

下水道における 外因性内分泌攪乱化学物質 に関する調査研究

1. はじめに

外因性内分泌攪乱化学物質（いわゆる環境ホルモン）問題については、国際的にも科学的に未解明な点が多いと認識されているが、人の健康や生態系への影響を未然に防止する観点から、関係省庁や研究機関が各種調査に着手している。

平成10年5月には、環境庁より「環境ホルモン戦略計画 SPEED'98」が出され、内分泌攪乱作用が疑われている67物質（以下、「内分泌攪乱化学物質」という。）が示された。

健全な水環境の維持・向上を行い、環境リスクの低減等を行ううえで必要不可欠な社会基盤施設である下水道に関して、平成10年度に「下水道における環境ホルモン対策検討委員会（委員長：松尾友矩教授）」を設置し、下水の性状に応じた分析手法の開発・検討および下水処理場の処理工程における実態調査を実施することとなった。

内分泌攪乱化学物質については、未だ科学的知見が不十分であり評価を行える状況にないが、今年度の調査により下水道における概ねの濃度レベルや下水処理場における一定の低減効果が確認された。また、水処理工程における挙動は、物質により傾向は異なっているが、最初沈殿池工程および生物反応槽から最終沈殿池の工程の両方で低減していることが認められた。

また、分析手法の開発・検討に関しては、「下水道

における内分泌攪乱化学物質調査マニュアル（案）」としてとりまとめた。

このような下水処理場における内分泌攪乱化学物質の実態調査や分析手法の検討は、世界的に初めての試みであり、検討結果は貴重な資料である。本成果が、各界の関係各位において、研究の一助となることを期待するものである。

下水道における内分泌攪乱化学物質に関する調査は東京都、埼玉県、滋賀県、京都府、大阪府、札幌市、仙台市、川崎市、横浜市、名古屋市、京都市、大阪市、神戸市、福岡市の14都府県市において実施した。また、分析手法の検討については、平成10年度は、建設省および東京都、川崎市、横浜市、名古屋市、京都市、大阪市、神戸市の7都市と本機構、平成11年度には、さらに埼玉県、滋賀県、大阪府、札幌市、仙台市、福岡市が加わり、共同研究により開発を行った。

2. 調査の目的

下水道の重要な役割として、流域における栄養塩類やノンポイント汚濁源の水環境への影響に加え、クリプトスポリジウム、O-157等の病原性微生物や、有機塩素化合物等の微量有害物質への対応等、新たな役割の展開が求められている。内分泌攪乱化学物質問題についても、近年、大きな話題となってきている。

内分泌攪乱化学物質は様々な経路で環境中に排出されていると考えられるが、下水処理場へどのような物質がどの程度流入し、処理水として放流されているのか、また、処理過程においてどのような挙動を示すのか等、その実態については不明な点が多い状況であった。一方、環境中あるいは下水処理場からの内分泌攪乱化学物質が、生物等にどのような影響を与えるのかについては、現段階では明らかにし得る知見が充分ではない。このため、今後の関係省庁および研究機関や諸外国の調査研究が、積極的に進められることが望まれている。

そこで、下水道における内分泌攪乱化学物質についての状況を把握することにより、これらの研究の基礎資料として活用されることが期待された。また、環境中においてどの程度の濃度あるいは暴露で生物に影響を与えるかについての研究が進められることにより、下水道における内分泌攪乱化学物質の低減対策等を立案することが求められる可能性がある。これらに対処するため、下水の流入状況や処理工程等における挙動を調査することが必要であった。

本調査は、内分泌攪乱化学物質の下水処理場内における挙動を把握し、下水道による環境リスクの低減対策の検討に資することを目的とした。

本調査における全体の目的は次の通りである。

- 1) 下水の特性を考慮した分析手法の開発・検討
- 2) 下水処理場における内分泌攪乱化学物質の流入実態および放流実態の把握
- 3) 下水処理場内の処理工程（流入～放流）における挙動把握
- 4) 今後の対策手法の検討

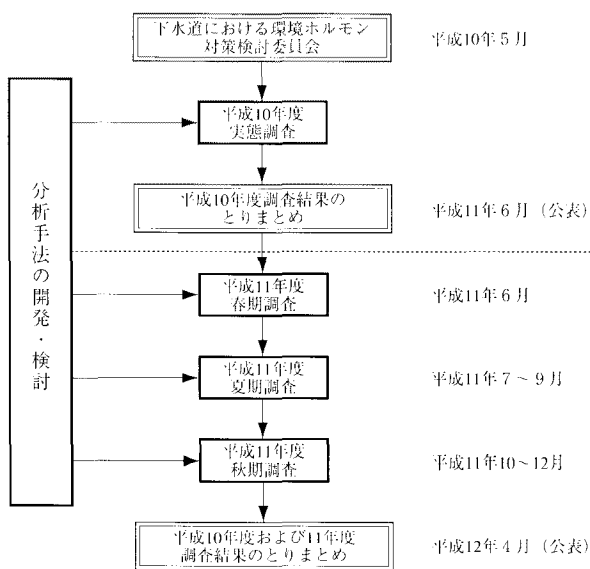


図-1 研究スケジュール

3. 研究の概要

3.1 研究スケジュール

本研究は、平成10年度から実施しており、図-1に示すスケジュールで検討および実態調査を実施した。

3.2 調査対象処理場

平成10年度および平成11年度の調査対象処理場は、表-1に示すとおりであり、2ヶ年で計42処理場において実態調査を実施した。

3.3 調査対象物質

平成10年度調査においては、SPEED'98に提示されている内分泌攪乱化学物質のうち、生活排水または工場排水に含まれると考えられる物質の中から、年間生産量と環境中での検出状況を勘案し、25物質を設定した。また、関連物質として、ノニルフェノールの原因物質であるノニルフェノールエトキシレートおよび人畜由来ホルモンである17β-エストラジオールを対象とした。

平成11年度調査では、平成10年度調査結果より、

表-1 実態調査対象処理場

都市名	処理場名	備考(汚泥処理場)	H10年度	H11年度
1	東京都 多摩川上流処理場		○	○
2	北多摩一宮処理場		○	○
3	南多摩処理場		○	○
4	森ヶ崎水処理センター		○	○
5	落合処理場		○	○
6	埼玉県 荒川処理センター		○	○
7	市野川上流浄化センター		○	○
8	元荒川処理センター		○	○
9	新河原川処理センター		○	○
10	中川処理センター		○	○
11	吉利根川処理センター		○	○
12	滋賀県 湖南中部浄化センター		○	○
13	湖南浄化センター		○	○
14	東北部浄化センター		○	○
15	高島浄化センター		○	○
16	京都府 洛南浄化センター		○	○
17	洛西浄化センター		○	○
18	大阪府 落処理場		○	○
19	中央下水処理場		○	○
20	大井処理場		○	○
21	湾岸中部処理場		○	○
22	札幌市 厚別処理場		○	○
23	仙台市 南蒲生浄化センター		○	○
24	広瀬川浄化センター		○	○
25	秋保温泉浄化センター		○	○
26	上谷川下水処理場		○	○
27	川崎市 等々力水処理センター		○	○
28	大江崎水処理センター	大江崎総合スラッジセンター	○	○
29	麻生水処理センター		○	○
30	加瀬水処理センター		○	○
31	横浜市 北部第二下水処理場	北部汚泥処理センター	○	○
32	都筑下水処理場		○	○
33	金沢下水処理場		○	○
34	名古屋市 山崎下水処理場	山崎汚泥処理場	○	○
35	榴置下水処理場		○	○
36	京都市 鳥羽処理場		○	○
37	伏見処理場		○	○
38	吉祥院処理場		○	○
39	大阪市 全福下水処理場		○	○
40	放出下水処理場		○	○
41	神戸市 垂水処理場		○	○
42	福岡市 西部水処理センター		○	○
			28	38

流入下水および放流水において、検出率の高かった物質を選定し、内分泌攪乱化学物質11物質および関連物質とした。

4. 分析手法の検討および調査の実施

4.1 分析手法の開発検討

下水道における内分泌攪乱化学物質に関する調査は、非常に低濃度を測定するという困難さに加え、特有の課題として、下水は河川水等の環境水に比べ夾雑物や有機物等の濃度が高く、内分泌攪乱化学物質測定の影響となり、正確な分析を困難にしていた。本研究においては、環境庁より提示された「外因性内分泌攪乱化学物質調査暫定マニュアル（平成10年10月）」による方法等を基本とし、下水試料のこのような特性を考慮し、測定方法を改善するものとした。

検討対象物質毎に、実試料（流入下水、放流水、余剰汚泥等）を対象に、操作ブランク試験、標準液および実試料の繰り返し試験、添加回収試験を行い、前処理等の分析操作を改善することで、下水試料に適用できる分析手法を提案するものとした。

平成10年度には水試料について分析方法を提案することができ、「下水道における内分泌攪乱化学物質水質調査マニュアル（平成11年8月）」をとりまとめた。平成11年度は、汚泥の分析方法を含めた改訂版として、「下水道における内分泌攪乱化学物質調査マニュアル（案）（平成12年4月）」を公表するに至った。

4.2 実態調査の実施

調査対象物質は、可塑剤、界面活性剤など、環境中で一般に確認される物質であるため、試料の採取および分析の実施においては、周辺環境からのコンタミネーションを受けないよう細心の注意を払った。

分析は前出のマニュアルに従い、測定値の信頼性を高めるため、精度管理に特段の注意を払うものとした。精度管理方法としては、標準液の繰り返し試験、操作ブランク試験、トラベルブランク試験、クロスチェック、二重測定を行い、あらかじめ定めた目標値を満足することを確認して分析を実施した。

分析方法は、GC/MSによる方法を中心として、ノニルフェノールエトキシレートはHPLC、17 β -エストラジオールはELISA法とした。

測定結果について、数値の表記は定量下限値以上とし、定量下限値未満の測定値は次のように表記す

ることとした。

n.d.：検出下限値未満

tr：検出下限値以上かつ定量下限値未満

検出下限値および定量下限値は、分析手法の検討において、実試料の繰り返し試験より、下水試料において確認された値を用いるものとした。検出下限値以上かつ定量下限値未満の測定値については、tr (trace) の表記を行った。なお、参考値として測定値を括弧書きで併記したが、変動が大きいため数値の信頼性が低いことに留意する必要がある。

5. 実態調査結果

5.1 流入下水および処理水における実態

平成10年度および11年度における流入下水と処理水の測定結果の概要を、表-2および表-3に示す。

1) 流入下水

平成10年度調査においては、内分泌攪乱作用の疑いのある25化学物質のうち、定量下限値以上の濃度が少なくとも1検体以上で確認されたものは15物質であった。

平成11年度調査においては、平成10年度で定量下限値以上の濃度の検体数が5割以上の物質を選定し、同時分析が可能な物質などを考慮して、内分泌攪乱作用の疑いのある11化学物質を調査対象とした。11化学物質の全てにおいて、定量下限値以上の濃度が少なくとも1検体で確認された。これらの内、3割以上の検体において定量下限値以上の濃度が確認された物質は、4-t-オクチルフェノール、ノニルフェノール、ビスフェノールA、2,4-ジクロロフェノール、フタル酸ジ-n-ブチル、フタル酸ジエチル、フタル酸ジ-2-エチルヘキシル、アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル、ベンゾフェノン9物質であった。

なお、関連物質として測定したノニルフェノールエトキシレート、17 β -エストラジオールは殆どの試料で定量下限値以上の濃度が確認された。

2) 処理水（放流水または終沈流出水）

平成10年度調査においては、内分泌攪乱作用の疑いのある25化学物質のうち、定量下限値以上の濃度が少なくとも1検体以上で確認されたものは6物質であった。

平成11年度調査においては、調査対象とした11化学物質のうち、定量下限値以上の濃度が少なくとも1検体以上で確認されたものは8物質であった。これらの内、3割以上の検体において定量下限値以上の濃度が確認された物質は、ノニルフェノール、ビス

表-2 下水処理場における流入下水の測定結果

単位: µg/l

調査対象物質名	平成10年度		平成11年度		平成10年度			平成11年度			備考
	検出 下限値	定量 下限値	検出 下限値	定量 下限値	範囲	中央値	定量下 限値以上	範囲	中央値	定量下 限値以上	
4-t-プチルフェノール	0.1	0.3	-	-	n.d. ~ 0.4	n.d.	1/8	-	-	-	-
4-t-ベンチルフェノール	0.1	0.3	-	-	n.d.	n.d.	0/8	-	-	-	-
4-t-ヘキシルフェノール	0.1	0.3	-	-	n.d.	n.d.	0/8	-	-	-	-
4-h-プチルフェノール	0.1	0.3	-	-	n.d.	n.d.	0/8	-	-	-	-
4-n-オクチルフェノール	0.1	0.3	-	-	n.d. ~ 0.4	n.d.	1/35	-	-	-	-
4-t-オクチルフェノール	0.1	0.3	0.1	0.3	n.d. ~ 4.6	tr(0.2)	17/35	n.d. ~ 7.4	tr(0.2)	15/41	-
ノニルフェノール	0.1	0.3	0.1	0.3	1.3 ~ 75	6.7	34/34	1.4 ~ 44	4.7	69/69	-
ビスフェノールA	0.03	0.1	0.01	0.03	tr(0.04) ~ 9.6	0.77	32/35	0.09 ~ 5.3	0.53	69/69	-
2,4-ジクロロフェノール	0.04	0.12	0.02	0.06	n.d. ~ 0.90	tr(0.07)	6/26	tr(0.02) ~ 0.44	0.07	15/25	-
フタル酸ジエチル (DEP)	0.2	0.6	0.2	0.6	1.2 ~ 8.9	5.9	26/26	0.9 ~ 5.8	2.6	25/25	-
フタル酸ジプロピル (DppP)	0.2	0.6	-	-	n.d.	n.d.	0/8	-	-	-	-
フタル酸ジ-n-ブチル (DBP)	0.2	0.6	0.2	0.6	n.d. ~ 11	2.1	32/35	0.9 ~ 1.4	3.6	41/41	-
フタル酸ジベンチル (DPP)	0.2	0.6	-	-	n.d.	n.d.	0/8	-	-	-	-
フタル酸ジヘキシル (DHP)	0.2	0.6	-	-	n.d.	n.d.	0/8	-	-	-	-
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル (DEHP)	0.2	0.6	0.2	0.6	5.6 ~ 48	17	35/35	1.4 ~ 68	13	68/68	-
フタル酸ジシクロヘキシル (DCHP)	0.2	0.6	-	-	n.d. ~ tr(0.3)	n.d.	0/8	-	-	-	-
フタル酸ブチルベンジル (BBP)	0.2	0.6	0.2	0.6	n.d. ~ 1.9	tr(0.2)	5/35	n.d. ~ 1.0	n.d.	7/41	-
ベンゾ (a) ピレン	0.01	0.03	0.01	0.03	n.d. ~ 0.14	tr(0.01)	7/26	-	-	-	-
アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル	0.02	0.05	0.01	0.03	n.d. ~ 6.9	0.43	30/35	n.d. ~ 0.42	0.07	63/69	-
4-ニトロトルエン	0.01	0.03	-	-	n.d.	n.d.	0/8	-	-	-	-
ベンゾフェノン	0.02	0.07	0.01	0.03	tr(0.03) ~ 0.98	0.19	23/26	0.07 ~ 0.88	0.15	55/55	-
スチレンの2及び3量体	0.01	0.03	0.01	0.03	n.d. ~ 0.10	tr(0.01)	3/34	n.d. ~ 0.03	n.d.	1/24	5形態測定*
n-プチルベンゼン	0.1	0.3	-	-	n.d. ~ 2.9	n.d.	5/26	-	-	-	-
ボリ臭化ビフェニル類 (PBBs)	0.03	0.09	-	-	n.d.	n.d.	0/8	-	-	-	19形態測定
オクタクロロスチレン	0.03	0.09	-	-	n.d.	n.d.	0/8	-	-	-	-
ノニルフェノールエトキシレート (n≧4)	0.1	0.3	0.2	0.6	61 ~ 92	25	26/26	4.3 ~ 270	29	67/67	-
(n≧5)	0.2	0.6	0.2	0.6	9.5 ~ 810	150	25/25	tr(0.2) ~ 500	81	66/67	-
17-α-エストラジオール	0.0002	0.0006	0.0002	0.0006	0.020 ~ 0.094	0.041	35/35	0.0091 ~ 0.084	0.040	69/69	-

内分泌攪乱作用の疑いのある化学物質および関連物質 (ノニルフェノールエトキシレート, 17-α-エストラジオール) について表記
 定量下限値以上=定量下限値以上の検体数/調査検体数
 n.d.: 検出下限値未満, tr: 検出下限値以上かつ定量下限値未満, -: 調査を行っていない項目
 ※スチレンの3量体の2,4,6-トリフェニル-1-ヘキセンのみ検出されている
 平成10年度と11年度で定量下限値が異なる物質は, 平成11年度における分析手法の検討により変更となったもの

表-3 下水処理場における処理水の測定結果

単位: µg/l

調査対象物質名	平成10年度		平成11年度		平成10年度			平成11年度			備考
	検出 下限値	定量 下限値	検出 下限値	定量 下限値	範囲	中央値	定量下 限値以上	範囲	中央値	定量下 限値以上	
4-t-プチルフェノール	0.1	0.3	-	-	n.d.	n.d.	0/10	-	-	-	-
4-t-ベンチルフェノール	0.1	0.3	-	-	n.d.	n.d.	0/10	-	-	-	-
4-t-ヘキシルフェノール	0.1	0.3	-	-	n.d.	n.d.	0/10	-	-	-	-
4-h-プチルフェノール	0.1	0.3	-	-	n.d.	n.d.	0/10	-	-	-	-
4-n-オクチルフェノール	0.1	0.3	-	-	n.d.	n.d.	0/48	-	-	-	-
4-t-オクチルフェノール	0.1	0.3	0.1	0.3	n.d. ~ tr(0.2)	n.d.	0/48	n.d. ~ 0.5	n.d.	1/44	-
ノニルフェノール	0.1	0.3	0.1	0.3	tr(0.1) ~ 1.0	0.4	36/48	n.d. ~ 0.6	tr(0.1)	18/74	-
ビスフェノールA	0.01	0.03	0.01	0.03	n.d. ~ 0.51	0.04	30/47	n.d. ~ 0.52	tr(0.02)	31/74	-
2,4-ジクロロフェノール	0.02	0.05	0.02	0.06	n.d. ~ 0.10	n.d.	5/28	n.d. ~ 0.14	tr(0.01)	1/28	-
フタル酸ジエチル (DEP)	0.2	0.6	0.2	0.6	n.d.	n.d.	0/28	n.d. ~ tr(0.3)	n.d.	0/29	-
フタル酸ジプロピル (DppP)	0.2	0.6	-	-	n.d.	n.d.	0/10	-	-	-	-
フタル酸ジ-n-ブチル (DBP)	0.2	0.6	0.2	0.6	n.d. ~ tr(0.5)	n.d.	0/48	n.d. ~ 0.7	n.d.	1/44	-
フタル酸ジベンチル (DPP)	0.2	0.6	-	-	n.d.	n.d.	0/10	-	-	-	-
フタル酸ジヘキシル (DHP)	0.2	0.6	-	-	n.d.	n.d.	0/10	-	-	-	-
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル (DEHP)	0.2	0.6	0.2	0.6	n.d. ~ 6.2	0.8	27/48	n.d. ~ 2.2	tr(0.3)	19/74	-
フタル酸ジシクロヘキシル (DCHP)	0.2	0.6	-	-	n.d.	n.d.	0/10	-	-	-	-
フタル酸ブチルベンジル (BBP)	0.2	0.6	0.2	0.6	n.d.	n.d.	0/48	n.d.	n.d.	0/44	-
ベンゾ (a) ピレン	0.01	0.03	0.01	0.03	n.d. ~ tr(0.01)	n.d.	0/28	-	-	-	-
アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル	0.01	0.03	0.01	0.03	n.d. ~ 0.15	tr(0.01)	18/48	n.d. ~ 0.20	n.d.	8/74	-
4-ニトロトルエン	0.01	0.03	-	-	n.d. ~ tr(0.01)	n.d.	0/10	-	-	-	-
ベンゾフェノン	0.01	0.04	0.01	0.03	tr(0.01) ~ 1.0	0.06	22/28	n.d. ~ 0.37	0.05	41/57	-
スチレンの2及び3量体	0.01	0.03	0.01	0.03	n.d.	n.d.	0/36	n.d.	n.d.	0/28	5形態測定
n-プチルベンゼン	0.1	0.3	-	-	n.d.	n.d.	0/28	-	-	-	-
ボリ臭化ビフェニル類 (PBBs)	0.03	0.09	-	-	n.d.	n.d.	0/8	-	-	-	19形態測定
オクタクロロスチレン	0.03	0.09	-	-	n.d.	n.d.	0/10	-	-	-	-
ノニルフェノールエトキシレート (n≧4)	0.1	0.3	0.2	0.6	tr(0.1) ~ 18	1.3	22/28	n.d. ~ 12	0.7	39/69	-
(n≧5)	0.2	0.6	0.2	0.6	n.d. ~ 24	1.6	22/28	n.d. ~ 11	tr(0.3)	25/69	-
17-α-エストラジオール	0.0002	0.0006	0.0002	0.0006	n.d. ~ 0.055	0.014	43/47	n.d. ~ 0.066	0.00875	68/74	-

内分泌攪乱作用の疑いのある化学物質および関連物質 (ノニルフェノールエトキシレート, 17-α-エストラジオール) について表記
 定量下限値以上=定量下限値以上の検体数/調査検体数
 n.d.: 検出下限値未満, tr: 検出下限値以上かつ定量下限値未満, -: 調査を行っていない項目
 平成10年度と11年度で定量下限値が異なる物質は, 平成11年度における分析手法の検討により変更となったもの

フェノールA, フタル酸ジ-2-エチルヘキシル, アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル, ベンゾフェノンの5物質であった。

関連物質であるノニルフェノールエトキシレートは半数程度, 17β-エストラジオールは殆どの試料で, 定量下限値以上の濃度が確認された。

5.2 下水処理場における低減効果

流入下水で定量下限値以上の濃度が確認された物質について, 下水処理場において流入下中の濃度がどの程度減少しているかを, 流入下水と処理水の中央値と比較し, 図示したものが図-2である。

ベンゾフェノンおよび17β-エストラジオールは中央値における減少率が70%程度であったが, 他の物質における減少率は90%あるいはそれ以上の値を示していた。これらのことから, 下水処理場は流入下水中の調査対象物質に対して概ね大きな低減効果を有していることが, 平成10年度に続き確認された。

5.3 水処理工程における挙動

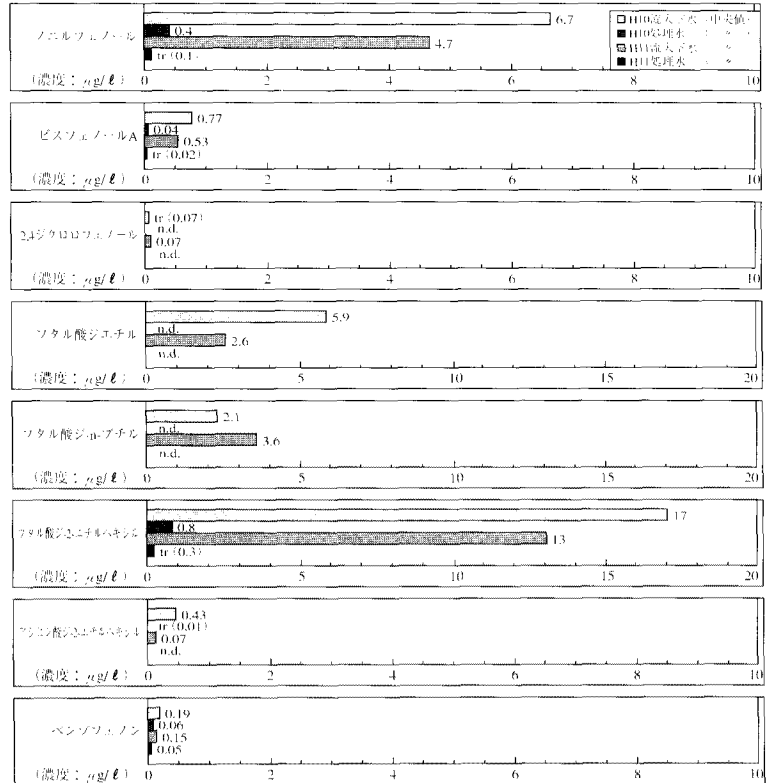
下水処理場内の水処理工程における調査対象物質の挙動について, 平成11年度結果より, 流入下水を100として中央値で示したものが表-4, 挙動調査結果を図示したものが図-3である。

物質によって減少の傾向に差はあるものの, 最初沈殿池工程および生物反応槽から最終沈殿池の工程の両方で低減効果がみられた。特に, 生物反応槽から最終沈殿池の工程において, 調査対象物質の大きな低減効果が認められている。この低減効果は, 平成10年度結果と, 概ね同様であった。

5.4 汚泥処理工程における挙動

汚泥処理工程における汚泥中の乾燥重量当たりの固形物中に含まれる調査対象物質の濃度, すなわち含有

内分泌攪乱作用が疑われている化学物質



関連物質 (ノニルフェノールの原因物質および人畜由来ホルモン)

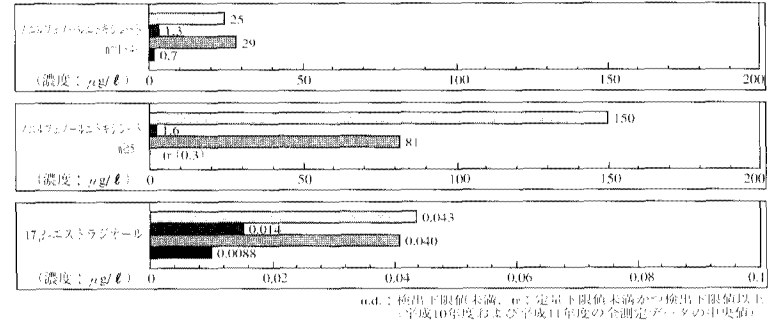


図-2 主な物質の流入下水と処理水における濃度比較

表-4 水処理工程における挙動 (中央値)

調査対象物質名	流入下水	初沈流入水	初沈流出水	処理水
ノニルフェノール	100	90	74	(-)
ビスフェノールA	100	140	86	(-)
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	100	94	57	(-)
アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル	100	74	52	(-)
ベンゾフェノン	100	97	91	36
ノニルフェノールエトキシレート (n=1~4)	100	100	73	2
(n≥5)	100	80	38	1
17β-エストラジオール	100	95	99	26

- ・流入下水を100としたときの各工程の水質
- ・処理工程について調査を実施した20検体 (コンポジット採水) における中央値で算出したもの (集計に用いた20検体の流入下水の中央値が定量下限値以上の物質について表示) (但し, フタル酸ジエチル, フタル酸ジ-n-ブチルは初沈流入水, 初沈流出水を測定していないため表示せず)
- ・(-) は, 該当工程水の中央値が, 定量下限未満であるもの
- ・処理水は, 終沈流出水または放流水

量の挙動を図示したものが、図-4である。

生物反応槽より発生する余剰汚泥中の含有量は、一部を除いて初沈汚泥中の含有量よりも低い傾向を示している。対象物質の生物反応槽への流入負荷量と、終沈流出水中の負荷量および余剰汚泥中の負荷量の合計を比較すると、バラツキは大きいものの、生物反応槽への流入がかなり大きい結果が得られた。このことから、調査対象物質は生物反応槽において分解が進んでいることが示唆される。

また、脱水汚泥中の含有量に比較して、焼却灰中の含有量は低く、殆どの試料で調査対象物質の濃度が検出下限値未満となっていた。

5.5 高度処理における低減効果

下水処理場では、放流先の水質保全や処理水の再利用を目的として、窒素・リンの低減を目的とした生物学的な高度処理や、生物処理の後段に付加する物理化学的な高度処理方式が一部の処理場において採用されている。これらの物理化学的な高度処理についての検討を行うため、急速砂ろ過法、オゾン処理法、活性炭吸着法、逆浸透膜ろ過法（以下、「砂ろ過、オゾン、活性炭、RO膜」という。）について、箇所数は少ないものの調査を実施した。

前述のように最終沈殿池までの生物処理工程において、殆どの物質が定量下限値付近の濃度まで低減している。

これらの物理化学的処理プロセスにより、調査対象物質の更なる低減が認められ、特に、オゾン、活性炭、RO膜では殆どの物質において低減効果が確認された。

実際の高度処理では、複数の単位プロセスが組み合わされる場合が多く、生物処理工程で他と比較して残存する割合の高かったベンゾフェノンと17β-エストラジオールに着目し

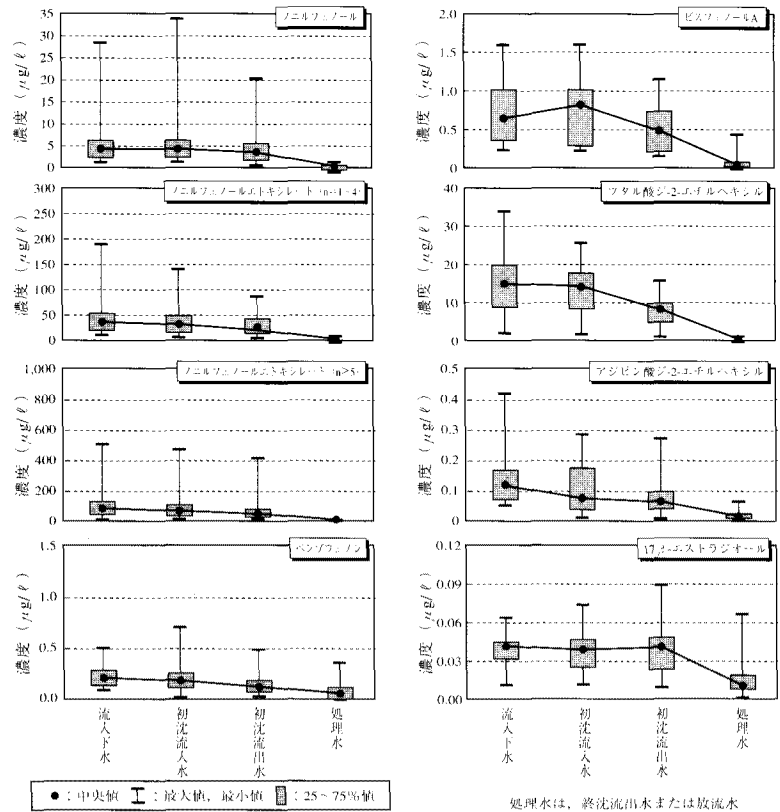


図-3 水処理工程における挙動

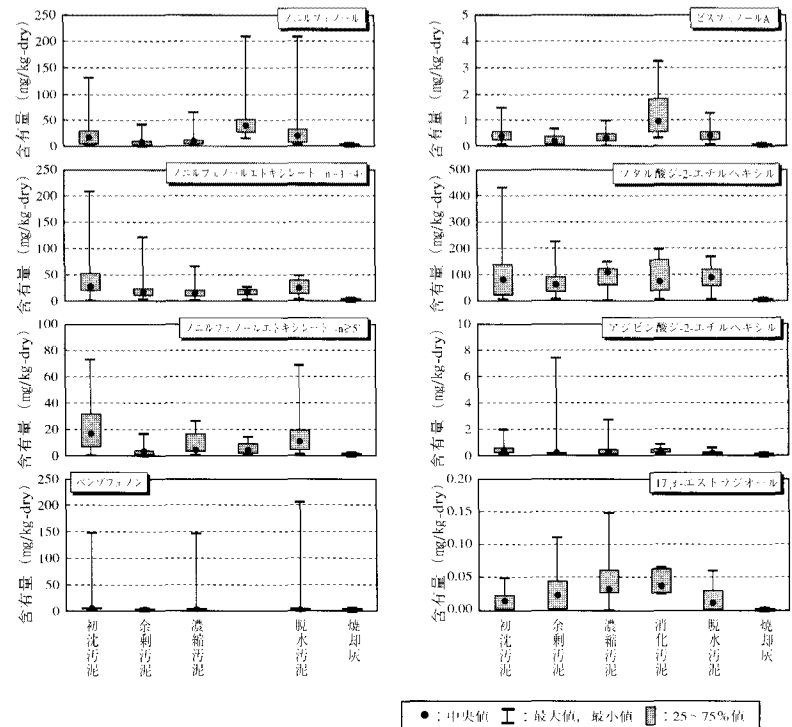


図-4 汚泥処理工程における挙動

て、砂ろ過、オゾン、活性炭、RO膜等の組み合わせ処理における濃度の挙動を示したものが、図-5である。高度処理を組み合わせることで、調査対象物質がさらに低減していることが、示されている。

この結果より、物理化学的高度処理は生物処理工程に付加することで、更なる低減が期待できることが確認された。

6. まとめおよび今後の課題

6.1 まとめ

内分泌攪乱化学物質については、生物等への影響について未解明な点が多く、現時点では、濃度や負荷量の評価を行える状況にないものの、2ヶ年の調査により、下記の事項が確認できた。

- (1) 下水に適した分析手法の開発を行い、水試料、汚泥試料を含め「下水道における内分泌攪乱化学物質調査マニュアル(案)(平成12年4月)」としてとりまとめた。
- (2) 下水処理場において、内分泌攪乱作用が疑われている化学物質や関連物質(ノニルフェノールの原因物質であるノニルフェノールエトキシレート、人畜由来ホルモンの17β-エストラジオール)について、平成10年度および平成11年度の2年間に計42処理場、6回にわたり、流入下水、処理水(終沈流出水あるいは放流水)中の濃度の実態を調査した。下水処理場に流入する物質の種類および概ねの濃度範囲を把握することができた。
- (3) 調査対象物質の下水処理場における減少率を中央値で見ると、ベンゾフェノンと17β-エストラジオールは70%程度であったが、殆どの物質が中央値で90%程度あるいはそれ以上であり、下水処理場は、流入下水中の調査対象物質に対して概ね高い低減効果を有していることが、平成10年度に引き続き確認された。
- (4) 下水処理場の水処理工程における調査対象物質の挙動を概ね把握することができた。物質によって減少の傾向は異なるものの、最初沈殿池工程お

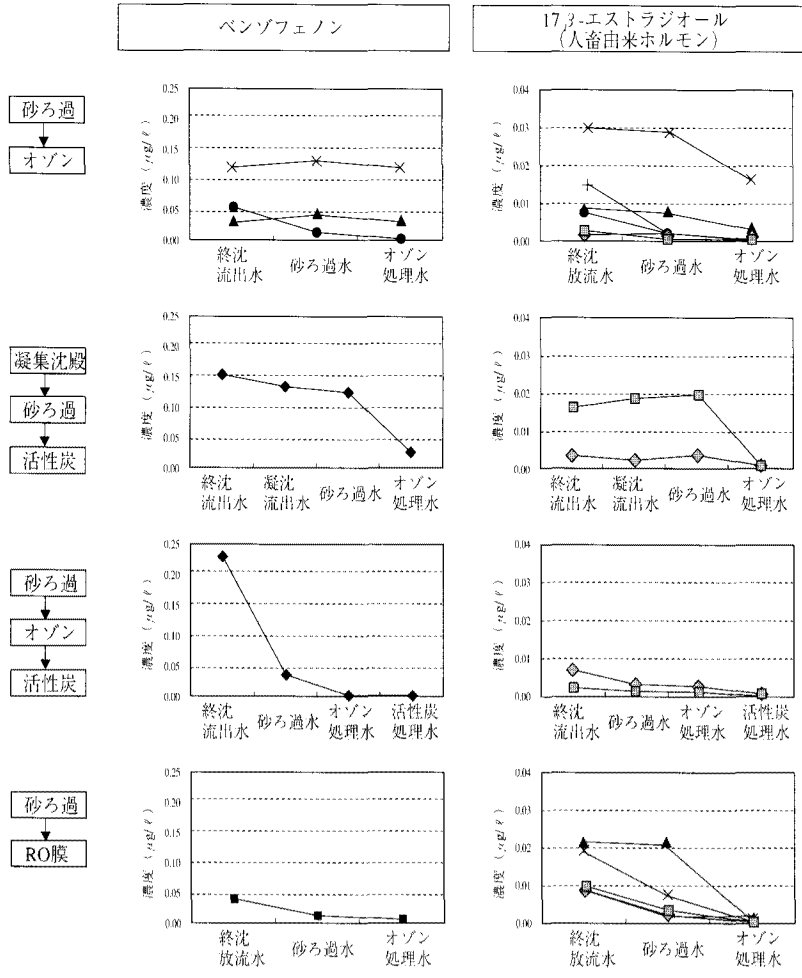


図-5 高度処理工程における挙動例

よび生物反応槽から最終沈殿池の工程の両方で低減効果が認められた。

- (5) 初沈汚泥、余剰汚泥、濃縮汚泥、脱水汚泥、焼却灰の各々の汚泥中の調査対象物質の含有量について調査した。生物処理工程より発生する余剰汚泥中の含有量は一部を除いて初沈汚泥中の含有量よりも低い傾向を示している。また、脱水汚泥中の含有量に比較して、焼却灰中の含有量は、殆どの試料において検出下限値未満の濃度となっていることが明らかとなった。
- (6) 生物処理工程の後段に付加する物理化学処理である、砂ろ過、オゾン、活性炭、RO膜等の高度処理における調査対象物質の挙動を調査した。高度処理に流入する前の生物処理工程において、多くの場合は定量下限値付近まで低下しているが、物理化学的高度処理工程は、殆どの物質において低減効果が認められた。特に、オゾン、活性炭、RO膜等による処理や組み合わせ処理を行うことにより大幅に削減されるものが多く、生物処理工

程による低減に加え、更なる効果が期待できることが確認された。

6.2 今後の課題

平成10年度および平成11年度の2ヶ年にわたる「下水道における内分泌攪乱化学物質に関する調査」を実施した結果、下水処理場における調査対象物質の挙動については概ね把握できた。

しかしながら、人畜由来ホルモンの分析方法やノニルフェノール等の分解過程で生じる物質等の全ては調査していないこと等の課題も残されている。さらに、これらの対象物質が、環境中においてどの程度の濃度あるいは暴露で生物に影響を与えるのかについては、現時点では明らかとなっていない。このため、下水処理場からの放流水に残存する対象物質が生物に影響を及ぼしているか否かについては現時点では不明であり、他の関係機関で実施中の研究成果に期待される。

これらの課題に対しては、関係省庁や各研究機関等の関連分野との強力な連携のもとに取り組んでいく必要がある。特に、下水処理場や水環境中への内分泌攪乱化学物質の流入経路に関する検討、あるいは環境中におけるその形態変化等については、関係機関全体で取り組むべき課題であると思われる。

これらの研究が進められることにより、環境中の規制に関する検討など、下水道における内分泌攪乱化学物質の低減対策等を立案することが求められる可能性がある。これまでの調査により、生物処理およびこれに付加する高度処理における概ねの低減効果は把握できたものの、今後とも、対策手法に関する検討を進める必要がある。

以上の背景を踏まえ、本調査において、平成12年度以降に取り組むべき課題を整理すると以下のとおりである。

(1) 処理工程における挙動の検討

平成10年度および平成11年度の実態調査に引き続き、処理方式による低減傾向の特徴、消毒工程・高度処理工程・汚泥処理工程における挙動の把握、活性汚泥による分解性の確認などの検討

(2) 運転管理による低減手法の検討

実態調査結果を踏まえ、下水処理場において内分泌攪乱化学物質の低減が必要となった場合の対策等についての検討

(3) 新たな知見の整理と補足調査の検討

関係機関や海外等における内分泌攪乱化学物質に関する新しい研究成果等の整理と、必要に応じて補足調査の実施検討

●この研究に関する問い合わせは

研究第一部長

研究第一部総括主任研究員

研究第一部主任研究員

研究第一部研究員

研究第一部研究員

江藤 隆
西村 孝彦
那須 基
岡本 達也
後藤 雅子