

# 途上国農業のウイルス汚染状況とリスク低減に向けた処理システム

木更津工業高等専門学校 学生会員 ○田中 周弥, 丸山 涼介  
正会員 大久保 努, 上村 繁樹

## 1. 目的

現在、年間降雨量の少ない乾燥地域や半乾燥地域は深刻な水不足に陥っている。原因として、人口増加と食糧生産、工業生産の増大が考えられ、一人当たりが使用可能な淡水資源が減少している。例えば、エジプトでは近い将来危機的な水不足（利用可能水量 500 m<sup>3</sup>/年・人）に直面すると予想されており、エジプト政府は水不足脱却を目指し国土改造 20 年計画（1997 年～2017 年）を策定し、下水再利用の促進により 10 年間でその利用量を 3.5 倍（1997 年比）に増やす目標を挙げている。下水やその処理水が安定供給可能な観点から注目が寄せられているが、これらの利用は水系感染症の感染リスク増大や健康への影響も懸念される。

本研究では、灌漑水のウイルス汚染状況を調査し、検出されたウイルス濃度を用いて 2 毛作時の農業従事者に対する感染リスクを算定した。また、リスク基準を満足するために必要な処理水質を算定し、その水質を達成する処理システムの構成を提示した。

## 2. 実験方法

### 2. 1 データ取得方法

本実験で使用した試料は、インド国アグラ市で稼働中の下水処理場より、流入下水、UASB 後段の下降流懸垂スポンジ（DHS）処理水の 2 試料とした。また、エジプトの農業排水路（流下長 2km）より、上流から下流にかけて 2 試料の合計 4 試料を対象とした。対象ウイルスは、アデノウイルス、アイチウイルス、エンテロウイルス、A 型肝炎ウイルス、E 型肝炎ウイルス、ノロウイルス G I, G II, G IV, ロタウイルスの計 9 種類とした。測定はサンプル濃縮（PEG 沈法）、ウイルス濃縮、RNA 抽出、逆転写反応を行った後、Microfluidic dynamic array で定量分析した。ウイルス定量に必要なプローブとプライマーは Ishii らの文献<sup>1)</sup>を参考にした。

### 2. 2 健康影響評価方法

インドとエジプトの主要生産作物の上位は穀物が占めており、想定栽培作物を大麦と米の 2 毛作とした（表 1）。曝露日数（=栽培日数）は日照時間等により各国で異なるため Cropwat ソフト（FAO）を用いて算出した。曝露日数は各国で異なるが、農作業時の曝露量については作物種別で統一した値を用いた。リスクの対象としたのはロタウイルス、アデノウイルス、ノロウイルスの 3 種である。本実験では用量反応モデルのシングルヒット指数モデル（式 1）、ベータポアソンモデル（式 2）を用いて計算を行った。その後年間の発症確率（式 3）に換算<sup>2)</sup>し比較を行った。付加する後段処理は標準活性汚泥法、膜ろ過法、塩素処理、オゾン処理、急速ろ過の 5 種を想定した。

表 1 想定したシナリオ

作物種	曝露日数 [日]		曝露量 [mL/日]
	インド	エジプト	
大麦+米	26	52	0.4

$$P = 1 - \exp(-\gamma D) \quad (\text{式 1})$$

$$P = 1 - \left(1 + \frac{D}{\beta}\right)^{-\alpha} \quad (\text{式 2})$$

$$P_y = 1 - (1 - P)^n \quad (\text{式 3})$$

P: 一回の曝露で感染する確率

P<sub>y</sub>: 年間における発症確率

D: 曝露量     α, β, γ: パラメータ     n: 曝露日数

表 2 各モデルのパラメータ

ウイルス種	パラメータ		
	α	β	γ
ロタウイルス	0.253	0.422	
アデノウイルス			0.4712
ノロウイルス			0.0069

キーワード 下水灌漑, DALY, 水系感染リスク

連絡先 〒292-0041 千葉県木更津市清見台東 2-11-1 木更津高専 TEL:0438-30-4165, E-mail:okubo@c.kisarazu.ac.jp

### 3. 評価結果及び考察

表3に各試料のウイルス濃度を示す。インドとエジプトに共通してエンテロウイルスが  $10^2 \sim 10^3$  copies/mL と他のウイルスと比較して高濃度で検出された。ノロウイルスに関しては、ノロウイルス G IIの方が G Iに比べて高濃度で検出された。インドの下水処理場におけるノロウイルス G Iと G IIの除去率を算出したところ、UASBのみではそれぞれ0.7 logと0.6 logであったが、DHSを組合せたUASB+DHSでは1.4 logと1.2 logに向上した。

想定した農業利用のシナリオにおいて、ロタウイルス、ノロウイルス、アデノウイルスを対象に、定量したウイルス濃度より感染リスクを算定したところ、全てのウイルスで  $10^0$ /年と灌漑利用により必ず感染する結果となった(図1)。現在の汚染された試料を灌漑利用することは、WHOのリスク基準 ( $10^{-4}$ /年)を満たすことができず危険である結果となった。

そのため、対象試料を安全に灌漑利用するには何らかの付加処理によりウイルス濃度を低減する必要がある。ノロウイルスを対象に、これまでに報告がある下水処理方式別のウイルス除去率より、WHO基準を満たす処理方式を提示した(図2)。その結果、4.3logの除去が見込まれる膜ろ過法の適用が効果的で、対象試料ではUASB+DHS処理水に膜ろ過法を付加した処理システムでのみWHO基準を満足することを確認した。

### 4. まとめ

途上国の灌漑水は、高濃度のウイルスにより汚染が深刻な状況にあることが確認され、現地で利用している農業従事者は高い感染リスクの下で作業に従事していることが明らかとなった。

インドで稼働中の下水処理 UASB+DHS システムでは、ノロウイルスはそれぞれ1.4 log(G I)と1.2 log(G II)減少することが確認された。2毛作を行うシナリオでは、分析した試料に付加処理として膜ろ過法を加えることで、ノロウイルスの高い除去率が見込まれ、WHO基準を満足する効果が示唆された。膜ろ過法以外に付加処理の選択枠を広げるには、前段処理において更に1~2 logのノロウイルス除去することで、適用できる処理方式が増えると予想される。DHSでは滞留時間を長くすることで、ノロウイルスの除去率向上が見込まれるため(HRT 3.2hでノロ

ウイルス GII 除去 3 log)<sup>3)</sup>、ウイルス除去を目的とした最適な運転条件を組み合わせることで、より安価な付加処理でもリスク基準を満たす可能性がある。

表3 測定試料のウイルス濃度 [copies/mL]

ウイルス種	インド		エジプト	
	流入下水	UASB+DHS 処理水	D1	D3
アデノウイルス	$1.20 \times 10^1$	1.45	4.29	5.68
アイチウイルス	ND	ND	ND	ND
エンテロウイルス	$4.16 \times 10^3$	$3.13 \times 10^2$	$1.57 \times 10^3$	$1.45 \times 10^3$
A型肝炎ウイルス	ND	ND	ND	ND
E型肝炎ウイルス	ND	ND	ND	ND
ノロウイルス GI	$1.12 \times 10^2$	3.90	$6.30 \times 10^1$	$2.63 \times 10^1$
ノロウイルス GII	$1.09 \times 10^3$	$5.75 \times 10^1$	$1.63 \times 10^2$	$6.42 \times 10^1$
ノロウイルス GIV	$6.35 \times 10^1$	2.75	$3.33 \times 10^1$	$1.49 \times 10^1$
ロタウイルス	$1.78 \times 10^1$	ND	5.41	3.55

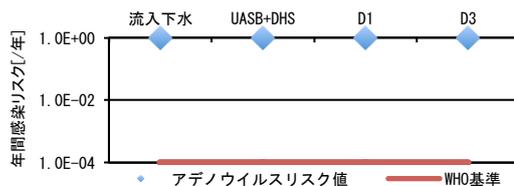


図1 アデノウイルスの年間感染リスク

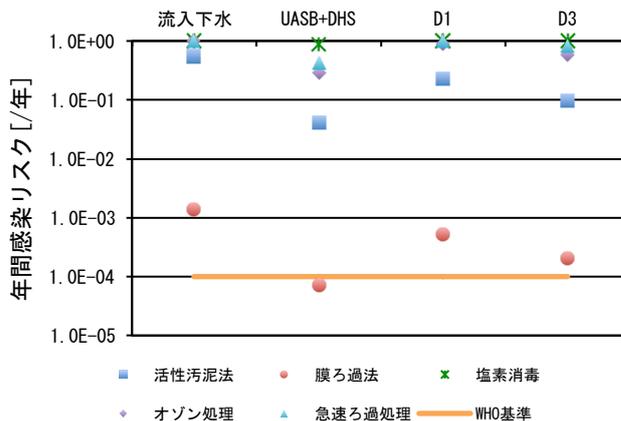


図2 処理付加によるノロウイルスの感染リスク

**謝辞**：本研究の一部は、JST 先導的創造科学技術開発費補助金および科学研究費補助金による助成を頂きました。ここに記して謝辞とします。

**参考文献** 1) Ishii *et al*, *AEM*, pp.7505-7511, 2014, 2) 桜井ら,第51回下水道研究発表会,発表抄録,2014, 3) Iguchi *et al*, *ISFEV*, 2016.