

都市河川大和川におけるアユの産卵場推定とその適正評価手法に関する研究

A Research for the Estimation of Spawning Ground and a Method to Evaluate its Suitability for Ayu *Plecoglossus altivelis altivelis* in the Urbanized Yamato River.

環境水域工学分野 板谷天馬

都市化の進んだ大和川において、現地調査によって2011年から2013年にアユの産卵場環境を評価した。河川で孵化し、海域へと流下する仔アユの数は河川が出水により水温が20℃以下になった時に増えている。アユにおける産卵場評価(HSI)は流速と水深、河床粒径によって評価される。産卵が確認された場所の評価は約0.9以上であった。そのことから、産卵場の安定性が産卵場に適した条件であると考えられた。

Field surveys were carried out to evaluate the environment of the spawning ground of Ayu *Plecoglossus altivelis altivelis* in the urbanized Yamato river from 2011 to 2013. The number of larvae of Ayu, hatched in the river and drifted seaward, increased after river-runoff occurred and water temperature decreased below 20 degree C. Habitat suitability index (HSI) of Ayu was examined using water velocity, depth and grain size of the riverbed. The value showed higher than ca 0.9 at stations where their spawning was confirmed. In addition, stability of the spawning ground is thought to be crucial as a suitable condition for their spawning.

1. はじめに

1.1 都市河川大和川

一級河川大和川は、奈良県、大阪府を流れる都市河川である(図-1)。流域内人口が約215万人であり、平水時河川流量に対して水質負荷が大きい。流域内の人口増加によって水質が悪化した大和川だが、排水の高度処理などにより水質環境が改善されている。2004年には大和川のBOD75%値が環境基準を下回り、大和川で成育する生物の種や個体数の増加が確認された¹⁾。またそれらにともない天然アユの遡上が確認された¹⁾。近年では、大和川河口域では多自然型河川へ改善の取り組みがなされており、柏原堰堤の魚道や巨石投入による瀬と淵の造成、河口に人工干潟の造成が行われた。これらの改修は多自然型河川の再生において、非常に重要であり、生物の生息が増加することが期待される。

1.2 アユの行動特性と河川の関係

アユは海と河川を回遊する両側回遊魚である。成長に伴い、海域生活期(冬)、遡上期(春)、成長期(夏)、産卵期(秋)が存在し、産卵を終えた親魚は死亡することから年魚と言われている²⁾(表-1)。このようにアユは河川の上流から沿岸域を回遊するため、アユの生息には河川の広範囲に渡りの生息環境が良好である必要がある。アユに関する研究は多く存在している。しかし、アユの生態は河川によって微妙に異なっており、産卵場所や、産卵時期などが異なる場合もある。

大和川のアユに関する研究は少なく、特に産卵時期のアユの生態はほとんど明らかになっていない。本研究では、現地調査によるアユの産卵状況の把握と産卵場の推定、産卵場評価を行うことを目的とする。

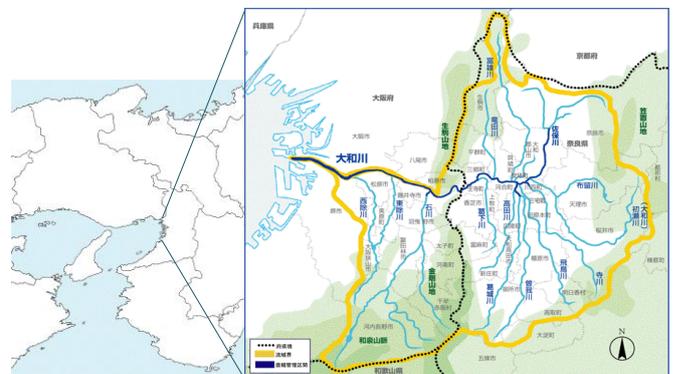


図-1 大和川流域図(大和川河川事務所)

表-1 アユの生活史

	冬	春	夏	秋
月	12~5	3~6	6~10	10~12
生息域	海域	海域→上流	上流	中・下流
生活段階	仔アユ・稚魚	成魚	成魚	親魚・仔アユ
既往研究	稚魚の動態把握 ⁴⁾	耳石を用いた遡上数推定 ⁵⁾	餌料環境の評価と推定 ⁵⁾	

2. 流下仔アユの出現特性

2.1 流下仔アユの生態

大和川におけるアユの産卵域を確認するために、アユの仔魚を採集した。仔アユを採集した場所および時刻から、アユが産卵した場所の推定ができる。

河床に産み付けられた卵は、約2週間後に孵化し、仔アユとなって川を流下する。仔アユは遊泳能力を持たないために外敵から自力で逃れることが出来ない。そのために、流下していることが周知されないよう、日没後から孵化し、昼間は流れの遅い底部におり、夜間には表・中層を流下する³⁾。

2.2 調査方法

流下仔アユの採集は、夜間にノルパックネット（仔魚ネット）を河川表層へ設置し、18~2時の間で2時間ごと（2011年は3時間）に10分間採集した。ノルパックネットは口径450mm、目合0.45mm、長さ1800mmである（図-2）。

ノルパックネットを設置した場所は図-3の地点5である。2012年の11月7日と11月13日、2013年の11月7日と11月14日は複数地点で調査を行った（設置場所は、2012年は地点1~5、2013年は地点2~5（地点2と4は大和川河川事務所による））。

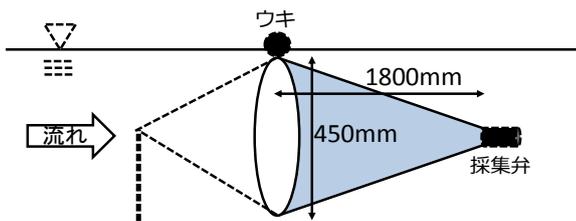


図-2 ノルパックネットの設置方法



図-3 ノルパックネットの設置場所

- 1: 柏原堰堤（河口から17.5km）、2: 新大井橋（同14.8km）、
3: 瓜破大橋（同12.5km）、4: 吾彦大橋（同7.5km）、
5: 大阪市立大学横（同6.5km）

2.3 結果と考察

2012年11月7日に最も多くの仔アユが採集されたが（2.64尾/m³）（図-4）、2011、2012、2013年とも11月上旬に採集数の最大値を確認している。2011年と2013年には流下仔アユ採集数のピークが23時や2時に集中したが、2012年には18時や20時に多く採集されていることがわかる（表-2）。

2011年10月31日、2012年10月18日および24日、2013年10月16日および26日に出水によると考えられる水温の低下が起こったが、流下仔アユ調査で大きく採集数が増加した日は、2011年11月12日、2012年10月31日、2013年11月1日で、これらは水温が20℃以下に低下した日から約2週間後である。

また2012年10月24日と2013年10月26日に、二度目の水温の急激な低下が確認されたが、2週間経過後の2012年11月7日、2013年11月14日の調査で採集数が最大となった。

大和川において水温が低下し、アユが産卵行動を開始していると推測された。すなわち、産卵期である10月中旬以降に50cm程度水位の上昇する出水によって、水温が2℃程度低下したその日に、産卵のため降下を行っている可能性が高い。

また、出水から約2週間後に仔アユの流下が確認されているため、親アユの降下からその日の内、もしくは数日以内に産卵が行われていると推察された。

表-2 時刻別流下仔魚採集数(尾/10分)

調査日	流下仔アユ採集数(尾/10分)					
	18:00	20:00	22:00	23:00	0:00	2:00
2011 11/3		5		6		12
11/12				29		89
11/28		7		21		20
2012 12/7		2		6		8
2012 10/24		4		2		0
10/31		38		110		49
11/7	305	167	107		39	29
11/13	1	3				
11/17	27					
11/21	6	9		10		11
11/28	3	1		1		2
12/5	8	5		1		1
12/12	0	0		0		0
2013 10/18		0	0		0	0
10/25		0	0		0	0
11/1		10	46		36	29
11/7		0	2	2	1	0
11/14		0	12	68		114
11/22		0				
12/6		3	0		6	5
12/13		0	0		0	0

※最終数未記入の時刻は未調査の時刻

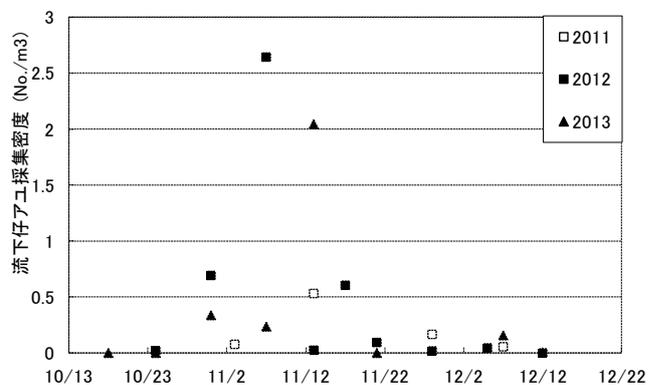


図-4 流下仔アユ密度の経日変化

次に、2012年の11月7日、2013年の11月7日と11月14日に行った複数地点での調査結果において考察する。

2012年の調査では地点5で18時に多く採集された(図-5 A)ことから、その上流付近にアユの産卵場があると考えられ、2012年は吾彦大橋付近で産卵が行われていると推定された。地点4でも深夜に仔アユが採集されているが、その上流である下高野橋付近の瀬(2012/11/10 産卵確認)で孵化した個体であると考えられる。

2013年では2012年より多くの仔アユを採集することはできなかった。図-5 B,Cにおいて、St.5で22~2時での採集数が、St.2で19~21時の採集数よりも多いことが確認された。採集数が上流より下流の地点で多い結果となり、アユの産卵場が河川に点在していることが推測された。

また、2012年に多く採集された18時には各地点において仔アユを確認することがほとんどできなかった。これは、産卵場が上流に存在しているのではなく、仔アユの孵化時刻が遅くなったためと推測された。

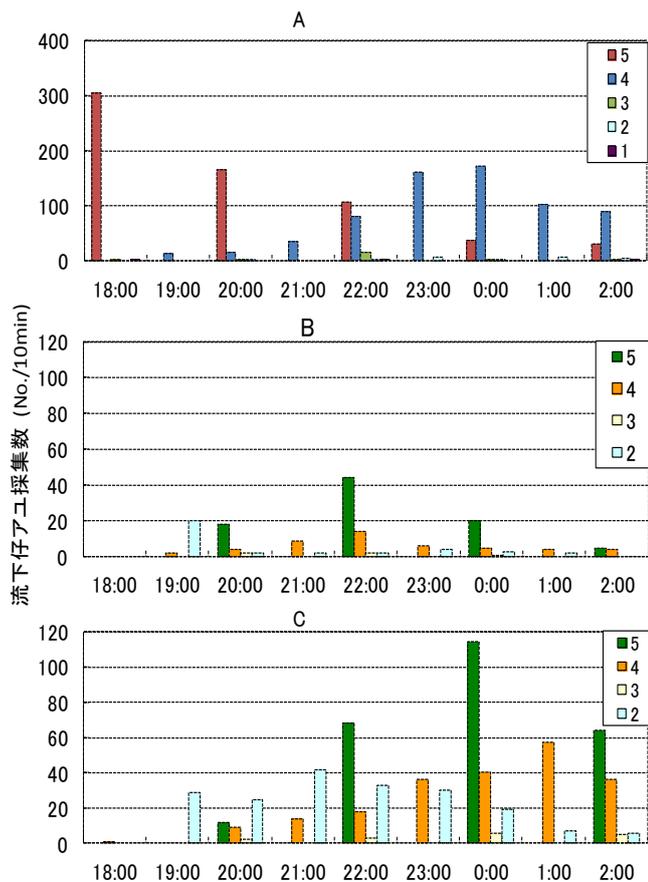


図-5 地点別流下仔アユ採集数
A: 2012年11月7日, B: 2013年11月7日
C: 2013年11月14日

3. 瀬の環境調査

3.1 アユの産卵特性

流下仔アユの流下特性から産卵場の推定を行ったが、その場所がアユの産卵に適しているかを検討した。大和川は河床材料に砂分が多く、産卵に適した河床空隙が少ない。産卵場の適否を評価するため現地調査によってまず瀬の環境調査を行った。

3.2 調査場所と方法

流下仔アユ調査より産卵域が推定されたので、過去に産卵が確認された場所を基に調査地点を決定した(図-6)。2012年はP2とP5, Sp.1で複数回調査を行った。2013年はP1~6, Sp.2~4で一度だけ調査を行った。また、Sp.1は2012年に、Sp.2~4は2013年にアユの産卵が確認された場所である。

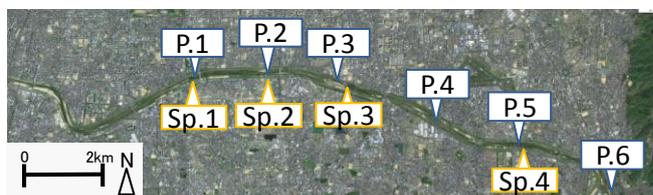


図-6 瀬の環境調査場所

表-3 調査地点と河口からの距離(km)

調査地点	名称	河口からの距離(km)
P.1	下高野橋	8.90
P.2	瓜破大橋	10.65
P.3	明治橋	12.55
P.4	新大井橋	14.85
P.5	河内橋	17.35
P.6	国豊橋	19.32
Sp.1	産卵確認1 (P.1と同地点)	8.90
Sp.2	産卵確認2 (瓜破大橋付近)	10.65
Sp.3	産卵確認3 (明治橋付近)	12.65
Sp.4	産卵確認4 (河内橋付近)	17.10

※Sp.2~4は大和川河川事務所が産卵を確認

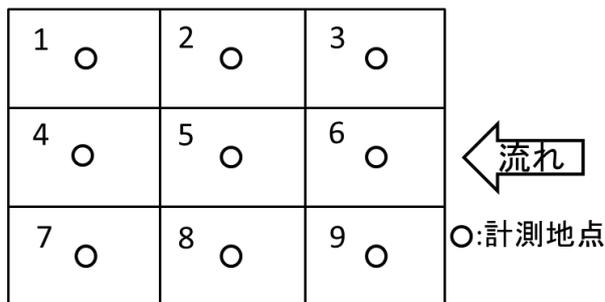


図-7 瀬の調査地点

アユの産卵特性から、産卵場所は瀬であることが考えられる。瀬は水深が浅く、流速が早いいため、水面が波打っている場所である。瀬の特徴を決定するパラメータとその計測方法を以下に示す。調査位置の地点番号は図-7に準ずる。

流速

アレック社のメモリー型流速計「COMPACT EM」を用いた。1分間に60回瞬間流速の平均を1地点の流速とした。計測は各瀬の中心（地点5）で水面から水深の60%層で行った。

水深

1cm単位で、地点1~9(2013年)、または地点5(2012年)で計測した。2012年は産卵場造成を行った場所の経日変化を、2013年は6か所の瀬と3か所の産卵確認場所で一度、それぞれ水深を計測した。

河床粒径

採取した河床を恒温気で乾燥させ(105°C, 72時間)、粒度組成を行った。ふるい目は「JIS A 1204 土の粒度試験方法」に従い2.00mm, 4.75mm, 19.0mm, 75.0mmを用い、中間に0.74mmと9.05mm, 35.0mmを追加した。河床の採取は地点5で行った。

3.3 結果

瀬の環境調査で産卵が確認できた瀬の流速と水深を示す(表-6)。

次章ではこれらのパラメータと既往文献から大和川におけるアユの産卵場評価を行った。

表-6 粒径別適正值

		流速 (m/s)	水深 (cm)
Sp.1	産卵確認 1	91.41	19
Sp.2	産卵確認 2	57.21	13
Sp.3	産卵確認 3	103.88	35.00
Sp.4	産卵確認 4	85.23	33.00

4. 産卵場評価

4.1 HEP

本研究では、評価手法として「HEP(Habitat Evaluation Procedure)」を生物環境評価指数として用いた。

HEPは「対象種」を「質」, 「空間」, 「時間」という3つの評価視点から評価されるが⁹⁾, 本研究では「質」の視点から数値で評価を行う。

4.2 SIの選定

「質」は選好値: SI(Suitability Index)で表示される。対象種に対する特定の環境要因を適正指数 0(不適)~1(最適)で評価され、複数のSIの積である産卵場適正值: HSIが用いられる。

本研究では大和川におけるアユの産卵場評価のため、鬼束ら(2005)⁵⁾が作成した産卵選好曲線と、現地調査で得た産卵確認場所の水深、流速、粒度組成の結果(表-6)を用いて大和川における産卵場のSIを作成した(式(1)~(4)と表-7)。

$$HSI = \sqrt[3]{SI(v) \times SI(h) \times SI(s)} \quad (1)$$

$SI(v)$: 流速に対する選好値
 $SI(h)$: 水深に対する選好値
 $SI(s)$: 粒度組成に対する選好値

流速は表-6から0.8~1.1[m/s]の時にSI(s)=1と、鬼束ら(2005)よりも大きい流速を最適とした(式(2))。

$$SI(v) = \begin{cases} 0.33v & (0 \leq v < 0.3) \\ 1.8v - 0.44 & (0.3 \leq v < 0.8) \\ 1 & (0.8 \leq v < 1.1) \\ -1.33v + 2.47 & (1.1 \leq v < 1.7) \\ 0.2 & (1.7 \leq v) \end{cases} \quad (2)$$

v: 平均流速(m/s)

水深は表-6から0.1~0.4[m]の時にSI(h)=1と、鬼束ら(2005)とほぼ同様の式を作成した(式(3))。

$$SI(h) = \begin{cases} 0 & (0 \leq h < 0.03) \\ 14.3h - 0.43 & (0.03 \leq h < 0.1) \\ 1 & (0.1 \leq h < 0.4) \\ -8h + 4.2 & (0.4 \leq h < 0.5) \\ -0.25h + 0.33 & (0.5 \leq h < 1.3) \\ 0 & (1.3 \leq h) \end{cases} \quad (3)$$

h: 水深(m)

河床粒径に関する選好値の既往文献が少ないため、Sp.1~4の粒度組成の結果を粒形別に重み分けして選好値をプロットした(表-7)。

$$SI(s) = \sum si(s) \times \text{粒径}_s \text{の質量百分率}(\%) \quad (4)$$

si(s): 粒径sの選好値

表-7 粒径別選好値

呼称	粒径(mm)	si(s)
細粒分	<0.074	0.25
砂	0.074-2.0	0.3
細礫	2.0-4.75	0.6
中礫	4.75-9.05	0.6
	9.05-19	0.9
粗礫	19-35	1.2
	35-75	0.1
粗石	75-300	0

式(2)~(4)を式(1)に代入し、大和川における産卵場評価を行う。

4.3 結果と考察

瀬の環境調査の結果から算出した、2013年の各SI値を図-8～10に、また、2012年の各SIの結果を表-7に示す。図-9の水深の結果が欠損している場所は水深が60cm以上有しており、計測を行わなかった地点である。

産卵確認場所のSI(v)が0.9以上が多いことから、SI(v)は0.9以上が産卵に適した瀬であると考えられた。2013年と2012年の同地点を比較すると2013年に評価値が下がっており、これは河川の流れ方が変化したためと考えられた。Sp.1に関しては、SI(v)=0.69であったが、総合的に見るとHSI=0.8となり、適正であるとと考えられた。

SI(h)は河内橋において2012年11月6日の結果で、評価が大きく下がっているが、この日に出水が確認されたためと考えられる。一方、瓜破大橋の評価は下がっておらず水深が高い評価で安定していることがわかった。2013年は瀬の水深を複数計測した(図-9)。全9地点を計測できなかった瀬は水深が全体で均一でなく、部分的にSI(h)が低下していることが確認できた。

産卵確認場所のSI(s)が0.7以上であることから、SI(s)が0.7以上の時、産卵に適していると判断された。ただし、2013年の明治橋において、SI(s)=0.86と非常に高い値であったが、産卵は確認できなかった。

各SIからHSIを求めた(表-8, 図-11)。

2012年には3地点の瀬を調査したが、すべての地点においてHSIが0.9を上回る日があることがわかった。しかし、河内橋での産卵確認は出来ていない。この地点は出水(2012年11月6日)によってHSI=0.35まで低下したことから、産卵場として安定していなかったと考えられた。

2013年のHSIでは産卵確認3,4が0.9を上回ったが、産卵確認2ではHSI=0.8であった。また、明治橋の瀬がHSI=0.91の地点が存在しているが、産卵は確認されていない。これは図-9から水深が瀬の上流で深くなり、アユが瀬の存在に気付かなかったことが考えられる。

2012年に調査した瀬(河内橋と瓜破大橋, 下高野橋)は2013年の調査ではHSIの低下が確認された。このことから2012年に産卵が確認された場所において、アユは2013年に産卵を行っていないと考えられた。

親アユは出水による水温の低下によって産卵行動を開始していると考えられ、河床に産卵をする時は出水中か直後である可能性が高い。このことから、大和川における産卵に適した瀬は出水時に瀬の変化が小さい、もしくはすぐに適正な(HSIの高い)状態に戻ることが重要であると示唆された。

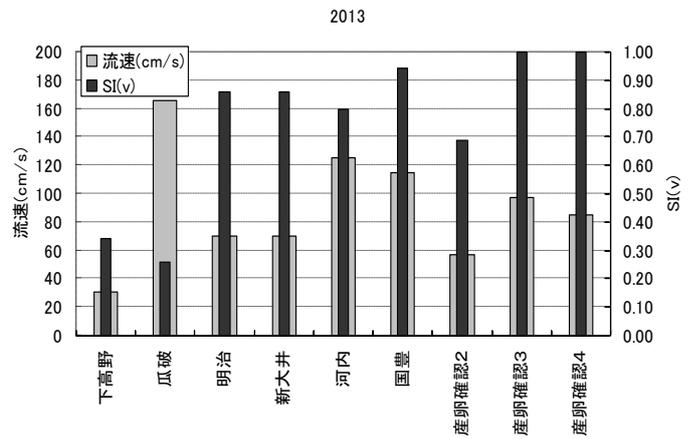


図-8 流速選好値: SI(v) (2013)

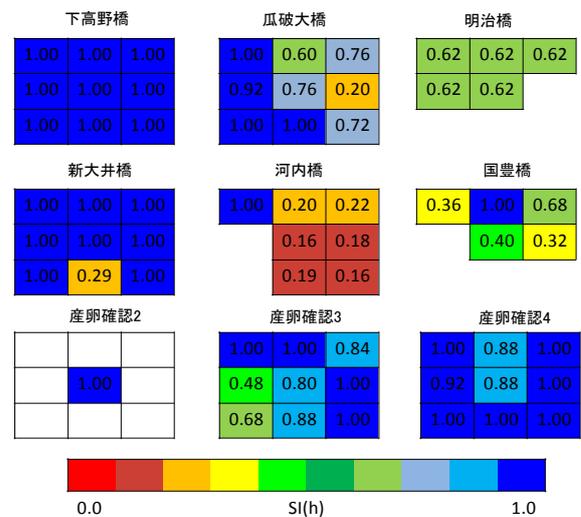


図-9 水深選好値: SI(h) (2013)

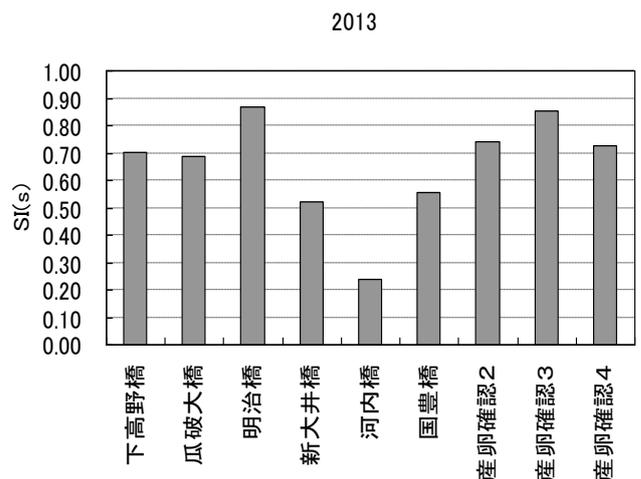


図-10 粒径選好値: SI(s) (2013)

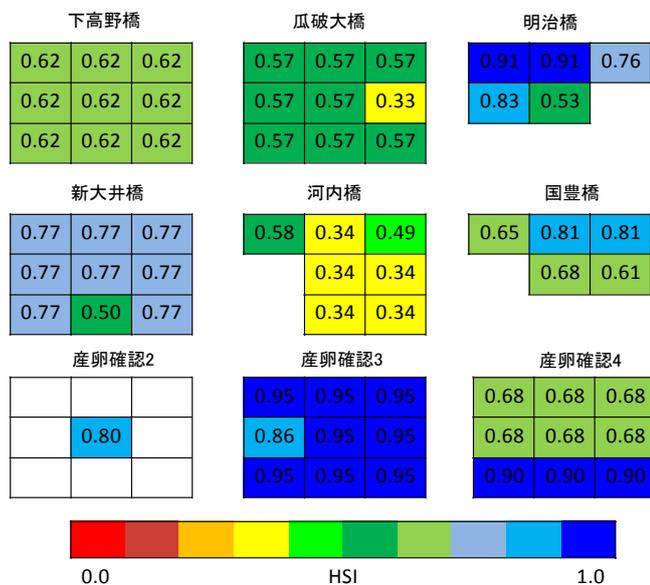
表一 8 産卵場評価 (2012)

	調査日	SI(v)	SI(h)	SI(s)	HSI	
瓜破	10月22日	1.00	1.00	0.75	0.91	
	大橋	10月30日	0.88	1.00	0.66	0.84
		11月3日	1.00	1.00	0.83	0.94
		11月6日	0.94	1.00	0.81	0.91
		11月10日	1.00	0.98	0.75	0.90
		11月27日	0.85	1.00	0.73	0.85
河内橋	10月22日	1.00	1.00	0.69	0.89	
	10月27日	1.00	0.57	0.76	0.75	
	10月30日	0.85	0.79	0.73	0.79	
	11月3日	1.00	1.00	0.75	0.91	
	11月6日	0.66	0.20	0.32	0.35	
	11月10日	1.00	1.00	0.76	0.91	
産卵	11月20日	1.00	1.00	0.75	0.91	
確認1	11月27日	0.81	1.00	0.81	0.87	

- HSI による産卵場評価によって評価を行った。SI(v) は 0.9 以上が産卵場として適していると判断された。SI(h) = 1.0 で適正産卵場と判断されたが、出水による影響で大きく変化する場合があった。SI(s) は他のパラメータと比較して変動が微小であった。これらの結果から HSI = 0.9 以上の評価の時、産卵されている場合が高い。
- 評価が 0.9 以上の地点で産卵が確認できない理由として、瀬が小さく存在に気づかれにくいこと、出水時に瀬の評価が下がっていたことが考えられた。
- 以上のことから、大和川におけるアユの産卵は出水時に行われており、その状態でも安定した産卵環境を維持している瀬がアユの産卵に適していると推測された。

参考文献

- 1) 大和川河川事務所 HP, 大和川の水環境 (<http://www.kkr.mlit.go.jp/yamato/environment/outline/index.html>) 2014年2月14日最終閲覧
- 2) 高橋勇夫, 東健作 (2006), ここまでわかったアユの本, 築地書館, pp.x-xvii
- 3) 田子泰彦 (2002): 富山湾の河口域およびその隣接海域表層におけるアユ仔魚の出現, 日本水産学会, Vol.68(1), pp.61-71
- 4) 恩地啓実, 矢持進 (2011): 大和川下流域における稚アユの遡上阻害要因に関する研究--遊離アンモニアがアユ稚魚の生態に及ぼす影響, 環境アセスメント学会誌, Vol.9(2), pp.62-68
- 5) 浪田真由, 矢持進 (2014): 微小部蛍光 X 線分析法を用いた都市河川大和川における天然アユ遡上数の推定, 環境アセスメント学会誌, Vol.12(1), (印刷中)
- 6) 田中章 (2006): HEP 入門, 朝倉書店, pp5-18
- 7) 鬼束幸樹, 永矢貴之, 東野誠, 高見徹, 大塚法晴, 秋山壽一郎, 尾関弘明, 白石芳樹 (2005): アユの産卵に適した水深および流速の選好曲線に関する研究, 河川技術論文集, Vol.11, pp.483-488



図一 1 1 産卵場評価 (2013)

5. 結論

本研究では大和川におけるアユの産卵生態の把握を目的に、流下仔アユ採集調査と産卵場評価を行った。本研究によって明らかになったことを以下に示す。

- 親アユは出水により水温が約 2℃低下した時に産卵のために降下を始めている。また、降下を開始したその日の内、もしくは数日以内に産卵していると考えられた。
- 2012 年の産卵場は下高野橋付近と吾彦大橋付近に産卵場が存在していると推定された。2013 年における産卵場は各地点の採集数の差が小さく、流下仔アユの採集調査からは推定できなかった。

討議

討議 [水谷]

適正評価の正は性ではないのか？

回答

アユの産卵場所として適しているかを判断しているため適正評価でよい.

討議 [水谷]

河川によって異なるのはアユの生態か？

回答

アユは河川適応能力が高く、河川環境に合わせてアユの生活形態が河川によって微妙に異なる.

討議 [水谷]

河川によって変化するアユ生活形態の評価式を一般化して大丈夫か？また、結果は河川によってどのように異なるのか？

回答

大和川における産卵適正式を作成した. 評価結果は、河川の流量や勾配、堰の有無などによる流況変化で異なると考えられるが、.

討議 [重松]

流量、水深、河床粒径は独立でないと思われるが、それらで評価しても大丈夫か？

回答

それらは水理学的に独立ではないが、現地調査によるデータから関係性は見られなかった. 水理学的に独立していることを証明するために河川断面や河床粗度などを考慮する必要がある.

討議 [矢持]

適正評価に独自の数式を挿入のこと (矢持)

回答

現地調査にて、貫入度や面積の計測を行っているためにそれらを実評価に加えることを考えている.

討議 [遠藤]

河川によってアユの産卵形態が異なるのに、他河川の評価式を用いて大和川の産卵評価を行うことは矛盾しているのではないか？

回答

複数の河川における産卵確認結果から作成したアユの産卵評価式に大和川における産卵確認結果に重みをつけて、大和川における評価式として作成した. 今後、産卵確認数が増加することで、大和川の産卵確認結果のみで式を作成できることが期待される.

WEB 掲載の可否

可能