) 谷口祐介，寺門弘悦：江の川におけるアユ資源管理技術開発．2021（令和3）年度島根県水産技術センター年報．**31**（2022）．
- 10) 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．
- 11) 江の川水系漁撈文化研究会：江の川の調査（ガンザキからウズイノダン），「江の川の瀬・淵と民族－源流から日本海まで－」，江の川水系漁撈文化研究会，三次，2005，pp.34-52．

資料

島根県沿岸域におけるケンサキイカ *Uroteuthis edulis* のタル流し釣漁業の導入に向けた基礎的調査

寺戸稔貴¹

Basic survey of introduction of drift fishing the sword tip squid *Uroteuthis edulis* in Shimane coastal waters

Toshiki TERADO

キーワード：ケンサキイカ，タル流し釣漁業，いか釣漁業，沿岸自営漁業，効率的漁法，島根県

島根県においてケンサキイカ *Uroteuthis edulis* は主にいか釣漁業，沖合底びき網漁業，定置漁業によって漁獲される。¹⁾ 島根県漁獲管理情報処理システム^{2, 3)}により県内のケンサキイカの漁獲量および金額を集計したところ，2022 年の漁獲量は 373 t，漁獲金額は 5 億円であった。このうち，いか釣漁業（30 トン未満の漁船を使用したもの）による漁獲量は 151 t（40.5%），漁獲金額は 2 億円（40.0%）だった。いか釣漁業は釣漁業，さし網漁業，採貝漁業とともに県内の沿岸自営漁業者が複合経営を行う際に基本としている漁業種類である。⁴⁾ 県内では夜間に集魚灯の使用によってケンサキイカを集魚し，漁獲する操業方法（以下，夜釣漁業）が一般的である。^{5, 6)} 夜釣漁業には集魚灯，安定器，発電機といった機器の整備が必要であり，これらの初期設備投資額は高額である。⁷⁾ このことは，沿岸自営漁業者が新たにいか釣漁業へ着業する際の課題の 1 つとなっている。

一方，福岡県，佐賀県および山口県では，昼間にケンサキイカを漁獲するタル流し釣漁業と呼ばれる漁法が行われている。⁸⁻¹¹⁾ タル流し釣漁業は発泡スチロール製のタルと呼ばれる浮標に 120 m 程度の道糸と疑似餌から構成される仕掛けを取り付けた漁具を使用して操業する（図 1）。漁具の使用個数は最大 20 個程度で，潮流に対して垂直方向に漁船を走らせながら漁具を 100 m 間隔で 1 個ずつ投入する。全ての漁具を投入後，最初に投入した漁具から順に回収および再投入を繰り返し，疑似餌に掛かったケンサキイカを漁獲する（図 2）。

県内の沿岸自営漁業者や漁業協同組合職員へ聞

¹ 漁業生産部 Fisheries Productivity Division

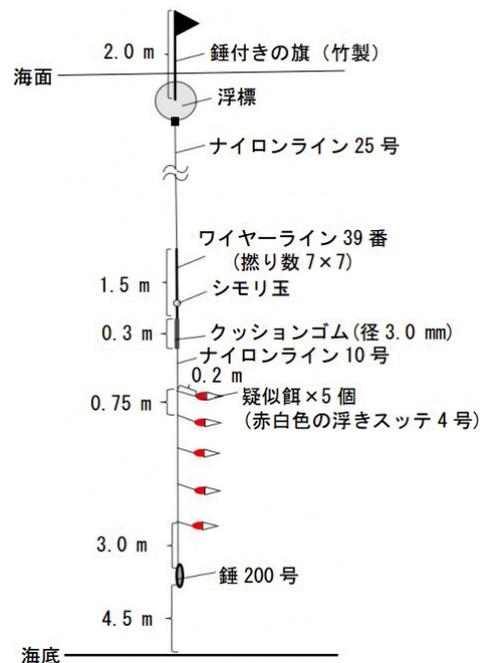


図 1. 漁具の構成 (例)

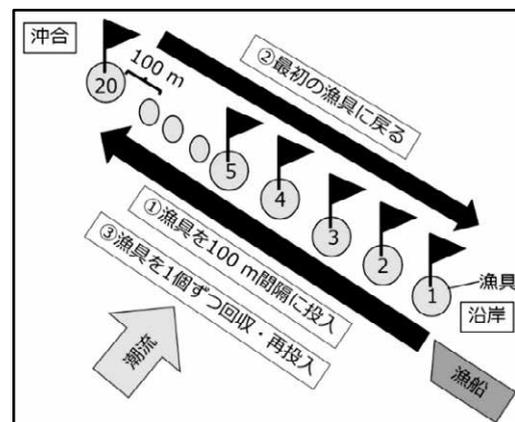


図 2. 操業方法 (例)

き取り調査を実施したところ、1990年から2000年頃にかけて、益田市飯浦地区においてタル流し釣漁業が3～5月に行われていた。しかし、2000年以降、沿岸自営漁業者がタル流し釣漁業を行っていた漁場でケンサキイカが漁獲されなくなったことや、高齢化に伴う沿岸自営漁業者の減少により、本漁法は衰退したと推察されている。現在、益田市飯浦地区ではタル流し釣漁業は行われておらず、操業実態を記録した資料も残っていない。

そこで、益田市飯浦地区の沿岸自営漁業者からの聞き取り調査結果を参考に、タル流し釣漁業の漁具を20個作製、漁具回収用のラインローラーを購入したところ、初期設備投資額は約41万円と算出された。これは、集魚灯を使用する夜釣漁業（竿釣漁業）の初期設備投資額である約258万円の2割程度である。このことから、タル流し釣漁業を導入することで操業の低コスト化が期待される。¹²⁾ 本研究では、現在の県内におけるタル流し釣漁業の導入にかかる基礎的知見の収集を目的に、試験船による試験操業を行うことでケンサキイカの漁獲尾数や漁場の水温について調査し、その結果をまとめた。

材料と方法

2021年6月22日～2022年7月27日に、試験船「やそしま」(9.1t)を使用船舶とし、タル流し釣漁業の試験操業を計7回実施した。試験操業は大田市仁摩地区沿岸域における人工魚礁付近に天然礁が点在した砂泥域の海域で行った(図3)。また、漁具の構成ならびに操業方法は、益田市飯浦地区の沿岸自営漁業者への聞き取り調査結果を参考とした(図1,2)。

試験操業では、操業時間、漁具の使用個数、漁具1個当たりの漂流時間、漁具の投入回数、ケンサキイカの漁獲尾数および外套背長を記録した。外部形態が損傷したケンサキイカについては外套背長を測定しなかった。

そして、ケンサキイカの漁獲尾数を漁具の延べ投入回数で除すことでCPUEを算出した。さらに、水温計(smart-ACT, JFEアドバンテック製)によって漁場の底層水温を測定し、CPUEと底層水温の関係を解析した。なお、2021年7月16日の調査結果については降雨による濁りの影響があり、¹³⁾ 他の調査と条件が異なるため、解析からは除外した。

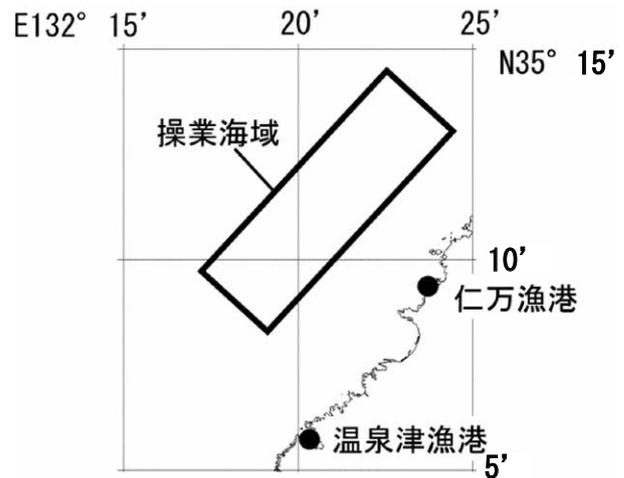


図3. 調査海域（日本水路協会発行の海底地形デジタルデータM7000シリーズを使用）

結果と考察

各試験操業日における漁場水深は91.7～102.6m、底層水温は14.9～20.1℃、漁具の使用個数は8～14個、漁具1個当たりの漂流時間は22～124分、投入回数は25～95回、ケンサキイカの漁獲尾数は1～49尾であった(表1)。ケンサキイカの外套背長については2021年が139～371mm、2022年が141～458mmの範囲にあった(図4, 5)。また、CPUEは0.01～0.78尾/回であり(表1)、試験操業を行った底層水温14.9～20.1℃の範囲においては18.1℃以上の時に高い傾向にあった(図6)。

次に、本調査とタル流し釣漁業が行われている福岡県¹¹⁾の操業方法を比較した。本調査での漁具の使用個数は8～14個、漁具1個当たりの漂流時間は22～124分であった。一方、福岡県では、漁具の使用個数は20個程度と本調査の約2倍、漁具1個当たりの漂流時間は60分であり、¹¹⁾一連の作業速度が速く、本調査に比べ効率的な操業が行われていると推察される。このことから、県内においても福岡県と同様の操業方法を実践することにより、ケンサキイカの漁獲尾数を増加させることが可能と考えられた。今後は福岡県でのタル流し釣漁業の操業実態について調査し、本研究における漁具の構成ならびに詳細な操業方法と比較を行う。そして、その結果を参考に漁具の構成ならびに操業方法を見直した上で、県内の沿岸自営漁業者による漁具貸与試験を行い、¹²⁾ケンサキイカの漁獲尾数、漁獲金額および操業経費を調査予定である。

表 1. 各試験操業日におけるタル流し釣漁業の調査記録

年	月	日	操業時間	緯度	経度	漁場水深 (m)	底層水温 (°C)	漁具の使用個数 (個)	漁具1個当たりの漂流時間 (分)	漁具の投入回数 (回)	ケンサキイカの漁獲尾数 (尾)	CPUE (尾/回)
2021	6	22	5:09~12:05	35° 10' 56''	132° 20' 22''	100.4	19.6	11	33~108	45	35	0.78
2021	7	16	5:03~11:55	35° 11' 08''	132° 20' 28''	102.2	19.6	14	25~124	48	9	0.19
2021	8	28	5:21~ 9:04	35° 11' 08''	132° 20' 28''	100.2	20.1	8	26~107	25	15	0.60
2022	4	19	5:51~14:35	35° 11' 02''	132° 20' 36''	97.0	14.9	8	32~55	95	1	0.01
2022	5	17	5:08~14:04	35° 12' 34''	132° 20' 50''	91.7	16.8	8	29~100	64	2	0.03
2022	7	26	5:08~13:13	35° 11' 00''	132° 20' 36''	98.6	18.1	8	27~65	86	49	0.57
2022	7	27	5:12~12:48	35° 11' 11''	132° 20' 23''	102.6	16.7	8	22~85	59	12	0.20

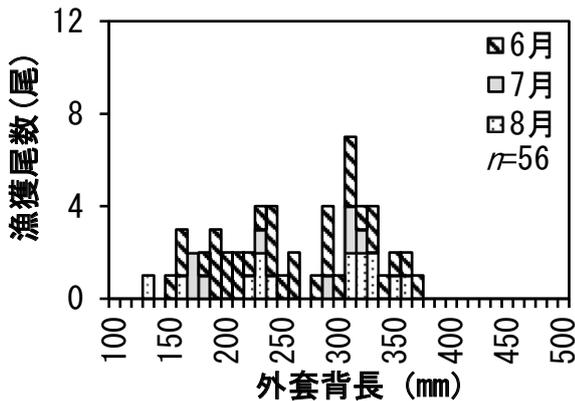


図 4. 2021 年の試験操業時に漁獲されたケンサキイカの外套背長組成

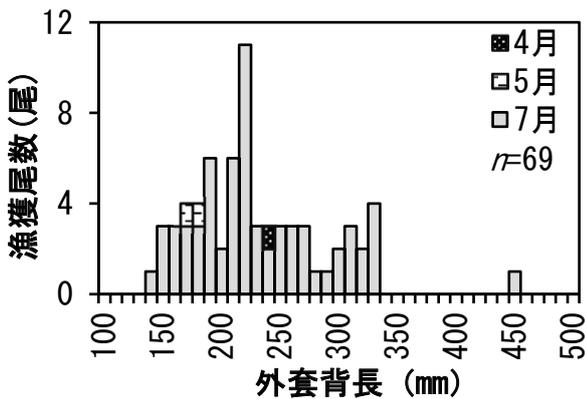


図 5. 2022 年の試験操業時に漁獲されたケンサキイカの外套背長組成

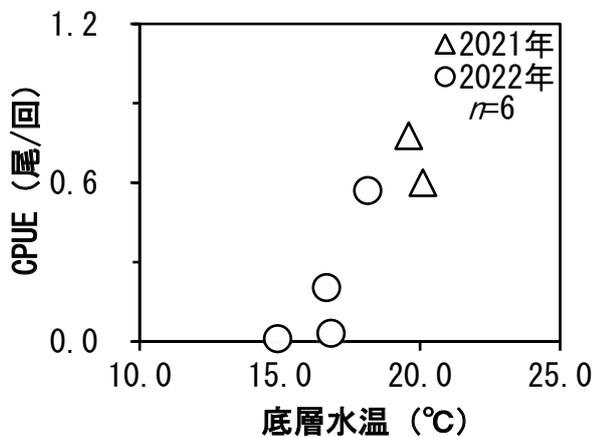


図 6. タル流し釣漁業の CPUE と底層水温の関係

謝辞

漁業協同組合 JF しまね益田支所の宮野 貢氏には、試験船「やそしま」においてタル流し釣漁業を技術指導頂いた。島根県水産技術センター内水面浅海部の小野充紀船長（現：島根県水産技術センター総合調整部）、藤田一成機関員（現：島根県水産技術センター総合調整部）には、試験船「やそしま」による試験操業、漁具作製に協力頂いた。島根県西部農林水産振興センターの川瀬翔馬水産業普及員（現：島根県沿岸漁業振興課）には、試験操業時の作業に協力頂いた。また、島根県水産技術センター内水面浅海部の清川智之主席研究員、島根県西部農林水産振興センターの木下 光主任水産業普及員には、本研究内容について議論頂いた。関係者の皆様には感謝の意を表する。なお、本研究は島根県一般研究課題「沿岸自営漁業者の所得向上支援プロジェクト（2021~2023 年度）」により実施した。

文献

- 1) 森脇晋平：日本海南西部沿岸海域におけるケンサキイカ *Photololigo edulis* の生態とその漁況に関する研究。島水試研報，**8**，1-111（1994）。
- 2) 村山達朗，若林英人，安木 茂，沖野 晃，伊藤 薫，林 博文：漁獲管理情報処理システムの開発。島水試研報，**12**，67-78（2005）。
- 3) 向井哲也，村山達朗，林 博文，向井雅俊：漁獲管理情報処理システムの改良。島根水技セ研報，**3**，85-90（2011）。
- 4) 村山達朗，沖野 晃，石田健次，若林英人，由木雄一：沿岸漁業の複合経営に関する研究-I-島根県におけるいか釣り漁業とはえ縄漁業の実態調査結果-。島水試研報，**13**，1-10（2006）。
- 5) 安木 茂：ケンサキイカ，「島根のさかな」（島根県水産試験場編），山陰中央新報社，島根，pp.

50-51.

- 6) 安木 茂：イカ釣漁業, 「島根のさかな」(島根県水産試験場編), 山陰中央新報社, 島根, pp. 113.
- 7) 島根県水産技術センター：沿岸自営漁業者の所得向上プロジェクト. 島根県水産技術センターだより, **16**, 6-7 (2021).
- 8) 河野光久・齋藤秀郎：日本海南西山口県沿岸域における近年のケンサキイカの資源生態と漁業実態の特徴的变化. 山口県水産研究センター研究報告, **2**, 77-85 (2004).
- 9) 河野光久：ケンサキイカタル流し釣りといか一本釣りの漁獲効率の比較. 山口県水産研究センター研究報告, **5**, 15-18 (2007).
- 10) 河野光久：ケンサキイカ *Photololigo edulis* の資源生態(総説). 山口県水産研究センター研究報告, **5**, 81-98 (2007).
- 11) 長本 篤：たる流し漁業におけるケンサキイカ漁獲特性. 福岡水海技セ研報, **31**, 29-34 (2021).
- 12) 島根県水産技術センター：沿岸自営漁業者の所得向上に向けて～ケンサキイカ樽流し釣り漁業の改良試験～. とびっくす, **111** (2023).
- 13) 寺戸稔貴, 清川智之, 川瀬翔馬, 新宅祐児, 開内 洋, 別所 大：沿岸自営漁業者の所得向上支援プロジェクト. 島根県水産技術センター年報令和3年度, **41** (2022).

本号掲載要旨

(報文)

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・二本木俊二・沖野 晃

江の川での養成アユの親魚放流による増殖効果を推定するための水槽実験を行った。2021年10月10日、人工産卵場を設置した実験水槽内にアユ親魚100尾(うち雌51尾)を収容した。10月22日から12月8日までの間、ふ化仔魚の採集を8回行い、2回目以降仔魚が採集された。2回目は仔魚を灯火採集し計数した。3回目以降、各調査日で灯火採集を10~11回繰り返し、環境条件の影響を除去したデータにDeLury法を適用し、仔魚尾数を推定した。調査期間中にふ化した仔魚は145万尾と推定された。実験水槽内と河川で水温を比較し、実際に江の川に親魚放流を行う場合でも同程度の仔魚数の産出が期待できると考えられた。

(資料)

2022年の江の川におけるアユの産卵場造成と産卵状況

寺門弘悦・谷口祐介・沖野 晃・二本木俊二

江の川での天然アユ資源の回復を図る取り組みへの技術支援の一環として、アユ産卵場の事前調査および産卵状況調査を行った。2022年8月下旬に本流・江の川下流の6地点および支流・八戸川で行った事前調査の結果、ハネノセ、谷住郷の瀬、長良の瀬および八戸川に産卵適地があり、その面積は合計405m²と推定された。この結果から産卵場の面積不足が懸念され、10月中旬に長良の瀬で重機による産卵場造成が行われた。10月下旬に行った産卵状況調査の結果、全調査地点でアユ産着卵が確認され、産卵面積は合計6,380m²であった。このうち産卵場造成を行った長良の瀬の産卵面積は2,065m²で、この年の主要産卵場と考えられた。

島根県沿岸域におけるケンサキイカ *Uroteuthis edulis* のタル流し釣漁業の導入に向けた基礎的調査

寺戸稔貴

県内のいか釣漁業は夜釣漁業が一般的だが、他県では設備投資額が低いタル流し釣漁業が日中に行われており、本漁法を導入することで操業の低コスト化が期待される。本研究では県内での本漁法の導入にかかる基礎的知見の収集を目的に試験操業を行った。各試験操業日のケンサキイカ漁獲尾数は1~49尾、漁具の使用個数は8~14個、漁具1個当たりの漂流時間は22~124分だった。また、福岡県では漁具の使用個数が20個程度と多めにもかかわらず漁具1個当たりの漂流時間が約60分と効率的な操業が行われていると推察される。県内でも福岡県と同様の方法を実践することで、ケンサキイカ漁獲尾数を増加させることが可能と考えられた。

他誌掲載論文の抄録

島根半島におけるワカメ養殖の交雑育種による高水温耐性株を用いた早期出荷による生産性向上への試み (英文)

金元保之・清川智之・佐々木 正
水産増殖, 71 (1) 9–22 (2023)

本研究では室内実験において交雑育種により選出したワカメの高水温耐性株とその対照株を高水温期, 中水温期および従来の沖出し時期に当たる低水温期に沖出しすることで, 高水温耐性株の有効性について検証した。まず, 高水温期に沖出しした対照株は激しく芽落ちした一方, 高水温耐性株は順調に生育したことから早期出荷の可能性が示唆された。また, 高水温耐性株による養殖試験では, 生鮮ワカメの取引価格が高い1月上旬に, 1個体当たりの平均重量が100gを超える出荷サイズの藻体が得られた。そのため, 高水温耐性株の現場導入により, 安定生産・生産性向上およびそれに起因する収益の増加が期待された。

島根半島における異なる餌環境下に生息するムラサキウニの年齢と成長 (英文)

金元保之・中村和磨

Regional Studies in Marine Science (2023)

島根半島の異なる餌環境下に生息するムラサキウニについて, 産卵期の推定および年齢査定を行った。生殖腺指数の季節変化から, 本種の産卵盛期は6月であることが示唆された。口器中間骨に観察される輪紋構造の出現時期から, 本種の輪紋形成は年1回, 概ね産卵盛期の6月頃から始まることが分かった。年齢と殻長データを種々の成長式に当てはめた結果, 藻場が繁茂する区域と磯焼け区域のデータを別々とした von Bertalanffy 式が最も当てはまりが良かった。そのため, 同一海域においても, 餌環境の相違が本種の成長に及ぼす影響は非常に大きいと考えられた。さらに, 標本の最高齢は25歳であり, 本種は非常に長寿命であることが示唆された。

編集委員長

安木 茂

編集委員

内田 浩・沖野 晃

事務局

岡本 満

島根県水産技術センター研究報告 第16号

2024年（令和6年）3月発行

● 編集・発行

島根県水産技術センター研究報告編集委員会

〒697-0051 島根県浜田市瀬戸ヶ島町25-1

TEL 0855-22-1720 FAX 0855-23-2079

● 印刷

柏村印刷株式会社

〒697-0034 島根県浜田市相生町3889

TEL 0855-23-2040 TAX 0855-22-3274

REPORT
OF
SHIMANE PREFECTURAL FISHERIES
TECHNOLOGY CENTER
NO. 16

CONTENTS

Original

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 1

Notes

Maintenace of spawning ground of ayu *Plecoglossus altivelis altivelis* and its spawning status
in the Gonokawa River in 2022
.....Hiroyoshi TERAKADO, Yusuke TANIGUCHI, Akira OKINO and Syunji NIHONGI 9

Basic survey of introduction of drift fishing the sword tip squid *Uroteuthis edulis* in Shimane coastal waters
.....Toshiki TERADO 17