

都市河川大和川の水質および餌料環境とアユの遡上に関する研究

A research for the evaluation of water quality, food environment and upstream migration of Ayu *Plecoglossus altiveils altiveils* in the urbanized Yamato River

環境水域工学分野 浪田真由

都市河川である大和川の下流域においてアユの餌となる藻類のクロロフィル a 量を測定した。過栄養な大和川では砂の攪乱により平水時に糸状藻類の繁茂はみられなかったが、出水後には藻類が剥離し、餌不足が懸念された。アユに関する生息可能尾数の推定と捕獲したアユの肥満度の結果より、現状の餌料環境は十分でないと考えられた。大和川におけるアユの生息可能尾数増大には粒径の大きい河床材料を設置することと魚道を通りアユを上流に遡上させることが必要と考えられた。

Chlorophyll a concentration was measured in the lower Yamato River which is the urbanized eutrophic river. Because of disturbance by sand, luxuriant growth of filamentous algae were not found at ordinary water discharge periods, while food shortage occurred during flood runoff. Chlorophyll a concentration of the riverbed was low when silt, clay and fine sand were high percentage. The results of estimation of optimum capacity and ponderal index of Ayu showed that food environment is not enough for the growth of Ayu. In order to improve food environment for Ayu, larger riverbed materials should be placed in appropriate areas or we should make them migrate to the upper stream by using a fishway.

1. はじめに

大和川は、奈良県と大阪府にまたがる一級河川である。高度経済成長期をきっかけに有機物汚濁が進んだが、近年は水質の改善がみられ、2004年には41年ぶりにBOD値が環境基準値を下回った。水質改善に伴って、人々が河川とふれあう機会が増え、河川のような生態系に対する関心が高まっている。そのため、今後はBODだけでなく多様な視点から河川環境を捉えることが必要である。そこで、大和川の河川環境を評価するために、2004年に生息が確認され¹⁾市民から注目を浴びているアユを生態指標とした。アユは河川と海を行き来する両側回遊魚であり、秋季に川の下流で孵化した仔アユが川から海へ流下、冬季を海で生息、春季に稚アユが海から川へ遡上、夏季は河川の上流域で生息、秋季に親魚が産卵後、一生を終えるという生活史である²⁾。そのため、アユが生活史を全うするに

は海と川の双方の環境が整わなければならない。大和川を管轄する国土交通省近畿地方整備局大和川河川事務所は、「天然アユ100万匹が遡上する川」を目標として河川環境の改善に取り組んでおり、2010年には、アユの遡上を妨げていた幅163.4m、高低差1.5mの柏原堰堤の右岸側において幅6mの新魚道を造成し(図1)、市民への啓発活動なども行っているが、目標達成のための大和川の河川環境の課題が明確になっていない。課題を明らかにするための大和川でのアユに関する既往研究は、秋季における流下数の推定、冬季の海域における仔アユの動態、春季における遡上阻害物質の分布と基準値の設定などの研究が行われている(表1)。しかし、夏季におけるアユの餌料環境に関する研究はほとんど行われていないのが現状である。そこで本研究では、アユの生活史の中で河川生活期の餌料環境の把握とその課題を明らかにすることを目的とした。

表1 大和川におけるアユの生活史別の研究

行動	生活史	課題	研究	結果	対策
遡上	稚魚	遡上数未知 河口域水質悪化	耳石を用いた遡上数推定 ・現状の水質分布把握 ・遊離アンモニア室内実験	約1万尾遡上 ・アユの影響指標値 (遊離アンモニア濃度0.024mg/l)	- 下水処理場の高度処理化
成長	成魚	餌料環境の評価	-	-	-
産卵	親魚	砂河川	主産卵場の推定	-	産卵場造成(試行)
流下	仔魚	流下数未知	2007年流下数把握	約300万尾流下	流下仔魚調査
沿岸浮遊	仔魚	流下したアユの成育	アユ仔稚魚の出現状況把握	大和川で孵化したアユは大和川に遡上する必要性	堺浜などで浅場造成
接岸	稚魚	浅場・干潟喪失			

2. 方法

2.1 アユの採集

遡上期のアユを採集するために2011年4月28日から7月12日、2012年4月24日から7月18日に河口から17.5kmの柏原堰堤において投網によるアユの採集を行った(図1)。投網は、ナイロン製で直径2.8m、目合12.1mmと絹製で直径3.3m、目合12.1mmの2種類を用いた。捕獲したアユは体長、全長、重量を計測した。また、大和川河川事務所も同様の調査を行っており、捕獲したアユについて貰い受け、体長、全長、重量を計測した。捕獲アユの体長と重量から肥満度 k を求めた。肥満度 k は、式(1)を用いて求められ、アユが生息していた餌料環境を表現する。 k が16を上回ると良好な成育環境であると判断されている³⁾。

$$k = w/L^3 \times 1000 \quad \text{式(1)}$$

ただし、 k : 肥満度、 w : 重量(g)、 L : 体長(cm)とする。

2.2 水質調査

アユの餌である付着藻類の生育に必要な栄養塩の窒素とリンに着目した。水文水質データベースより2012年の1月から6月までの河口から上流17kmの河内橋における総窒素濃度、総リン濃度のデータを使用し基準値と比較した。なお、富栄養化の基準として、総窒素濃度が0.2mg/l、総リン濃度が0.02mg/lとされているため、この値を評価に用いた⁴⁾。

2.3 餌料環境調査

アユの餌となる付着藻類の現存量を把握するため、2012年5月から11月において月1回調査を行った。調査地点は河口から17km上流の地点の河内橋から8.7km上流の下高野橋まで瀬となっている計6箇所

(St.AからSt.F)を調査地点とした(図1)。付着藻類の採集は各地点において4つの石を無作為に選び、1つの石について25cm²の面積分を歯ブラシを用いて剥ぎ取り、1地点につき計100cm²の付着藻類を採集した。底質は、直径1.8cmのコアを用いて各地点につき上層5mmの底質を4本抜き取り1地点につき計10cm²採集した。持ち帰った試料は、湿重量と乾燥重量の計測と藻類の現存量としてクロロフィルa量・フェオフィチン量を蛍光光度計(TURNER DEDIGNS製、FIELD FLUOROMETER 10-AU-005型)を用いて測定した。クロロフィルa量とフェオフィチン量から、藻類の活性としてクロロフィル比(=クロロフィル量/(クロロフィル量+フェオフィチン量))を求めた。栄養度評価の基準として竹門⁵⁾に準じて、クロロフィルa量が貧栄養河川で0.5~3mg/m²、中栄養河川で3~60mg/m²、富栄養河川で60~260mg/m²、過栄養河川で260~600mg/m²とした。また、大和川河川事務所が2011年度に行った瀬の環境調査の粒度組成のデータを用いて、餌料環境と河床の状態との関係を考察した。

2.4 アユの生息可能尾数の算定

2種類の方法を用いて柏原堰堤より下流におけるアユの生息可能尾数を推定した。1つ目の方法はアユを藻類の乾燥重量で1日2g摂食すること⁶⁾から、餌料環境調査で採集した藻類の乾燥重量より月別に生息可能尾数を求めた。2つ目の方法は、高橋ら⁷⁾に準じてアユの收容密度が早瀬で2尾/m²であることを用いた。ただし、大和川は砂河川であるので、瀬であっても河床材料に砂が存在する。そのため大和川におけるアユの收容密度として早瀬での2尾/m²に瀬の粒度組成における石と礫の占める割合を掛けて補正した。補正した收容密度に瀬の面積を掛け生息可能尾数を算出した。

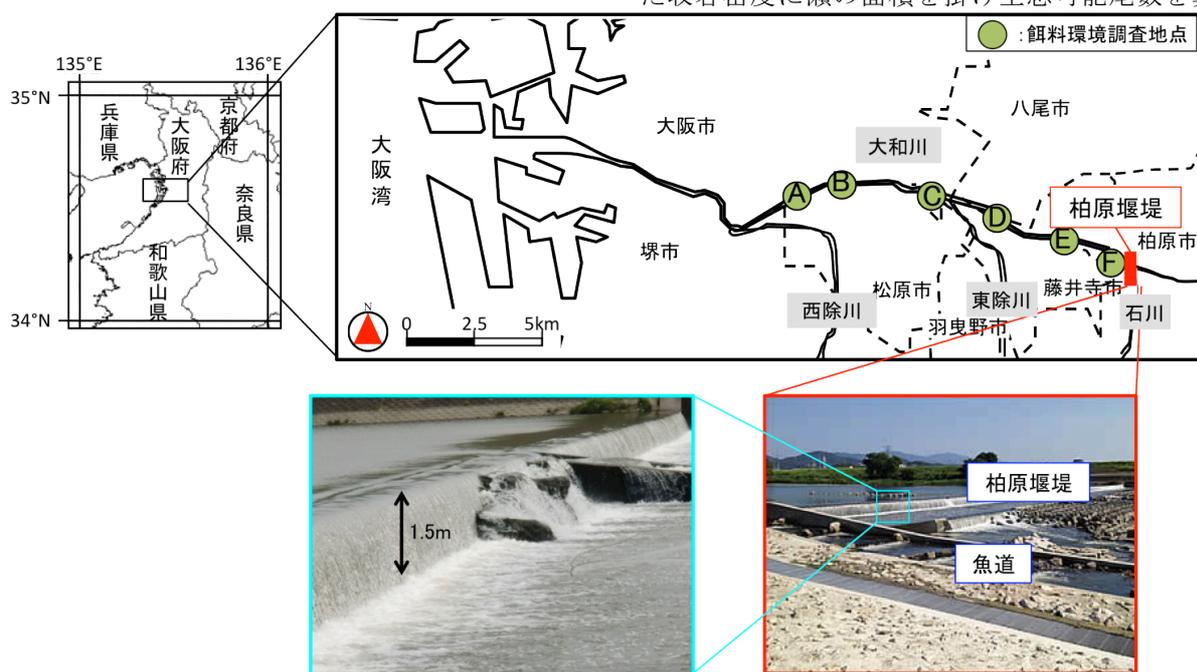


図1 餌料環境調査地点図と柏原堰堤

3. 結果と考察

3.1 アユの採集

2011年に47尾、2012年に43尾のアユを捕獲し、体長、重量の計測から肥満度を求めた。2011年と2012年に捕獲したアユの肥満度を図4と図5に示す。2011年は肥満度が11台にピークがあり、2012年は肥満度が13台にピークがみられた。また、良好な成育環境であるとされる肥満度16以上の個体は2012年の2尾しかみられず、ほとんどのアユが肥満度を下回ったため、餌不足が懸念された。

3.2 水質調査

2012年の1月から6月における総窒素濃度、総リン濃度を図6と図7に示す。総窒素濃度はどの月でも富栄養化の基準である0.2mg/lを大きく上回っており、基準の14倍から23倍高かった。最も高い濃度は1月の4.53mg/lであった。総リン濃度も全ての地点で富栄養化の基準の0.02mg/lを超えており、基準の14倍から25倍高かった。最も高い濃度は、1月の0.50mg/lであった。この結果から藻類の生育には十分な窒素、リンが存在すると考えられた。しかし、富栄養化した河川ではアユの餌とならない糸状藻類が繁茂するという報告があり⁸⁾、餌料環境を悪化させる可能性が考えられた。

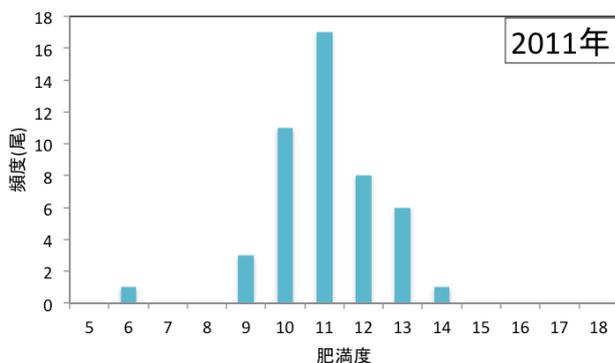


図4 2011年に捕獲したアユの肥満度度数分布

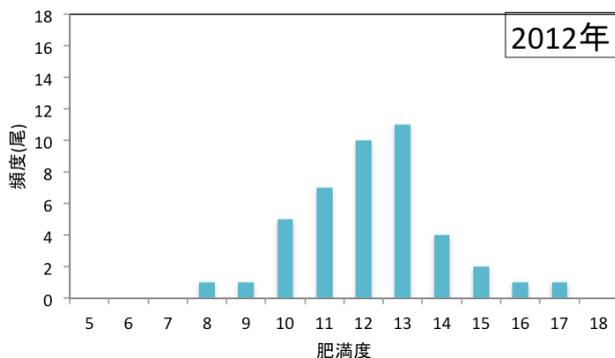


図5 2012年に捕獲したアユの肥満度度数分布

3.3 餌料環境調査

2012年7月(平水時)と6月(出水後)におけるクロロフィルa量、フェオフィチン量、クロロフィル比を図8と図9に示す。竹門ら⁹⁾のクロロフィルa量による分類によると、平水時の7月は、St.B、St.EとSt.Fが富栄養河川に分類され、St.A、St.CとSt.Dが過栄養河川に分類された。ただ、この時糸状藻類の繁茂はみられなかった。出水後の6月は、St.EとSt.Fが3mg/m²を下回る貧栄養河川であり、St.AからSt.Dが中栄養河川に分類された。平水時に、糸状藻類の繁茂が確認されなかった理由として糸状藻類は、砂の供給が断絶され河床において巨礫が河床材料の多くを占める地点において河川攪乱が減少し繁茂するとされているので⁹⁾、砂河川である大和川は上流からの砂の供給が多いため攪乱も多く、糸状藻類の生育を抑制していると考えられた。また、出水後に付着藻類の現存量が減少する原因も、平水時よりも砂の流出に伴う攪乱が大きくなり、藻類が剥離するという知見があることから¹⁰⁾、クロロフィルa量の大幅な減少は河床の砂に因るものと考えられた。次に、2012年7月(平水時)の底質クロロフィルa量、フェオフィチン量、クロロフィル比を図10に示す。平水時においては、付着藻類と同様に糸状藻類の生育は抑制されたが、河床の砂にも藻類が繁茂し、クロロフィルa量が大きくなった。地点別の結果を比較すると、St.Cにおいて付着藻類と底質ともにクロロフィルa量とクロロフィル比が小さい傾向がみられた。この原因としては調査地点の河床材料の違いが考えられた。瀬の河床の粒度組成を図11に、粒径の分類を表2に示す。St.Cは他の地点と違って砂よりも粒径の小さい粘土が多く含まれている。粘土など粒径の小さい河床材料によって藻類の一次生産が小さくなるという報告があるため¹¹⁾、河床材料の粒径の違いによりSt.Cがクロロフィル量、クロロフィル比ともに小さくなったと考えられた。

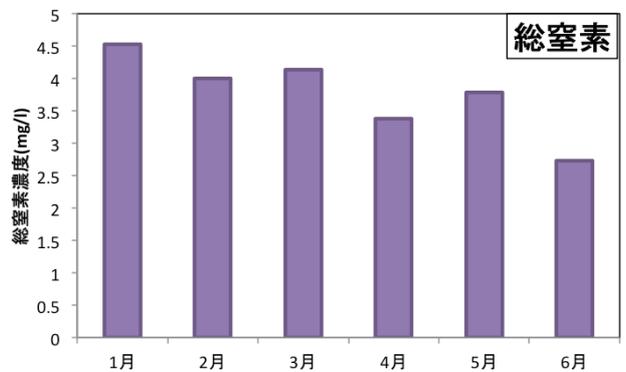


図6 2012年の総窒素濃度

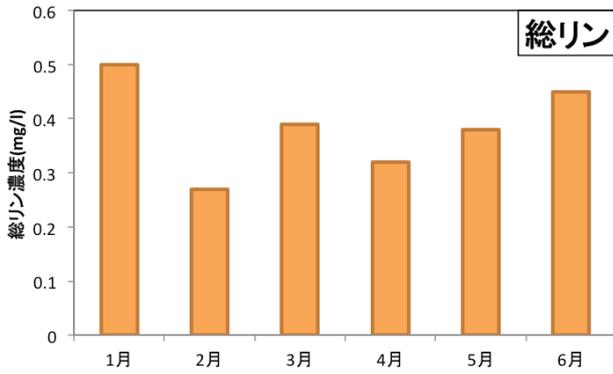


図7 2012年の総リン濃度

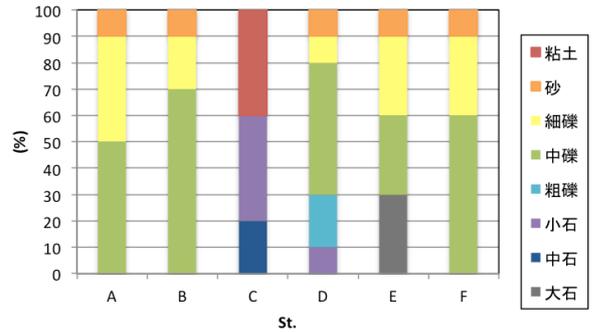


図11 餌料環境調査地点の河床の粒度組成

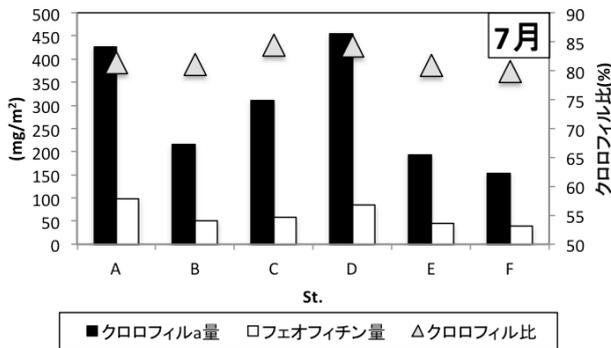


図8 2012年7月(平水時)付着藻類クロロフィルa量, フェオフィチン量, クロロフィル比

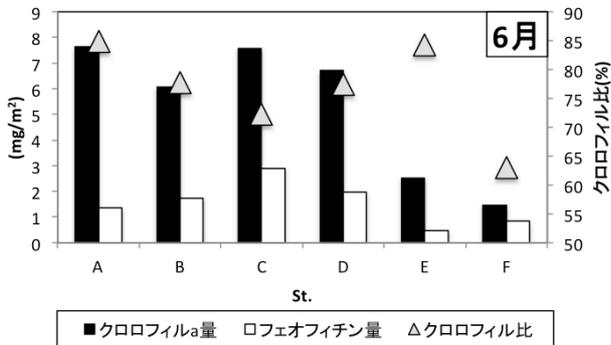


図9 2012年6月(出水後)付着藻類クロロフィルa量, フェオフィチン量, クロロフィル比

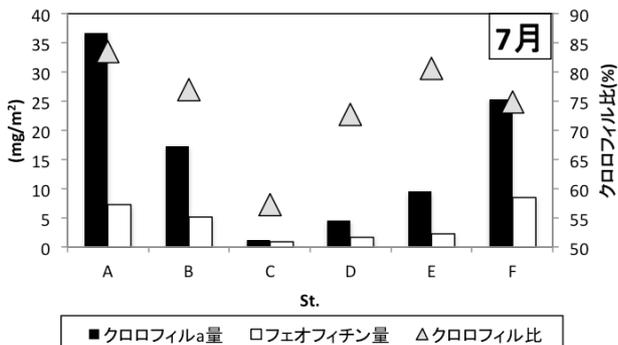


図10 2012年7月(平水時)底質クロロフィルa量, フェオフィチン量, クロロフィル比

表2 粒度組成における粒径の分類

分類	粒径(mm)	分類	粒径(mm)
大石	500>	中礫	20-50
中石	200-500	細礫	2-20
小石	1	砂	0.074-2
粗礫	50-100	粘土	0.074<

3.4 生息可能尾数の推定

生息可能尾数の推定については、乾燥重量を用いた方法の月別結果を表2に示す。8月、10月は出水後の調査であったため、付着藻類の量が少なかったため生息可能尾数も少なくなった。この結果の最低値である10月の値より、少なくとも約6,000尾のアユが柏原堰堤より下流で生息可能であると考えられた。次に収容密度を用いた方法を表3に示す。瀬における石と礫の割合だけに補正した収容密度、瀬の面積、生息可能尾数を地点別に示す。地点別の生息可能尾数を足し合わせると瀬のみでは約7,500尾のアユが生息可能であると考えられた。よって、2つの方法で推定した生息可能尾数の最小値である約6,000尾のアユは柏原堰堤より下流域で生息できると考えられた。また、今回の調査で肥満度が良好な数値であった個体は少なかった。このことから、現状の餌料環境では餌不足であると考えられた。餌料環境を改善するには多少の出水でも藻類の剥離が起こらないような粒径の大きな河床材料を設置することや、柏原堰堤よりも上流までアユが遡上し、大和川中流域に存在する藻類を摂食することが考えられた。

表3 大和川下流域におけるアユの生息可能尾数(藻類乾燥重量より推定)

	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月
合計	7,371	-	32,482	9,061	23,727	6,189	12,742

*単位は尾とする。

表4 大和川下流域におけるアユの生息可能尾数(収容密度より推定)

St.	A	B	C	D	E	F	合計
収容可能密度(尾/m ²)	1.8	1.8	1.2	1.8	1.8	1.8	
面積(m ²)	168	920	1792	192	912	784	
収容可能尾数(尾)	302	1,656	2,150	346	1,642	1,411	7,507

4. まとめ

- ・藻類の生育に必要な総窒素濃度，総リン濃度は十分に存在すると考えられた．
- ・餌料環境については砂による攪乱により平水時に糸状藻類の繁茂がみられなかったが，出水が頻繁に起こると河床の攪乱により餌不足が懸念された．
- ・瀬の中でも砂より粒度の小さい粘土が粒度組成に多くみられる地点は他の地点に比べて，付着藻類，底質ともにクロロフィル a 量やクロロフィル比が小さい傾向になると考えられた．
- ・生息可能尾数として約 6,000 尾のアユが柏原堰堤より下流で生息できると推定されたが，肥満度は良好な環境よりも下回っており，餌不足が考えられた．
- ・餌料環境改善のためには，粒径の大きい河床材料の設置または，魚道を使って柏原堰堤よりも上流に遡上する必要があると考えられた．

参考文献

- 1) 大阪市立自然史博物館 (2007) : 「大和川の自然」, 東海大学出版会, pp.34-35.
- 2) 高橋勇夫, 東健作 (2007) : 「ここまでわかったアユの本」, 築地書館, pp.xi-xiv.
- 3) 西日本科学技術研究所 (2010) : ダム上流アユ由来判別調査報告書, p.5.
- 4) 日本水道協会 (2001) : 「上水試験法・解説(2001年版)」, 日本水道協会, p.270.
- 5) 竹門康弘 (2004) : 柿田川における底生動物群集の構造と特徴, 水資源研究センター研究報告 25 号.
- 6) 楠木和之 (1994) : 「水辺の環境調査」, ダム水源地環境整備センター, p.105.
- 7) 高橋勇夫, 寺門弘悦, 村山達朗, 曾田一志 (2009) : 高津川におけるアユの適正収容力の推定, 島根水産技術センター研究報告 2, pp.49-64.
- 8) 野崎健太郎, 内田朝子 (2000) : 河川における糸状藻類の大発生, 矢作川研究, No.4, pp.159-168.
赤松良久, 池田駿介, 浅野誠一郎, 大澤和敏 (2009) : ダム下流における糸状藻類の強制剥離に関する研究, 土木学会論文集 B, vol.65(4), pp.285-295.
- 9) 戸田祐嗣, 多田隈由紀, 辻本哲郎 (2009) : 流量変化が砂河川付着藻類の一次生産特性に与える影響,

- 10) 水工学論文集, 第 53 巻, pp.1129-1134. A.A. Graham (1990) : Siltation of stone-surface periphyton in rivers by clay-sized particles from low concentrations in suspension, Hydrobiologia 199, pp.107-115.

討議

討議 [貫上先生]

アユの餌料環境をクロロフィル a 量とフェオフィチン量で判断することはできるのか、アユが藻類のなかでも趣向性があるのではないか。

回答

アユは、藻類のなかでも珪藻や藍藻を摂食している。そして、アオミドロやカワシオグサといった糸状緑藻は餌とならないとされている。今回の調査では、藻類の採集後に種の同定を行っており、藍藻が優占種で、珪藻と糸状緑藻の確認もされたが、石を覆うような糸状緑藻の繁茂はみられなかったため、採取された藻類のほとんどはアユの餌となると考え、クロロフィル a 量とフェオフィチン量を用いて餌料環境を評価した。

討議 [水谷先生]

遡上数推定をする際に用いている放流アユの生存率は 50%が妥当かどうか。年によって変わるのではないか。

回答

放流アユの生存率は、大和川の支川である石川で求められた値を用いている。放流アユの死亡率についての研究は冷水病に関するものが多く他の河川における放流アユの死亡率のデータが見つからなかったため、石川の値を用いた。しかし、放流アユの死亡率によって遡上数も変わるため、正確な遡上数を推定することはできないが、おおよその遡上数をオーダーレベルで推定することが出来たと考えられた。

討議 [遠藤先生]

アユの現在の遡上数は数万のオーダーであるため、目標の 100 万尾のアユの遡上のためには 100 倍アユの個体数を増加させなければならない。柏原堰堤から魚道を使って遡上させ、中流域や上流域に生息するようになればどれくらいのアユが生息できるようになるのか。

回答

柏原堰堤の右岸側にある魚道を遡上し中流域、上流域にアユが遡上し生息すると仮定すると生育可能尾数は何尾になるのかを推定した。大和川河川事務所が行った瀬の環境調査では、全長 68km のうち、河口から 32.2km の地点までの瀬の環境調査をおこなっている。各瀬の地点において修士論文の記載の収容密度を用いた環境可能尾数の推定では、約 7 万尾のアユが生息可能であると考えられた。しかし、この結果は一般的に

藻類が繁茂するとされる早瀬と平瀬のみで算出しているため、それ以外の淵やトロなどで藻類が生育していると生息可能尾数はさらに増加する。しかし、河口から 32km 地点までの瀬のみで推定された生息可能尾数 7 万尾は目標の 100 万尾とは 10 倍ほど違いがみられた。

また、大和川河川事務所の目標は天然アユの春季における遡上数が 100 万尾であるため、夏季の河川生活期についてはアユの自然死亡などにより、100 万尾を下回ると考えられた。遡上期から夏季や秋季の河川生活期までの自然死亡率については検討が必要である。

討議 [西岡先生]

遡上数と生息可能尾数は同程度の値か。

回答

2010 年から 2012 年までの天然アユの遡上数は、14,000 尾、33,000 尾、21,000 尾である。それと比較してアユの生息可能尾数は 6,000 尾から 7,500 尾であった。生息可能尾数よりも遡上数が大きいため捕獲したアユの肥満度の低下がみられたと考えられた。また、先ほどの討議と同様、遡上数と夏季や秋季の河川生活期までの自然死亡率は検討が必要である。