

下水道施設における 微量化学物質に関する現況と対策 についての調査研究

1. 調査目的

近年、産業の発展や科学的知見の集積等に伴い、多岐にわたる化学物質の水環境における存在が確認され、環境行政において微量化学物質の対策は大きな課題となっている。下水道分野においても、下水道終末処理施設及び終末処理場につながる下水道システム全体は特定施設の一つとして水質汚濁防止法に規定されており、下水道管理者自らが、水質の管理を行うことが環境に対する下水道の責務であるとも考えられる。

また、工場や家庭で使用される多くの化学物質は、その後低濃度レベルであっても、下水道に混入する恐れも有り、下水道の維持管理上からも有害物質などの下水道への流入状況や下水道施設への影響を調査する必要もある。

本調査は、以上の背景を受けて、下水道施設における微量化学物質の実態調査を行い、下水道分野の微量化学物質への対応、対策(案)を検討する目的で実施した。

2. 調査内容

本調査は、平成9年～14年度の6年間を予定しており、文献等により絞り込んだ環境に影響の大きいと思われる微量化学物質について、2年毎、3ステップでの実態調査を中心に検討を行う計画である。

平成9～10年度は、表-1に示す内容で、消毒副生成物の包括的な指標であるTOX（全有機ハロゲン化合物）と水道水源法により規制されているTHMFP（トリハロメタン生成能）の2物質を対象物として選定し、平成10年度は、全国13処理場において春季調査及び夏季調査の2回の実態調査を実施した。また、表-2に、調査対象処理場の概要を示した。

表-1 平成9～10年度の調査内容

項目	内容
調査期間	秋季（平成9年10～11月）、冬季（平成10年1～2月）、春季（平成10年5～6月）、夏季（平成10年8～9月）の4季 合計4回
調査処理場	全国13ヶ所
調査日	原則的に対象処理場での通日調査日と一致させる
調査箇所	流入水、最初沈殿池流入水、最初沈殿池流出水、二次処理水、放流水の5箇所を1調査につき1回採取
調査時刻	流入水質の平均的な水質濃度を示す時刻より平均滞留時間を鑑みて処理場毎に決定する
調査項目 (対象項目)	TOX, THMFP
調査項目 (一般項目)	pH, 水温（現地調査） SS, CODcr, D-CODcr, NH ₄ -N, UV ₂₀₀

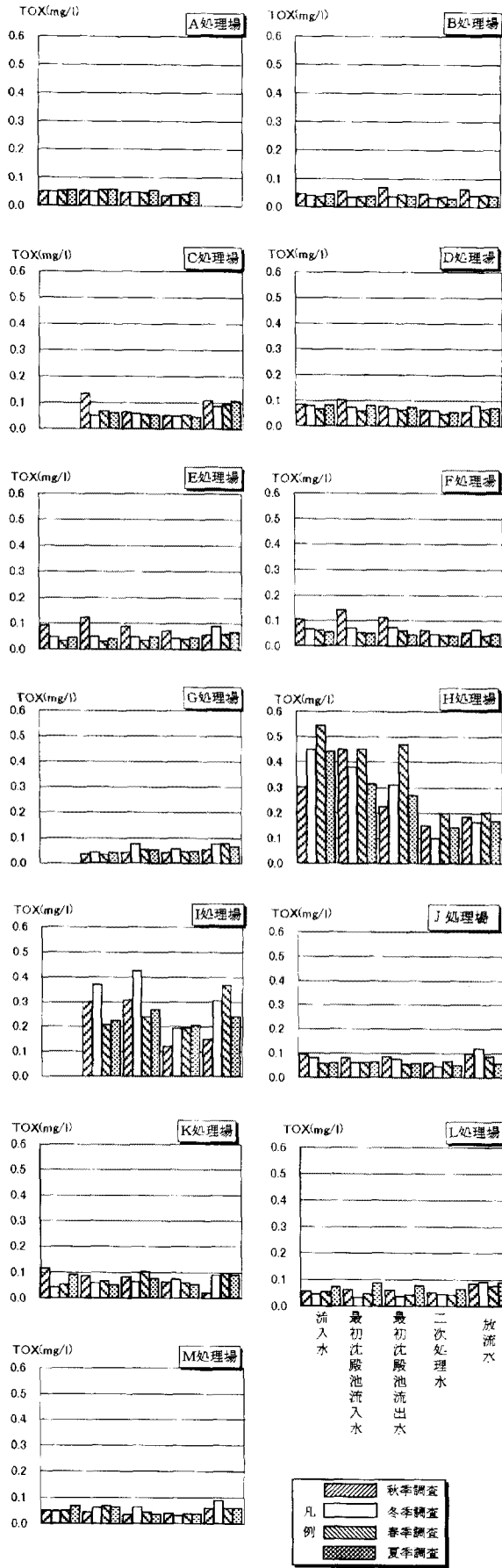


図-1 TOXの処理場毎の分析結果比較

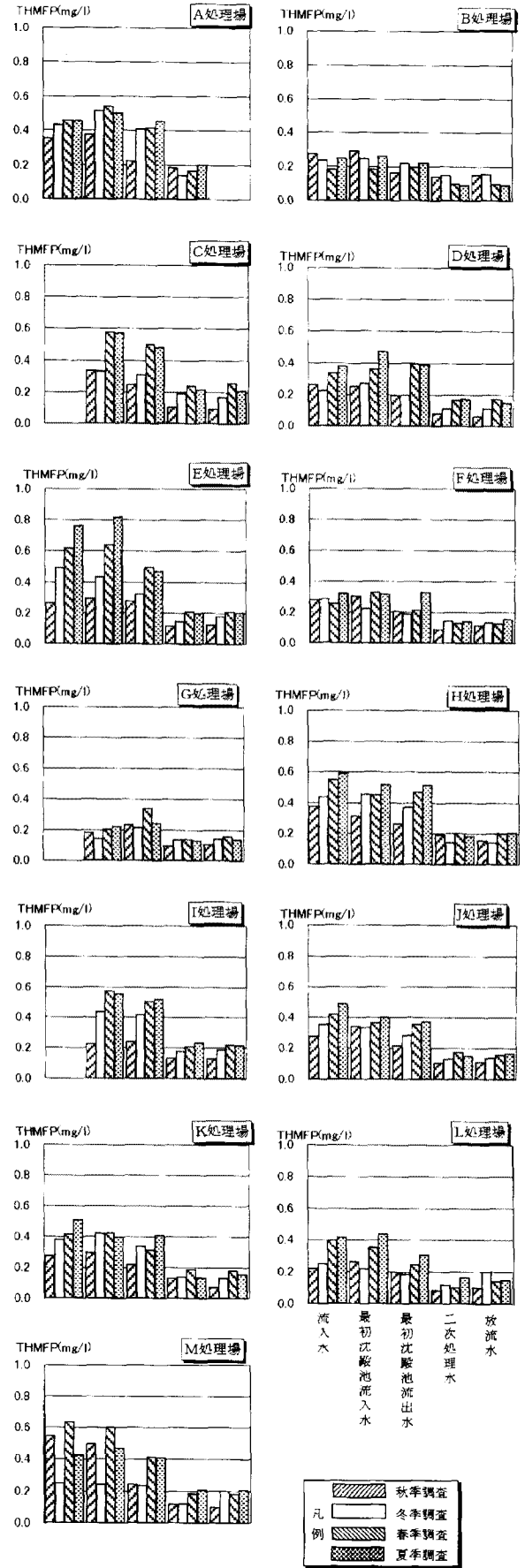


図-2 THMFPの処理場毎の分析結果比較

3. 調査結果

3.1 実態調査の結果

(1) 処理場毎の調査結果

図-1及び図-2に処理場毎の4回の調査結果を比較した。

TOXは、地域的な相違（濃度差）が大きく、一部の処理場の流入濃度が4回の調査とも高かった。THMFPにおいても地域差は若干見られた。

処理過程における削減は、TOXは流入濃度の低い処理場では殆ど見られず、THMFPは、生物反応槽での削減が最初沈殿池より大きかった。

THMFPは、春季及び夏季に濃度が高い傾向が見られ、季節変動があった。これは、水温の影響と考えら

れる。

(2) 調査結果の統計処理

図-3に調査地点毎に累積分布図を示した。

TOXは、二次処理水の濃度範囲が最も少なく、他の調査地点は濃度範囲が大きかった。また、処理過程毎の濃度差は殆ど見られないが、塩素処理工程でTOXを生成している処理場が多いため、二次処理水より放流水の濃度が高い結果となった。

THMFPは、処理過程を経る毎に濃度範囲が少なくなった。特に二次処理での濃度の低下が大きく生物処理が行われている結果が示された。

表-3に実態調査結果を統計的に整理した。TOXの標準的な濃度（全調査の50%値）は、流入水0.058mg/l、最終沈殿池流入水0.060mg/l、最初沈殿池流出水0.061mg/l、二次処理水0.047mg/l、放流水0.080mg/lであった。

同様にTHMFPの標準的な濃度は、流入水0.372mg/l、最初沈殿池流入水0.360mg/l、最初沈殿池流出水0.309mg/l、二次処理水0.142mg/l、放流水0.153mg/lであり、最初沈殿池での削減率は14.1%、二次処理での削減率は54.0%であった。

表-2 調査対象処理場の概要

対象処理場		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
調査目的														
処理方式	標準活性汚泥法	●	●	●	●		●	●					●	●
	嫌気好気活性汚泥法								●	●	●			●
	酸素活性汚泥法					●								
高度処理	汚泥処理施設併設	●	●	●					●		●	●	●	●
	急速砂ろ過				●			●			●			
	凝集沈殿							●						
	活性炭吸着							●						
消毒施設（塩素消毒）	○	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
工場排水の流入	5%未満				●	●	●				●			
	5~10%	●	●							●			●	●
	10%以上			●				●	●			●		
河川に放流	AA, A類型												●	
	B類型	●							●		●			
	C, D, E類型				●	●	●	●	●	●	●			
	海域への放流	●	●										●	●
処理規模（晴天時平均下水流量）	~100千m ³ /日			●					●		●	●	●	
	~200千m ³ /日	●				●	●	●		●				
	~200千m ³ /日以上	●		●										●

注) A処理場は消毒施設は設置されているが調査時は塩素注入されていないかった。

表-3 TOXとTHMFPの実態調査まとめ

<TOX>

	最小	平均	最大	標準偏差	50%値	調査数
流入水	0.033	0.107	0.860	0.148	0.058	42
初沈流入水	0.031	0.103	0.452	0.108	0.060	51
初沈流出水	0.034	0.098	0.441	0.097	0.061	52
二次処理水	0.028	0.063	0.204	0.040	0.047	60
放流水	0.020	0.095	0.370	0.065	0.080	48

<THMFP>

	最小	平均	最大	標準偏差	50%値	調査数
流入水	0.181	0.379	0.761	0.129	0.372	42
初沈流入水	0.140	0.380	0.816	0.139	0.360	51
初沈流出水	0.165	0.317	0.516	0.106	0.309	52
二次処理水	0.078	0.149	0.239	0.042	0.142	60
放流水	0.063	0.152	0.256	0.043	0.153	48

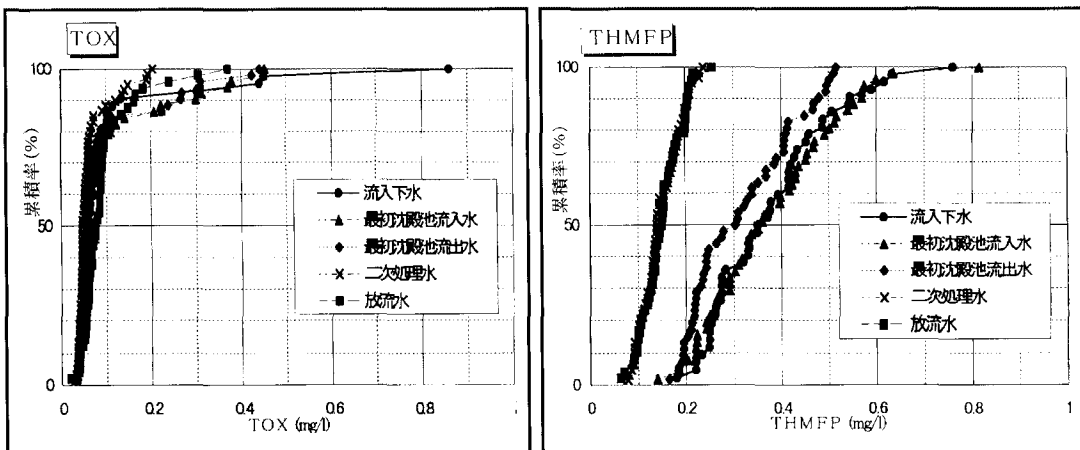


図-3 TOX, THMFPの累積分布

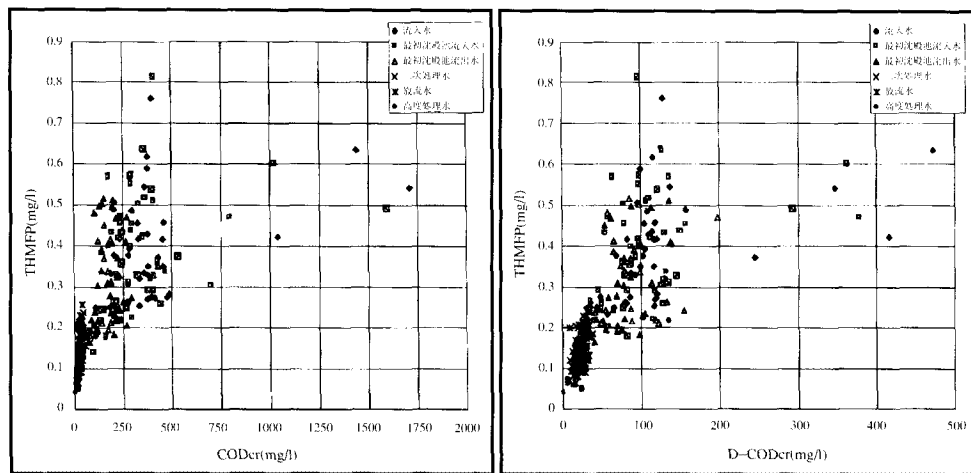


図-4 CODcr, D-CODcr とTHMFP の相関関係

(3) 調査項目の相関関係

調査項目間の相関関係を比較した結果、TOXは、いずれの項目についても相関関係は見られなかった。THMFPは、有機物濃度との正の相関が見られた。これは、THMを生成する前駆物質がフミン質などの有機物であるためと考えられる。

図-4にCODcr及びD-CODcrとTHMFPの関係を示す。

(4) 処理過程における水質負荷量の比較

各処理場の処理日報による各処理工程での水量と実態調査の水質濃度より負荷量を計算し、最初沈殿池流入水負荷量を100%として処理工程での残存負荷量比率を比較した。

TOXは、殆どの処理場で処理工程が進むに連れて残存率が低下したが、塩素処理により放流水で負荷が上昇している処理場も多かった。

THMFPは、処理工程が進むにつれて残存率が低下し、削減率の高い処理場では放流水の残存率が20%程度であった。

3.2 実態調査結果の検討

3.2.1 調査結果の標準性

本調査の調査結果が標準的な濃度範囲にあるかどうかを判断するため、日本下水道事業団のTHMFPの調査結果¹⁾と比較した。標準活性汚泥法の処理場におけるTHMFPの流入水と放流水は、濃度分布、標準偏差等の統計値、有機物濃度との相関関係ともほぼ一致しており、本調査結果が標準的な濃度範囲であると考えた。

3.2.2 実態調査の濃度分布

全測定結果の50%値を標準値として、各処理場の実態調査の結果を整理した。

TOXは、一部の処理場を除き、ほぼ標準的な濃

度にあった。

THMFPは、突出して濃度の高い処理場は見られないが、一部に確率98%以上(50%値+2σ)の分布から外れた結果がみられた。

放流水について、特定排水基準の基準設定下限値である0.2mg/lを超過した処理場が6処理場あったが、いずれも基準設定上限値である0.3mg/lは、超過していなかった。

3.2.3 THM生成率の変化

全有機物中のハロゲン物質と結合してTHMを生成する単位有機物中の割合(THMFP濃度(mg/l)/CODcr濃度(g/l))をTHM生成率と設定して、図-5に処理過程の変化を比較した。

$$\text{THM生成率 (mg/g)} = \frac{\text{THMFP (mg/l)}}{\text{CODcr (g/l)}}$$

THM生成率が大きいほど単位有機物当たりでの塩素処理におけるTHM生成量が大きく、有機物中にTHMを生成する化合物が多い事を示すが、いずれの処理場も二次処理行程でTHM生成率が増加している。これは、生物による有機物の分解が、完全酸化まで至らず、THMを生成しやすい段階で留まっているか、生物分解されない難分解性の有機物にTHMを生成しやすい有機物が多いためと考えられる。

季節の変化では、夏季に生成率が大きい処理場が多い。これは生物活性が水温による影響を受けるために他の季節と比較して分解が進むためと思われる。放流水で、二次処理水に比較してTHM生成率に減少が見られるのは、塩素処理によりTHMが生成したためであると考えられ、TOXの二次処理水より放流水の濃度が高い結果と一致する。

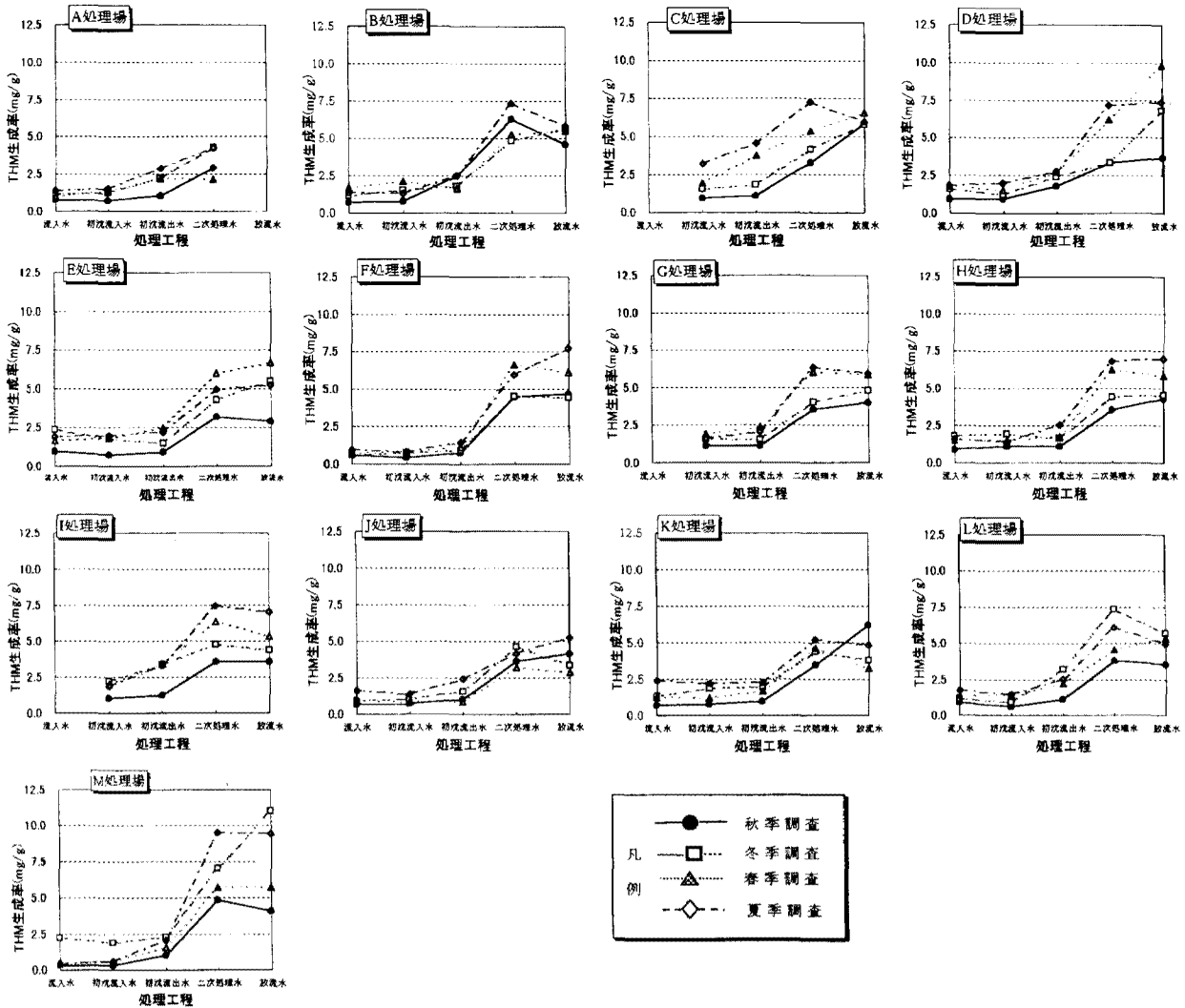


図-5 THM生成率の処理工程での変化

3.2.4 各種影響項目の濃度への影響

(1) 最初沈殿池での汚泥処理液等混入の影響

流入水の後段に汚泥処理返流水や余剰汚泥等の混入がある処理場と混入の無い処理場で、最初沈殿池の流入・流出の濃度や最初沈殿池での削減率に有意的な影響が見られるかどうかを比較した結果、汚泥処理液等の混入による水質への影響は顕著ではなかった。(図-6)

(2) 生物反応槽における処理方式の影響

図-7に生物反応槽の流入・流出の濃度を比較した。生物処理においては、いずれの処理場とも削減率約50%であるが、処理方式によりプロットの偏りは見られず、削減率に処理方式の影響は見られなかった。

(3) 塩素処理工程における挙動

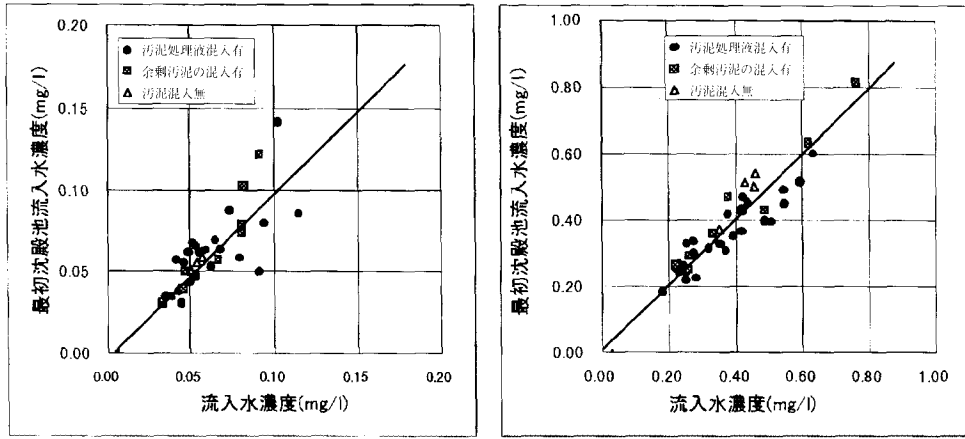
放流水は公共用水域に放流され、放流先の利水により環境基準の類型が区別されており、水道の利水

が考慮されている類型への放流は、TOX、THMFPとも放流先への水質影響が大きい。また、海域へ放流する処理場は、海水中の臭素(Br)によりTOX及びTHMFP濃度に影響を受ける可能性もある。

調査結果では、THMFPは二次処理水と放流水で大きな濃度差はなく、塩素処理の影響は見られなかった。

TOXは、塩素処理により濃度が上昇する処理場が多いが、図-8に示すように、河川A、B及び海域など放流先への水質影響を考慮する必要のある処理場については、特に濃度の高い処理場はなかった。

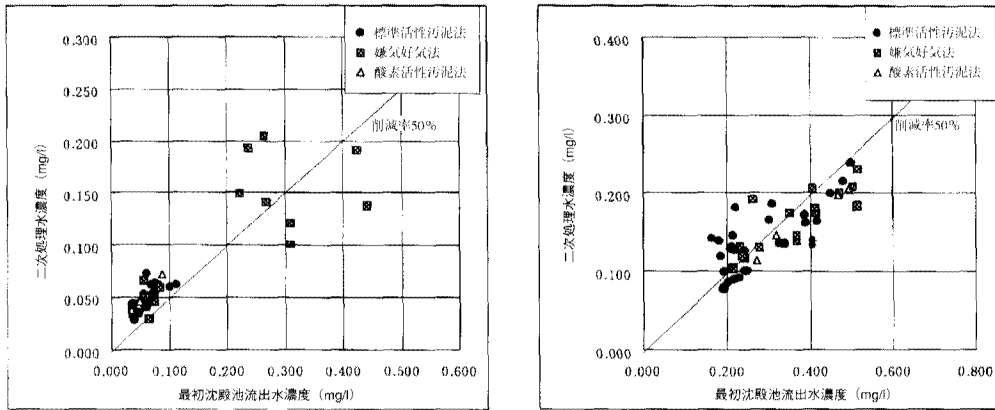
TOXの塩素処理工程での生成に関わる要因としては、塩素接触時間、塩素添加量、二次処理水のアンモニウム態窒素濃度などが考えられるが、図-9に示すように、アンモニウム態窒素濃度が高い程TOX生成量が減少する傾向や、塩素添加量が多いほどTOX生産量が増加する傾向が若干見られた。



【TOX】

【THMFP】

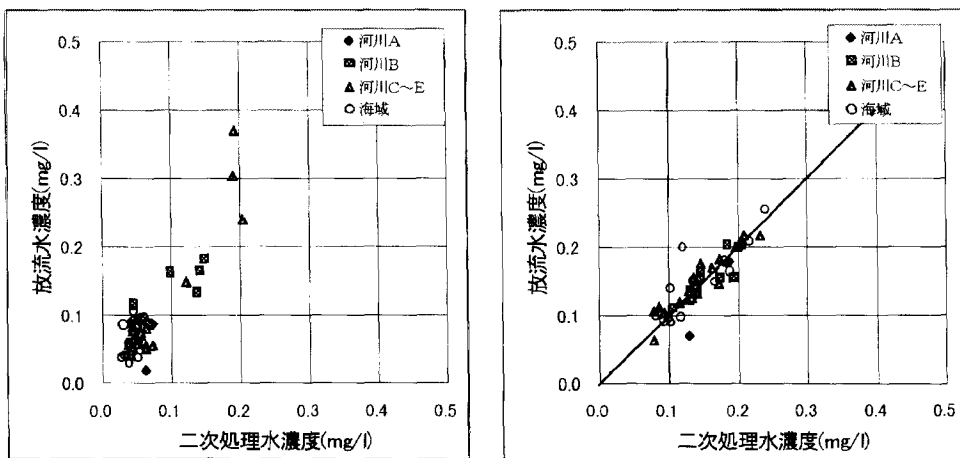
図-6 汚泥処理液等混入による水質への影響



【TOX】

【THMFP】

図-7 生物反応槽でのTOX, THMFPの削減率と処理方式の比較



【TOX】

【THMFP】

図-8 放流先と塩素処理の水質への影響

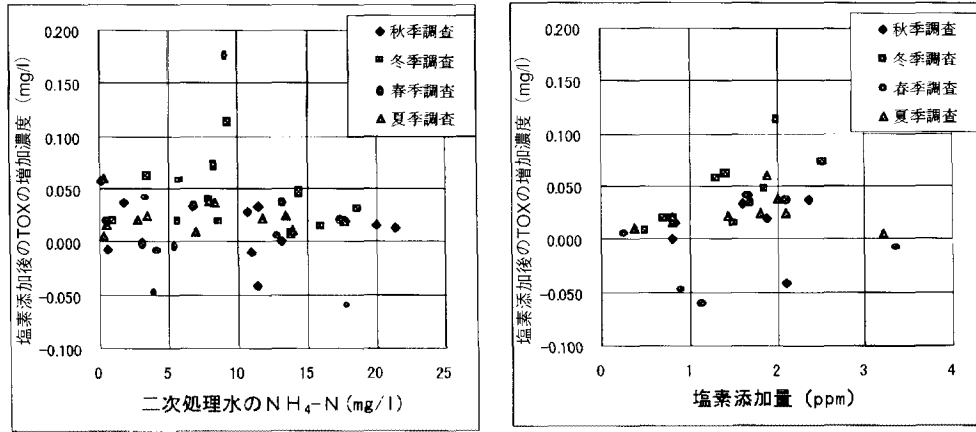


図-9 塩素処理工程のTOX濃度への影響

(4) 工場排水の混入の濃度への影響

工場排水の混入率がTOX及びTHMFPの流入濃度に影響を与えるかどうかを工場排水の混入率により比較したが、特に明確な差は見られなかった。

(5) TOX, THMFPの高度処理での削減

本調査では、砂ろ過及び凝集+砂ろ過+活性炭処理の高度処理を行っている処理場をそれぞれ1ヶ所ずつ調査した。砂ろ過のみの処理に比べ活性炭を含めた高度処理で安定した削減効果が見られた。高度処理における水質削減率を表-4に示す。

表-4 高度処理の処理効果

	高度処理での削減率 (%)	
	TOX	THMFP
凝集沈殿+砂ろ過+活性炭	58.1~62.7	47.8~63.2
砂ろ過	-25.0~35.6	7.3~41.2

3.3 TOX及びTHMFPの処理技術

文献を参考に、物理化学処理におけるTOX及びTHM前駆物質の処理技術を表-5に整理した。

TOXのうち揮発性成分は、大部分が曝気槽で除去されると考えられるが、揮散されたTOXを処理（覆蓋、脱臭処理との併用等）することが望ましい。

THM前駆物質の除去には、活性炭吸着処理が最も効果が高い技術であり、その効果を補助する意味で前段に凝集処理やオゾン処理（紫外線照射）を行う方法が優れている。

3.4 次年度以降の調査項目の選定

表-5 TOX及びTHMFPの処理技術

処理技術	TOX	THMFP (THM前駆物質)
凝集処理	処理事例無し	効果あり。活性炭吸着処理を併用して凝集フロックを除去すれば効果はさらに上がる。
オゾン処理	処理事例無し	オゾン反応によりTHM生成率が高くなるが、低分子量の物質はオゾンにより分解除去できる。但し、オゾンにより高分子量の低分子化も同時に起きるため、オゾン処理後他の処理（活性炭吸着等）を併用すればさらに効果は上がる。
揮散処理	揮発性物質については効果あり。但し、環境影響を考慮すれば、揮散したTOX成分をさらに活性炭等で処理することが望ましい	処理事例無し
活性炭吸着	効果あり	効果あり。前処理として凝集処理やオゾン処理を併用すれば効果は高い。
紫外線照射	効果あり	紫外線照射によりオゾンが発生するため、効果はオゾンと同様と考えられる。

平成11~12年における実態調査の調査対象物質を、今年度調査の継続としてのTOXの内訳物質、既往調査において流入水の濃度・検出率の高い物質、公共用水域での検出率が高く環境基準への移行が検討された要監視項目に絞り込んだ。

さらにアンケート、既往調査の頻度等を参考に、次年度の調査項目として、公共用水域に影響が大きく、調査頻度の少ないアンチモン、ニッケル、ホウ素、モリブデンの重金属系の物質とした。

4. 調査のまとめ

平成9年～10年度のTOX及びTHMFPの実態調査結果は以下のようにまとめられる。

- ① TOXは、各処理場とも季節による大きな変動は見られず処理場の地域特性による濃度の違いが大きかった。TOXは、流入濃度の高い一部の処理場を除いて処理工程での明確な削減は見られなかった。
- ② 塩素処理工程でTOX濃度が増加する処理場が多かった。
- ③ THMFPは季節変動が若干見られ、水温の最も高い夏季に濃度が高い傾向が見られた。また、生物反応槽での削減率が高く、平均して約54%の削減率であった。
- ④ 主な調査項目との相関関係は、有機物濃度とTHMFP以外には見られなかった。
- ⑤ THMFPの放流水濃度は、総ての処理場で特定排水基準設定範囲の上限 0.3mg/lより低濃度であった。
- ⑥ THM生成率は二次処理工程で増加する傾向が見られ、生物処理によって有機物がTHMを生成しやすい状態の有機物に変化するものと考えられる。
- ⑦ 処理工程毎に汚泥処理返流水や余剰汚泥等の混入の有無、生物処理の処理方式、塩素処理における影響、工場排水の流入による影響を検討した結果、いずれの因子もTOX及びTHMFPの濃度や削減率に明確な影響は示さなかった。
- ⑧ TOX及びTHMFP 処理技術の文献を調査した結果、TOXの揮発性物質は曝気槽での揮散が大きい。揮散された物質の処理対策が必要と考えられ、THMFP (THM前駆物質) の処理技術では活性炭処理の前段に凝集処理またはオゾン処理を付加することで効果が上がると考えられ、その削減効果は実態調査でも確認された。
- ⑨ 平成11～12年度の実態調査項目として、アンチモン、ニッケル、ホウ素、モリブデンの重金属系の物質を選定した。

<参考文献>

- 1) 「水道水源の水質保全を目的とした下水処理に関する調査」
平成6～8年度 日本下水道事業団技術開発部報告書

●この調査研究に関する問い合わせは

研究第一部長	大嶋 吉雄
研究第一部総括主任研究員	西村 孝彦
研究第一部主任研究員	鈴木 文雄
研究第一部研究員	木町 元康