

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

Operation improvement of the river mouth barrage to increase the population of
Ayu-fish in the Yodo River System.

瀬口 雄一¹・竹門 康弘²・稲垣 茂人³・角 哲也⁴

Yuichi SEGUCHI, Yasuhiro TAKEMON, Shigeto INAGAKI and Tesuya SUMI

¹非会員 株式会社建設技術研究所 (〒541-0045 大阪府大阪市中央区道修町一丁目6-7)

²正会員 理博 京都大学准教授 防災研究所水資源環境研究センター (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

³非会員 国土交通省近畿地方整備局淀川河川事務所 河川環境課 (〒573-1191 大阪府枚方市新町2丁目2-10)

⁴正会員 博士(工) 京都大学教授 防災研究所水資源環境研究センター (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

Annual total number of Sweetfish (Ayu) migrating upstream from the Shin-Yodogawa River have been recorded up to 30,000 -1,600,000 for these 6 years. However, the upstream migration of Ayu from the Okawa River is prevented by the high current velocity caused by the difference in water level at the Kema water gate. We investigated measures for promoting the upstream migration by improving operation of the Yodogawa-ozeki Weir. Experimental measures for decreasing the water level difference conducted in 2017 increased the available time for Ayu to make upstream migration up to 100 hours in the season and a total of ca. 60,000 Ayu passages were recorded. This operation improvement is expected to play a part in increasing the natural resources of Ayu in the Yodogawa river system.

Key Words : Ayu(sweetfish), upstream migration, improvement of weir's operation, monitoring

1. 背景と研究目的

近年、全国の多くの河川でアユ資源量の減少が顕著となっている¹⁾。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である²⁾。全国に存在する旧川と新川(放水路)に分流する河川では分流施設である水門等の落差や流量配分等の関係で、いずれかの河口から遡上してきたアユが、水門等の直下流で滞留することが課題となっている。淀川は淀川大堰により新淀川と大川(旧淀川)に分流されている(図-1)。新淀川からは淀川大堰の魚道を通じて年間3~160万個体のアユの遡上が確認される一方で、大川には淀川本川との分流点にある毛馬水門に魚道が設置されておらず(図-2)、毛馬水門における水位差と流速によって、多くのアユが遡上できずに滞留していることが指摘されてきた³⁾。また、魚道設置による遡上促進対策は現実的には不可能であった。

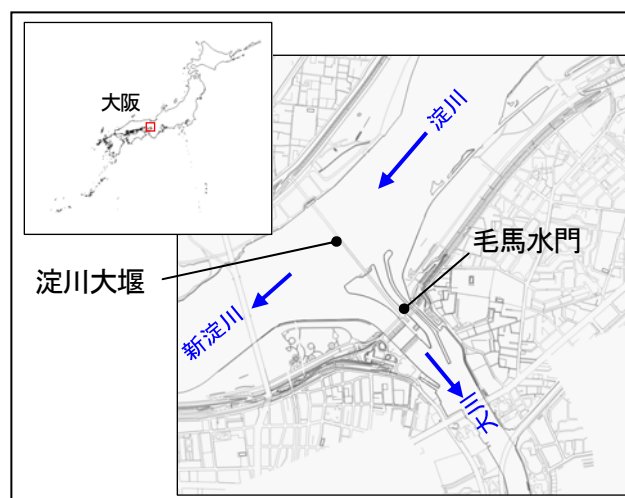


図-1 淀川大堰と毛馬水門の位置



図-2 毛馬水門の状況

本研究では、この遡上阻害を改善するための方策として、毛馬水門におけるアユが遡上しやすい条件を、現地調査と数値計算により上下流水位差と流速の観点から詳細に検討したものである。現在、淀川水系では、アユ資源量を増加させるために、上流部での遡上改善のための魚道整備や産卵環境改善のための土砂供給試験等が進められており、本研究で対象とした毛馬水門における遡上改善方策はアユの再生産サイクルの大きな一役を担うことが期待されるだけでなく、全国の同様な放水路を有する河川の環境改善の先進事例としても有益な情報を提供するものと考えられる。

2. 研究手法

本研究は、毛馬水門における遡上阻害を改善するため、現地調査と数値計算により毛馬水門におけるアユが遡上しやすい条件を、上下流水位差と流速の観点から詳細に検討した。現地調査では、毛馬水門における上下流水位差を把握しながら、直下流部におけるアユの遡上行動の目視観察を行った。数値計算では『毛馬水門操作規則』に記載された上下流水位差による越流量の計算式⁴⁾に基づき(図-3)、毛馬水門における放流量別(41m³/s・71m³/s・100m³/sの3ケース)・上下流水位差別(上流の淀川大堰湛水位はO.P.+2.8m・O.P.+2.9m・O.P.+3.0mの3ケースで下流の大川水位は平成23～27年の実績潮汐変動)の組み合わせで流速の計算を行い、アユの遊泳特性との比較を行った。この検討結果を受けて、アユの遡上を促進させるため淀川大堰の運用規則や取水事業への影響を考慮して淀川大堰等の試験運用計画を立案した。さらに、その運用変更に伴うアユ遡上モニタリング結果をもとに、運用計画の改善を行い、その改善効果の検証を繰り返した。アユ遡上モニタリングでは、毛馬水門における直下流部と直上流部におけるアユの遡上行動の目視観察や水中カメラ(水深1mと2m深に設置)による動画撮影による個体数計数、上下流水位差の把握、STIV法⁵⁾による表

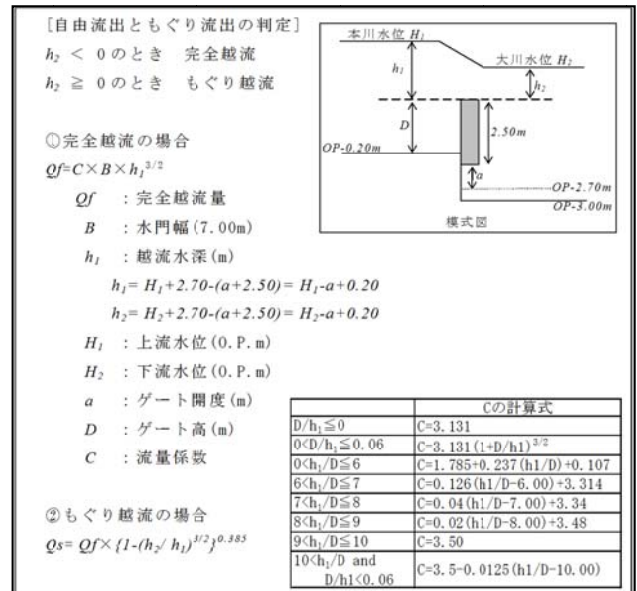


図-3 毛馬水門の越流量の計算式⁴⁾

面流速の把握を行った。また、毛馬水門下流部におけるサギ類等の鳥類の個体数をタイムラプスカメラで計数し、下流部に滞留するアユの個体数との関係も検討し、毛馬水門におけるアユの滞留状況の推定も行った。

3. 研究結果

(1) 毛馬水門におけるアユの遡上状況

毛馬水門では、上流側の淀川大堰湛水位によっては、大潮満潮時に下流側の大川水位との水位差が小さくなり「もぐり越流」が発生し、その際、水門調節ゲートを吊り上げる滑車に付属する整流板の下流部に、上下流水位差がほとんどないポケット状の流速が小さい死水域(「流速ポケット」という)が発生することを確認した。また、この「流速ポケット」からは魚類の遡上を確認したが、水門中央部では遡上は確認できなかった(図-4)。

(2) 毛馬水門における水理条件とアユの遡上条件の検討

『毛馬水門操作規則』に記載された計算式に基づき、放流量と上下流水位差を組み合わせることで流速を計算した結果、放流量と上下流水位差が小さいほど流速が小さくなり、毛馬水門からの常時放流量である71m³/sの時は平均流速が1.3～2.4m/sで変化することが予測された。この予測結果と建設省河川局治水課⁶⁾や日本水産資源保護協会⁷⁾、白石⁸⁾⁹⁾が示した体長別の跳躍力や遊泳突進速度に基づき算出した遡上期のアユ(体長39～143mm; 平均60mm)のそれを比較すると、上下流水位差は跳躍力(0.4m未満又は0.6m未満)を下回るものの、平均流速は遊泳突進速度(0.7m/s未満又は1.2m/s未満)を上回り、この放流量別・上下流水位差別の組み合わせ流速計算からは遡上は難しいという結果となった。しかし、STIV法による表層流速の実測値では、ばらつきがあるものの、概ね上



図-4 毛馬水門の越流箇所の状況

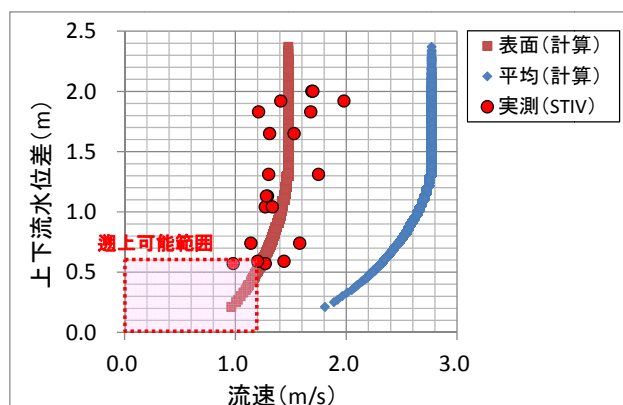


図-5 毛馬水門における上下流水位差別の表面・平均流速

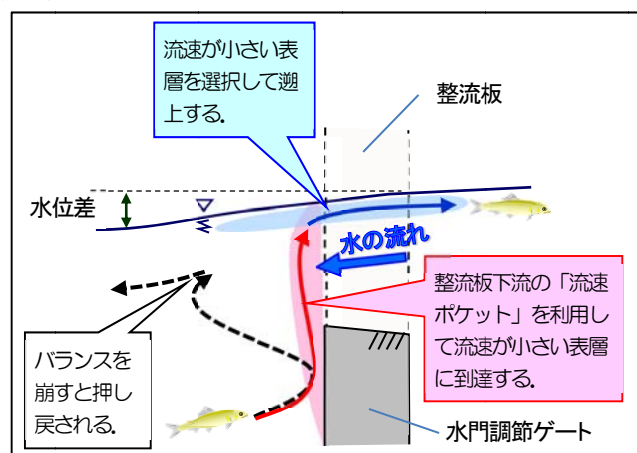


図-6 毛馬水門でのアユの遡上ルート（潜り越流時）

下流水位差が0.8m以下の時に上述の遊泳突進速度を下回り、遡上が可能と判断された（図-5）。

一般的に落差工を遡上するアユでは、緩流部となっている落差工直下から流速が大きくなっている隔壁上部を乗り越える際に、急激な流速変化によりバランスを崩し、一旦下流側へ押し戻され後、体勢を立て直して最終的に流速が小さい表層部を選択しながら遡上するという行動が報告されている¹⁰⁾。しかし、毛馬水門では、上述のとおり水門調節ゲート上部ではアユの遊泳能力を超える大きな流速となっており、遡上するアユは水門調節ゲートを乗り越える際にバランスを崩すと、そのまま下流側へ押し戻されると想定された。しかし、上下流水位差が0.8m以下になる「もぐり越流」の時には、水門調節ゲートの直下流の両側に、表層付近まで流速がほとんどない「流速ポケット」が発生し、この場所から流速が比較的小さな表層部を選択しながら遡上するという仮説を立てられ（図-6）、現地観察でも「流速ポケット」から表層部へ遡上するアユを確認することができた。さらに、水門から約25m上流地点で水深1mと2mに設置した水中カメラの撮影結果では、水深1m未満の水深帯（目測では0.5m付近）で遊泳するアユが多く確認され（図-7）、水



図-7 毛馬水門上流部の表層を通過するアユの群れ

深2mではほとんど確認できなかった。これは、水門調節ゲートの表層付近を遡上したアユが、そのまま表層を選択して遊泳し続けた結果と考えることができ、上記仮説を裏付けるものと考えられる。

(3) 遡上促進案の検討

上記のような上下流水位差が0.8m以下で「もぐり越流」になる時間は、アユの遡上期間と仮定する4月1日～6月15日の間で平成27年の実績では昼夜を含めて34時間しかなかった。毛馬水門においてアユの遡上の促進を考える場合、この上下流水位差が0.8m以下で「もぐり越流」になる遡上可能時間をできるだけ増やすこと、すなわち毛

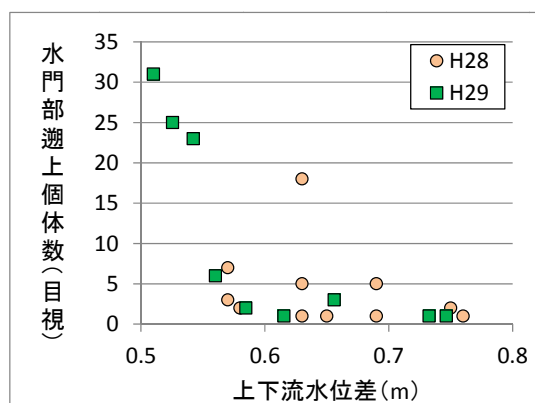


図-8 上下流水位差別のアユの遡上個体数

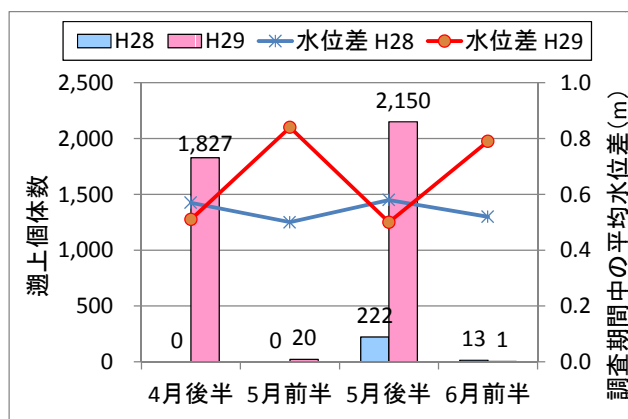


図-9 上下流水位差とアユの遡上個体数

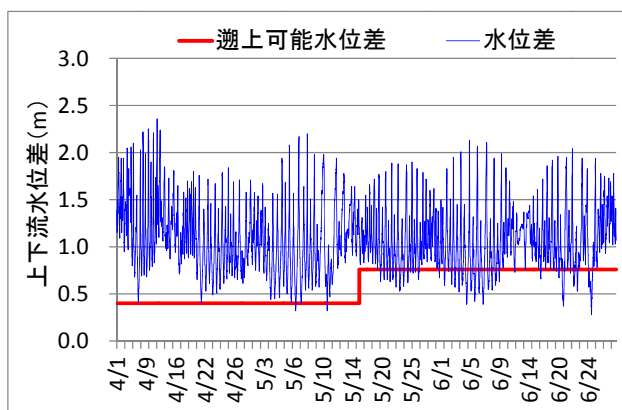


図-10 毛馬水門における遡上可能時間（平成28年）



図-11 「流速ポケット」に蟄集するアユ

馬水門の上流側の淀川大堰の湛水位を低下させることが考えられた。しかし、淀川大堰の湛水位は、堰の運用規則や取水事業により大幅な水位低下に制約がある。そこで、平成28年度は、毛馬水門の下流側の水位が上昇する大潮満潮時に合わせて、淀川大堰の湛水位を通常水位のO.P.3.0mからO.P.2.9mへ低下させる特例操作で運用することとした。これにより、O.P.3.0mでは昼夜を含めて34時間しかなかった遡上可能時間が、96時間（約3倍）に増加すると考えられた。

(4) 遡上モニタリングによる遡上条件の妥当性検証

平成28年に上記の試験運用を実行した結果、この期間の淀川大堰の湛水位は、O.P.2.81～3.19mの間で推移し、上下流の水位差は0.28～2.36mとなった。この期間に実施した遡上モニタリングでは4回中2回で合計235個体のアユの遡上が確認され、上下流の水位差が小さければ小さいほど多くの個体が遡上することが確認された。また、遡上が確認される上下流水位差は、当初の推定より小さく0.76mであることが明らかとなった（図-8）。さらに、遡上初期と考えられる4月前半の遡上を確認した上下流水位差は、遡上盛期あるいは後半となる5月後半のそれよりも、小さい傾向があった。これは、アユの成長に伴う遊泳能力の向上に伴い、遡上可能な上下流水位差が大きくなったためと考えられた。そこで、遡上初期（4月1日～5月15日）の遡上可能な上下流の水位差を0.40m以

下、遡上後期（5月16日～6月30日）を0.76m以下と仮定し、アユの遡上が起こりにくい夜間¹⁾の時間帯を含めず、平成28年の実績水位に基づくアユの遡上可能時間を計算すると、およそ30時間となった（図-10）。また、モニタリング時間と確認された遡上個体数から遡上可能な上下流の水位差が生じた場合の単位時間あたりの遡上個体数（293個体/h）から求めた、平成28年の遡上個体数は約9,000個体と推定された。

この平成28年の遡上モニタリング結果から、アユの遡上をさらに促進するためには上下流水位差をさらに小さくする必要があると考えられた。そこで、平成29年は河川管理者と利水者との調整を踏まえ、淀川大堰の水位を平成28年よりも0.05m下げたO.P.2.85mで運用した。その結果、この期間の淀川大堰の湛水位はO.P.2.81～3.19m、上下流水位差は0.4～2.36mで推移し、平成28年と同様の遡上モニタリングによるアユの遡上数も増加した（図-9）。なお、平成29年もアユの遡上が確認された上下流水位差は0.75mで、平成28年の結果と同程度となった（図-8）。この上下流水位差に基づく遡上可能時間は99時間（夜間を除く）で平成28年の3倍になると推定された。同様に単位時間あたりの遡上個体数（615個体/h）から求めた平成29年の推定遡上個体数は、平成28年の約7倍の6万個体と推定された。この推定遡上個体数の増加は単に上下流水位差が小さくなったことだけが原因では

表-1 毛馬水門下流の滞留・遊泳個体と遡上数

			4月後半	5月前半	5月後半	6月前半	合計	総計	遡上率
平成28年	遡上数		0	0	222	13	235		1.8%
	滞留・ 遊泳数	直下流	40	3,168	5,925	2,672	11,805	13,121	
		下流部	247	75	841	153	1,316		
平成29年	遡上数		1,827	20	2,150	1	3,998		9.5%
	滞留・ 遊泳数	直下流	9,730	7,426	11,263	122	28,541	42,066	
		下流部	1,615	10,540	555	815	13,525		

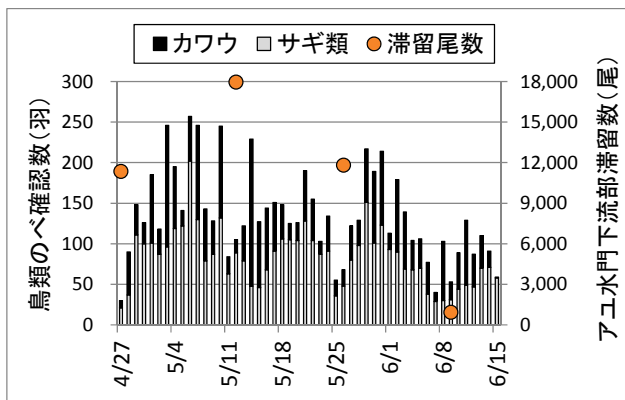


図-12 下流部で滞留するアユと鳥類の個体数

なく、水門下流部に集まるアユの個体数にも影響を受けると考えられることから、次項で遡上率の観点から検証する。

(5) 毛馬水門におけるアユの遡上率

淀川大堰の水位低下運用によって、毛馬水門からアユの遡上が促進されたものの、水門部直下の「流速ポケット」や水門下流部には、遡上できずに滞留する多くのアユが確認された（図-11）。また、毛馬水門の下流にも水門直下に滞留するアユとは別に同数程度の遊泳するアユも多く確認され、これらの滞留・遊泳するアユに対する遡上数をみた場合、平成28年は4回の遡上モニタリングの合計遡上率が1.8%であったのに対し、平成29年は9.5%と遡上率も向上した（表-1）。

毛馬水門の下流には、水門直下に滞留・遊泳するアユを狙ってカワウやサギ等の鳥類のほかに、魚類のスズキ等が多く確認された。これらの下流部のカワウの数や釣り人の数は、水門下流部で遊泳するアユの個体数が増加すると、同様に増加する傾向があることから（図-12）、毛馬水門を遡上できなかったアユの総数は、現時点では推定することは難しいものの、期間を通じて相当数が存在したものと考えられる。

4. 結論と今後の課題

(1) 毛馬水門におけるアユの遡上実態の解明

通常時71m³/sを3つのゲートから放流する毛馬水門では上下流水位差が最大で2.5m、平均流速が最大で2.4m/sにもなり、これまでアユは遡上できないと考えられていた。しかし、今回の研究により、上下流水位差が小さい大潮満潮時等に「もぐり越流」になることで表層部の流速がアユの突進速度を下回る1.2m/s以下に緩和されること、さらに、その際に水門調節ゲートの吊り上げ滑車に付属する整流板の直下に発生する「流速ポケット」を利用して流速の小さい表層部に到達することで、毛馬水門からアユが遡上することを現地でのアユの遡上行動の観察や水理計算、流速測定によって裏付けることができ、毛馬水門におけるアユの遡上促進を検討する上で重要な発見となった。

(2) 毛馬水門におけるアユ遡上促進の効果

上述のとおり毛馬水門では上下流水位差が小さくなる「もぐり越流」の時に、遡上が可能となる。つまり、毛馬水門において魚道設置等によらずアユの遡上促進を図る唯一の方策は上下流水位差を小さくすること、すなわち上流側の淀川大堰湛水位を低下させることが必要であった。しかし、上流側の淀川大堰は取水量の確保のために一定の湛水位の維持が必要であった。淀川大堰の湛水位は、これまで慣例的にO. P. +3.0mで維持されてきたが、その時の遡上可能時間は約34時間となり、これをO. P. +2.9mに低下させると96時間（約3倍）になると想定された。

しかし、実際にはアユが遡上しない夜間の時間帯も考慮すると、O. P. +2.9mで運用した平成28年では約30時間、O. P. +2.85mで運用した平成29年では約99時間であった。それでも遡上可能時間から推定される遡上個体数は、平成28年が9,000個体、平成29年は6万個体となり、同年の淀川大堰の魚道を遡上した個体数（平成28年が33万個体、平成29年が109万個体）を考慮すると³⁾、毛馬水門から遡上したアユは淀川の上流域に遡上するアユの2.6%と5.2%に相当すると考えられた。

現在、淀川水系では、上流部の桂川において国土交通省により魚道改良が進められているほか、京都市域を流れる鴨川の落差工において遡上改善のために市民による仮設魚道整備や産卵環境改善のための河床耕耘試験等が

進められ、アユ資源の増大を狙った再生産サイクル対策が進められている¹²⁾。本研究で対象とした遡上改善方策による淀川本川への遡上個体数の増大は、これらのアユの再生産サイクルの一角を担うことが期待される。

(3) 今後の課題

今回の遡上改善方策をもってしても、なお遡上ができない個体が数多く存在すると考えられる。これらの個体を遡上させる方策をさらに検討する必要がある。また、淀川水系におけるアユの資源管理を考える上では、これらの遡上できない個体が、その後、どのような生活史を送るのかも把握する必要がある。

一方で、平成24年以降、大阪湾から淀川大堰の魚道を遡上するアユは、およそ3~160万個体と推定されており³⁾、年によって大幅に異なることがわかっている。毛馬水門においても同様に年によって大幅に異なるものと考えられ、平成29年の淀川大堰の魚道の遡上個体数は平成28年の33万個体に対して、約3.3倍になったのに対し、毛馬水門における4回の遡上モニタリングで確認された毛馬水門の直下流あるいは下流部のアユの個体数は、平成28年が1.3万個体、平成29年が4.2万個体で、こちらも平成29年は平成28年と比較して3.2倍と同程度で多くなっていることから、大阪湾から大川と淀川に遡上するアユの割合は、何らかの要因で一定割合になっている可能性も考えられる。上述したとおり、淀川の上流域に遡上するアユに対して毛馬水門から遡上したアユの割合は2~5%に相当するが、速やかにこの割合を向上させることは現状では困難と考えられる。そのため、大阪湾から遡上するアユにとっては、魚道のない大川よりも淀川本川を選択した方が、その後の生存を有利にすると考えられる。つまり、大阪湾から遡上するアユに淀川本川を選択させることができれば、大川を遡上するアユの個体数を減らし、毛馬水門の下流で滞留するアユを減らし、ひいては淀川水系のアユ資源をさらに向上させる可能性がある。そのためには、淀川で生まれたアユの流下仔魚がどのように大阪湾に到達し、どのように大阪湾で過ごし、さらに、どのような機構で遡上河川を選択しているかを検討する必要がある。今後、これらの課題を解決し、淀川のみならず、全国のアユ資源の回復に貢献したい。

なお、淀川大堰の魚道から遡上するアユの個体数は、CCDカメラを利用した連続観測で把握されており、ほぼ実数に近い値であることを付記しておく。

謝辞：本研究は、国土交通省近畿地方整備局淀川河川事務所から委託された数ヶ年分の調査検討業務が基礎となっている。当事務所の歴代の担当職員には様々な局面で指導を頂いた。また、業務遂行にあたっては多くの担当者の助力を頂いた。特に現地調査にあたっては株式会社建設技術研究所の梶圭祐氏と大川佳子氏の、さらに詳細な水理解析にあたっては坂井広正氏の助力なしでは遂行できなかった。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 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/, 2017.
- 2) 高橋勇夫：アユは生き残るか—知られざる半生と資源保護，
矢作川研究1, pp.221-235, 1997.
- 3) 国土交通省淀川河川事務所：第39回淀川環境委員会 資料-1,
https://www.yodogawa.kkr.mlit.go.jp/activity/comit/env_h18/pdf/39th-1.pdf, 2017.
- 4) 株式会社東京建設コンサルタント：淀川大堰操作規則作成補助業務報告書，国土交通省淀川河川事務所，2011.
- 5) 山本泰督，本永良樹，栗城稔：KU-STIVを用いた流量観測の検証，河川情報シンポジウム講演集，pp.8-1-8-6, 2014.
- 6) 建設省河川局治水課：魚ののぼりやすさからみた河川横断施設概略点検マニュアル（案），1993.
- 7) 財団法人日本水産資源保護協会：水生生物生態資料，1981.
- 8) 白石芳一：階段式魚梯における遡上アユの生態について(1)，
水産増殖3(1)，pp.31-38.1955
- 9) 白石芳一：階段式魚梯における遡上アユの生態について(2)，
水産増殖3(2)，pp.45-53.1955
- 10) 土木研究所：土木研究所Webマガジン41，
<https://www.pwri.go.jp/jpn/about/pr/webmag/wm041/kenkyu.html#01>, 2015.
- 11) 楠田理一：海産稚アユの遡上生態-I 大雲川における遡上群の日週変化，日本水産学会誌29(9)，pp.817-821，1963
- 12) 京の川の恵みを活かす会HP
<http://ikasukai.web.fc2.com/styled-4/index.html>

(2018.4.3受付)