

< 論文 >

トリハロメタン生成能自動分析計

Automatic Trihalomethane Formation Potential Analyzer for Water Samples

川上幸次

富士電機アドバンステクノロジー株式会社*

Kouji Kawakami

Fuji Electric Advanced Technology, Ltd.

Abstract

Trihalomethane formation potential (THMFP) is one of the important water quality indices on organic pollutions in the resources of drinking water, industrial wastewaters and others. The official method for THMFP determination, however, is a manual analysis that requires special skill and a long pre-treatment time for reaction between chlorine and organic substance in the water samples. A chlorination unit was developed to accelerate the chlorination reaction, and an automatic THMFP analyzer was constructed by coupling the unit and the THM measurement unit previously developed by us. The principle of the analyzer was a fluorometric detection after separation of THM with membrane tube (?).

The chlorination conditions such as dependency of temperature and concentration of the effective chlorine were investigated and the performance of THMFP analyzer was also evaluated. The results showed that the analyzer gave a good calibration curve ($r=0.9999$) and reproducibility (1.5%). The correlation coefficient between the values by this analyzer and those by the official method was more than 0.9, that was the best compared with the coefficients between values by the official method and those of the other water quality indices such as E260, TOC and COD.

It was concluded that the new automatic THMFP analyzer was applicable to continuous monitoring of THMFP in water samples.

Key Words : trihalomethane (THM), trihalomethane formation potential (THMFP), automatic measurement

1 はじめに

トリハロメタン (THM) は浄水プロセス中の塩素処理によって、水道原水中の有機物と塩素の化学反応により生成する消毒副生成物の1種で、水道水質規制項目の一つとなっている。水道原水の有機汚濁が進む都市圏の浄水場ではこれら THM を含む消毒副生成物の生成量を低減するため、粉末活性炭の注入、オゾン処理の導入など様々な対策が講じられている。しかしながら、これまで消毒副生成物の生成に寄与する有機汚濁量を正確にかつ自動的に測定する分析計が開発されていないため、降雨時など浄水場に流入してくる水道原水の有機汚濁量が短時間に大きく変化する場合、上記対策において粉末活性

炭あるいはオゾンの適正な注入量をリアルタイムで把握することは困難であった。

また、平成6年の水源二法(水道原水水質保全事業の実施の促進に関する法律および特定水道利水障害の防止のための水道水源水域の水質の保全に関する特別措置法)の施行以来、水道水源および産業排水等の有機汚濁指標として、トリハロメタン生成能(THMFP)の測定が重要視されつつある。THMFPとは一定条件下で試料水の塩素処理(前処理)により生成するTHM量のこと、フミン質などTHM前駆物質の指標となるものである。しかしTHMFPを求めるための公定法(上水試験方法)は手分析であり、操作が煩雑な上、熟練度と長い前処理時間に起因する長時間の分析時間が必要などの課題があり、リアルタイムの監視には不向きである。したがって、

*〒240-0194 神奈川県横須賀市長坂2-2-1

これまで THMFP を予測あるいは THMFP を代替する水質指標として、E260 (波長 260nm における吸光度)、TOC (全有機炭素)、COD-Mn (過マンガン酸カリウム法による化学的酸素要求量) などが用いられているものの、その測定対象の違いや THMFP 公定法との相関性が低い場合がある等の理由から、必ずしも有効活用されているとは言えない状況となっている。

一方、筆者らは膜分離-蛍光計測法を測定原理とし、水道水中の総 THM を自動かつ連続計測可能な THM 分析計¹⁾を既に開発済みである。

本研究では、試料水と塩素を急速に反応させ THM を加速生成させる塩素反応加速部を新たに開発し、上記 THM 分析計に組み合わせることで、THMFP を迅速かつ簡便に自動測定する装置 (THMFP 計) の開発を行うことを目的とした。今回、試作した THMFP 計を用いて主に以下の検討を行ったところ、良好な結果を得たので報告する。

- (1) THMFP 計の塩素反応加速部における塩素反応加速条件の決定
- (2) 上記 (1) で決定した塩素反応加速条件を適用した THMFP 計における基本性能 (検量線と再現性) および公定法との相関性の確認

2 実験装置および方法

2.1 試薬

塩素反応加速条件の検討用標準試料として、フミン酸ナトリウム塩 (Aldrich 製) を超純水中で超音波分散の上、溶解し、ろ過径 $1\mu\text{m}$ のガラス繊維ろ紙でろ過したろ液を適宜超純水で希釈して調製したフミン酸標準液を用い、特に断らない限り、その濃度は 10mg/L (TOC 4mg/L 相当) とした。

また、塩素剤は次亜塩素酸ナトリウム溶液 (和光純薬工業製、約 10%) を標定後、適宜希釈して用いた。なお、塩素反応加速条件の検討時における反応液中の有効塩素濃度の測定は、DPD 法 (ジエチル-p-フェニレンジアミン法) による吸光分析を測定原理とするポケット残留塩素計 (Hach 製) にて実施した。

一方、THM 分析計にて使用する試薬として、反応剤であるニコチン酸アミドは石津製薬製の特級を、水酸化ナトリウムおよび残留塩素を分解する還元剤の硫酸ヒドラジンは和光純薬工業製の特級を、さらに校正用のメタノール希釈クロロホルム標準液は和光純薬工業製のトリハロメタン測定用を用い、適宜超純水に溶解して使用した。

ここで超純水は日本ミリポア社製の超純水製造装置により、水道水を $0.45\mu\text{m}$ ミクロフィルタでろ過後、イオン交換し、さらに逆浸透膜でろ過後、UV 分解し残留有機物濃度を数 $10\mu\text{g/L}$ 以下としたものを用いた。

2.2 装置の構成および測定原理

Fig.1 に今回試作した THMFP 計の構成とフロー図を示す。

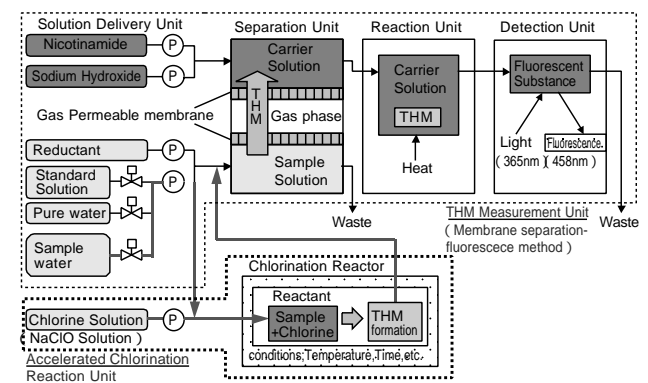


Fig.1 Flow diagram of the THMFP analyzer

装置は2つのユニット、すなわち THM 分析計 (THM 計測部) と塩素反応加速部で構成されている。

THM 計測部¹⁾は筆者らが既に開発済みの膜分離-蛍光計測法により水中の THM を検出するユニットである。このユニットでは、水中の残留塩素を還元剤 (硫酸ヒドラジン) で分解後、THM を膜分離し、キャリア液 (ニコチン酸アミドと水酸化ナトリウムの混合液) との反応で生成する蛍光物質の蛍光強度を測定することにより、水中の総 THM 濃度を間接的に求めることができる。ここで、ニコチン酸アミド水溶液、水酸化ナトリウム水溶液および硫酸ヒドラジン水溶液の流量は各 0.45mL/分 で、試料水 (THM 計では水道水など浄水が対象) の流量は 3mL/分 である。

一方、塩素反応加速部は、水道原水などの試料水 (THM 計と同様、流量は 3mL/分) と高濃度塩素 (次亜塩素酸ナトリウム溶液を使用し、流量は 0.45mL/分) の混合液を塩素反応器にて高温で反応させることにより、短時間で安定した THM 生成を実現するユニットである。ここで用いる塩素反応器は、一定水温に制御可能なウォーターバス中に反応管として、一定の反応時間となるよう長さを調節した PTFE 管 (形状:らせん状コイル, サイズ:内径 3mm × 外径 5mm , 管内を流れる液の流量:約 3.5mL/分) を浸漬したものを用いた。

したがって、本研究では塩素反応加速部で生成する THM を THM 計測部で測定することで、総 THMF の自動測定が可能か検討することにした。

2.3 塩素反応加速条件の検討方法

Tab.1 に示す通り、THMF の公定法(上水試験方法)における塩素処理は手操作によるもので、前処理時間としての反応時間だけでも約 1 日と長時間を要する上、試料の水質によって必要な塩素濃度を数段階に変更する必要があるなど、煩雑である。

Tab.1 Analytical conditions of official THMF method in Japan

Chlorination Reaction Conditions	Procedure	Manual
	pH	pH7±0.2
	Temp	20°C
	Time	24±2 hours
Measurement Conditions	Chlorine Conc.	residual chlorine 1-2 mg/L after reaction (unfixed)
	Procedure	Manual
	Pre-treatment Time	Necessary (1hr at 20°C, pH7) about 30 minutes ~1 hour
Total Time of Measurement		About 2 days

本研究では、THMF 計という装置の制約の中で、より短時間で安定した塩素反応を行わせるための条件として、pH、温度、時間、塩素濃度の 4 項目を選び、以下の要領で、検討を行うこととした。

(1) 反応液の pH

Fig.1 に示す THMF 計の塩素反応加速部において、当初、リン酸緩衝液などの pH 緩衝液を新たに導入し、反応液(試料水と次亜塩素酸ナトリウム溶液の混合液)の pH を一定にすることを試みたが、次亜塩素酸ナトリウム溶液のアルカリ性の影響が大きく、特に酸性～中性の領域で目的の pH に調整することは困難であった。

そこで今回、上記の制約の中、試料水が反応液の pH に及ぼす影響、アルカリ性側での反応性について検討した。

(2) 反応温度

試料水と塩素の反応温度は高いほど、試料水中の有機物等の反応種と塩素の反応が加速され、安定かつ迅速に THM が生成されることが推測される。

しかし、反応容器である塩素反応加速部の塩素反応器

はウォータバス形式ながら完全密閉されているため、安全性を考慮してバス中の水が沸騰する温度以下で、一定水温となるよう制御することが望ましい。

したがって、ここでは上記塩素反応器の温度を 20~90°C の範囲で一定に制御し、試料水と塩素の反応温度を所定の温度となるよう調整し、生成した THM 量の安定性等の点より最適な温度を決定した。

(3) 反応時間

浄水場等の現場での水質管理上の点で、自動分析計の測定時間および測定周期は 1 時間以内であることが望まれている。

したがって、THMF 計における THM 計測部での所要時間が約 50 分であることから、全測定時間を 1 時間以内とするためには塩素反応時間を 10 分以内とする必要がある。

ここでは、塩素反応加速部における塩素反応器内の PTFE 反応管の長さを変更することで、試料水と塩素との反応時間を 2~10 分となるよう調整し、生成した THM 量の安定性等の点より最適な時間を決定した。

(4) 反応塩素濃度

反応塩素濃度は、次亜塩素酸ナトリウム溶液自身の塩素濃度ではなく、実際には試料水と次亜塩素酸ナトリウム溶液を混合させた液の塩素濃度となる。

すなわち、次亜塩素酸ナトリウム溶液の塩素濃度を $C_{Cl(Cl_2)}[w/v\%]$ 、混合液の塩素濃度を $C_{Cl(Mixture)}[w/v\%]$ とすると、試料水の流量が 3mL/分、次亜塩素酸ナトリウム溶液の流量が 0.45mL/分であるから、反応塩素濃度は

$$C_{Cl(Mixture)} = (0.45/3.45) \cdot C_{Cl(Cl_2)} \quad (1)$$

と表される。つまり、所望の反応塩素濃度に調整するためには式(1)より、その約 8 倍高濃度の次亜塩素酸ナトリウム溶液を調製し使用する必要がある。

一方、Fig.1 に示すとおり、THM 分析計の場合と同様、THMF 計においても塩素反応加速部で試料水と塩素が反応後、THM 計測部の分離部に導入される前に、試料水中に残留した塩素は、還元剤の硫酸ヒドラジンにより分解される。しかし、硫酸ヒドラジンの水への溶解度は比較的 low、冬季の気温低下時を考慮し、現状 1w/v% としているが、上記のように高濃度塩素を使用し、かつ残留塩素濃度が高くなる場合には完全に塩素を分解しきれない可能性がある。

したがって、ここではまず、1%硫酸ヒドラジン溶液で完全に塩素を分解可能な理論上の最大反応塩素濃度を求め、その濃度以下で生成した THM 量の安定性等の点より最適な反応塩素濃度を決定した。

3 結果および考察

3.1 最適な塩素反応加速条件の決定

(1) 反応液の pH

過去の研究²⁾⁻⁴⁾においてバッチ試験ながら試料水と塩素溶液の反応において、pH を酸性側からアルカリ性側に变化させたときの生成 THM 量 (THMF_P) への影響が調査されており、試料水がフミン酸標準液および水道原水のいずれにおいても、その THMF_P 値は pH10 付近で極大を示す結果が得られている。

今回、試料水をブランク水 (超純水) とした場合の反応液の塩素濃度 (2.3 (4) の式 (1) を参照) が 0.01 ~ 0.1w/v% のときの反応液の pH は、10.3~10.6 とおおよそ 10 となった。また、pH 緩衝能を有するため、反応液 pH を大きく変化させる可能性がある、塩類や炭酸イオン等を含む水道原水についても、上記反応液の pH がどのように変化するか調べた。すなわち、関東主要水道原水 (荒川、多摩川、江戸川、中川、印旛沼) を 1999 年秋期および 2000 年春期の 2 回採水し、反応塩素濃度が 0.05w/v% の場合の反応液の pH を測定したところ、9.6~10.2 と変化幅は大きくなったものの、約 10 という結果が得られた。

以上の結果から、試料水の pH が水質基準 (5.8~8.6) より大きく逸脱するか、あるいはその pH 緩衝能が極めて高いなどの特殊な場合を除き、THMF_P 計の塩素反応加速部において、その反応液の pH はあえて調整しなくても、アルカリ性の次亜塩素酸ナトリウム溶液の影響で、約 10 でほぼ一定となることがわかった。

したがって、上述のとおり過去の研究で得られた最適な pH と同じ結果が得られたため、ここでは THMF_P 計における反応 pH を約 10 とした。

(2) 反応温度

THMF_P 計は塩素反応加速部で生成した THM 量を THM 計測部で蛍光強度 (単位: Volt) として検出している (Fig.1)。

この際、1 測定につきブランク強度とサンプル強度を取得している。

ブランク強度は、装置のゼロ出力として取得するデータで、試料水がブランク水 (超純水) のときに得られる蛍光強度をさす。

一方、サンプル強度は、試料水がフミン酸標準液あるいは水道原水等の実サンプルのときに得られる蛍光強度から上記ブランク強度を差し引いた蛍光強度をさす。

THMF_P 計では予め THM 濃度が既知の校正液 (クロロホルム標準液) により取得したサンプル強度と、試料水の測定時得られるサンプル強度の比較により、生成した THM 量を算出する。

Fig.2 は、THMF_P 計の塩素反応加速部における反応温度に対して、ブランク強度 [B]、サンプル強度 [S] (ここでは 10mg/L フミン酸標準液) およびその比 (S/B) をプロットしたものである。

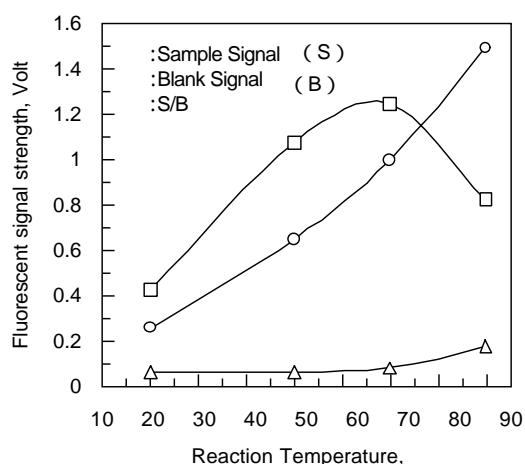


Fig.2 Effects of reaction temperature on fluorescent signal strength determined by THMF_P analyzer (Conc. of reaction chlorine: 0.05%, reaction time: 10min, Blank: pure water, and Sample: 10mg/L humic acid solution)

Fig.2 より、温度上昇 (20~90°C) とともに THM 生成量に相当するサンプル強度は増大することがわかる。一方、ブランク強度は 70°C 付近まではゼロに近い低い数値で安定していたが、70°C を超えると急激に増加した。この結果、サンプル強度とブランク強度の比 (S/B) はほぼ 70°C で極大を示した。したがって、装置における測定の安定性の点で、70°C を最適反応温度とした。

なお、ブランク強度が完全にゼロとならない原因および 70°C 以上で急激に増加する原因は、次亜塩素酸ナトリウム溶液中に微量に存在する有機物もしくは THM 前駆物質が塩素反応時にブランク THM を生成させる元となっていることと、70°C 以上の高温時には塩素反応がよ

り加速され、THM 生成量が増加するためと推測された。

(3) 反応時間

Fig.3 は THMFP 計の塩素反応加速部における塩素反応時間に対して、生成した THM 濃度をプロットしたものである。

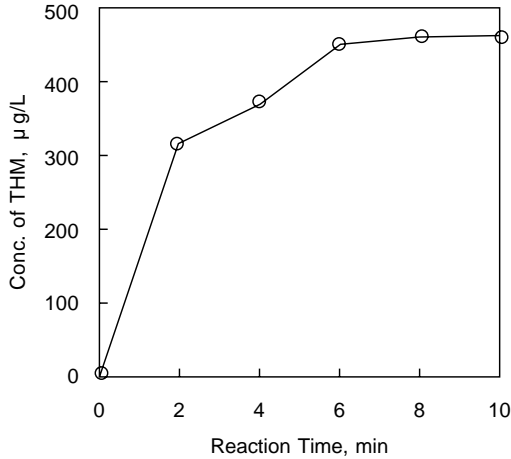


Fig.3 Effects of reaction time on THM formation (Conc. of reaction chlorine:0.05%, reaction temperature: 70°C, and sample: 10mg/L humic acid solution)

Fig.3 より 6~10 分で測定値は安定したが、配管（反応コイル）内反応液の置換時間は短かいほど良いので、最適反応時間を 6 分とした。

(4) 反応塩素濃度

まず、1%硫酸ヒドラジン溶液で完全に塩素を分解可能な、理論上の最大反応塩素濃度 $C_{MAX(CL_2)}$ を求めた。すなわち、塩素は試料水との反応で消費されず、100%残留して還元剤と混合されるものと仮定し、硫酸ヒドラジン ($NH_2NH_2 \cdot H_2SO_4$, $MW \doteq 130$) と塩素 (Cl_2 , $MW=71$) は各々 2 価の還元剤と酸化剤のため 1:1 で反応することから、各々の濃度を C_{HS} , $C_{CL_2}[w/v\%]$ 、また各々のモル数を M_{HS} , $M_{CL_2}[mol]$ とすると、

$$\begin{aligned}
 C_{MAX(CL_2)} &= C_{HS} \cdot (0.45mL/3.45mL) \\
 &\quad \cdot (M_{CL_2}/M_{HS}) \\
 &= 1 \cdot (0.45/3.45) \cdot (71/130) \\
 &\doteq 0.07[w/v\%] \tag{2}
 \end{aligned}$$

より、約 0.07%と求まる。したがって、反応塩素濃度の検討範囲をこの濃度以下の 0~0.06w/v%とした。

Fig.4 は、試料水が 10mg/L フミン酸標準液 ($TOC \doteq 4mg/L$, THMFP 公定法値 $\doteq 250\mu g/L$) の場合に、THMFP 計の塩素反応加速部における反応塩素濃度に対して、生成した THM 濃度をプロットしたものである。

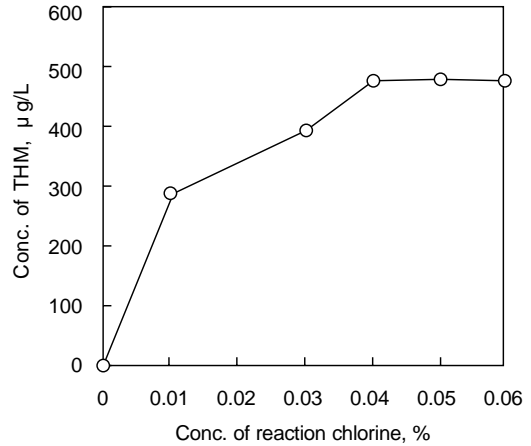


Fig.4 Effects of conc. of reaction chlorine on THM formation (Reaction temperature: 70°C, reaction time: 6min, and sample: 10mg/L humic acid solution)

Fig.4 より、反応塩素濃度が 0~0.04w/v% の場合は、試料水 (10mg/L フミン酸標準液) に対し塩素が不十分なため、塩素濃度に依存した結果が得られた。また、反応塩素濃度が 0.04~0.06w/v% の場合は、試料水に対し塩素が過剰に存在するため、生成した THM 濃度は安定することがわかった。

したがって、今回、反応塩素濃度は上記の反応安定領域 (0.04~0.06w/v%) の中央値として、0.05w/v%とした。

ここで、この 0.05w/v% は、最適濃度ではなく、試料水中の有機物等の塩素消費成分の濃度が高い場合には、塩素濃度が不足するため、上記と同様、塩素濃度に依存した不安定な THM 生成となってしまう可能性がある。この対策としては、試料水を予め純水で希釈した上で反応させるか、還元剤の高濃度化あるいは変更により、式 (2) で求めた最大反応塩素濃度 $C_{MAX(CL_2)}$ を引き上げる必要がある。

以上の検討結果より決定した塩素反応加速条件を Tab.2 に示す。

この結果より、従来の THMFP 公定法における塩素処理条件 (Tab.1) に比べ、THMFP 計において塩素処理 (前処理) の迅速化・簡便化を実現することが可能となった。

Tab.2 Determined Conditions of the accelerated chlorination reaction

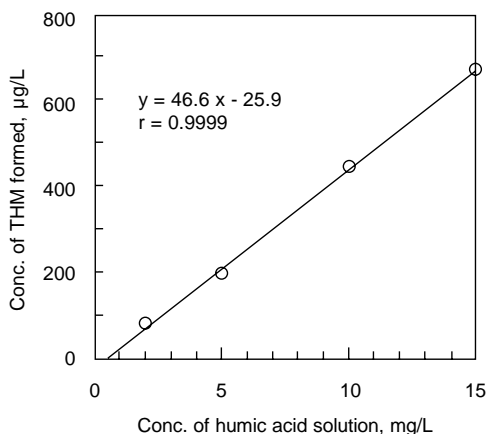
Reaction pH	about 10
Reaction Temp.	70 °C
Reaction Time	6minutes
Conc. of Reaction Chlorine	0.05%

3.2 THMFP 計の性能評価

上記 3. 1 で決定した最適塩素反応加速条件を用いて、THMFP 計の評価を実施した。

(1) 基本性能 (検量線, 繰返し再現性) の評価

2, 5, 10, 15mg/L に調製したフミン酸標準液を試料水として用いて得られた THMFP 計の検量線 (標準液の濃度に対する装置の出力特性) は Fig.5 のように良好な直線性を示した。

**Fig.5** Calibration curve for THMFP Analyzer

また, Tab.3 より, THMFP 計にて, 10mg/L フミン酸標準液を用いて, 生成した THM 量を 5 回繰返し測定した結果についても, 変動係数 (Coefficient of Variation; C. V.) が 2% 以下という良好な再現性を得た。

以上の結果から, THMFP 計は良好な基本性能を有していることがわかった。

(2) THMFP 計と THMFP 公定法の相関関係の確認

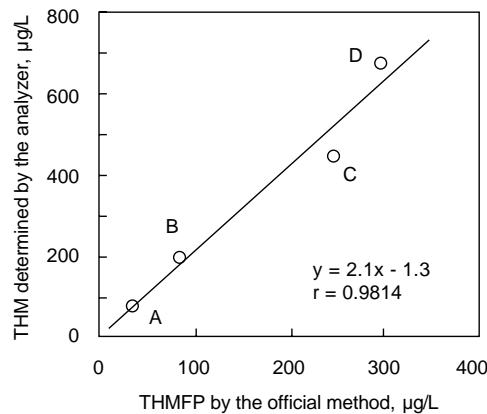
1) フミン酸標準液による相関関係

2, 5, 10, 15mg/L に調製したフミン酸標準液を各々, THMFP 計と THMFP 公定法で測定し得られた両者の相関を Fig.6 に示す。

Fig.6 より, 標準試料水について両者の相関係数は 0.9 以上となり, 高い相関があることを確認した。なお, そ

Tab.3 Measurement reproducibility of the THMFP Analyzer (sample : 10mg/L humic acid soln.)

	Conc. of THM formed
1st	458µg/L
2nd	446µg/L
3rd	441µg/L
4th	440µg/L
5th	453µg/L
mean	448µg/L
std. dev	6.79
C. V.	1.5%

**Fig.6** Correlation between THMFP by the official method and THM determined by the THMFP analyzer (sample : humic acid solution, conc. in A, B, C, D : 2, 5, 10, 15mg/L, respectively)

の 1 次回帰式の傾きは 2.1 であった。

2) 実試料による相関関係

実試料として, 関東の主要な水道原水となっている 4~5ヶ所の河川・湖沼水を選び, 1999 年秋期および 2000 年春期の 2 回にわたり採水した。ここで THMFP 計の配管目詰りを防止するため, フミン酸標準溶液と同様, ろ過径 1µm のガラス繊維ろ紙でろ過した後のろ液を試料水とした。

これら実試料を各々, THMFP 計と THMFP 公定法で測定し得られた両者の相関を Fig.7 に示す。

Fig.7 より, 実試料についても両者には相関係数 0.9 以上の高い相関があることがわかった。なお, その 1 次回帰式の傾きは 2.4 であった。

以上の結果より, フミン酸標準液, 実試料とも THMFP 計と THMFP 公定法の両者における相関は良好で, しかもその 1 次回帰式の傾きが, フミン酸標準液で 2.1, 実試料で 2.4 とほぼ等しい値となり, 公定法の約 2 倍が THMFP 計での測定値となることがわかった。

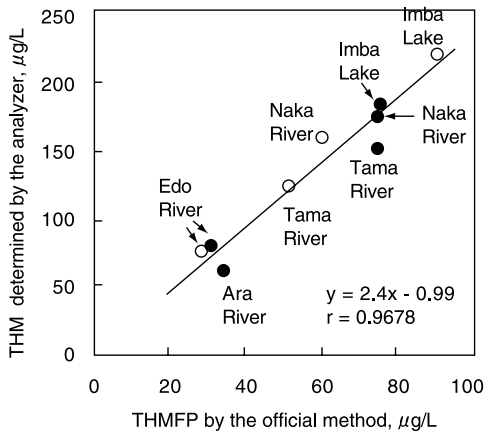


Fig.7 Correlation between THMFP by the official method and THM determined by the THMFP analyzer (sample:surface water , Fall in 1999 (○) and Spring in 2000 ())

以上のことから、試料水の水質によらず、THMFP計の測定値からTHMFP公定法による測定値を精度良く推定できることがわかった。

3.3 他の有機汚濁指標とTHMFP公定法の相関関係の確認

ここでは参考のために、THMFP代替指標としてこれまでよく使用されてきている、E260、TOC、COD-Mnの3つの水質項目についても、3.2(2)の2)と同じ実河川水を用いて、THMFP公定法との相関性を把握し、THMFP計における相関性の結果と比較した(Fig.8-1~8-3)。

Fig.8-1~8-3より明らかのように、上述3.2(2)の2)のTHMFP計の場合と異なり、いずれの指標についてもTHMFP公定法との相関は低く、結果として、THMFP計とTHMFP公定法の相関が最も良かった。

この原因は、E260は不飽和二重結合を有する有機物の紫外線吸収量、TOCは全有機炭素の燃焼により生成するCO₂ガスの赤外線吸収量、およびCODは有機物の酸化剤(過マンガン酸カリウム)による化学的酸素消費量を、各々測定するものであり、いずれもTHMFP公定法と比べ、測定対象の有機物が大きく異なるためと考えられる。したがって、水道原水など試料水の水質変動が激しい場合などは、これらの指標からTHMFP公定法値を精度良く推定することは困難であった。

以上の検討結果からもTHMFP計による測定値がTHMFP公定法値を推測する上で他の指標に比べ有利であることが検証できた。

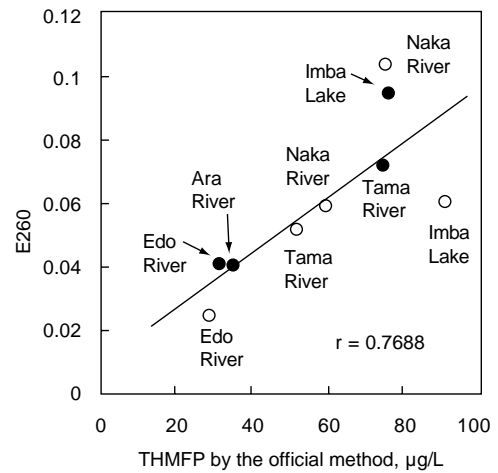


Fig.8 1. Correlation between THMFP by the official method and E260 (samples:surface water , Fall in 1999 (○) and Spring in 2000 ())

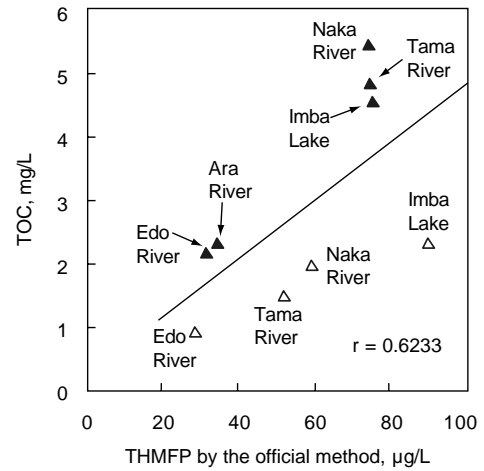


Fig.8 2. Correlation between THMFP by the official method and TOC (samples:surface water , Fall in 1999 (△) and Spring in 2000 ())

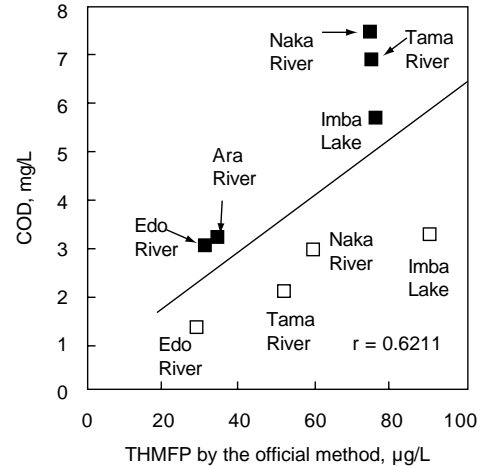


Fig.8 3. Correlation between THMFP by the official method and COD (samples : surface water , Fall in 1999 () and Spring in 2000 ())

4 まとめ

水道原水等の THMFP を迅速かつ簡便に測定するため、筆者らが既に関済済みの THM 分析計に塩素反応加速部を組合せて試作した THMFP 計を用いて、① 塩素反応加速条件の決定、および② 決定した塩素反応加速条件を適用した THMFP 計の性能評価を行なった結果、以下の結論を得た。

- (1) 標準試料 (10mg/L フミン酸標準液) を主に用いた塩素反応加速条件の検討の結果、装置の制約条件も考慮し、反応 pH 約 10, 反応温度 70°C, 反応時間 6 分, 反応塩素濃度 0.05w/v% という反応条件を決定した。これより THMFP 公定法の塩素処理条件に比べ、大幅な迅速化、簡略化を達成した。
- (2) THMFP 計の基本性能 (検量線, 繰返し再現性) および実試料による THMFP 公定法との相関関係はと

もに良好であり、公定法の代替測定手段として他の有機汚濁指標より相関が良い自動モニタリングが可能であることを確認した。

今後の課題は、実フィールドでの連続測定実施による性能評価と改良を行うことである。

[参考文献]

- 1) 川上幸次ら：“トリハロメタン自動分析計による水道水の測定”，第 4 回環境システム自動計測制御国内ワークショップ論文集，pp.262~265 (1992)
- 2) 梶野勝司：“塩素処理におけるトリハロメタンの形成”，水道協会雑誌，Vol. 514, No.7, pp.17-36 (1977)
- 3) 富田伴一ら：“塩素処理により生じる飲料水中のクロロホルムの生成因子について”，水処理技術，Vol. 20, No.2, pp.153-156 (1979)
- 4) 佐谷戸安好ら：“低沸点有機塩素化合物の生成機構に関する研究 (I)”，水質汚濁研究，Vol. 5, No.1, pp.27-34 (1982)

(受付 2003. 10. 7)

(受理 2003. 12. 5)