

## 吉井川におけるアユの産卵場造成の効果と仔魚の流下時期における河川流量と翌年の遡上量との関係

山下 泰司・泉川 晃一・杉野 博之

Effects of spawning ground creation for Ayu *Plecoglossus altivelis altivelis* in the Yoshii river and the relationship between river flow in the downstream movement of Ayu larvae and anadromous population sizes in the following year

Yasushi YAMASHITA, Koichi IZUMIKAWA and Hiroyuki SUGINO

岡山県におけるアユ *Plecoglossus altivelis altivelis* の漁獲量は1990年代後半には500 t 前後であったが、2010年以降は100 t 未満で推移し、河川環境の変化、カワウ等による食害、冷水病の蔓延などが減少要因として考えられている<sup>1)</sup>。資源を増大させるため種苗放流やテグス張りによるカワウの食害対策の実施に加え、近年は産卵環境を人為的に改善させ、ふ化仔魚の増大を図る産卵場造成が取り組まれている<sup>2)</sup>。本県三大河川の一つである吉井川では、過去に地元漁業協同組合による造成があったものの、その後の産卵状況について定量的な調査はなかった。また、そこでふ化した仔魚は卵黄を消費する4、5日以内に餌料の豊富な海に流下する必要があるが<sup>3,4)</sup>、潮止堰上流の湛水域で仔魚が滞留し、海への到達は河川流量の影響を受けることが報告されている<sup>5)</sup>。本報では、吉井川での産卵場造成について、卵密度およびアユ親魚の蟄集状況調査により造成効果を検討し、ふ化後の流下について、産卵場から潮止堰までの流速調査と海域直前の仔魚の卵黄指数から初期生残における河川流量の重要性を考察した。さらに、地元漁業協同組合が毎年春季に収集していた天然遡上アユの採捕データから遡上量と前年秋季の河川流量との関係を解析し、産卵前後の流量が多いほど翌年のアユ遡上量が多くなる傾向が見られ、既報を補う知見が得られたので以下に報告する。

### 材料と方法

**産卵場の造成場所** 吉井川は、県東部を南北に流れて瀬戸内海に流入する幹川流路延長133kmの一級河川で、造成は河口から15.2kmに位置する吉井堰の下流部で実施した(図1(a))。これまでの報告では、河口から13km付近にも産卵場があるとされていたが<sup>6)</sup>、事前調査では土砂の堆積による環境の悪化に加え、好適な流速が

確認できなかったことから、吉井堰を最下流の産卵場とした。造成場所は、水深50cm程度と作業が容易で河床が固いと判断された場所を選定した(図1(a))。

**造成方法** 造成場所は中洲に位置し、バックホーといった重機の搬入が困難であるため、人力作業で造成した。2020年10月1日に13名で140m<sup>2</sup>程度の区域を鍬で耕耘し(図2)、所要時間は1時間程度であった。

**造成後の環境調査** 水深および流速が類似した対照区を図3のとおり設定し、調査は造成直後に実施した。河床材料は、図3(a)の6点で各25個の礫の長径を計測し、手で触れて容易に動くような礫を「浮石」、埋没している場合は「はまり石」、砂を「その他」と区分し、浮石の割合を確認した。貫入深度、水深および流速は図3(b)に示した造成区、対照区の各15点で計測し、貫入深度は1cmごとに目盛りを付けた30cmの鉄杭を河床に押し当て、穿孔した深さを記録した。水深は硬質ポリ塩化ビニル管に目盛りを付けた測定棒で測定し、流速はポータブル電磁流速計LP30(ケネックス社製)の計測部を河床直上に定位させ10秒間の平均値を記録した。なお、調査時における近傍の御休水位・流量観測所の水位は0.85mであった。

**卵密度調査** 9月30日から11月26日までの間、週1回程度の頻度で計9回、図3(a)に示した造成区および対照区の各3点で0.2×0.2mのコードラード内の礫を採集した。サンプルは70%エタノールで固定した後、実験室に持ち帰り、0.1%ローズベンガル溶液で染色してから卵を計数し、1m<sup>2</sup>当たりの卵数に換算した。また、他河川と比較するため県中部を流れる旭川の造成産卵場でも同様に調査した。

**水温の連続観測** 水温は、図3(a)の調査点に設置した自動観測装置HOBO Water Temp Pro (onset 社製)

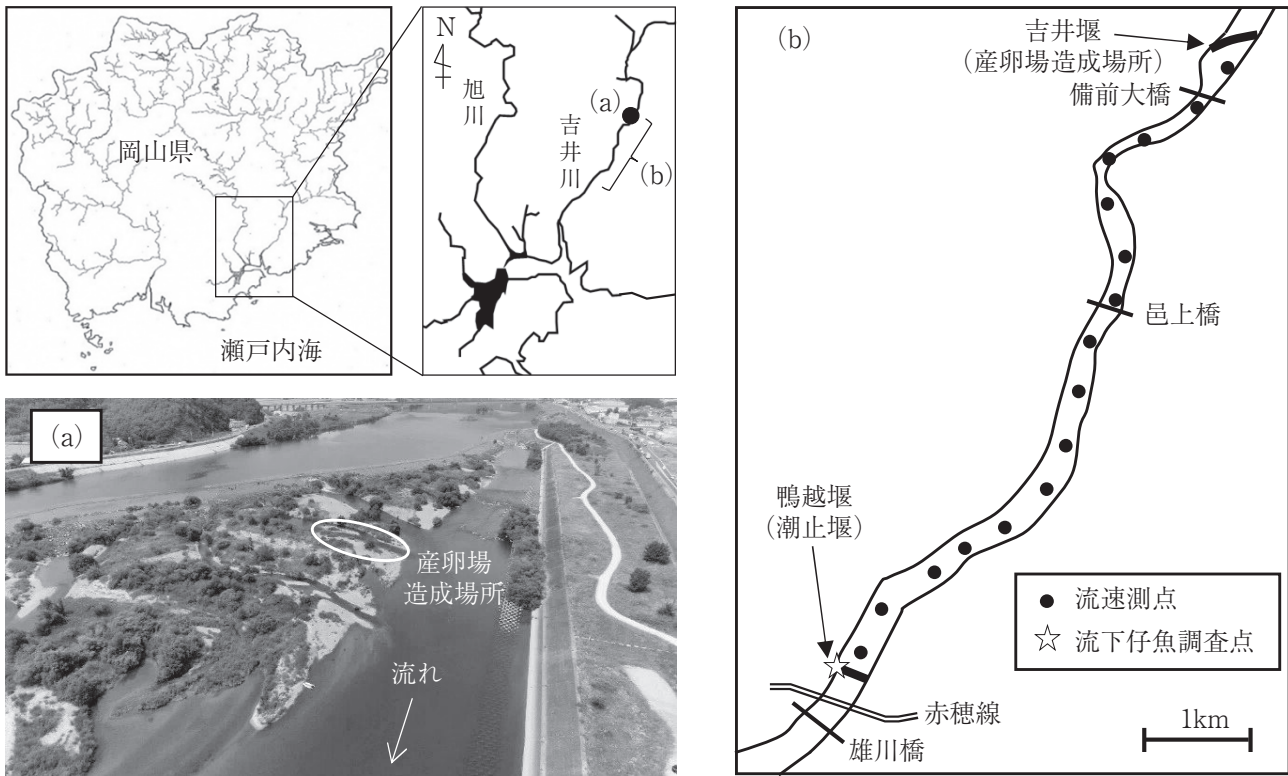


図1 調査対象区域および調査点  
 (a) 産卵場造成場所  
 (b) 流速調査の測点および流下仔魚調査点



図2 鍬を用いた産卵場造成

により30分間隔で計測し、1日当たり48個の計測値から日平均値を求めた。

**カメラによる水中撮影** 造成区域の水中に、タイムラプスカメラTLC200Pro (brinno社製) を1台設置し(図3(a)), 10月1日から11月26日までの間、14~17時に2秒間隔で静止画を撮影し、親魚の蝸集状況を調査した。

**産着卵の目視調査** 造成場所周辺の産卵状況を確認するため、11月11日に踏査を行い、産卵に適した河床を目視で探索するとともに、長径1~5cmの礫を手に取り、卵の有無を確認した。

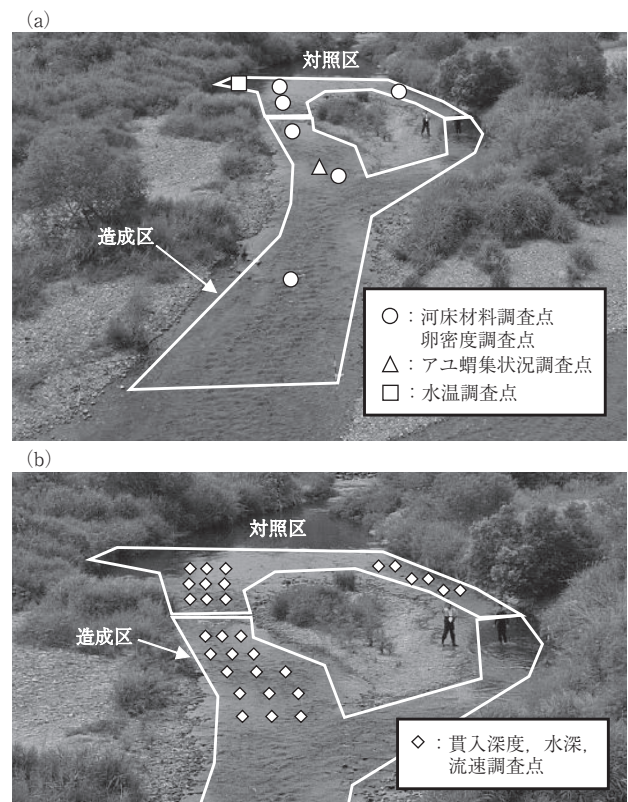


図3 造成区および対照区の調査点  
 (a) 河床材料、卵密度、アユ蝸集状況、水温  
 (b) 貫入深度、水深、河床直上の流速

**流速調査** 産卵場から潮止堰までの区間で仔魚が流下に要する日数を推定するため、河口から7.5~15kmの区間でおよそ0.5kmおきに16点を設定し(図1(b)),各点の表層流速を計測した。計測はゴムボートをアンカーで係留し、水深10cm層の流速について前述した流速計で10秒間の平均値を3回計測し、さらにそれを平均した。なお、調査における近傍の御休水位・流量観測所の水位は0.77~0.79mで、国土交通省の水文観測業務規程細則によれば低水位前後の水位であった。

**流下仔魚調査** 調査は、河口から7.4kmの潮止堰(鴨越堰)の右岸魚道で行った(図1(b))。11月に週1回の頻度で計4回、調査時間は18~20時とし、毎正時、20分および40分から各10分間、計6回採集した。サンプルは90%エタノールで固定した後、実験室で仔魚を計数するとともに、塚本<sup>7)</sup>に従い卵黄指数0~4に区分した。なお、卵黄部が損傷した個体については不明とした。各採集開始時に網口の中央部で前述した流速計を用いて10秒間の平均値により流速を測定し、次の式により濾水量と流下仔魚密度を算出した。

$$N = n / (600v \times s)$$

Nは1m<sup>3</sup>当たりの採集尾数、nは1回当たりの採集尾数、vは流速(m/秒)、sはプランクトンネットの網口面積0.125m<sup>2</sup>とした。

**流下仔魚調査の比較** '20年の流下仔魚量の多寡を検討するため、過去に同堰で実施された4年度分の調査結果<sup>5,8-10)</sup>と比較した。各年度で調査時間、期間および最高値を示した時期が異なったため、採集1回当たりの最高値で比較した。

**アユ遡上量と前年秋季の河川流量との関係解析** 吉井川の潮止堰では汲み上げ放流のため、春季に四つ手網漁業で遡上アユが採捕されており、'09年から'22年までの採捕データについて、採捕隻数および日数で除して隻・日当たりの採捕数量(CPUE)を算出した。なお、本報ではCPUEをアユ遡上量とみなした。前年秋季の河川流量については、国土交通省の水文水質データ<sup>11)</sup>から御休水位・流量観測所の'08年から'21年までの日平均流量データを取得し、年ごとに10, 11, 12月の平均流量を求めた。また、アユ産卵前後の河川流量を把握するため、

吉井堰産卵場付近で取得した過去の水温データに基づき水温20, 19, 18, 17℃を下回ってから各3, 4週間の平均流量データを算出し、解析に供した。アユ遡上量に正規性が認められなかったことから(Shapiro-wilk検定,  $p < 0.05$ ), 遡上量と河川流量との関係は、Spearmanの順位相関係数を求めた。

## 結 果

**造成後の環境** 造成および対照区の礫の長径、浮石の割合、貫入深度、水深および河床直上の流速を表1に示した。礫の長径の平均値と標準偏差は造成区で $8.4 \pm 3.8$  cm, 対照区は $8.3 \pm 4.1$  cm, 浮石の割合は、造成区が85%, 対照区が59%となり、造成区で浮石の割合が高かった。貫入深度、水深、流速(平均値±標準偏差)は、造成区が深度 $8.8 \pm 2.4$  cm, 水深 $43 \pm 9$  cm, 流速 $0.93 \pm 0.17$  m/秒, 対照区が深度 $7.2 \pm 4.0$  cm, 水深 $38 \pm 9$  cm, 流速 $1.17 \pm 0.17$  m/秒であった。

**卵密度および水温の推移** 造成および対照区の卵密度と河川水温の推移を図4に示した。10月下旬に卵密度の上昇が見られ、造成区では10月30日に約2,900粒/m<sup>3</sup>, 11月6日に約3,200粒/m<sup>3</sup>となり、対照区は同調査日でそれぞれ約400粒/m<sup>3</sup>, 約600粒/m<sup>3</sup>であった。水温は徐々に低下し、10月17日から11月10日にかけて産卵に適した14~19℃の水温帯<sup>3)</sup>となった。

**旭川の卵密度との比較** 吉井川および旭川各造成区の卵密度の推移を図5に示した。旭川でも10月下旬から卵密度が上昇し、11月6日には約48,800粒/m<sup>3</sup>が確認され、吉井川の10倍以上の値を示した。

**親魚の蜻集状況** 撮影期間中、散発的にアユの蜻集は確認されたものの、20cm未満と推定される小型のアユが多かった(図6)。

**産着卵の目視調査** 造成区周辺で産着卵が確認された地点を図7に示した。吉井堰では流れ込みが8本あり、それぞれで産卵に適した河床が確認され、そのうち2点で産着卵が確認された。

**産卵場から潮止堰までの流速調査** 産卵場から潮止堰までの区間における流速を図8に示した。流速は0.02~0.19m/秒で、潮止堰から約5kmの区間はほとんどの測

表1 造成および対照区の環境条件の比較

	礫の長径 (平均値±標準偏差, cm)	浮石の割合 (%)	貫入深度 (平均値±標準偏差, cm)	水深 (平均値±標準偏差, cm)	流速 (平均値±標準偏差, m/秒)
造成区	8.4±3.8	85	8.8±2.4	43±9	0.93±0.17
対照区	8.3±4.1	59	7.2±4.0	38±9	1.17±0.17

点で0.1m/秒未満となった。仔魚は主に夜間に流下するため<sup>12,13)</sup>、日没から日の出までを13.5時間とし、0.5kmごとの流速から所要時間を算出すると、この7.5kmの流下に要する日数は3.3日と推算された。

**流下仔魚の推移と卵黄指数** 潮止堰における流下仔魚密度の推移を図9に、4日間の調査で採捕された仔魚の卵黄指数を表2に、過去の調査データと比較した結果を表3に示した。'20年の流下仔魚密度は、11月11日に採集6回の平均値が0.18尾/m<sup>3</sup>となり最高値を示した。仔魚の卵黄指数は、指数1が1尾、指数0が141尾、不明が82尾であった。産卵場の卵密度は10月30日に上昇しており、その12日後の流下仔魚調査でその密度は最高値を示した。また、同堰における過去の調査結果と比較すると、1994年の5.6尾/m<sup>3</sup>、'12年の3.4尾/m<sup>3</sup>と比べて'20年の最高値は0.3尾/m<sup>3</sup>と低い値であった。

**アユ遡上量の経年推移** '09年から'22年までの四つ手網漁業による遡上アユCPUEの推移を図10に示した。年変動があり、'18年に7.7kg/隻・日と卓越年が見られた。

**アユ遡上量と前年秋季の河川流量との関係** アユ遡上量と前年秋季の河川流量との関係を表4に示した。遡上量は10月の河川流量 ( $r = 0.58, p = 0.030$ ) および水温19℃を下回ってから3週間の河川流量 ( $r = 0.57, p =$

0.034) との間に有意な正の相関が見られた。

考 察

吉井川の最下流のアユ産卵場において、河床環境が不適な区域を選定し手作業による造成を行ったところ、浮石の割合の増加と卵密度の上昇が見られた(表1, 図4)。一方、旭川の造成と比べて低い卵密度であり(図5)、吉井川での造成効果は十分なものとは言えなかった。水中カメラによる親魚の蝟集状況を見ると、主に小型のアユが確認され(図6)、20cmを超えるような大型魚は確認されなかった。地元漁業協同組合から、過去の造成では親魚の蝟集が目視で確認できたとの情報を得たが、計9回の現地調査でそのような光景を観察できなかった。また、周辺を踏査したところ、産卵に適した河床の点在与産着卵が確認されたことから(図7)、造成区以外で産卵のあった可能性があり、吉井堰全体では好適な産卵環境が点在するため、造成後の産卵の成否は親魚の蝟集状況に左右されると考えられた。一方、潮止堰の流下仔魚調査では過去の調査と比べて仔魚の密度が低かったことから(表3)、親魚と産卵量の絶対数が少なかった可能性も考慮する必要がある。親魚量および蝟集区域の把握が課題として残された。

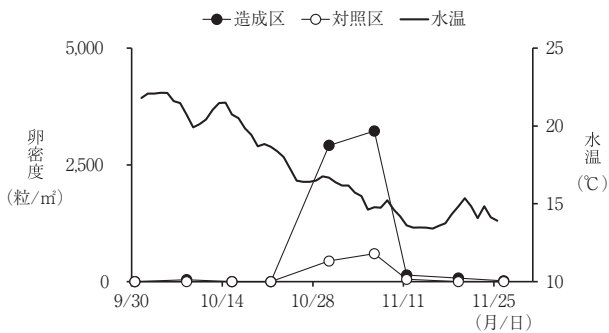


図4 卵密度および水温の推移

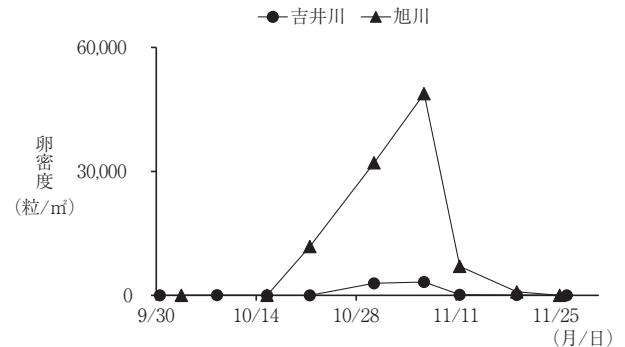


図5 吉井川および旭川造成区の卵密度の推移



図6 吉井川造成区に蝟集した親アユの状況



図7 目視調査で確認された造成区周辺の産着卵

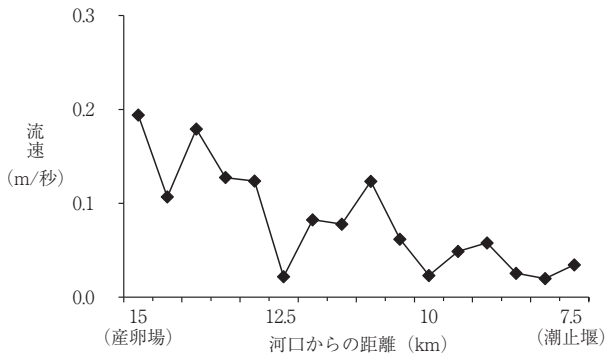


図8 産卵場から潮止堰までの区間における0.5kmごとの表層流速

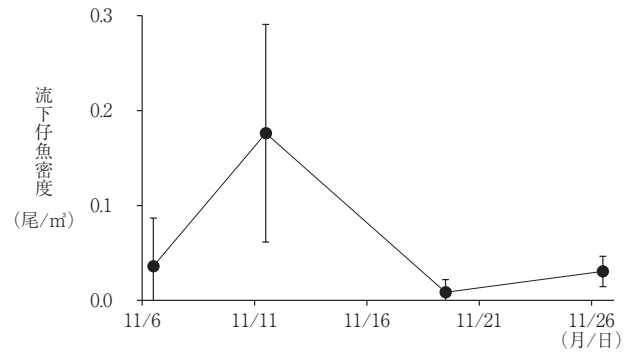


図9 潮止堰における流下仔魚密度の推移 (図中の範囲は標準偏差を示す)

表2 潮止堰における卵黄指数別の仔魚数および比率

卵黄指数	11月6日		11月11日		11月19日		11月26日		計	
	尾数	比率	尾数	比率	尾数	比率	尾数	比率	尾数	比率
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	3.4	0	0	0	0	0	0	1	0.4
0	13	44.8	105	72.9	5	22.7	18	62.1	141	62.9
不明	15	51.7	39	27.1	17	77.3	11	37.9	82	36.6
計	29	100	144	100	22	100	29	100	224	100

表3 吉井川潮止堰における流下仔魚調査の比較

調査年度	調査期間	期間中の最高密度 (尾/m³)	最高密度の確認日 (月/日)
1994	10/5~12/21	5.6	11/24
1997	9/25~12/4	0.7	10/28
2007	9/27~1/16	0.2	11/15
2012	11/8~11/19	3.4	11/15
2020	11/6~11/26	0.3	11/11

表4 アユ遡上量と前年秋季の河川流量との関係

前年秋季の河川流量の項目	Spearmanの順位相関係数 (2009~2022年のアユ遡上量との関係)
10月平均流量	0.58 *
11月平均流量	-0.09
12月平均流量	0.08
水温20℃を下回ってから3週間の平均流量	0.45
水温20℃を下回ってから4週間の平均流量	0.38
水温19℃を下回ってから3週間の平均流量	0.57 *
水温19℃を下回ってから4週間の平均流量	0.52
水温18℃を下回ってから3週間の平均流量	0.39
水温18℃を下回ってから4週間の平均流量	0.17
水温17℃を下回ってから3週間の平均流量	0.14
水温17℃を下回ってから4週間の平均流量	0.17

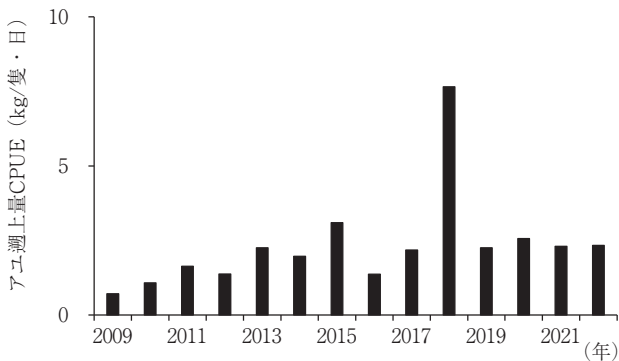


図10 吉井川のアユ遡上量の経年推移

\* :  $p < 0.05$

潮止堰での流下仔魚調査では、11月11日に仔魚の最高密度が見られ（図9）、造成産卵場では10月30日に卵密度が上昇していた（図4）。アユのふ化時間は、水温17℃前後であれば245～260時間とされ<sup>14)</sup>、ふ化に要する日数は10日程度となる。この期間の平均水温は15.3℃であり、所要日数は長くなると思われるが、卵密度の上昇時期と仔魚の流下盛期の時系列は概ね一致した。産卵場から潮止堰までの流速調査では、低水位前後に相当する流況で流下に3.3日を要すると推算されたが、流軸上での計測値であり、仔魚が順調に流れに乗るとは限らない。また、高橋ら<sup>15)</sup>によると産卵場の礫間から仔魚が水中に浮上するのに時間を要する場合があり、流下時間はさらに長くなる。吉井川最下流の産卵場でふ化した場合でも、海域への流下までに多数の仔魚が減耗していると推察され、現に今回の流下仔魚調査で採捕された判定可能な仔アユの99%が卵黄指数0であった（表2）。'12年11月15日の流下仔魚調査では、卵黄指数0が70%、指数1が20%、指数2が10%となっており<sup>5)</sup>、その日の御休水位・流量観測所の河川流量は31.5m<sup>3</sup>/秒と本調査時の25.1m<sup>3</sup>/秒より多かった。6.4m<sup>3</sup>/秒の増水が卵黄指数の割合に違いをもたらしたかは、データを積み重ねて検討する必要があるものの、吉井川での初期生残における河川流量の影響は考慮すべき要因と考えられる。

産卵場造成後に卵密度が上昇したのは水温16～18℃台の間であった（図4）。'09～'22年のアユ遡上量への影響について河川流量に着目して解析したところ、水温19℃を下回ってから3週間の河川流量との間に有意な正の相関が見られ（表4）、アユが降河および産卵し、ふ化した仔魚が流下する期間において河川流量が重要であることを補う結果であった。一方、春季の遡上を迎えるまでの間、海域で成長するアユにとって、冬季の成育環境も重要である。既往知見では、仔魚の分布の集散や餌料環境が初期生残に影響するとされているが<sup>16,17)</sup>、吉井川の遡上量にこれらの要因が影響するのであれば、河川流量との単回帰の関係性は低くなると思われる。今後、海域の餌料環境などを調査し、初期生残における制限要因を明らかにする必要がある。

吉井川の潮止堰は生活用水をはじめ利水上、重要な施設となっている。堰上流部の湛水区間は仔魚にとって厳しい環境であるものの、有効な対策の立案は容易でない。本県では西部の高梁川でも同様な課題を抱えており、湛水域に滞留した仔魚が工業用水の取水口に迷入するのを防ぐ対策が検討されている<sup>18)</sup>。堰と共存しながらアユ資源を回復させるため、吉井川でも仔魚の減耗対策を検討

する必要がある。

## 要 約

1. 吉井川の下流のアユ産卵場において、河床環境が不適な区域で人力作業による産卵場造成を行った。造成効果を調査するとともに、ふ化した仔魚の流下状況を検討するため、産卵場から潮止堰の区間における流速調査と潮止堰での流下仔魚調査を実施した。
2. 産卵場の造成後、浮石の割合の増加と卵密度の上昇が見られたが、旭川の卵密度の10分の1以下であり、造成区以外の場所で産卵のあった可能性が考えられた。
3. 吉井堰での卵密度の上昇時期と潮止堰での仔魚の流下盛期の時系列は概ね一致した。
4. 産卵場から潮止堰までの流速調査と潮止堰の仔魚の卵黄指数の結果から、低水位前後の河川流量では海域までの流下において多数の仔魚が減耗していると推察された。
5. 産卵期および仔魚の流下時期の河川流量が多いほど、翌年春季のアユ遡上量が多くなる傾向が見られた。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、産卵場造成および遡上アユの採捕データの提供に協力いただいた吉井川南部漁業協同組合の皆様には厚くお礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 岡山県, 2022: 岡山県水産振興プラン2022, 岡山県水産課HP, [https://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/510609\\_3913560\\_misc.pdf](https://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/510609_3913560_misc.pdf), 2023年6月26日.
- 2) 岡山県, 2022: 岡山県版アユの産卵場造成マニュアル, 岡山水研HP. <https://www.pref.okayama.jp/uploaded/attachment/337167.pdf>, 2023年6月26日.
- 3) 落合 明・田中 克, 1986: アユ, 新版魚類学(下), 恒星社厚生閣, 東京, pp.465-474.
- 4) 兵藤則行・関 泰夫, 1985: 海産稚仔アユに関する研究 - II 流下仔アユの生残におよぼす絶食の影響(1), 新潟県内水面水産試験場調査研究報告, 12, 15-22.
- 5) 近藤正美・増成伸文, 2013: 吉井川におけるアユの産卵場と流下に係る問題, 岡山水研報, 28, 35-38.
- 6) 岡山県, 2016: 岡山県アユ資源調査報告書, 岡山水研HP. <https://www.pref.okayama.jp/uploaded/attachment/339443>.

- pdf, 2023年6月26日.
- 7) 塚本勝巳, 1991: 長良川・木曾川・利根川を流下する仔アユの日齢, 日水誌, **57**, 2013-2022.
  - 8) 濱崎正明・増成伸文・福田富男, 1995: 吉井川鴨越堰におけるアユの流下仔魚調査 (1994年), 岡山水試報, **10**, 20-23.
  - 9) 萱野泰久・篠原基之, 2000: 岡山県における近年のアユふ化仔魚の降下状況, 岡山水試報, **15**, 43-46.
  - 10) 元谷 剛・杉野博之・亀井良則, 2008: 吉井川におけるアユのそ上, 流下仔魚調査 (2007年度), 岡山水試報, **23**, 105-109.
  - 11) 国土交通省, 2023: 水文水質データベース, 国土交通省HP, <http://www1.river.go.jp/>, 2023年6月26日.
  - 12) 兵藤則行・関 泰夫・小川茂生・片岡哲夫・星野正邦, 1984: 海産稚仔アユに関する研究-I -仔アユの降下状況について-, 新潟県内水面水産試験場調査研究報告, **11**, 41-50.
  - 13) 田子泰彦, 1999: 庄川におけるアユ仔魚の降下生態, 水産増殖, **47**, 201-207.
  - 14) 川本信行, 1978: 養魚学各論 改訂版, 恒星社厚生閣, 東京, 238-239.
  - 15) 高橋勇夫・藤田真二・東 健作・岸野 底, 2020: 産卵床の礫間から表流水への浮上が遅滞するアユ仔魚, 応用生態工学, **23**, 47-57.
  - 16) 八木佑太・美藤千穂・舟越 徹・木下 泉・高橋勇夫, 2006: 土佐湾沿岸域におけるアユ仔魚の分布および食性, 日水誌, **72**, 1057-1067.
  - 17) 田子泰彦・飯田直樹・渡辺孝之, 2019: 異なる餌密度で飼育したアユ仔魚の初期生残率, 水産増殖, **67**, 285-287.
  - 18) 高梁川生態系回復に向けた検討会, 2023: 令和4年度高梁川生態系回復に向けた検討会報告書 (高梁川水産動植物生息実態調査報告書), 岡山, 15-25.