



## 未来へのブレイクスルー ——若いパワーで切り拓け！

ブレイクスルー研究

# 下水処理水を用いたアユの育成 と河川生態系保全



東京大学 大学院 工学系研究科  
下水道システムイノベーション研究室  
修士一年

尾方 瑛



東京大学 大学院 工学系研究科  
下水道システムイノベーション研究室  
特任助教

ファムビエツズン



東京大学 大学院 工学系研究科  
下水道システムイノベーション研究室  
特任准教授

加藤 裕之

## 1 はじめに

東京大学下水道システムイノベーション研究室は、2020年に東京都下水道サービス㈱の寄付講座として設置された。本研究室では、産官学の連携拠点・異分野連携を積極的に推進することとしており、下水道資源を用いた農業利用や水産利用に関する研究、また、海外事業を含めた官民連携による下水道の効率性に関する研究等を行っている。本稿では、これらのうち、下水処理水を用いたアユの育成の研究内容について紹介する。なお、本研究は東京都下水道サービス㈱との共同研究であり、東京都下水道局および㈱明電舎の協力により行ったものである。

## 2 下水処理水を用いたアユ育成の研究背景

下水道の整備により、都市河川を流れる水量の多くは下水処理水が占めている。例えば、多摩川

の下流域では流量のおよそ半分が下水処理水とされている<sup>1)</sup>。一方で、多摩川はアユの生息地の1つである。清流の女王とも言われるアユの生息域を守り、品質を保つことは、文化的観点からも重要である。しかし、下水処理水がアユの生育や品質にどのような影響を与えているかについては、明らかになっていない部分が多い。下水処理水による飼育を通して、実際の水環境において処理水が水生生物に与える影響を知ることが、本実験の目的の1つである。

また、世界における水産業の現状に目を向けると、世界人口の増加に伴い、タンパク源である魚の消費量は増加している<sup>2)</sup>。内水面養殖では水源を地下水に頼ることも多く、新たな水源を開発する必要がある。下水処理場では年間を通じて安定した水温の豊富な処理水を容易に得ることができ、処理場内に育成設備を設置すれば、その排水処理も現地の既存の処理施設で行うことができる。すなわち、下水処理水を用いた魚類の育成は、既存の下水道資源を活用することで、河川の生態

系保全、水産資源の確保に対応した新たな試みと言える。

しかしながら、下水処理水には特有の臭いがあり、特にカビ臭をもつ2,4,6-トリクロロアニソール (2,4,6-TCA)、2-メチルイソボルネオール (2-MIB)、ジェオスミン (GSM) は臭いへの影響が大きいとされている<sup>3)</sup>。また、米国ではムスク臭をもつ香料である HHCB (商標名：ガラクソリド) も放流先河川の魚から検出された事例がある<sup>4)</sup>。当研究室では、下水処理水を用いてアユの育成を行い、こうした異臭味の原因物質の蓄積状況を評価した。

### 3 アユの育成方法

東京都下水道局の協力のもと、東京 23 区の江東区湾岸部にある下水道技術研究開発センターに実験設備を設置した(写真-1)。ここでは、砂町水再生センターにおける実際の下水と汚泥を用いて研究開発を行うことができる。2022 年度秋季の実験では、3つの系列を用意し、それぞれ 1,000L の水槽でアユの飼育を行った(図-1)。下水処理水は砂町水再生センターにてステップ A<sub>2</sub>O 法により処理された二次処理水(塩素消毒前)を用いた。系列 1 では異臭味の除去を目的としたオゾン処理装置を設置した(図-2)。装置内には段ボールの断面のような形状の小孔を持つハニカム状の筒が設置されており、その小孔の壁面にはゼオライトが添加



写真-1 実験装置

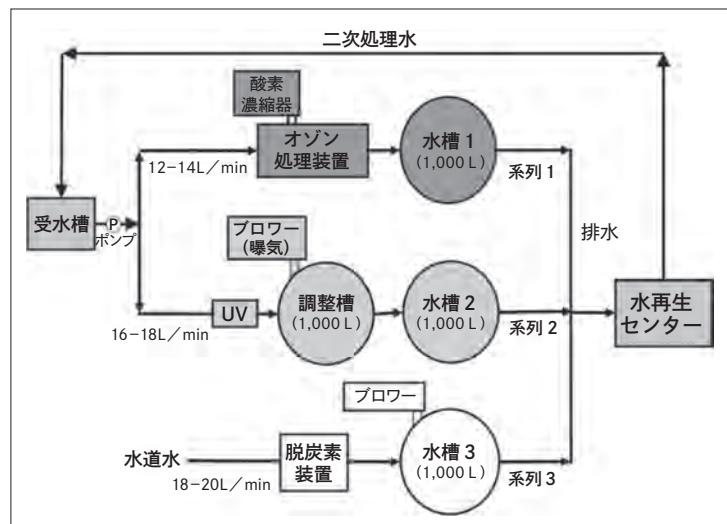


図-1 実験装置のレイアウト

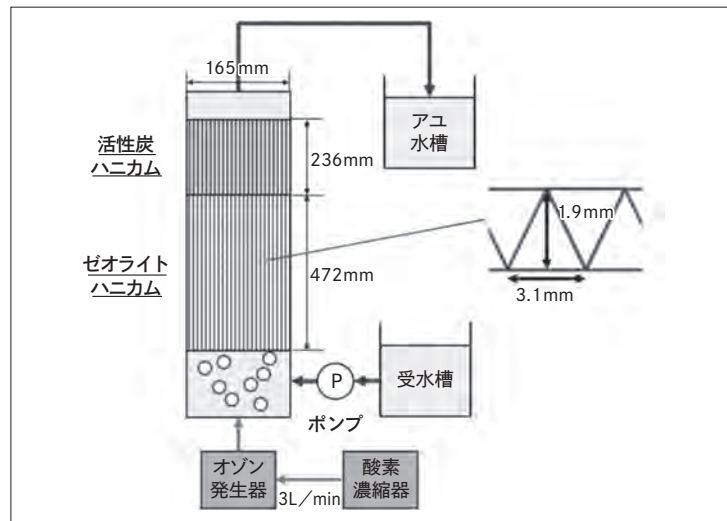


図-2 オゾン処理装置の概要

されている。吸着剤であるゼオライトは、異臭味物質を吸着する働きを持つ。この装置内に二次処理水を流し、同時にオゾンを通気することで、ゼオライトへの吸着、およびオゾンによる酸化により異臭味物質を低減させる仕組みである。このハニカムは、日本トーカンパッケージ(株)により制作された。

比較対象として設置した系列2では、下水処理水に対して紫外線殺菌装置を用いたUV処理を行った。さらに、系列3では下水処理水の有無による影響を調べるため、脱塩素処理を施した水道水による飼育を行った。飼育期間は2022年8月31日から11月21日とした。飼育開始時は下水処理水の水温が30℃と高かったため、すべてのアユを水道水で飼育し、10月7日から系列1、2を100%下水処理水として飼育した。餌はすべての系列において人工餌を使用した。

## 4 実験結果

### 4.1 アユの成長

各系列とも85%以上のアユが実験終了まで生存した。アユの生存に影響を与えるとされる物質



写真-2 体重測定の様子

の1つがアンモニアであり、実際の水環境におけるアユはアンモニア濃度の高い水域を忌避するとされている。本実験ではステップA<sub>2</sub>O法による処理水を使用しており、下水処理において窒素除去がよく行われていた。実際に各水槽におけるアンモニア濃度は2.5mg/Lを常に下回っていた。アンモニアの観点から、本実験で使用した処理水は飼育に適していたと言える。

飼育開始時のアユの体重は平均して23gであったが、実験終了時には系列1で80g、系列2で68g、系列3で65gまで成長した(写真-2)。下水処理水で育ったアユは水道水で飼育したものと比較しても同等またはそれ以上の大きさまで成長するという結果が得られた。

### 4.2 水中の異臭味物質

飼育期間中はカビ臭物質(2,4,6-TCA、2-MIB、GSM)の水中濃度を毎週測定した(表-1)。オゾン処理装置を用いて処理した系列1では、原水やUV処理後の水と比較して有意にカビ臭物質濃度が低下した。2,4,6-TCAは2ng/L、2-MIBとGSMは10ng/Lを超えるとほとんどの人が水から臭いを感じるとされている。オゾン処理装置により、2,4,6-TCAはこの閾値と同等まで、2-MIBとGSMはこの閾値以下まで低減することができた。

表-1 水槽中のカビ臭物質濃度の平均

|           | 2,4,6-TCA<br>(ng/L) | 2-MIB<br>(ng/L) | GSM<br>(ng/L) |
|-----------|---------------------|-----------------|---------------|
| 原水(二次処理水) | 5.33                | 5.97            | 21.87         |
| 系列1(オゾン)  | 2.06                | 4.03            | 7.39          |
| 系列2(UV)   | 3.72                | 5.79            | 18.39         |
| 系列3(水道水)  | 検出せず                | 検出せず            | 検出せず          |

表-2 アユの肉から検出された異臭味物質

|          | 2,4,6-TCA<br>(μg/kg) | 2-MIB<br>(μg/kg) | GSM<br>(μg/kg) | HHCB<br>(μg/kg) |
|----------|----------------------|------------------|----------------|-----------------|
| 系列1(オゾン) | 1.39                 | 0.45             | 0.81           | 3.97            |
| 系列2(UV)  | 4.43                 | 0.68             | 2.10           | 8.11            |
| 系列3(水道水) | 1.27                 | 0.56             | 0.67           | 1.74            |



### 4.3 アユに蓄積した異臭味物質

飼育終了後に、アユの肉に蓄積したカビ臭物質および香料（HHCB）を分析した（表-2）。上述の水中濃度と同様に、系列1（オゾン処理装置使用）のアユは、系列2（UV処理）のアユと比較してカビ臭物質の蓄積量が有意に低かった。また、HHCBに関しても下水処理水に由来すると考えられる蓄積が見られたが、オゾン処理装置を用いることで改善されている。装置の導入により、アユの異臭味を改善させることができたと言える。

## 5 おわりに

下水処理水を用いた魚類育成の課題である異臭味に対して、オゾンとゼオライトを用いた処理によって異臭味物質を低減することができた。一方で、実験関係者で試食を行うと、改善は見られるものの、依然として系列1のアユからも異臭味が感じられた。今後はさらに異臭味を低減させるため、装置の改良や飼育方法の工夫を行う計画である。また、アユの育成に加えて、現在は下水処理水を用いたウナギの育成も実施している。アユのみでなく、さまざまな水生生物と下水道との関係

性を明らかにしていきたい。そして、本研究を通して得られた知見が河川等の水環境保全にも寄与することに期待している。

下水処理水を用いた魚の育成の事例は少なく、日々水質をモニタリングし、下水処理水の水質変化にも対応しながら飼育を行う必要があった。本研究は東京都下水道サービスとの共同で、協力いただいた東京都下水道局および明電舎に謝意を申し上げる。設備の設置から日々の管理、意見交換まで、産官学の連携によって行われたものである。今後はさらに多くの方々にこの研究を知っていただき、下水処理水を用いた魚類の育成をきっかけに、水環境や食糧生産について考える機会や、さまざまな人々の交流の機会が生まれることを期待している。

### 〈参考文献〉

- 1) 東京都下水道局:「東京都下水道事業 経営計画 2021」、2021.
- 2) FAO: The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action, 2020.
- 3) 浦瀬太郎、筒井裕文: さまざまな下水処理場の処理水に含まれるカビ臭物質濃度、土木学会論文集 G (環境)、2019、Vol.75、No.7、p.25-33.
- 4) Reiner, J.L. and Kannan, K.: Polycyclic Musks in Water, Sediment, and Fishes from the Upper Hudson River, New York, USA, Water, air, and soil pollution, 2010, Vol.214, No.1-4, p.335-342.



### Facebook、やっています！

月刊下水道編集部では、Facebook（フェイスブック）を開設しています。

『月刊下水道』や単行本刊行のご案内や募集中の関連情報のお知らせのほか、取材余話などもアップしています。

ぜひ、お立ち寄りください。

### ● アクセス方法

「月刊下水道編集部 facebook」で検索するか、「月刊下水道」ホームページ（<http://www.gesuidou.jp/>）のバナーからどうぞ！



※ Facebook アカウントをお持ちでなくても閲覧できます。