

災害時における水を介した衛生管理への取り組み

日本水環境学会水中の健康関連微生物研究委員会 田中宏明, 片山浩之, 山下尚之

1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災は、被災地・避難民への安全な水供給施設への被害とともに、発生した津波による大量の廃棄物の発生と水質汚染、沿岸域の環境破壊、さらに津波による多くの下水処理場の処理機能損失と放流先水域での水質汚染等、かつて見られないような規模で、水環境の健全性に影響を与えている。また、水産業が地域の主要産業となっている東北沿岸域では、その復興を支えるためにも、水環境の健全性の早い回復が必要となっており、水環境への影響を軽減し、また水環境の健全性を適切な方法で評価することで復旧・復興を支えることは、本学会の重大な使命である。このため、大震災への対応として、平成 23 年 4 月 7 日の運営理事会で、「東日本大震災対応タスクチーム」を発足させ、(1) 衛生管理に関するテーマを水中の健康関連微生物研究委員会、(2) 湿地・沿岸域に関するテーマを湿地・沿岸域研究委員会が担当し、調査を行うこととなった。また本学会は、東日本大震災の総合対応に関する学協会連絡会（日本学術会議）へ積極的に参画し、日本学術会議主催の連続シンポジウム「巨大災害から生命と国土を護る－24 学会からの発信－」や緊急提言や共同声明への参画を行っている。本稿では、このうち水中の健康関連微生物研究委員会が活動してきた衛生管理に関する内容を中心に紹介する。

本委員会では、水源域や排水受水域における水質の調査を通じた衛生管理、被災地における下水道関連での衛生管理についての情報の集約および整理、下水道施設の被災による病原微生物の影響評価と適正リスク管理、沿岸生態系への影響を加味した処理のあり方、およびこれらの課題などについて、多角的な影響評価方法や下水処理・リスク管理に関して提案をすることを目的としてスタートした。平成 23 年 9 月 10 日に仙台市で開催された日本水環境学会第 14 回シンポジウムでは「震災後の対応における水中病原微生物対策」をテーマに開催し、東日本大震災発生による下水道被害や水環境汚染の状況について情報交換した。この結果、下水道施設の一部は、当時処理機能が不十分な状況となっており、病原微生物が平常時よりも高濃度で海域に放流されていると考えられ、放流先水域での汚染実態の把握と被災下水処理場の放流水による環境影響を低減する方法の検討が緊急的に必要であることに結論が至った。そこで、本稿の 2. で述べる水域と下水処理場での汚染実態の把握と、3. で述べる生物処理が不十分な下水に対する消毒技術（塩素、オゾン、UV）の実験的検討に重点を置いて活動を行った。これらの検討結果は、短期間に精力的に収集したもので、今後さらなる検討が必要と考えられ、本稿は現時点での知見をまとめたものと理解いただきたい。

2. 被災した下水処理場沿岸の水質調査およびポリ鉄凝集を用いた簡易処理法の評価

(1) 実験方法

2011 年 12 月～2012 年 3 月に、石巻沿岸域にて試料を採取した。水温、塩分、濁度に加え、大腸菌、大腸菌群を定量し、体表面ファージ、F 特異ファージをブラック法で測定した。ウイルス濃縮は既報¹⁾に従い、RT-qPCR によりアイチウイルス (AiV)、ノロウイルス Genogroup I (NoV GI), NoV GII, エンテロウイルス (EV), サボウイルス (SaV) を定量した。

活性汚泥法が機能していない下水処理場における微生物除去能を向上するための方法として、ポリ鉄を用い凝集沈殿後に消毒する簡易処理法を検討した。被災した宮城県石巻東部浄化センターおよび通常運転されている関東における 2 か所の下水処理場の流入下水を対象として実験した。実験ではポリ鉄 (30mg/L もしくは 60mg/L) を注入し、2 秒間の急速攪拌、3 分間の緩速攪拌の後、27 分静置した。また、ポリ鉄による凝集処理効果の評価のため、塩素消毒実験を行った。塩素注入率は 5mg/L および 10mg/L とし、接触時間は 1 分、5 分および 30 分において試料を採取し、チオ硫酸ナトリウムで中和後、微生物の測定を行った。

(2) 結果と考察

石巻沿岸にて採取した試料の全期間を通じて、水温は 1.3-11.6℃、濁度は平均 5.6FAU (0-16)、pH は平均 8.70 (8.18-9.53) であった。大腸菌、大腸菌群数は下水処理場近傍で比較的高く (それぞれ 0-1300, 0-33cfu/ml)、遠方の地点で比較的低い値を示した (それぞれ 0-52, 0-4cfu/ml)。ウイルスについては、少容量の濃縮試料からは、アイチウイルスが比較的高い頻度で検出された。濃度レベルとしては下水流入水の 1000 倍希釈に当たる濃度と考えられ、大腸菌および大腸菌群の濃度の傾向とも整合した結果である。また、大容量を用いた試験では、いずれの採取地点においても、低濃度ながらアイチウイルスおよびノロウイルス GI が検出された。

ポリ鉄による凝集処理実験の効果を写真で示した。2 秒の急速攪拌を伴う 60 mg/L の注入率において、254nm 吸光度は 0.3 程度 (0.22-0.59) にまで低下した。このことから、ポリ鉄凝集処理の後に、低圧紫外線を用いた消毒が比較的效果的

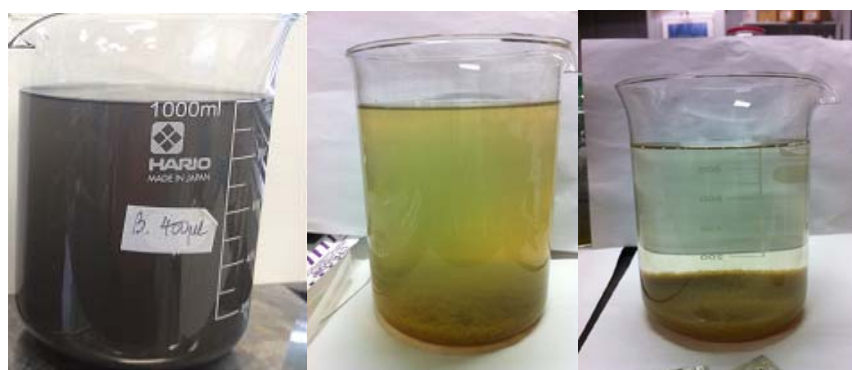


写真 ポリ鉄による濁度除去 (左から流入下水、Slow60, Rapid60)

ある可能性が示された。最初沈澱後の水に対する塩素消毒は、大腸菌に対しては有効であることもあったが、体表面ファージに対してはあまり効果的でなく、F 特異ファージに対してはほとんど効果が見られなかった。このことから、沈澱処理水に対する塩素消毒はウイルスに対して効果がない可能性が高いと考えられる。ポリ鉄は良好な凝集沈澱効果を示し、大腸菌を 2Log 程度、ファージを 1Log 程度除去できた。また、処理後の試料において、塩素注入率 5mg/L における大腸菌の不活化率は 5 分間で 2Log 程度、30 分で 4Log 以上であった。

以上より、流入下水に対してポリ鉄を用いた凝集を行うことにより、透明度の高い水が得られることが分かった。また、その後の塩素消毒においても、最初沈澱のみに比較して低濃度で大腸菌に対する不活化効果が得られることが分かった。

3. 各種消毒方法に関する消毒効果および放流先水域の水生生物への影響

(1) 実験方法

塩素消毒実験は 1L ビーカーに下水試料（最初沈澱池流出水、以後、初沈流出水）を 1L 入れ、次亜塩素酸ナトリウム（和光純薬：有効塩素 12%）を適当に希釈して調整した溶液を所定量注入した。各実験において試料を経時的に採取し、微生物濃度の変化を測定した。採取した試料にはチオ硫酸ナトリウム溶液を添加して脱塩素した。紫外線消毒実験は、22L 反応槽に下水試料（初沈流出水）を 22L 入れ、254nm の波長と 0.384mW/cm² の強度の低圧水銀ランプで照射しながら回分式実験を行った。オゾン消毒実験は、22L の反応槽に下水試料を 22L 入れ、オゾンガスを反応器下部より注入しながら半回分式実験を行った。また、注入オゾンガス濃度と排オゾンガス濃度をオゾン測定機で測定を行った。各実験において試料を経時的に採取し、微生物濃度の変化を測定した。各消毒実験において、測定対象項目としては大腸菌群、大腸菌、腸球菌、大腸菌ファージとした。

消毒実験から得られた試料については、合わせて生態毒性試験を実施した。生態毒性試験としては、水域生態系における生産者への影響を見る試験として藻類生長阻害試験、分解者である細菌類への影響を観察する試験として Microtox[®]試験を実施した。藻類生長阻害試験では、供試生物として、*Pseudokirchneriella subcapitata* (NIES-35) を用いて、マイクロプレートを用いて試験を行った。曝露期間は 96 時間とし、マイクロプレートリーダーを用いて吸光度を測定し、藻類増殖量をモニタリングした。Microtox[®]試験は、海洋性発光細菌 *Vibrio fischeri* を供試生物として、Microtox[®]測定装置には AZUR Environmental, Microtox[®] M500 Analyzer を用いて、付属のマニュアルの手順に従って試験した。サンプルを曝露してから 15 分後の発光量から発光阻害率を出した。

(2) 結果と考察

塩素消毒、紫外線消毒およびオゾン消毒という 3 種類の消毒技術について、初沈越流水を試料水として検討を行った消毒効果および生態毒性の観点からまとめた結果を表 1 に示す。また、表中には初沈越流水を対象とした膜ろ過技術についても付記している²⁾。表 1 では、塩素消毒、紫外線消毒、オゾ

ン消毒および膜ろ過について、大腸菌群数については 3000 CFU/mL 以下に低減することができるかどうか、腸球菌およびウイルスについては、2-log 以上低減できるかどうかで消毒効果を判定している（○ or ×）。また、生態毒性については、各種消毒技術により水生生物への毒性影響を低減できるかどうかで判定している（○ or ×）。表 1 の結果から、塩素消毒については、大腸菌群や腸球菌といった細菌類については消毒効果が認められるが、ウイルスについては消毒効果が低いことが分かった。一方、放流先水域の水生生物への毒性影響については、放流水の水生生物への毒性影響を考慮する必要がある。すなわち、チオ硫酸ナトリウムなどに代表される還元剤によって塩素を脱塩素する、環境水によって希釈を行うなどの対策を行う必要がある。また、紫外線消毒については、生態毒性の面から見れば、放流先水域の水生生物への毒性影響は小さいと考えられるが、初沈越流水のように水中の懸濁物質のために紫外線が十分に透過しない場合には、消毒効果が十分ではない可能性がある。一方、オゾン消毒については、ウイルスに対する消毒効果は 2-log 以上と十分な消毒効果が得られているが、大腸菌群および腸球菌といった細菌類については消毒効果が不十分である。オゾン消毒は、下水中の化学物質の分解には有効であることから、生態毒性の面から見ると水生生物への毒性影響が低減されるという効果がある。また、限外ろ過膜（UF 膜）を用いた処理技術については、細菌類の除去率は 100% となり、またウイルスについても凝集剤との組み合わせ技術により 3-log 程度の除去率が得られている²⁾。膜ろ過透過水の水生生物への毒性については、膜ろ過前の試料と比較してほとんど変化しないことが推測され、生態毒性の面からも有利な処理技術であると考えられる。

表 1 初沈越流水に対する各種消毒技術の消毒効果と生態毒性

	消毒効果			生態毒性	
	大腸菌群	腸球菌	ウイルス	藻類	Microtox
塩素消毒	○	○	×	×	×
紫外線消毒	△	△	△	○	○
オゾン消毒	×	△	○	○	○
膜ろ過	○	○	○	○	○

消毒効果；
○：大腸菌群数については 3000 CFU/mL 以下に低減できる、腸球菌およびウイルスを 2-log 以上低減できる ×：上記低減効果を達成できない
生態毒性；
○：水生生物への毒性影響は見られない ×：水生生物への毒性影響がある

参考文献

- 1) Katayama H., Shimasaki A. and Ohgaki S. (2002) Development of a Virus Concentration Method and Its Application to Detection of Enterovirus and Norwalk Virus from Coastal Seawater, Applied and Environmental Microbiology, 68, 1033-1039
- 2) 李善太, 山下尚之, 田中宏明, 小林憲太郎, 田中宏明, 高島寛生, 田中祐之 (2012) 最初沈澱池越流水を対象とした膜処理における運転性およびウイルス処理性能の評価, 第 48 回下水道研究発表会