

ヒトと生き物を護る下水道の新しい役割

下水道研究部 下水道研究官 高橋正宏

1. はじめに

下水道は今や、都市住民の生活になくてはならない社会基盤となっている。もし、下水道がないとすると、高層ビルのような高度な土地利用は不可能なことはもちろん、都市内に排水や雨水があふれ、快適な居住環境が大いに損なわれ、都市の河川や海岸はドブのような状態になる。下水道の整備が本格化する、1970年代以前の日本の大都市はこのような状態であった。

平成12年度末における下水道の普及状況を、都市規模別に示したものが図1である。各棒グラフの幅は、当該規模の都市に居住している人口の割合を示しており、全国平均で62%の国民が下水道を使用できる地域に住んでいる。

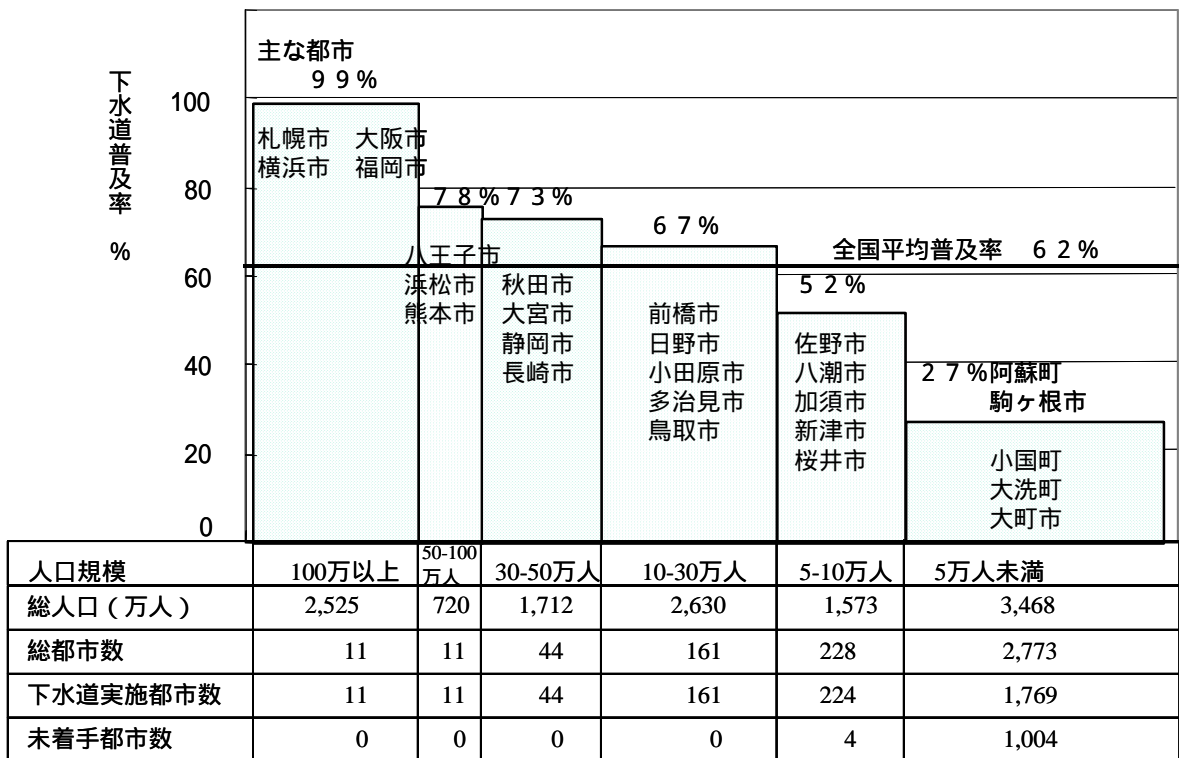


図 1 都市規模別の下水道普及率 (平成12年度末)¹⁾

人口5万人以下の小都市、町村での下水道普及率は低いが、大都市部では一部の都市を除いてほぼ整備の目途が立った状態である。下水道整備の進展にともない、都市部の河川、沿岸域の水質改善も進んでいる。東京、新宿区の落合処理場の処理水が流れる神田川も、

図 2 のように下水道普及の進展とともに BOD 値が改善され、特に同処理場に高度処理が導入された 1987 年以降は、劇的な改善を見た。

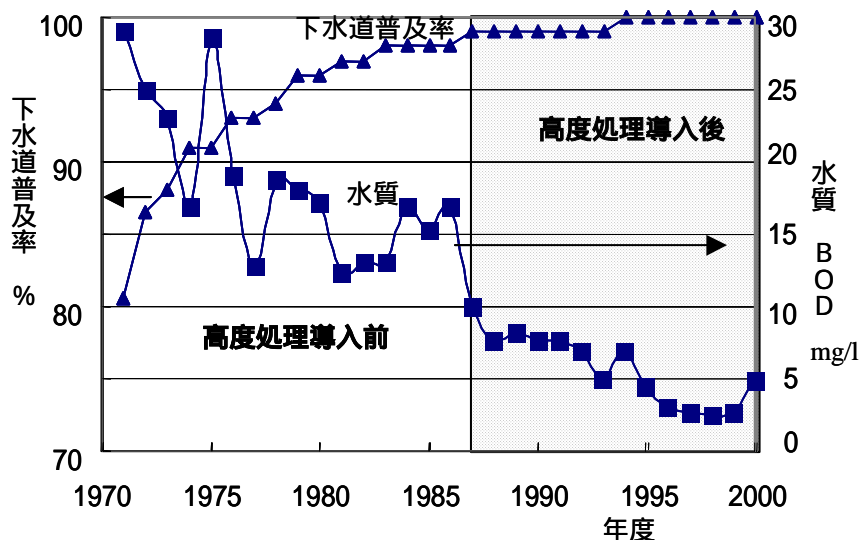


図 2 東京都 神田川の水質の推移¹⁾

しかし、身近な河川の水質が改善されるにつれて、市民の水への関心が高まっており、今までの目に見える水質汚濁の陰に隠れていた新たな問題も、明らかになりつつある。オスのコイのメス化（正確にはオスのコイが多量の卵黄タンパクを作り出す現象、性転換は起こっていない）などが話題となり、女性ホルモン活性を有する物質、いわゆる環境ホルモンが環境水中に広く存在する可能性が指摘されている。下水道には人間活動に起因して排出される各種の化学物質が流入していると考えられる。このため、下水道に流入する化学物質の実態を解明し、人の健康や放流先の生態系への影響を、許容される範囲内に押さえる手法を明らかにする必要がある。

下水道の普及によって大幅に改善されたものの一つに、病原体などに関わる衛生学的安全性がある。し尿を速やかに身のまわりから排除し、下水処理場で集中的に処理を行い消毒することによって、各種の経口伝染病が大流行することはほとんどなくなった。しかし、病原体と人類の戦いは、ある戦局が収束したように見えても、また別の戦局で戦端が開かれるということを繰り返している。下水道の場合にも、従来はマイナーな病原体としてほとんど知られていなかった、病原性原虫類が新たな問題となっている。クリプトスポリジウムに代表される病原性原虫類は、患者の糞便中に大量に含まれ、それらが下水道に流された場合、下水道で一般的に採用されている塩素消毒では十分に不活化することができない。このため、下水道の受け持ち区域内に患者が大量発生した場合は、下水道による新たな防御体制を構築し、公共水域への病原体の拡散を防止する必要がある。

本稿では、環境ホルモンや新たな病原体の問題に対して、現在までに判明している実態、下水道としての対応、および今後の課題を論じるものとする。

2. 環境ホルモンと下水道

2.1 環境ホルモンとは

ホルモンは生物の内分泌器官（甲状腺、卵巣、精巣、副腎など）からごく微量分泌され、生体を維持する働きを持つ物質である。おもに血液を介して、特定の体内器官や細胞に運ばれ、そこに存在する受容体（レセプター）と結合して、ホルモンとしての作用を及ぼす。外因性内分泌攪乱化学物質（環境ホルモン）とは、環境中に放出された化学物質が生体内に取り込まれ、特定のホルモンのレセプターにあたかもその生体ホルモンのように結合し、偽のホルモン作用を発現させる物質をいう。ホルモンの作用は非常に多岐にわたっているが、いわゆる環境ホルモンとされているものの多くはエストロゲン（女性ホルモン）作用を示すため、ここでは女性ホルモン様活性を示す物質を環境ホルモンと呼ぶ。

環境省は「環境ホルモン戦略計画SPEED'98」で65項目について環境ホルモンの疑いのある物質とし、それらの評価を継続している。

また、下水道の場合、人工的に合成された環境ホルモンに加え、ヒトの尿などから排出される女性ホルモン（17 エストラジオール）とその関連物質が下水中に存在するため、人畜由来のホルモンそのものも評価の対象となる。

女性ホルモン作用を示す環境ホルモン物質の影響を評価するにあたっては、実際の女性ホルモン、17 エストラジオールの活性に対する相対的な活性の強さを参照することが行われている。女性ホルモン作用を遺伝子組み換え酵母で測定した例では表 1²⁾の比活性が得られており、エストロンなどの人畜由来ホルモン関連物質は17 エストラジオールに近い活性を有しているが、ノニルフェノール、ビスフェノールA、フタル酸類等の化学物質は、女性ホルモン活性が非常に弱いと推定される。

2.2 下水道、公共用水域での実態

水環境中の環境ホルモンの実態については、国土交通省をはじめ関係各部署が全国的な調査を行っている。環境省³⁾は平成12年度に、SPEED'98にリストアップされた物質の内、農薬等で管理されている物質や、ダイオキシン等の調査が行われている物質を除き20項目の全国調査が行っている。また、20項目以外に、同調査では17 エストラジオール等の人畜由来ホルモンや薬剤として用いられる合成女性ホルモンについても併せて実態調査が行われている。

調査の結果、水域（水質）及び底泥中から検出された物質を表 2³⁾に示す。一般に水質よりも底泥での検出率が高いのは、過去に水域に放出された物質が蓄積していることを示す。水質で検出率が20%を越える物質は、ポリ塩化ビフェニール、ノニルフェノール、4-t-オクチルフェノール、ビスフェノールA、フタル酸ジ-2-エチルヘキシルの5物質で、1

表 1 化学物質のエストロゲン比活性の比較

	比活性値	備考
17 エストラジオール	1.00	人畜由来ホルモン
エストロン	0.3	"
エストリオール	0.002	"
エチルエストラジオール	0.5	合成女性ホルモン
4-t-ブチルフェノール	0.00002	
4-n-オクチルフェノール	0.000005	
ノニルフェノール	0.001	
ビスフェノールA	0.00006	
フタル酸ジエチル	0.000000055	
フタル酸ジブチル	0.000000049	
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	0.000000017	
アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル	0.000000013	
ベンゾフェノン	0.0000006	
ベンゾ(a)ピレン	0.000000051	

7 エストラジオールも 78%の水域で検出されている。

ノニルフェノール、ビスフェノールA、17 エストラジオールの河川水中における検出状況を、累積度数分布で示したものが、図 3 ~ 5³⁾である。

表一2 環境省 水環境調査で検出された化学物質³⁾

No	項目名	検出割合		主な用途等
		水質	底質	
2	ポリ塩化ビフェニール類 (PCB)	131/171 (77%)	47/48 (98%)	熱媒体、ノーカーボン紙、電気製品
33	トリブチルスズ	5/171 (3%)	44/48 (92%)	船底塗料、魚網の防腐剤
34	トリフェニルスズ		14/48 (29%)	船底塗料、魚網の防腐剤
36	アルキルフェノール類			界面活性剤の材料、 分解生成物
	ノニルフェノール	40/171 (23%)	39/48 (69%)	
	4- <i>t</i> オクチルフェノール	34/171 (20%)	26/48 (54%)	
	4- <i>n</i> オクチルフェノール	1/171 (1%)		
97	ビスフェノールA	82/171 (48%)	14/48 (29%)	樹脂の原料
38	フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	49/170 (29%)	47/48 (98%)	プラスチックの可塑剤
39	フタル酸ブチルベンジル		29/48 (48%)	プラスチックの可塑剤
40	フタル酸ジ- <i>n</i> -ブチル	12/170 (7%)	18/48 (38%)	プラスチックの可塑剤
41	フタル酸ジシクロヘキシル		3/48 (6%)	プラスチックの可塑剤
42	フタル酸ジエチル	12/170 (7%)	4/48 (8%)	プラスチックの可塑剤
43	ベンゾ[a]ピレン	4/171 (2%)	46/48 (94%)	非意図的生成物
44	2,4-ジクロロフェノール	7/171 (4%)		染料中間体
45	アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル	12/171 (7%)	1/48 (2%)	プラスチックの可塑剤
46	ベンゾフェノン	18/171 (11%)	26/48 (54%)	医薬品合成原料、保香剤
47	4-ニトロトルエン	8/171 (5%)		2,4-ジニトロトルエンなどの中間体

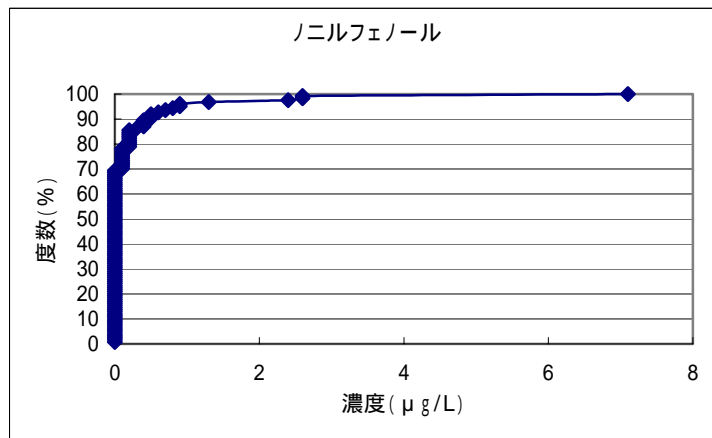


図 3 ノニルフェノールの検出状況 (河川)

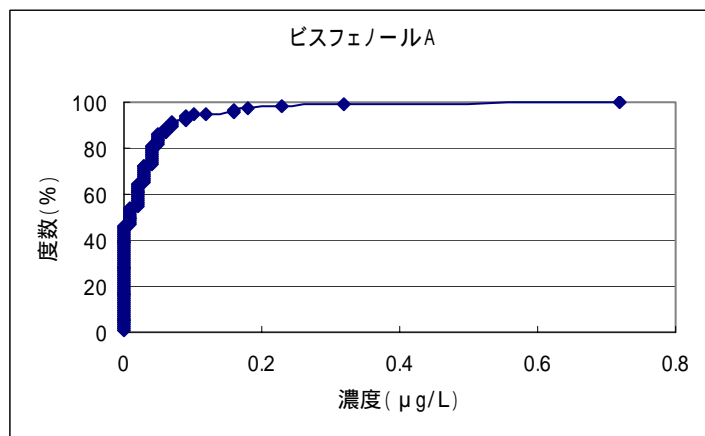


図 4 ビスフェノールAの検出状況 (河川)

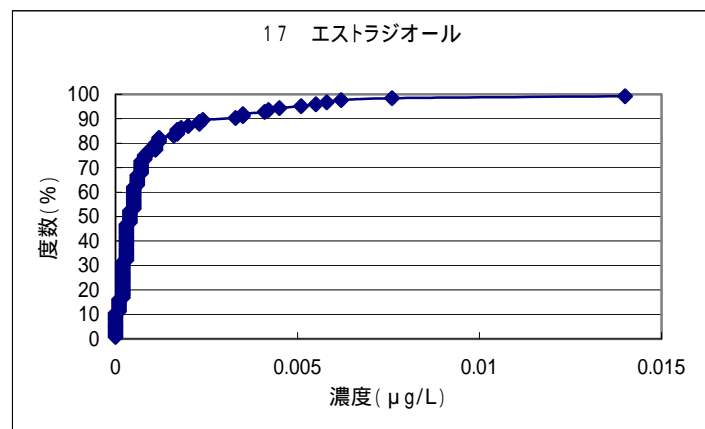


図 5 17 エストラジオールの検出状況 (河川)

90%の出現頻度で見ると、それぞれ0.5, 0.07, 0.0033 µg/Lであった。

なお、17 エストラジオールでは最高値が0.23 µg/Lであったが、グラフ作成の都合上そのデータは除外して図示してある。

下水道における環境ホルモンの実態については、国土交通省が(財)下水道新技術推進機構に設置した「下水道における内分泌攪乱物質(環境ホルモン)対策検討委員会」による全国調査を平成10年度~12年度に行っている。当初は、環境省の調査と同様にSPED'98にリストアップされた物質から農薬、ダイオキシン類等を除く20項目と人畜由来ホルモン4物質を対象に全国の下水処理場で調査を行った。全く検出されない物質を除外するなど、対象物質を絞り込み、3年間で47の下水処理場の調査を行った。その結果、表3に示す8種類の化学物質と7種類の環境ホルモン関連物質が、流入下水中から一定の頻度で検出された。これらの多くは、処理水中では定量下限値以下に処理されていたが、化学物質ではベンゾフェノンが、処理水中に残留する傾向が見られた。

表3 下水流入水、処理水中の測定結果のまとめ⁴⁾

単位: µg/L

物質名	検出 下限値	定量 下限値	流入下水(中央値)			処理水(中央値)			備考	
			H10	H11	H12	H10	H11	H12		
疑いのある 内分泌攪乱 作用の 化学物質	ノニルフェノール	0.1	0.3	6.7	4.7	3.4	0.4	tr(0.1)	n.d.	
	ビスフェノールA	0.01	0.03	0.77	0.53	0.30	0.04	tr(0.02)	tr(0.01)	
	2,4-ジクロロフェノール	0.02	0.06	0.07	0.07	-	n.d.	tr(0.01)	-	H12は1検体
	フタル酸ジエチル	0.2	0.6	5.9	2.6	-	n.d.	n.d.	-	H12は1検体
	フタル酸ジ-n-ブチル	0.2	0.6	2.1	3.6	-	n.d.	n.d.	-	H12は1検体
	フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	0.2	0.6	17	13	6.9	0.8	tr(0.3)	tr(0.4)	
	アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル	0.01	0.03	0.43	0.07	-	tr(0.01)	n.d.	-	H12は1検体
	ベンゾフェノン	0.01	0.03	0.19	0.15	0.25	0.06	0.05	0.03	
関連物質	ノニルフェノール (n=1~4)	0.2	0.6	25	29	23	1.3	0.7	0.9	
	エトキシレート (n=5)	0.2	0.6	150	81	62	1.6	tr(0.3)	n.d.	
	ノニルフェノキシ酢酸	0.5	1.5	-	-	tr(0.8)	-	-	tr(0.7)	H12のみ調査
	ノニルフェノールモノエトキシ酢酸	0.5	1.5	-	-	44	-	-	3.1	H12のみ調査
	ノニルフェノールジエトキシ酢酸	0.5	1.5	-	-	16	-	-	3.1	H12のみ調査
	17β-エストラジオール <ELISA法>	0.0002	0.0006	0.041	0.040	0.050	0.014	0.009	0.010	
<LC/MS/MS法>	0.0005	0.0015	-	-	0.0081	-	-	n.d.	H12のみ調査	
エストロン <LC/MS/MS法>	0.0005	0.0015	-	-	0.043	-	-	0.0054	H12のみ調査	

各年度の流入下水および処理水について、中央値の濃度を示した。

・網掛けは中央値が定量下限値未満

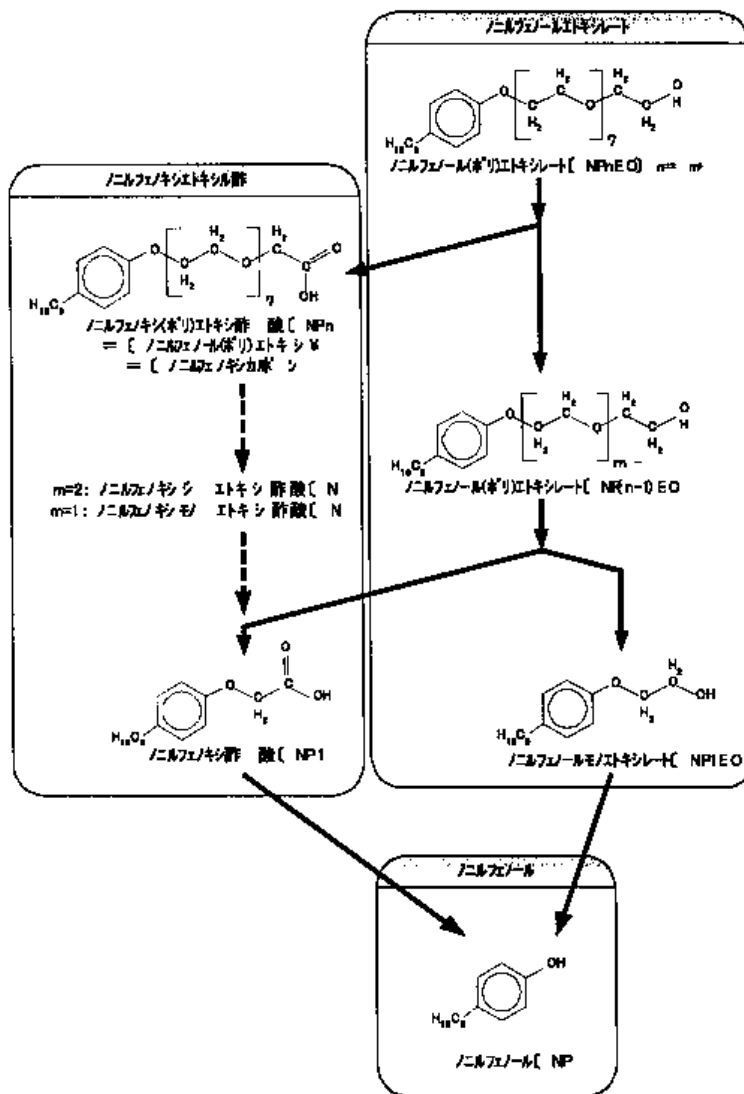
・ノニルフェノキシ酢酸については、3形態で測定しており、いずれかが定量下限値以上の場合に3形態とも表記した。

・"- "は、調査を実施していないまたは1検体のみのため中央値を算出していない項目

17 エストラジオールはELISA法とLC/MS/MS法の2種類の測定法による測定を行い、常に後者が前者より低い値となった。ELISA法は17 エストラジオールそのものを測定しているのではなく、17 エストラジオールと抗原抗体反応を起こす抗体を用いた分析であるため、他の物質とも反応を起こす可能性があり、大きめの値を示すものと思われる。LC/MS/MS法は機器分析で17 エストラジオールそのものを検出するため、ELISA法より低い値となる。

環境ホルモン関連物質の内、ノニルフェノールエトキシレートは下水道に流入する可能性のある非イオン界面活性剤の種類であり、図6に示すようにノニルフェノールに複

数のエトキシ基の鎖がついているものである。分解を受ける過程でこの鎖が次第に短くなり、鎖がなくなったものがノニルフェノールである。ノニルフェノキシ酢酸は、その分解過程で生成する中間生成物である。これらの分解過程は、下水処理の過程で起きることが予想され、下水処理場でノニルフェノールが生成する可能性があるため、環境ホルモン関連物質としてモニタリングを行っている。



図一6 ノニルフェノールの生成過程⁴⁾

2.3 下水道による化学物質の低減

国土交通省や独立行政法人土木研究所では、下水処理過程での環境ホルモンの挙動につ

いて、調査している。図 7 は、実際の下水を標準的な処理方法で処理している実験装置でノニルフェノールとその関連物質の消長を調査したものである。流入下水中にはノニルフェノールとその生成源となるノニルフェノールエトキシレートがともに含まれており、いずれの物質も、処理工程が進むにつれて減少することが解った。ノニルフェノールエトキシレートは分解を受けてノニルフェノールになるが、ノニルフェノールも下水処理の工程で減少することが示されたもので、処理の過程で発生する汚泥中からも両物質とも減少していることから、単に汚泥中に移行したのではなく、生物学的分解を受けて減少したものであることが分かる。

下水処理場における化学物質の除去の実態を、流入下水、処理水中の濃度として累積度数分布にまとめた例を図 8 に示す。

ノニルフェノール、ビスフェノールA、17 エストラジオールとも、良好な除去を示しており、一方、ベンゾフェノンの除去率は低いが、処理水中の濃度としてはかなり低くなっている。

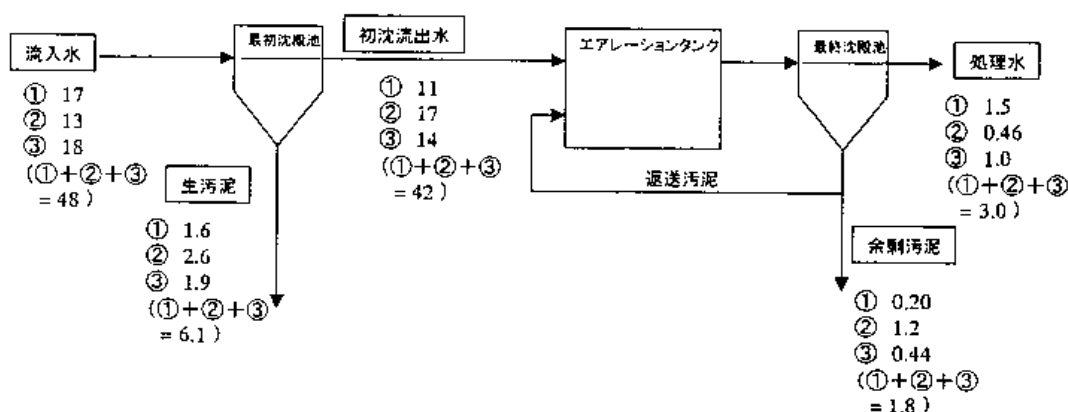


図 7 ノニルフェノール関連物質の挙動⁵⁾

- ① ノニルフェノール
- ② ノニルフェノールエトキシレート (エトキシ基 1~4)
- ③ ノニルフェノールエトキシレート (エトキシ基 5以上)

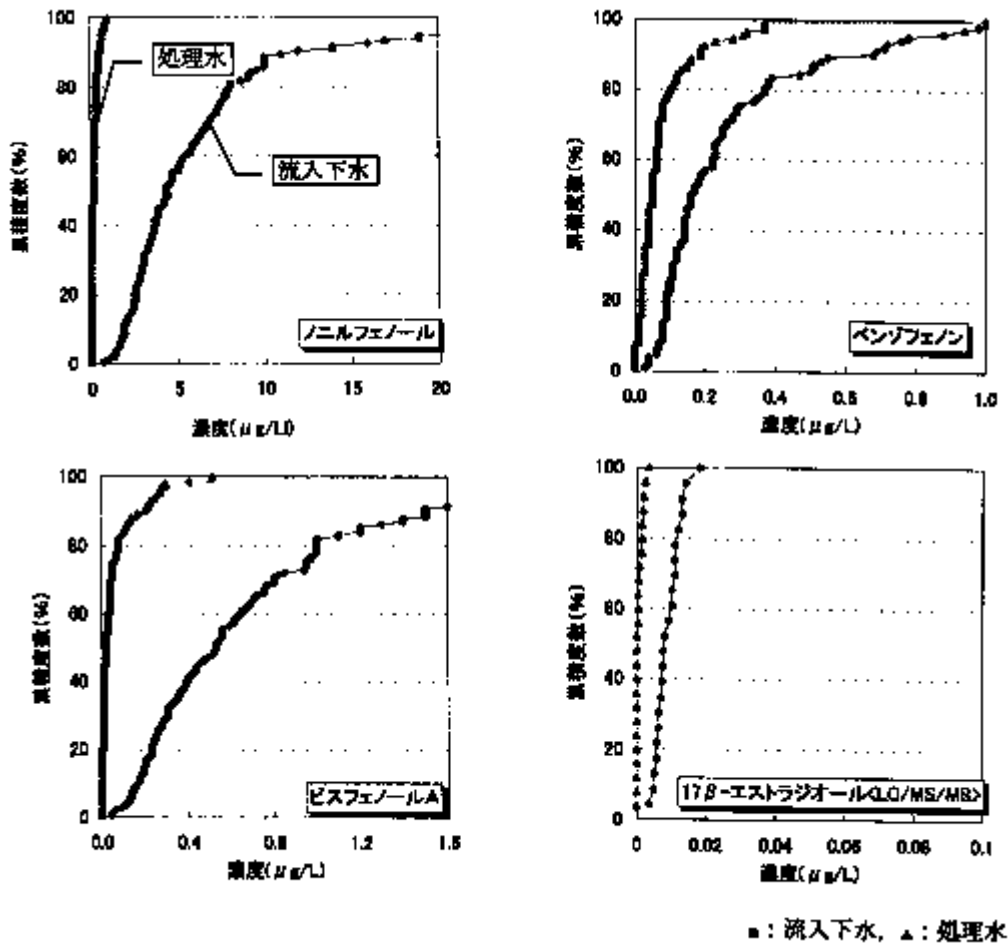


図 8 流入水、処理水中の化学物質の濃度 累積度数分布⁴⁾

下水処理施設の運転条件と、除去率の関係を見るため、好氣的固形物滞留時間(A-SRT)と、ノニルフェノール、ビスフェノールA、17β-エストラジオール(ELISA 法)の除去率の関係を図 9 に示す。A-SRT とは、下水の生物処理において、反応タンク中の固形物(活性汚泥)が好気性反応タンク中に何日間滞留するかを示す数値であり、通常の活性汚泥法で3~10日程度、窒素除去などを行う高度処理で10~20日程度となっており、一般的にA-SRTが長いほど、丁寧な生物処理を行っていることを示す指標である。いずれの物質も、A-SRTで15日以上ある処理場では高い除去率を示しており、10日以下の場合には、除去率にばらつきが見られる。このことは、窒素除去を行うような高度処理を導入することによって、環境ホルモン作用を疑われる物質の除去率も安定して向上する可能性を示している。

下水処理の方式は、現在のところ生物処理が主流であるが、化学物質の中には生物学的な分解を受けにくい物質も多く存在する。このような物質に対しては、オゾン酸化、活性炭吸着などの物理化学的処理方法が効果的な場合がある。ベツゾフェノンと17β-エスト

ラジオールについて、生物処理後の処理水をオゾン処理、活性炭吸着、逆浸透ろ過膜（RO膜）で処理した場合の濃度変化を図 10 に示す。なお、RO 膜処理とは水中に溶解してい

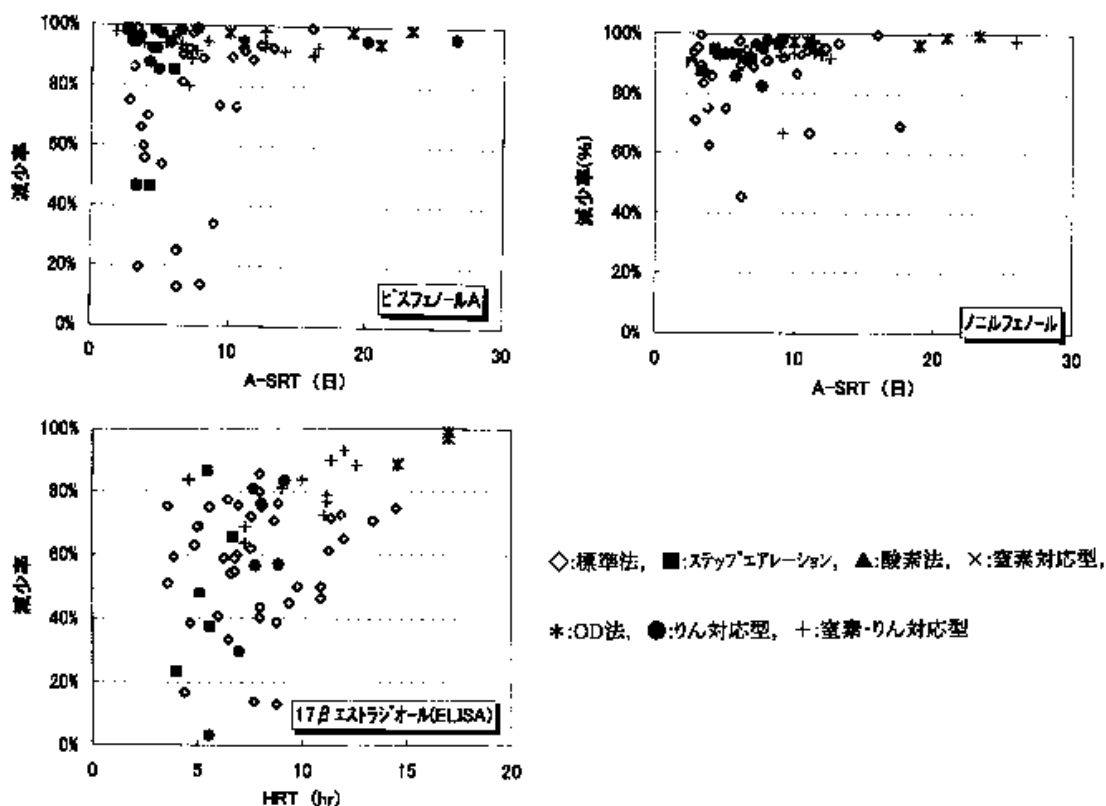


図 9 好氣的固形物滞留時間(A-SRT)と化学物質の除去率の関係⁴⁾

る塩化ナトリウムのような小さな分子をも分離できる、非常に目の細かいろ過膜により、化学物質（一般に塩化ナトリウムより大きな分子が多い）をろ過するものである。

生物処理水中のベンゾフェノン等はもともと非常に低い濃度であるが、これらの物理化学的処理法によって9割以上がさらに除去可能なことが解る。

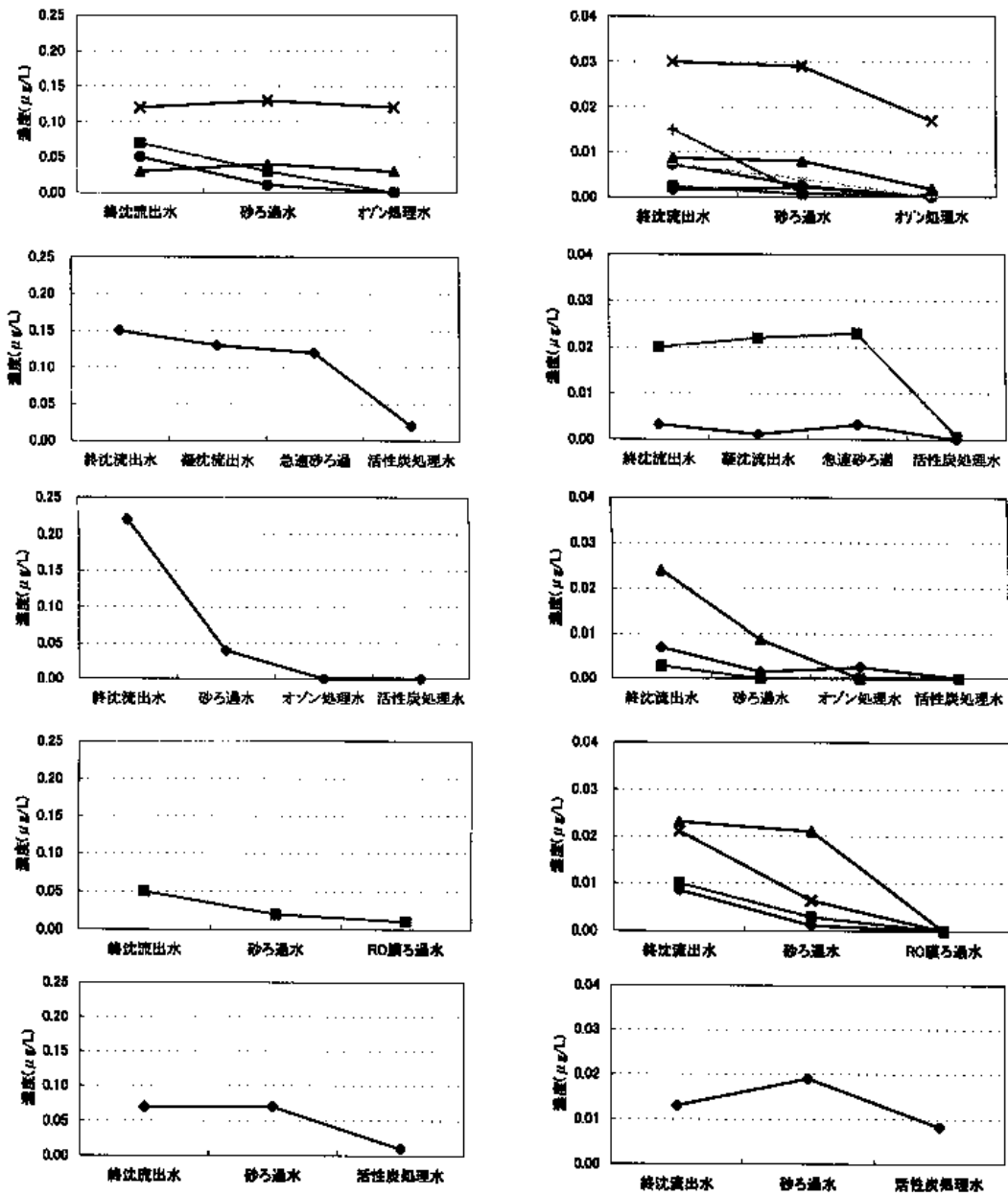
2.4 下水道における化学物質対策

下水道に流入する各種の化学物質について、個々の挙動や環境への影響が問題となったのはここ数年のことであるが、環境ホルモン作用を疑われる物質についてはかなりの情報が蓄積されて来つつある。これらの物質については、環境省や大学をはじめ医学や生物学の専門家によって鋭意研究が進められており、ヒトや生態系への大きな影響を避けるためのガイドラインについてもいずれ明らかとなることが期待される。下水道においても、影響が疑われる物質について、その対応策を検討しているところである。

一般に、17 エストラジオールやビスフェノールAは我々市民の生活に起因するものが多いため、水環境中で何らかの影響が懸念される場合には、下水処理にて対応すべきと考えられる。これらの物質は、現在の水処理技術である程度濃度を低減できることが明ら

ベンゾフェノン

17β-エストラジオール(BLISA)



図—10 ベンゾフェノンおよび 17β-エストラジオールの高度処理における挙動
(終沈流出水が定量下限値以上の測定値を示す)

かとなっており、必要な場合には各種の生物学的、物理化学的高度処理にて対処できよう。

特定の工場などが発生源と考えられる化学物質に関しては、可能な限り発生源で対応することが望ましい。平成13年度より、「特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律」による特定化学物質の排出量の届け出が開始され、下水道への排出量についても届け出られることとなった。これらの情報を活用し、下水道に対する化学物質の負荷の削減を図り、下水道を通じて環境中へ放出される化学物質を削減することが求められよう。

3. 新たな感染症と下水道

平成8年夏、埼玉県越生町で水道水を介したクリプトスポリジウム症の集団感染が発生し、8,000人以上が下痢、腹痛を起こすという大規模な被害を生じた。直接の原因は、水道原水中に含まれていたクリプトスポリジウムが、上水の処理工程中で十分除去されずに水道利用者に配水されたためであるが、水道取水源の上流に排水処理施設が位置しており、クリプトスポリジウムが水道、排水処理施設、放流先河川、再び水道へといったループを回って循環し、その間に増殖したため大量感染が起こったとされる。

クリプトスポリジウム症は、欧米では1980年代に問題となりはじめ、1993年米国のミルウォーキーにて400,000人を越える大流行が発生し、大きな問題となった。我が国でも、平成6年、平塚市でビル内の排水が上水に混入したため400人を越えるクリプトスポリジウム症の集団感染が発生したが、ビル管理上の問題点が指摘され、クリプトスポリジウムそのものは大きな問題とされなかった。越生町の事件を契機に、この感染症が水道水などを介して大流行する潜在的危険性が認識された。

3.1 クリプトスポリジウム等の新たな感染症

平成8年は、クリプトスポリジウムに加え、腸管出血性大腸菌O-157の全国的な大流行も見られ、新たな感染症の脅威を実感させられる年であった。人間に健康被害を与える微生物を病原体というが、新たな病原体の出現には幾つかの可能性が考えられる。

人の移動により一定の地域に存在した病原体が他の地域に広まる場合、これまで無害であった微生物が遺伝子などの変化を起こして有害なものに変化する場合、人間の生活環境が変化し今まで無害、またはまれにしか害を起こさなかった微生物が大流行する場合などである。これらの新たな感染症は、人の交流が国際化し、衣食住の習慣や、医療技術が変化することによって容易に発生し、従来の予防技術を漫然と続けていては防ぐことができないと考えられる。抗生物質に耐性を持つ細菌の出現などにも、その例が見られる。

上下水道で従来用いられてきた主に塩素消毒を主とする消毒技術も、この面で見直しが行われている。クリプトスポリジウムを例に、その特徴を述べると以下の通りである。

クリプトスポリジウム症の症状⁵⁾

クリプトスポリジウム症は、1週間程度の激しい下痢と腹痛を示す。健常者であれば免疫力で自然に治癒するが、有効な治療薬がまだないため、免疫力が低下している人には致命的になることがある。

クリプトスポリジウムの生態・塩素耐性

- ・人に感染して下痢の原因となるのは、*Cryptosporidium parvum* であり、そのオーシスト（嚢胞体）は直径約5 μmの類円形である。厚いオーシスト壁に覆われているため、塩素などの化学薬剤に対する抵抗性がある。*C. parvum* は、人や哺乳動物に感染する。
- ・外界ではオーシストを形成する。腸内で脱嚢してスポロゾイドが微絨毛から感染し、無性生殖と有性生殖を繰り返して増殖する。有性生殖で形成されたオーシストは腸管内で成熟し、その多くが糞便とともに排出される。下痢のピーク時には、1人から1日に10億個程度のオーシストが排出される。
- ・乾燥には弱い。
- ・水中では長期間生存する。河川水中で90%不活化に要する期間は、水温15℃で40～160日、水温5℃で100日との報告がある。

感染経路

人や動物の糞便に混じって環境中に排出されたオーシストが、食品、飲料水、手等を介して経口的に摂取されることにより、感染する。

感染力

1～数十個程度のオーシスト摂取でも感染し、発症する。

感染リスク

感染のリスクは、摂取するオーシスト数により決まってくると考えられている。このため、水を介した感染の場合、水中のオーシスト濃度、水利用形態（上水利用、農業用水利用、レクリエーション利用等）に伴う摂取・誤飲の水量、および、水との接触頻度が、感染リスクに影響を与える因子となる。

集団感染発生時

集団感染が発生した場合には、感染者1人当たり最大で10億個/日のオーシストを排出するため、下水処理場に流入する下水中のクリプトスポリジウム濃度は大きく上昇することが考えられる。

ここで問題となるのは、塩素に対する耐性が非常に強い。ごく少数のオーシストによって感染する。集団感染が発生すると下水処理場に流入するオーシストが急増する。

水中で長期間活性を保つことができる。であり、いったん大規模な集団感染が発生すると、下水処理場を経由して水環境中にオーシストが放出される可能性がある。

3.2 下水道によるクリプトスポリジウムの除去

図 11 の実線で示した施設は通常の下水处理場の処理工程であり、赤痢菌などの従来の病原体は、最初沈殿、生物処理、最終沈殿の各工程で効果的に除去され、最後の消毒タンクで仕上げの消毒を行われ、ほぼ無害になって放流される。

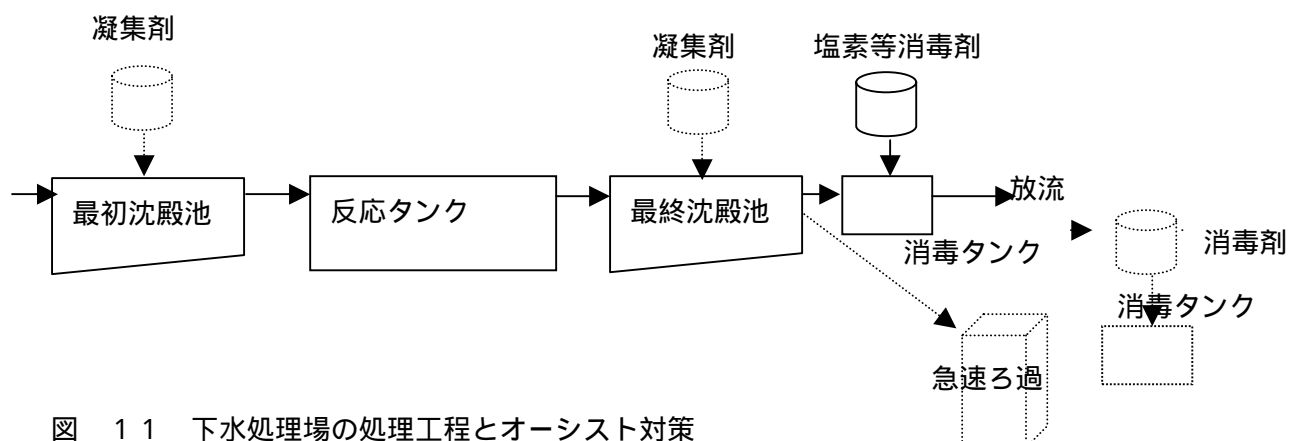


図 11 下水処理場の処理工程とオーシスト対策

クリプトスポリジウムを下水と混合して、2時間静置し、上澄みと沈殿部のクリプトスポリジウム濃度を測定した結果を表 4 に示す。表より、沈殿のみではほとんど除去効果のないことが解る。オーシストは5ミクロン程度と非常に小さく、分散しやすい傾向があるためであろう。

表 4 クリプトスポリジウム沈殿除去実験結果⁶⁾

添加濃度	991,000 個/L		
	2 時間沈殿後		
オーシスト数 (個/0.1mL)	添加直後	上層	下層
SS (mg/L)	130	40	293
濁度 (度)	94	58	156
回収率 ≒ 100 (%)			

反応タンクにおける生物処理では、活性汚泥によるオーシストの取り込みと、最終沈殿池における沈殿分離により除去が期待されるがその除去率はあまり高くない。活性汚泥法のパイロットプラントに、オーシストを 10^4 個/L ($1E+4$) 添加して、処理水濃度を測定した結果が図 12 である。凝集剤 (ポリ塩化アルミニウム: PAC) を注入しない場合、最終的 (クリプトスポリジウムを流入させてから 170 時間後) に処理水中に 10^2 個程度が残存しており、十分な除去とは言えない。

ここに、図 11 の破線で示したように、反応タンクに凝集剤を注入することによって、

処理水中のオーシスト濃度は大幅に低下する。図 12では、ポリ塩化アルミニウムをアルミ換算で10mg/l注入することによって、ほぼオーシスト添加前のレベルまで除去することができた。これは99.99%の除去率に相当する。

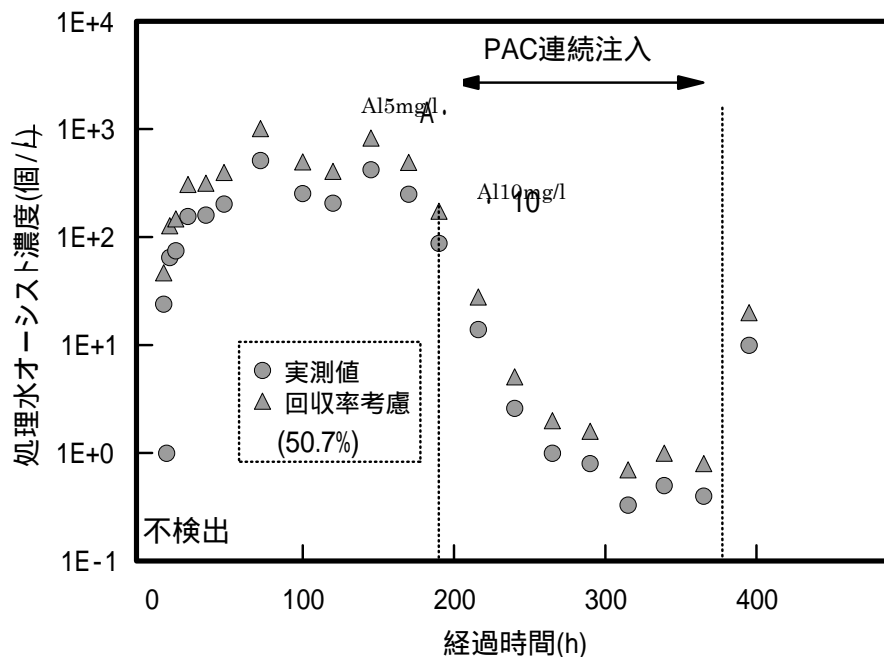


図 12 活性汚泥処理水オーシスト濃度の推移の效果⁶⁾

さらに除去率を向上させるためには、最初沈殿池にも凝集剤を添加することができる。その場合の効果を検証したのが、図 13である。

最初沈殿池に凝集剤(ポリ塩化アルミニウム)をアルミとして10~15mg/l注入することによって、 10^{-3} , 99.9%程度の除去が可能であった。このほか、急速ろ過を組み合わせることによって、固形物に付着して放流水中に漏出するオーシストを除去することができる。

3.2 下水道におけるクリプトスポリジウム等の新たな感染症対策

前節で述べたように、通常の下水处理法でも99%程度のオーシスト除去が可能であり、通常時に下水処理水中のオーシストが問題になることは少ないと思われる。また、処理区内に患者が大量発生した場合には、凝集剤の注入という比較的簡易な方法で、対応が可能と考えられる。

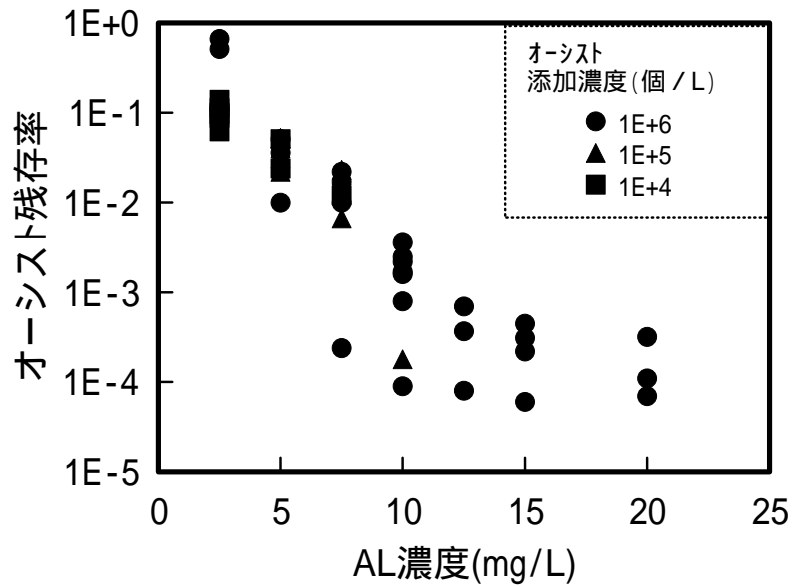


図 1 凝集剤添加濃度とオースト生存率の関係

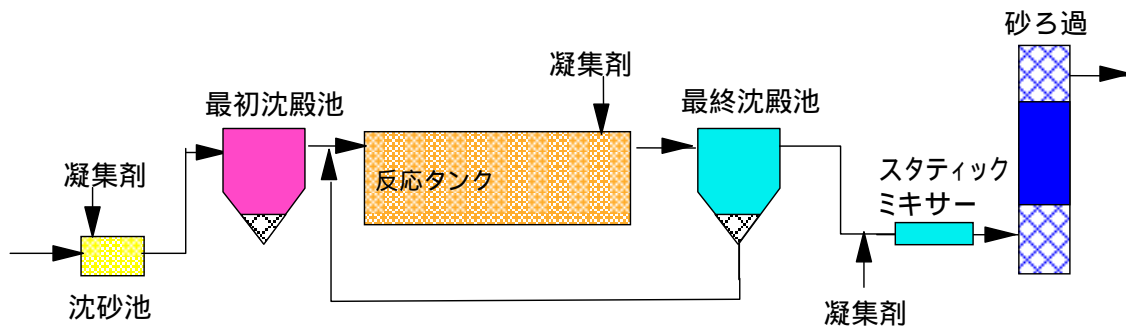


図 14 下水処理場における病原体対策の例⁶⁾

病原体は、どんなに微細であっても水に溶解しているものではなく、固形物であるので、固形物と水とを徹底的に分離することが肝要である。そのためには、最初沈殿池、最終沈殿池、急速ろ過（砂ろ過）など、既存の固液分離装置の機能を最大限発揮させることが必要で、図 14 に示すようにそれぞれに凝集剤を注入することでそれが達成可能である。

ただし、クリプトスポリジウム等の大量感染が発覚してから対策を講じるまでの時間がかかりすぎると十分な除去の体制を組むまでに、多量のオーストが環境水中に放出される可能性があるため、保健所などとの連携体制を通常から密に保っておくことが重要である。

4. おわりに

「はじめに」で述べたとおり、我が国の水環境に対する下水道の影響はますます大きくなってきており、生態系の保全・再生や人の健康に対する下水道の責任は重大なものになりつつある。このため、その責任を果たすべく各種の処理技術、計測技術が開発され、その適用が検討されている。

しかし、それらの責任すべてを下水道で全うすることは到底不可能で、上水道による人の健康の保護はもとより、家畜類からの病原体発生防止、農地や家庭の庭からの農薬の流出防止、工場さらには家庭における化学物質の発生源対策など、多くの場所において数々の対策を施す必要性を挙げることができる。これらの対策を全て同時に実施することが難しいとするなら、個々の場所、水に関しては流域単位で何が問題となっているのか、その対策としてどのような手法が可能で、どの手法を優先すべきかを市民、行政、事業者が一緒に考え、実行しなくてはならない。まず、何が水環境で問題になっているのかについても、環境ホルモン問題一つをとってもまだ明らかになっていない。これらの知見を明らかにするとともに、対策手法も可能な限り先取りして検討する必要がある。下水道における対策は、その際の最も有力な手法の一つに過ぎない。

参考文献

- 1) 平成12年度 日本の下水道 (社)日本下水道協会
- 2) 平成11年度下水道関係調査研究年次報告書集 建設省土木研究所
- 3) 平成12年度水環境中の内分泌攪乱化学物質(いわゆる環境ホルモン)実態調査結果
環境省
- 4) 平成12年度下水道における内分泌攪乱化学物質(環境ホルモン)に関する調査報告
国土交通省
- 5) 下水道におけるクリプトスポリジウム検討委員会最終報告書 (社)日本下水道協会
- 6) 下水処理過程におけるクリプトスポリジウムの除去効果等 土木研究所資料第3733号