

◆ 特集：河川環境の評価 ◆

水質からみた河川環境の評価  
— 下水処理水放流後の水質環境と水生生物 —

宮島 潔\* 田中宏明\*\* 東谷 忠\*\*\* 山下尚之\*\*\*\* 中田典秀\*\*\*\*\*

1. はじめに

近年、河川法の目的として河川環境の整備と保全が加えられ、河川でも生物の多様性を保つことが重要視されるようになってきた。

これまで、河川等の公共用水域の水質保全のために、河川整備とともに下水道整備が進められてきた。下水道の普及が進むに従い、放流先の水域に占める下水処理量の割合が増加してきている。また、都市河川等の維持流量の確保や快適な水辺空間の創出等の要請に応えるために、下水処理水を積極的に利用する事例も見られるようになった。下水道の普及により、河川などのBODは大幅に改善したが、同時に河川に占める下水放流量が増大し、河川の水質と流量が下水処理水に大きく左右されるようになった。このことにより、多くの生物が河川に戻ってきたが、同時に下水処理水の水質が形成される生態系に大きな影響を与えていると考えられる。

このような背景から、下水処理水の放流先水域にどのような生物が生息し、下水処理水の流入前に比べ生態系がどのように変化しているのかを把握するために、地方公共団体や(財)下水道新技術推進機構とともに共同調査を行ってきた。本調査の一部については既に報告<sup>1)</sup>しているが、下水処理水の放流先河川や水路における水質と形成される水生生物相について、さらに検討を行ったので報告する。

2. 下水処理水と水生生物の関係調査

都市河川で形成している水生生態系は、生息空間(ハビタット)構造、流況、生物相互作用、食物(エネルギー)源、そして水質が大きな影響を与えており、相互に複雑に影響し合っている。ここでは、影響因子として化学的條件の水質に注目し、下水処理水放流先河川における水質と生物との関係について調査した。

表-1 調査対象に放流する下水処理場の概要

調査対象	調査水域	調査期間	処理方法	調査区間へ供給する 処理水の消毒方式	処理水量比 (%)
a	せせらぎ水路	H 8 ~ H 10	標準活性汚泥法 + 急速ろ過	塩素	100
b	河川	H 12 ~ H 13	標準活性汚泥法	塩素	70
c	河川	H 8 ~ H 10	嫌気好気活性汚泥法	塩素	80
d	せせらぎ水路	H 8 ~ H 9	硝化内生脱窒法 + PAC 注入 + 急速ろ過	オゾン	100
e	せせらぎ水路	H 9 ~ H 10	標準活性汚泥法 + 急速ろ過	オゾン	100
f	河川	H 12 ~ H 13	標準活性汚泥法	塩素	70
g	河川	H 13	嫌気好気活性汚泥法 + 急速ろ過	オゾン	100
h	せせらぎ水路 冷却池 植生浄化池	H 12 ~ H 13	凝集剤添加 2段硝化脱窒法 + 急速ろ過	なし 紫外線	100
i	安定池 河川	H 9 ~ H 11	硝化内生脱窒法 + 急速ろ過 + 礫間接触酸化	紫外線 塩素	100 70 90
j	ビオトープ	H 12	標準活性汚泥法	塩素	100

2.1 調査対象

本調査では、下水処理水の水質と放流先河川に形成される生物相との関連を調べることを目的としており、対象とする河川は水質の変動が少ないか、または変動の状況や原因を特定できることが比較的容易な場所が望ましい。そこで、下水処理水を利用した親水や修景のためのせせらぎ（下水処理水だけが水源）、あるいは下水処理水が流量の多くを占めるような都市河川を調査対象とした。

調査対象の概要を表-1に示す。下水の処理方式では、一般的な有機物の処理を目的とした標準活性汚泥法だけでなく、窒素、りん除去も目的とする硝化内生脱窒法、嫌気好気活性汚泥法等の高度処理を行っている下水処理場も対象に含めた。また、消毒方式は、塩素によるものほか、オゾンや紫外線を用いている処理場を含めた。

2.2 調査方法

水質及び生物相について、原則として春期、夏期、秋期および冬期の年4回調査を行った。分析に用いた試料は、9時から15時の間のスポット採水試料とした。

(1) 水質調査項目、試験方法

- 気温、水温：ガラス棒状温度計による測定
- pH、DO、電気伝導度：現場測定機器による測定
- BOD、残留塩素：下水試験法準拠
- TOC、窒素、りん：JIS K0102 準拠

(2) 生物調査項目、試験方法

① 附着藻類

水中にある礫等の附着基盤を取り上げ、5×5cmの枠を当ててブラシで擦り取ることによって採取した。採取場所を移動し、同様の条件で6回の採取を行い、試料をホルマリンで固定後、出現種の同定、計数を行った。

② 底生動物

川底に30×30cmの金属製コドラートを置き、その下流側に採集ネットを設置して、コドラート内の石をネットに移しとった。石礫は岸に運び、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目のフルイにあげ、ピンセット等で採集した。同様の条件の所で、場所を変えて6回の採取を行い、試料をホルマリンで固定後、持ち帰り、出現種の同定、計数を行った。

3. 調査結果及び考察

3.1 下水処理水の水質

調査対象は、下水処理水100%のせせらぎ水路等と既存河川に下水処理水が合流する場合の2つに分けられる。下水処理水100%のせせらぎ水路、または処理場内実験水路の水質調査結果(a、d、e、g、h、j川)を図-1に、既存河川に下水処理水が合流する場合の結果(b、c、f、i川)を図-2に示す。

せせらぎ水路や処理場の放流口における下水処

理水の平均BODは、b、e、gを除き2mg/L以下であった。下水道統計<sup>2)</sup>の水質試験に記載されている869箇所の公共下水処理場の処理水BOD値をもとに作成したBODの分布(図-3)により、調査対象の処理水BODは、b、e、gを除き、全国処理場の値を低濃度から並べた上位20%の順位に含まれる良好な水質であることがわかる。なお、b、e、g3箇所の処理場における平均TOCは、約6mg/Lであり他の処理場と同程度であるため、有機物の処理は十分行われていたと考えられる。この3箇所の処理場では、処理水

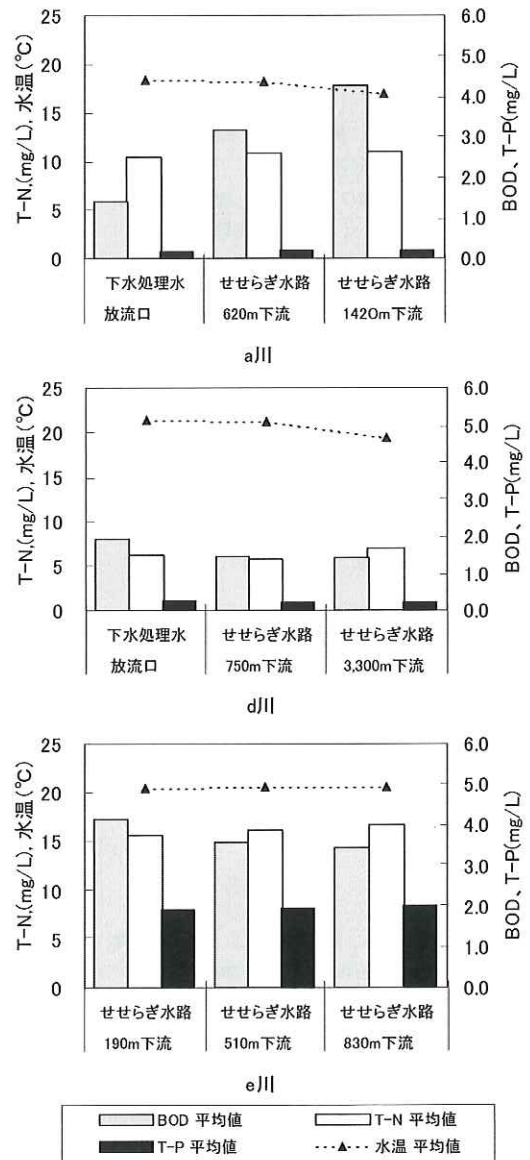


図-1 (1) 下水処理水100%のせせらぎ水路(a,d,e)における水質測定結果

中のアンモニア態窒素が他の処理場での濃度に比べて高く、かつ亜硝酸態窒素や硝酸態窒素が検出されているため、下水処理の過程で中途半端な硝化が起り処理水中にアンモニアと硝化細菌が共存していた可能性が高い。そのため、BODが高くなった原因は、有機物によるものではなく、アン

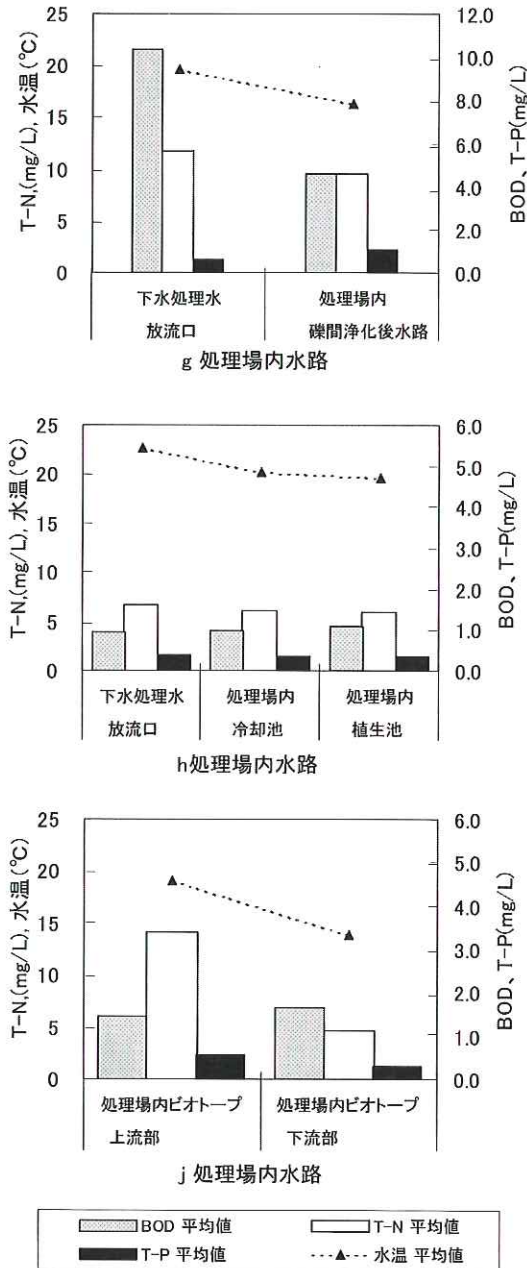


図-1 (2) 下水処理水100%のせせらぎ水路(g,h,j)における水質測定結果

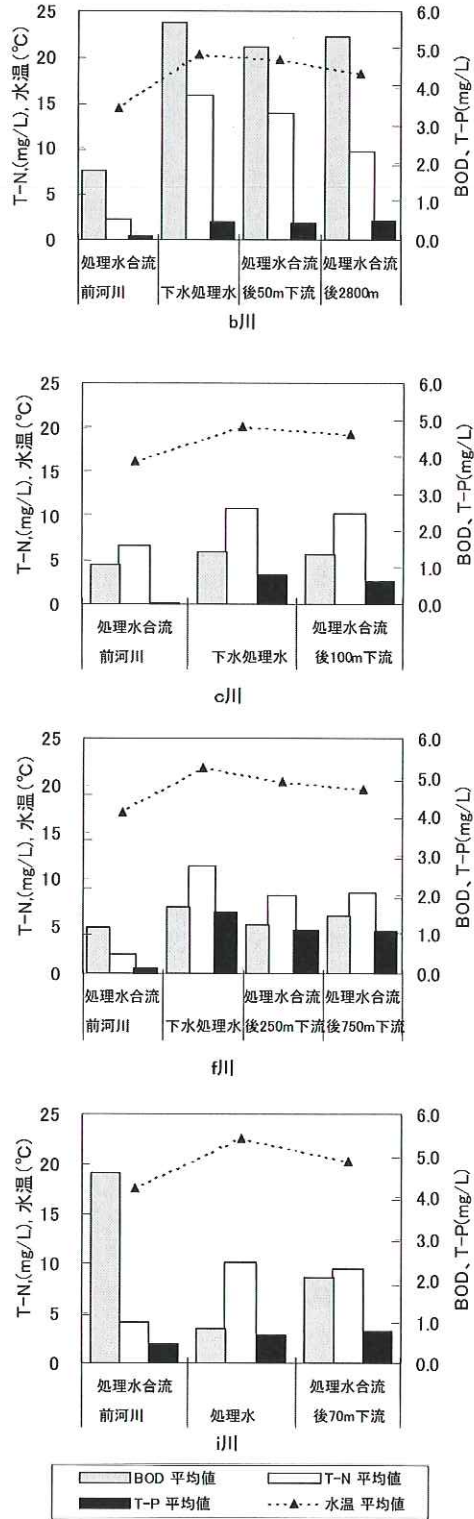


図-2 下水処理水が合流する河川(b,c,e,f,i,j)における水質測定結果

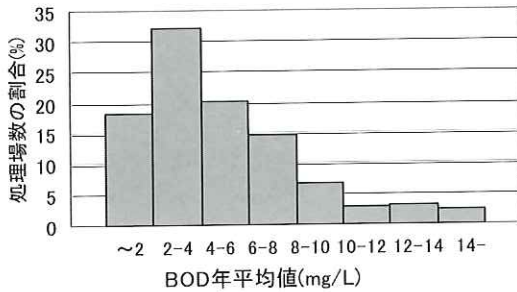


図-3 下水処理水 BOD 平均値の分布

モニアの酸化によるものではないかと推測される。  
3.2 水質の変化

下水処理水 100%のせせらぎ水路の場合、水温は流下にともなって低下する傾向であったが、BOD、総窒素、総りんは、あまり変化がみられなかった。なお、a、g 処理場の BOD は流下により変化がみられたが、TOC の増減はほとんどないため、アンモニアの酸化による酸素消費が影響していると推測される。また、総窒素については、処理場内の植生池やピオトープの下流側の水路 g、j で減少する場合がみられた。これは、植生池などにおける滞留時間が約 5 時間と長いことが関係しているのではないかと推測される。

既存の河川に処理水が放流されている b、c、f、i では、処理水が合流する前の河川水と処理水が合流した後の河川との水質が異なっていた。BOD の変化は、放流先の河川と下水処理水の水質との関係で決まり、下水処理水合流後に大きくなる場合だけでなく i 川のように下水処理水合流後に BOD が改善される場合があった。平成 14 年全国一級河川の水質現況<sup>3)</sup>によると、925 地点の河川における BOD75% 値は、1mg/L 以下と 1.1 ~ 2mg/L の濃度範囲にある調査地点の割合が、それぞれ 41.2%、37.4% となっている。今回調査時における下水処理水合流前の河川 b、c、f それぞれの BOD 平均値は、一級河川における BOD75% 値を小さい値から並べた上位 41.2% ~ 78.6% の範囲に該当していた。また、BOD75% 値の 2.1 ~ 3mg/L に含まれる地点の割合は 11.5% であるため、全国一級河川全体のなかで 3mg/L 以下の地点は 90.1% となり、BOD 平均値が 3mg/L を超えていた i 川については、下位 10% に含まれるレベルであった。

窒素、りんについては、いずれの調査場所においても合流後に濃度の上昇が見られた。また、水温は、冬期に下水処理水の水温が相対的に高くなるため、下水処理水合流後に水温が上昇していた。また、合流後の水質変化を下流部まで調査した b、f 川で比較すると、b 川では下流部で硝酸態窒素が低下しており、流下により窒素濃度が低下する可能性のあることが示された。

### 3.3 下水処理水を水源とする河川に出現する生物種

下水処理場の放流口、せせらぎ水路の流入部において出現した付着藻類及び底生動物は、各処理場につき、合わせて 10 ~ 30 種程度であった。また、せせらぎ水路の下流部やピオトープでは、せせらぎ水路流入部よりも出現種数が増加する場合があった。

下水処理場の放流口、せせらぎ水路等で出現した付着藻類及び底生動物の合計を表-2 に示す。下水処理水のみを水源とする河川であっても、出現が確認できた付着藻類は合計 279 種、底生動物はカゲロウ目、及びトビケラ目などの水生昆虫を含めて合計 190 種に達し、下水処理水の比率が高い河川でも多様な生物が生息できることを示している。

### 4. 出現する生物相と影響因子の検討

表-2 処理水の水域に出現した種 (全処理場合計)

付着藻類	藍藻類	珪藻類	緑藻類	その他	合計
	32	192	46	9	279
底生生物	節足動物	環形動物	軟体動物	扁形動物	合計
	146	23	18	3	190

河川の水質と生物との関係が得られれば、河川浄化または下水処理施設の変更、せせらぎやピオトープの整備等に活用できる可能性がある。下水処理水の水質は、消毒されていて、水温の季節変化が少ないという特徴を持っている。そこで、これらの特徴に注目して、調査結果を整理した。

#### (1) 消毒方法

消毒処理は、下水処理水の衛生学的安全性を保つために行われるが、塩素消毒では残留塩素が生物に影響を及ぼすことが知られている。そのため、塩素の注入率と出現種数を検討した。

#### 1) 塩素注入率と出現種数

塩素の濃度と生物の出現状況には、どのような関係があるのかということを検討するため、a、b、i および j の処理場における調査時の残留塩素濃度と底生動物の出現種類数の関係を調べた。残留塩素濃度が高い場合、出現種数が小さくなる傾向がみられた。しかし、残留塩素が検出されない場合が多く、残留塩素濃度と出現種数との関係が明確にならなかった (図-4)。そこで、処理場の塩素注入率のデータを用いて、再度検討を行った。ここでは、調査前 2 ヶ月間の平均塩素注入率を塩素注入率とし、出現種類数との関係を求めた。

図-5 に示すように、処理場ごとに注入率の範囲に差があるものの、全体として右下がりの傾向を示した。塩素注入率が、1.0 ~ 1.5mg/L を超え

ると、底生動物の出現種数が少なくなることがわかった。

2) 塩素消毒とオゾン消毒

塩素消毒及びオゾン消毒の違いによる生物への影響を調べた。比較対象は、消毒方法は塩素またはオゾンと異なっているが、同じ標準活性汚泥法で処理した後に急速ろ過を行っている a および e の 2 処理場とした。いずれも放流先にせせらぎがあり、比較的類似した河床条件になっているため、塩素消毒を行っている a 処理場のせせらぎ 2 地点 (St.1: 処理水流出口, St.2: 620m 下流) とオゾン消毒を行っている e 処理場放流先 1 地点について底生動物を比較した。

底生動物の出現種類数は、図-6 に示すように、塩素消毒で処理されている a 処理場において差がみられ、下流に位置する St.2 の出現種類数が、処

理水流出口の St.1 よりも大きくなった。これは、St.1 で平均 0.7mg/L であった残留塩素が、St.2 では平均 0.5mg/L まで減少していたことから、残留塩素の影響が一因と推測される。

また、オゾン消毒の St.3 は、3 地点で最も種類数が大きく、残留塩素の影響がなければ多くの種が生息する可能性のあることを示していた。

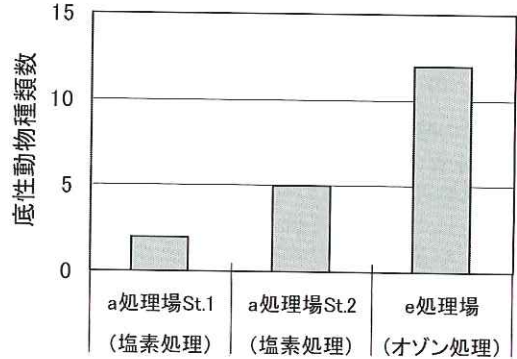


図-6 a、e 処理場における底生動物の出現種類数

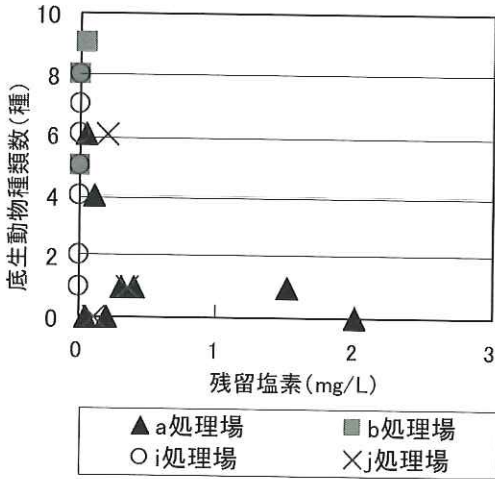


図-4 残留塩素と底生動物種類数

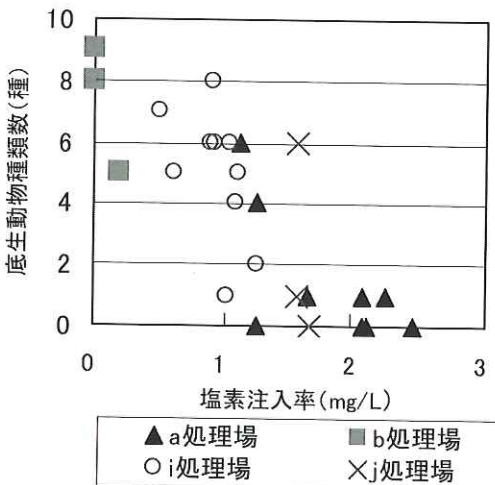


図-5 塩素注入率と底生動物種類数

(2) 水温

下水処理水の合流による水温の変化と、生物の出現個体数と関係を調べた。

1) 河川水と処理水の温度差

合流前の河川水と処理水との水温差を比較した。上流河川の水温が低くなる冬期には、図-7のように、5~10℃以上処理水の方が高くなるため、処理水の放流により処理水合流前の上流河川と大きな水温差ができることがわかった。

2) ヒメモノアラガイ出現個体数の比較

ヒメモノアラガイは、下水処理場の最終沈殿池や導水渠などの水処理施設内で見かけられる殻径数 mm の巻貝である。処理水が放流される水域で処理水の合流前、合流後それぞれの地点におけるヒメモノアラガイの出現個体数を、3 箇月の調

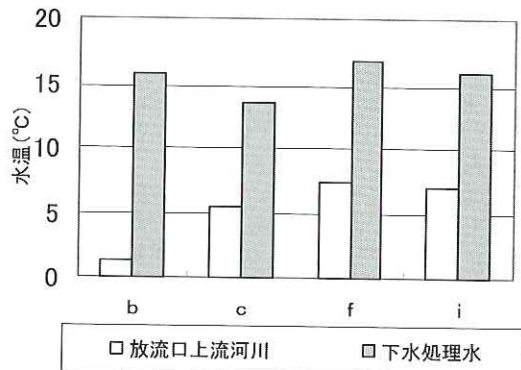


図-7 冬期調査時の上流河川と処理水の水温

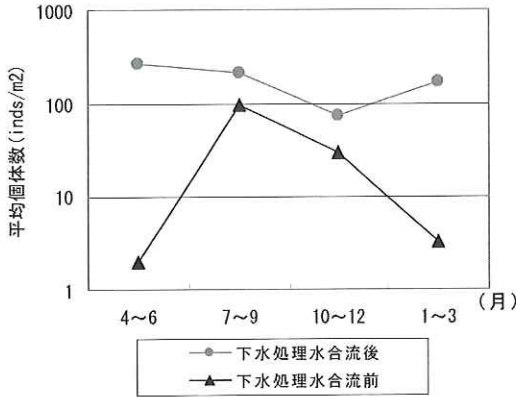


図-8 ヒメモノアラガイ個体数の季節変化 (c 処理場)

査時期ごとに集計し平均出現数を求めた。図-8に示すように、c 処理場において処理水流入後に出現個体数の季節変化が小さくなる傾向を示した。処理水が合流する前の河川水質で季節変化が大きい項目は水温であり、これが影響している可能性がある」と推測された。

### 5. まとめ

下水処理水放流先河川の水質と放流先河川に形成される生物相との関連を調べることを目的として、現場調査を実施した。その結果、以下のことがわかった。

#### (1) 下水処理水の水域に出現した生物種

10 処理場合計で出現が確認された生物種は、合計で付着藻類が約 280 種、底生動物が約 190 種であった。

#### (2) 消毒方法

塩素注入率と出現種数との関係を調べた結果、注入率が一定量を超えると出現種数が少なくなることがわかった。また、残留塩素だけではなく塩素注入率にも注意を払う必要があることが示された。

### (3) 水温

下水処理水と処理水合流前の河川水との水温差は、夏の時期はほとんどないが、冬の時期に約 10℃に達することがわかった。冬場には、下水処理水の水温が高く、処理水合流後の河川の水温を上昇させるため、生物出現数への影響の可能性が示唆された。

今後は、さらなる現地調査の実施による付着藻類、底生動物と水質変化の把握を続けることに加え、実験水路による調査や室内実験などもあわせて実施していくことにより、水生生物の出現状況の違いがどのような環境条件によるのかをもっと検討していく必要があると考えられる。

### 謝辞

本報は「生態系との共生をはかる下水道のあり方検討会」で実施している調査結果をもとに作成したものである。(財)下水道新技術推進機構、関係自治体の関係者の方に感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 宮本宣博、玉本博之、田中宏明：下水処理水放流先河川に形成される生物相に関する調査研究，土木技術資料，Vol.44，NO.7，pp64-69，2002年7月
- 2) 平成13年度版下水道統計 行政編 第五十八号の一，日本下水道協会
- 3) 平成14年全国一級河川の水質現況 ([http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha03/05/050708\\_html](http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha03/05/050708_html))

宮島 潔\*



独立行政法人土木研究所水循環研究グループ水質チーム主任  
研究員  
Kiyoshi  
MIYAJIMA

田中宏明\*\*



京都大学大学院工学研究科附属環境制御研究センター教授、工博(前 独立行政法人土木研究所水循環研究グループ水質チーム 上席研究員)  
Dr. Hiroaki  
TANAKA

東谷 忠\*\*\*



独立行政法人土木研究所水循環研究グループ水質チーム 専門研究員  
Tadashi  
HIGASHITANI

山下尚之\*\*\*\*



独立行政法人土木研究所水循環研究グループ水質チーム 専門研究員  
Naoyuki  
YAMASHITA

中田典秀\*\*\*\*\*



独立行政法人土木研究所水循環研究グループ水質チーム 専門研究員  
Norihide NAKADA