

下水道の水生生物影響に関する 調査研究

1. 研究の目的

下水道の普及が進むにつれ、放流先水位に占める下水処理水の量的割合が増加してきている。さらに、枯渇しつつある都市河川等の維持流量の確保や修景用水として下水処理水が再利用される事例が増加してきており、都市型河川と下水処理水の相互関係が不可欠な状況となっている。

しかしながら、下水処理水が放流先水域の水環境、特に水生生物に与える影響についての調査や研究は、

その評価手法が確立されていない等の理由から、現状ではきわめて限られたものとなっている。

このため、本調査は、平成8年度より、自治体と共同研究で全国13カ所の処理場を対象に実施した下水処理水と放流先水域における生物相調査を解析し、下水処理水質と水生生物との関連性や下水処理水が放流先水域の水生生物に与える影響を把握するための調査・評価手法について検討するものである。

表-1に調査対象処理場と放流口における水質および放流先水域の概要を示す。

表-1 調査対象処理場及び水域の概要

共同研究団体	調査期間	処理場名	処理方式	消毒方式	放流口における水質 (mg/l)								放流先水域	処理水量比※ (%)
					BOD		T-N		T-P		DO			
					平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差		
A	H8~H10	A-1 処理場	標準活性汚泥法 +急速ろ過	塩素	1.0	1.27	10.4	3.12	0.16	0.09	7.6	1.95	せせらぎ水路	100
	H12~H14	A-2 処理場	標準活性汚泥法	塩素	5.7	3.10	15.8	3.98	0.48	0.26	6.5	0.64	河川	70
B	H13	B 浄化センター	2 段階嫌気好気活性汚泥法 +急速ろ過	オゾン	1.1	0.36	1.9	0.50	0.74	0.21	7.9	1.65	河川	70
C	H8~H10	C 処理場	嫌気好気活性汚泥法	塩素	1.4	0.64	10.8	2.41	0.80	0.53	7.9	1.40	河川	80
D	H8~H9	D-1 処理場	嫌気硝化内生脱窒法 +PAC注入+急速ろ過	オゾン	1.9	0.49	6.2	3.51	0.25	0.25	7.6	1.40	せせらぎ水路	100
	H9~H10 H14~H15	D-2 処理場	標準活性汚泥法 +急速ろ過	オゾン	4.2	4.72	15.6	3.95	1.93	0.53	12.7	3.32	せせらぎ水路	100
	H12~H13	D-3 処理場	標準活性汚泥法	塩素	1.7	0.60	11.4	2.27	1.54	0.20	6.9	1.13	河川	70
E	H12~H13	E 浄化センター	標準活性汚泥法 +急速ろ過	紫外線	6.9	6.64	11.0	3.76	0.65	0.39	8.1	1.69	ビオトープ	100
F	H12~H14 H15~H16	F 浄化センター	凝集剤添加標準活性汚泥法 +急速ろ過	無し	3.0	2.66	6.7	0.94	0.26	0.25	8.2	1.18	せせらぎ水路	100
				紫外線									冷却池	100
													植生浄化池	100
G	H9~H11	G 処理場	嫌気好気活性汚泥法 +急速ろ過+瞬間接触酸化	紫外線	2.6	4.09	10.7	1.97	0.66	0.70	6.8	2.32	安定池	100
				塩素									河川	70
													水路	90
H	H14~H15	H 浄化センター	循環式硝化脱窒法 +急速ろ過	塩素	0.9	0.12	5.1	0.83	0.90	0.11	8.7	0.98	河川	50
I	H12~H14	I 浄化センター	標準活性汚泥法	塩素	1.5	0.78	9.1	8.55	0.55	0.31	1.3	1.77	ビオトープ	100

※：処理水量比＝下水処理水量／放流先水量×100%

2. 研究内容

2.1 アンモニア濃度と底生動物の出現

自然水中域でのアンモニアは、イオン化しているNH₄⁺とイオン化していないNH₃の2つの形態が存在し、NH₃はNH₄⁺より生物に対する毒性が高いことから、アンモニア性窒素全体のうち非イオン性アンモニア濃度と生物種別の出現個体数の関係を解析した。

なお、NH₄⁺とNH₃の平衡関係は、水温とpHによって制御されるため、測定したNH₄⁺、水温、pHから以下に示す関係式よりNH₃を試算した。

NH₄⁺とNH₃の平衡関係は式(1)に示すとおりであり、平衡係数は式(2)のとおりである。



$$\text{平衡定数 (K)} = \frac{[\text{NH}_3][\text{H}^+]}{[\text{NH}_4^+]} \quad (2)$$

ここで解離定数 (pK) と水温 (T℃) の関係は式(3)に示す。

$$\text{pK} = \frac{0.09018 + 2729.92}{273.2 + T} \quad (3)$$

そして、以上の式から式(4)が導かれる。

$$\frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} = 10^{(\text{pH} - \text{pK})} \quad (4)$$

図-1 に生物種のうち、特に傾向が顕著であるイトミミズやユスリカ、イトトンボおよびエグリトビケラについてNH₃との関係を示す。

イトミミズやユスリカは高濃度域でもある程度生息が可能であり、イトトンボやエグリトビケラは、高濃度になるにつれて出現数が急激に低下する傾向が確認された。

2.2 塩素と付着藻類の関係

残留塩素が検出されたA-1 処理場、C 処理場の処理水放流口での残留塩素濃度（遊離型と結合型を合わせた総塩素）と、放流口における付着藻類のうち優占種3種との関係を図-2 に示す。なお、比較として消毒方式の異なるI 浄化センター（オゾン消毒）の放流口で確認された優占種も示す。

この結果、残留塩素の状況下において、特に緑藻類のChlorolobion属の出現が顕著である傾向が確認された。なお、Chlorolobion属とは単細胞性の緑藻類で、下水処理水の放流先によく見られる緑色の付着藻類である。

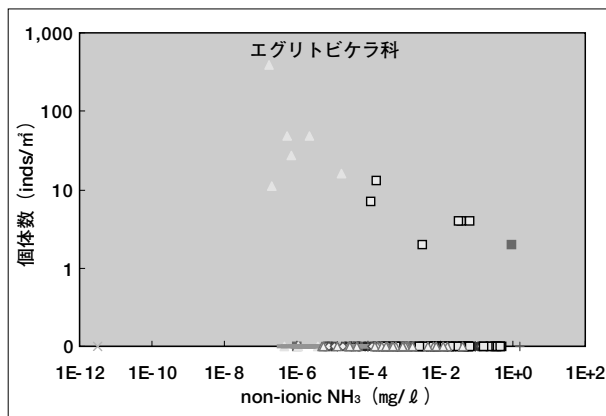
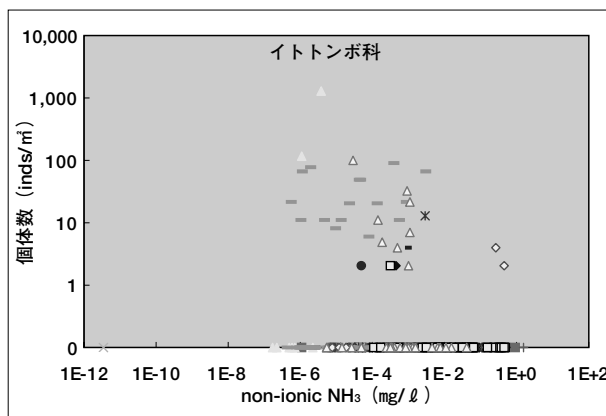
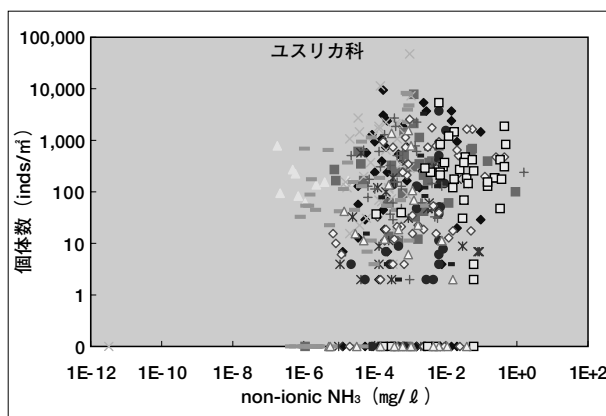
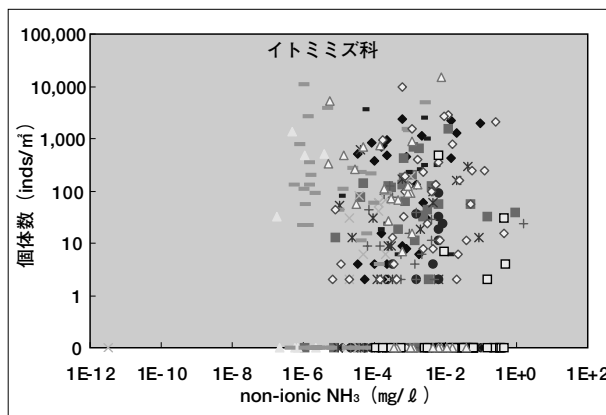


図-1 アンモニア性窒素と底生動物の個体数

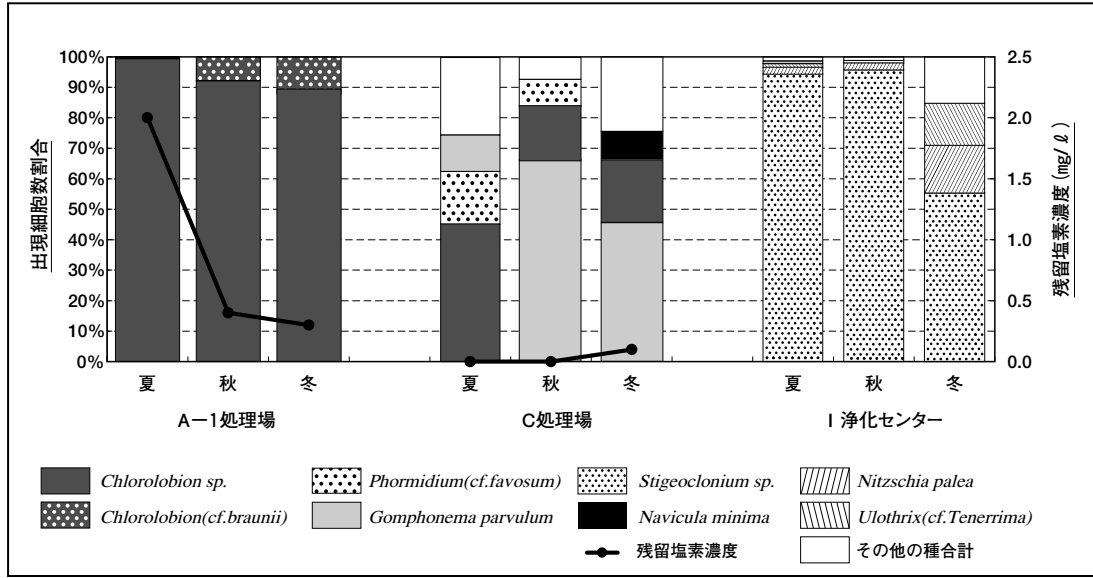


図-2 残留塩素濃度と付着藻類優占種

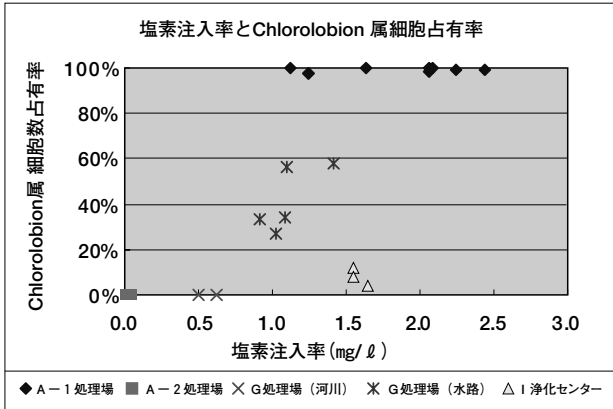


図-3 塩素注入率とChlorolobion属の細胞占有率

そこで図-3では、付着藻類調査前の2ヵ月間の塩素注入率(平均)と付着藻類に占めるChlorolobion属の細胞占有率の関係を整理した。

この結果、塩素注入率が高くなるほど、付着藻類に占めるChlorolobion属の細胞占有率が増加する傾向が把握された。また、塩素注入率で約1.0mg/l付近(残留塩素濃度としては0.1~0.2mg/l)を境界としたS字増加曲線による傾向も顕著に確認された。なお、I浄化センターについては、調査箇所が海域であるため、塩分による影響を受け、これらの傾向からはずれた値を示していると考えられる。

また、残留塩素濃度と付着藻類ならびに底生動物の出現種類数を図-4、塩素注入率との関係を図-5に示す。

いずれも、残留塩素濃度、塩素注入率が高くなるにつれて、付着藻類ならびに底生動物の出現種類数は減少する傾向が確認された。

さらに、塩素注入率と出現種類数の関係を指数回帰近似式で表すと、付着藻類、底生動物でそれぞれ以下の式-1で表すことができる。

$$\text{付着藻類: } Y = 31.711e^{-0.9443X} \quad (R^2 = 0.63)$$

$$\text{底生動物: } Y = 15.484e^{-1.7916X} \quad (R^2 = 0.53)$$

Y: 出現種類数(種) X: 塩素注入率(mg/l)
R: 相関係数

式-1 塩素注入率と出現種類数の指数回帰曲線

特に付着藻類、底生動物ともに塩素注入率1.0~1.5mg/lの範囲を超過すると、出現する種類数が極端に低下すること確認された。

2.3 栄養塩濃度と生物相の変化

栄養塩濃度と生物相に関する変化は、放流先における処理水比率がともに100%で、かつ塩素による影響を受けないよう、オゾン消毒を採用しているD-1、D-2処理場の調査データで解析した。

この結果、T-N、T-Pの濃度と付着藻類中のChl-a量に一定の相関が確認された。

各水質項目での相関としては、T-Nが約5mg/l以上の範囲とT-Sが約0.3mg/l以上の範囲で共にChl-a量が減少しているが、要因については現段階では不明である。

なお、本解析値の傾向は、米国EPA(Environmental Protection Agency)の『Nutrient Criteria』で報告された相関と同程度の値ならびに傾向を示している(図-6参照)。

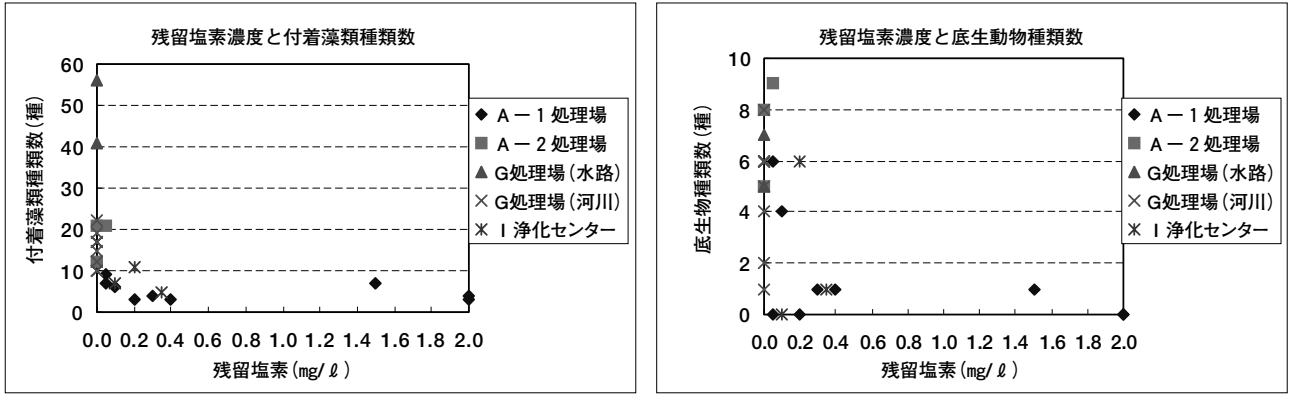


図-4 残留塩素濃度と付着藻類・底生動物出現種類数

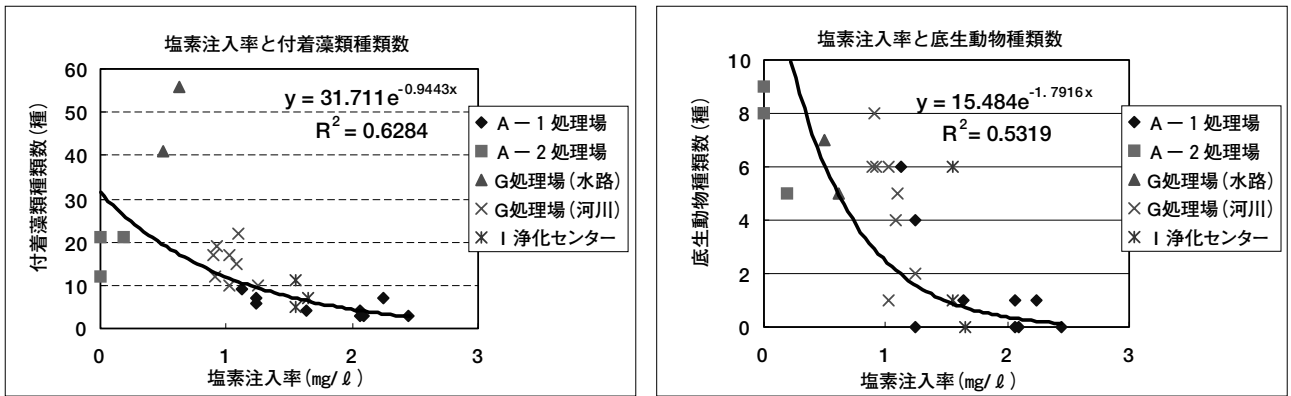
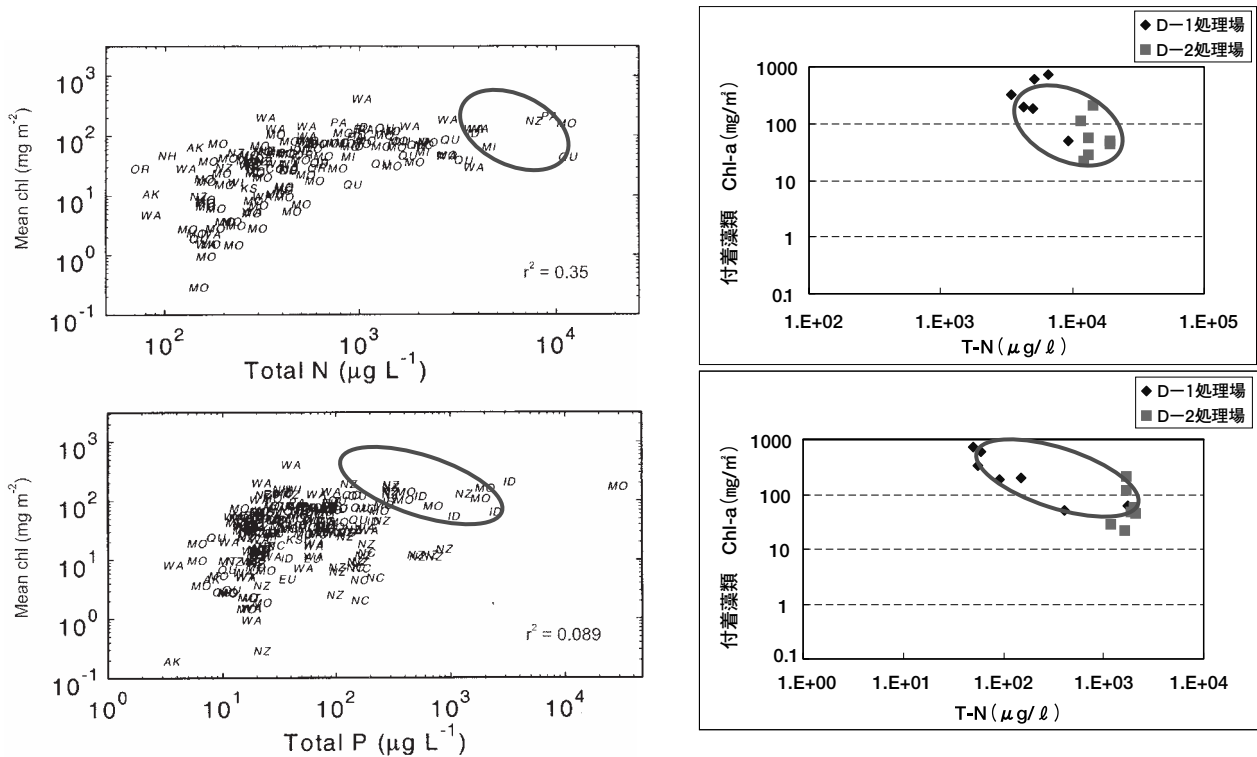


図-5 塩素注入率と付着藻類・底生動物出現種類数



AK-Alaska, ID-idaho, MI-Michigan, MO-Montana, NH-New Hampshire, NC-North Carolina, OR-Oregon, PA-Pennsylvania, WA-Washinhton, QU-Quebec, EU-Europe, NZ-New Zealand
 [Nutrient Criteria] , USEPA, (2000)より

図-6 栄養塩濃度と付着藻類 (Chl-a量) との関係

3. まとめ

本報告では、下水処理水のうち特に放流先生物相に与える影響として一定の傾向が把握された。アンモニア濃度，塩素濃度，栄養塩類について記載したものであるが，調査解析としては，これ以外の項目間（溶存酸素，オゾンなど）についても同様の分析を行っている。

ただし，各項目ごとにそれぞれの傾向を詳細に把握するためには，これまで調査したデータでは十分とはいえず，さらに多くのデータを用いて解析する必要があるため，

あるため，今後は，自治体独自で調査しているデータ等を収集し，分析に活用していきたいと考える。

なお，本調査において一定の傾向が把握された項目については，今後下水道事業者が生態系に配慮した施策を実施するにあたり，施設設計上の目標値といった具体的な指標となることを期待し，平成14年9月に国土交通省都市・地域整備局下水道部と本機構から発刊された『生態系にやさしい下水道の促進に向けた手引書（案）』の見直し時には，本調査結果をできる限り反映していきたいと考える。

●この研究に関するお問い合わせは

研究第一部長	堀江 信之
研究第一部総括主任研究員	加畑 雅宏
研究第一部研究員	古谷 猛裕