

活性汚泥法における有機ハロゲン化合物前駆物質の挙動

BEHAVIOR OF ORGANIC HALIDES PRECURSOR IN ACTIVATED SLUDGE PROCESS

生方 悠*・相沢貴子**・真柄泰基***

By Yuu UBUKATA, Takako AIZAWA and Yasumoto MAGARA

In order to investigate the behavior of the organic halides precursor in the activated sludge process, bench scale reactors were operated at various organic loadings. Trihalomethane formation potential (THMFP) and total organic halides formation potential (TOXFP) were measured as the organic halides precursor. The effluent from the reactor fed by potato starch which has not THMFP produced THMs with the reaction of chlorine. In the experiments using primary settled municipal sewage or its 8 μm filtrate, the removal of THMFP was mainly associated with the removal of particulate precursor. THMFP of the effluent was related with a hard biodegradable organics in the influent and biological metabolic by-products. The ratio of THMFP/TOC of the effluent was increased than that of the influent, since the removal efficiency of THMFP was lower than that of TOC. TOXFP removal efficiency was almost the same as TOC removal efficiency.

1. はじめに

わが国の主要な都市が河川下流域に存在していることや、水道原水を河川下流域で取水している浄水場が多いこともあって、これらの浄水場の水道原水には上流域から排出される有機性廃水が不可避免的に存在するようになってい。一方、水道の浄水システムでは水道水の微生物学的な安全性を確保するため塩素処理が行われているが、原水中に天然のフミン質、藻類あるいはし尿等が存在すると塩素と反応してトリハロメタン（以下 THM とする）に代表される有機ハロゲン化合物が生成する。有機ハロゲン化合物の中には変異原性や発癌性が明らかとなっている物質もあり、厚生省では水道水中の THM の暫定指針値を 100 $\mu\text{g}/\text{l}$ とし、WHO ではクロロホルムについて 30 $\mu\text{g}/\text{l}$ というガイドラインを提示している。発癌あるいは催奇形性という従来の衛生工学では扱ってきたことがない健康影響を扱うものであるため、その工学的制御の方法には検討の余地がある。しかし、

これらの指針値が示すように何らかの方法で水道水中の THM 等を制御しなければならないものと考え、それには、浄水システムを補強して THM 等を生成しないようにあるいは除去する方法と、塩素と反応して THM 等を生成する物質（以下前駆物質とする）の水源水域への排出抑制を含めた水源管理がある。本論文では、後者の水源管理に視点を置き、特に下水処理に汎用されている活性汚泥プロセスにおける前駆物質の挙動を扱い、水源水域に排出される前駆物質質量やその活性汚泥プロセスの維持管理により排出量が制御可能であるか否かを明らかにすることとした。具体的には、澱粉を基質とする人工下水および都市下水を用いたベンチスケール実験を行った。なお、下水処理場における前駆物質の挙動および除去、ならびに好気性消化プロセスにおける前駆物質の挙動については山田ら^{1),2)}の報告があるものの、活性汚泥プロセスの維持管理指標と前駆物質生成量に関する研究は、曝気槽 pH および DO の影響を調べた Kocz-wara³⁾らのものがあるだけである。

2. 実験方法

(1) 人工下水を基質とする実験

活性汚泥法の処理効率を支配する 1 つの因子として活性汚泥の懸濁性有機物質吸着・凝集特性があり、またこ

* 正会員 工修 都立大学助手 工学部土木工学科
(〒158 世田谷区深沢 2-1-1)

** 正会員 国立公衆衛生院主任研究官 衛生工学科
(〒108 港区白金台 4-6-1)

*** 正会員 工博 国立公衆衛生院部長 衛生工学科
(同上)

の吸着・凝集特性は活性汚泥の有機物負荷と関係することを真柄ら⁹⁾は報告している。また、活性汚泥微生物の代謝排物は植物由来の天然フミン質と類似な構造をもつ有機物であることを丹保ら⁵⁾は報告している。

そこで、懸濁性であるが塩素と反応しても THM を生成しない有機物として都市下水中に広く分布していると思われる澱粉を基質に選び、これを活性汚泥微生物が代謝する過程で前駆物質をどのように生成し、それが活性汚泥の吸着・凝集性とどのような関係にあるか明らかにすることとした。

活性汚泥反応槽には Fig. 1 に示すような曝気槽容量 350 ml、沈殿槽容量 75 ml をもつガラス製のベンチスケール装置を用いた。人工下水はバレイショ澱粉 400 mg/l、塩化アンモニウム 150 mg/l、リン酸一カリウム 224 mg/l、リン酸二カリウム 87 mg/l、リン酸二ナトリウム 458 mg/l になるよう粒状活性炭ろ過して THM や前駆物質を除去した水道水で調整したものをを用いた。なお、この人工下水の TOC は 180 mg/l、BOD は 210 mg/l である。この人工下水を定量ポンプで Table 1 になるよう供給し、有機物負荷を変化させる処理実験を行った。

処理水とその汚液 (0.45 μm)、および曝気槽混合液を試料とし、SS、TOC、前駆物質および汚泥の濁質除去能 (Biological Adsorption Capacity 以下 BAC とする) 等を測定した。

前駆物質濃度は次のようにして求めた。試料の TOC が約 5 mg/l になるように希釈調整し、24 時間後の遊離残留塩素濃度が約 5 mg/l になるように塩素を添加し、pH 7、温度 20°C で塩素と反応させる。24 時間後に生成している THM 濃度を測定し、これを試料水の前駆物質濃度 (以下 THMFP とする) とした。なお、THM は常法⁶⁾により測定した。

また、BAC は次のようにして求めた。曝気槽混合液 200 ml を遠心分離し、沈殿物をビーカーに移し、これに人工下水と同じ組成の無機塩溶液を加えて攪拌し、30

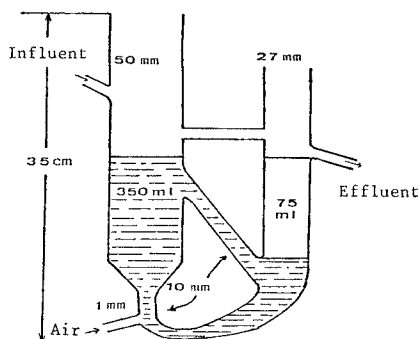


Fig. 1 Bench scale activated sludge reactor.

分静止後上澄水を捨てる。次に人工下水 200 ml を加えジャーテスターで 150 rpm、30 分間攪拌し、静置後上澄水の濁度を測定する。また、同一攪拌条件で無機塩溶液を加え攪拌、静置したときの上澄水の濁度を求め、上記の濁度との差を MLSS で除した値を BAC とした。

(2) 都市下水を基質とする実験

家庭下水の占める割合が高い下水処理場 (処理水量 40 万 $\text{m}^3/\text{日}$ ・ステップエアレーション法) 最初沈殿池流出水および最終沈殿池流出水の THM 生成特性を把握するための調査、およびその最初沈殿池流出水を基質とする活性汚泥処理実験を行った。それらの実験方法は次のようである。

下水処理場最初沈殿池流出水 (以下一次処理水とする) および最終沈殿池流出水 (以下二次処理水とする) を採取し、これを、ふるいおよびメンブレンフィルターにより分画して分画試料を調整し、各分画試料について THMFP および TOC を測定した。

活性汚泥による処理実験は人工下水の実験に用いたものと同じ装置を用いて行った。原水は最初沈殿池流出水中の夾雑物を 0.5 mm のふるいで除去したもの (以下 T 下水とする) およびこれを 8 μm のメンブレンフィルターでろ過したもの (以下 F 下水とする) をそれぞれ用いた。活性汚泥に対する有機物負荷は曝気槽混合液の一定量を 1 日 1 回引き抜いて活性汚泥の曝気槽内平均滞留時間 (以下 θ_c 値とする) を変化させて調整した。その実験条件を Table 2 に示す。なお θ_c 値は系内全活性汚泥量を 1 日当たりの引抜き汚泥量と流出水 SS 量の和で除したものである。

本実験では、THMFP とともに全有機ハロゲン化合物前駆物質 (TOXFP) も測定した。すなわち、THMFP 測定と同様に試料を塩素処理し、反応終了時に生成している全有機ハロゲン化合物を TOX 計を用いて分析し、この TOX 量をもって TOXFP とした。

また、処理水について常法によりセファデックスゲル G-25 を用いたゲルクロマトグラフィーを行い、溶解性有機物の分子量分画を行った。

このほか、BOD、COD、TOC、SS、紫外部吸光度、色度を測定したが、これらの測定法も常法によった。

3. 結果および考察

(1) 人工下水を基質とする実験

人工下水を原水とする活性汚泥処理実験の各実験条件の定常状態における有機物負荷および TOC 除去率も Table 1 に示した。本実験では余剰汚泥を引き抜いて活性汚泥濃度を一定に保持するようにならなかったため、曝気槽滞留時間 (Aeration-tank Retention Time 以下 ART とする) の設定幅ほど有機物負荷の範囲は広くと

Table 1 Operational conditions of the activated sludge reactor and TOC reduction.

Run No.	Flow Rate (l/day)	BOD Loading (l/day)		Retention Time (hr)	TOC Reduction (%)
		Volume (g/l)	SS (g/g)		
1	0.50	0.20	0.10	20.3	93.4
2	0.89	0.54	0.14	11.4	92.9
3	1.22	0.74	0.16	8.3	91.0
4	2.40	1.44	0.20	4.3	90.8

れなかったものの、Fig. 2 に示すように MLSS および BAC は ART より大きく変化していた。

有機物負荷の高い条件下で生成する活性汚泥、すなわち汚泥令が短い活性汚泥ほどその凝集性が低いことを真柄ら⁴⁾は報告しており、本実験においても ART が短い条件ほど BAC 値は小さくなる傾向が認められた。特に最も ART が短い条件下での活性汚泥では、活性汚泥に吸着していた澱粉が脱着したため BAC 値は負の値を示した。これらの結果より、ART は活性汚泥の懸濁性有機物に対する仮想的な凝集・吸着部位の存在量とも関係しており、その凝集・吸着部位は活性汚泥の汚泥令あるいは基質の残存量と関係する⁴⁾ことより、ART は基質として加えた澱粉が生物化学的に可溶化され活性汚泥として転換されていく代謝時間のパラメーターとして扱えるものとする。

処理水を塩素処理した結果、すべての処理水が THM を生成した。実験に用いた基質は THM を生成しない有機物であることから、活性汚泥の代謝作用によって THM を生成しない有機物から THM を生成する有機物が生成されることとなる。ART と処理水およびその汙液の TOC、THMFP、THMFP/TOC (以下 THM 生成率とする) の関係について Fig. 3 にそれぞれ示す。

TOC の除去率は ART が長くなるほど高くなる傾向が認められるが、いずれの条件でも 90 % 以上と高い除去率を示した。しかし、THMFP、THM 生成率とも ART より大きく変化している。処理水未汙液では、ART が短いほど THMFP が高くなり、また THMFP が最小となる ART が存在している。これは処理水中に

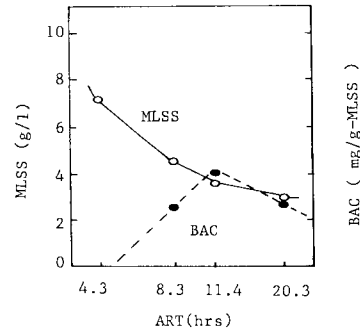


Fig. 2 Relationship between ART and MLSS, and BAC.

流出した活性汚泥の THMFP の影響を受けているためである。すなわち、未汙水と汙過水の TOC の差は活性汚泥の TOC であり、ART が短い条件では約 10 mg/l の TOC に相当する活性汚泥が流出している。ART が短い条件下での活性汚泥の流出量が多い理由としては、MLSS 濃度が高いため沈殿槽の容量が不足したことと BAC 値が低いことが示すように活性汚泥の凝集・フロック形成能が低かったためであろうと思われる。これらの差から単位活性汚泥当たりの THM 生成率を求めると ART が短い条件では約 1.6~3.1 $\mu\text{g}/\text{mg}$ TOC であった。したがって、活性汚泥法処理水の THMFP の制御には MLSS の流出を少なくすることが効果があるものと思われる。また、処理水中の THMFP が最小になる ART は BAC 値が極大を示す ART でもあることは、活性汚泥法の凝集・吸着性を支配し、有機物除去性を支配する汚泥令が処理水の THMFP とも関係していることを示唆しているものと考えられる。

処理水汙過液では、ART が長くなるほど THM 生成率が高い。この処理水を G-25 セファデックスゲルを用いて Kd 値が 0.0~0.34 (G I), 0.37~0.56 (G II), 0.60~1.0 (G III) の三群に分画し、各画群の THM 生成率を求めた結果を示すと Fig. 4 のようであり、高分子

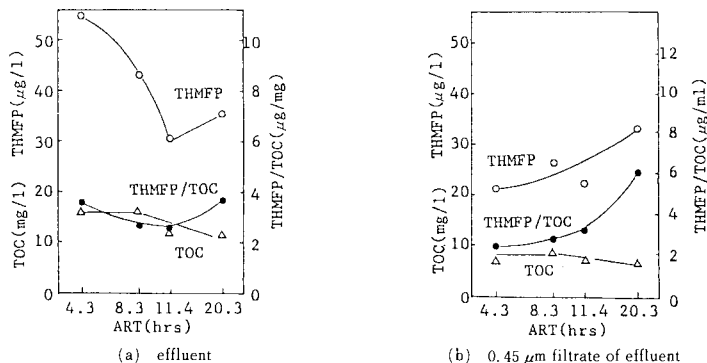


Fig. 3 Relationship between ART and THMFP, and THMFP/TOC of the effluent.

量の溶解性有機物の THM 生成率は ART に関係なくほぼ一定であるが低分子量の溶解性有機物のそれは ART が長くなると天然の植物由来のフミン質と同じ程度の THM 生成率⁷⁾となることが明らかとなった。これらのことより、基質とした澱粉が可溶化した有機物は THMF_P が低く、さらに分解されて低分子の活性汚泥の代謝排物として存在するようにまでなると THMF_P が高くなるものと考えられる。したがって、Fig. 3 に示す汙過液の THMF_P と ART の関係は、ART の短い条件下では澱粉の可溶化した有機物で THM を生成しない有機物の占める割合が高く、ART が長くなれば天然の植物由来のフミン質と類似した有機物の占める割合が高くなることを意味しているものと考えられる。

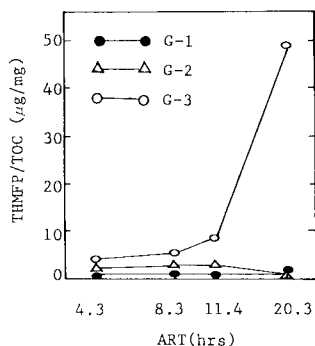


Fig. 4 Relationship between ART and THMF_P/TOC of fractionated components.

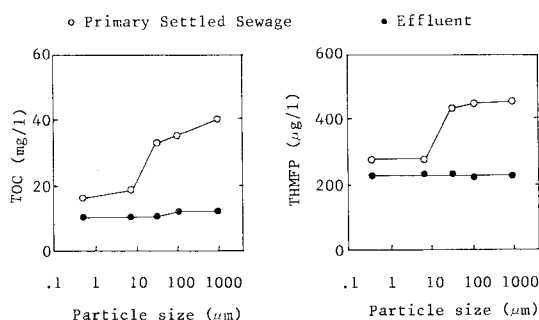


Fig. 5 Relationship between particle size and TOC, and THMF_P.

Table 2 The experimental conditions of the activated sludge reactors fed by primary settled municipal sewage and its filtrate of 8 μ m filter.

Sc (day)	T series			F series		
	Run No.	BOD Loading (g/g-day)	MLSS (mg/l)	Run No.	BOD Loading (g/g-day)	MLSS (mg/l)
16	5	0.15	2543±249	9	0.23	805±159
9	6	0.20	1836±279	10	0.32	580± 91
6	7	0.30	1258±284	11	0.52	355± 57
4	8	0.44	848± 94	12	0.71	258± 47

(2) 都市下水処理場での調査

家庭下水の占める割合が高い下水処理場の一次処理水と二次処理水をそれぞれふるいおよびメンブレンフィルターで汙過し、各汙液の TOC および THMF_P を測定した結果を Fig. 5 に示す。一次処理水の TOC は約 40 mg/l であり、そのうち 0.45 μ m 以下すなわち溶解性有機物は全体の 40 % を占めるにすぎない。二次処理水の TOC は約 12 mg/l であるが、95 % 以上が溶解性有機物である。したがって、TOC の除去率は 70 % であるが、懸濁性有機物の除去率は 92 %、溶解性有機物のそれは 38 % となり、活性汚泥法処理は見掛け上懸濁物質の除去が卓越していることになる。

一次処理水の THMF_P は約 460 μ g/l であり、そのうち溶解性 THMF_P は 270 μ g/l と 60 % を占める。二次処理水の THMF_P は 230 μ g/l であり、活性汚泥法処理の THMF_P 除去率は TOC 除去率に比べて低い 50 % であり、しかも Fig. 5 に示すように見掛け上懸濁性 THMF_P のみが除去されるため溶解性 THMF_P の除去率はきわめて低いということになる。これらのことより、都市下水を処理する活性汚泥法では、THM を生成しない有機物が選択的に除去されるか、あるいは有機物が活性汚泥の代謝作用により THM を生成しやすい溶解性有機物の占める割合が高くなるものと考えられる。特に一次処理水の THM 生成率が約 10 mg/g であるのに対して二次処理水のそれは約 20 mg/g にまで増加していることから、有機物の特性が変化しているものと考えられる。

(3) 都市下水を基質とする実験

前節で調査を行った処理場の一次処理水を採取し、これを前章に記した方法によって調整した下水を原水とする活性汚泥処理実験の各実験条件の定常状態における有機物負荷および MLSS 濃度も Table 2 に示す。また、各実験条件の原水および処理水の BOD 等一般水質項目の平均値を Table 3 に示す。

Table 3 General characteristics of the influent and the effluent.

Series/ Run No.	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	TOC (mg/l)	SS (mg/l)	pH
T	110	50	74	89	7.2
F	54	32	49	25	7.2
5	2.5	14.2	14.3	25	6.0
6	2.5	14.6	14.6	19	6.2
7	2.6	15.9	15.5	14	6.6
8	3.8	16.2	14.3	14	7.0
9	2.4	16.0	13.4	12	6.5
10	2.6	14.6	14.1	10	6.6
11	3.2	15.1	14.1	10	7.0
12	4.4	17.1	14.6	9	7.1

T,F: Influent 5-12: Effluent

懸濁性有機物を含む T 下水を原水とする Run 5~8 の有機物負荷は 0.15~0.44 kgBOD/kgSS・日と活性汚泥法の一般的な有機物負荷の範囲にあった。一方、8 μm のフィルターで濾過したため Table 3 に示すように SS が残存しているが、溶解性有機物の占める割合が高い F 下水を原水とする Run 9~12 では有機物負荷は 0.23~0.71 kgBOD/kgSS・日と T 下水の系列に比べて高い値となった。これは、F 下水系列の活性汚泥は主として溶解性有機物を基質として増殖したものであり、MLSS が Table 2 に示すように低い値にしか保持できなかったためである。しかし、処理水の水質はいずれの系列も同程度であり、しかも活性汚泥法の限界水質に近い値を示していることから、本実験は都市下水を処理する活性汚泥法としては良好な処理条件を設定していたものと思われる。

実験条件の指標とした θ_c 値は活性汚泥の比増殖速度の逆数であるので、処理水中の基質濃度を規定することになる⁸⁾。Table 3 に示すように、本実験結果でも活性汚泥微生物が代謝可能な有機物量の指標と扱い得る BOD については θ_c 値が小さくなるほど大きな値となっている。しかし、その他の水質項目については θ_c 値との間に BOD ほど明らかな傾向は認められない。これは、処理水中に残存する有機物が、原水中の基質で活性汚泥に利用されないうまま残存したいたものと、活性汚泥の代謝排物で微生物に分解されにくい有機物とから構成されているためと思われる。

Run 5~12 の原水について、TOC および色度と TOXFP との関係を図 6 に示すが、TOXFP は TOC および色度と高い相関があり、都市下水の TOXFP はその TOC あるいは色度をもって推定することが可能であるものと考えられる。

各実験条件における原水および処理水の有機ハロゲン化合物の前駆物質について生成量および生成率を図 7 に示す。懸濁性有機物を含む原水を処理した Run 5~8 (T 系列) の処理水の THMFP は θ_c 値にもかかわらず

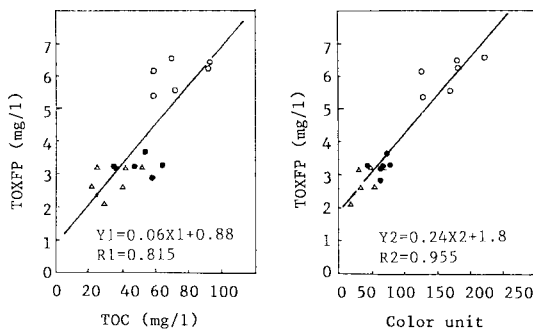


Fig. 6 Relationship between TOXFP and TOC, and color unit.

約 170 μg/l ではば一定の値を示し、その除去率は約 35% と下水処理場での調査で得られた約 50% より若干低い値であった。

懸濁性有機物を除去した原水を処理した Run 9~12 (F 系列) の処理水の THMFP は θ_c 値が大きくなるにつれて高くなる傾向がみられ、その除去率は Run 9 で約 35%、Run 12 で約 20% であった。THM 生成率については、いずれの実験でも原水に比べて処理水の方が高い値となっており、人工下水での実験結果や処理場の調査結果と同じ傾向が認められる。

本実験条件の原水および処理水について、それぞれの平均値を求めると Table 4 に示すとおりである。いずれの実験でも処理水の TOXFP は約 1350 μg/l であり、 θ_c 値あるいは懸濁性有機物の有無による差は認められない。しかし除去率では Run 5~8 が約 80% と Run 9~12 の約 60% に比べて高く、懸濁性有機物起因による

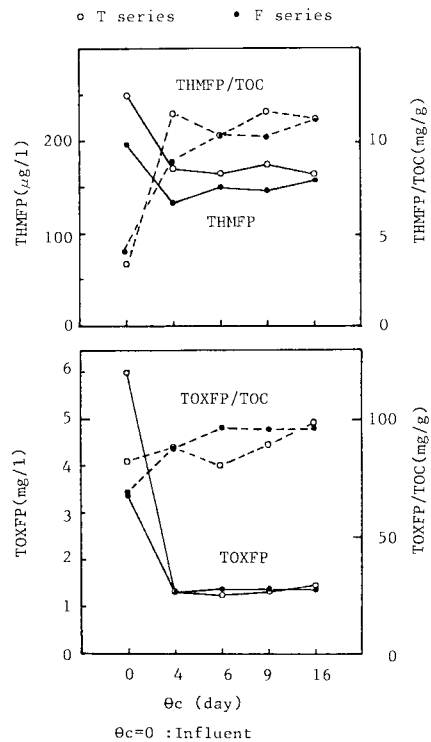


Fig. 7 Relationship between θ_c and THM & TOXFP of the influent and the effluent.

Table 4 Average THMFP and TOXFP of the influent and the effluent.

	Series	THMFP (μg/l)	TOXFP (μg/l)	THMFP/TOC (mg/g)	TOXFP/TOC (mg/g)	THMFP/TOXFP (%)
Influent	T	250	6030	3.33	81.5	4.1
	F	196	3380	4.00	69.0	5.8
Effluent	T	169	1340	11.6	92.5	12.6
	F	147	1360	10.5	96.9	10.8

TOXFP はほぼ完全に除去されていると思われる結果が得られた。

TOX 生成率は THM 生成率と同様に、処理水の方が原水より高くなっている。しかし、処理水の原水に対するそれぞれの増加した比率は THM 生成率で約 3.5 倍、TOX 生成率で約 1.1 倍である。また原水中の THMFPP の TOXFP に占める割合は平均 4.1 % であるが、処理水では平均 12.6 % と増加している。これらのことから、活性汚泥は見掛け上 TOXFP を除去する能力は高いものの THMFPP を除去する能力は低いものと考えられる。

原水および処理水の 0.45 μm メンブレンフィルター濾過液についてセファデックス G-25 によるゲル濾過を行ったところ、TOC、その他の水質項目についてはどの実験結果でも同じようなパターンであったのでその一例を Fig. 8 に示す。また、原水および Run 6, 10 の処理水の各画群ごとの TOXFP に対する THMFPP の割合を Table 5 に示す。低分子画分である Kd 0.6~1.0 の G III には原水中の Br イオンが分取される。相沢ら⁹⁾は有機物と塩素が反応する系に Br イオンが共存すると、生成する THMFPP は共存しない系に比べて多くなることがあると報告しているので、G III の THMFPP や TOXFP は Br イオンの影響を受けており、他の画群のそれと同一には比較できない。しかし、活性汚泥法処理によっても Br イオン濃度は変化しないので、処理前後の各画群ごとの THMFPP と TOXFP について比較することができる。すなわち、各画群でも先に記したように

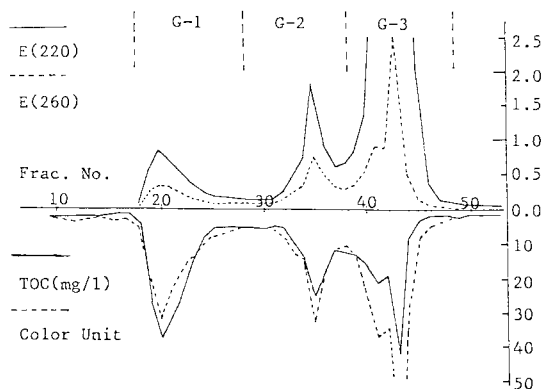


Fig. 8 Gel chromatogram of run 6 effluent.

Table 5 The ratios of THMFPP/TOXFP of fractionated components (%).

	Influent	Effluent	
		Run 6	Run 10
G-1	1.90	7.3	6.7
G-2	1.25	8.6	8.4
G-3	5.10	11.2	11.7

TOC, TOXFP の除去率に比べ THMFPP の除去率が低く、その結果 THMFPP/TOXFP の比率が高くなっている。相沢ら¹⁰⁾は TOXFP は高いが THM を生成しないかあるいはその生成量が少ない有機物は、脂肪族のアルデヒド類やカルボン酸および芳香族のベンゼンと不活性基をもつベンゼンモノ置換体であると報告しており、またこれらの有機物は生物分解性の指標として有効であるというオクタノール分配係数も高いので、下水中の有機物組成と活性汚泥の有機物除去特性からこのような結果が得られたものと思われる。しかし、澱粉を基質とした実験で明らかにしたように、活性汚泥微生物の代謝によって THM を生成するフミン質類似物質も同時に生成されていることも事実である。したがって、原水の有機物組成と活性汚泥微生物の代謝産物のいずれが処理水の THMFPP や TOXFP を規定しているかは、本実験では明らかにできないので、このことについてはさらに詳細な実験が要求されるものと考えられる。

曝気槽混合溶液およびそのメンブレンフィルター濾過液の THMFPP および TOXFP を測定し、それぞれの差より活性汚泥の THMFPP および TOXFP を求め、それぞれを MLSS で除して単位 MLSS 当たりの THMFPP および TOXFP を求めた結果を示すと Fig. 9 のようになる。すなわち、 θ_c 値が変化してもこれらの値は変化せず、いずれの系列でも THMFPP/MLSS が 0.84 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 、TOXFP/MLSS が 30.4 $\mu\text{g}/\text{mg}$ であり、宗宮ら^{11,12)}の報告した値とほぼ一致した結果が得られた。この実験条件の処理水 BOD は低く活性汚泥法処理の限界条件に近いので、処理水の有機物は微生物に分解されない有機物、すなわち天然のフミン質に類似した有機物の占める割合が高くなったため θ_c 値の影響を受けなかったためと思われる。原水について単位 SS 当たりの THMFPP を求めると 0.67 $\mu\text{g}/\text{mg}$ であり、曝気槽内の SS すなわち活性汚泥より低い値を示しており、活性汚

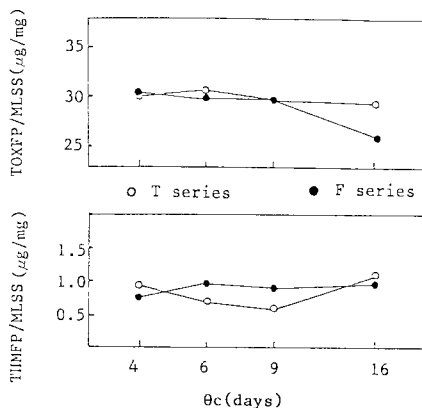


Fig. 9 Relationship between θ_c and THMFPP/MLSS, and TOXFP/MLSS.

泥中にも原水に比べて THM を生成するような代謝物質の占める割合が高くなっていったと思われる。

Table 4 に示すように原水中の懸濁性の有機物質に起因する THMFP は T 原水と F 原水の THMFP の差 54 $\mu\text{g}/\text{l}$ であり、原水中の懸濁性の有機物質が活性汚泥微生物の反応を受けて生成した物質に起因する THMFP は T 系列処理水と F 系列処理水の THMFP の差 22 $\mu\text{g}/\text{l}$ である。したがって、懸濁性の有機物質に起因する THMFP の除去率を求めると 59 % となり、溶解性有機物についてのその除去率 25 % に比べて高い値となった。これは処理場における結果とも一致し、活性汚泥法は懸濁性有機物質の THMFP を除去する機能は有しているものの、溶解性有機物の THMFP を除去する機能は低いことが明らかである。

4. おわりに

澱粉を基質とする活性汚泥法処理実験、下水処理場の調査および都市下水を基質とする活性汚泥法処理実験で得られた結果をまとめると次のようになる。

活性汚泥法では THM あるいは TOX を生成しない有機物を活性汚泥微生物が代謝する過程で THM や TOX を生成する有機物、すなわち前駆物質が生成される。それらは活性汚泥自体にも処理水自体にも存在し、その生成量は活性汚泥に対する有機物負荷が小さいほどすなわち汚泥令が長いほど多くなる傾向がある。

都市下水中の有機ハロゲン化合物の前駆物質は、懸濁性物質と溶解性物質から成っており、活性汚泥法は懸濁性前駆物質を除去する機能は高いものの溶解性前駆物質を除去する機能は低い。しかし、活性汚泥は THM や TOX を生成しない BOD で示されるような微生物分解性の有機物質の除去能はきわめて高い。したがって処理水中には THM や TOX を生成しやすく、微生物には分解されにくい有機物が残存するとともに、活性汚泥が生物分解性有機物を代謝する過程で前駆物質を排出するので、処理水中には前駆物質の占める割合が高く、TOC 当たりの THM あるいは TOX 生成量も高くなる。すなわち、原水より処理水の THM 生成率あるいは TOX 生成率は高くなる。

活性汚泥の THM 前駆物質除去性と TOX 前駆物質除去性とを比べると TOX 前駆物質の除去性が高い。この理由としては TOX 前駆物質が THM 前駆物質に比べて一般に親水性が強いため生分解性が高いためと考えられるが、今後の検討課題としたい。

活性汚泥法処理水中の溶解性有機物質の THM 生成率は、原水中の生物分解性有機物の除去がほぼ限界と思われる条件下でも約 10 $\mu\text{g}/\text{mgTOC}$ である。一方、下水中の懸濁性有機物や活性汚泥自体も単位 SS (mg) 当

たり約 1 μg の THM を生成する。標準的な活性汚泥法処理は、曝気槽滞留時間や汚泥令が最も短い状態で最大の BOD 除去率と処理水 SS を最小にするよう設計や運転がなされている。これは活性汚泥の処理水への流出を少なくする条件であるから、活性汚泥法における THM および TOX 前駆物質を除去するための最も効率の高い限界条件に近いものと考えられる。しかし、積極的に処理水中の前駆物質を低減化しようとする場合には、汚泥処理工程特に消化プロセスを有する汚泥処理工程からの返送水には生物の代謝排物すなわち前駆物質が多量に存在することになるので、下水処理工程と汚泥処理工程を分離することや、標準活性汚泥法の機能を補完する物理化学的処理を後置することを検討する必要があるものと考えられる。

本研究を行うにあたり、適切なご指導と多大な援助を賜った都立大学工学部川口士郎教授ならびに国立公害研究所合田 健部長には心から御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 山田春美・宗宮 功：活性汚泥法終末処理場における有機ハロゲン化合物前駆物質および低沸点有機ハロゲン化合物の挙動，水質汚濁研究，Vol. 7, No. 4, pp. 239~248, 1984.
- 2) 山田春美・宗宮 功：活性汚泥に係わる有機塩素系化合物前駆物質量，水質汚濁研究，Vol. 8, No. 4, pp. 223~232, 1985.
- 3) Koczwara, M. K. et al. : Formation of organic chlorine in activated sludge effluent, W. R., Vol. 17, No. 12, pp. 1863~1869, 1983.
- 4) 真柄泰基・南部特一：活性汚泥の沈降性を支配する生物化学的因子に関する研究，下水道協会誌，Vol. 11, No. 126, pp. 5~11, 1974.
- 5) 丹保憲二・亀井 翼：生物分解性有機物の代謝にともなう低沸点有機塩素化合物前駆物質の生成，土木学会衛生工学委員会，「低沸点有機塩素化合物の生成要因物質の制御に関する研究」報告書，1983.
- 6) 厚生省水道環境部水道整備課：水道における総トリハロメタン対策，水道協会誌，No. 561, pp. 76 ~ 85, S. 56. 6.
- 7) 相沢貴子・真柄泰基：トリハロメタン生成特性からみた水質評価—天然有機着色水—，水質汚濁研究，Vol. 3, No. 4, pp. 199~206, 1980.
- 8) Michael Saunders, F. and Dick, R. I. : Effect of mean cell residence time on organic composition of activated sludge effluents, J. WPCF, Vol. 53, No. 2, pp. 201~215, 1981.
- 9) 相沢貴子・鈴木信司・真柄泰基：トリハロメタン生成に及ぼす臭素イオンの影響，第 18 回衛生工学研究討論会講演集，pp. 247~252, 1982.
- 10) 相沢貴子・長谷川一夫・足立幸子・真柄泰基：塩素処理による有機化合物の全有機塩素化合物 (TOCl) 生成特性，水質汚濁研究，Vol. 7, No. 2, pp. 36~45, 1984.

(1985. 6. 14・受付)