

表6 浄水の全試料における最大値、最小値、平均値、中央値(mg/l)

	TOC	TTHM	HA c	UV260	水温	KMnO4
データ数	645	361	181	275	757	118
最大値	1.80	0.07	0.05	0.14	29.90	2.30
最小値	0.00	0.00	0.00	0.002	0.80	0.47
平均値	0.67	0.01	0.01	0.03	17.28	1.19
中央値	0.60	0.01	0.01	0.03	17.90	1.20
幾何平均	—	—	—	0.00	—	1.14
90%タイル	1.10	0.02	0.02	0.05	24.80	1.60

②浄水の全有機炭素と消毒副生成物との相関性

浄水における TOC に対する他の化学指標との相関性は表7に示すように、総トリハロメタンでは相関係数 0.488、ハロ酢酸では 0.525 を示した。一方、KMnO4 消費量に対する他の指標との相関性は、総トリハロメタンでは相関係数 0.016、ハロ酢酸

では 0.499、UV260 では-0.810 を示した。また、UV260 と総トリハロメタンとの関係では、0.470、UV260 とハロ酢酸では 0.073 であった。総トリハロメタンとハロ酢酸では 0.530 を示した。TOC と KMnO4 消費量では 0.221 であった。水温と総トリハロメタンとの間では、0.308 であった。

表7 浄水における水質項目の毎の相関性

	TOC	TTHM	HA c	UV260	水温	KMnO4
TOC	—					
TTHM	0.488	—				
HA c	0.525	0.530	—			
UV260	0.190	0.470	0.073	—		
水温	0.203	0.308	0.212	-0.135	—	
KMnO4	0.221	0.016	0.499	-0.810	0.181	—

4) 水質指標と消毒副生成物の回帰式

全データ、原水のみ及び浄水のみにおける回帰式は表8のようであった。原水+浄水の全試料水における相関性は、TOC と TTHM、HAc、UV260 との間ではそのほとんどで 0.6 以上の高い相関性が認められ、

それぞれの回帰式を示した。また、原水のみでの相関性でも、0.4 以上の相関性を認めた。しかしながら、浄水の場合には、TOC と TTHM、HAc に相関性が見られる程度であった。これらの結果は、浄水では、有機物が処理によって除去されてほぼ一定

した値であったことと、これを基にした消毒副生成物の生成率の差が見られなかったことによると考えられた。これに対して、原水では消毒副生成物である有機物に差が

あることから、有機物と消毒副生成物の間に統計的な相関性が明確に表れたものと考えられた。

表8 全データ、原水のみ及び浄水のみにおける回帰式

	原水+浄水の全試料水	原水	浄水
TOC/TTHM	$y=0.021x+1.86E-4^{**}$	$y=0.016x+0.013^*$	$y=0.015x+0.002^*$
TOC/HAc	$y=0.029x+-0.012^{**}$	$y=0.04x+-0.013^*$	$y=0.01x+1.87E-4^*$
TOC/UV260	$y=4.784x+0.787^*$	$y=3.791x+0.996^*$	$y=2.804x+0.711$
TOC/KMnO4	$y=0.219x+0.523^{**}$	$y=0.216x+0.542^{**}$	$y=0.138x+0.614$
TOC/水温	$y=0.02x+0.603$	$y=0.035x+0.668$	$y=0.01x+0.495$
TTHM/UV260	$y=0.152x+0.013^{**}$	$y=0.105x+0.023^{**}$	$y=0.227x+0.008^*$
TTHM/HAc	$y=1.148x+-0.006^*$	$y=1.802x+-0.013^*$	$y=0.38x+0.003^*$
TTHM/水温	$y=0.001x+0.011$	$y=0.001x+0.021$	$y=0.001x+0.003$
HAc/UV260	$y=0.359x+0.001^{**}$	$y=0.407x+-0.006^{**}$	$y=0.031x+0.009$
HAc/水温	$y=-1.73E-4+0.016$	$y=-0.003x+0.086$	$y=2.63E-4x+0.003$

*相関性が0.4以上の回帰式 **相関性が0.6以上の回帰式

5) 浄水処理の違いによる市内給水栓の TOC/TTHM の相関性

市内給水栓について通常の浄水処理（活性炭処理を含む）の系統13箇所と高度浄水処理の系統20箇所に分け TOC と総トリハロメタンとの回帰分析を行った。また、総トリハロメタンは水温に関係していると考えられることから、相関が確認できた場合、総トリハロメタン、TOC、水温の重回帰分析を行った。

さらに、TOC と消毒副生成物のハロ酢酸および従属栄養細菌についても回帰分析を行った。

① 通常の浄水処理（活性炭処理を含む）系統における市内給水栓の TOC と総トリハロメタンとの関係

平成16年度以降の測定結果の内、通常の浄水処理（活性炭処理含む）の配水系統における13箇所の市内給水栓の総トリハロメタンと TOC の関係を示した。

総トリハロメタンの最大値は0.050mg/L、TOCの最大値は1.6mg/Lであった（n=195）。回帰式（総トリハロメタン）=0.0238×（TOC）+0.0014、相関係数（r=0.65）が得られた。この回帰式を外挿すると、総トリハロメタンの基準値0.1mg/Lに対応する TOC は4.1mg/Lとなる。また、信頼限界99%危険率の上限値で計算した総トリハロメタンの基準値に対応する TOC は3.2mg/Lとなった。この式からの予測値と実測値の関係を図1に示す。

調査対象には、異なる水源（貯水池3、

河川 3) で処理した複数の市内栓を統計処理したため、TOC は 0.4 から 1.6mg/L とバラツキがあったが、配水管路は長く、浄水が市内栓に到達するまでの接触時間が十分あった結果、総トリハロメタンは、TOC と温度に強く影響を受けることがわかった。

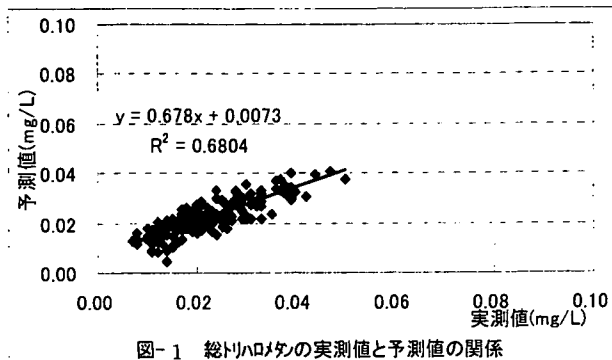


図-1 総トリハロメタンの実測値と予測値の関係

②高度浄水処理システムにおける市内栓の TOC と総トリハロメタンとの関係

平成 16 年度以降の測定結果の内、高度浄水処理の配水システムにおける 20 箇所の市内栓の 総トリハロメタンの最大値は 0.049mg/L、TOC の最大値は 1.3mg/L であった (n=256)。TOC と総トリハロメタンの相関係数 (r=0.20) は低いですが、回帰式 (総トリハロメタン) = 0.0155 x (TOC) + 0.0089 を外挿すると、総トリハロメタンの基準値に対応する TOC は 5.9mg/L となった。また、信頼限界 99% 危険率の上限值で計算した総トリハロメタンの基準値に対応する TOC は 2.9mg/L となった。

また、総トリハロメタンの生成に関係すると考えられる温度との関係は、回帰式(総トリハロメタン) = 0.0012 + 0.0011 x (水温)、相関係数 r=0.86 であった。なお、高度浄水処理システムでも総トリハロメタンと水温には、高い相関が認められたが、TOC と総トリハロメタンでは、相関がなかったことから、総トリハロメタン、水温、TOC との間で重回帰分析を行わなかった。

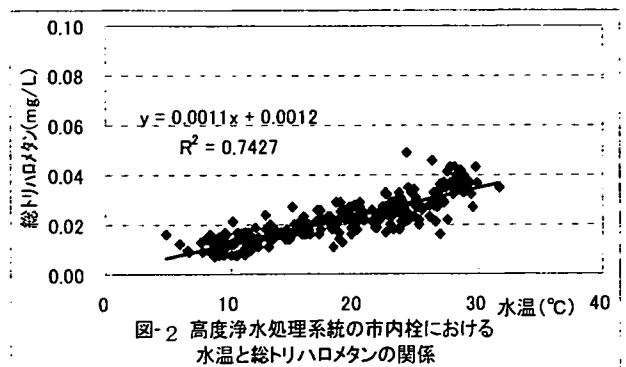


図-2 高度浄水処理システムの市内栓における水温と総トリハロメタンの関係

2. 衛生性・快適性の指標としての微小生物

千苺貯水池では、平成 19 年度において 6 ~ 9 月にかけてピコプランクトンの増殖が観察された。特に 8 月から 9 月にかけて著しく増殖し、9 月 18 日には最高濃度 5.9×10^5 cells/mL に達し、またこの時の浄水場原水での濃度は 7.2×10^4 cells/mL であった。また、ピコプランクトンは表面から水深 5m の範囲において多く分布したが、それよりも水深が深くなると急激に減少することが観察された。

3. 臭気物質の実態に関する研究

(1). かび臭対策に対するアンケート調査
アンケートの調査結果を本章の末尾に示した。

1) 回答率

調査対象の 67 事業者、59 事業者から回答が得られ、その回収率は、88.1%であった。各事業者には、その事業者が所有する代表的な浄水場について回答を求めたが、複数の浄水場から回答があったため、合計 67 の浄水場となった。

2) かび臭被害の発生状況

回答のあった 66 浄水場中、かび臭被害が発生した浄水場は、33 浄水場 (50.0%) であった。かび臭被害を受けた浄水場の水源の種類は、河川が 26 浄水場 (60.5%) と最も多く、次いでダム直接 7 浄水場 (16.3%)、

湖沼 5 浄水場(11.6%)の順であり、表流水が 88.4%を占めた。かび臭の発生原因については、藍藻類(シアノバクテリア) 27 浄水場(67.5%)、放線菌 4 浄水場(10.0%)であり、77.5%が生物起因であった。

3) かび臭対策

①かび臭原因物質の基準化の認知

現行の水質基準より、2-MIB 及びジェオスミンが基準化されたことについては、回答のあった 67 浄水場中、全ての回答者が知っていた。平成 19 年 3 月 31 日に経過措置(両物質 0.00002mg/L)が解除され、平成 19 年 4 月 1 日より、両物質が 0.00001mg/L になったことについては、1 浄水場の回答者が知らなかったと回答している。

②かび臭対策

かび臭対策については、「実施している」42 浄水場(62.7%)、「実施していない」18 浄水場(26.9%)、「今後実施したい」0 浄水場(0%)であり、かび臭被害の発生した浄水場は 33 浄水場であったことを考えると、9 浄水場は予防対策を実施していることになる。かび臭対策の内容については、水源対策 20 浄水場(19.4%)、高度浄水処理の導入 45 浄水場(43.7%)、浄水処理プロセスの運転条件の変更 38 浄水場(36.9%)で、高度浄水処理の導入が最も多かった。水源対策については、揚水筒 7 浄水場(35%)と最も多く、次いで選択取水 7 浄水場(35%)、硫酸銅散布 4 浄水場(20%)、散気管 1 浄水場(5%)の順で

あった。高度浄水処理の導入については、粉末活性炭処理が 24 浄水場(53.3%)と半数以上を占め、次いで粒状活性炭処理 9 浄水場(20%)、オゾン処理 6 浄水場(13.3%)、生物処理 3 浄水場(6.7%)の順であった。浄水処理プロセスの運転条件の変更については、粉末活性炭の注入率の増加 15 浄水場(39.5%)が最も多く、次いで塩素注入点の変更(前塩素から中塩素) 14 浄水場(36.8%)、凝集剤の注入率の増加 7 浄水場(18.4%)、二段凝集処理(濾過前にも凝集剤を注入) 1 浄水場(2.6%)の順であった。

③かび臭の管理指標

かび臭の管理指標については、「設けている」26 浄水場(38.8%)、「設けていない」4 浄水場 1(61.2%)であった。「設けている」と回答した浄水場において、その具体的な指標(複数回答有り)を、モニタリング地点(原水、沈殿池処理水、浄水(濾過水)、送配水池)で整理したものを表 9 に示した。モニタリングは、浄水(濾過水) 8 浄水場、原水 6 浄水場、浄水出口水 3 浄水場であった。指標項目は、かび臭原因物質を直接測定している浄水場が多く、その濃度は、原水では 2-MIB、ジェオスミン濃度 0.000003 ~ 0.00001mg/L、浄水では、2-MIB、ジェオスミン濃度 0~0.000005mg/L であった。

表9 かび臭の管理指標の内容

原水	<ul style="list-style-type: none"> ・ ジェオスミン 10ng/L 以上、2-MIB 5ng/L 以上 ・ 原水でかび臭濃度 0.000003mg/L 以上。 ・ 原水の 2-MIB 濃度 0.000005mg/L を超えた場合、または超えるおそれがある場合。 ・ 原水のかび臭物質濃度 (2-MIB、ジェオスミン) 0.000005mg/L 以下。 ・ 原水中のかび臭物質濃度 0.000005mg/L 以下 ・ 原水のアナベナマクロスボラ 20 個/mL 以上、アナベナスピロイデス 20 個/mL 以上、オシラトリアテヌイス 1.2 個/mL 以上、フォルミジウムテヌエ 150 個/mL 以上。
沈澱池処理水	<ul style="list-style-type: none"> ・ 沈澱処理水のかび臭物質濃度 0.000005mg/L 以下。
浄水 (濾過水)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 浄水 (ろ過水) のかび臭物質濃度ジェオスミン 5ng/L、2-MIB3ng/L を超えないこと。 ・ 濾過水のかび臭物質の検出又は官能テストで感知。 ・ 浄水の 2-MIB0.000001mg/L 以下、浄水のジェオスミン 0.000004mg/L 以下。 ・ 浄水の TON を 2 以下。 ・ 浄水のかび臭濃度 0.005μg/L 以下。 ・ 浄水のかび臭物質濃度「0.000005mg/L」以下。 ・ 浄水の 2-MIB 濃度 0ng/L、ジェオスミン濃度 0ng/L。 ・ 浄水のかび臭物質濃度。
浄水 出口 水	<ul style="list-style-type: none"> ・ 浄水場出口水 0.000003mg/L。 ・ 浄水場出口水 0.000003mg/L。 ・ 浄水出口水でかび臭物質濃度「0.000003mg/L」以下。
送配水池	<ul style="list-style-type: none"> ・ 配水でのかび臭物質濃度「0.000005mg/L 以下」 ・ 送水のかび臭物質濃度ジェオスミン、2-MIB の合計で 0.000007mg/L 以上。
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・ カビ臭物質濃度を基準値の 1/2 に設定

指標の内容については、表 9 に示した。

(2) 貯水池におけるかび臭物質実態調査

千苧貯水池では、4 月に堰堤前の表層部でかび臭の原因生物である *Phormidium tenue* が増殖し、表層から水深約 10m 程度まで分布していたが、増殖することなく約 1 ヶ月後に消失した。しかし、この時期の堰堤前では、取水口付近 (水深約 5~13m) に水温躍層が形成されており、雨量も少なく、停滞して

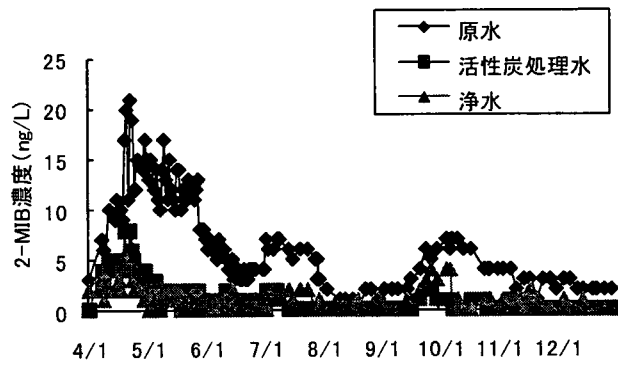


図3 千苧浄水場におけるかび臭の推移

いることから、かび臭物質の 2-MIB が約 3 ヶ月間残留した。また、この時期、取水口がある水温躍層より下層との鉛直混合はなかったことから、かび臭物質が下層まで拡散することはなかった。

千苧浄水場においては、4 月～6 月初旬において原水中の 2-MIB 濃度が高い状況にあり、最高濃度は 21ng/L に達した。また、粒状活性炭処理によっても 2-MIB は完全には除去されず、粒状活性炭処理水および浄水中の 2-MIB の最高濃度はそれぞれ 8 および 6ng/L であった (図 3)。

4. 有機フッ素化合物の一斉分析法の開発と実態調査

(1) 分析条件の検討

1) LC/MS/MS 分析条件の最適化

ODS カラム Capcell Pak C18 MG (2.0 x 150 mm、5 μm) を用いて移動相を検討した結果、酢酸アンモニウム-アセトニトリル系が酢酸アンモニウム-メタノール系に比べ PFCs の分離が良好であった。

注入量を 20 μL にした場合、炭素数 8 以下のパーフルオロカルボン酸類および炭素数 7 以下のパーフルオロスルホン酸類のピーク形状が著しく悪くなった。

定量下限値 (LOQ) を S/N=10 とした場合、本 LC/MS/MS 条件下における PFCs の LOQ は 0.03 μg/L から 0.2 μg/L であった。したがって、水試料を 1000 倍濃縮した場合、PFCs の LOQ は 0.03 ng/L から 0.2 ng/L に相当する濃度まで測定できることが明らかとなった。また、各 PFCs の絶対検量線は、低濃度域では比較的良好な直線性が得られたが、高濃度域では直線性が悪かった。内標準法の場合には 0.1～1000 μg/L の間で、良好な直線性 (相関係数: 0.998～1.000) が認められたことから、内標準法を用いて定量することとした。

2) PFCs 汚染の低減化

ブランク水は、純水製造装置で作製した精製水を使用した。この純水製造装置で作製した精製水は、PFCs について全て LOQ 未満であった。

汚染には、メタノール 10mL で洗浄すれば PFCs の混入を除去できることがわかった。

3) 固相カートリッジからの回収率

ジビニルベンゼン/ビニルピロリドン共重合系の OASIS HLB plus、スチレンジビニルベンゼン/メタクリレート系の Aquasis PLS-3 Jr.、Presep-C Agri short、InertSep mini RP-1、スチレンジビニルベンゼンポリマーの GL-Pak PLS-2、シリカゲル/オクタデシル系の Sep-Pak plus tC18 を用いて回収率を検討した。いずれの固相カートリッジも、パーフルオロカルボン酸は炭素数 8 以上、パーフルオロスルホン酸は炭素数 6 以上の炭素数が長い PFOs の回収率は比較的に良好であったが、炭素鎖長が短くなるに従いまた、シリカゲル担体で回収率が低下する傾向にあった。PFBA はいずれの固相でもほとんど回収できなかった。

4) 水試料の pH

固相カートリッジ HLB を用いて pH を 3～9 の間で変化させた時、PFBA の回収率は酸性域で若干増加したが、その他の PFCs の回収率はほとんど変化が認められなかった。

5) 懸濁物質 (SS) と挙動をともにする PFCs の存在

SS が存在しない場合のガラスフィルターへの吸着について、PFCs の炭素鎖長が長くなるに従い、ガラスフィルターへの吸着が若干認められた。パーフルオロカルボン酸の方がパーフルオロスルホン酸よりも吸着量が多い傾向にあった。しかし、溶存態の PFCs の大部分は、ろ液中に回収され

た。一方、SS を含む河川水試料では、SS に吸着態として存在している PFCs を測定可能であると考えられる。

メタノールの濃度が濃いと固相カートリッジへの抽出率が低下する可能性があることから、回収率に及ぼす水試料中のメタノール濃度の影響について調べた。炭素鎖長の短い PFPeA、PFHxA、PFBS はメタノール濃度が増加するに従い、回収率の減少が認められたが、その他の PFCs はメタノール濃度が 10% までほとんど影響が認められなかった。

6) 抽出液の濃縮

固相抽出により得られた抽出液を濃縮する際、室温では炭素鎖長の短い PFBA、PFPeA などが時間とともに減少する傾向にあった。

7) 実試料への適用

水道水および河川水に PFCs を添加した場合、PFBA、PFPeA を除き PFCs の回収率は水道水で 84~103% (変動係数 3~13%)、河川水で 90~118% (変動係数 2~13%) と、精製水の場合と同様な結果が得られた。また、水道水中の残留塩素の回収率への影響を調べたが、回収率に違いは認められなかった。PFPeA の回収率は 33~41% であり、他の PFCs に比べて低かったが、変動係数は 10~14% と比較的良好であった。PFBA は HLB で回収されないため、水試料を直接に LC/MS/MS に注入して測定する (LOQ は 20 ng/L) こととした。

(2) 実態調査

利根川水系と多摩川水系における調査を実施した。利根川水系の試料水中から PFCs の合計量として約 50 ng/L 検出され、PFBS、PFOA、PFNA、PFOS の濃度が比較的高かった。多摩川水系の羽村堰付近の河川水から PFCs が検出されたが、その濃度は最高でも 1.2ng/L と低かった。また、SS に吸着態とし

て存在している部分は PFOA、PFOS とともに約 10% で、PFCs の大部分は溶存態として存在していることがわかった。

D. 考察

1. 基準項目 TOC の基準値の改正に向けた健康影響指標との関連性

(1) 全国アンケートからの相関性結果

調査対象の 67 事業体中、58 事業体から回答が得られ、その回収率は、86.6% で、合計 98 の浄水場となったが、解析に間に合った 76 浄水場を対象とした。全国におけるデータを収集したところ、TOC は 1314、総トリハロメタン (以下 TTHM と略す) は 391、トリハロメタン生成能 (以下 THM 生成能と略す) は 271、総ハロ酢酸 (以下 HA_c と略す) は 193 であった。

全国調査データにおける原水、浄水の全データの結果は、TOC の最大値では 4.10mg/l、最小値は 0.00mg/l、平均値は 0.94mg/l、中央値は 0.80mg/l であった。TTHM 及び TTHM 生成能の最大値は 0.07mg/l、最小値は 0.00mg/l、平均値は 0.01mg/l、中央値は 0.01mg/l であった。HA_c の最大値は 0.05mg/l、最小値は 0.00mg/l、平均値は 0.01mg/l、中央値は 0.01mg/l であった。UV260 の最大値は 0.50mg/l、最小値は 0.00mg/l、平均値は 0.07mg/l、中央値は 0.04mg/l であった。TOC の最大が 4.10mg/l と 3mg/l を超過したが、8 浄水場で、12 データであったが、天候などの特殊な環境であることから、新たな基準値設定には影響はないものと考えられた。全浄水場原水及び浄水の全てのデータにおける TOC に対する他の化学指標との相関性は、総トリハロメタンの相関係数 0.671、ハロ酢酸では 0.600 を示した。一方、KMnO₄ 消費量に対する他の指標との相関性は良好な結果であった。回帰式は、原水+浄水の全試料水における相関性が TOC と

TTHM、HAc、UV260 との間ではそのほとんどで 0.6 以上の高い相関性が認められ、それぞれの回帰式を示した。

全国調査のうち、原水のみ結果は、TOC の最大値では 4.10mg/l、最小値は 0.00mg/l、平均値は 1.21mg/l、中央値は 1.10mg/l であった。TTHM 生成能の最大値は 0.20mg/l、最小値は 0.01mg/l、平均値は 0.04mg/l、中央値は 0.03mg/l であった。HAc の最大値は 0.19mg/l、最小値は 0.01mg/l、平均値は 0.04mg/l、中央値は 0.02mg/l であった。原水の TOC に対する他の化学指標との相関性は、総トリハロメタンでは相関係数 0.480、ハロ酢酸では 0.583 を示した。また、UV260 とトリハロメタン生成能との関係では、0.662、UV260 とハロ酢酸生成能では 0.776 であった。トリハロメタン生成能とハロ酢酸生成能では 0.575 を示した。水温とトリハロメタン生成能では、0.238 と関連性は薄い結果であった。また、原水のみ回帰式は、TOC と TTHM、HAc、UV260 の項目で 0.4 以上の相関性を認めた。

全国調査のうち、浄水の結果では、TOC の最大値は 1.80mg/l、最小値は 0.00mg/l、平均値は 0.67mg/l、中央値は 0.60mg/l であった。TTHM の最大値は 0.07mg/l、最小値は 0.00mg/l、平均値は 0.01mg/l、中央値は 0.01mg/l であった。HAc の最大値は 0.05mg/l、最小値は 0.00mg/l、平均値は 0.01mg/l、中央値は 0.01mg/l であった。浄水における TOC に対する他の化学指標との相関性は、総トリハロメタンで 0.488、ハロ酢酸では 0.525 を示した。一方、KMnO₄ 消費量に対する他の指標との相関性は、総トリハロメタン、ハロ酢酸、UV260 では相関性が低いことがみられた。消毒副生成物同士の総トリハロメタンとハロ酢酸では 0.530 を示した。水温と総トリハロメタンとの間では、0.308 であった。しかしながら、浄水のみの場合で

は、TOC と TTHM、HAc に相関性が見られる程度であった。これらの結果は、浄水では、有機物が処理によって除去されてほぼ一定した値であったことにより、消毒副生成物の生成率の差が見られなかったものと考えられた。これに対して、原水では消毒副生成物である有機物に差があることから、有機物と消毒副生成物の間に統計的な相関性が明確に表れたものと考えられた。

(2) 浄水処理の違いによる市内給水栓の TOC/TTHM の相関性

処理方法（通常の浄水処理（活性炭処理）と高度浄水処理）の違いと市内給水栓での水質指標との関係をみるため、一浄水場（神戸市）で比較した。通常の浄水処理における TOC/総トリハロメタン（ $n=195$ ）の回帰式（総トリハロメタン） $=0.0238 \times (\text{TOC}) + 0.0014$ 、相関係数（ $r=0.65$ ）が得られた。この回帰式を外挿すると、総トリハロメタンの基準値 0.1mg/L に対応する TOC は 4.1mg/L となった。また、信頼限界 99% 危険率の上限値で計算した総トリハロメタンの基準値に対応する TOC は 3.2mg/L となった。この結果は、長い配水管路によって市内栓に到達するまでの接触時間が大きく影響すること、及び総トリハロメタンが TOC と温度に強く影響を受けることによることが認められた。

高度浄水処理の配水系統における 20 箇所の市内栓の TOC と総トリハロメタンの相関係数（ $r=0.20$ ）は低い、回帰式（総トリハロメタン） $=0.0155 \times (\text{TOC}) + 0.0089$ を外挿すると、総トリハロメタンの基準値に対応する TOC は 5.9mg/L となった。また、信頼限界 99% 危険率の上限値で計算した総トリハロメタンの基準値に対応する TOC は 2.9mg/L となった。また、総トリハロメタンと温度との回帰式は、（総トリハロメタン） $=0.0012 + 0.0011 \times (\text{水温})$ 、相関係数 $r=0.86$ と、普通処理と同様、総トリハロメタンと水温は高い相

関が認められたが、TOC と総トリハロメタンでは、相関がなかった。

2. 衛生性・快適性の指標としての微小生物

当該の貯水池におけるピコプランクトンの最高濃度は、平成 16 年は 5.7×10^5 cells/mL (8 月 17 日)、17 年は 4.5×10^5 cells/mL (8 月 22 日)、18 年は 2.9×10^5 cells/mL (9 月 11 日) となっており、例年、8 月中旬から 9 月中旬にかけて増殖のピークが確認されている。一方、浄水場原水は、表層から水深 5.5 m、7.7 m 及び 10.4 m の取水口から取水しているため、増殖ピーク時の原水中に含まれるピコプランクトン濃度は表層部の 12% まで低下したと考えられる。

3. 臭気物質の実態に関する研究

(1). かび臭対策に対するアンケート調査

アンケートは、調査対象の 67 事業体中、59 事業体から回答が得られ、回収率 88.1% で、合計 67 の浄水場となった。

かび臭被害の発生状況は、66 浄水場中 33 浄水場 (50.0%) であった。かび臭被害を受けた浄水場の水源の種類は、河川が 26 浄水場 (60.5%) と最も多く、次いでダム直接 7 浄水場 (16.3%)、湖沼 5 浄水場 (11.6%) の順であり、表流水が 88.4% を占めた。かび臭の発生原因については、藍藻類 (シアバクテリア) 27 浄水場 (67.5%)、放線菌 4 浄水場 (10.0%) であり、77.5% が生物起因であった。

かび臭原因物質の基準化の認知度の調査では、臭気物質の基準化認識度は 67 浄水場の 100% であった。平成 19 年 3 月 31 日に経過措置(両物質 0.00002 mg/L)が解除され、平成 19 年 4 月 1 日より、両物質が 0.00001 mg/L になったことについては、1 浄水場で認識していなかった。

かび臭対策では、かび臭被害の発生した

浄水場は 33 浄水場含め「実施している」が 42 浄水場 (62.7%) であったことを考えると、9 浄水場は予防対策を実施していることになった。また、「実施していない」は 18 浄水場 (26.9%) であった。かび臭対策の内容については、水源対策 20 浄水場 (19.4%)、高度浄水処理の導入 45 浄水場 (43.7%)、浄水処理プロセスの運転条件の変更 38 浄水場 (36.9%) で、高度浄水処理の導入が最も多かった。

かび臭の管理指標については、「設けている」26 浄水場 (38.8%)、「設けていない」4 浄水場 (6.1%) であった。「設けている」と回答した浄水場において、その具体的な指標 (複数回答有り) を、原水、沈殿池処理水、浄水 (濾過水)、送配水池の各モニタリング地点でかび臭原因物質を直接測定している浄水場が多く、その濃度は、原水では 2-MIB、ジェオスミン濃度 $0.000003 \sim 0.00001$ mg/L、浄水では、2-MIB、ジェオスミン濃度 $0 \sim 0.000005$ mg/L であった。

(2) 貯水池におけるカビ臭物質実態調査

神戸市水道局では、例年かび臭の発生が観察されやすい時期 (4~12 月) において、ができるように週 1 回程度の頻度で貯水池調査の実施によるかび臭発生時の迅速な対応、かび臭物質が少ない水深からの選択取水等による浄水処理への負荷の軽減、また、粒状活性炭処理の導入によって対処しており、浄水中のかび臭物質の目標値を 5 ng/L 以下と定めている。しかしながら、粒状活性炭処理によっても 2-MIB は完全には除去されず、上記目標値を超過する場合もあった。当該の時期における千苺浄水場の原水をガラス繊維ろ紙でろ過したところ、懸濁態 2-MIB が含まれることが確認されており、粒状活性炭処理において *Phormidium tenue* の細胞内に含まれる 2-MIB が有効に除去されなかったと考えられる。

4. 有機フッ素化合物の一斉分析法の開発と実態調査

有機フッ素化合物の水道原水中のパーフルオロカルボン酸（炭素数 4~14）とパーフルオロスルホン酸（炭素数 4,6,7,8 および 10）を対象とした分析方法を検討した結果、安定同位体標識体を内標準物質として用いた SPE-LC/MS/MS 法により、定量下限値が 0.03~0.2 ng/L の感度の良い、再現性の高い分析方法を確立した。水道事業体で実施している分析方法と大きな違いはなかった。

冬季の多摩川水系および利根川水系において、それぞれで最高値として PFNA で 1.2 ng/L、PFOS で 22.8 ng/L が検出された。測定対象物質の総計として、多摩川水系および利根川水系それぞれで、約 4 ng/L、約 50 ng/L であった。また、多摩川水系において、下水処理場の下水処理水が流入している地点での測定結果が報告されており、下水処理場の下水処理水の影響を受けて PFCs の濃度が著しく上昇することが示唆された。

E. 結論

1. 基準項目 TOC の基準値の改正に向けた健康影響指標との関連性

1) 67 事業体中、58 事業体から回答が得られ、その回収率は、86.6%であった。各事業体には、複数の浄水場について回答した事業体もあったため、合計 98 の浄水場となった。

2) 全国調査データにおける原水、浄水の全データの結果は以下のものであった。

① TOC の最大値、最小値、平均値、中央値は各々 4.10、0.00、0.94、0.80mg/l であった。

② TTHM 及び TTHM 生成能の最大値、最小値、平均値、中央値は 0.07、0.00、0.01、0.01mg/l であった。

③ HA c の最大値 0.05mg/l、最小値

0.00mg/l、平均値 0.01mg/l、中央値 0.01mg/l であった。

④ UV260 の最大値、最小値、平均値、中央値は 0.50、0.00、0.07、0.04mg/l であった。

3) 全浄水場原水及び浄水の全てのデータにおける TOC に対する他の化学指標との相関性は、総トリハロメタンでは相関係数 0.671、ハロ酢酸では 0.600 を示した。一方、KMnO₄ 消費量に対する他の指標との相関性は、総トリハロメタンでは相関係数 0.754、ハロ酢酸では 0.768、UV260 では 0.832 を示した。また、UV260 と総トリハロメタンとの関係では、0.716、ハロ酢酸では 0.797 であった。総トリハロメタンとハロ酢酸では 0.584 を示した。TOC と KMnO₄ 消費量では 0.827 であった。

4) 全国調査データにおける浄水の全データの結果は以下のものであった。

① TOC の最大値、最小値、平均値、中央値は、各々 1.80、0.00、0.68 及び 0.60mg/l であった。

② TTHM の最大値、最小値、平均値、中央値は各々 0.07、0.0、0.01、0.01mg/l であった。

③ HA c の最大値、最小値、平均値、中央値では各々 0.05、0.00、0.01、0.01mg/l であった。

④ UV260 の最大値、最小値、平均値、中央値は各々 0.14、0.002、0.03、0.03mg/l であった。

5) 浄水における TOC に対する他の化学指標との相関性は、総トリハロメタンでは相関係数 0.488、ハロ酢酸では 0.525 を示した。一方、KMnO₄ 消費量に対する他の指標との相関性は、総トリハロメタン、ハロ酢酸、UV260 で相関性はみられなかった。また、UV260 と総トリハロ

メタンとの関係では、0.470、UV260 とハロ酢酸ではみられなかった。総トリハロメタンとハロ酢酸では 0.530 を示した。TOC と KMnO₄ 消費量では 0.221 であった。水温と総トリハロメタンとの間では、0.308 であった。

6) 全データ、原水のみ及び浄水のみにおける回帰式は表 8 のようであった。

①原水+浄水の全試料水における相関性は、TOC または KMnO₄ 消費量と TTHM、HAc、UV260 との間ではそのほとんどで 0.6 以上の高い相関性が認められた。TOC/TTHM の回帰式は $y=0.021x+1.86E-4^{**}$ 、TOC/HAc の回帰式は $y=0.029-0.012^{**}$ であった。また、TOC/UV260 では $y=4.784x+0.787$ を示した。

②原水のみ相関性でも、0.4 以上の相関性を認めた。しかしながら、浄水のみの場合では、TOC、KMnO₄ 消費量と TTHM、HAc に相関性が見られる程度であった。

2. 衛生性・快適性の指標としての微小生物

神戸市水道局の千苺貯水池および千苺浄水場原水においてピコプランクトンの存在実態調査を行ったところ、6~9 月にかけてピコプランクトンの増殖が観察された。特に 8 月から 9 月にかけて著しく増殖し、9 月 18 日には最高濃度 $5.9 \times 10^5 \text{cells/mL}$ に達した。ピコプランクトンは表面から水深 5m の範囲において多く分布したが、それよりも水深が深くなると急激に減少することが観察されており、また浄水場原水は表層から水深 5.5m およびそれ以下の取水口から取水しているため、この時の浄水場原水での濃度は $7.2 \times 10^4 \text{cells/mL}$ まで低下した。

3. 臭気物質の実態に関する研究

(1). かび臭対策に対するアンケート調査

かび臭被害については、回答のあった 66 浄水場中、33 浄水場 (49.2%) が被害の発生を経験していた。かび臭被害を受けた浄水場の水源の種類は、河川が 26 浄水場 (60.5%) と最も多く、次いでダム直接 7 浄水場 (16.3%)、湖沼 5 浄水場 (11.6%) の順であり、表流水が 88.4% を占めた。かび臭の発生原因については、藍藻類 (シアノバクテリア) 27 浄水場 (67.5%)、放線菌 4 浄水場 (10.0%) であり、77.5% が生物起因であった。

かび臭対策については、「実施している」42 浄水場 (62.7%)、「実施していない」18 浄水場 (26.9%) であった。かび臭対策の内容については、水源対策 20 浄水場 (19.4%)、高度浄水処理の導入 45 浄水場 (43.7%)、浄水処理プロセスの運転条件の変更 38 浄水場 (36.9%) で、高度浄水処理の導入が最も多かった。かび臭の管理指標については、「設けている」26 浄水場 (38.8%)、「設けていない」4 浄水場 (61.2%) であった。モニタリング地点は、浄水 (濾過水) 8 浄水場、原水 6 浄水場、浄水出口水 3 浄水場であった。指標項目は、かび臭原因物質を直接測定している浄水場が多く、その濃度は、原水では 2-MIB 及びジェオスミン濃度 $0.000003 \sim 0.00001 \text{mg/L}$ 、浄水では、2-MIB 及びジェオスミン濃度 $0 \sim 0.000005 \text{mg/L}$ であった。

(2) 貯水池におけるかび臭物質実態調査

神戸市水道局の千苺貯水池および千苺浄水場において 2-MIB の存在実態調査を行ったところ、千苺貯水池では、4 月に堰堤前の表層部でかび臭の原因生物である *Phormidium tenue* が増殖し、表層から水深約 10m 程度まで分布していたが、増殖することなく約 1 ヶ月後に消失した。しかし、堰堤前では取水口付近に水温躍層が形成さ

れており、雨量も少なく停滞していることから、2-MIB が約3ヶ月間残留した。千代田浄水場においては、4月～6月初旬において原水中の2-MIB濃度が高い状況にあり、最高濃度は21ng/Lに達した。また、粒状活性炭処理において *Phormidium tenue* の細胞内に含まれる2-MIBは完全には除去されず、粒状活性炭処理水および浄水中の2-MIBの最高濃度はそれぞれ8および6ng/Lであった。

4. 有機フッ素化合物の一斉分析法の開発と実態調査

有機フッ素化合物の水道水を介する曝露量を推定するために、水道原水および水道水中のパーフルオロカルボン酸（炭素数4～14）とパーフルオロスルホン酸（炭素数4,6,7,8および10）を対象とし、安定同位体標識体を内標準物質として用いた SPE-LC/MS/MS 法

により、定量下限値が0.03～0.2 ng/Lの感度の良い、再現性の高い分析方法を確立した。

冬季の多摩川水系および利根川水系において、それぞれで最高値として PFNA で1.2 ng/L、PFOS で22.8 ng/Lが検出された。測定対象物質の総計として、多摩川水系および利根川水系それぞれで、約4 ng/L、約50 ng/Lであった。

F. 健康危機情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

なし

厚生労働科学研究費補助金(地域健康危機管理研究事業)
分担研究報告書

飲料水の水質リスク管理に関する統合的研究
—— 微生物分科会報告書 ——

主任研究者	松井 佳彦	北海道大学大学院工学研究科
分担研究者	遠藤 卓郎	国立感染症研究所 寄生動物部
分担研究者	松下 拓	北海道大学大学院工学研究科

研究要旨

従来より、水道水の水質微生物学的な安全性は浄水処理に加え遊離残留塩素管理により保証されてきた。しかしながら、クリプトスポリジウム等の耐塩素製病原微生物の混入による大規模な水系集団感染を経験してより、新たな局面を迎えている。また、近年では腸管系ウイルスによる上水汚染の懸念、あるいは配管系の生物劣化問題等が指摘され、その指標として従属栄養細菌数測定の利用が期待されている。当該分科会ではこれらの問題に対処すべく研究を進めている。

耐塩素性病原微生物対策としては汚染状況のモニタリングシステムの構築に向けて、試料水の濃縮方法の開発(粉体ろ過装置)、クリプトスポリジウムならびにジアルジアの迅速遺伝子検査法の開発、あわせて汚染実態調査が行われた。ウイルス汚染のモニタリングに関しては、新たな指標の検索・検証実験が行なわれた。平成20年度より従属栄養細菌が水質管理目標設定項目に追加されることから、その存在状況調査が行われた。

A. 研究目的

当該研究班では水道水の水質微生物汚染にかかる諸問題、すなわち従属栄養細菌、耐塩素性病原微生物、ならびに腸管性ウイルスを包括的に検討し、微生物学的な安全性の向上・確保を目指している。平成20年4月より従属栄養細菌数測定は水質管理目標背低項目に追加され、実際的な調査が実施される。従属栄養細菌は一般細菌に替わる指標細菌として検査方法ならびにガイドライン値の設定に資すべき資料を整理が必要と考える。クリプトスポリジウム等の耐塩素性病原微生物対策では新たなモニタリングシステムの構築に向け

て検討が進められている。その中で、これまでの形態学的検査とは別に迅速・高感度な遺伝子検査による試験方法の検討が行なっている。また、腸管性ウイルス汚染のモニタリングの重要性が指摘されることから、新たな指標生物の検討がなされた。

B. 研究方法

B.1. 耐塩素性病原微生物に係る研究

B.1.1. ケーキろ過装置の性能評価

クリプトスポリジウム等に対する対策として紫外線照射装置の導入が始まり、汚染のおそれの程度により水道水試料の保存が勸奨されたことから、簡便かつ多量の浄水

をろ過・保存するためのケーキろ過装置の性能評価を行なった。粒状ハイドロキシアパタイトを用いたケーキろ過装置を構築し、神奈川県内広域水道企業団綾瀬浄水場計器室、および国立感染症研究所内の水道水蛇口から導水してろ過性能試験を実施した。ろ過水中に既知濃度の蛍光ビーズ ($2.76 \pm 0.06\mu\text{m}\Phi$ 、Fluoresbrite calibration grade YG, Polyscience)、あるいはホルマリン固定オーシストを添加し、回収率の評価を行なった。ろ過終了後、ケーキ層を取り出し、1mM 塩化ナトリウム添加 1M 塩酸によりアパタイトを溶解し、直ちにショ糖浮遊法により蛍光ビーズあるいはオーシストの回収を行なった。ビーズ回収率の測定にはフローサイトメーター (PAS 型、Partec) を用いた。また、オーシストは溶液の既知量をフィルターろ過し、蛍光抗体染色後に目視により測定した。

また、保存中のケーキろ過層内で微生物の繁殖が起こると試料の劣化につながることから、想定される保存期間 (2 週間) を通して雑菌の繁殖の有無を調べた。

B.1.2. 遺伝子検査法の検討

東京都内および神奈川県内の環境水 17 検体につき、鏡検法と Lamp 法を用いてクリプトスポリジウムとジアルジアの検査を行なった。内訳は、湖沼水 (貯水池を含む) 3 検体、河川水 10 検体、湧水 4 検体である。検査水量は鏡検法、Lamp 法とも 10L とした。

これまでに開発したクリプトスポリジウム検出用の Lamp 法を改良して、RT-Lamp 法の開発を行なった。まず、鋳型 RNA に逆転写用プライマー (sequence data not shown) と逆転写反応試薬 (TakaraBio、Cycleave RT-PCR コアキット) を用い、42°C で 15 分間の逆転写反応、95°C、5 分

間と続く急冷の酵素失活処理・熱変性処理を行った (最終液量 50 μ L)。ついで、得られた逆転写反応液の 5 μ L を鋳型 DNA として定法どおり LAMP 反応を行った。

B.2. 腸管系ウイルスの指標の開発に関する研究

ノロウイルスは水系汚染の可能性のあるウイルスの中で疫学的に最も重要な一つである。ノロウイルスに関しては今日まで細胞培養系が確立されておらず、塩素等の消毒効果判定が不可能な状況にある。現在、最も有力なノロウイルス代替指標とされているマウスノロウイルスを用いてノロウイルスの塩素消毒耐性について調べることを目的とする。

また、バッチ式凝集 - 沈澱 - 砂ろ過処理による大腸菌ファージあるいはノロウイルス VLP (virus like particle) の処理性を実験的に調べた。大腸菌ファージを添加した河川水を原水とし、凝集剤 (PACl: ポリ塩化アルミニウム) 添加、緩速攪拌および静置、上澄水の砂ろ過を行ない、各工程におけるファージおよび VLP の挙動を観察・定量した。

B.3. 従属栄養細菌に関する調査

n 神奈川県内広域水道企業団が行っている検査結果から従属栄養細菌の存在状況を調査した。各浄水場出口における遊離残留塩素の値は 0.8~0.9mg/L 程度、調査対象の給水地点における遊離残留塩素の値は 0.6~0.8mg/L 程度である。また一部の調査では 4 浄水場に加え、酒匂川と相模川の 2 箇所取水管理事務所のデータも使用した。

C. 研究成果および考察

C.1. 耐塩索性病原微生物に係る研究

C.1.1. ケーキろ過装置の性能評価

ケーキろ過装置の小型化を目指し、内径 35mm 程度の使い捨て容器(プラスチック製)を用い、ケーキ層の厚さ(粉体量)とビーズあるいはオーシストの回収率を検討した。その結果、アパタイト量として 1g/ろ過容器で 200L~600L 程度の水道水を通水することが可能であった(図1)。

ろ過の初期に添加したビーズあるいはオーシストはその後に多量の通水が行なわれても 90%以上の回収率が得られ、漏出などによる損失はなかった(表1)。綾瀬浄水場

の浄水では 400L を超えた時点で明らかな通水効率の低下が観察された(図1)。また、ろ過後のフィルターを 2 週間冷蔵保存し、その間における従属栄養細菌の繁殖状況を調べたところ、期間を通じて菌数の減少が観察され(図2)、保存に伴う標品の劣化は起きないことが示された。ケーキ層からのオーシストの回収方法としては、アパタイト溶解液を用いて直接シヨ糖勾配遠心浮遊法(シヨ糖液の比重:1.14)を行なうことが推奨される。

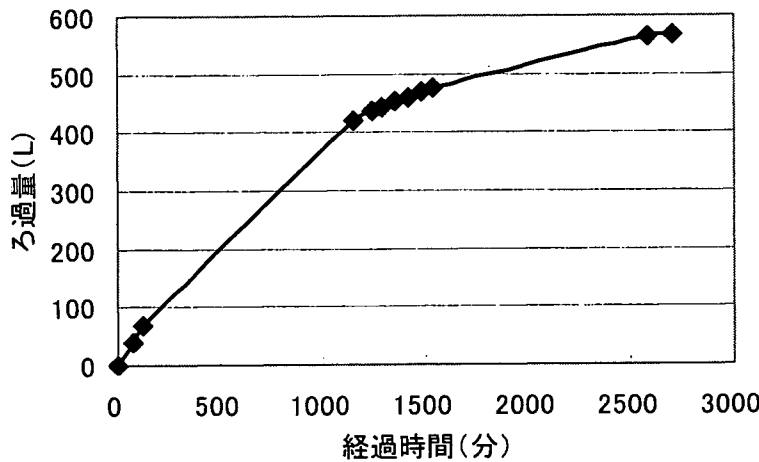


図1 経過時間とろ過量の関係(綾瀬浄水場浄水)

表1. ろ過助材量とオーシスト等の回収率 (35mmΦの小型容器使用)

試料	アパタイト量	評価に用いた粒子			
		粒子の種類	添加量	回収率	計算方法
1	1.5g	3μm ビーズ	2.7×10^5	97%	FCM
2	1.5g	3μm ビーズ	2.7×10^5	107%	FCM
3	1.5g	オーシスト	1.3×10^3	101%	顕微鏡
4	1.5g	オーシスト	1.3×10^3	102%	顕微鏡
5	1.0g	3μm ビーズ	2.7×10^5	104%	FCM
6	1.0g	3μm ビーズ	2.7×10^5	98%	FCM
7	1.0g	オーシスト	1.3×10^3	93%	顕微鏡
8	1.0g	オーシスト	1.3×10^3	92%	顕微鏡

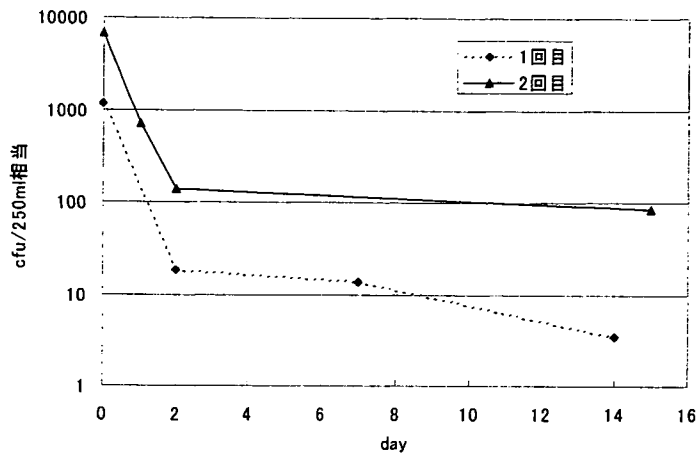


図 2. 保存期間中の従属栄養細菌数の推移

C.1.2. 遺伝子検査法の検討

今回の河川試料水 17 検体については、顕微鏡観察および Lamp 法のいずれにおいてもクリプトスポリジウムは検出されなかった。一方、ジアルジアは鏡検により 1 検体から、また Lamp 法では鏡検陽性検体を含む 3 検体が陽性と判定された。その内訳は、河川水、湧水、ならびに湖沼水の各 1 検体であった。Lamp 産物の制限酵素 (Ban II) 切断パターンから、正規の反応であったことを確認した (図 3)。

ちなみに、クリプトスポリジウムの rDNA 標的遺伝子が 1 ゲノムあたり 5 コピーであるのに対し、ジアルジアでは細胞 (栄養体) あたり 132 コピー (したがって、シストあたりではその 2 倍) と多量に存在することが知られており、このコピー数の違いがクリプトスポリジウムとジアルジアで Lamp 反応の感度の差となって表れた可能性がある。

ところで、現在、クリプトスポリジウムを対象とした Lamp 法の感度は 1 オーシスト / tube に相当する鋳型 DNA 量で概ね 80% の確立で陽性反応が得られている。

換言すれば、反応系には 1 オーシスト / tube の DNA が必要となる。そこで、試料水中にオーシストが含まれているか否かを判定するためには、試料より抽出した鋳型 DNA の全量を 1 反応系に用いなければならない。同一試料のダブルチェックには倍量の試料水の濃縮が必要となり、これまでに開発された遺伝子検査法では現場対応が容易でない。この問題を解決する方法として、RT-Lamp 法の検討を行った。RT-Lamp 法では、通常の Lamp に逆転写反応を組み込んだもので、細胞内に多数のコピーが存在する rRNA から cDNA を作製し、これを鋳型 DNA とすることで感度の向上が図られる。したがって、1 個のオーシストが含まれる試料であっても逆転写反応により多量の鋳型 DNA が得られることから、DNA 溶出液一部を用いて陽性反応が得られることになる。実際に、RT-Lamp 反応は通常の反応に比べておよそ 100 ~ 1,000 倍程度の感度上昇が見込まれた (図 4)。

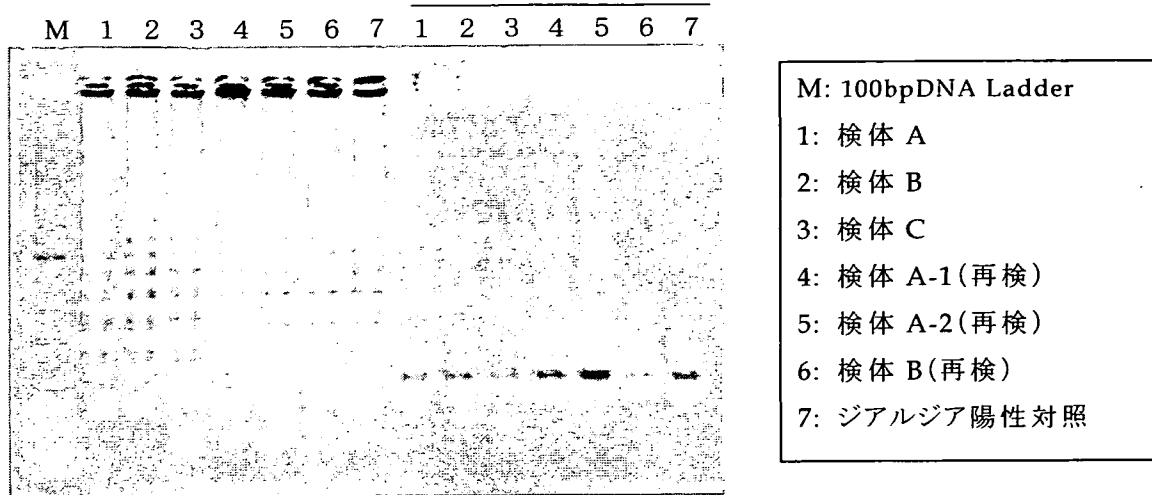


図3 ジアルジア LAMP 産物の電気泳動像
Ban II cut

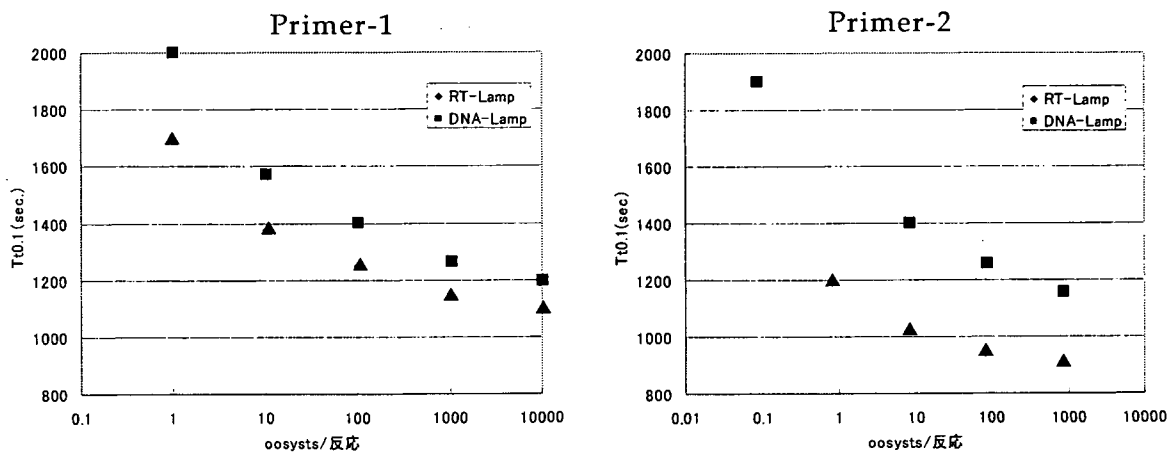


図4. Lamp 法と RT-Lamp による検量線の比較

逆転写プライマーの設計により、Lamp 法による DNA 増幅効率に差が見られ鋳型 DNA の増幅が確認された。Primer-2 を使用することでオーシストあたり 100~1,000 倍量の鋳型 DNA が得られているものと算定される。

参考文献: Sil1 AK, Das P, Bhattacharyya S, Ghosh S & Chattopadhyay DJ. 1998. Cloning of ribosomal RNA genes from an Indian isolate of *Giardia lamblia* and the use of intergenic nontranscribing spacer regions in the differentiation of *Giardia* from other enteric pathogens. *Journal of Biosciences*, 23(5): 557-564.

C.2. 腸管系ウイルスの指標の開発に関する研究

ノロウイルスなど培養法が確立されていないウイルスの検出には、一般にPCRが用いられる。PCRは、培養できないウイルスも含めて高感度に検出できる手法であり、水供給システムにおける腸管系ウイルス監視手法として今後とも広く用いられると考えられる。本研究で開発したReal-time PCRは、 10^1 copies/well~ 10^8 copies/wellの広い濃度範囲にわたって高い定量性と反応効率が得られた。

凝集沈澱処理における大腸菌ファージQ β とMS2の除去性の比較を行ったところ、

PCR法で測定されたファージ濃度は、2種間でほぼ同じ濃度であり、共に2 logの除去率であった。これに対して、PFU(plaque forming unit)法による測定ではQ β の除去率が大きく、凝集沈澱処理過程においてQ β の不活化が進行することが示唆された。

ノロウイルスVLPを用いて凝集-沈澱-砂ろ過処理過程での除去率を検討した。その結果、ノロウイルスVLPでは1 log除去程度にとどまり、ノロウイルスが大腸菌ファージに比べて、凝集-沈澱-砂ろ過処理過程において除去しにくい可能性が示された。

表2 定量限界および検出限界

Plasmid DNA (copies/well)	Positive(+) /Negative(-)
100	+++
50	+++
20	+++
10	++-
5	++-
2	---
1	---

↑ 定量限
↑ 検出限

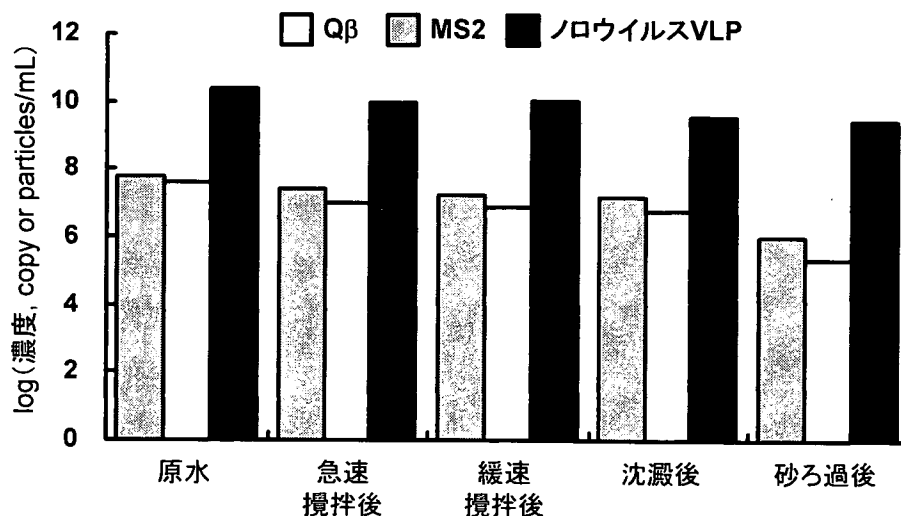


図5 各処理段階でのノロウイルスVLPと大腸菌ファージ濃度の比較

C.3. 従属栄養細菌に関する調査

原水中では最大 7.2×10^5 cfu/ml (2007.5 月、相模原浄水場)、最小 1.0×10^4 cfu/ml (2007.8 月、綾瀬浄水場) が検出された。平均すると 8.5×10^4 cfu/ml となる。これに対し、浄水中では最大 6.0 cfu/ml (2007.3 月、伊勢原浄水場)、最小 0.0 cfu/ml (2007.1 月、伊勢原浄水場他) が検出された。平均では 0.11

cfu/ml となり、平均値での比較では $5.9 \log$ の除去率となる。また、配水(給水地点水)中では最大 2.3 cfu/ml (2007.7 月、綾瀬浄水場系統)、最小 0.0 cfu/ml (2007.1 月、伊勢原浄水場系統他) が検出されており(平均 0.14 cfu/ml)、この値は浄水の値とほぼ同じであった。このことから、従属栄養細菌は浄水から配水の間で増殖も死滅もないものと推察された。

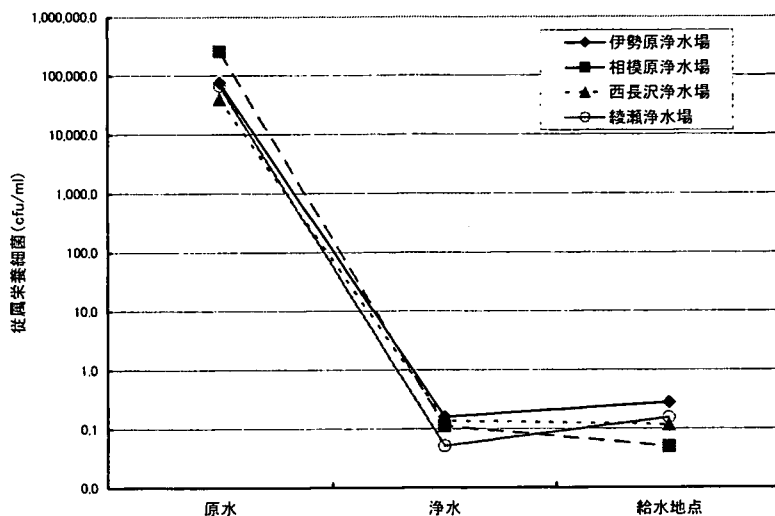


図6. 工程別、従属栄養細菌数 (2007.1~2007.12)

D. 結論

当該研究では使い捨て容器を用いたろ過濃縮装置を開発し、内径 35mm 程度と小型でかつ簡便な装置へとまとめることができた。粉体ケーキろ過法により十分なる過量の確保、易収納・保存性、高回収率等が保証されており実用性に富んだ濃縮方法として迅速検査への利用が期待される。綾瀬浄水場の浄水を用いた通水試験により小型アパタイトケーキろ過濃縮装置により 40 分で 20L がろ過できた。また、400L 程度までのろ過であれば 0.2L/min 程度以上の流量が確保された。したがって、本法で前

日 17:00 にろ過を開始すれば、翌日 9:00 には概ね 350L 程度のろ過が可能であった。現行のアパタイト粉体は粉体由来の濁質が多く、改良の必要性があった。

LAMP 法は原虫の検出に有効で、ジアルジアでの結果を見る限り鏡検法よりも高感度であることが示された。

クリプトスポリジウムの DNA 検査法では鋳型 DNA 抽出時の液量が問題となっていた。逆転写反応によって大幅な感度向上が可能であることが確認されたことから、クリプトスポリジウムを対象とした核酸試験法 (RT-Lamp 法) の実用化が期待される。

浄水処理工程において大腸菌ファージ Q β (3log 除去) は、MS2 (2log 除去) に比べ除去率が高い傾向が示された。その理由として、凝集処理過程での不活化が原因しているものと推察された。また、ノロウイルス VLP の浄水処理過程における除去率は、大腸菌ファージに比べて低い値 (1 log 除去) に留まった。

マウスノロウイルスはヒトノロウイルスに近縁で培養系が確立されていることから、新たな指標として期待される。今後は、塩素消毒等の実験への利用を考えている。

E. 研究発表

1. Shirasaki, N., Matsushita, T., Matsui, Y. and Ohno, K., Effects of reversible and irreversible membrane fouling on virus removal by a coagulation-microfiltration system, *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, accepted.
 2. Shirasaki, N., Matsushita, T., Matsui, Y., Ohno, K. and Kobuke, M., Virus removal in a hybrid coagulation-microfiltration system – Investigating mechanisms of virus removal by a combination of PCR and PFU methods, *Water Science and Technology: Water Supply*, 7 (5-6), 1-8, 2007.
 3. Matsushita, T., Le-Clech, P., Chen, V. and Wickramasinghe, S.R., Behavior of gold colloid as model viruses during filtration through adsorptive ion exchange membranes, *Desalination*, 199 (1-3), 105-107, 2006.
- 学会発表
1. 泉山信司、大内一敏、遠藤卓郎、粉体ろ過によるクリプトスポリジウム濃縮保存法の開発、第 59 回全国水道研究発表会発表予定、平成 20 年仙台市 (予定)
 2. 猪又明子、保坂三継、泉山信司、百田隆祥、大谷喜一郎、遠藤卓郎、環境水中の原虫類検出を目的とした LAMP 法の検討、第 59 回全国水道研究発表会発表予定、平成 20 年仙台市 (予定)
 3. Shirasaki, N., Matsushita, T., Matsui, Y. and Ohno, K., Effects of reversible and irreversible membrane fouling on virus removal by a coagulation-microfiltration system, *Proceedings of IWA International Conference on Particle Separation (PS 2007)*, Toulouse, France, 9-12 July 2007.
 4. Shirasaki, N., Matsushita, T., Matsui, Y., Ohno, K. and Kobuke, M., Virus removal in a hybrid coagulation-microfiltration system – Investigating mechanisms of virus removal by a combination of PCR and PFU methods, *Proceedings of IWA 4th International Conference on Membranes for Water and Wastewater Treatment*, Harrogate, UK, 13-16 May 2007.
 5. Matsushita, T., Virus removal by a coagulation-microfiltration hybrid system, *Proceedings of International Symposium for Clean Process and Energy*, Daegu, Korea, 9-10 March