

# 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・東京大学教授）」を設置し、下水の性状に応じた分析手法の開発・検討及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、最初沈殿池及び生物反応槽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水質調査マニュアル

（案）」としてとりまとめた。

今回の調査は、下水道における内分泌攪乱化学物質の初めての本格的な調査であり、今後は、更に詳細な調査を継続し、高度処理の効果や水処理方式の違いによる低減効果の把握等について検討を行う予定である。

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、仙台市、川崎市、横浜市、名古屋市、京都市、大阪市、神戸市の12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、建設省及び東京都、川崎市、横浜市、名古屋市、京都市、大阪市、神戸市の7都市と本機構との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。

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する。

なお、環境中あるいは下水処理場からの内分泌攪乱化学物質濃度が、水生生物等にどのような影響を与えるかについては、現段階では明らかにし得る知見が充分ではないことが実状であり、今後の関係省庁および研究機関や諸外国の調査結果を待って判断していくこととしている。

本調査における全体的な目的は次に掲げる通りである。

- 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・放流実態把握
- 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

平成10年度は、この内、

- ① 下水の分析手法の開発・検討
- ② 下水処理場における内分泌攪乱化学物質の流入・放流実態把握
- ③ 下水処理場における処理工程等の挙動把握についてとりまとめを行った。

本調査においては、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を基本とし、国内生産量や環境中での検出状況を勘案し、対象物質とした。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及び人畜由来ホルモンである17β-エストラジオールについての調査も行っている。

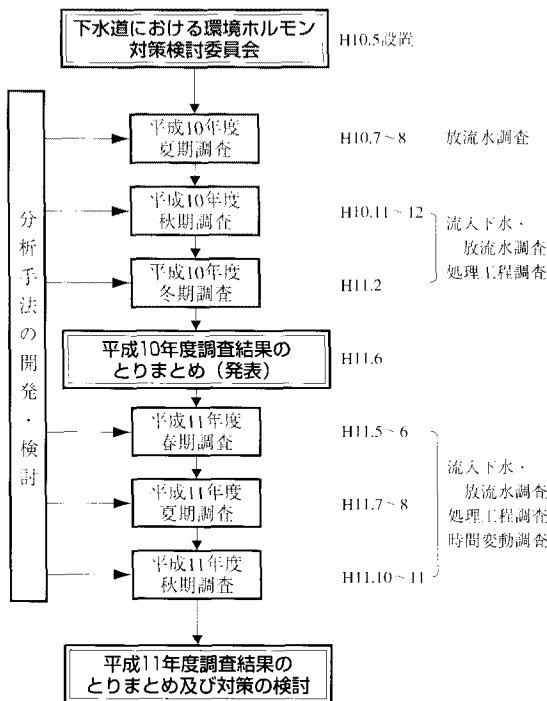


図-1 調査スケジュール

### 3. 調査の概要

#### 3-1 調査スケジュール

本調査は、概ね2年間の予定としており、図-1に示すスケジュールで実施している。

#### 3-2 調査対象処理場

平成10年度における実態調査は、27処理場において実施した。

表-1 調査対象処理場名

都市名	処理場名	備考(汚泥処理)
東京都	森ヶ崎水処理センター	
	多摩川上流処理場	
	北多摩一号処理場	
	南多摩処理場	
川崎市	等々力水処理センター	入江崎総合スラッジセンター
	入江崎水処理センター	入江崎総合スラッジセンター
横浜市	北部第二水処理場	北部汚泥処理センター
	都筑下水処理場	北部汚泥処理センター
埼玉県	荒川処理センター	
	元荒川処理センター	
	古利根川処理センター	
	新河岸川処理センター	
	中川処理センター	
	市野川上流浄化センター	
滋賀県	湖南中部浄化センター	
京都府	洛南浄化センター	
	洛西浄化センター	
大阪府	渚処理場	
仙台市	広瀬川浄化センター	
	南蒲生浄化センター	
	秋保温泉浄化センター	
	上谷刈下水処理場	
名古屋市	山崎下水処理場	山崎汚泥処理場
京都市	伏見処理場	
	鳥羽処理場	
大阪市	今福下水処理場	放出下水処理場
神戸市	垂水水環境センター	

### 4. 調査結果

#### 4-1 分析手法の開発

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、下水は河川水等に比べ夾雑物や有機物濃度が高く、内分泌攪乱化学物質測定妨害となり、正確な分析を困難にしていた。

本調査では、平成10年10月に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」による方法等を基本とし、下水のこのような特性について検討を行い、改善するものとした。各対象物質毎に、実試料（流入下水・放流水等）を対象に、

表-2 内分泌攪乱化学物質の検出状況

物質名	流入下水		放流水		備考
	定量下限値 (μg/L)	割合	定量下限値 (μg/L)	割合	
4-tert-ブチルフェノール	0.3	1/8	0.3	0/10	
4-n-ブチルフェノール	0.3	0/8	0.3	0/10	
4-n-ヘキシルフェノール	0.3	0/8	0.3	0/10	
4-n-オクチルフェノール	0.3	0/8	0.3	0/10	
4-t-オクチルフェノール	0.3	8/35	0.3	0/48	
ノニルフェノール	0.3	17/35	0.3	0/48	
ビスフェノールA	0.1 (0.03)	34/34	0.3	33/48	注1)
2,4-ジクロロフェノール	0.1 (0.03)	32/35	0.03	30/47	注2)
フタル酸ジエチル (DEP)	0.12 (0.03)	6/26	0.05 (0.03)	5/28	注2)
フタル酸ジ-n-ブチル (DBP)	0.6	26/26	0.6	0/28	
フタル酸ジ-n-ブチル (DBP)	0.6	0/8	0.6	0/10	
フタル酸ジ-n-ブチル (DBP)	0.6	32/35	0.6	0/48	
フタル酸ジ-n-ブチル (DBP)	0.6	0/8	0.6	0/10	
フタル酸ジ-n-ブチル (DBP)	0.6	0/8	0.6	0/10	
フタル酸ジ-2-エチルヘキシル (DEHP)	0.6	35/35	0.6	27/48	
フタル酸ジシクロヘキシル (DCHP)	0.6	0/8	0.6	0/10	
フタル酸ブチルベンジル (BBP)	0.6	5/35	0.6	0/48	
ベンゾ (a) ピレン	0.03	8/26	0.03	0/27	
アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル	0.05 (0.03)	30/35	0.03	17/48	注2)
4-ニトロトルエン	0.03	0/8	0.03	0/10	
ベンゾフェノン	0.07 (0.03)	23/26	0.04 (0.03)	22/28	注2)
スチレンの2及び3量体	0.03	3/24	0.03	0/36	2,4,6-THP
n-ブチルベンゼン	0.3	5/26	0.3	0/28	
ポリ臭化ビフェニル類 (PBBs)	0.09	0/8	0.09	0/10	
オクタクロロスチレン	0.09	0/8	0.09	0/10	
ノニルフェノールエトキシレート (n=1~4)	0.3	26/26	0.3	22/28	注1)
ノニルフェノールエトキシレート (n≥5)	0.6	25/25	0.6	22/28	注1)
17β-エストラジオール	0.0006	35/35	0.0006	43/47	注1)

注1) 実試験において、( ) で示した目標となる定量下限値の設定が困難であり、" " で記述している。  
 注2) 実試験において、( ) で示した目標となる定量下限値の設定が達成できないため、確認された定量下限値を示した。  
 細掛：定量下限値以上の存在が、1検体以上から確認されたもの。但し、注1) の物質は、( ) の数値で集計。  
 スチレンの2及び3量体は、他4形態で測定しているが、2,4,6-THP (トリフェニル-1-ヘキセン) 以外はn.d.

操作ブランク試験、定量下限値試験、添加回収試験を繰り返し、分析操作を改善することで、下水試料に適用性のある分析手法を提案し、「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(案)(1999年6月)」としてとりまとめた。

また、汚泥についての内分泌攪乱化学物質の分析手法については、水試料に比較して、更に分析の妨害となる要因が多いことから、対象とした多くの物質については、開発目標を達成していない状況にある。

今後は、更に精度向上を目指して詳細検討を進めるものとする。

4-2 下水処理場における

流入下水・放流水等の実態

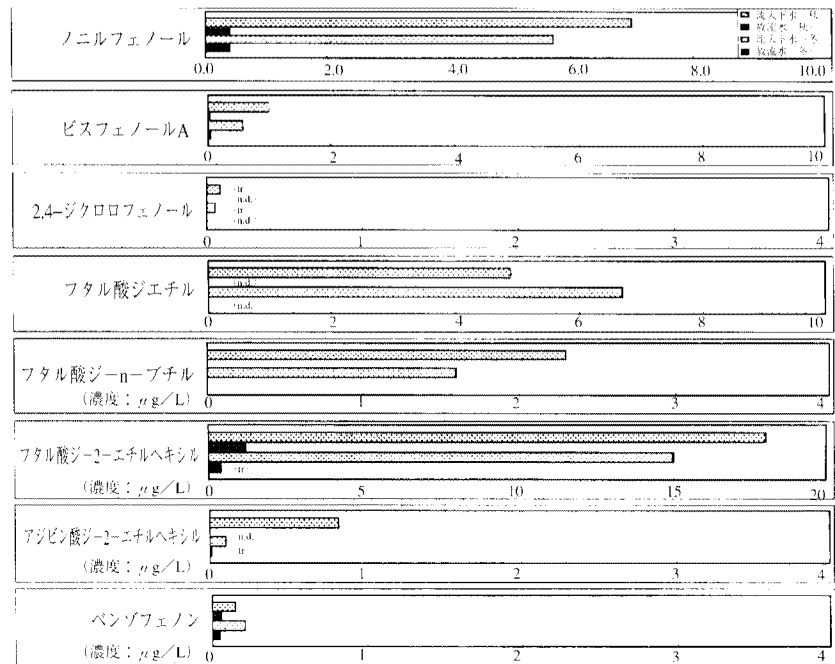
平成10年度は、関東および近畿地方の都市を中心に、27処理場における実態調査を行い、一定の知見が確認された。流入下水及び放流水における検出状況を表-2に示す。

(1) 流入下水及び放流水における実態

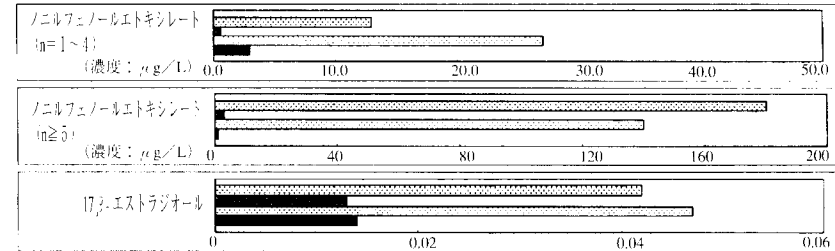
- ① 調査を行った内分泌攪乱化学物質(25物質)のうち、流入下水では15物質、放流水では6物質が定量下限値以上で確認されている。
- ② 関連物質として調査したノニルフェノールエトキシレートおよび17β-エストラジオールについては、流入下水、放流水とも定量下限値以上で確認された。
- ③ 内分泌攪乱化学物質の処理場における減少率は、殆どの物質で90%以上の減少が確認され、下水処理場は流入下水中の内分泌攪乱化学物質に対して一定の低減を行っていると考えられる。

なお、表-2の調査対象物質の

内分泌攪乱化学物質



関連物質(ノニルフェノールの原因物質及び人畜由来ホルモン)



n.d. : 検出下限値未満, tr : 定量下限値未満かつ検出下限値以上

図-2 流入下水および放流水の比較

うち、流入下水における定量下限値以上の割合が50%以上の物質、あるいは放流水における定量下限値以上が1検体でも確認された物質について、中央値による比較を行った結果を図-2に示している。

平成11年度は、削減効果の点について更に詳細調査を実施し、検討していく予定である。

的に分析したものである。従って、分析精度上の課題も残されており、試行分析として位置づけている。

なお、脱水汚泥、焼却灰とも測定値の範囲の幅は大きいものの、両者の濃度を比較すると焼却灰は脱水汚泥より、大幅に低減していることが判明した。

(2) 下水処理場内における挙動

下水処理場における処理工程は、一般的に最初沈殿池、生物反応槽、最終沈殿池を経て、消毒処理後、放流される。下水処理場内の水処理工程における内分泌攪乱化学物質等の挙動の概要について、図-3にその一例を示す。

また、これらの濃度が各処理工程においてどのように減少しているかを、流入下水を100として示したものが表-3である。物質によって濃度減少の傾向は異なっているが、特に、生物反応槽～最終沈殿池において、内分泌攪乱化学物質等の低減効果が認められている。

これらの点についても、平成11年度に更に詳細調査を実施する予定である。

表-3 水処理工程における水質の挙動

物質名	流入下水	初沈流入水	初沈流出水	終沈流出水	放流水	
内分	ノニルフェノール	100	114	63	5	5
泌	ビスフェノールA	100	100	45	6	4
攪	2,4-ジクロロフェノール	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
乱	フタル酸ジエチル	100	42	69	(~0)	(~0)
化	フタル酸ジ-n-ブチル	100	67	56	(~0)	(~0)
学	フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	100	112	52	(~0)	(~0)
物	アジピン酸ジ-2-エチルヘキシル	100	124	22	(~0)	(~0)
質	ベンゾフェノン	100	103	92	32	32
	ノニルフェノールエトキシレート (n=1~4)	100	94	55	6	8
	ノニルフェノールエトキシレート (n≥5)	100	100	59	2	2
	17β-エストラジオール	100	116	130	44	42

- ・処理工程調査を実施した秋期及び冬期調査結果16検体における中央値で算出したもの。
- ・流入下水を100としたときの各工程の水質。
- ・(~0)は該当工程水の中央値が、定量下限未満であるもの。
- ・(-)は、流入下水が定量下限値未満であるため、流入下水を100とした数値を算出せず。

(3) 汚泥中の濃度の測定結果

実試料(汚泥)について、分析手法の検討を行った手法を用いて、その適用試験を実施した結果について、脱水汚泥と焼却灰の測定結果の範囲を表-4に示した。なお、ここでは脱水汚泥と焼却灰の含有量を比較するため、乾燥重量あたりの濃度で示している。

汚泥試料における濃度範囲の幅が大きく、これは、水試料に比較して有機物量が多く妨害や試料の不均一性により、測定値のばらつきが大きくなっていると思われる。また、汚泥試料については分析手法の検討の途上であり、検討の一環として試行

表-4 汚泥中の濃度試行調査結果

単位: mg/dry · kg

物質名	脱水汚泥	焼却灰	備考
内分	4-n-オクチルフェノール	n. d.	
泌	4-t-オクチルフェノール	n. d.	
攪	ノニルフェノール	0.006~0.076	注1)
乱	ビスフェノールA	-	
化	フタル酸ジ-n-ブチル	n. d.~0.081	
学	フタル酸ジ-2-エチルヘキシル	0.29	
物	フタル酸ブチルベンジル	n. d.	
質	ベンゾ(a)ピレン	n. d.	
	n-ブチルベンゼン	n. d.	
	ノニルフェノールエトキシレート (n=1~4)	0.055~1.4	注1)
	ノニルフェノールエトキシレート (n≥5)	0.026~0.15	注1), 注2)
	17β-エストラジオール	n. d.	注1)

- n. d. : 検出下限値未満
- : 添加回収試験で目標回収率に達していないもの
- 注1) : 実試験における定量下限試験ができなかった物質
- 注2) : 冬期に測定した物質のうち、添加回収試験で目標を満足した物質を掲載した。ただし、17βエストラジオールは回収率が49%と低い化学物質との対応のため掲載した。

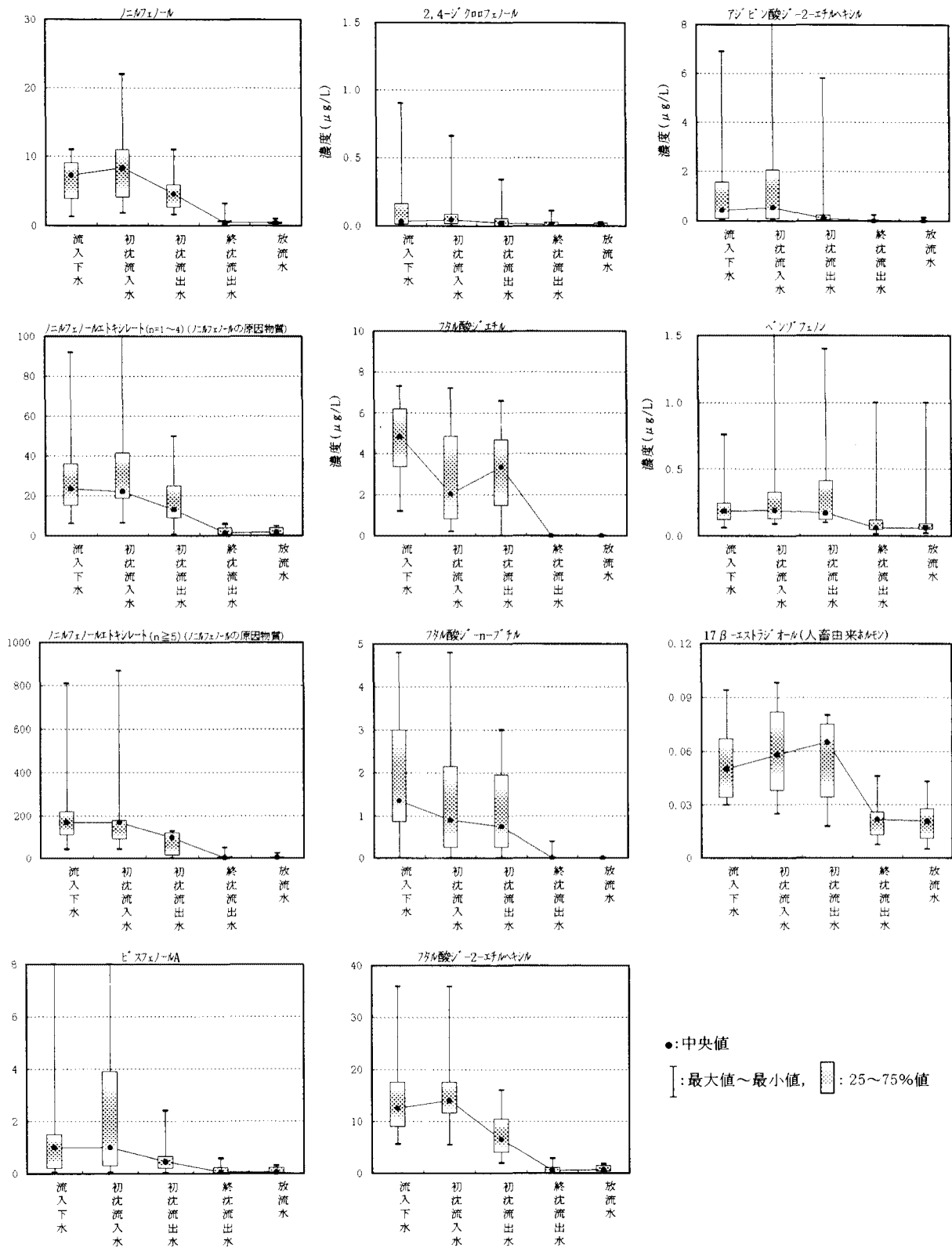


図-3 流入から放流の挙動例

## 5. ま と め

下水処理場における内分泌攪乱化学物質については、平成10年度に27処理場の実態について調査を実施した。全国の約1,200処理場の一部であるとはいえ、一定の知見が得られたと考えられる。調査の結果、下水道における概ねの濃度レベルや下水処理による低減、処理工程における挙動等を把握することができた。

また、分析手法の検討においては、水試料について「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(案)(1999年6月)」をとりまとめた。

平成11年度は、平成10年度の調査検討結果を受けて、今後、さらに調査を進める予定であり、分析手法の精度向上を目指すとともに下水道における実態調査を継続し処理施設内での挙動を詳細に把握していくこととする。

平成11年度に検討を行うテーマは下記のとおり。

- 1) 分析手法の精度向上  
分析手法について、更に検討を進め、精度の向上を図る。
- 2) 下水処理場内における挙動の把握  
平成10年度に引き続き、下水処理場内における内分泌攪乱化学物質の流入・放流実態および処理工程内の挙動について実態調査を継続する。
- 3) 処理方式による低減効果等への影響  
水処理方式による内分泌攪乱化学物質の低減効果に着目し、運転方法や高度処理の効果について検討を行う。
- 4) 対策手法の検討  
実態調査結果を踏まえ、処理施設の運転方法の改善や、高度処理の効果についての検討にも着手する。

### ●この調査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

大嶋 吉雄  
西村 孝彦  
田島 研一  
王尾 和寿  
後藤 雅子