

円山川における大規模湿地再生の効果把握 ～加陽地区における湿地等の再生効果～

永井 景子¹・田中 理穂²

¹豊岡市 コウノトリ共生部 農業政策課 (〒668-8666兵庫県豊岡市中央町2-4)

²近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 流域治水課 (〒668-0025兵庫県豊岡市幸町10-3)

本論文は、円山川流域の加陽湿地における湿地再生等の効果について、環境DNAの定量メタバーコーディング分析技術を用いて把握を試みたものである。2024年は堰上げによる人為的な氾濫原創出の後、2025年は堰上げ状態が継続した環境において調査を実施した。結果、堰上げされた環境を含む加陽湿地は氾濫原性魚類の繁殖の場として機能していることが示唆され、人為的に創出した氾濫原の方が開放型湿地や堰上げ状態が継続した環境よりもその効果は大きいと考えられた。

キーワード 湿地再生, 環境DNA, 氾濫原創出

1. はじめに

(1) 円山川流域の概要

円山川は、兵庫県朝来市生野町円山を水源として、豊岡盆地を流れ、出石川、奈佐川等の支川と合流して日本海に注ぐ幹川流路延長68km、流域面積1,300km²の一級河川である。

円山川流域では、河川と周辺の水田等が一体となった多様な生態系が形成されており、流域の湿地は、コウノトリをはじめとする様々な生物にとって、生息・生育・繁殖の場として重要な役割を果たしている。

(2) 加陽湿地の概要

円山川支川の出石川流域に位置する加陽地区では、円山川水系自然再生計画に基づき、コウノトリと人が共生していたかつての原風景の再生を目指して、大規模な湿地が整備されている（以降、“加陽湿地”）（図-1）。

湿地再生の具体計画立案及び維持管理の役割分担案等については、国、県、市、学識経験者及び地元による「出石川加陽地区湿地再生パートナー協議会」によって検討された。その後、パートナー協議会・地元・技術部会委員で構成される「加陽湿地ワーキング」によって、モニタリング調査結果をもとに課題抽出、改善方針が検討された。

地方自治体及び地域住民と連携・協働した維持管理体制、目標とする環境を継続的に維持する具体の手法がとりまとめられた加陽地区維持管理マニュアル（案）では、加陽湿地の目標は「多様な生物の生息環境の維持」とさ

れており、魚類に関する具体的な目標の一つとして「昔の湿田環境に類似したコイ・フナ類やナマズ等の繁殖の場」が挙げられている¹⁾。以上のような目標のもと、加陽湿地には、様々な生物の生息・生育・繁殖の場として機能するため、環境の異なる以下の水域が整備されている（図-2）²⁾。



図-1 加陽湿地の位置図

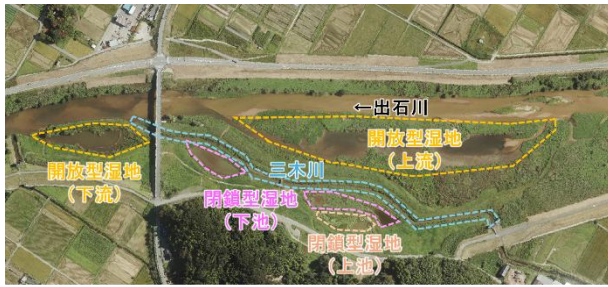


図-2 加陽湿地に整備されている水域

- 開放型湿地：上流と下流に1か所ずつある。常時出石川と接続しており，魚類等は出石川との間を自由に移動可能である。
- 閉鎖型湿地：下池と上池があり，下池は三木川，上池は山からの湧水と三木川からの水をそれぞれ引き込んでいる。魚類等は三木川との間を自由に移動できる。
- 三木川：加陽湿地よりも上流に位置する出石堰から取水された水が，堤内の田園地帯を通り三木川として加陽湿地に流入している。閉鎖型湿地に流入・流出したのち，出石川に合流する。

閉鎖型湿地及び三木川には1か所ずつ水位操作用の堰が設けられており，堰板を設置することで閉鎖型湿地及び三木川の水位を上げる（堰上げ）ことで，水際の植生帯が水没し人為的に氾濫原環境を創出することができる（図-3）。堰上げは，水田環境を利用する魚類の産卵期に合わせ，例年5月から6月に実施することで，これらの魚類の再生産に寄与する仕組みとなっている¹⁾。

(3) 本検討の目的

加陽湿地では，自然再生事業の効果を検証するため，平成22年度以降現在まで継続して魚類相のモニタリング調査が行われている。しかし，従来の直接採捕による調査は，調査に要する労力やコストに加え，生物への負荷も課題となることから，より簡便で定量的な把握手法の導入が望まれている。

本検討の対象とした環境DNAは水，土壌，大気等あらゆる環境中に存在するDNAの総称であり，生物の粘液や排泄物などに由来する。水などに溶け込んだDNAを抽出・増幅することで，その場に生息している生物に関する情報を得ることが可能である。環境DNAの分析方法は，特定の種を検出する分析（種特異的分析），全種を網羅的に検出する分析（メタバーコーディング分析）の2つに大別されるが，近年は分析技術の発達により，どの魚類のDNAがどれくらい存在するかを推定する分析（定量メタバーコーディング分析）が可能となっている³⁾。

以上より，本検討では魚類の環境DNAを対象とした定量メタバーコーディング分析により，加陽地区におけ



図-3 閉鎖型湿地の堰上げ状況



図-4 採水地点位置図

る湿地等の再生効果の把握を試みた。

2. 環境DNAを用いたモニタリング調査の内容

(1) 堰上げ前後での調査（2024年実施）

a) 調査方法

2024年は，堰上げによる氾濫原創出実験を実施し，創出した氾濫原環境を含む加陽湿地において，堰上げ前，

堰上げ2週後、堰上げ4週後に調査を実施した。

採水は図-4に示す4地点で実施した。氾濫原環境として、氾濫原（閉鎖型湿地）及び氾濫原（三木川）の2地点、対照区として、開放型湿地（下流）及び開放型湿地（上流）の2地点にて採水した。

採水は、上記の地点において、2024年6月6日（堰上げ前）、6月19日（堰上げ2週後）及び7月4日（堰上げ4週後）の計3回実施した。

採水した検体はろ過とDNAの抽出を行い、魚類を網羅的に検出可能なプライマーセットであるMiFishを用いて定量メタバーコーディング分析を行った。

b) 調査結果

本検討では、確認された種のうち、加陽湿地の目標として挙げられているコイ（コイ（型不明））、フナ（フナ属sp.）、ナマズに、それらと同様に氾濫原を産卵環境として利用するタモロコ属sp.、ドジョウ属sp.を加えた5種を氾濫原性魚類としてDNA濃度を整理した。これら5種のDNA濃度の変化を図-5に示す。

コイ（型不明）は、氾濫原環境の閉鎖型湿地・三木川及び対照区の開放型湿地（下流）では、堰上げ前から2週後・4週後にかけてDNA濃度が上昇した。対照区の開放型湿地（上流）では堰上げ前から2週後にかけてDNA濃度が下降、堰上げ2週後から4週後にかけてDNA濃度が上昇した。また、開放型湿地（上流）は堰上げ前、開放型湿地（上流）を除く3地点では堰上げ4週後にDNA濃度が最も高い値を示した。

フナ属sp.は、氾濫原環境の閉鎖型湿地では、堰上げ前から2週後にかけてDNA濃度が下降、堰上げ2週後から4週後にかけて大きく上昇した。氾濫原環境の三木川及び対照区2地点では、堰上げ前から2週後・4週後にかけてDNA濃度が上昇した。また、調査を実施した全地点において、堰上げ4週後にDNA濃度が最も高い値を示した。

タモロコ属sp.は、対照区2地点では、堰上げ前から2週後にかけてDNA濃度はほとんど変化がなく、堰上げ2週後から4週後にかけてやや上昇した。氾濫原環境2地点では、堰上げ前から2週後・4週後にかけてDNA濃度が上昇した。また、調査を実施した全地点において、堰上げ4週後にDNA濃度が最も高い値を示した。

ドジョウ属sp.は、氾濫原環境2地点では、堰上げ前はDNA濃度が非常に低く、堰上げ2週後にやや上昇、堰上げ4週後はDNA濃度が大きく上昇した。対照区2地点では堰上げ前・2週後はDNAが非検出または濃度が非常に低く、堰上げ4週後にやや上昇した。また、調査を実施した全地点において、堰上げ4週後にDNA濃度が最も高い値を示した。

ナマズは、氾濫原環境の閉鎖型湿地及び対照区の開放型湿地（下流）では、堰上げ前から2週後・4週後にかけてDNA濃度が上昇した。氾濫原環境の三木川では、堰上げ前から2週後にかけてDNA濃度が大きく上昇し、堰上げ

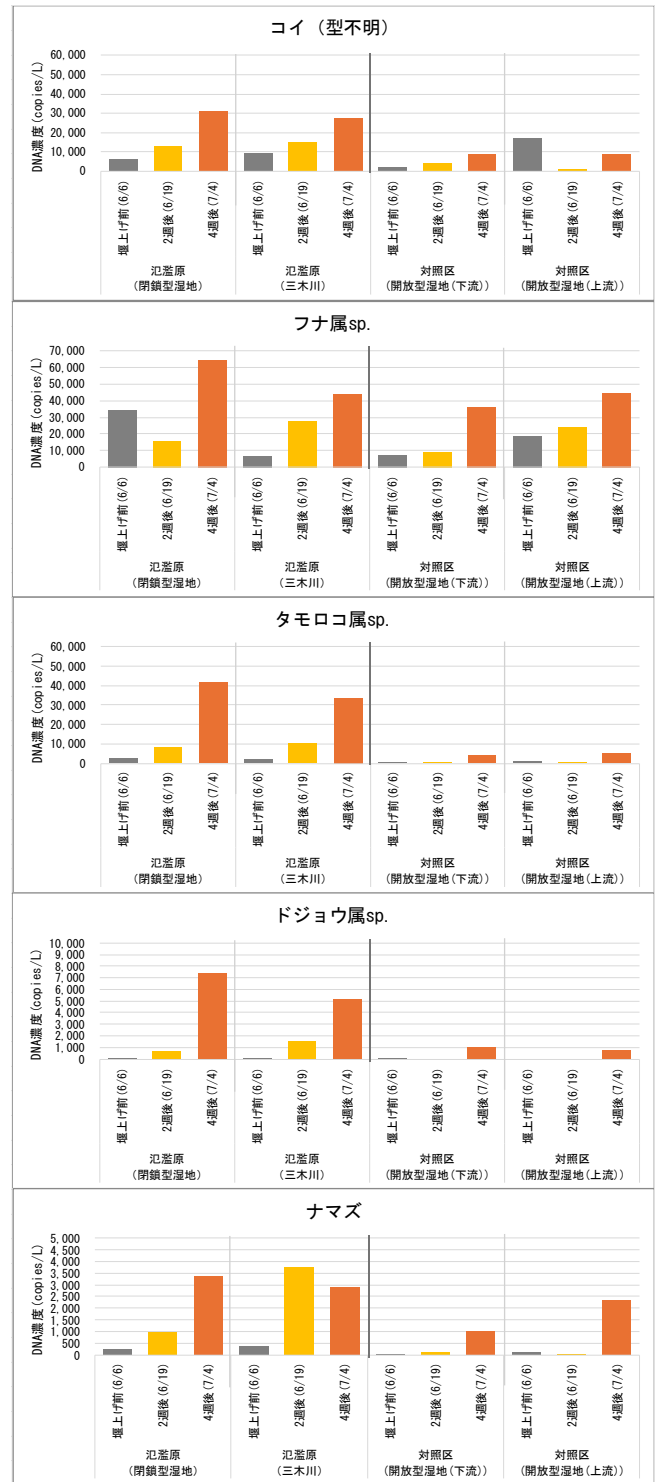


図-5 氾濫原性魚類のDNA濃度の変化（2024年調査）

4週後にかけてDNA濃度がやや下降した。対照区の開放型湿地（上流）では、堰上げ前から2週後にかけてDNA濃度がやや下降し、堰上げ4週後にかけてDNA濃度が大きく上昇した。また、氾濫原環境の閉鎖型湿地及び対照区2地点では堰上げ4週後、氾濫原環境の三木川では堰上げ2週後にDNA濃度が最も高い値を示した。

(2) 堰上げ状態が継続した環境での調査（2025年実施）

a) 調査方法

2025年は、2024年から堰上げされた状態が約1年間継続した氾濫原環境において、魚類の産卵期に2週間間隔で調査を実施した。

採水は、2025年5月14日、5月28日及び6月12日の計3回実施した。

なお、採水箇所及びDNAの採水から分析に至るまでの方法は(1) 堰上げ前後での調査(2024年実施)と同様とした。

b) 調査結果

(1) 堰上げ前後での調査(2024年実施)と同様、確認された種のうち、加陽湿地の目標として挙げられているコイ(コイ(型不明))、フナ(フナ属sp.)、ナマズに、それらと同様に氾濫原を産卵環境として利用するタモロコ属sp.、ドジョウ属sp.を加えた5種を氾濫原性魚類としてDNA濃度を整理した。これら5種のDNA濃度の変化を図-6に示す。

コイ(型不明)は、氾濫原環境の三木川では第1回から第2回・第3回にかけてDNA濃度が上昇した。氾濫原環境の開鎖型湿地及び対照区の開放型湿地(下流)では、第1回から第2回にかけてDNA濃度が下降、第2回から第3回にかけてDNA濃度が上昇した。対照区の開放型湿地(上流)では、第1回のDNA濃度は非常に低かったが、第2回では大きく上昇、第3回では0であった。また、氾濫原環境2地点では第3回、対照区の開放型湿地(下流)では第1回、開放型湿地(上流)では第2回調査時にDNA濃度が最も高い値を示した。

フナ属sp.は、氾濫原環境2地点では、第1回から第2回にかけてDNA濃度が上昇し、第2回から第3回にかけて下降した。対照区の開放型湿地(下流)では、第1回から第2回・第3回にかけてDNA濃度が上昇した。開放型湿地(上流)では、第1回から第2回にかけてDNA濃度が下降、第2回から第3回にかけてDNA濃度が上昇した。また、氾濫原環境2地点では第2回、対照区の開放型湿地(下流)・開放型湿地(上流)では第3回調査時にDNA濃度が最も高い値を示した。

タモロコ属sp.は、氾濫原環境2地点及び対照区の開放型湿地(下流)では、第1回から第2回にかけてDNA濃度が上昇し、第2回から第3回にかけて下降した。開放型湿地(上流)では、第1回から第2回・第3回にかけてDNA濃度が上昇した。また、氾濫原環境2地点及び対照区の開放型湿地(下流)では第2回、開放型湿地(上流)では第3回調査時にDNA濃度が最も高い値を示した。

ドジョウ属sp.は、氾濫原環境2地点では、第1回から第2回・第3回にかけてDNA濃度が上昇した。対照区の開放型湿地(下流)では、第1回から第2回にかけてDNA濃度が上昇し、第2回から第3回にかけて下降した。開放型湿地(上流)では、第1回に微量のDNAが検出されたが第2回・第3回調査ではDNAは検出されなかった。また、氾濫原環境2地点では第3回、対照区の開放型湿地(下流)

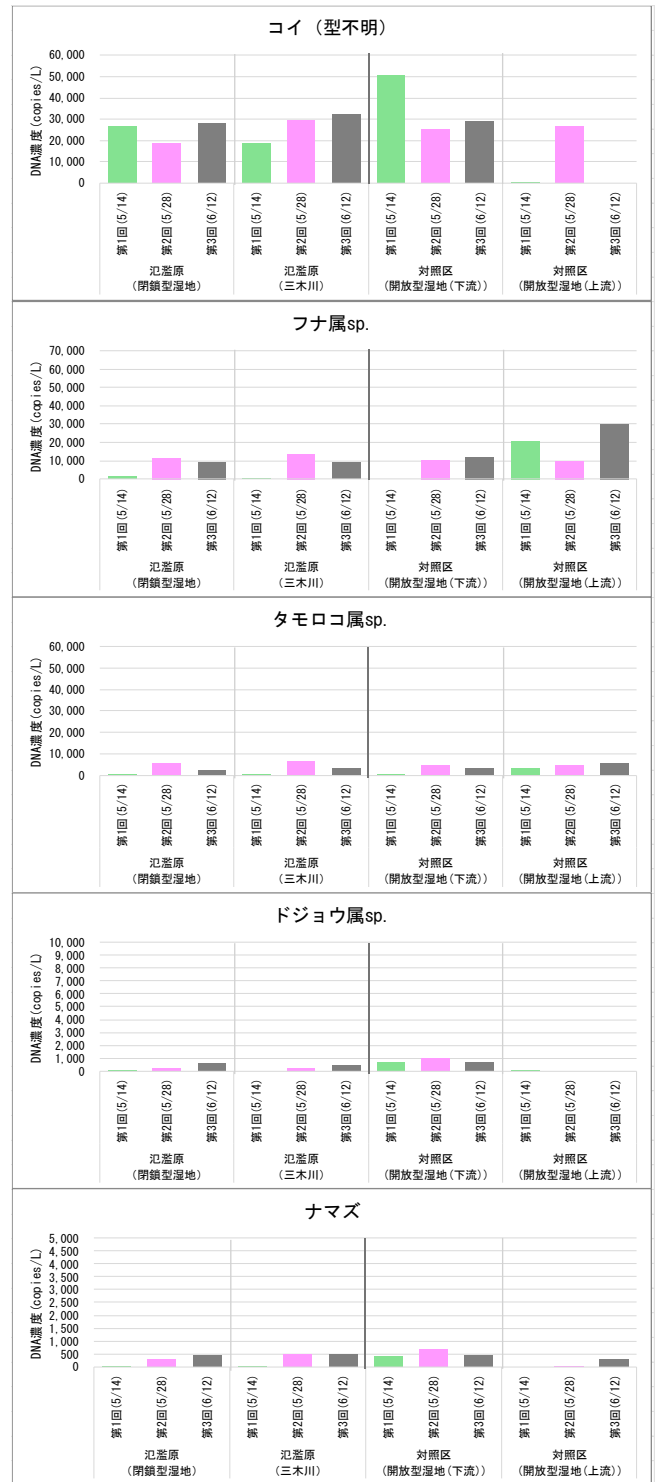


図-6 氾濫原性魚類のDNA濃度の変化(2025年調査)

では第2回、開放型湿地(上流)では第1回調査時にDNA濃度が最も高い値を示した。

ナマズは、氾濫原環境の三木川及び対照区の開放型湿地(下流)では、第1回から第2回にかけてDNA濃度が上昇し、第2回から第3回にかけて下降した。氾濫原環境の開鎖型湿地及び対照区の開放型湿地(上流)では第1回から第2回・第3回にかけてDNA濃度が上昇した。また、氾濫原環境の三木川及び対照区の開放型湿地(下流)では第2回、氾濫原環境の開鎖型湿地及び対照区の開放型

湿地（上流）では第3回調査時にDNA濃度が最も高い値を示した。

3. 考察

(1) 氾濫原性魚類の繁殖の場としての利用について

2024年の調査結果では、氾濫原性魚類のDNA濃度が堰上げ前は低く、堰上げ2週間または4週間後に大きく上昇する傾向であった。この傾向は氾濫原環境3地点及び対照区2地点に共通して確認された（図-5 氾濫原性魚類のDNA濃度の変化（2024年調査）より）。

2025年の調査結果では、氾濫原性魚類のDNA濃度が、第1回と第2回の間で上昇する傾向であった。この傾向は氾濫原環境3地点及び対照区2地点に概ね共通して確認された（図-6 氾濫原性魚類のDNA濃度の変化（2025年調査）より）。

Tsuji & Shibata (2021)では、メダカを対象とした実験で、水槽内の実験・野外実験とも、産卵後に環境DNA濃度が急激に増加することが報告されている⁴⁾。

以上より、創出した氾濫原および開放型湿地が氾濫原性魚類の繁殖の場として利用されていたと考えられる。

(2) 氾濫原の創出効果について

堰上げを実施した2024年の調査結果では、堰上げ2週間または4週間後における氾濫原性魚類のDNA濃度が、対照区よりも氾濫原環境の方が高い傾向であった。このことから、堰上げにより創出した氾濫原の方が、対照区である開放型湿地よりも氾濫原性魚類の繁殖の場として適していると考えられる（図-5 氾濫原性魚類のDNA濃度の変化（2024年調査）より）。

(3) 繁殖の場としての効果の維持について

DNA濃度が最も高い時がその場所における魚類の繁殖行動が最も活発であると想定されるため、2024年及び2025年でDNA濃度の最高値を地点別に比較した（図-7）。

各採水地点における氾濫原性魚類のDNA濃度の最高値は、コイ（型不明）を除き、堰上げ状態が約1年間継続した2025年よりも堰上げ操作直後であった2024年の方が高い傾向であった。

以上より、2024年と2025年では3週間程度調査時期が異なることに留意する必要があるものの、堰上げ環境が継続した環境よりも、堰上げを実施した方が多くの氾濫原性魚類の繁殖の場として適した環境となっていたと考えられる。

ただし、前述したように2025年にも氾濫原性魚類のDNA濃度が第1回と第2回の間で上昇する傾向が確認さ

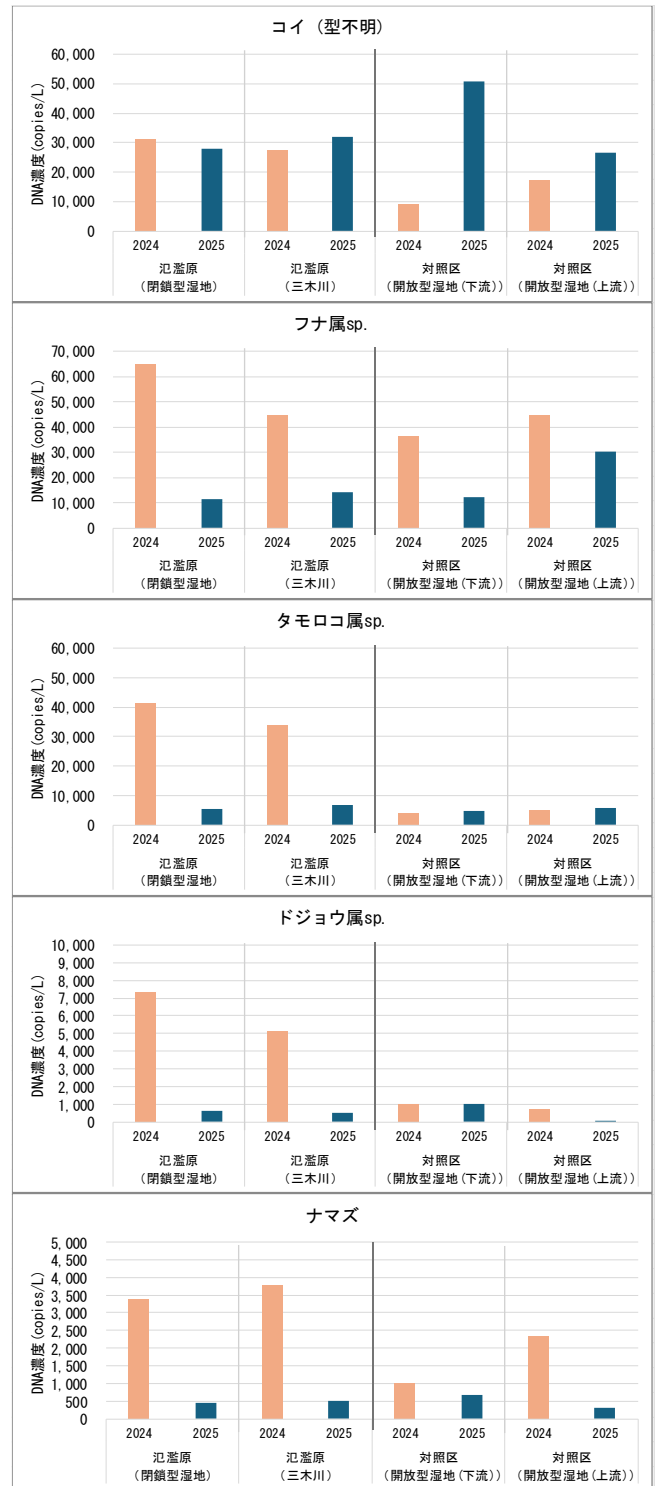


図-7 2024年及び2025年における氾濫原性魚類DNA濃度の最高値の地点別比較

れており、堰上げ状態が継続した環境における繁殖の場としての機能は、開放型湿地と同程度維持されていたものと推察される。

4. 結論

2024年及び2025年に実施した環境DNAの定量メタバーコーディング調査により、加陽地区における湿地等の再生効果に関する以下の知見が得られた。

(1) 加陽湿地の目標の達成状況について

5月下旬から7月上旬にかけて氾濫原性魚類のDNA濃度の上昇が見られ、創出した氾濫原および開放型湿地が氾濫原性魚類の繁殖の場等として利用されていたことが示唆された。このことより、加陽湿地における目標の一つである「昔の湿田環境に類似したコイ・フナ類やナマズ等の繁殖の場」は達成できている可能性が高いと考えられる。

(2) 氾濫原の創出効果とその維持について

2024年に実施した堰上げ前後での調査結果より、堰上げにより創出した氾濫原の方が、開放型湿地よりも氾濫原性魚類の繁殖の場として適していることが示唆された。

また、2024年と2025年の調査結果を比較したことにより、堰上げ環境が継続した環境よりも、堰上げを実施した方が氾濫原性魚類の繁殖の場として適した環境となっていたことが示唆された。

最後に、本調査の実施にあたり、多大なるご協力をいただきました加陽地域の皆様に深く感謝いたします。また、本稿の作成にあたりご指導とご協力を賜りました国土交通省近畿地方整備局豊岡河川国道事務所、ならびに環境DNA調査において多大なるご支援をいただきました公益財団法人リバーフロント研究所の各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所：加陽湿地維持管理マニュアル（案），2014
- 2) 国土交通省近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所：出石川加陽地区 大規模湿地再生事業 いのちにぎわう水辺づくり，2020
- 3) Ushio,M., Murakami,H., Masuda,R., Sado,T., Miya,M., Sakurai,S., Yamanaka,H., Minamoto,T. & Kondoh,M.:Quantitative monitoring of multispecies fish environmental DNA using high-throughput sequencing, Metabarcoding and Metagenomics 2:1-15, 2018
- 4) Tsuji,S. & Shibata,N. : Identifying spawning events in fish by observing a spike in environmental DNA concentration after spawning, Environmental DNA.2021; 3:190-199.

※本論文の内容は、第一著者の従前の配属先（豊岡河川国道事務所 流域治水課）における所掌内容を報告したものである。