

淀川大堰湛水域における琵琶湖産アユの
河川残留個体の存在瀬口雄一^{1,2†}・山本義彦^{3,4†}・竹門康弘²・源 利文⁴¹ 〒541-0045 大阪府大阪市中央区道修町 1-6-7 株式会社建設技術研究所大阪本社² 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所水資源環境研究センター³ 〒572-0088 大阪府寝屋川市木屋元町 10-4 地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所
生物多様性センター⁴ 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区鶴甲 3-11 神戸大学鶴甲第2キャンパス 神戸大学大学院
人間発達環境学研究科

† 同等貢献

(2020年10月28日受付; 2021年5月20日改訂; 2021年5月21日受理; 2021年7月12日J-STAGE 早期公開)

キーワード: アユ, 河川残留, 琵琶湖産, 環境DNA, 遺伝子

魚類学雑誌
Japanese Journal of
Ichthyology

© The Ichthyological Society of Japan 2021

Yuichi Seguchi*, Yoshihiko Yamamoto, Yasuhiro Takemon and Toshifumi Minamoto.
2021. Discovery of residual Ayu fish in the backwater area of the Yodo River Barrage.
Japan. J. Ichthyol., 68(2): 163-172. DOI: 10.11369/jji.20-038.**Abstract** A population of freshwater Ayu (*Plecoglossus altivelis altivelis*) was found in the “wandos”, semi-enclosed remnants of artificial pond-like structures along the Yodo River at Shirokita, upstream of the Yodo River barrage. Microsatellite analysis of collected individuals showed their genetic origin to be a Lake Biwa strain, with a hatching date between September and November, estimated by otolith analysis. Otolith strontium and calcium concentrations indicated no history of seaward migration, the individuals analyzed having inhabited freshwater since hatching. In addition, eDNA analysis suggested that they had migrated from the main river course into the “wandos” in November.

*Corresponding author: CTI Engineering Co. Ltd., 1-6-7 Doshyou-machi, Chuou-ku, Osaka city, Osaka 541-0045, Japan (e-mail: y-seguchi@ctie.co.jp)

アユ *Plecoglossus altivelis altivelis* は極東地域に分布する両側回遊魚で、その生活史は秋から冬にかけて河川の上流部から降下してきた親魚が河川の下流部で産卵するところに始まり、孵化した仔魚は川の流れによって河口部や海域に運ばれる。さらに翌春、河口部や海域で成長した若魚が河川に遡上し、河川の上中流部で成魚になることを繰り返す(高橋・東, 2016)。一方で、本邦最大の淡水湖である琵琶湖水域では、淡水域である琵琶湖を海に見立てて、琵琶湖に流入する河川で同様の生活史を送る陸封アユが生息することが知られているとともに、河川に遡上せず、琵琶湖で生活史を送るコアユと呼ばれる個体群も生息することも知られている(東, 1977)。この琵琶湖産のアユ個体群は、なわばり占有の傾向が強い

め友釣りに適したアユとして、多くの河川へ積極的に放流が行われきた(高橋・東, 2016)。

また、全国のダム上流水域や天然湖では、上記の琵琶湖で陸封された個体群と同様に、淡水域であるダム湖や比較的大きな湖を海に見立てて、流入する河川で同様の生活史を送る陸封アユが生息することも知られている(例えば、立原・木村, 1992; 海野ほか, 2007; 近藤ほか, 2008)。これらのアユの起源は、当該河川を含め両側回遊型の生活史を送っていた個体群に由来する放流個体群か、上述のように琵琶湖産由来の放流個体群であると推定されるものの、いずれも海域との連続性が完全に分断されたことで陸封が起こったものと推測される。

日本の近畿地方を流れる淀川水系は、その源を

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9 kmの場所に潮止堰でもある淀川大堰があり、堰上流左岸に位置する毛馬水門を通じて大川（旧淀川）に分派する（国土交通省近畿地方整備局，2009）。この淀川大堰の左右岸には上流側の水位に追従して隔壁の高さが上下する階段式魚道が設置されており、国土交通省の調査による CCD カメラを用いたモニタリングで毎年3-6月頃の期間に3-230万個体の天然アユの遡上が確認されている（瀬口ほか，2019）。また、この淀川大堰の上流10 km以上にわたって存在する流れの緩やかな湛水域は（Fig. 1）、孵化後の流下仔魚の移動障害となっていると想定される。この淀川大堰の湛水域には明治時代以降に設置されたケレップ水制由来の止水域であるワンドが多く存在する（国土交通省近畿地方整備局，2009）。これらのワンドは生態系保全を目的として近年新たに造成されたものもあるが、本川に湾状に開口するものや平水時には水面が接続しないものがある。大阪府立食とみどりの総合技術センター水生

生物センター（旧大阪府淡水魚試験場，現大阪府立環境農林水産総合研究所生物多様性センター，以下，おおさか生物多様性センターと記す）が1993年9月から1994年10月にかけて河口から26 km付近の枚方市磯島付近から、同じく12 kmの城北ワンド付近の15地点で実施した地引網調査において、本流の入り江状の場所などの緩流部では12月から5月にかけて、城北ワンド域では12月から3月にかけてアユが採捕され、淀川大堰湛水域やワンドで越冬・成長していることを報告している（田中・平松，2004）。さらに、瀬口ほか（2019）は淀川大堰と毛馬水門におけるアユの流下仔魚の調査の過程で、大きく成長した仔魚を採集したことから、淀川大堰湛水域にて成長するアユの存在を推測していたが、これらアユの由来や回遊履歴について言及されていない。その後、おおさか生物多様性センターによる淀川大堰上流のワンド域における地引網調査で、冬期にアユ仔魚の採捕事例が複数あったため、耳石の解析、遺伝子解析、環境DNA分析を行い、これらの由来や分布状況を推定した結果について報告する。

材料と方法

ワンドにおけるアユの生息状況の把握 おおさか生物多様性センターは淀川大堰から上流2-3 km区間の淀川大堰湛水域の左岸に存在する城北33・34・35・36号ワンドにおいて（Fig. 2）、タナゴ亜科魚類のイタセンパラ *Acheilognathus longipinnis* をシンボルとした生態系回復を掲げ、ワンドにおける魚類相の把握や外来種防除を目的とした地引網（長さ30 m，網目5 mm，袖網の深さ1 m，袋口の深さ3 m）調査を実施した。

これらのワンドは33号が水路を通して淀川本川と水面が常時接続し、36号が下流側のいくつかのワンドを介して本流に接続しているのに対し、34号と35号の2つのワンド同士は水面が接続して魚類の移動が可能であるものの、淀川本川や33・36号ワンドとは石積み護岸により隔離されており増水時にのみ水面が接続する。本研究では2018年4月から2019年4月の毎月1回（全13回）、各ワンドで実施した地引網調査で採捕した魚類（山本，未発表）のうちアユに関するデータを利用した。採捕したアユは現地でワンド毎に麻酔（FA100，DSファーマアニマルヘルス社）下でスケールとともに撮影し、実験室で撮影画像からの体長測定と個体数計数を行った。地引網によ

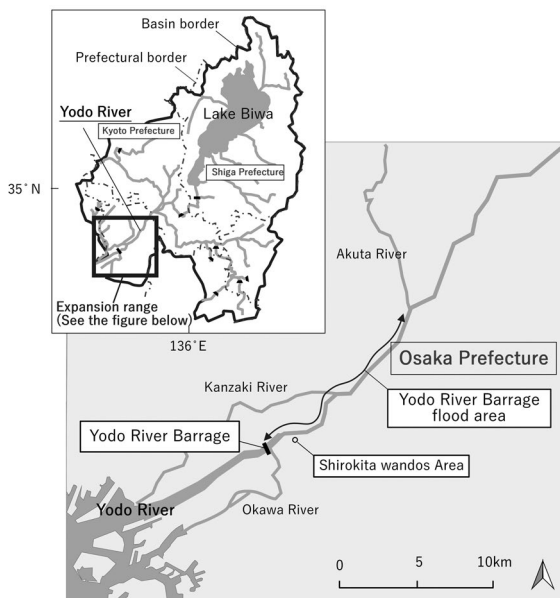


Fig. 1. Study area. Small map shows the whole Yodo River system. Large one shows the lower reaches of the Yodo River. Yodo River Barrage is located 10 km from the mouth of the river. The backwater extends up to 10 km from the Yodo River Barrage. The star indicates the collection site, Shirokita Wandos Area.

る採捕は大阪府より特別採捕許可（大阪府漁業調整規則 33 条（禁止期間）、34 条（全長の制限））を得た上で実施した。

アユの孵化日と由来・降海履歴の推定 採捕したアユは一部あるいは全ての個体を保冷して実験室に持ち帰り、 -20°C で冷凍保存して耳石の輪紋による日齢解析と DNA による由来判定に供した。耳石の日輪解析の方法については Tsukamoto and Kajihara (1987) に準じ、次のとおり実施した。顕微鏡下で耳石の扁平石を摘出し、スライドガラス上にユーパールで封入し、必要に応じて研磨処理を行った。その後、描画装置のつい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。

また、これらの各個体から体側筋を採取し 99.5% エタノールに浸漬したものをマイクロサテライト分析による由来判定に供した。アユ個体の由来判定に際し、Qiagen 社 DNeasy Blood & Tissue Kit を用いて DNA の抽出を行った。対象とするマイクロサテライト座は、Pal1・Pal3・Pal5・PalAyu191・PalAyu194・PalAyu199・PalAyu42 の 7 座を用いた (Takagi et al., 1999; Hara et al., 2006)。プライマーセットは、Life Technologies Japan 社蛍光標識合成プライマーに Tailed オプションを付加したものを採用した。増幅は Qiagen 社 Type-it Microsatellite PCR Kit を用い、反応溶液は製品のプロトコルに従って調整した。増幅反応 (PCR) は、 95°C 5 分の酵素活性化ステップを行った後、 95°C 30 秒の熱変性、 60°C 90 秒のプライマーのアニーリング、 72°C 30 秒の伸長反応を 31 サイクル繰り返し、 60°C 30 分の最終伸長反応を実施した。増幅を行ったサンプルは、Applied Biosystems Japan 社（現 Life Technologies Japan 社）3730xl ジェネ

ティックアナライザにおいて検出を行い、同社 Gene Mapper version 4.1 ソフトウェアによってアレル型の決定を行った。

琵琶湖陸封型および両側回遊型の判定を行うための基準集団は、谷口・池田 (2009) の基準集団を用いた。琵琶湖陸封型および両側回遊型の判定は、コンピューターソフトウェア GenAlex 6.5 の対数尤度比による Assignment Test を行った。この判定で両側回遊型アユの尤度が琵琶湖陸封型アユの尤度より大きい場合は両側回遊型と判定し、小さい場合は琵琶湖陸封型と判定した。

耳石中のカルシウム含量は生息水域に関係なくほぼ一定であるのに対し、ストロンチウム含量は海水中で生息した場合に高くなり、淡水中で生息した場合に低くなる。そのため、ストロンチウム含量とカルシウム含量の比 (Sr/Ca 比) により海域 (汽水域) への降海履歴を推定できるため、清家ほか (2002) に準じて、上記で耳石の日輪解析と DNA による由来判定に供したアユの内、下流側の淀川大堰魚道でアユの遡上が始まった後の 4 月に採集され、かつ体長が大きい 4 個体について、発育に伴う耳石上のカルシウムとストロンチウムの濃度変化を、波長分散型電子線マイクロアナライザーを用いて測定し、カルシウムに対するストロンチウムの濃度比を 10^3 倍にする Sr/Ca 比を把握した。この Sr/Ca 比の測定に際しては、上述のワンドで採捕したサンプルの他に、ワンドの下流側に位置する淀川大堰の魚道を遡上した海域 (汽水域) へ降海した個体を対照サンプルとした。

環境 DNA によるアユの検出 アユのワンドへの進入状況や生息状況を調査するため、環境 DNA 分析によりアユ DNA の在・不在検出を行った。河川水試料は地引網による魚類調査の実施前に 4 つのワンドの陸側岸辺の中央部とワンドの上流約 1 km の淀川本川の岸辺で、プラスチック製ボトルを用いて表層水を採取した。なお、採水時はサンプル間の交互汚染を防ぐため使い捨てビニール手袋を着用した。微生物の活動による DNA の減少防止を目的に、採取した河川水ボトルに現地で塩化ベンザルコニウムを 0.01% となるよう添加し (Yamanaka et al., 2017)、遮光・保冷して実験室に持ち帰って 24 時間以内でろ過を行った。ろ過は水 500 ml あたりガラスフィルター (GF/F, 直径 47 mm) 1 枚を用い、1,000 ml を 1 つのサンプルとした。ろ過したガラスフィルターは、DNA 抽出時まで -20°C で冷凍保存した。ガラスフィルターからの DNA 抽出は福岡ほか (2016)

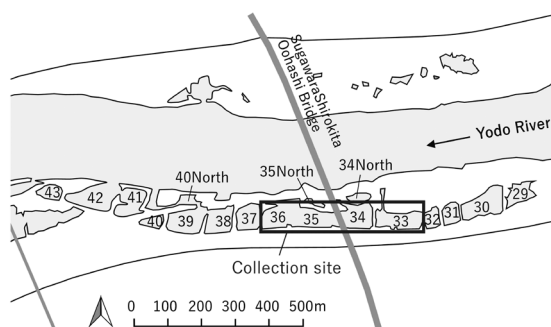


Fig. 2. Closer map of the collection site (Shirokita Wandos Area). Square indicates the fish collection site. Each “wando” is numbered, and the number indicates the wando number.

Table 1. Numbers and body length of collected ayu

Year	2018				2019				Total	
	Site./Month	Apr	May	Jun–Nov	Dec	Jan	Feb	Mar		Apr
No.33						1 (35)	1 (55)	5 (43 ± 3.9)		7
No.34				17 (41 ± 1.5)			1 (48)	6 (66 ± 4.0)	8 (66 ± 10.6)	32
No.35	1 (64)	1 (67)					48 (47 ± 3.6)	3 (59 ± 2.3)	12 (83 ± 7.9)	65
No.36	1 (77)					1 (51)	2 (57 ± 2.8)	11 (55 ± 4)	3 (70 ± 2.0)	18
Total	2	1	0	17	2	52	25	23		122

Numbers indicate number of collected individuals. Numbers in brackets indicate body length (mean ± standard deviation) in mm.

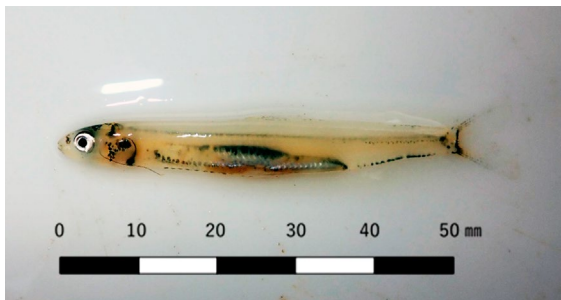


Fig. 3. Collected Ayu individual (48.3 mm standard length, 5 February 2019). The body is transparent and shows the characteristics of fry fish.

に従い、サリベット（ザルスタット社製）と DNeasy Blood & Tissue Kit（キアゲン社製）を用いて行った。得られた 100 μ l の抽出液は -20°C で冷凍保存した。Taqman リアルタイム PCR 法によるアユ検出のためのプライマー・プローブセットは、Yamanaka and Minamoto (2016) に従い（Paa-CytB-Forward, 5'-CCTAGTCTCCCTGGCTTTATTCTCT-3', Paa-CytB-Reverse, 5'-GTAGAATGGCGTAGGCGAA A-3' ; Paa-CytB-Probe ; 5'-FAM-ACTTCACGGC AGCCAACCCCC-TAMRA-3'），反応液組成は各プライマーを終濃度に対して 900 nM，同様に TaqMan プローブを 125 nM，2×TaqMan Environmental Master Mix 2.0（ThermoFisher Scientific）を 10 μ l，AmpErase UNG（ThermoFisher Scientific）を 0.2 μ l，抽出液を 2 μ l とし，分子生物学用水を加えて最終量を 20 μ l とした。リアルタイム PCR 装置は Thermal Cycler Dice Real Time System II（タカラバイオ社製）を用い，反応温度条件は 95°C10 分の初期反応の後，95°C15 秒，60°C1 分の反復を 60 回行った。ネガティブコントロールとして，調査毎に現地で塩化ベンザルコニウムを添加した蒸留水を河川水と同様のろ過・抽出作業を行ったものを用いた。ポジティブコントロールは採捕したアユの尾鰭から，カネカ簡易 DNA 抽出キット version 2（カネカ社製）

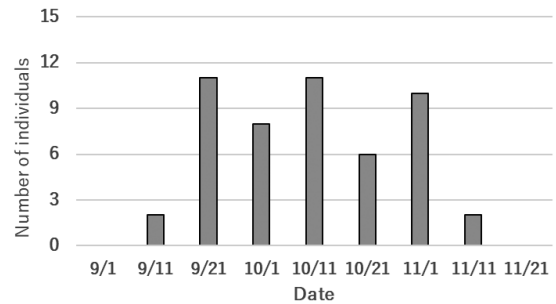


Fig. 4. Distribution of the birth-dates determined by otolith analysis.

によって抽出した DNA を用いた。環境 DNA 抽出物 2 μ l をテンプレートとし，3 反復の反応中で 1 つ以上増幅が認められたものを検出有り，全く増幅が無かったものを検出無しとした。

結果と考察

ワンドで採捕されたアユ 調査期間中の 2018 年 4 月と 5 月，さらに両側回遊アユが海域で生活する期間と想定される冬期を含む 2018 年 12 月から 2019 年 4 月に 4 つのワンドで合計 122 個体のアユが採集された (Table 1 ; Fig. 3)。2018 年 10 月から 12 月にかけて採集された個体の体長は，これらのワンドより下流に位置する淀川大堰や毛馬水門において同時期に採集された流下仔魚の全長から類推される体長（ほとんどが全長 6mm 程度；瀬口ほか，2019）より明らかに大きかった。また，期間中全てのワンドで毎月の採集例がなかったものの，2018 年 12 月以降 2019 年 4 月の調査期間中にかけて採集個体の体長は概ね経時的な成長が確認された。

ワンドで採捕されたアユの孵化日・由来・回遊履歴 2018 年 12 月から 2019 年 4 月の各月のサンプルから無作為に抽出した 50 個体の耳石によ

多くの時期にアユの環境 DNA が検出されたことから、流域での放流や飼養、上流の琵琶湖における陸封アユ由来の DNA が流下している可能性を排除できず、環境 DNA によって天然海産アユの遡上分布を確認することができないとしている。今回の環境 DNA による本川の結果は、これらの先行研究と同様であったものの、本川と水面が隔離されたワンドについては、アユの捕獲時期や推定される当歳魚の流下時期と環境 DNA による在判定時期が概ね一致した。ワンドで捕獲されたア

ユの孵化日が、上述のとおり 9 月後半から 11 月上旬であったことを勘案すると、アユはワンドで周年生息するのではなく、ワンド以外の水域で産卵・孵化し、淀川本川を降河中にワンドに加入したものと考えられる。これらのワンドで捕獲されたアユの孵化日と各個体の採集日までの期間で、淀川本川の水位が本川と城北ワンド群を隔てる隔壁を明確に上回った機会は 10 月初旬に一度しかないにも関わらず、その後に孵化した個体もワンドに加入している。ワンドの隔壁上部の石積みは

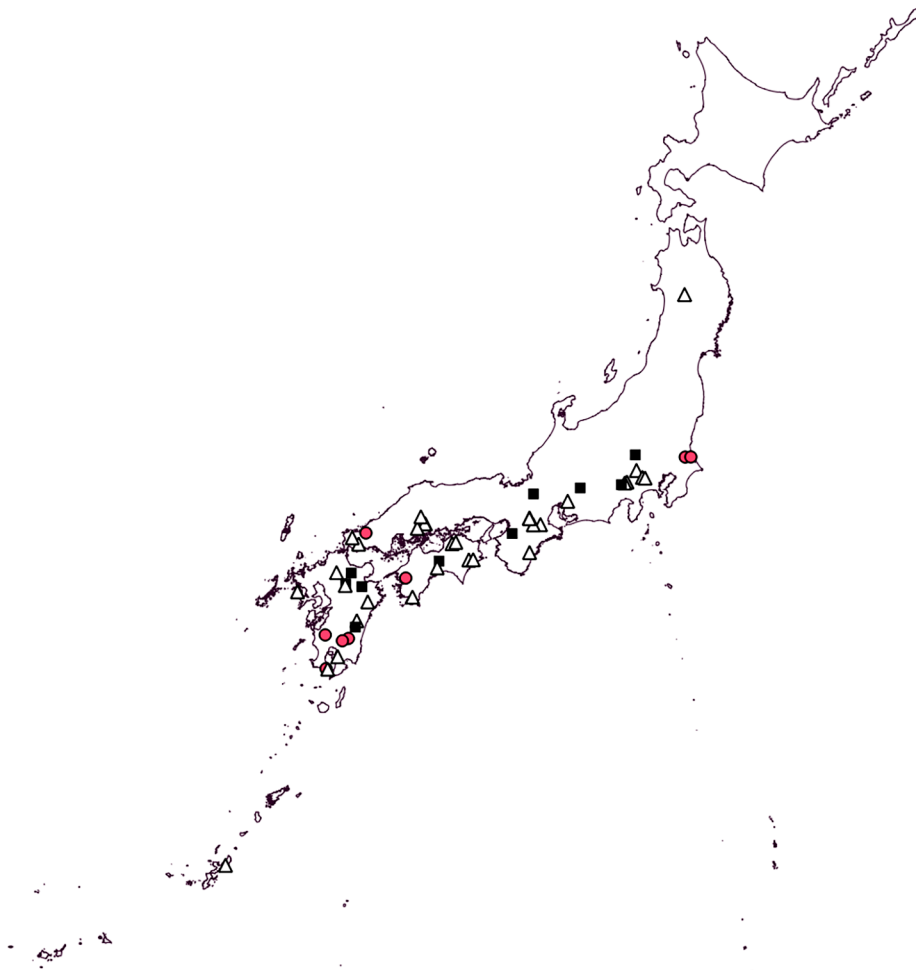


Fig. 7. Distribution of reported cases of landlocked ayu in Japan. The circles indicate Amphibious, the squares indicate Lake Biwa form, and the triangles indicate unknown origin. This distribution map was created based on the following papers: Fujimoto (1957), Azuma (1977), Kato (1985), Seki and Taniguchi (1988), Hara et al. (1998), Konishi and Nobusawa (1994), Tachihara (1994), Kitakado et al. (1995), Seki et al. (1995), Takagi et al. (2001), Kagehira and Azechi (2004), Nemoto et al. (2003), Noichi et al. (2003), Takatsu (2003), Umino et al. (2007), Yamamoto et al. (2008), Nishinohon Institute of Technology (2010), Shinohara (2010), Takahashi et al. (2015), and Kotori Okamoto and Riu Kondo' unpublished data [Abstract (PH-30), 66th Annual Meeting of the Ecological Society of Japan (March 2019, Kobe): <https://www.esj.ne.jp/meeting/abst/66/PH-30.html>].

本川増水時に本川からワンド内に水が流入するが、体長が小さい流下仔魚はこのような流れから流入したものと考えられた。また、大水ほか(2001)は流動モデルにより、今回の調査対象とした城北34~36号ワンドへの河川水の流入は、上流部の城北33号ワンド付近から生じると説明しており、これらのアユは、淀川本川の水位が上昇したタイミングでワンド内に進入し、ワンド内に残留した可能性がある。また、本川では7月と12月を除き通年に渡ってアユの環境DNAが検出されている。アユが生息する琵琶湖から流下したDNAが当該地点まで到達する可能性を否定できないものの、ワンドだけでなく本川でもアユが残留している可能性が示唆された。これは上述の田中・平松(2004)の報告と整合する。本川で7月と12月にアユのDNAが検出されなかった理由としては、河川水中のアユの環境DNAの濃度は生息密度に強い相関が見られること(Doi et al., 2017)や、活動が低下する時期で検出能が低下したこと(Buxton et al., 2018; Hayami et al., 2020)が考えられる。矢田・加藤(1987)は、淀川本流の湛水域で4月頃から地引網で捕獲されているアユが7月に捕獲されなくなるのは、アユが上流に遡上するためと考察している。また、12月はアユの仔魚・稚魚期であり資源量が小さく、水温低下により活動が低下し環境中へのDNAの放出が少なかったものと考えられる。

天然海産アユの遡上水域における陸封アユの存在 アユの陸封事例は、琵琶湖も含めた10自然湖と40ダム湖が報告されているものの(Fig. 7)、これらの陸封事例は河川上流のダム湖か、海域との連続性が分断された自然湖であり、河川の下流部における報告はなく、今回の淀川下流部において河川に残留するアユが生息することは特異的なことと考えられる。また、判別手法が明確になっていないものも含めて、陸封アユの由来は琵琶湖産が13事例、海産アユが8事例となっており、残りの29事例は不明となっている。この内、茨城県の霞ヶ浦・北浦の陸封アユ個体群の創設経緯は、根本ほか(1998)によると常陸川水門の運用に伴い海域との連続性が分断され、淡水化したことにはじまり、陸封アユの由来は海産系アユとされている(根本ほか, 2003)。また、常陸川水門には魚道が設置されており、天然海産アユの遡上は可能であるため、陸封アユと遡上する天然海産アユが共存する可能性があるものの、天然海産アユの個体数は極めて少ないとされている(根本ほ

か, 1998)。一方で、今回ワンドで確認された河川残留アユの個体数は不明であるものの、毎年3~230万個体の海産アユが遡上する水域で、河川残留アユが生息していることが明らかになった。Takeshima et al. (2009)は、淀川水系の海域から遡上してくるアユには琵琶湖産アユと両側回遊性アユの遺伝的な2系統が存在することを報告しているが、今回の結果から淀川における琵琶湖産アユ個体群は河川残留個体と遡上個体の両方が存在していることが推測される。なお、Takeshima et al. (2009)は、淀川水系では複数の漁業協同組合により琵琶湖産アユの放流が行われており、この琵琶湖産アユの由来は不明としているが、今回ワンドで確認された河川残留アユについても同様に、その由来は不明である。

岐阜県・長良川(松田ほか, 2005)や富山県・庄川(田子, 1999)では放流由来の琵琶湖産アユの生存や天然海産アユとの交雑が示唆されているものの、従来、河川に放流された湖産アユやその交雑個体の仔魚は、海域へ降河する過程で死滅するという報告が多い(例えば、東, 1980)。一方で、Takeshima et al. (2009)は、琵琶湖産アユの仔魚は流下する過程で塩分耐性を獲得することで、海域(汽水域)に降河しても死滅せず遡上すると推測しているが、今回の結果や瀬口ほか(2019)が推測したとおり、淀川を降河するアユの仔魚の一部は、淀川大堰の湛水域でトラップされ、そこで成長し塩分耐性を獲得した後に、淀川大堰より下流に降河することによって死滅を免れている可能性も考えられた。また、このように湛水域で成長した個体の一部は、淀川大堰から降河せずにそのまま淀川大堰の湛水域で残留すると考えられた。一般に、植物プランクトンは流水環境中には増殖しにくいとされているが(例えば、小泉, 1971)、淀川大堰の湛水域という止水環境では植物プランクトンが増殖し、ひいてはアユの仔稚魚の餌料であるカイアシ類ノープリウス幼生やワムシなどの動物プランクトン(例えば、八木ほか, 2006)が豊富に生息することで湛水域での成長を保障している可能性がある。このように、本来は塩分耐性の低い琵琶湖産アユが、河口堰の湛水域で成長することによって塩分耐性を獲得する機構が他の河川に存在するのであれば、その湛水域や下流部で河川残留アユや琵琶湖産アユの海域からの遡上が確認されるはずである。

しかし、河口堰がある他の河川で同様の河川残留アユが報告されていないのはなぜだろうか。淀川

の上流域には琵琶湖という巨大なプランクトンの供給地があることが理由かもしれない。ダム下流などでは流下するプランクトンや有機物は底生動物などの捕食や河床などで捕捉され減耗することが知られているが（例えば、対馬ほか，2007），琵琶湖の流出河川であり淀川に合流する宇治川は，同じく淀川に合流する木津川と比べて微粒状有機物が捕捉されにくく，淀川本川まで流下する率が高いことを報告している（竹門ほか，2006；Ock and Takemon, 2010）。そのため，淀川では他の河川と比べて多くのプランクトンが供給されるという特性があると考えられる。さらに，淀川大堰の湛水域に接続するワンドは，アユの餌料となる動物プランクトンが再生産されやすく，アユ仔稚魚期の摂餌場になっていると考えられる。イワナ *Salvelinus leucomaenis* などのサケ科魚類では降海型と河川残留型の生活史戦略を進化させている（森田・森田，2007）。アユの場合のいずれの陸封事例は，このようなサケ科魚類の河川残留型の生活史戦略とは異なり受動的な要因によって生じていると考えられる。そして淀川大堰の湛水域において河川残留個体が生存できる要因は降河の阻害等により受動的に生じると考えられ，淀川の特異的な環境条件によると考えられ，ひいては淀川水系の海域から遡上してくるアユに琵琶湖産アユと両側回遊性アユの遺伝的な2系統が存在する要因となっている可能性がある。

今後の課題 淀川における天然海産アユを保全する上で，今回確認された河川残留アユの再生産に伴う個体群の存続（河川残留アユの子は河川残留アユとなり陸封されているのか）を把握するとともに，これらの個体群サイズを把握し，淀川のアユ資源全体にどれだけ寄与しているのかを把握することが今後の課題である。また，全国の大規模な河口堰がある河川において，その湛水域における河川残留アユの存在や琵琶湖産アユの生存，さらには遡上状況を把握することで，琵琶湖産アユによる遺伝子浸透についても検討することが望まれる。

謝 辞

地引網による魚類調査は，国土交通省近畿地方整備淀川河川事務所から地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所生物多様性センターへの委託事業“イタセンパラ保護定着調査業務（平成30年度，平成31年度の一部）”の一環として

実施し，採捕の一部は，大阪産業大学鶴田准教授ならびに同学生諸士と共同で実施した。地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所生物多様性センターの上原一彦博士，内藤 馨氏，他職員諸氏には，淀川における地引網調査や過去のアユ確認情報について多くの力添えや助言をいただいた。また，匿名の2名の査読者には適切なご助言・校閲を頂き，担当編集委員の高橋 洋氏には原稿修正に際して適切な助言を頂いた。さらに，アユの遺伝子分析による由来判定については株式会社日本総合科学の野口大毅氏に，耳石の Sr/Ca 分析については株式会社水士舎の齊藤真美氏に協力を頂いた。ここに感謝の意を表します。

引用文献

- 東 幹夫. 1973. びわ湖における陸封型アユの変異性に関する研究 IV 集団構造と変異性の特徴についての試論. 日本生態学会誌, 23: 255-265.
- 東 幹夫. 1977. びわ湖のアユをめぐる種の問題. 淡水魚, 3: 78-86.
- 東 幹夫. 1980. コアユー一代限りの侵入者. 川合 禎次・川那部浩哉・水野信彦（編），pp. 154-161. 日本の淡水生物. 東海大学出版会，東京.
- Buxton, A. S., J. J. Groombridge and R. A. Griffiths. 2018. Seasonal variation in environmental DNA detection in sediment and water samples. PLoS ONE, 13 (1): e0191737.
- Doi, H., R. Inui, Y. Akamatsu, K. Kanno, H. Yamanaka, T. Takahara and T. Minamoto. 2017. Environmental DNA analysis for estimating the abundance and biomass of stream fish. Freshw. Biol., 62: 30-39.
- 藤本政男. 1957. 山口県豊田湖（木屋川ダム）に於ける陸封鮎の生態学的研究 - I. 農林省水産講習所研究報告, 7: 179-183.
- 福岡有紗・高原輝彦・松本宗弘・兵庫県立農業高校生物部・丑丸敦史・源 利文. 2016. 在来希少種カワバタモロコシの環境 DNA による検出系の確立. 日本生態学会誌, 66: 613-620.
- Hara, M., T. Sakamoto, M. Sekino, K. Ohara, H. Matsuda, M. Kobayashi and N. Taniguchi. 2006. Characterization of novel microsatellite DNA markers in ayu *Plecoglossus altivelis*. Fish. Sci., 72: 208-210.
- 原 徹・森 美津雄・後藤功一. 1998. 阿木川ダム湖における陸封アユの調査 - II 湖内で再生産している稚アユの種類について. 岐阜県水産試験場研究報告, 43: 25-27.
- Hayami, K., M. K. Sakata, T. Inagawa, J. Okitsu, I. Katano, H. Doi, K. Nakai, H. Ichiyanagi, R. O. Gotoh, M. Miya, H. Sato, H. Yamanaka and T. Minamoto. 2020. Effects of sampling seasons and locations on fish environmental DNA metabarcoding in dam reservoirs. Ecol. Evol., 10:

- 5354-5367.
- 景平真明・畔地和久. 2004. アユ資源総合対策事業 松原ダムの陸封アユの産卵期. 大分県海洋水産研究センター内水面研究所(編), pp. 9-11. 平成14年度大分県海洋水産研究センター内水面研究所事業報告. 大分県農林水産研究センター水産試験場, 大分.
- 加藤憲司. 1985. 奥多摩湖における陸封アユの自然繁殖. 水産増殖, 33: 139-142.
- 北角 至・中村和夫・吉田正雄. 1995. 那賀川水系のアユの陸封調査. 徳島県水産試験場(編), pp. 30-37. 平成4年度徳島県水産試験場事業報告. 徳島県水産試験場, 徳島.
- 小泉清明. 1971. 川と湖の生態. 共立出版, 東京. 200 pp.
- 国土交通省近畿地方整備局. 2009. 淀川水系河川整備計画. 国土交通省近畿地方整備局, 大阪. 101 pp.
- 近藤正美・泉川晃一・本多卓志・大槻清人. 2008. ダム湖上流に造成した人工産卵場の造成効果と湖内でのアユの成長について. 岡山県水産試験場報告, 23: 35-44.
- 小西浩司・信沢邦宏. 1994. 全国の陸封アユに関するアンケート調査. 群馬農業研究E水産, 10: 48-52.
- 松田宏典・原 徹・長瀬 崇・桑田智亘. 2005. 長良川で採集した仔アユ内における陸封型の混合率と交雑個体-II. 岐阜県水産試験場研究報告, 50: 1-6.
- 森田健太郎・森田晶子. 2007. イワナ(サケ科魚類)の生活史二型と個体群過程. 日本生態学会誌, 57: 13-24.
- 根本隆夫・林崎健一・Krittikar Kaewsangk・朝日田卓・井田 齊・猿渡敏郎. 2003. アロザイム分析からみた霞ヶ浦水系におけるアユの由来. 茨城県内水面水産試験場調査研究報告, 38: 60-63.
- 根本隆夫・中村 誠・杉浦仁治. 1998. 霞ヶ浦水系におけるアユの生態学的研究-III 霞ヶ浦における再生産個体群の出現と増加のメカニズム. 茨城県内水面水産試験場調査研究報告, 34: 1-21.
- 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. 株式会社西日本科学技術研究所, 高知. 10 pp.
- 乃一哲久・山口勝秀・玉本泰之. 2003. 長崎県大瀬戸町雪浦川の陸封アユ. 長崎県生物学会誌, 56: 1-6.
- Ock, G. and Y. Takemon. 2010. Estimation of transport distance of fine particulate organic matter in relation to channel morphology in tailwaters of the Lake Biwa and reservoir dams. Landsc. Ecol. Eng., 6: 161-169.
- 大水菜津子・中谷貴史・綾 史郎. 2001. 城北ワンド群の水理環境に関する研究. 河川技術論文集, 7: 345-350.
- 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, 25: 423-428.
- 清家 暁・岡部正也・佐伯 昭・海野徹也・大竹二雄・中川平介. 2002. 耳石 Sr/Ca 比による高知県伊尾木川および物部川産アユの由来判別. 日本水産学会誌, 68: 852-858.
- 関 伸吾・谷口順彦. 1988. 天然湖および人工湖の移植陸封アユおよび人工採苗アユの由来について. 水産育種, 13: 39-44.
- 関 伸吾・高木基裕・谷口順彦. 1995. DNAフィンガープリントとアロザイム遺伝標識による野村ダム湖産アユの遺伝変異保有量の推定. 水産増殖, 43: 97-102.
- 篠原直哉. 2010. 淡水生物増殖対策事業 (2) 寺内ダム上流に生息する陸封アユ調査. 福岡県水産海洋技術センター(編), pp. 323-325. 平成20年度福岡県水産海洋技術センター事業報告. 福岡県水産海洋技術センター, 福岡.
- 立原一憲. 1994. アユの陸封化. 池原貞雄・諸喜田茂充(編), pp. 168-171. 琉球の清流-リュウキュウアユがすすめる川を未来へ. 沖縄出版, 沖縄.
- 立原一憲・木村清朗. 1992. 池田湖における陸封アユの産卵行動の開始と風の関係. 日本水産学会誌, 58: 25-28.
- 田子泰彦. 1999. 庄川における放流湖産アユの生残. 水産増殖, 47: 111-112.
- 高木基裕・酒井治己・今井千文・鬼頭 均・畑間俊弘. 2001. 阿武川ダム湖における海系放流アユの陸封化. 水産育種, 31: 39-44.
- Takagi, M., E. Shoji and N. Taniguchi. 1999. Microsatellite DNA polymorphism to reveal genetic divergence in ayu, *Plecoglossus altivelis*. Fish. Sci., 65: 507-512.
- 高橋勇夫・東 健作. 2016. 天然アユの本. 築地書館, 東京. 279 pp.
- 高橋勇夫・寺門弘悦・曾田一志・村山達朗・福井克也. 2015. 資料 江の川上流域におけるアユ漁場診断調査. 島根県水産技術センター研究報告, 8: 39-49.
- 高津公明. 2003. 中筋川ダムにおける陸封アユの生態調査. 平成15年度国土交通省国土技術研究会講演要旨: <https://www.mlit.go.jp/chosahokoku/h15giken/pdf/0131.pdf>. (参照2019-3-27)
- 竹門康弘・山本佳奈・池淵周一. 2006. 河川下流域における懸濁態有機物の流程変化と砂州環境の関係. 京都大学防災研究所年報, 49B: 677-690.
- Takeshima, H., K. Iguchi and M. Nishida. 2009. Ayu (*Plecoglossus altivelis*) in a contact zone between amphidromous and landlocked forms: genetic analyses of populations in the Yodo River system. Zool. Sci., 26: 536-542.
- 田中正治・平松和也. 2004. 淀川の生息魚類の分布及びその生態. 大阪府立食とみどりの総合技術センター水生生物センター研究報告, 12: 1-64.
- 谷口順彦・池田 実. 2009. アユ学. 築地書館, 東京. 352 pp.
- Tsukamoto, K. and T. Kajihara. 1987. Age Determination

- of Ayu with Otolith. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 53: 1985–1997.
- 対馬孝治・天野邦彦・傳田正利・時岡利和. 2007. ダムの下流における河川生態系への特定の有機物供給に関する研究. *水工学論文集*, 51: 1117–1122.
- 海野徹也・柴 智久・検崎仁美・柴田恭宏・長澤和也. 2007. 耳石 Sr/Ca 比による広島県芦田川水系における陸封アユの確認. *広島大学大学院生物圏科学研究科紀要*, 46: 35–42.
- 矢田敏晃・加藤喜久也. 1987. 淀川の魚類相と生息状況. *大阪府淡水魚試験場研究報告*, 9: 1–125.
- 八木佑太・美藤千穂・舟越 徹・木下 泉・高橋勇夫. 2006. 土佐湾沿岸域におけるアユ仔魚の分布および食性. *日本水産学会誌*, 72: 1057–1067.
- 山本香菜子・高山 翔・海野徹也・古澤修一・柴田恭宏・中村和夫. 2008. 耳石 Sr/Ca 比による広島県沼田川水系の天然遡上アユと陸封アユの判別. *広島大学大学院生物圏科学研究科紀要*, 47: 35–40.
- Yamanaka, H. and T. Minamoto. 2016. The use of environmental DNA of fishes as an efficient method of determining habitat connectivity. *Ecol. Indic.*, 62: 147–153.
- Yamanaka, H., T. Minamoto, J. Matsuura, S. Sakurai, S. Tsuji, H. Motozawa, M. Hongo, Y. Sogo, N. Kakimi, I. Teramura, M. Sugita, M. Baba and A. Kondo. 2017. A simple method for preserving environmental DNA in water samples at ambient temperature by addition of cationic surfactant. *Limnol.*, 18: 233–241.