

病原ウイルスの下水処理過程での制御

諏訪 守* 岡本誠一郎** 桜井健介***

1. はじめに

感染者から排出される病原ウイルスであるノロウイルスは、様々な経路を経て最終的には公共用水域へ排出される。公共用水域の衛生学的安全性確保のため、環境水や下水試料の存在実態を解明し、その汚染源を把握し消長を明らかにするとともに、対策手法の適正な評価を行うことが求められている。

本報では、まず実下水処理実験装置を利用し、活性汚泥処理法や砂ろ過法によるノロウイルスの除去率を把握するとともに、それらの手法の除去率を向上させることを目的として、凝集剤の添加効果を各々評価した。また、実下水処理場を対象に活性汚泥処理変法である高度処理法によるノロウイルスの除去率を併せて評価し、各種下水処理法のノロウイルスの除去率を明らかにしたので報告する。

2. ノロウイルスとは

冬季における多くの胃腸炎感染症の原因ウイルスであり、従来はその多くが感染原因の究明が困難であったことから、「おなかにくるカゼ」と称されていた可能性がある。他のウイルスと比較して小型であり、主な症状は下痢、嘔吐、腹痛、発熱等である。冬季の生ガキを介した感染事例が疑われていたが、現在ではヒト-ヒト感染による拡大事例が多くを占めている¹⁾。ヒトに感染するノロウイルスの遺伝子群はG1群(G1)、G2群(G2)に大別され、群中には複数の種が存在している。現在のところ細胞培養法によりノロウイルスの増殖が不可能なため、感染能力(生死)の有無を判定できない大きな課題がある。このため、定量評価手法は遺伝子数を測定するリアルタイムRT-PCR(Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction)法に限定されている。

3. 実験・調査方法

3.1 実下水処理実験装置を利用した除去率の評価

活性汚泥処理法(標準法)による除去率の評価は、曝気槽(容量100L)、最初・最終沈殿槽(各容量50L)等より構成される活性汚泥処理実験装置を利用した。A下水処理場の流入下水を連続的に流入させ、活性汚泥濃度(MLSS)を2,000mg/L程度に設定、曝気槽の水理的滞留時間(HRT)を8時間とし運転を行った。また、標準法による除去率をより向上させることを目的に、凝集剤添加活性汚泥法によっても評価を行った。凝集剤を添加していない標準法と凝集剤の添加系の2系列の実験装置を稼働させ、凝集剤はポリ塩化アルミニウム(PAC)を使用、添加量は5、10mg-Al/Lとし、曝気槽の最終槽に添加した。実験期間中に9試料をスポット採水によって採取したが、流入下水では有機物・SS濃度の高い時間帯を対象に、処理水は流入下水を採取の後に施設滞留時間を考慮し採取した。

砂ろ過法による除去率の評価では、内径150mm、高さ3,000mmのろ過塔にろ砂として珪砂を充填して用いた。充填圧や粒径の構成等は高度処理施設設計指針²⁾を参考とした。ろ過速度は200m/日の上向流ろ過方式とし、ろ過原水は活性汚泥処理水を使用した。また、凝集剤添加砂ろ過法では、砂ろ過塔への配管ラインにPACを注入しスタティックミキサーで原水とPACを混合させた後、砂ろ過を行うことで凝集剤の添加効果を評価した。PACの添加量は3mg-Al/Lとした。

3.2 実下水処理場における除去率の評価

実下水処理場における除去率の評価では、りん・窒素の高度除去を目的とした複数の高度処理法により下水処理を実施しているA下水処理場を対象とした。A下水処理場ではりん除去のための凝集剤添加活性汚泥法、窒素除去のための循環式硝化脱窒法、窒素・りん同時除去のためのA²/O法、修正Bardenpho法などの各種高度処理法により下水処理が行われており、各処理法における除去率を評価するとともに、実験装置との除去率の比

較を行った。調査期間中における流入下水、処理水の採取試料数は9試料（凝集剤添加活性汚泥法のみ4試料）とした。実験装置における採水と同様に、流入下水は高負荷時に、処理水は施設滞留時間を考慮して、スポット採水によって試料を採取した。

3.3 ノロウイルスの定量法

水試料から安定的なウイルス定量値を得るためには、検出の前処理としての濃縮操作が必要となる。現在では、操作性等の観点からウイルス濃縮法には、ポリエチレングリコール沈殿法（PEG沈殿法）や陰電荷膜法などの利用事例が多い。ここでは、PEG沈殿法により試料の濃縮を行い、ウイルス濃縮液を作成した。濃縮液中からウイルス遺伝子を抽出し、精製、逆転写反応の後、リアルタイムPCRに供した。ノロウイルスの検出に用いたプライマー、プローブおよび反応条件は、「ノロウイルスの検出法について」³⁾に準じた。

なお、PEG沈殿法とは、PEGを試料水に溶解させ遠心分離を行い、沈渣中にウイルスを濃縮させる方法である。

4. 実験・調査結果

4.1 実下水処理実験装置を利用した除去率の評価結果

実験装置におけるノロウイルスの検出濃度と除去率の推移を図-1～4に示す。感染流行期間中の1月初旬から実験装置の馴致運転を行い、1月中旬からノロウイルスの測定を開始した。凝集剤の無添加系を標準法とし、添加系では凝集剤（PAC）添加量を10mg-Al/Lと5mg-Al/Lの2通りとした。

1月～3月における本実験期間中の流入下水のノロウイルス（NV）最大検出濃度はG1、G2で $10^7 \sim 10^8$ copies/Lレベルで推移しており、高濃度の流入が維持されていた。10mg-Al/Lの添加系では、右肩上がりでも除去率が推移しており、実験開始当初の処理水のノロウイルス濃度はG1で 10^5 copies/L、G2で 10^6 copies/Lレベルであったが、最終的には $10^3 \sim 10^4$ copies/Lレベルにまで低下し、最大の除去率は各々3.5～3.8logとなった。5mg-Al/Lの添加系の処理水は当初の濃度がG1で 10^5 copies/L、G2で 10^6 copies/Lレベルであったが、最終的には $10^4 \sim 10^5$ copies/Lレベルとなり、

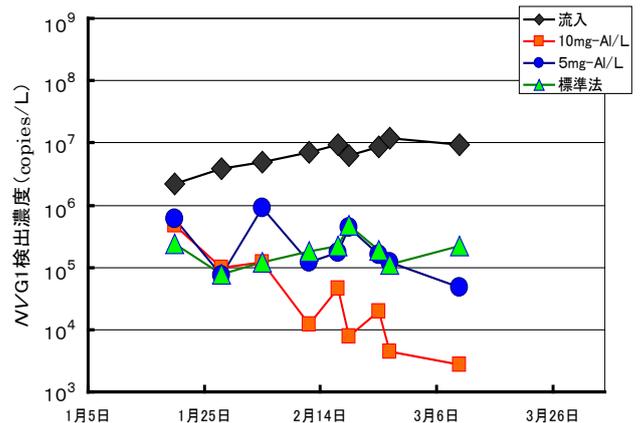


図-1 実験装置におけるNVG1濃度の推移

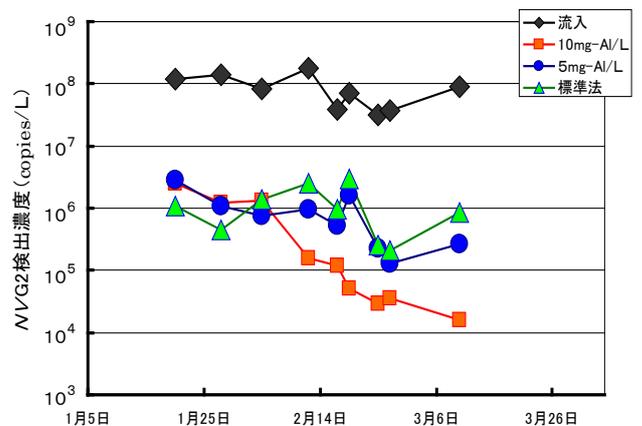


図-2 実験装置におけるNVG2濃度の推移

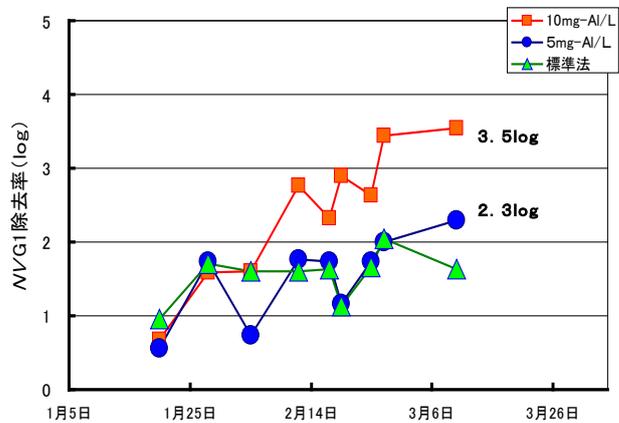


図-3 実験装置におけるNVG1除去率の推移

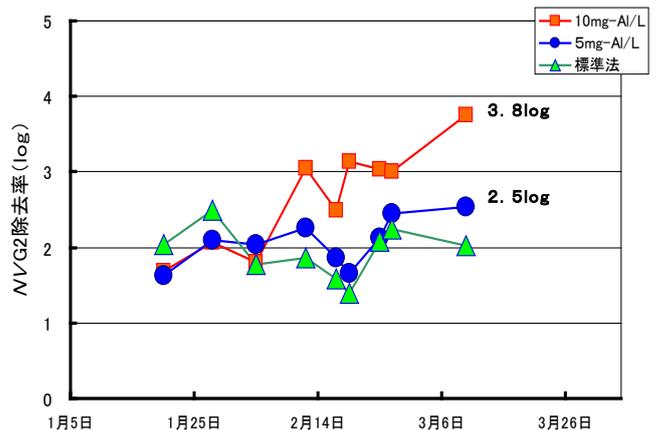


図-4 実験装置におけるNVG2除去率の推移

最大の除去率は各々2.3～2.5logとなった。また、PACの無添加ケースである標準法の処理水では、G1で 10^5 copies/L、G2で 10^6 copies/Lレベルで推移しており、平均の除去率はG1で1.6log、G2が1.9logであった。

以上のことから、PACの添加濃度を10mg-Al/Lとすることで最大2log程度の除去率が上乗せできるが、5mg-Al/Lの添加ケースでは除去率の上積み効果は若干量であった。なお、曝気槽へのPACの添加により除去率は向上するが、添加効果の最大発現までに1ヶ月程度の時間を要することが明らかとなった。

次いで、砂ろ過法による除去率の評価結果を表-1に示す。ろ過速度が200m/日の砂ろ過法での除去率はG1が1.0～1.1log、G2は0.6～1.1logであった。濁度、SSの平均除去率は0.7log程度であり、ノロウイルスの除去率と同レベルであった。凝集剤添加砂ろ過法ではPACの添加により濁度、SSの除去率が向上するとともに、ウイルスの除去率についても無添加のケースと比較して最大で1log以上向上した。活性汚泥処理法と同様に砂ろ過法でも、PACの添加によりノロウイルスの除去率を向上させられることが明らかとなった。

表-1 砂ろ過法による除去率

	除去率(log)		除去率(log)	
	NVG1型	NVG2型	濁度	SS
砂ろ過法 (200m/日) (n=3)	1.0-1.1	0.6-1.1	0.6-0.7	0.7-0.9
砂ろ過法+PAC (200m/日) (n=2)	0.6-2.4	0.9-1.8	0.8-1.4	1.1-1.3

4.2 実下水処理場における除去率の評価結果

実下水処理場における高度処理法の除去率の評価結果を図-5～8に示す。採水日は若干異なるが、流入下水は上記実験装置と同一であることから、ノロウイルス濃度に大差はない。各高度処理法の処理水のノロウイルス濃度はG1で $10^3 \sim 10^4$ copies/L、G2で $10^4 \sim 10^5$ copies/Lレベルであった。除去率は若干の変動が見られるものの、A²O法、修正Bardenpho法、循環式硝化脱窒法の順で高くなっており、特にG2で3log程度の平均除去率が得られていた。りん除去を目的としたPACの添加レベル(4mg-Al/L)の凝集剤添加活性汚泥法では、他の高度処理法と比較して除去率は若干低く2.0～2.5logの範囲であったが、実験装置の凝

集剤添加活性汚泥法(5mg-Al/L)により得られた除去率と整合していた。

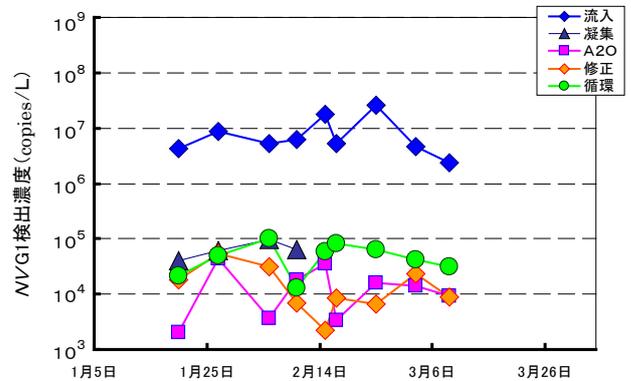


図-5 実施設のNVG1濃度の推移

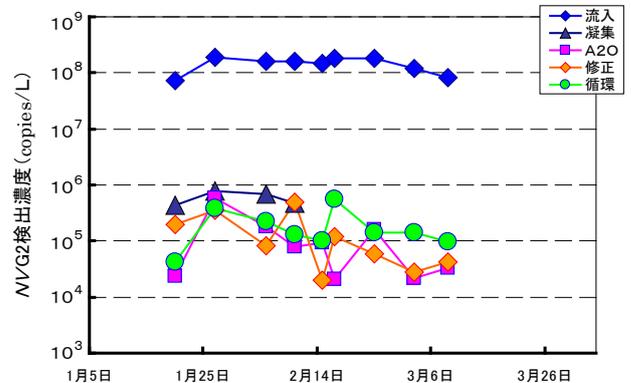


図-6 実施設のNVG2濃度の推移

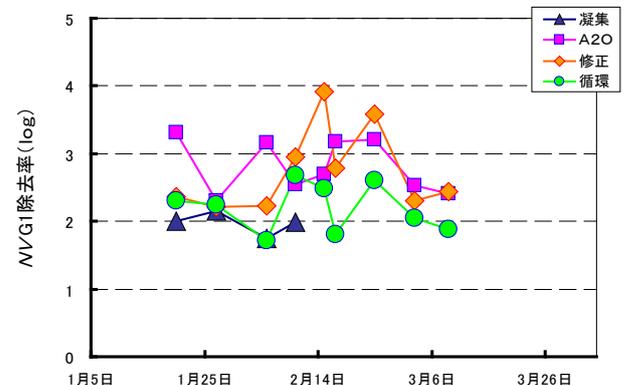


図-7 実施設のNVG1除去率の推移

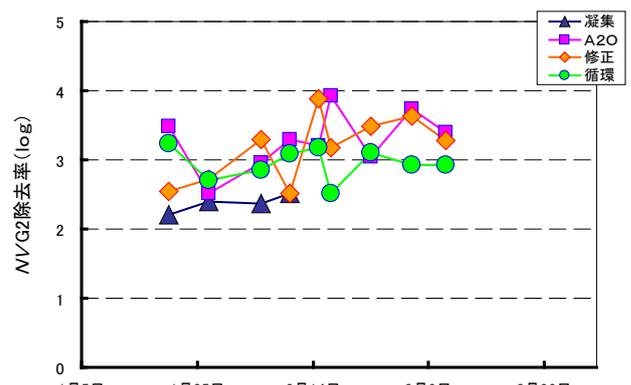


図-8 実施設のNVG2除去率の推移

標準法と比較して各種高度処理法のノロウイルス除去率は高いが、修正Bardenpho法と循環式硝化脱窒法の反応槽水理学的滞留時間が標準法の1.5～2倍程度であり、その長短が除去率に影響を及ぼした可能性もある。しかし、除去率の高いA²/O法では水理学的滞留時間が標準法の1.2倍、活性汚泥濃度も他の高度処理法と比較して大きく異なっているわけではない(表-2)。A²/O法は嫌気・無酸素・好気槽により水処理プロセスが構成されており、今後、これらの標準法と異なるプロセスがノロウイルスの除去率に及ぼす影響を検証する必要があるものと考えられる。

表-2 運転条件

水処理法	条件	HRT(h)	MLSS濃度 (mg/L)
実下水処理実験装置		8.0	1,800～1,900
凝集剤添加活性汚泥法		8.5	2,500
A ² /O法		9.7	2,400
修正Bardenpho法		11.8	2,000
循環式硝化脱窒法		15.2	2,500

5. まとめ

本報では、実下水処理実験装置や実下水処理場において、各種下水処理法によるノロウイルスの除去率を評価した。以下に得られた結果を述べる。

- (1) PACの添加濃度を10mg-Al/Lとすることで活性汚泥処理法の除去率をさらに最大で2log程度向上させられる。
- (2) 凝集剤添加活性汚泥法において、PACの添加効果の最大発現までには、1ヶ月程度を要する。
- (3) PACの添加濃度を3mg-Al/Lとすることで砂

ろ過法の除去率をさらに最大で1log以上向上させられる。

- (4) 窒素・リンの高度除去を目的とした高度処理法は、標準法と比較して1～2オーダー程度除去率が高い。
- (5) ノロウイルスの除去率は、凝集剤添加活性汚泥法(10mg-Al/L) > A²/O法 > 修正Bardenpho法 > 循環式硝化脱窒法 > 凝集剤添加活性汚泥法(4, 5mg-Al/L) > 標準法の順で高い。

活性汚泥処理法やその変法である高度処理法は流入下水のノロウイルス濃度を1/100～1/1000程度に低減しており、放流先の公共用水域に対してノロウイルスの負荷量を大幅に削減しているものと考えられる。さらに、凝集剤添加により除去率の大幅な上積み効果が期待できることから、これらの手法を組み合わせることで、下水処理場は水系感染症の拡大防止に大きく寄与できるものと考えられる。

謝 辞

本実験・調査を行った下水処理場の下水道管理者には多大なるご協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 国立感染症研究所感染症情報センター病原微生物検出情報。
- 2) 建設省・高度処理会議、高度処理施設設計資料、1994
- 3) 厚生労働省医薬食品局食品安全部監視安全課、ノロウイルスの検出法について、2007

諏訪 守*



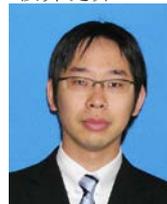
独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所材料地
盤研究グループサイク
ルチーム 主任研究員
博士(工学)
Dr. Mamoru SUWA

岡本誠一郎**



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所材料地
盤研究グループサイク
ルチーム 上席研究員
Seiichiro OKAMOTO

桜井健介***



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所材料地
盤研究グループサイク
ルチーム 研究員
Kensuke SAKURAI