

8. 再生水利用施設の計画および維持管理に関する調査

下水処理研究室 室 長 南山 瑞彦
主任研究官 田嶋 淳
研 究 官 荒谷 裕介
研 究 官 平出 亮輔

1. はじめに

近年、国民の環境への関心が深まり、下水道事業においても水辺環境の再生や創造のため、せせらぎ水路などの処理水再利用施設が建設されている。これらの施設は、下水道事業が環境保全に果たす役割を周辺住民に理解して頂くための環境学習の場として有効であるとともに、周辺の街並みと一体となって良好な景観を形成する役割も有する。しかしながら、処理水再利用施設の整備及び維持管理に要する費用や整備効果が明確になっていないため、これらを適切に評価するための手法を提示する必要がある。また、良好な街並みを形成するためには施設の美観を維持することが重要であるが、藻類の異常発生により景観が損なわれる事例が少なからず見受けられる。これは、施設の維持管理性も損ねる場合が多い。そのため、良好な水辺環境を創造しつつ、美観、維持管理性も確保するための手法を検討する必要がある。

そこで、せせらぎにおける藻類異常発生抑制手法の一つとして、水生生物の藻類捕食性を利用することの有効性について検討するとともに、処理水再利用に関する地域特性分析及び処理水再利用施設の費用に関する検討を行った。

2. 水生生物の藻類捕食性に関する検討

2.1. 調査方法

再生水を利用したせせらぎの維持管理の簡易化のための藻類異常発生抑制手法の一つとして、水生生物による藻類捕食の利用可能性について検討した。

実験フローの概要を図-1 に示す。人工水路を用いて素焼き製付着板に藻類を培養した後、水生生物の飼育水槽の底に藻類を培養した付着板を移設し、水生生物による付着藻類の捕食状況を観察した。

実験は、5 種類の水生生物を用いて 5 日間行った。付着板からの付着物のサンプリングは連続して 5 日間、同時刻に行い、サンプリング後の付着板は水槽内に戻さないこととした。

2.1.1 水生生物の飼育水槽

飼育水槽は、市販の 60cm 水槽を用いた。実験期間中は、ヒーターを設置して水温を一定に保つとともに曝気装置を用いてエアレーションを行った。

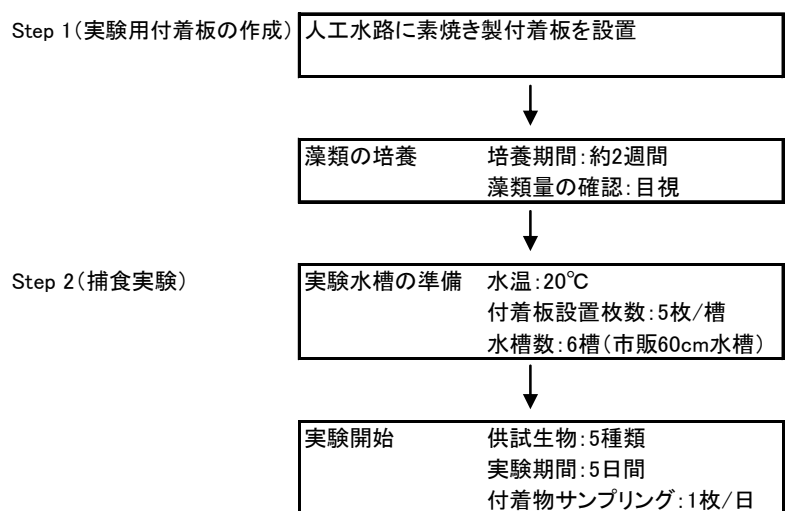


図-1 実験フロー図

表-1 試験水の水質

(mg/L)	
BOD	0.6
TOC	4.8
T-N	6.4
NH ₄ -N	5.9 × 10 ⁻²
NO ₂ -N	7.7 × 10 ⁻²
NO ₃ -N	5.5
T-P	1.3 × 10 ⁻¹
PO ₄ -P	7.6 × 10 ⁻²

表-2 供試生物

系列	供試生物	個体数	体長 (cm)	体重 (g)
A	金魚	20	3.8	1.5
B	ミナミヌマエビ	83	2.8	0.3
C	イシマキガイ	50	1.6	3.1
D	プレコ(ヒポストムス)	10	4.4	1.6
E	オイカワ	15	8.9	8.7

注) 体長および体重は実験開始時における総個体数の平均値

2.1.2 試験水

実験装置が設置されている浄化センターから未消毒の高度処理水（凝集剤添加活性汚泥法、嫌気-無酸素-好気法、凝集剤併用型循環式硝化脱窒法による処理水が混合された後に急速ろ過）を用いた。実験は、水を交換しない止水式で行った。実験開始時の水槽内の試験水の水質を表-1 に示す。

2.1.3 供試生物

実験に供した水生生物の個体数、体長および体重を表-2 に示す。なお、金魚、ミナミヌマエビ、イシマキガイおよびオイカワは、その藻類捕食性が一般的に認識されている^{1)~4)}こと、プレコは水槽の除藻用魚として利用されていることから、それぞれ供試生物として選定した。

2.1.4 供試付着板

幅 10cm、長さ 120cm の水路 6 系列で構成される既設水路の底部に素焼き製の板（1 枚：9cm×9cm）を 12 枚ずつ各水路に敷設し、試験水と同じ未消毒の高度処理水を流して付着板に藻類を増殖させた。各水路の 12 枚の付着板のうち中流部の付着版では藻類がほぼ平均的に付着していたと判断されたため、中流部の 5 枚を実験に供することとした。

2.1.5 藻類摂食量の算定

藻類摂食量の算定方法の概念図を図-2 に示す。同一サンプリング日における実験系列と対照系列の付着藻類生物量（クロロフィル a (Chl-a)）の差に水槽内付着板数を乗じることで、各日における水槽内供試生物の全藻類摂食量とした。さらに、全藻類摂食量を供試生物個体数で除することで 1 個体あたり藻類摂食量 ($\mu\text{g-Chl-a}/\text{cm}^2/\text{個体}$) を算定し、評価することとした。

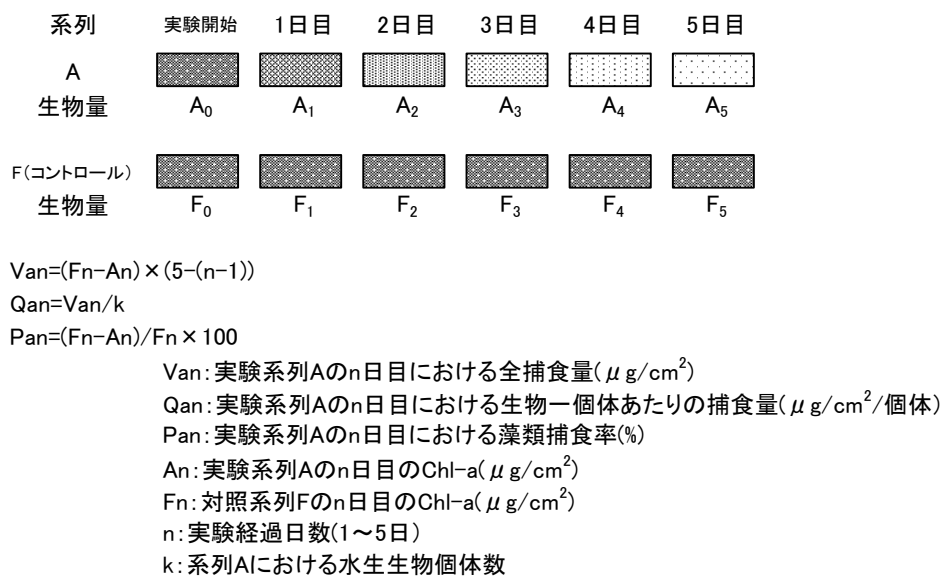


図-2 藻類捕食量の算定概念図

2.1.6 分析

分析項目は、生物学的酸素要求量(BOD)、有機性炭素(TOC)、窒素化合物(T-N,NO₃-N,NO₂-N,NH₄-N)、リン化合物(T-P,PO₄-P)およびクロロフィル a (Chl-a)である。

BOD は、河川水質試験方法 (案) ⁵⁾⁹に記載の一般希釈法により測定した。

TOC は、河川水質試験方法 (案) ⁵⁾⁵⁵に記載の燃焼酸化-赤外線分析法により測定した。

窒素化合物(T-N,NO₃-N,NO₂-N,NH₄-N)は、河川水質試験方法 (案) ⁵⁾⁵³に記載の自動分析法およびペルオキシニ硫酸カリウム分解-銅・カドミウムカラム還元法により測定した。

リン化合物(T-P,PO₄-P)は、河川水質試験方法 (案) ⁵⁾⁵⁴に記載の自動分析法およびペルオキシニ硫酸カリウム分解-吸光度法により測定した。

Chl-a は、河川水質試験法 (案) ⁵⁾⁵⁸に記載の三波長吸光度法により測定した。

2.2. 調査結果および考察

各系列における付着藻類の経日変化(An, Bn, … Fn : n=1-5)を図-3 に示す。全ての実験系列において実験開始1日目までは付着藻類は減少傾向を示した。2日目以降は、系列A (金魚) および系列E (オイカワ) での付着藻類の減少傾向が小さくなったのに対し、系列B (ミナミヌマエビ) および系列D (プレコ) では2日目まで、系列C (イシマキガイ) では3日目まで減少傾向が継続した。実験開始2日目以降の系列B、系列Cおよび系列Dの藻類捕食率が90%を超えたことから、ミナミヌマエビ、プレコおよびイシマキガイは実験開始2日目においてほぼ全ての付着板上の藻類を捕食し尽したと考えられる(図-4)。これらの生物は藻類を除去するために必要な捕食能力を有しているとともに、今回の実験条件では藻類除去のために十分な個体数が存在したものと推察される。

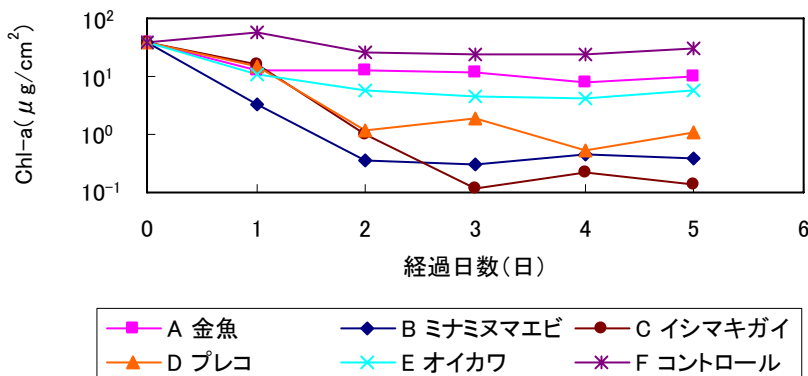


図-3 各系列における藻類生物量の経日変化

1個体あたりの藻類捕食量を図-5 に示す。付着藻類が枯渇する前の1日目の実験結果によると、イシマキガイおよびミナミヌマエビの1個体当たりの藻類捕食量が比較的小さく、3 μg-Chl-a/cm²/個体/日程度であった。一方、金魚およびオイカワは今回の実験においては高い藻類捕食率を示さなかったが、1個体当たりの捕食量は比較的多く 10~14 μg-Chl-a/cm²/個体/日程度であった。これらの水生生物は、せせらぎの規模・大きさや発生する藻類量に見合った個体数を確保することで、

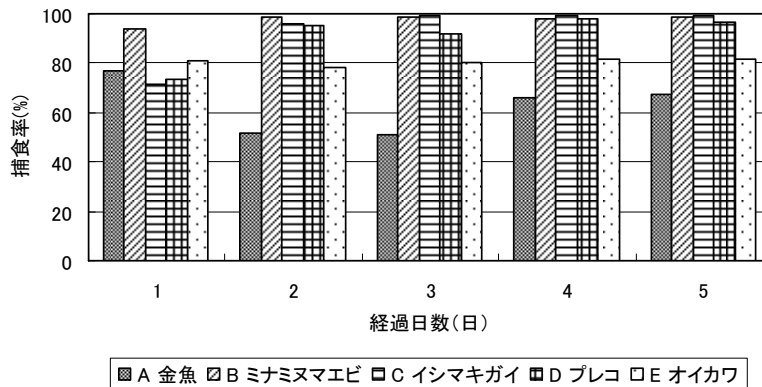


図-4 藻類捕食率

藻類異常発生抑制手法の一つとして利用可能であるものと期待される。なお、プレコは、今回の実験における供試生物の中で最も高い藻類捕食能力を示したが、熱帯域に生息する熱帯魚であることから、水温の管理と外来種であるという点において、せせらぎにおける藻類異常発生抑制手法の一つとしてその藻類捕食性を利用することは、現実的には難しいものと考えられる。

3. 下水処理水再利用に関する地域特性分析

3.1. 分析方法

下水処理水の再利用に係るデータ（国土交通省調べ）を用いて、下水処理水再利用に関する特性分析を行った。具体的には、都道府県別に「下水処理水を再利用している処理場」の割合と、①下水処理人口普及率、②一人当たり水資源賦存量、③過去20年間（1983～2002）における減断水発生年数との関連を検討した。

3.2. 下水処理水再利用に係る処理場分布と周辺情報との関連分析の結果

(1) 下水道処理人口普及率との関連

各都道府県の全下水処理場数に占める下水処理水を再利用している処理場数の割合と下水処理人口普及率との関係を図-6に示す。下水道の普及が進むほど、下水処理水を再利用する処理場の割合が増加する傾向があった。

(2) 水資源賦存量との関連

下水処理水を再利用している処理場数の割合と水資源賦存量との関係を図-7に示す。一人あたり水資源賦存量が2,000m³/人程度以下の都道府県では、下水処理水の再利用を行っている処理場の割合が高くなる傾向にあった。水資源賦存量が少ない都道府県は、首都圏、近畿圏及び北部九州地方にあり、これらの地域では、下水処理

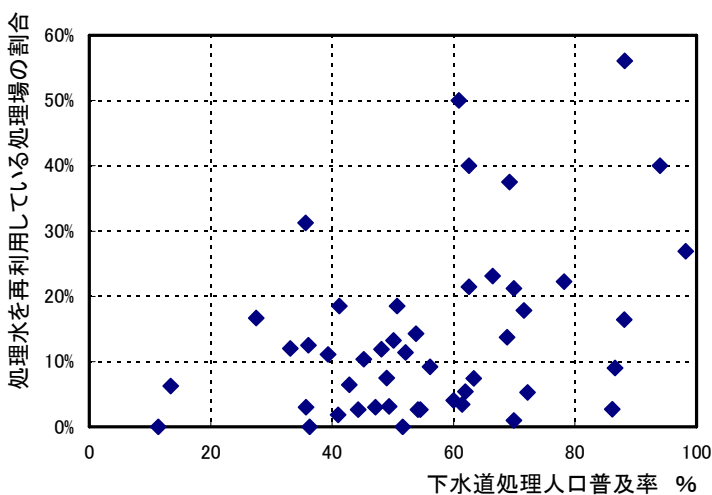
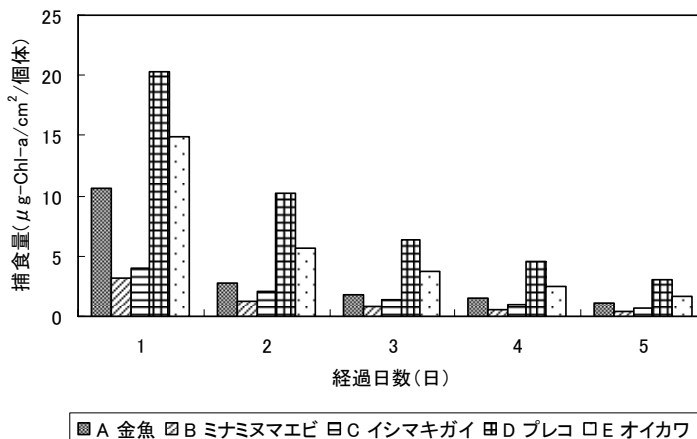


図-6 下水処理人口普及率との関係

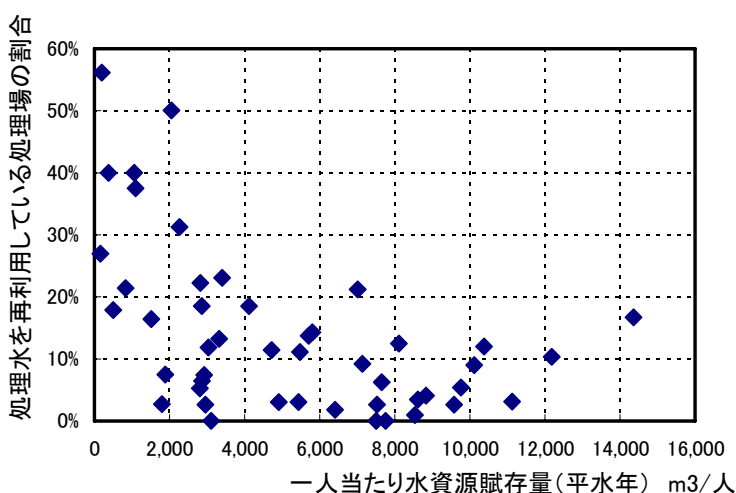


図-7 一人当たり水資源賦存量（平水年）との関係

水が水資源としての一定の役割を持っていることが示唆された。

(3)過去 20 年間における断減水発生年数との関連

過去 20 年間における断減水発生年数と下水処理水を再利用している処理場数の割合の関係を図-8 に示す。渇水を多く経験している都道府県では、下水処理水を再利用している処理場の割合が比較的高くなる傾向が見られた。

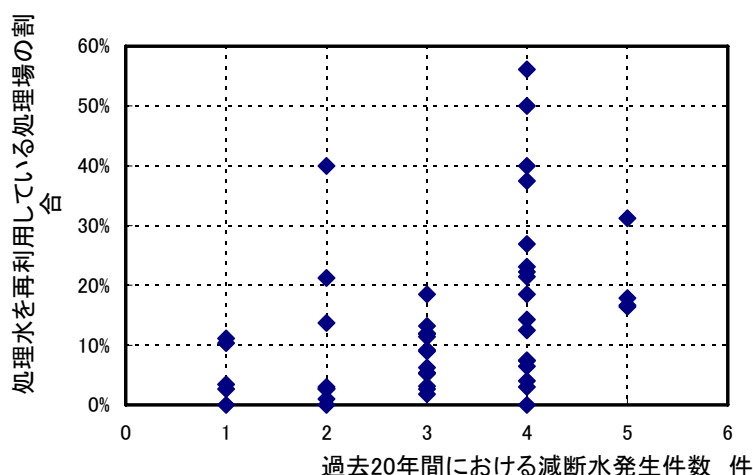


図-8 過去 20 年間における断減水発生件数との関係

以上のように、水資源が逼迫し、渇水が発生しやすい傾向にあり、かつ下水道が普及し再利用できる処理水量が比較的豊富に確保できる状況にある都道府県では、下水処理水を再利用している処理場数の割合が高い傾向にあった。

4. 下水処理水再利用に要する費用検討

下水処理水の再利用に係るデータを用いて、下水処理水の再利用施設に要する建設費について分析を開始した。以下の理由により、現時点では費用関数を導出することは困難であった。

- ① 施設別建設費の実態は、各処理場毎に背景となる状況が異なっており、金額にばらつきが見られる。
- ② 導入されている施設数が少なく、建設費を分析するための標本数が少ない施設がある。
- ③ 既存資料で得られる建設費の費用関数と比較したところ、実態データのばらつきが大きく、整合性の判断を行うのが困難である。

なお、維持管理費についても、同様の理由により、データを基に費用関数を導出することは困難であると考えられる。

5. まとめと今後の検討課題

(1) 再生水を利用したせせらぎの維持管理の簡易化のための藻類異常発生抑制手法の一つとして、水生生物による藻類捕食の利用可能性について検討した。その結果、付着藻類が枯渇する前の1日目の実験結果によると、イシマキガイおよびミナミヌマエビの捕食量が $3\mu\text{g-Chl-a}/\text{cm}^2/\text{個体}/\text{日}$ 程度、金魚およびオイカワは $10\sim 14\mu\text{g-Chl-a}/\text{cm}^2/\text{個体}/\text{日}$ 程度であることが明らかとなった。水生生物の藻類捕食性については、利用可能な水生生物の選定を引き続き行くとともに、せせらぎの面積当たり必要個体数を把握するための実験、フィールドにおける調査・検証等を行い、水生生物を用いた藻類の除去に関する情報を収集・整理する必要がある。また、せせらぎの河床条件や日照条件といった環境条件の違いが付着藻類の発生に及ぼす影響についても併せて検討を行う必要がある。

(2) 下水処理水の再利用に係るデータを用いて、下水処理水再利用に関する特性分析を行った。その結果、下水処理水の再利用が多く行われている都道府県では、水資源が逼迫し、頻繁に渇水が発生している状況を背景に、処理水の再利用に対するニーズが高く、かつ下水道の普及により、再利用できる処理水量が比較的豊富に確保できる状況にあることが分かった。

(3) 下水処理水の再利用施設に関する費用関数については、実態の費用を用いる場合、データの中に個々の処理場

毎に背景となる状況が異なっており、単価等にばらつきが見られること、導入数が少ない施設等については必要な標本数が得られないこと等により、一定の結果が得られなかった。モデル検討により費用関数を作成することが適切であると考えられる。下水処理水再利用の効果評価法については、下水処理水再利用を対象とした便益の算出事例が少ないことから、モデル地域を設定して、具体的に便益算定を行うことが必要であると考えられる。

【参考文献】

- 1) 屋外実験池を用いたラン藻類優占に及ぼす魚の影響に関する研究、水環境学会誌、Vol.21、No.8、pp.520-529、1998/08
- 2) 兵庫県夢前川水系におけるミナミヌマエビの食性に関する一検討、兵庫陸水生物、No.53、pp.59-64、2001/10
- 3) 同一河川に生息するカワニナとイシマキガイのニッチ分け、貝類学雑誌、Vol.59、No.2、pp.135-147、2000/06
- 4) 長野県浦野川における魚類の種組成と食物関係、日本水産学会誌、Vol.70、No.6、pp.902-909、2004/11
- 5) 河川水質試験方法（案）1997年版、建設省河川局監修