

(資料8-2)

太田川における天然アユの遡上数推定調査・解析業務

広島市委託調査報告書（速報）

2020年7月

河川生態調査 岸野底

目 的

2020年の太田川本川（大芝・祇園水門～吉ヶ瀬堰：図1）における天然アユの遡上数を推定し、2018年度に河川の適正収容量から算出した目標値（71万尾）と比較する。なお、本委託業務は、広島市が進めている太田川再生事業の一環として行うものである。

材料と方法

目的を達成するためには、まず、海域からの遡上が概ね終了した時期に、調査範囲（大芝・祇園水門～吉ヶ瀬堰）のアユ生息数を推定する必要があった。太田川において天然アユの遡上が終了する時期は、概ね5月下旬～6月中旬と考えられるが、太田川では6月1日にアユ漁が解禁されるため、調査時期は5月下旬が妥当と判断し、調査は2020年5月27～29日に実施した。また、調査範囲の流程距離は40km以上に及び（図1、2）、この広範囲にわたるアユ生息数を推定する方法は、潜水観察に絞られた。以下に、潜水観察によってどのようにアユ生息数を推定し、いかに天然アユ遡上数を推定したかを詳述した。

生息密度 調査範囲の河川勾配図を作成すると、勾配の変曲点が3つ認められた（図2）。勾配が強くなるほど、瀬の流れは速く、瀬の面積比率は高く、河床の礫サイズは大きくなる

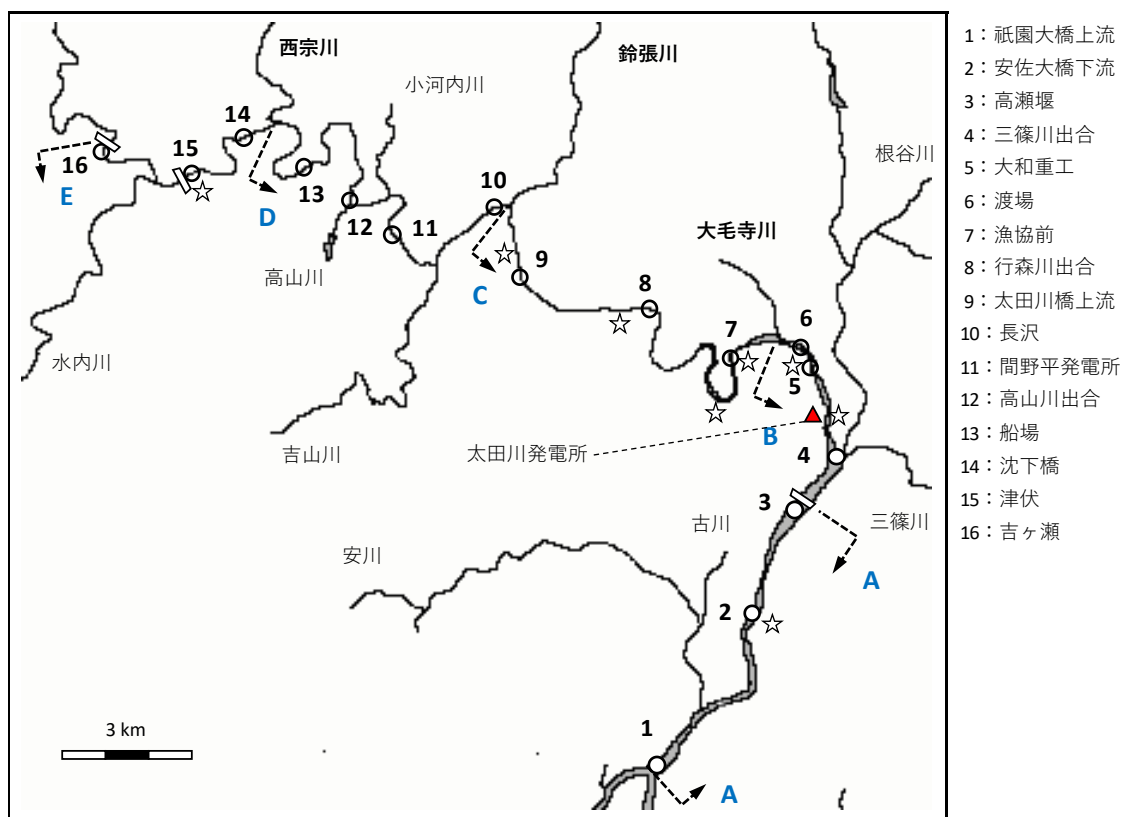


図1. 調査範囲の地点位置と区間区分。星マークは由来判別用標本の採集位置。

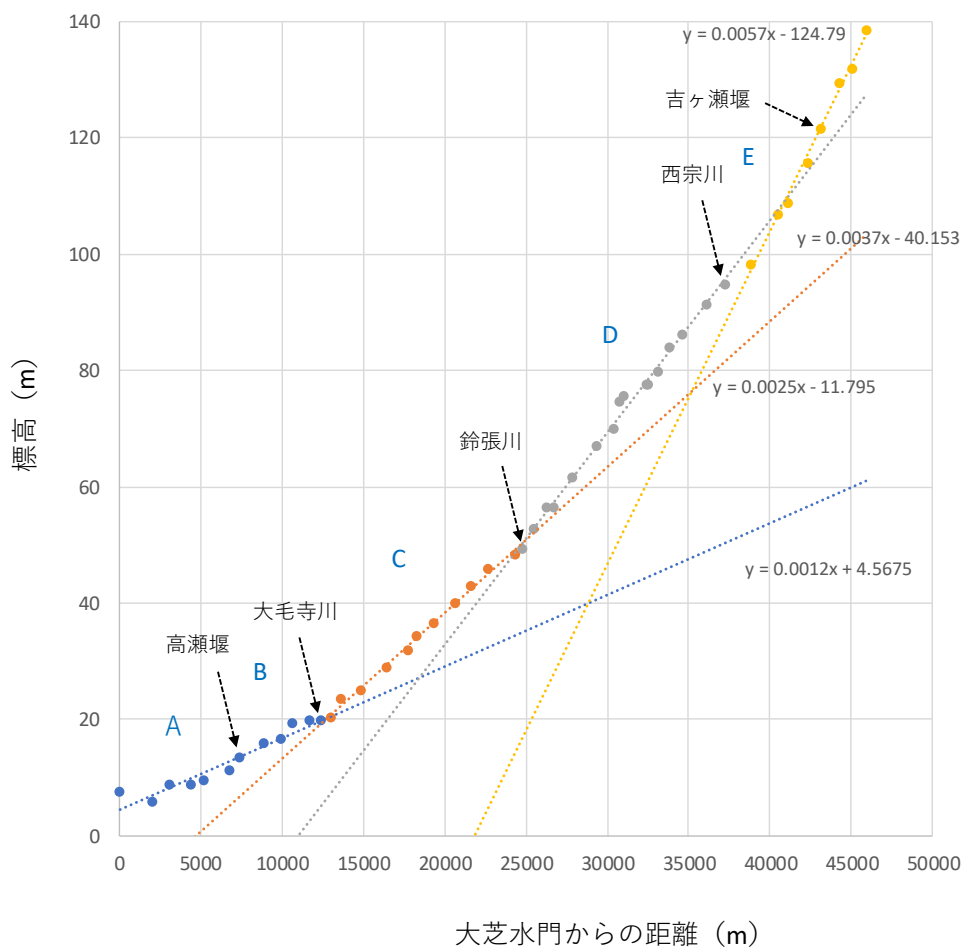


図2. 調査範囲の河川勾配図.

ため、アユ生息環境は勾配によって変化すると考えられ、調査範囲の3つの勾配の変曲点を基に、調査範囲を4区間に分割した。ただし、最下流の区間には高瀬堰が既設され、堰の両岸には魚道が併設されるものの、堰は、アユ遡上を程度の差はあれ阻害する可能性があった。このため、最下流の区間は高瀬堰を境にさらに細分した。以上から、調査範囲を5区間に区分して、下流から順にA～E区とした(図1)。

各区間において、地点を最低3点設け、合計16地点を調査対象とした(図1)。それぞれの地点には瀬と淵が1セットあり、瀬と淵それぞれにおいて、最低4ラインを横・縦断方向に設定した。各ライン上を潜水観察して確認したアユ個体数を記録し、ライン距離(レーザー距離計により適宜測定)と観察幅(=透視度(潜水して魚種を識別できる距離))からアユ生息密度を求めた。このようにして、各地点には瀬と淵それぞれについて最低4ラインのアユ生息密度が得られ、瀬と淵ごとにそれらを平均した値をその地点の生息密度とした。各区間の生息密度は、区間内に含まれる各地点の平均生息密度をさらに平均することによって求めた。

潜水観察によって視認できるアユ個体数は、透視度によって変化し、透視度が <2.1 , $2.1\sim 3.0$, $3.0 < m$ の時におけるアユの発見率は、それぞれ 50, 70, 100%と報告されている（高橋・岸野, 2017）。本調査ではこの透視度による発見率によって補正した個体数を用いて生息密度を算出した。また、各地点では調査時に棒状アルコール温度計によって水温を測定した。

水面面積 先の瀬と淵ごとのアユ生息密度に水面面積を乗じることによってアユ生息数は推定される。このため、調査範囲の瀬と淵それぞれの水面面積を知る必要があり、以下のような方法で水面面積を求めた。まず、インターネット上で公開される調査範囲の空撮映像（Google Map）を事前にプリントアウトして図面とし（約 1/13000 スケール）、白波の有無と流路の蛇行を基に瀬が形成される位置をこの図面上にチェックした。このチェックした瀬の位置と規模（流路長）を、潜水観察を実施する直前（5月27日）に現地にて確認し、それらを必要に応じて図面上に加筆、訂正した。後日に、この図面を基にして、パソコン上の空撮映像から瀬と淵の水面面積を Google earth によって求めた。Google earth は直線距離だけでなく、複雑な地形の面積も得られるため、水面面積を知るには便利なソフトであった。

天然率 以上のようにして求めたアユ生息数には、天然遡上したアユばかりでなく人工（放流）アユも含まれていた。したがって、天然遡上だけのアユ生息数を知るためには、そこに生息するアユの天然率（天然アユ尾数 / 総アユ尾数）を知る必要があった。そこで、2020年5月25, 26日に、図1に示した8地点（星マーク）において、由来判別用にアユを釣獲（引っ掛け漁）し、これら供試魚の全長、体長、体重、側線上方横列鱗数（背鰭第5軟条起点）、下顎側線孔などについて計測、観察した。

広島市は太田川に放流される人工アユの側線上方横列鱗数が17枚以下という特徴を捉えており、本調査でも側線上方横列鱗数が17枚以下の個体を人工アユ、18枚以上を天然アユと判断して、釣獲した供試魚を由来判別し、この結果を基に天然率を求めた。以上のようなアユのサンプリングならびに計数形質の観察は、広島市と太田川漁業協同組合によって実施された。

天然アユ遡上数の推定 これまでのように、調査範囲を5区間に区分し、区間ごとのアユ生息数を推定し、それらの和を調査範囲のアユ全生息数とみなした。この全生息数に天然率を乗じて天然アユ遡上数を推定した。

結果および考察

調査範囲の概要 調査範囲の河川勾配は0.1~0.6%であり（図2）、この勾配は、河川形態型でいう Bb 型に相当した（水野・御所, 1993; 永山ほか, 2015）。このため、調査範囲のほぼ全行程がアユの生息適地であった。ただし、最下流の地点1は感潮域に位置し、アユの古いハミ跡がわずかに認められるものの、アユは瀬淵ともに全く認められなかった。このため、

表 1. 各調査地点における潜水条件.

区間No.	地点名	地点 No.	水温 (°C)	透視度 (m)	発見率 (%)	調査日
A	祇園大橋上流	1	17.6	1.9	50	5月28日
	安佐大橋下流	2	17.7	2.2	70	
	高瀬堰	3	17.4	2.2	70	
B	三篠川出合	4	20.3	2.5	70	5月28日
	大和重工	5	21.1	2.5	70	
	渡場	6	22.4	2.5	70	
C	漁協前	7	21.3	2.4	70	5月28日
	行森川出合	8	22.1	2.7	70	
	太田川橋上流	9	21.3	2.7	70	
D	長沢	10	17.7	2.5	70	5月29日
	間野平発電所	11	18.0	2.5	70	
	高山川出合	12	17.5	2.5	70	
	船場	13	17.2	2.5	70	
E	沈下橋	14	17.3	2.6	70	5月27日
	津伏	15	16.3	2.4	70	
	吉ヶ瀬	16	18.1	2.4	70	
平均			19.0	2.4	69	

地点 1 での調査の必要性に対し、今後検討の余地があった。

全ての地点において、カワシオグサ（糸状緑藻）が瀬淵ともに認められ、特に淵では藻長が 20 cm を超える藻体も珍しくなく、岸際の全面を覆うように旺盛な繁茂を見せている地点さえあった。一方、瀬ではカワシオグサが少なかったが、剥離後のようであり、調査時にはかなりの密度で繁茂していたようであった。調査時には、カワシオグサはやや褐色を呈していたため、以降は衰退すると見受けられた。

調査範囲には横断工作物が 3 基認められた（図 1）。最下流の高瀬堰（地点 3）には兩岸に階段式魚道が付随し、勾配は緩く、呼び水も魚道下端の側方に放水され、効果的にアユは遡上すると考えられた。高瀬堰を通過したアユは、その後 30 km 以上にわたり移動障害はなく、下流から 2 つ目の堰は津伏（地点 15）に現れた。この津伏堰には左岸端に舟通し型魚道が既設されるが、魚道の幅は狭く、通水量が多すぎるために効果的な遡上は望めなかった。津伏から上流 3 km にも満たない位置に 3 番目の吉ヶ瀬堰（地点 16）が現れた。この堰には右岸側に階段式魚道（つづら折れ）が併設されており、ある程度の遡上効果を期待できた。また、堰全体の落差は約 1 m と比較的 low、越流部が広くて落水はわずかながら傾斜が付くため（垂直に落水せずに剥離流は生じにくい）、遊泳力の高い個体は越流部をも遡上可能と思われた。以上、調査範囲にある 3 基の横断工作物の中で、最も移動障害となるのは津伏堰であったが、これさえも、アユの遡上を完全に阻むものではなく、調査範囲は全体を通してアユの遡上が可能であった。

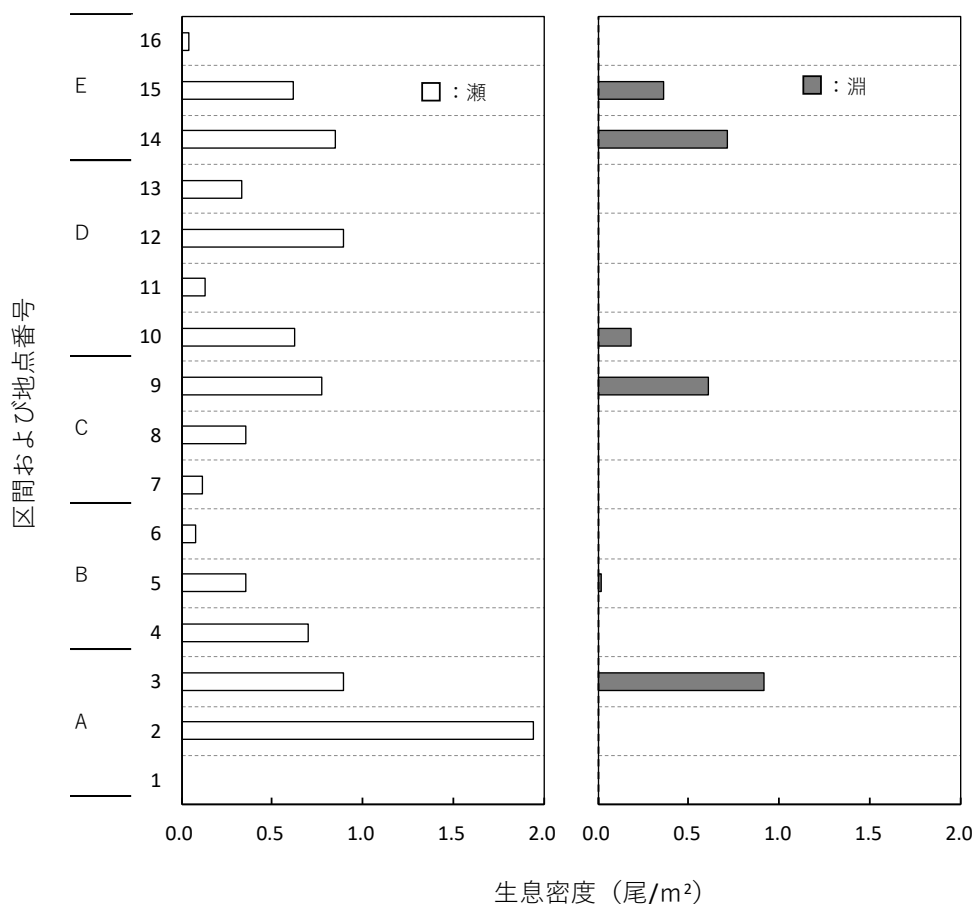


図3. 各調査地点における瀬と淵における生息密度 (透視度補正済).

潜水条件 潜水観察時の各地点の水温、透視度（潜水して魚種を識別できる距離）および透視度に伴うアユ発見率を表1に示した。水温は平均19.0℃（範囲：16.3～22.4℃）であった。通常、河川水温は下流側ほど高くなるが、高瀬堰の下流区間（A）は、その上流区間（B）よりも平均水温が3.7℃も低く、A区の低水温は特筆に値した。また、全体的には中流部のB、C区で水温は20℃以上と高く、その上下流のA、D、E区の水温は20℃未満と低く、水温の流程変化は通常と異なった。また、冷水病を発症する水温は概ね14～21℃であり、17℃前後での発症例が多いとされる（アユ冷水病対策協議会、2008）。このため、水温の低いA、D、E区は、冷水病を特に発症しやすい水温帯であった。ただし、冷水病を発症した可能性のある個体（体側の穴あき、うっ血、口唇のただれ）は、調査範囲においてわずかに散見できる程度であった。広島市によると、調査時まで冷水病による大量斃死は無かったようである。

透視度の平均値は2.4m（範囲：1.9～2.7m）であり、最下流の地点1を除くと、いずれの地点も透視度は2.2m以上あり、大都市近郊を流れる河川としては比較的良好な透視度を示した。このため、調査範囲は潜水観察といった調査法に耐えうる透視度を備えていた。ただし、潜水観察によって得られたアユ個体数はいずれの地点も発見率によって補正する必要

があり、その発見率は70%であった。

生息密度 透視度によって補正したアユ生息密度を、調査した全16地点の瀬と淵に分けて図3に示した。全地点の平均密度は瀬で0.54尾/m²であり、淵で0.18尾/m²であり、特に淵では生息密度が低かった。通常、横断工作物直下は多くのアユが滞留するが、それに該当する地点3, 15, 16でさえ、瀬淵ともに他の地点より明らかに生息密度が高いといった状況は観察されなかった。淵では、16地点中10地点でアユを全く確認できず、このことが、淵の低密度に大きく影響した。確かな因果関係は不明であるが、淵の岸沿いや水深の浅い場所ではカワシオグサが繁茂しており、アユの餌となる珪藻が生育できない状態の場所が広い地点もあった。このため、今後カワシオグサの被度も調査対象にすべきと考えられた。また、カワシオグサが少なく、岩盤や護岸が露出している場所でも、多くの地点の淵ではハミ跡が認められなかった。

比較的アユを確認できた瀬について、生息密度の流程変化（流程分布）を概観すると、最下流のA区でやや高密度であるが、それより上流の流程による密度変化は一定の傾向を見いだせなかった。この流程分布から、遡上量の多少を期間的に推測すると、アユの遡上は5月に盛期を迎え、3, 4月の遡上量は比較的少なく、かつ、3, 4月には盛期がなかったようであった。この推測は、通常のアユ遡上量の時期的変化から逸脱しており、調査範囲の流程分布は遡上期間中の時期的なアユ遡上量の多少を反映しておらず、他の要因に起因する可能性が高かった。

推定生息数 A～Eの区間ごとの水面面積と河床型別の平均生息密度から推定した各区間のアユ生息数を表2にまとめた。調査範囲におけるアユの生息数は瀬で35万尾、淵で34万尾の計69万尾であった。全水面面積に対する瀬の面積比率が平均30%であることを勘案すると、70%の水面面積を有する淵での生息数が瀬と同レベルであったことは、淵における生息数が少なすぎることを示した。流程的には、調査範囲の下流側であるA～C区で全生息数の約70%を占め、上流側（D, E区）における生息数は少なかった。

表2. 各区間の水面面積と平均密度から推定した生息数

区間	区間内の 地点No.	流程 (m)	平均川幅 (m)	水面面積 (m ²)	瀬の面積 比率 (%)	平均密度(尾/m ²)		推定生息数 (尾)		
						瀬	淵	瀬	淵	合計
A	1～3	7,638	96	729,811	14	0.95	0.31	95,775	192,217	287,992
B	4～6	5,009	89	447,274	16	0.37	0.01	26,615	2,139	28,754
C	7～9	11,775	56	662,138	33	0.41	0.20	90,017	90,411	180,428
D	10～13	13,007	37	478,199	37	0.49	0.04	87,995	13,473	101,468
E	14～16	5,898	37	215,349	43	0.50	0.36	46,745	43,781	90,526
合計 (平均)		43,327	(63)	2,532,771	(29)	(0.55)	(0.18)	347,148	342,021	689,169

由来判別 図1に示した8地点(星マーク)で潜水観察直前に由来判別用に釣獲したアユは、A区で35個体、B区で23個体、C区で41個体、D区でND、E区で34個体の合計133個体であった。流程的な供試魚の数は下流側(A~C区:計99個体(75%))で多く、上流側(D、E区:34個体(25%))で少ないが、幸いにも、この流程的な供試魚の数は、先の潜水観察で得られた生息数の流程分布(下流側70%、上流側30%)と概ねバランスが取れていた。このため、潜水観察で推定した調査範囲の全生息数に、133個体の天然率を乗じて天然アユ遡上数を推定しても大きな問題はないと判断した。

甲田ほか(2015)は、高瀬堰下流で採集した産卵親魚75個体について耳石Sr:Ca比分析を行った結果、21個体が人工由来、54個体が天然由来であったとし、それらを、側線上方横列鱗数17枚を基準に由来判別している(17枚以下:人工;18枚以上:天然)。その結果、耳石によって人工由来と断定した個体にも側線上方横列鱗数が18枚以上の個体は4/21個体(正解率81%)、逆に、耳石によって天然由来と断定した個体にも側線上方横列鱗数が17枚以下の個体は4/54個体(正解率93%)含まれていたと報じている。

占部・海野(2018)は、東北地方から中国・四国地方にかけての、人工アユ7集団と天然アユ7集団(回遊型5集団;陸封型2集団)の様々な計数形質を比較した結果、背鰭第1条を起点とした側線上方横列鱗数が19枚以上を天然アユ、18枚以下を人工アユと仮定した場合、人工アユ7集団の正解率は96%(201/210個体)、天然アユ7集団の正解率は97%(204/210個体)であり、全体の正解率は96%(背鰭第5条を起点とした場合の正解率も同値)であることを示し、由来判別には側線上方横列鱗数を採用することを推奨している。

以上のように、側線上方横列鱗数は人工アユと天然アユを判別するのに有効な形質であり、特に、天然アユを判別する時の正解率は93%以上と高い。このため、本調査でも側線上方横列鱗数(第5軟条起点)を判別形質として用い、広島市に従って17枚以下を人工アユ、18枚以上を天然アユとして扱った。その結果、本調査で由来判別用に釣獲した全133個体のうち側線上方横列鱗数が18枚以上の個体は128個体であり、天然率は96.2%であった。

天然アユ遡上数 潜水観察によって推定した調査範囲のアユ生息数は合計69万尾であった(表2)。これに先の天然率96.2%を乗じると、66万尾(662,980尾)となって、この尾数が天然遡上アユと推定された。広島市が2018年度に設定した調査範囲の天然アユ遡上数の目標値は71万尾であり、2020年の天然アユ遡上数はその目標値の達成に5万尾が不足した。

放流アユの生残率 山本・松宮(2001)は、千曲川の天然遡上のない漁場において、1997年と1998年にDeLury法(除去法)を用いて資源量を推定し、放流から解禁までの放流アユの生残率がそれぞれ13.0、36.9%であったことを示している。彼らは、この生残率を検証するために、他者が行った生残率を参考に行っているが、その中で、群馬県水産試験場が1982~1984年に行った標識採捕法では、生残率が30~90%であり、種苗に問題さえなければ通常は50%を上回ることを引用している。

広島市によると、調査範囲には太田川漁業協同組合によって、調査時まで人工アユが約70万尾放流されたとされる。一方、由来判別用に釣獲したアユ133個体の人工率は3.8%

(天然率なら 96.2%) であった。放流した人工アユを標識魚 M 、釣獲したアユのうち人工アユの占める割合を採捕率 P とすると、調査範囲のアユ全生息数 N は、標識採捕法（ピーターセン法）を用いた次式によって推定される（水産庁，2013）。

$$N = M / P$$

この式に、放流アユ $M=70$ 万尾、採捕率 $P=0.038$ を代入すると、調査範囲のアユ生息数 N は 1800 万尾以上となった。この標識採捕法による推定値は放流アユの生残率が 100% であった場合であって、実際には放流後調査時まで 1 月間以上を経過しているため、放流アユの生残率を再設定する必要がある。先の、山本・松宮（2001）の放流後解禁までの生残率を参考にして、生残率を最低レベルの 10% に仮定すると、調査範囲には 180 万尾以上のアユが生息することになった。この 180 万尾という生息数は、調査範囲の水面面積（表 2）を考慮すると、瀬における生息密度が 1.0 尾 / m^2 、淵におけるそれが 0.6 尾 / m^2 の時に概ね実現されるが、この密度は潜水観察による密度（表 2）との差が著しく、現実性に乏しかった。他方、由来判別用に釣獲したアユの人工率 3.8% と、潜水観察によって推定した 69 万尾から、調査時の人工アユの生息数を求めると 2.6 万尾となった。2.6 万尾は、放流 70 万尾の 3.7% に当たるため、潜水観察と釣獲アユの人工率から計算した放流アユの生残率は 3.7% であった。この生残率と標識採捕法を用いて調査範囲のアユ生息数を推定すると 68 万尾（681,579 尾）となり、潜水観察による 69 万尾と概ね一致した。しかし、このような低生残率は、山本・松宮（2001）を勘案すると、これも現実性に欠けていた。

浮上する問題点 放流アユの生残率が 3.7% であったならば、費用対効果が低すぎて種苗放流をする価値はもはや無い。この問題に対して、これまでに 2 つの疑問点が投げかけられている。1 つめは放流時に合わせて鵜が飛来するといった目撃情報があり、鵜による大量捕食が放流アユの生残率と関係するというものである。鵜 1 羽は 1 日にアユ 500 g を捕食する（熊田ほか，2014）。放流アユ 1 尾の体重を 10 g とすると、鵜 1 羽は 1 日に 50 尾のアユを捕食し、1000 羽なら 5 万尾 / 日のアユが捕食されることになった。放流 70 万尾のアユが 3.7%（2.6 万尾）にまで減少するには、1000 羽の鵜がおよそ 2 週間飛来し、アユを捕食し続けなければ達成できなかった。まずは、どれほどの数の鵜が、どのくらいの期間飛来するかといった情報を収集し、大まかな放流アユの減耗数を推定すべきであった。

2 つめは、太田川の三篠川合流点（図 1）より下流は、太田川発電所からの放水によって水温が低く、放流アユとともに天然アユも、本川より支川へ遡上するというものである。本調査でも、高瀬堰を境にした A 区と B 区では、下流側の A 区の方が平均水温は 3.7°C も低く（表 2）、同一日に連続して調査した区間の水温差としては不自然であった。広島市は太田川水系の発電利用水の導水関係を整理しており、最下流の太田川発電所は三篠川の合流点上流の太田川右岸に位置し（図 1）、ここから発電利用水は放水されていた。太田川発電所から放水される水は、太田川源流域のダム並びに支川等から、さらに、正地取水堰や津伏

取水堰等からも導水管を通して集められたものであって、その水温は低いはずであった。

小山(1978)は、信濃川で採捕したアユ遡上魚を13.3°Cの地下水で3日間畜養後、底面を冷却し、上面を加温して垂直方向に水温勾配(9~30°C)をつけた円筒形の透明容器に収容し、時間経過に伴ってアユが選好する水温帯を観察している。その結果、収容10分後では15°C(収容数の57%)、30分後では17°C、50分後では20°C、70分後では17°C(収容数の61%)を中心とした水温層へアユが集まることを示している。

このように、アユが経験した前歴水温から異なった水温帯を短時間のうちに選好する実験結果が示されており、太田川でも本川と支川の水温差によって、支川を選好することは十分にあり得ると考えられた。特に、13°Cから17°Cへとといったこの実験におけるアユ選好水温は、太田川発電所を境とした遡上盛期(4月)ごろに現れそうな水温であって興味深かった。

今後の課題 太田川発電所からの低温水によって、本川よりも支川へとアユが遡上するならば、太田川発電所より下流に位置する安川(古川含む)と三篠川および根谷川にその影響が強く現れるはずであった(図1)。まずは、この3支川を今後の調査対象河川に含めるような検討が必要であった。太田川発電所より上流側の支川についても、少なくとも1支川は調査対象として検討する価値があった。

発電所からの低温水の影響で支川へとアユが集中するならば、低温水の影響をアユが受けにくくするように放流時期を遅らせるといった対策を検討できた。また、低温水の影響が強い高瀬堰より下流は放流尾数を抑えても良いかもしれなかった。さらに、鵜による食害が甚大ならば、1箇所への放流尾数を減らし、放流箇所を増やしてアユ密度を分散させ、鵜からのアユ発見率を下げることによって、食害をある程度回避できる可能性があった。今年度は、本流のみの調査であったが、次年度以降、支流の調査も実施することで、問題点等を明らかにでき、より具体的な議論を行える可能性が示唆された。

引用文献

- アユ冷水病対策協議会. 2008. アユ冷水病対策協議会とりまとめ. 23 pp. 農林水産省, 東京.
- 熊田那央・藤岡正博・本山裕樹. 2014. アユの大量放流はカワウのねぐらやコロニーの分布に影響するか. 日本鳥学会誌, 63(1): 23-32.
- 甲田和也・玉森千晴・合戸賢利・山本雅樹・高山翔・海野徹也. 2015. 広島県太田川におけるアユ親魚群の由来判別. 生物圏科学, 54: 1-6.
- 小山長雄. 1978. アユの生態. 176 pp. 中央公論社, 東京.
- 水野信彦・御勢久右衛門. 1993. 河川の生態学(補訂・新装版). 247 pp. 築地書館, 東京.
- 永山滋也・原田守啓・萱場祐一. 2015. 河川地形と生息場の分類 ~河川管理への活用に向けて~. 応用生態工学, 18(1): 19-33.

- 水産庁. 2013. 溪流魚の資源調査をやってみよう!—イワナ、ヤマメ、アマゴの調査マニュアル. 64 pp. 水産庁. 東京.
- 高橋勇夫・岸野底. 2017. 奈半利川におけるアユの生息数と減耗率の潜水目視法による推定. 応用生態工学, 19 (2) : 232-243.
- 占部敦史・海野徹也. 2018. 人工および天然アユにおける計数形質の比較. 日本水産学会誌, 84 (1) : 70-80.
- 山本聡・松宮義晴. 2001. 千曲川における DeLury 法によるアユの資源尾数推定. 日本水産学会誌. 67 (1) : 30-34.