

下水処理水により生成される 生物相に関する調査

1. 調査の目的

下水道の普及にともない、下水処理水が放流水域に占める量的割合が増加している事例や、修景用水等として再利用される事例が増加しているが、下水処理水を主たる水源とする水環境において形成される生態系の実態については、現状では十分に把握されていない。放流先の生態系に対する下水処理水の影響力の大きさから、将来的には下水道事業に、それらに対する配慮が求められることが十分に予想される。そこで本研究は、下水処理水を用いて多様な水生生態系を創生していくための下水処理のあり方を検討することを最終目的とし、その第一段階とし

て下水処理水の放流先および処理水再利用等により生成される水生生態系の実態の解明、環境要因との関連等の検討を行うものである。そのため、現在本機構では、建設省土木研究所の委託を受け、札幌市、東京都、横浜市、大阪府と共同研究を行うことにより、調査研究を進めている。

2. 評価手法の検討

水域の環境を生物の面から評価する方法は、表-1のようにこれまで様々なものが提唱されている。処理水の放流先における水環境を評価するためには、これらの手法により様々なデータを収集し、比

表-1 生物を用いた水環境の評価手法

評価手法		適用される 主な調査・試験	使用される 主な生物種	利 点	問 題 点
生態学的手法	指標種	汚濁指数、 生物指数など	無脊椎動物、 植物、藻類	実施が簡便、比較的安価、 特別な装置が不要	地域性がある、分類学の知識が必要、水環境の自然変化にも反応する
	群衆解析	多様性指数など	無脊椎動物	実施が簡便、比較的安価、生物学的専門知識が不要、特別な装置が不要	水環境との関連付けが出来るとは限らない、水環境の自然変化にも反応する
微生物学的手法		大腸菌群数試験 など	細菌	人の健康との関連がみられる、簡便、比較的安価	生物体が簡単に移動するため原因から離れた場所で陽性反応する場合もある
生理生化学的手法		藻類増殖試験、 酸素消費試験など	無脊椎動物、 藻類、魚類	高感度、方法により連続監視可能、 単純から複雑な手法まで応用可能	方法によって特別な知識や技術が必要
バイオアッセイ 毒性試験		変異原性試験、 催奇形性試験など	無脊椎動物、 魚類	実施が簡便、比較的安価、結果が迅速、 方法により連続監視可能	実験室での試験が常に現場の条件と対応しているわけではない
生体化学分析		生物濃縮性試験 など	魚類、貝類、 植物	人の健康との関連がみられる、水試料の 化学分析と比べて高度な装置は不要	分析装置と熟練技術者が必要、 高価である
組織化学 形態学的解析		生体組織や器官の変 化を調べるなど	無脊椎動物、 魚類	方法によっては非常に高感度、 単純から複雑な手法まで応用可能	専門知識が必要、 方法によっては特殊な装置が必要

Deborah Chapman, Water Quality Assessments, E&FN Spon, 1996. より改変

較していくことが必要になると考えられるが、本研究ではこれらの評価手法のうち、比較的实施しやすく、過去の経歴を含めて水質が生物に与える経年的な影響をみることができ、様々な地域における調査結果の比較がしやすいと考えられる生態学的手法による調査を、まず取り上げることとした。一方水生生態系の構成は、水質だけでなく、河床構造、流速、流量、日照条件等、多くの環境要因の影響を受ける。検討にあたっては、これら環境要因と水生生態

系の関係を把握するため前述の自治体の協力を得て、異なる地域および条件の処理場、放流先、修景水路等を選定して調査を行っている。

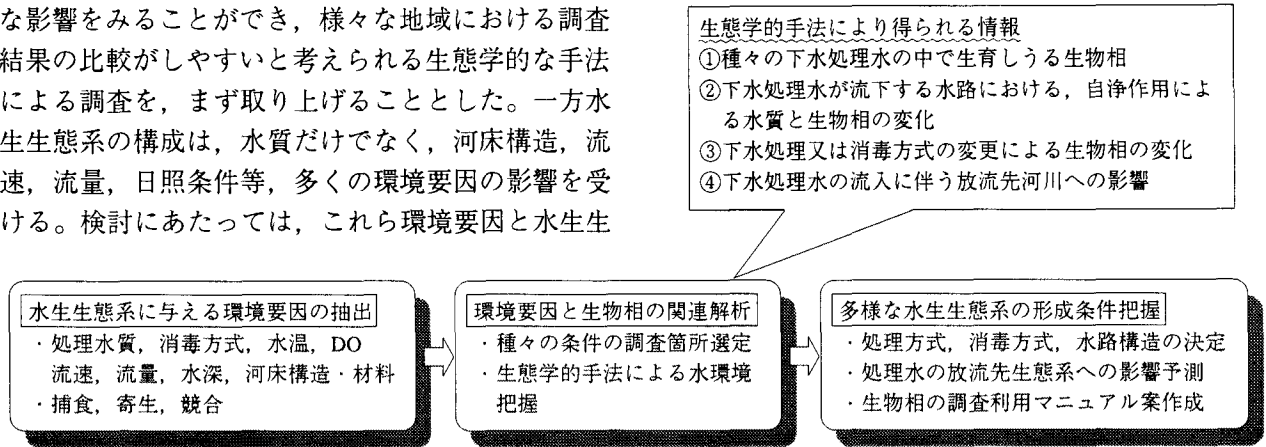


図-1 検討方針フロー

3. 調査概要

3.1 調査対象地点

表-2 調査対象地点の概要

処理場名	処理方式	消毒方式	放流先	放流口の河床状態	放流量 (m ³ /日)	調査地点
S処理場	標準活性汚泥法 +急速砂ろ過	塩素	修景水路 処理水100%	石畳	5,000	放流口から流下方向3地点
N処理場	嫌気好気活性汚泥法	塩素	都市河川 低水量4,800m ³ /日	コンクリート張	27,000	放流口上流で1地点 放流口から下流に2地点
T処理場	嫌気硝化内生脱窒法+ PAC注入+急速砂ろ過	オゾン	修景水路 処理水100%	砂利	5,000	放流口から流下方向4地点

現在、5処理場の放流先河川、または処理水を利用した修景水路を対象に調査を行っているが、このうち2年間継続して調査が行われ、ある程度データがまとまった3処理場について報告を行う。S処理場およびT処理場が処理水の一部を再利用した修景水路、またN処理場は湧水を水源とする都市河川を対象としている。

クロロフィル-a, T-N, T-P

3.2 調査項目

環境要因と生物相の関連を把握するため以下の項目について、主に下水試験方法ならびに、JIS K0102に基づき測定した。

- ① 現地測定項目—気温、水温、流量、流速、透視度、電気伝導度、溶存酸素量
- ② 生物調査—流下生物（動物性、植物性）、付着藻類、水生植物、底生動物、魚介類
- ③ 水質分析項目—pH、濁度、SS、BOD、TOC、T-N、有機-N、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、T-P、PO₄-P、クロロフィル-a、残留塩素
- ④ 付着物分析項目—乾燥重量、強熱減量、T-C、

4. 調査結果と考察

現在、流下生物・付着藻類・水生植物・底生動物・魚介類等と環境条件の関連性について調査を行っているが、本報告では特に付着藻類と底生動物に着目し、前記3処理場の放流口での出現種、出現率、多様性、消毒方式および水質との関係について報告を行う。付着藻類や底生動物は有機汚濁や富栄養化、重金属汚染等の生物指標に採用されており、水環境を把握する上で、有用な情報源である。データは平成8年夏期～平成9年冬期まで、7回（S処理場のみ6回）にわたって行われた調査結果を用いた。

4.1 調査方法

(1) 付着藻類

水中の付着基盤に5×5cmの枠を当てブラシで擦り取ることによって、付着藻類を採取する。同

様の条件にて場所を変え5回の採取を行い、試料をホルマリン固定の後、持ち帰り出現種の同定、計数を行った。

(2) 底生動物

川底に30×30cmのコドラート*を置き、その下流側に採集ネットを置いてコドラート内の石礫をネットに移し取る。石礫を岸に運び、水を入れたバケツの中で洗って動物を落とした後、バケツの水を1mm目のフルイにあけてピンセット等で採集した。同様の作業を場所を変えて6ヶ所で行い、得られた試料をホルマリン固定の後、持ち帰り出現種の同定、計数を行った。

*コドラート：底生動物の計測に用いられる金属製の折り畳み型の枠。広げて正方形にし、一定の区画を定めるのに用いる。

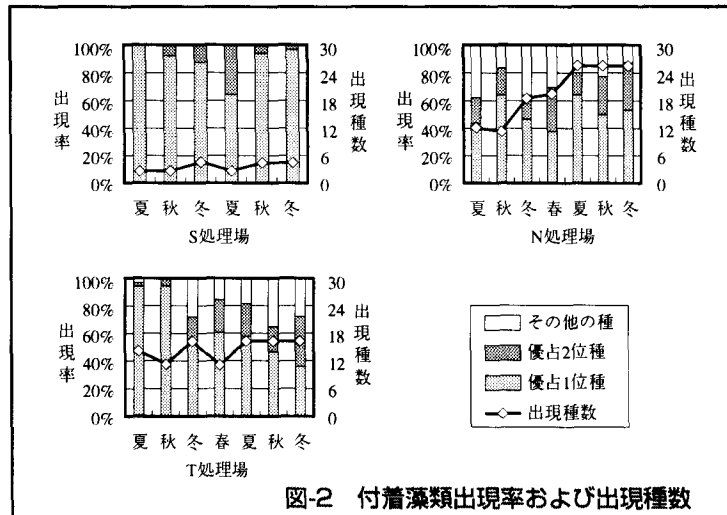


図-2 付着藻類出現率および出現種数

表-3 付着藻類の優占種および総出現種数

	S処理場	N処理場	T処理場
優占1位種	<i>Chlorolobion sp.</i>	<i>Gomphonema parvulum</i> <i>Phormidium(cf.favosum)</i>	<i>Stigeoclonium sp.</i>
優占2位種	<i>Chlorolobion(cf.braunii)</i>	<i>Chlorolobion sp.</i> <i>Navicula cryptocephala</i>	<i>Nitzschia palea</i> <i>Navicula minima</i>
その他の種	<i>Stigeoclonium sp.</i> <i>Scenedesmus spinosus</i>	<i>Stigeoclonium sp.</i> <i>Nitzschia palea</i>	<i>Homoeothrix janthina</i> <i>Ulothrix(cf.tenerrima)</i>
総出現種数	6	38	31

4.2 出現率および出現種

(1) 付着藻類

図-2 に藻類優占種の出現

率（藻類細胞数の出現割合で、最多のものを優占1位種、出現率2位のものを優占2位種とする）と出現種数を示す。優占1位種の出現率は、S処理場が最も高く、平均90%の出現率を示した。N処理場では、優占1位種の出現率は最高で65%であり、反面その他の種（優占1, 2位種以外）の出現率が他の2処理場に比べて高い。またT処理場は調査時期により、優占1位種の出現率が90%を超える場合もあるが、それ以外は40~60%程度の出現率である。

次に表-3 に示す優占種の種類で比較すると、処理場および調査時期によって異なった種が優占している。S処理場では、6回の調査を通じて、*Chlorolobion sp.* が高出現率で優占1位種となり、総出現種数も6種と単純な群集構成である。N処理場では調査時期毎に構成種が異なり、*Gomphonema parvulum*, *Phormidium*が優占する傾向にある。また、総出現種数は38種で比較的多様な群集構成を持っている。T処理場では全調査時期を通じて、*Stigeoclonium sp.*が優占1位種であり、総出現種数は31種である。

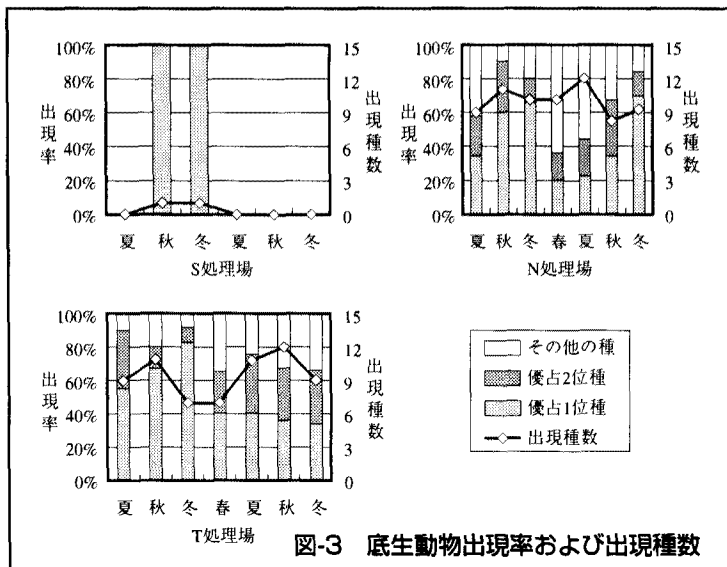


図-3 底生動物出現率および出現種数

(2) 底生動物

図-3 に底生動物優占種の出現率と出現種数を示す。S処理場は6回の調査のうち4回は全く底生動物が認められず、出現が認められた2回についても、1種類のみ出現であった。N処理場では調査回毎に変動があり、春から夏にかけて、その他の種の出現率は増加する傾向にあり、最大で66%を示した。また、出現種数は8~12種で比較

的安定していた。T処理場についても、調査回毎に変動はあるものの、優占1, 2位種の出現率はN処理場に比べ高い傾向にあった。出現種数は7~12種であった。

次に表-4に示す優占種の種類で比較すると、S処理場ではユスリカ亜科、ユスリカ属が各1回認められたのみである。また、N処理場では、調査回毎に異なった種が優占する傾向にあるが、エリユスリカ亜科、サカマキガイ、ミズムシが出現する場合が比較的多かった。これに対してT処理場ではサカマキガイが優占1位種として出現する傾向にあり、総出現種数は20種と最も多かった。

4.3 多様性指数による評価

一般に有機物あるいは有害物質の影響、富栄養化の進行等により生物相は単純化し、種の多様性が低下すると考えられる。種類数とそれぞれの個体数の両者を導入して、多様性を定量的に評価するものが多様性指数 (DI, Diversity Index) である。本報告では、情報理論に基づき最も一般的なShannonの式を使用した。

$$\text{Shannonの式 } DI = - \sum_{i=1}^n P_i \cdot \log P_i$$

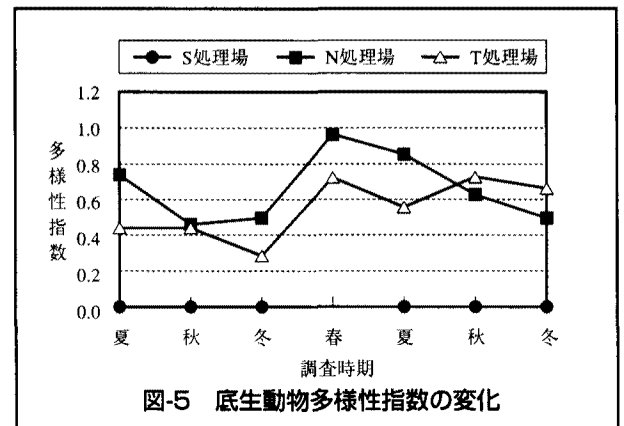
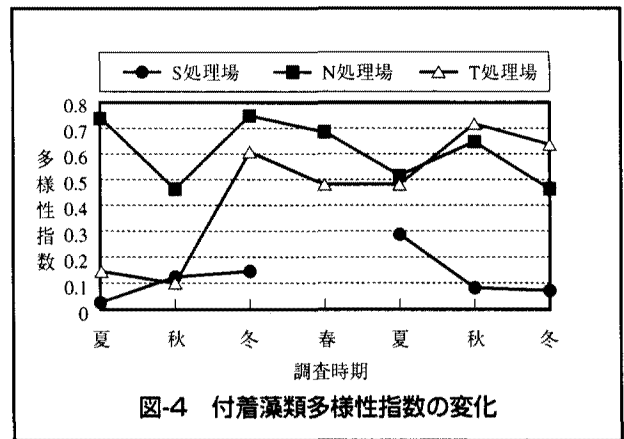
P_i: 種類 i の個体数の占める割合
n: 種類数

図-4に各処理場放流口の付着藻類の多様性指数を時系列に示す。調査時期により変動はあるものの相対的にS処理場は常に数値が低く、N処理場は相対的に高い数値を示している。またT処理場は、他の2処理場の中間値をとっている。多様性指数が高いということは、種多様性が高く、安定した集団であることを意味し、本調査では、前記の優占種およびその出現率からみた藻類多様性の評価とほぼ合致していると思われる。ただし、生態系で重要な役割を果たしている少数種を軽く評価する傾向にあり注意を要する。

図-5に底生動物の多様性指数を示す。処理場間の相対的な位置関係は付着藻類と同様であり、N処理場の多様性が大きい。またS処理場では底生動物が出現した場合でも1種類のみであったため、多様性指数はゼロとなった。

表-4 底生動物の優占種および総出現種数

	S処理場	N処理場	T処理場
優占1位種	ユスリカ亜科 ユスリカ属	エリユスリカ亜科 サカマキガイ ユスリカ属 サホコカゲロウ ヒメモノアラガイ ミズムシ	サカマキガイ カワコザラガイ
優占2位種	—	サカマキガイ ミズムシ エリユスリカ亜科 サホコカゲロウ	コガタシマトビケラ サホコカゲロウ サカマキガイ エリユスリカ亜科
その他の種	—	サカマキガイ ミズムシ エリユスリカ亜科 イシビル科	サカマキガイ コガタシマトビケラ ミズムシ カワコザラガイ
総出現種数	2	15	20



4.4 水質および消毒方式の影響

表-5に放流口での平均水質、標準偏差を示す。生物学的に分解可能な有機物量を示すBODは全処理場とも2 mg/l以下と良好である。栄養塩については窒素がS処理場とN処理場で相対的に高く、リンはN処理場が高い数値を示している。また、残留塩素については、S処理場が平均値で1.07mg/lであり、N処理場と比べて2桁大きい。S処理場放流口には緑藻類の一種である*Chlorolobion sp.*が高出現率で優占している。単細胞性の緑藻類には塩素に対す

表-5 放流口の平均水質 (標準偏差) (mg/l)

処理場名	BOD	T-N	NO ₃ -N	T-P	PO ₄ -P	残留塩素
S処理場	0.90 (1.13)	11.02 (3.01)	6.62 (2.31)	0.15 (0.04)	0.10 (0.05)	1.07 (0.77)
N処理場	1.40 (0.45)	10.39 (1.39)	9.72 (1.40)	1.05 (0.38)	0.91 (0.33)	0.03 (0.03)
T処理場	1.93 (0.37)	6.16 (2.83)	4.79 (3.29)	0.26 (0.21)	0.18 (0.22)	-

る感受性が低い種類があることが知られており、S処理場放流口では残留塩素の影響により、付着藻類群集の多様性が低下していると考えられる。N処理場放流口では残留塩素濃度が低く、*Chlorolobion sp.*は出現しているものの、窒素栄養要求性の種である珪藻類*Gomphonema parvulum*が優占する傾向にある。また、T処理場放流口の優占1位種である緑藻類の*Stigeoclonium sp.*は下水処理水中に一般的に生育する緑藻類として知られ、他の2処理場でも出現率が高い。各処理場とも有機汚濁の指標であるBODは同程度で良好であり、藻類群集構成は、残留塩素濃度および栄養塩の成分組成の影響を受けているようである。

底生動物と水質の関係は明らかではないが、S処理場放流口では残留塩素の影響を強く受け、底生動物の出現が非常に少なかったものと考えられる。ただし、底生動物は付着藻類に比べ底質の影響を受けやすいため、河床材料を考慮する必要があると思われる。

4.5 河床材料の影響

河床材料が底生動物の生息状況に与える影響を調査するため、S処理場放流先水路において河床材料が、石畳から砂利に変化する地点で調査を行った。調査地点は次に示す3地点であり、平成9年度の夏～

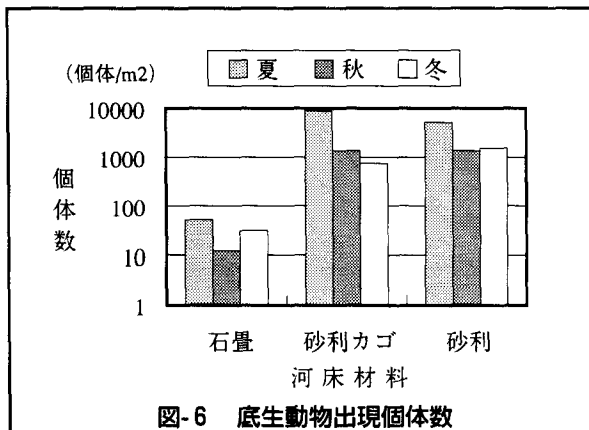


図-6 底生動物出現個体数

冬にかけて3回の調査を行った。

- 調査地点1：河床材料が石畳
- 調査地点2：石畳の上に砂利が入ったカゴを設置
- 調査地点3：河床材料が砂利

図-6に示すように、河床材料が

石畳の場合は10~50 (個体/m²) の出現個体数であるが、砂利の場合は1,300~4,600 (個体/m²)、さらに砂利カゴの場合は700~9,500 (個体/m²) の出現が確認された。これら3地点は近接しており、水質等の環境

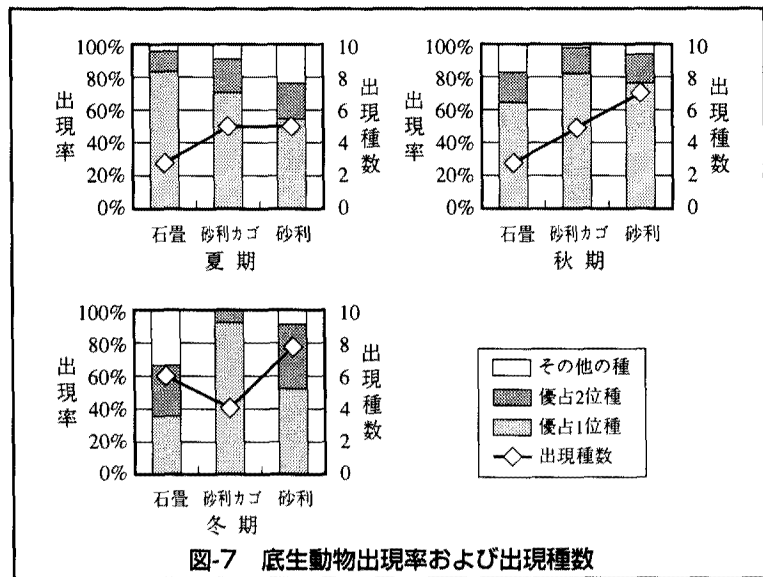


図-7 底生動物出現率および出現種数

条件は同一とみなすことができるため、河床材料によって生息量に差が現れたと考えられる。

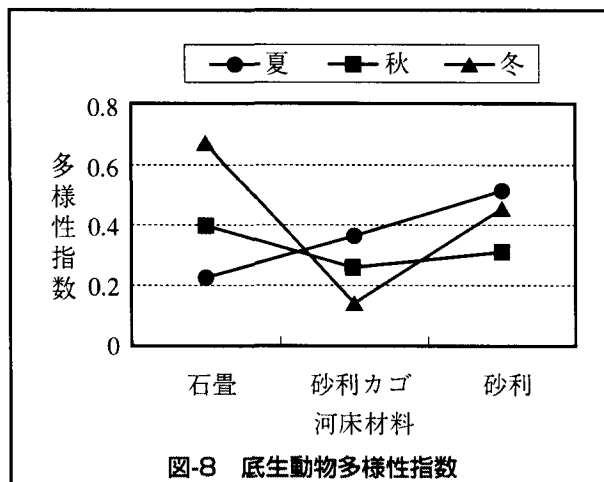
また、図-7に季節別、調査地点別に優占種の出現率および出現種数を示す。

河床材料が石畳の場合は出現種数が少なく、砂利の場合は多い傾向にある。また、優占1位種の占める割合は春季を除いて砂利カゴが高かった。優占1位種は表-6に示すように季節毎に各調査地点で同一の種が占める場合が多かったが、夏季については調査地点毎に異なった種が優占していた。

図-8に示す多様性指数でみると、河床材料が砂利カゴの地点は、砂利の地点に比べて多様性が低い。

表-6 季節別河床材料別優占1位種

	石畳	砂利カゴ	砂利
春季	ユスリカ属	ユスリカ属	ユスリカ属
夏季	ユスリカ属	ミズムシ	イトミミズ
秋季	ミズムシ	ミズムシ	ミズムシ



砂利カゴで優占1位種の占める割合が高いことと考えあわせれば、人工的に設置した砂利カゴにより出現個体数は増加したが、均一な砂利を用いたためか出現種の多様性の増加には明確な効果が認められなかった。

5. まとめおよび今後の課題

5.1 まとめ

下水処理水中に生成される水生生態系の実態解明のために、処理水および修景用水放流口での付着藻類、底生動物の群集構成を比較検討した結果、次のことがわかった。

- ① 生態学的手法は、水環境を評価するのに有効であった。
- ② 処理場毎に藻類および底生動物優占種の出現率、出現種の違いが見られた。
- ③ 各調査地点の多様性指数により、群集構成の多様性の差を評価できた。
- ④ 残留塩素が付着藻類および底生動物に与える影響は非常に大きく、多様性の低下が観察された。
- ⑤ 栄養塩類の成分組成が付着藻類出現種に影響を与える傾向が見られた。
- ⑥ 水理・水質条件が同一でも河床材料の違いにより、底生動物の生息量に差が現れた。

5.2 今後の課題

本調査研究は、環境要因と生物相の関連解析のために、種々の特徴を有する新規調査箇所を増やしつつ、長期的な調査・研究を行う必要がある。

●この調査に関する問い合わせは 研究第一部長
研究第一部主任研究員
研究第一部研究員

山根 昭
横川 佳重
王尾 和寿