

淀川の流量が天然海産アユの遡上数に及ぼす影響 —天然海産アユを殖やす方策に関する考察—

Influence of Flow Discharge on the Migration Number of Wild Amphidromous Ayu-FISH in the Yodo River - Consideration on Increasing Method of Wild Amphidromous Ayu-FISH -

瀬口雄一⁽¹⁾・竹門康弘・角哲也

Yuichi SEGUCHI⁽¹⁾, Yasuhiro TAKEMON and Tetsuya SUMI

(1) 株式会社 建設技術研究所

(1) CTI Engineering Co., Ltd., Japan

Synopsis

Proliferation of sea-run population is necessary for increasement of Ayu-fish resources in the Yodo River. In order to increase the sea-run population, we investigated a suitable drifting route of the larval fish from the Yodo River to the Osaka Bay, and found that the larvae drifting through the Okawa River via Kema Water Gate are far more in population than those through the Shin Yodo River via Yodo River Barrage, although the number of fry fish migrating upstream is much more through Yodo River Barrage than Kema Water Gate. This result indicates that proliferation of sea-run population is possible if the flow diversification increasing discharge to the Shin Yodo River were adopted by the River Bureau.

キーワード: 天然海産アユ, 個体群増殖法, 淀川大堰, 流下仔魚, 河川流量

Keywords: sea-run population of Ayu-fish, proliferation strategy, the Yodo River Barrage, drifting larva, river discharge

1. はじめに

アユ *Plecoglossus altivelis altivelis* は日本で最も馴染みの深い川魚であるが(秋道, 1992), その漁獲量は1990年頃をピークに減少傾向にある[Fig. 1] (農林水産省, 2019)。アユの生活史は[Fig. 2]に示すとおりで, 秋に河川の下流部で産卵から始まり, 孵化した仔魚は川の流れにのって河口部・海域まで流下する。その後, 河口部・海域で成長し, 翌春に河川へ遡上する。河川へ遡上したアユは河川の中流部・上流部まで生息域を拡大する。河川で河床に生育する藻類を食べて成長し, 秋の出水を契機に下流部へ降下し, 産卵するというサイクルを一年で繰り返す“年



Fig. 1 Changes in catch of Ayu-fish (see Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, 2019)

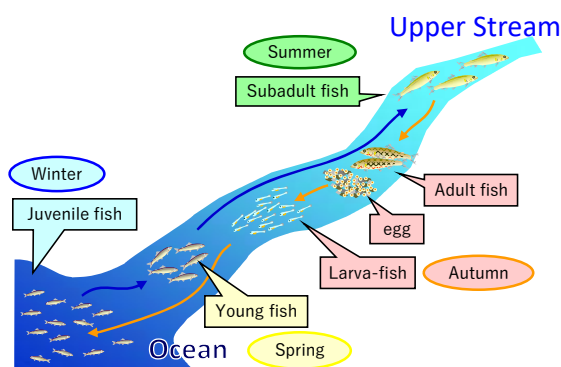


Fig. 2 Image of Life history of Ayu-fish

魚”である(高橋ら, 2016)。その個体数は卵の時に最も多く、その後、孵化を経て河口部・海域への流下を経て大幅に減少する。その後も被捕食や斃死等により減少を続け、途中、漁業協同組合等の放流により一時的に個体数が増加した後で禁漁期の解禁を迎える。ここで捕獲された量が漁獲量となる。漁獲を免れた個体が産卵し、翌年の個体群に繋がると考えられる[Fig. 3].

そのため、アユ資源量の増加のためには、産卵に適した河川環境、仔魚の降下促進、冬期の沿岸域の環境改善、春季の遡上促進の一連の再生産サイクルを総合的に改善していくことが重要とされているが、特に海域からの天然遡上、いわゆる天然海産アユを増加させる必要があることが指摘されている(高橋, 2004)。この天然海産アユの個体数は、前年の流下仔魚数に依存しているため、多くの河川で流下仔魚数の把握と翌年の天然海産アユの遡上数の推定が試みられている(向井ら, 2011)。また、アユ仔魚は遊泳力をほとんど持たないことから河川の流れに委ねて流下する。そのため河川流量が多いほど、

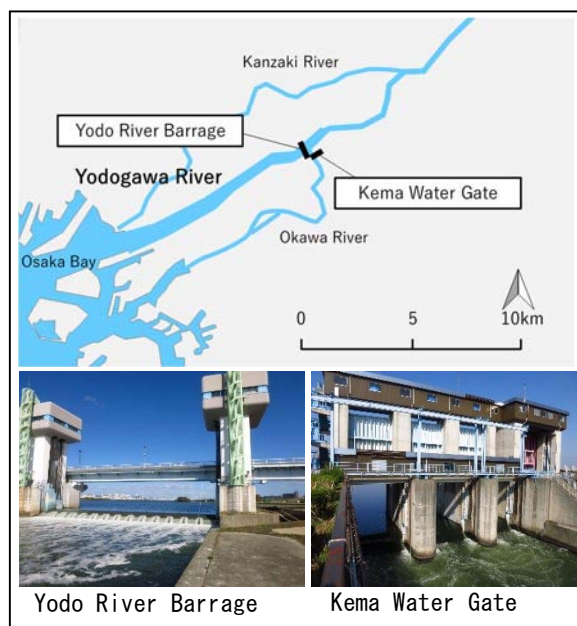


Fig. 4 Estuary of the Yodo River and survey point for larval drift of Ayu-fish

すなわち河川流速が大きいほど、アユ仔魚は早期に海域へ到達し、生存率が高まると予想されている(例えば田子, 1999; 東ら, 2003)。日本の近畿地方を流れる淀川水系は、滋賀県の山間部に発する大小支川を琵琶湖に集め、滋賀県大津市から河谷状となって南流し、京都府京都市伏見区淀地区で桂川と木津川をあわせて大阪平野を西南に流れ大阪湾に注ぐ一級水系である。その河口から約9kmの場所に潮止堰でもある淀川大堰があり、淀川(新淀川)と大川(旧淀川)に分流される[Fig. 4]。淀川(新淀川)では淀川大堰が、大川(旧淀川)では毛馬水門が天然海産アユの遡上における最初の関門となっている。

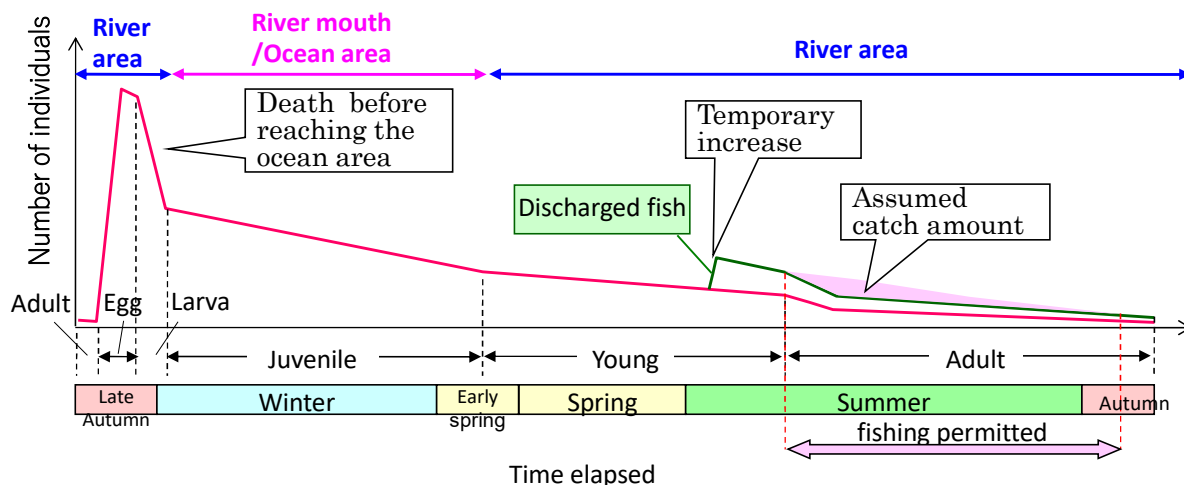


Fig. 3 Life history of Ayu-fish and change of number of individuals

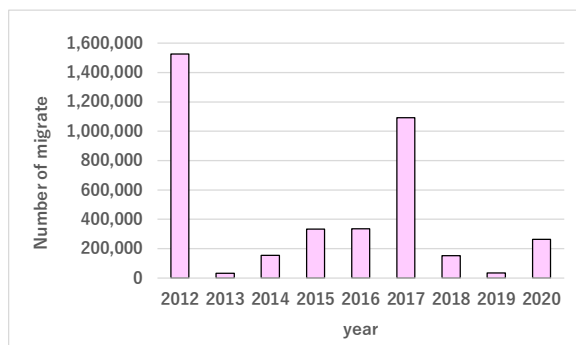


Fig. 5 Changes in migrate number of Ayu-FISH in Yodo River Barrage

ただし、淀川大堰の左右岸には上流側の水位に追従して魚道の隔壁が可動する階段式魚道が設置されており、国土交通省によりアユの遡上数のモニタリングが実施されている。遡上数は3万～160万個体で大きく変動していることから[Fig. 5]（国土交通省、未公表）、その前年の流下仔魚数も大きく変動している可能性が予想されるものの、その実態はほとんど把握されていないのが現状である。そこで、本研究では、淀川大堰と毛馬水門において、流下仔魚調査を行うとともに、淀川（新淀川）の下流区間と淀川大堰魚道でアユ稚魚や遡上個体を採集し、耳石による日齢を解析して流下仔魚の誕生日を特定することで、流下仔魚が淀川大堰を通過する時期やその時期の流量と淀川大堰魚道のアユ遡上数との関係进行分析し、天然海産アユ個体群を増加させるための流量条件について検討した。

2. 研究方法

2.1 流下仔魚の把握

アユの流下状況を把握するため、2018年10月下旬から12月上旬と2019年10月上旬から2020年1月下旬にかけて概ね1週間に1回の頻度（2018年は全5回・2019年は全15回）で淀川大堰と毛馬水門の直下流部において[Fig. 4]、アユの流下仔魚の採集を行った。なお、2018年は淀川大堰の左岸側のみ、2019年は淀川大堰の左右岸で採集を行った。採集は主として日没前から未明にかけての時間帯で直径20cmのプランクトンネットを1～2時間毎に10～20分間垂下させて行った[Fig. 6]。採取物はホルマリンまたはアルコールで固定した後、室内に持ち帰り採集尾数を計数し、濾水量（プランクトンネットを通過した水の量）から $1\text{m}^3/\text{s}$ あたりの個体数密度を求め、各地点の流量を乗じて1時間あたりのアユの流下仔魚数の推定を行った。なお、各地点の流量は、後刻、国土交通省から提供を受けた。



Fig. 6 Plankton-net and situation of drooping net



Fig. 7 Situation of capture by surf net

2.2 河口部の稚魚と遡上魚の把握

2018年と2019年の1～5月に、淀川大堰と毛馬水門の下流域で生息するアユの稚魚や淀川大堰の魚道を遡上する遡上魚をサーフネット[Fig. 7]や国土交通省が保有する魚道専用網[Fig. 8]で捕獲した。採捕したアユは一部あるいは全てを保冷して実験室に持ち帰り、体長を測定するとともに、顕微鏡下で耳石の扁平石[Fig. 9]を摘出して日齢解析を行った。耳石の日輪解析の方法についてはTsukamoto et al. (1987) に準じ、次のとおり実施した。摘出した耳石の扁平石を必要に応じて研磨処理を行い、スライドガラス上にユーバールで封入した。その後、描画装置のついで



Fig. 8 Situation of capture by customized net for Fishway



Fig. 9 Extracted saccular otolith

た光学顕微鏡を用いて日周輪数を計数して日齢とし、採集日から日輪を差し引いて孵化日を推定した。

淀川大堰におけるアユの遡上数は、国土交通省が毎年3～4月頃から6月15日の期間で淀川大堰の階段式魚道の最上部にCCDカメラを設置し、その録画動画の解析によって把握しており、これらのデータを国土交通省から提供を受けた。なお、この遡上数データは、その年に淀川（新淀川）を遡上するアユの大半であると考えられている（国土交通省，2018）。また、毛馬水門における遡上数も同じく国土交通省の水中カメラにより把握されており、こちらのデータを国土交通省から提供を受けた。

Table 1 Data collection period corresponding to the life history of Ayu-fish

Division	Period
Spawning(all)	Previous year 9/1～12/31
Initial	Previous year 9/1～10/31
Mid	Previous year 11/1～11/30
Late	Previous year 12/1～12/31
Larva and Juvenile	Previous year 11/1～3/31
Juvenile	1/1～3/31
Migration	3/1～7/31
Initial	3/1～4/20
Peak	4/21～5/20

2.3 物理条件と遡上数の関連性の把握

淀川（新淀川）の流況が天然海産アユである淀川大堰を遡上するアユの資源量に及ぼす影響を検討するために、上述の国土交通省が調査した淀川大堰におけるアユの遡上数、さらにそれらの前年との遡上数比とアユの生活史に応じた期間別に集計した淀川大堰の水理データ（淀川大堰流量・毛馬水門放流量・淀川大堰調整ゲート稼働時間）の平均値との単相関分析を行った[Table 1]。

さらに、国土交通省近畿地方整備局が所有する大阪湾11地点のうち、淀川（新淀川）河口の定点水質観測データを大阪湾水質定点自動観測データ配信システム (<http://teiten.pa.kkr.mlit.go.jp/obweb/>) から入手したTable 1に示した産卵期と仔稚魚期の水深0.7・5・7mの水温・塩分・DO飽和度・クロロフィルaのデータについて、上記と同様の単相関分析を行った。

3. 研究結果

3.1 アユ仔魚の流下状況

期間中に採集された流下仔魚は、2018年が淀川大堰49個体、毛馬水門541個体で、合計590個体、2019年が淀川大堰79個体、毛馬水門104個体で、合計144個体となり、2019年は採集期間（回数）が多かったにも関わらず採集個体数は少なかった[Table 2]。

Table 2 Collection number and Estimated value of larval drift of Ayu-fish

Summary item	year	Yodo River Barrage			Kema Water Gate	Total
		Right bank	Left bank	Subtotal		
Collection number	2018	—	49	49	541	590
	2019	9	70	79	104	183
Estimated value	2018	—	43,890	43,890	1,543,846	1,587,737
	2019	6,989	16,458	23,447	317,435	340,881



Fig. 10 Damaged larval drift (Collected at Kema Water Gate on 2018/11/11)

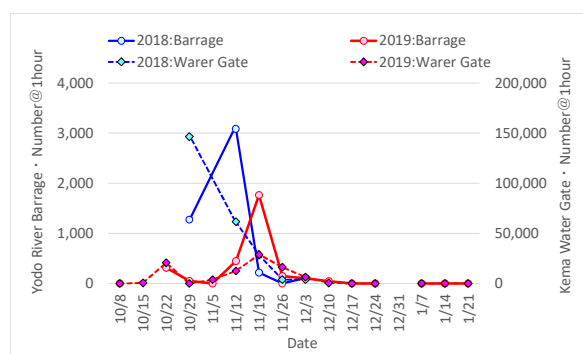


Fig. 11 Changes in number of larval drift Ayu-fish at Yodo River Barrage and Kema Water gate

これらの個体は全て卵黄を消化していたことから、孵化後4日以上が経過していると考えられた。また、毛馬水門における採集個体は淀川大堰の採集個体と比べて眼球の消失や体軀の一部の消失等の損傷が多く見られた[Fig. 10]。これは、毛馬水門の落差と流量による水圧による物理的な損傷と想定され、さらにプランクトンネット内でも同様の水圧に曝されるこ

とも要因と考えられた。上記の採集数と採集時の濾水量と流量から推定された地点別のアユの流下仔魚数は、2018年と2019年の両年ともに総じて期間前半の10月下旬や11月上旬で多く、12月にかけて減少した[Fig. 11]。また、調査時の1時間あたりに換算した流下仔魚数の合計は、2018年が淀川大堰で43,890個体、毛馬水門で1,543,846個体、2019年が淀川大堰で23,447個体（右岸側6,989個体・左岸側16,458個体）、毛馬水門で317,435

個体となり、両年ともに全体の大半が毛馬水門、すなわち大川（旧淀川）へ流下していることが伺えた[Table 2]。

なお、この期間の淀川大堰と毛馬水門の流量は両年ともに9～10月の出水時以外は、毛馬水門の流量の方が多くなっている[Fig. 12]。

3.2 アユの遡上状況

前述のとおり2012年から2020年の淀川大堰の魚道を遡上するアユの個体数は3万～160万個体であった[Fig. 4]。また、2019年と2020年に淀川大堰と毛馬水門の下流域で生息するアユの稚魚や淀川大堰の魚道を遡上した若魚の耳石の日齢解析に基づく誕生日の分布は[Fig. 13]に示すとおりである。いずれの年も採集日が早いほど、誕生日が早い個体が採集される傾向があるものの、前項の流下仔魚調査では採集数が少なかった11月後半から12月に誕生した個体が多く占める結果となった。

また、国土交通省による調査からは淀川大堰と毛馬水門からの遡上数は概ね相関が見られるものの、流下仔魚数とは異なり淀川大堰からの遡上数が圧倒的に多い状況となった[Fig. 14]（国土交通省、未発表）[Table 2]。毛馬水門では水位差と流速によりア

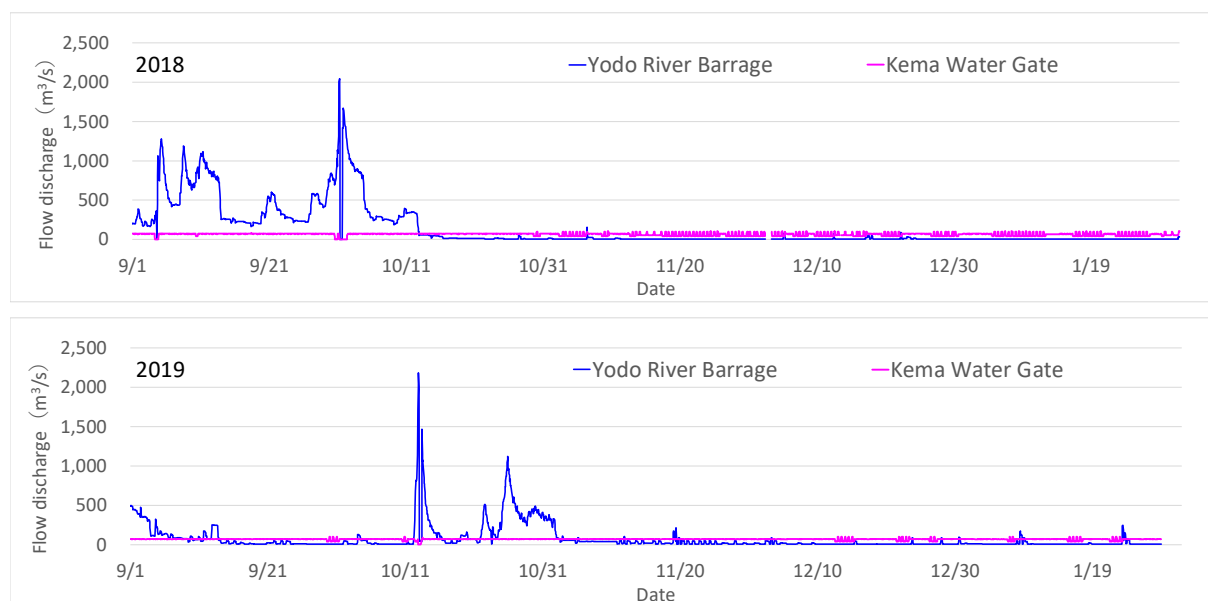


Fig. 12 Changes in flow discharge at Yodo River Barrage and Kema Water Gate

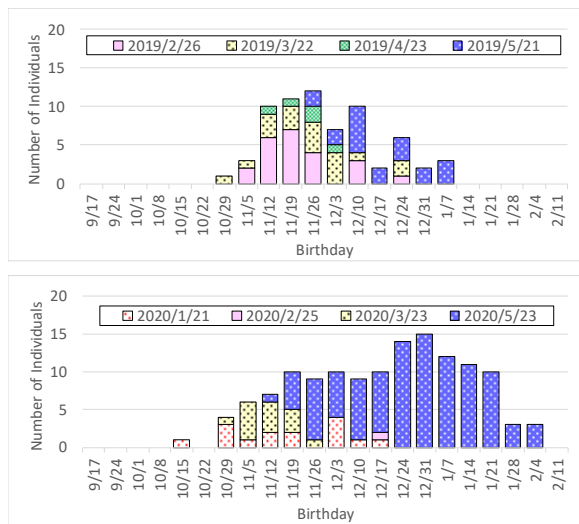


Fig. 13 Distribution of Ayu-fish's birthday at around Yodo River Barrage

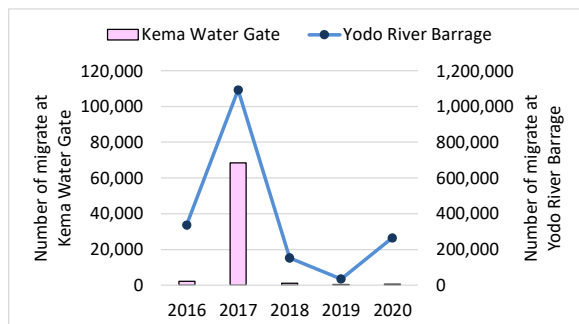


Fig. 14 Comparison of migrate numbers between Kema Water Gate and Yodo River Barrage

ユの遡上が阻害され、毛馬水門の下流側に遡上できずに滞留する個体数が相当数いるものの（瀬口ら，2018），淀川大堰と比較すると明らかに少ない状況である。

3.3 遡上数に影響を及ぼす要因

淀川大堰における遡上数やそれらの前年との遡上数比と、淀川大堰の各水理データ・大阪湾の水質データとの関係を相関分析した結果、淀川大堰の水理データ（淀川大堰流量・毛馬水門放流量・淀川大堰調整ゲート稼働時間）では p 値が 5% 以下で統計的に有意な相関は認められなかった（遡上数と遡上初期の淀川大堰放流量、遡上初期と遡上盛期の淀川大堰調整ゲート稼働時間に小さい相関が確認された）[Table 3]。一方で、大阪湾の水質データでは、遡上数とクロロフィル a で正の相関、塩分や DO 飽和度で負の相関が確認され、遡上数比とは DO 飽和度で正の相関と負の相関、クロロフィル a で負の相関が確認されたものの、いずれも水温とは統計的に有意な相関が確認されなかった[Table 4]。

これらの結果から、淀川（新淀川）におけるアユの

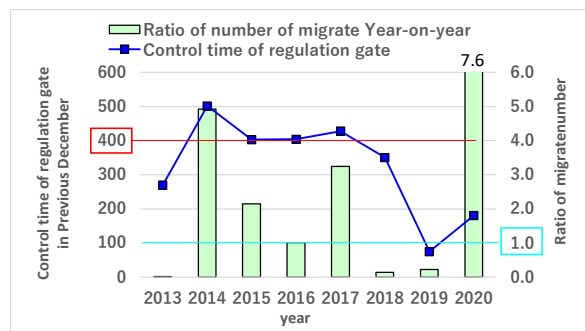


Fig. 15 Relationship between control time of regulation gate in previous December and ratio of migrate number

遡上数の変動は淀川（新淀川）の流量よりも大阪湾の水質に影響を受けている可能性が示唆された。瀬口ら（2019）は 2018 年までの遡上数比は 12 月の淀川大堰調整ゲート稼働時間が 400 時間を越えると、前年との遡上数比が 1 を越えることを報告しており、2019 年まではその傾向が確認されたものの、2020 年までのデータを含めると、そのような傾向は認められなかった[Fig. 15]。

4. 考察

4.1 アユ仔魚の流下促進

流下仔魚の採集個体数は 2018 年の方が 2019 年より多いという結果となった。一方で、翌年の遡上数は 2018 年より 2019 年の方が多かった。流下仔魚の個体数は 1 週間に 1 回という頻度であり連続的なデータでないため、翌年の遡上数を推定するのは困難であると考えられた。四万十川等では遡上個体の大半が 12 月に孵化する後期産卵個体群であることが報告されているが（高橋，2004），淀川（新淀川）においても 11 月後半から 12 月に誕生した個体が多く占める結果となり[Fig. 13]，流下個体群の全てが遡上する訳ではなく、早期に流下した個体群が河口部・海域で死滅している可能性が考えられた。

その意味においても流下時の生存率だけでなく、河口部・海域での生存率も翌年の遡上数に影響を及ぼすと考えられた。しかし、大阪湾の水質データとの相関を見ると、塩分との負の相関は塩分が高いと生存率が低下するという現象が想像できるものの、相関が高いのは 7.5m の産卵期（中期）だけであり、説明が難しい状況であった[Table 4]。さらに、その他で相関が高かった DO 飽和度やクロロフィル a についても、正・負の相関が混在し、相関の説明は難しかった[Table 4]。

一般に、アユ仔魚は孵化後のアユ仔魚は約 4 日で

Table 3 Correlation coefficient between the number of migrate numbers, the ratio of migrate numbers in the previous year, and the hydraulic data of Yodo River Barrage

			2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Numbers of migration at the Yodogawa-Ozeki wier			1,525,196	31,615	155,594	333,189	336,454	1,093,071	152,973
Ratio of Numbers of migration in previous year				0.02	4.92	2.14	1.01	3.25	0.14
Yodogawa-Ozeki wier	Spawning(all)	Previous year 9/1~12/31	23.8	4.5	43.26	4.44	18.05	23.34	77.5
		Initial	168.7	4.5	148.02	4.44	37.18	54.73	108.02
		Mid	26.04	18.05	47.1	7.49	34.47	13.6	226.69
		Late	7.93	42.37	22.48	31.33	28.09	49.63	20.6
	Larva and Juvenile	Previous year 11/1~3/31	101.22	81.41	58.32	138.8	58.62	86	122.54
		Juvenile	158.47	118.88	74.3	220.75	76.98	124.95	122.93
	Migration	3/1~6/30	249.59	70.12	79.05	200.08	153.25	94.25	229.52
		Initial	251.86	80.79	121.07	254.49	71.67	122.4	162.08
		Peak	214.12	54.72	90.73	203.45	98.29	108.2	217.26
	Kema-Suimon floodgates	Previous year 9/1~12/31	86.4	91.5	112.7	92.5	71	71	71.1
		Initial	89.3	91.9	112.3	100.45	71.1	71.1	71.1
		Mid	86.87	89.3	109.48	83.55	66.29	68.18	74.34
		Late	80.74	97.51	109.77	99.44	67.53	69.35	70.43
		Previous year 11/1~3/31	89.36	98.47	109.57	100.65	68.65	72.69	71.13
		Juvenile	93.16	101.86	109.53	106.76	69.81	75.52	70.3
		3/1~6/30	91	89.27	79.67	76.56	69.73	72.87	71.33
		Initial	95.81	96.46	91.3	85.15	70.72	76.91	71.55
		Peak	91.33	94.98	82.31	79.41	70.89	74.44	71.22
Operation times of regulate gates	Spawning(all)	Previous year 9/1~12/31	1757	1035	2380	1065	1667	1847	2280
		Initial	1333	652	1204	612	982	1287	1216
		Mid	217	113	675	50	281	132	713
		Late	207	270	501	403	404	428	351
	Larva and Juvenile	Previous year 11/1~3/31	2444	2245	3103	2578	2398	2584	2789
		Juvenile	2020	1862	1927	2125	1713	2024	1725
	Migration	3/1~6/30	2781	1068	2346	2866	2706	2547	2848
		Initial	1212	657	1086	1221	1053	1213	1195
		Peak	1910	765	1727	1887	1772	1808	1913

			2018	2019	Number of migration		Ratio of Number	
Numbers of migration at the Yodogawa-Ozeki wier			34,785	264,216	Correlation	p-value	Correlation	p-value
Ratio of Numbers of migration in previous year			0.23	7.60	coefficient		coefficient	
Yodogawa-Ozeki wier	Spawning(all)	Previous year 9/1~12/31	2.88	19.3	-0.01	97%	0.02	97%
		Initial	250.54	52.24	0.09	81%	-0.11	80%
		Mid	4.31	39.08	-0.21	59%	-0.21	63%
		Late	5.55	10.11	0.03	94%	-0.20	63%
	Larva and Juvenile	Previous year 11/1~3/31	7.3	20.41	0.31	42%	-0.33	42%
		Juvenile	8.88	11.84	0.41	28%	-0.31	46%
	Migration	3/1~6/30	45.76	—	0.46	25%	-0.17	71%
		Initial	16.13	—	0.55	16%	0.30	52%
		Peak	20.16	—	0.46	25%	0.05	91%
	Kema-Suimon floodgates	Previous year 9/1~12/31	70.8	71.16	-0.09	82%	0.17	69%
		Initial	71.1	71.17	-0.05	90%	0.15	73%
		Mid	63.16	71.19	-0.02	95%	0.22	60%
		Late	63.85	68.89	-0.16	68%	0.10	81%
		Previous year 11/1~3/31	64.67	69.62	-0.01	97%	0.10	81%
		Juvenile	65.44	68.76	0.04	92%	0.06	89%
		3/1~6/30	69.54	—	0.37	37%	0.08	87%
		Initial	68.56	—	0.28	51%	0.35	44%
		Peak	68.97	—	0.27	52%	0.09	85%
Operation times of regulate gates	Spawning(all)	Previous year 9/1~12/31	1415	1846	0.12	76%	0.39	34%
		Initial	1288	1124	0.42	26%	0.24	57%
		Mid	52	541	-0.24	54%	0.41	31%
		Late	75	181	0.02	95%	0.10	81%
	Larva and Juvenile	Previous year 11/1~3/31	331	880	0.26	50%	-0.11	80%
		Juvenile	204	158	0.39	30%	-0.29	48%
	Migration	3/1~6/30	1289	—	0.48	23%	0.38	40%
		Initial	246	—	0.52	19%	0.50	26%
		Peak	557	—	0.50	20%	0.49	26%

Table 4(1) Correlation coefficient between the number of migrate numbers, the ratio of migrate numbers in the previous year, and the water quality data in Osaka Bay

				2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Number of migration at the Yodogawa-Ozeki wier				1,525,196	31,615	155,594	333,189	336,454	1,093,071	152,973
Ratio of Number of migration in previous year					0.02	4.92	2.14	1.01	3.25	0.14
Water temperature	0.7m	Spawning(all)	Previous year 9/1~12/31	19.7	20.91	20.16	20.06	20.56	20.17	19.92
			Initial	Previous year 9/1~10/31	23.92	25.93	24.1	24.37	24.52	23.76
			Mid	Previous year 11/1~11/30	20.39	18.76	18.94	19.73	17.34	19.08
			Late	Previous year 12/1~12/31	14.78	13.11	13.59	12.41	15.46	13.2
		Larva and Juvenile	Previous year 11/1~3/31	12.91	12.97	12.64	12.35	13.92	12.18	12.13
			Juvenile	1/1~3/31	9.74	9.98	10.22	10.1	11.49	10.83
	5.0m	Spawning(all)	Previous year 9/1~12/31	20.33	21.19	20.48	20.43	20.87	20.67	20.35
			Initial	Previous year 9/1~10/31	24.45	25.91	23.96	24.54	23.61	24.7
			Mid	Previous year 11/1~11/30	21.1	19.24	19.76	19.62	20.22	18.09
			Late	Previous year 12/1~12/31	15.46	13.78	14.35	12.86	16.06	16.38
		Larva and Juvenile	Previous year 11/1~3/31	13.26	12.67	13	12.6	14.2	12.52	12.36
			Juvenile	1/1~3/31	9.85	10.1	10.28	10.15	11.59	10.98
	7.5 m	Spawning(all)	Previous year 9/1~12/31	20.46	21.24	20.54	20.55	20.96	20.84	20.45
			Initial	Previous year 9/1~10/31	24.45	25.79	23.84	24.55	23.62	24.72
			Mid	Previous year 11/1~11/30	21.19	19.48	19.9	19.88	20.34	18.23
			Late	Previous year 12/1~12/31	15.76	13.98	14.66	13.08	16.33	16.71
		Larva and Juvenile	Previous year 11/1~3/31	13.43	13.46	13.12	12.74	14.35	12.69	12.5
			Juvenile	1/1~3/31	10.01	10.23	10.33	10.21	11.71	11.08
Salinity	0.7m	Spawning(all)	Previous year 9/1~12/31	28.96	27.58	28.59	29.67	29.73	27.62	28.81
			Initial	Previous year 9/1~10/31	28.99	28.31	28.76	29.84	29.33	24.37
			Mid	Previous year 11/1~11/30	29.09	29.68	28.44	29.94	30.36	28.4
			Late	Previous year 12/1~12/31	28.82	24.12	28.41	29.07	29.81	29.6
		Larva and Juvenile	Previous year 11/1~3/31	28.53	25.23	28.82	28.55	29.42	28.98	28.24
			Juvenile	1/1~3/31	28.24	23.34	29.09	27.9	28.98	28.73
	5.0m	Spawning(all)	Previous year 9/1~12/31	30.7	30.82	31.13	31.23	31.45	31.08	31.46
			Initial	Previous year 9/1~10/31	31.22	31.24	31.66	31.51	31.46	30.75
			Mid	Previous year 11/1~11/30	30.55	30.98	30.53	31.23	31.75	29.79
			Late	Previous year 12/1~12/31	30.27	29.81	30.67	30.65	31.14	31.46
		Larva and Juvenile	Previous year 11/1~3/31	30.69	30.57	31.05	30.86	31.27	31.1	30.8
			Juvenile	1/1~3/31	30.87	30.68	31.35	30.8	31.16	30.97
	7.5 m	Spawning(all)	Previous year 9/1~12/31	30.36	31.43	31.52	31.52	31.83	31.39	31.84
			Initial	Previous year 9/1~10/31	30.5	31.66	32	31.77	31.87	30.97
			Mid	Previous year 11/1~11/30	30.06	31.24	30.96	31.53	31.93	29.99
			Late	Previous year 12/1~12/31	30.52	31.16	31.12	31	31.66	31.87
		Larva and Juvenile	Previous year 11/1~3/31	30.89	26.97	31.51	31.27	31.72	31.53	31.25
			Juvenile	1/1~3/31	31.3	23.74	31.83	31.27	31.68	31.41
DO saturation	0.7m	Spawning(all)	Previous year 9/1~12/31	46.85	74.67	80.1	84.67	74.58	57.75	79.39
			Initial	Previous year 9/1~10/31	74.54	58.83	65.97	81.46	67.22	24.53
			Mid	Previous year 11/1~11/30	6.65	85.36	84.39	85.11	69.13	83.85
			Late	Previous year 12/1~12/31	58.06	95.49	103.77	90.78	94.16	93.02
		Larva and Juvenile	Previous year 11/1~3/31	79.48	101.47	105.84	95.71	95.1	104.25	103.37
			Juvenile	1/1~3/31	111.47	108.91	113.71	100.94	103.89	108.79
	5.0m	Spawning(all)	Previous year 9/1~12/31	72.72	67.28	73.09	66.58	65.87	67.75	61.8
			Initial	Previous year 9/1~10/31	52.53	50.97	54.85	51.7	52.84	53.79
			Mid	Previous year 11/1~11/30	70.13	81.01	76.01	73.93	73.54	79.3
			Late	Previous year 12/1~12/31	95.46	86.08	106.16	89.49	84.31	82.55
		Larva and Juvenile	Previous year 11/1~3/31	93.63	84.73	103.72	85.96	82.59	87.68	86
			Juvenile	1/1~3/31	100.91	85.5	112.12	88.82	84.93	89.75
	7.5 m	Spawning(all)	Previous year 9/1~12/31	71.17	61.43	53.52	61.44	60.48	60.62	55.56
			Initial	Previous year 9/1~10/31	52.55	43.96	37.43	44.02	45.29	46.05
			Mid	Previous year 11/1~11/30	72.59	77.79	60.2	70.73	71.49	80.15
			Late	Previous year 12/1~12/31	88.46	79.99	78.72	87.6	80.06	75.93
		Larva and Juvenile	Previous year 11/1~3/31	86.49	78.37	79.88	82.33	78.9	80.28	78.48
			Juvenile	1/1~3/31	90.49	78	86.84	84.47	80.92	81.98

Table 4(2) Correlation coefficient between the number of migrate numbers, the ratio of migrate numbers in the previous year, and the water quality data in Osaka Bay

				2018	2019	Number of migration		Ratio of Number			
Number of migration at the Yodogawa-Ozeki wier				34,785	264,216	Correlation	p-value	Correlation	p-value		
Ratio of Number of migration in previous year				0.23	7.60	coefficient		coefficient			
Water temperature	0.7 m	Spawning(all)	Previous year 9/1~12/31	20.64	21.12	-0.57	11%	0.26	53%		
			Initial	Previous year 9/1~10/31	23.92	24.5	-0.18	64%	-0.01	99%	
			Mid	Previous year 11/1~11/30	19.41	20.13	0.02	95%	0.18	67%	
			Late	Previous year 12/1~12/31	15.39	15.67	0.33	39%	0.32	44%	
		Larva and Juvenile	Previous year 11/1~3/31	13.82	14.5	-0.25	51%	0.31	45%		
			Juvenile	1/1~3/31	11.41	12.21	-0.19	63%	0.50	21%	
	5.0 m	Spawning(all)	Previous year 9/1~12/31	20.92	21.34	-0.42	26%	0.25	55%		
			Initial	Previous year 9/1~10/31	23.8	24.2	0.09	81%	-0.13	76%	
			Mid	Previous year 11/1~11/30	20.13	20.84	0.04	91%	0.24	57%	
			Late	Previous year 12/1~12/31	16.01	16.39	0.34	37%	0.34	41%	
		Larva and Juvenile	Previous year 11/1~3/31	14.21	14.8	-0.16	68%	0.38	35%		
			Juvenile	1/1~3/31	11.61	12.24	-0.16	69%	0.46	25%	
	7.5 m	Spawning(all)	Previous year 9/1~12/31	20.98	21.4	-0.36	35%	0.26	54%		
			Initial	Previous year 9/1~10/31	23.69	24.06	0.15	70%	-0.16	70%	
			Mid	Previous year 11/1~11/30	20.32	21.03	0.01	99%	0.23	58%	
			Late	Previous year 12/1~12/31	16.27	16.69	0.35	36%	0.35	40%	
		Larva and Juvenile	Previous year 11/1~3/31	14.38	14.95	-0.23	56%	0.30	46%		
			Juvenile	1/1~3/31	11.76	12.33	-0.14	72%	0.44	28%	
	Salinity	0.7 m	Spawning(all)	Previous year 9/1~12/31	29.25	29.61	-0.16	68%	0.18	66%	
				Initial	Previous year 9/1~10/31	28.3	29.22	-0.39	30%	-0.04	93%
				Mid	Previous year 11/1~11/30	30.04	29.77	-0.30	44%	-0.14	74%
				Late	Previous year 12/1~12/31	30.35	30.14	0.21	59%	0.35	40%
			Larva and Juvenile	Previous year 11/1~3/31	30.11	29.65	0.12	75%	0.38	36%	
				Juvenile	1/1~3/31	30.05	29.45	0.14	72%	0.40	32%
5.0 m		Spawning(all)	Previous year 9/1~12/31	31.27	31.54	-0.53	14%	0.29	49%		
			Initial	Previous year 9/1~10/31	31.03	31.57	-0.44	24%	0.03	94%	
			Mid	Previous year 11/1~11/30	31.48	31.35	-0.60	9%	-0.20	63%	
			Late	Previous year 12/1~12/31	31.54	31.67	-0.03	93%	0.47	24%	
		Larva and Juvenile	Previous year 11/1~3/31	31.5	31.51	-0.25	51%	0.46	26%		
			Juvenile	1/1~3/31	31.5	31.51	-0.29	46%	0.54	17%	
7.5 m		Spawning(all)	Previous year 9/1~12/31	30.95	31.79	-0.63	7%	0.28	50%		
			Initial	Previous year 9/1~10/31	30.1	31.86	-0.46	21%	0.18	67%	
			Mid	Previous year 11/1~11/30	31.76	31.72	-0.83	1%	-0.14	74%	
			Late	Previous year 12/1~12/31	31.85	31.71	-0.31	42%	0.20	64%	
		Larva and Juvenile	Previous year 11/1~3/31	31.86	31.85	0.17	67%	0.39	34%		
			Juvenile	1/1~3/31	31.89	31.95	0.24	54%	0.40	33%	
DO saturation		0.7 m	Spawning(all)	Previous year 9/1~12/31	83.86	85.99	-0.92	0%	0.14	74%	
				Initial	Previous year 9/1~10/31	78.26	77.15	-0.35	36%	-0.01	98%
				Mid	Previous year 11/1~11/30	83.48	96.8	-0.77	2%	0.64	9%
				Late	Previous year 12/1~12/31	95.24	92.34	-0.81	1%	0.13	76%
			Larva and Juvenile	Previous year 11/1~3/31	103.7	103.31	-0.70	4%	0.32	44%	
				Juvenile	1/1~3/31	113.36	109.26	-0.03	93%	0.02	97%
	5.0 m	Spawning(all)	Previous year 9/1~12/31	64.06	85.99	0.15	70%	0.93	0%		
			Initial	Previous year 9/1~10/31	59.75	70.82	-0.11	79%	0.74	4%	
			Mid	Previous year 11/1~11/30	49.69	124.58	-0.02	97%	0.80	2%	
			Late	Previous year 12/1~12/31	86.44	77.54	0.08	83%	-0.00	99%	
		Larva and Juvenile	Previous year 11/1~3/31	81.96	94.73	0.18	63%	0.77	2%		
			Juvenile	1/1~3/31	91.17	90.71	0.20	61%	0.44	28%	
	7.5 m	Spawning(all)	Previous year 9/1~12/31	65.71	55.78	0.59	10%	-0.58	13%		
			Initial	Previous year 9/1~10/31	55.35	45.36	0.38	31%	-0.25	56%	
			Mid	Previous year 11/1~11/30	66.21	60.07	0.47	20%	-0.37	36%	
			Late	Previous year 12/1~12/31	85.62	71.48	0.20	60%	-0.72	4%	
		Larva and Juvenile	Previous year 11/1~3/31	81.87	76.17	0.66	5%	-0.41	31%		
			Juvenile	1/1~3/31	85.79	83.16	0.48	19%	0.32	44%	

Table 4(3) Correlation coefficient between the number of migrate numbers, the ratio of migrate numbers in the previous year, and the water quality data in Osaka Bay

				2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
Number of migration at the Yodogawa-Ozeki wier				1,525,196	31,615	155,594	333,189	336,454	1,093,071	152,973	
Ratio of Number of migration in previous year					0.02	4.92	2.14	1.01	3.25	0.14	
Chlorophyll a	0.7m	Spawning(all)	Previous year 9/1～12/31	13.72	11.03	5.47	6.12	6.93	6.22	5.1	
			Initial	Previous year 9/1～10/31	8.08	16.4	5.98	8.5	9.62	7.47	6.69
			Mid	Previous year 11/1～11/30	19.98	5.68	3.42	5.67	3.42	1.45	3.89
			Late	Previous year 12/1～12/31	13.31	5.64	6.47	1.74	4.92	4.96	3.14
		Larva and Juvenile	Previous year 11/1～3/31	11.7	6.32	7.26	5.34	7.39	8.28	7.29	
			Juvenile	1/1～3/31	8.34	6.77	8.82	6.44	9.54	9.62	9.88
		5.0m	Spawning(all)	Previous year 9/1～12/31	2.4	3.47	2.34	5.99	2.93	2.75	2.63
				Initial	Previous year 9/1～10/31	2.84	3.68	1.77	2.92	2.77	2.28
	Mid			Previous year 11/1～11/30	2.44	2.97	2.66	3.13	2.29	1.37	2.06
	Late			Previous year 12/1～12/31	1.92	3.54	3.15	15.12	3.84	3.28	2.93
	Larva and Juvenile		Previous year 11/1～3/31	4.31	3.82	5.36	12.26	4.38	4.46	8.83	
			Juvenile	1/1～3/31	5.77	4.2	7.02	14.38	5.25	4.95	13.17
	7.5 m		Spawning(all)	Previous year 9/1～12/31	1.58	1.87	1.34	2.87	1.92	2.31	1.97
				Initial	Previous year 9/1～10/31	1.22	1.57	1.05	2.26	1.56	2.21
		Mid		Previous year 11/1～11/30	1.45	2.23	1.83	5.39	1.86	1.79	1.6
		Late		Previous year 12/1～12/31	2.07	2.13	1.43	1.6	2.66	2.42	2.86
		Larva and Juvenile	Previous year 11/1～3/31	3.26	2.43	3.37	4.83	4.87	3.25	3.91	
			Juvenile	1/1～3/31	4.28	2.6	4.54	5.74	6.62	3.58	5.06

				2018	2019	Number of migration		Ratio of Number		
Number of migration at the Yodogawa-Ozeki wier				34,785	264,216	Correlation coefficient	p-value	Correlation coefficient	p-value	
Ratio of Number of migration in previous year				0.23	7.60					
Chlorophyll a	0.7m	Spawning (all)	Previous year 9/1~12/31	5.32	5.95	0.57	11%	-0.31	46%	
			Initial	Previous year 9/1~10/31	6.52	6.01	-0.15	70%	-0.49	22%
			Mid	Previous year 11/1~11/30	4.25	7.76	0.63	7%	0.33	42%
			Late	Previous year 12/1~12/31	3.98	4.08	0.72	3%	0.17	69%
		Larva and Juvenile	Previous year 11/1~3/31	8.51	7.19	0.76	2%	0.01	97%	
			Juvenile	1/1~3/31	11.49	8.08	-0.04	93%	-0.21	61%
		5.0m	Spawning (all)	Previous year 9/1~12/31	2.83	2.47	-0.18	64%	-0.23	58%
				Initial	Previous year 9/1~10/31	2.64	1.95	-0.06	87%	-0.79
	Mid			Previous year 11/1~11/30	2.79	2.59	-0.50	17%	-0.07	88%
	Late			Previous year 12/1~12/31	3.23	3.33	-0.16	68%	-0.05	91%
	Larva and Juvenile		Previous year 11/1~3/31	7.87	4.42	-0.30	44%	-0.28	50%	
			Juvenile	1/1~3/31	11.16	5.4	-0.33	39%	-0.33	42%
	7.5 m		Spawning (all)	Previous year 9/1~12/31	2.25	1.64	-0.07	86%	-0.40	32%
				Initial	Previous year 9/1~10/31	2.12	1.33	-0.06	88%	-0.45
		Mid		Previous year 11/1~11/30	1.69	1.72	-0.16	67%	-0.07	87%
		Late		Previous year 12/1~12/31	3.03	2.16	-0.11	77%	-0.51	19%
		Larva and Juvenile	Previous year 11/1~3/31	3.43	3.6	-0.10	79%	-0.03	94%	
			Juvenile	1/1~3/31	4.15	4.73	-0.10	80%	0.05	90%

卵黄を消化し（塚本，1991），河川の流れに委ねて流下するため，河川流速が大きいほど，すなわち，河川流量が多いほどアユ仔魚は早期に海域へ到達し，生存率が高まると予想されている（田子，1999；東，2003；塚本，1991）．冒頭で述べたとおり[Fig. 3]，アユの個体数が大きく減少するのは流下仔魚の期間と想定される．そのため，天然海産アユを増加させるためには，河川流量を増加させて早期に河口部・海域まで流下させることが望まれる．しかし，アユ仔魚の流下期に淀川大堰からの放流量に応じて翌年の

遡上数を増加するという明瞭な傾向は確認されなかった[Table 3]．そのため，今回の研究では流下期にアユの個体数の減少を低減させる方策は明確にできなかったものの，淀川におけるアユの産卵場は，淀川大堰より27km上流の三川合流点よりさらに上流の桂川や木津川とされており，仮に流速0.5m/sで流下したとしたら流下に15時間（約半日）程度を要する計算となる．しかし，今回，淀川大堰と毛馬水門において確認された全てのアユ仔魚は卵黄を消化していたことから，実際にはさらに遅い速度で流下している

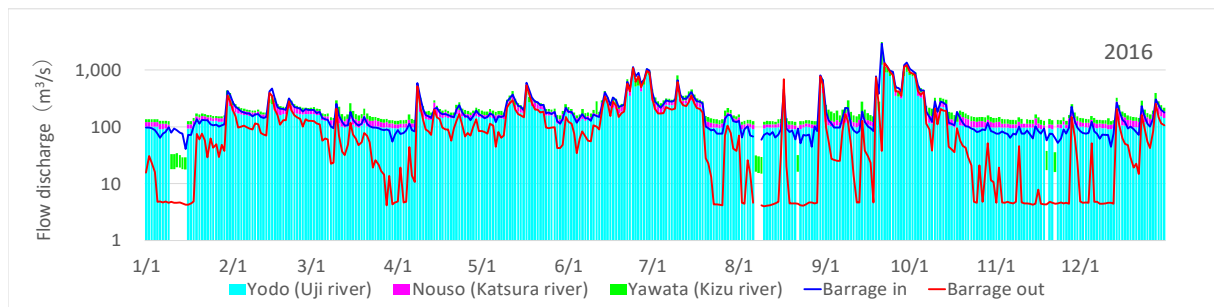


Fig. 16 Flow distribution of Yodo River Barrage (2016)

ものと想定され、淀川大堰周辺に到達する前に多くのアユ仔魚の多くが餓死している可能性も示唆された。そのため、アユの仔魚の流下期により多くの流量を確保することは天然海産アユの資源量の増加させる上では有効な手法と考えられる。

一般的に河川流量は降雨量に左右され、容易に調整することができないものの、淀川においては上流に琵琶湖やダム群等の水源が多く存在する。実際に、淀川大堰、すなわち淀川には宇治川（淀）・桂川（納所）・桂川（八幡）から流入するものの、その主体は琵琶湖由来の宇治川である[Fig. 16]。そのため、琵琶湖からの水供給を融通ができれば、アユの流下促進が図られ、天然海産アユの資源量の増加が図られる可能性が高いと考えられる。

4.2 淀川（新淀川）への流下促進

今回の研究では、淀川の下流部に到達したアユ仔魚の多くは分派流量が大きい毛馬水門へ流下することが確認された[Fig. 11]。しかし、翌年の遡上数は淀川大堰よりも少なく逆転している[Fig. 14]。毛馬水門では下流側の水位が潮汐に応じて上昇するタイミングで淀川大堰水位を低下させてアユを遡上させる取り組みが行われているものの（瀬口ら，2018），毛馬水門での遡上阻害以外に、流下する個体の多くが毛馬水門の落差により物理的な損傷を受け、生存率が低いことも要因となっていると考えられた[Fig. 12]。また、大阪湾は時計まわりの潮流（西宮沖環流・東岸恒流帯）があり[Fig. 17]，毛馬水門を経て大川（旧淀川）を下り、大阪湾に出たアユの仔魚は、この潮流によって大阪湾南岸へ移送されると考えられ、淀川（新淀川）あるいは大川（旧淀川）へ回帰することがなく流下個体数に見合った遡上が起こらない可能性も考えられた。さらに、毛馬水門の下流の大川（旧淀川）は兩岸ともに直立護岸が多く、アユの稚魚の生息環境が少なくことも要因かも知れない。そのため、淀川において天然海産アユを増やすためには、淀川大堰を経て、新淀川に流下させることも必要となると考えられる。



Fig. 17 The constant current of Osaka Bay (see Fujiwara et al., 1989)

5. 今後の課題

淀川のアユ資源を増大させるためには、できるだけ多くの流下仔魚を生存させて天然海産アユを増加させる必要があると考えられる。そのためより多くの仔魚を早期に流下させること、さらには淀川（新淀川）へ流下させる課題が明らかとなった。

今回の研究では流下期の流量と翌年の遡上数との明確な関係は確認できなかったものの、流量規模や生起時期と翌年の遡上数との関係をさらに詳細に分析して上流からの流量補給方策を検討する必要がある。また、今回の研究では流下仔魚が新淀川へ導流されやすい条件については検討ができなかったものの、淀川大堰への流入量が制限される中でより多くの流下仔魚を新淀川へ流下させる淀川と大川（旧淀川）の流量配分や堰運用方法を検討する必要がある。

さらには、淀川大堰と毛馬水門を通過したアユ仔魚が、どのような過程を経て河口部から淀川へ遡上するのか、またその増減の要因をより詳細に把握する必要がある。

謝辞

本研究の実施にあたり、国土交通省近畿地方整備局淀川河川事務所には淀川大堰の水理データやアユの遡上データの提供や、調査に際しての便宜を図っていただいた。また、プランクトンネットの調達については NPO 法人全日本釣り技術振興評議会の、稚魚ネットについては日本ミクニヤ株式会社の米花正三氏の援助を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

秋道智彌 (1992) : アユと日本人, 丸善.
東健作・平賀洋之・木下泉 (2003) : 降下仔アユの海域への分散に及ぼす降水量の影響, 日本水産学会誌 69(3), 352-358.
国土交通省淀川河川事務所 : 第40回淀川環境委員会資料-3, https://www.kkr.mlit.go.jp/yodogawa/activity/comit/kankyo_iinkai/bd083b0000000rq5att/03.houkoku.pdf (2020.7.27閲覧)
瀬口雄一・竹門康弘・稲垣茂人・角哲也 (2018) : 淀川水系のアユ資源量を増加させるための淀川大堰の運用改善方策の検討, 河川技術論文集 第24巻, 349-354.
瀬口雄一・竹門康弘・角哲也・稲垣茂人 (2019) : 淀川の流量が天然海産アユ個体群に及ぼす影響, 河川

技術論文集 第25巻, 423-428.

高橋勇夫 (2004) : 四万十川河口域におけるアユの初期生活史に関する研究, 海洋生物教育研究センター報告書23, 113-173.
高橋勇夫・東健作 (2016) : 天然アユの本. 築地書館.
田子泰彦 (1999) : 庄川におけるアユ仔魚の河口域への到達時間の推定, 水産増殖47(2), 215-220.
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・分布, 日本水産学会誌68(1), 61-71.
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, 日本水産学会誌57(11), 2013-2022.
農林水産省 : 内水面漁業生産統計調査確報 (統計表一覧), http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/naisui_gyosei, 2019. (2019.3.27閲覧)
藤原建紀・肥後竹彦・高杉由夫 (1989) : 大阪湾の恒流と潮流・渦, 海岸工学論文集第36巻, 209-213.
向井哲也・山根恭道・寺門弘悦・村山達朗 (2011) : アユ資源管理技術開発, 島根県水産技術センター事業報告, 71-74.
Tsukamoto, K, Kajihara, T. (1987) : Age determination of Ayu with Otolith, NIPPON SUISAN GAKKAISHI Vol. 53, pp.1985-1997

(論文受理日 : 2020年8月31日)