

携帯用浄水器の浄水性能評価実験

矢野 一好*, 古畑 勝則**, 小輪瀬 勉*,
真木 俊夫*, 土屋 悦輝*

Evaluation of Bacterial and Viral Removal from Water by Portable Water Purifier

KAZUYOSHI YANO*, KATSUNORI FURUHATA**, TSUTOMU KOWASE*,
TOSHIO MAKI*, YOSHITERU TSUCHIYA*

Keywords : 生活用水 domestic water, 浄水器 portable waterpurifier, 大腸菌 *Escherichia coli*, ウイルス virus, 大腸菌群 coliforms,

緒 言

阪神・淡路大震災の教訓を踏まえ、全国の自治体などでは、防災対策マニュアルの見直しが行われ、より充実したマニュアルが完成している¹⁾。また、各家庭においても飲用水の備蓄など防災意識の高揚がみられるようになってきた。

行政サイドにおける被災時の飲用水確保は、1人あたり少なくとも1日3リットルを目標に行われている。この水量を確保する手段として、給水車による給水体制の整備をはじめ応急給水槽の設置等を行っている。また、災害用の飲用水源として河川水や水泳プール水を想定した浄水装置の導入も進めている²⁾。この際に使用する中規模の浄水装置の基本情報については、すでに公的機関から公表されている³⁾。一方、商業ベースでも個人レベルで使用する「サバイバル浄水器」とか「携帯用浄水器」と称する小型の浄水器が開発され市販されている。市販されているこれらの浄水器の使い勝手については、国民生活センターから報告されている⁴⁾が、微生物の除去能については、あまり評価されていない。

本研究は、これらの背景を踏まえて、災害時に飲用水の水源として利用される可能性がある「浴槽水」と「河川水」に大腸菌とウイルスを同時に添加して、その除去能を調査したものである。

材料と方法

1. 試料水

実験には、水道水を原水として使用している浴槽で、数人が入浴した後、毎日全換水している浴槽水と、都内に流域をもつ1級河川の下流域で採水した河川水を用いた。実験の対照水としては精製水を用いた。

2. 供試微生物

細菌は、水系における病原微生物汚染の指標となっている大腸菌を使用した。菌の由来は、環境水から分離した分離菌株である。

ウイルスは、腸管系ウイルスの代表であることと、バイオハザードの面からも安全に取り扱えることからポリオウイルスのワクチン株(Lsc, 2 ab株)を用いた。

3. 浄水器

個人使用を目的として作成され、百貨店の防災コーナーなどで市販されている浄水器を購入した。それぞれの浄水方式などは一覧表にして表1にまとめた。製造国は日本、ドイツ、米国及びスイスである。浄水方式は、メーカーによって異なり、記載内容もさまざまであったが、大別して中空糸膜などの膜処理を行うものと、イオン交換樹脂などの吸着剤を用いたものであった。使用方法は、手押しポンプ形式のものと、ストロー式で直接吸引する形式のものに大別できた。全体の大きさと重さは、一部を除いて携帯が可能ないように加工されていた。

* 東京都立衛生研究所環境保健部水質研究科 169 - 0073 東京都新宿区百人町3 - 24 - 1

* The Tokyo Metropolitan Research Laboratory of Public Health
3 - 24 - 1, Hyakunincho, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-0073 Japan

* * 麻布大学環境保健学部微生物学研究室

表 1 . 実験に使用した携帯用浄水器の浄水方式と形状の概要

浄水器番号	製造国	浄水方式（製品記載事項）	使用方法	外観寸法	重量（実験者の計測）
1	ドイツ	特殊イオン交換樹脂	自然ろ過	円筒形 160mm × 210mm	670g
2	日本	活性炭ろ過 イオン交換樹脂 中空糸膜ろ過	手動式加圧ろ過	円筒形 100mm × 225mm	380g
3	米国	膜ろ過 孔径；2 μm	手押しポンプ 又は直接吸引	円柱形 30 ~ 60mm × 400mm	120g
4	日本	活性炭，銀 サンゴ未焼成カルシウム	手押しポンプ	円柱形 32mm × 300mm	200g
5	スイス	セラミックフィルター 孔径；0.2 μm	手押しポンプ	円筒形 (40 × 70) × 180mm	220g
6	日本	活性炭，銀 サンゴ未焼成カルシウム	手押しポンプ	円筒型 (30 × 80) × 180mm	90g
7	日本	中空糸膜 孔径；0.15 μm	手動式加圧ろ過	円柱形 55mm × 210mm	115g
8	米国	フィルター，活性炭 殺菌用イオン交換樹脂	ストロー式直接吸引	円筒形 12mm × 195mm	18g
9	日本	活性炭，銀，サンゴ	ストロー式直接吸引	円筒形 20mm × 130mm	24g

*一部の浄水器には殺菌料として次亜塩素酸ナトリウムなどが添付されていたが実験には使用しなかった。

4 . 実験方法

実験用試料水の調製は，各々の試料水を 5 L ずつ準備し，大腸菌とウイルスを目標値で 10^4 /ml になるように添加して行った。

通水は，メーカー記載の使用方法に従って行い，初流水は廃棄し，おおむね数百 ml 通水して定常状態になった時点で性能評価用の試料を採取した。

5 . 結果判定

大腸菌は，性能評価用の試料水 1 ml を用いて上水試験方法⁵⁾記載のデソキシコール酸寒天培地法によって定量した。24 時間培養したのちにコロニー計数を行い，結果は CFU /ml で表示した。

ポリオウイルスは，上水試験方法⁵⁾に記載されている BGM 細胞を使用したブラック形成法によって定量し，結果は PFU /ml で表示した。

理化学試験は，上水試験方法に従って行い，現行の水道水水質基準と比較した。

結果と考察

1 . 浄水器の微生物除去能

携帯用浄水器による微生物除去能は，表 2 に浄水器からの漏出微生物量で，図 1 に浄水器ごとの微生物漏出率で，図 2 ~ 図 4 に試料水ごとの微生物漏出率で示した。微生物除去能は，浄水器の種類によっても変動したが，試料水の種類による変動の方が大きかった。

一部の浄水器は，試料水のろ過前あるいはろ過後のいずれかで次亜塩素酸ナトリウムなどによる消毒操作を行うよう取扱説明書に指示されていた。しかし，今回使用した試料水について指示どおりの処理を行うと，過剰な塩素処理になる場合がほとんどであった。すなわち，所定の処理をした試料水中の遊離塩素濃度を DPD 法で測定すると，DPD 試薬の発色そのものが漂白されて呈色しない現象がみられた。従って，今回の実験では，塩素処理を行わず，各浄水器を通水させることによるのみ微生物の除去能を測定した。

表 2 . 携帯用浄水器からの漏出微生物量

微生物	試料水	無処理	浄水器 1	浄水器 2	浄水器 3	浄水器 4	浄水器 5	浄水器 6	浄水器 7	浄水器 8	浄水器 9
大腸菌	精製水	37,000	0	0	9,600	0	0	0	0	0	0
	浴槽水	32,000	0	0	1,700	900	0	11,000	0	0	4,300
	河川水	12,000	0	0	240	9,100	0	5,300	0	500	12,000
ウイルス	精製水	19,000	3,400	21,000	18,000	22,000	19,000	22,000	23,000	18,000	22,000
	浴槽水	4,800	4,300	1,900	2,600	3,500	800	2,500	1,200	200	3,600
	河川水	2,400	1,300	1,600	400	1,600	900	1,200	700	90	2,200

添付されている塩素剤による予備実験の結果から、浄水処理した水の微生物汚染を防止する目的で使用する塩素剤の添加は、かなり慎重に行わなければ過剰な塩素処理による健康への悪影響が危惧される。

1) 大腸菌の除去能

大腸菌が漏出しなかった浄水器は、自然ろ過方式による浄水器（浄水器1）と明らかに細菌より小さい孔径をもつフィルターを装着した浄水器（浄水器2,5,7）であった（表2、図1）。活性炭、銀、サンゴ未焼成カルシウムなどでろ過する方式の浄水器（浄水器4,6,9）

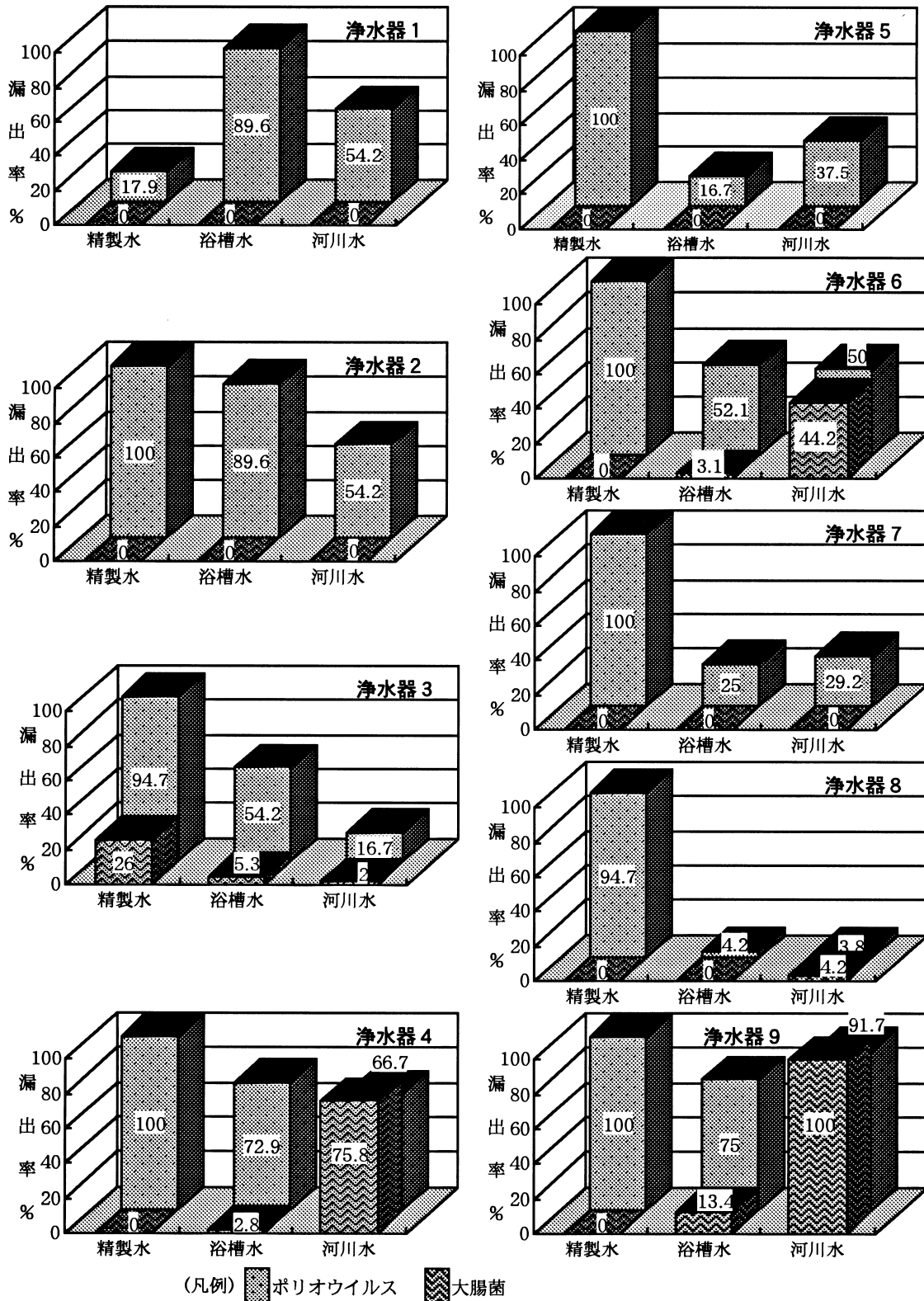


図1. 浄水器の種類と添加した微生物の漏出率 (%)

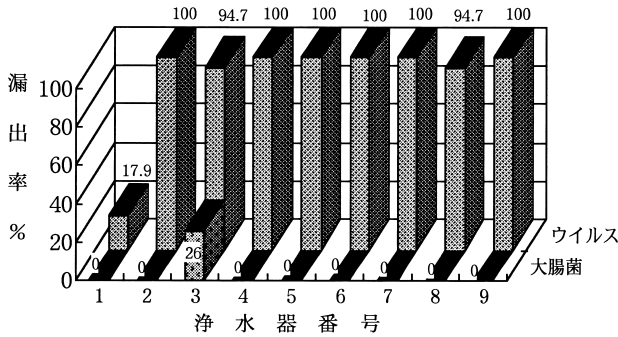


図2. 浄水器の種類と微生物の漏出率 (精製水)

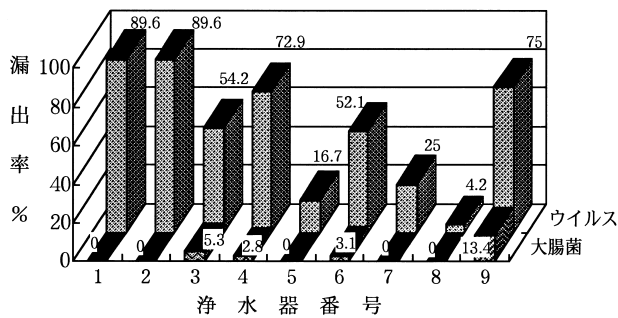


図3. 浄水器の種類と微生物の漏出率 (浴槽水)

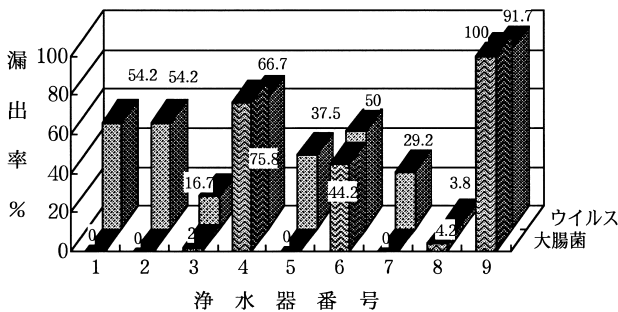


図4. 浄水器の種類と微生物の漏出率 (河川水)

は、精製水を試料水とした場合には良好であった(表2, 図2)が、浴槽水と河川水では、かなり大きな漏出率を示す場合があった(表2, 図3, 4)。また、孔径 $2\mu\text{m}$ のフィルターを装着した浄水器(浄水器3)では、いずれの試料水でも大腸菌の漏出が認められた(表2 図1)。なお、浄水器8では、河川水を試料水とした場合に、わずかながら大腸菌の漏出があった。

以上の結果から、大腸菌の除去には、当然のことながら孔径が菌体よりも小さいフィルターを装着した浄水器が有効であることが判明した。一方、フィルターによる物理的なる過方式以外の方式を採用している浄水器では、安定した大腸菌の除去能は期待できないと推定された。

2) ウイルスの除去能

試料水と浄水器の組み合わせ実験の結果、添加したウイルスのすべてを除去できる組み合わせはなかった(図1)。特に、試料水別の漏出率をみると図2に示した精製水の場合が著しく、自然ろ過方式をとっている浄水器1以外の浄水器では、ウイルスが素通り状態であった。しかし、試料水を浴槽水と河川水に限定すれば浄水器8でのウイルス漏出率が浴槽水で4.2%、河川水で3.8%と低率であった(図3, 4)。浄水器8は、操作性などの実用面からみると、ストロー式直接吸引によるろ過方式であることと超小型であることから、他の浄水器に比較してろ過水量が少ない。

ウイルス漏出率の変動は、浄水器の種類よりも試料水の種類において激しかった。すなわち、精製水を試料水にすると、図2に示したように浄水器1を除いてほとんど同じような傾向を示しているが、浴槽水(図3)と河川水(図4)では大きく変動した。このような変動が生じる原因の一つに、ウイルスの凝集現象がある。水中に混入したウイルスは、単粒子で浮遊することは少なく、ほとんどの場合、ウイルス同士で凝集したり有機固形物を核として凝集する性質がある⁶⁾。このような現象が影響して、単粒子なら素通りする孔径のフィルターでも試料水中に有機固形物が多いとウイルスの凝集塊が大きくなり、浄水器のフィルターで凝集塊ごと捕捉されるものと考えられる。これらのことから、実験に供した浄水器によるウイルス除去能は、試料水の種類によって変動が激しく、安定したウイルス除去能は期待できないと推測した。もちろん、すべての浄水器の仕様書には、除去できない物質として「ウイルス」が明記されている。

しかし、環境水中にはヒトの腸管系ウイルスも多く混入しており⁷⁾、水源として河川水や湖沼水を使用することを前提とした場合は、粒子の大きさが 20nm レベルである腸管系ウイルスも除去できる浄水器の開発が望まれる。

2. 理化学性能の評価

水源として河川水や湖沼水を利用することを前提とした浄水器に求められるもう一つの性能は、化学物質の除去である。性能評価指標としては、急性毒性のある農薬類やトリクロロエチレンなどが考えられるが、今回の実験では、基本的な7項目についての評価にとどめた。

各浄水器における測定結果は、試料水ごとに整理して表3～表5に示した。各試料水とも無処理と表示した欄に記載した数値は、高濃度の細菌とウイルスを添加した後測定した結果である。従って、表3に示した精製水

表3．携帯用浄水器で処理した試料水の水質分析結果（供試水：精製水に大腸菌とポリオウイルスを添加）

項目	無処理	浄水器1	浄水器2	浄水器3	浄水器4	浄水器5	浄水器6	浄水器7	浄水器8	浄水器9	水道水質基準
硝酸・亜硝酸性窒素 mg/L	0.3	0.0	0.2	0.3	0.0	0.3	0.1	0.3	0.2	0.1	10mg/L以下
塩素イオン mg/L	8.9	2.6	15.9	0.3	19.3	9.0	11.7	8.8	25.4	15.4	200mg/L以下
過マンガン酸カリウム 消費量 mg/L	8.2	13.9	12.0	10.4	26.8	11.0	10.1	10.4	19.2	12.9	10mg/L以下
pH 値	5.8	5.8	6.0	6.7	8.0	6.2	6.8	5.8	5.6	7.4	5.8～8.6
色度	2	0	0	0	3	8	0	2	2	3	5度以下
濁度	0	0	0	0	60	0	0	0	2	3	2度以下
臭気	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし

* 表中に網掛けした数値項目は水道水質基準を超えている。

表4．携帯用浄水器で処理した試料水の水質分析結果（供試水：浴槽水に大腸菌とポリオウイルスを添加）

項目	無処理	浄水器1	浄水器2	浄水器3	浄水器4	浄水器5	浄水器6	浄水器7	浄水器8	浄水器9	水道水質基準
硝酸・亜硝酸性窒素 mg/L	1.9	0.4	0.6	1.1	0.3	1.6	0.9	1.9	1.2	0.9	10mg/L以下
塩素イオンmg/L	36.0	16.7	40.8	24.5	42.4	32.6	38.6	38.4	44.9	38.9	200mg/L以下
過マンガン酸カリウム 消費量 mg/L	13.9	8.5	9.7	12.2	19.9	20.5	12.9	23.0	23.3	13.9	10mg/L以下
pH 値	7.0	6.2	6.9	6.8	7.4	6.8	7.2	7.0	6.8	7.2	5.8～8.6
色度	5	8	0	0	2	2	2	0	2	2	5度以下
濁度	0	3	0	0	10	0	2	0	0	1	2度以下
臭気	異常あり	異常あり	異常あり	異常あり	異常あり	異常あり	異常あり	異常あり	異常あり	異常あり	異常なし

* 表中に網掛けした数値項目は水道水質基準を超えている。

表5．携帯用浄水器で処理した試料水の水質分析結果（供試水：河川水に大腸菌とポリオウイルスを添加）

項目	無処理	浄水器1	浄水器2	浄水器3	浄水器4	浄水器5	浄水器6	浄水器7	浄水器8	浄水器9	水道水質基準
硝酸・亜硝酸性窒素 mg/L	2.0	0.6	0.6	1.9	0.7	1.9	1.0	1.9	1.5	1.2	10mg/L以下
塩素イオンmg/L	32.4	21.5	39.9	34.4	39.1	33.8	36.2	32.7	39.8	35.7	200mg/L以下
過マンガン酸カリウム 消費量 mg/L	15.4	10.7	9.4	26.8	20.8	14.5	12.9	12.9	19.9	11.3	10mg/L以下
pH 値	6.9	6.8	7.0	7.0	7.0	6.8	7.2	6.8	6.7	7.2	5.8～8.6
色度	16	8	0	0	6	2	9	3	10	8	5度以下
濁度	3	2	0	0	10	0	3	0	2	2	2度以下
臭気	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし	異常なし

* 表中に網掛けした数値項目は水道水質基準を超えている。

でも塩素イオンや過マンガン酸カリウム消費量の測定値が高くなっている。浄水器の性能評価という観点から考えると、タンパク質などを負荷した状態で評価をしたことになる。

表3～表5に示した理化学試験の結果をみると、過マンガン酸カリウム消費量は、一部の浄水器では減少しているが、ほとんどの浄水器で水道水質基準を超える結果となった。また、浴槽水を試料水とした場合は、臭気の除去も不完全であった。色度、濁度についても、原水より浄水器を通過させた水の方が高くなる場合があった。

これらの結果から推測すると、ろ過材として使用している活性炭やイオン交換樹脂の性能が活かされていない

可能性がある。また、過マンガン酸カリウム消費量の増加傾向を考えると、浄水器本体から何らかの化学物質が溶出している可能性も否定できない。

今回の実験では初流水の廃棄が不十分だった可能性はあるが、実用面から考えると初流水であっても飲用可能な水質が確保できる浄水器が求められる。

3．浄水器に求められる基本性能に係わる考察

被災時に使用することを目的とした浄水器に求められる基本性能は、原虫クリプトスポリジウム、腸管出血性大腸菌、ウイルスなど病原微生物の除去能と農薬、臭気物質など化学物質の除去能である。言い換えれば、人体に対して急性的な健康被害をもたらさない飲料水の確保

である。

現在市販されている浄水器のほとんどは、大別して「活性炭」による臭気等の除去過程と「膜ろ過」による微生物等の除去過程を組み合わせた構成となっている。

活性炭に期待される浄水性能は、トリハロメタン前駆物質、農薬等の微量有機化合物、変異原性物質及び臭気物質などの吸着除去であるが、活性炭を水処理に使用する場合の規格仕様は現在のところ規定されていない。吸着性能は、活性炭粒子の硬さ、充填密度、粒度分布、容量などの条件によって異なる。また、処理対象となる水の水质によって除去性能は大きく変動することが指摘されている⁸⁻¹⁰⁾。活性炭処理の欠点は、活性炭のもつ吸着容量を超えた場合でも活性炭カラムの目詰まりがない限り処理水が得られるということである。すなわち、臭いや外観で識別できない物質の場合は、除去されているか否かが容易に判断できないことである。この欠点をカバーするには、簡易測定試薬等で原水と処理水をチェックする必要がある。しかし、測定対象となっていない物質については判断できない。従って、緊急の場合は、砒素などの毒物が混入していないことが平常時に確認されている水源（受水槽の残留水など）を利用すべきと考える。

膜ろ過プロセスは、砂ろ過等に比較して除去できる粒子サイズに格段の差がある。水処理に使用する膜の種類は、膜の孔径と分画分子量によって、精密ろ過膜(MF)、限外ろ過膜(UF)、ナノろ過膜(NF)及び逆浸透膜(RO)に分類されている。MFやUFによる膜ろ過は、基本的には固液分離の技術であるため細菌類の除去はできるが農薬などの溶解性物質の除去はできない。膜ろ過で農薬などの溶解性物質を除去するには、農薬の分子量(例:シマジン 201.7)からみて、少なくともナノろ過膜が必要である。当然、膜が緻密であればあるほど原水中の夾雑物の除去性能は良くなるが、稼働に必要なエネルギー消費量は大きくなる。まして、被災時に手動で処理するには限界がある。

今回の実験に供した浄水器は、細菌や原虫類の除去は可能であるが、ウイルスと溶存化学物質の除去が期待できない。従って、浄水器の浄水方式を改良することも必要であるが、被災時に使用する水源の選択も大きな課題

として残る。

結 論

被災時に個人レベルで使用することを目的として開発され市販されている浄水器の浄水性能について評価実験を行い以下の結論を得た。

- 1) 菌体よりも小さい孔径のフィルターを使用した浄水器は大腸菌を完璧に除去できた。
- 2) 菌体より大きい孔径のフィルター及びフィルター以外のろ過材を使用した浄水器は大腸菌の漏出があった。
- 3) ポリオウイルスを完全に除去することはできなかった。
- 4) 理化学試験の結果、現行の飲料水水质基準を満たす浄水性能は確認できなかった。

文 献

- 1) 東京都：災害時における避難所等衛生管理マニュアル，平成9年5月，などが各自治体から発行されている。
- 2) 都市問題研究プロジェクト：震災時の用水確保方策に関する総合シンポジウム講演集，1997年3月11日。
- 3) 災害用浄水装置等情報提供委員会：災害用浄水装置等情報，第1号，平成10年11月27日，財団法人日本消防設備安全センター，東京。
- 4) 国民生活センター：浄水器の比較テスト結果，平成9年6月，国民生活センター，東京。
- 5) 日本水道協会：上水試験方法，520-523，1993，日本水道協会，東京。
- 6) 矢野一好：水質汚濁研究，13，(8)485-490，1990。
- 7) Yano, K., Yoshida, Y., Shinkai, T. and Ohota, K.: *Wat. Sci. Tech.*, 27, 295-298, 1993.
- 8) Hirata, T., Kawamura, K., Yano, K. and Kaneko, M.: *Wat. Sci. Tech.*, 28, 55-61, 1993.
- 9) Otaki, M., Yano, K. and Ohgaki, S.: *Wat. Sci. Tech.*, 37, 107-116, 1998.
- 10) 科研費報告書：膜利用型新高度浄水技術開発研究，平成7年3月，社団法人水道浄水プロセス協会，東京。