

水道におけるウイルスのリスク管理の国際動向と 水源流域，浄水処理，排水処理プロセスにおける PMMoV遺伝子マーカーの実態

国立保健医療科学院 生活環境研究部
三浦 尚之



研究の背景

水道におけるウイルスのリスク管理の必要性

日本の水道水源：3/4が河川，ダム，湖沼
ヒトや動物のふん便に由来する病原微生物汚染



微生物リスクが高まる気候変動影響



洪水被害

令和元年東日本台風の影響で浸水した長野市の下水処理場
(出典：長野県環境部)



渇水被害

2023年8月に貯水率35%を下回った利根川上流の矢木沢ダム
(出典：水資源機構)

気候変動の影響：豪雨や台風による水災害の激甚化・頻発化，
積雪量の減少や無降水期間の増加による渇水被害の深刻化

洪水や渇水時においても安全な水道水の供給を維持するために，指標細菌よりも生残性が高く，浄水処理での除去性が低いウイルスのリスクを適切に管理する必要性

水道におけるウイルスのリスク管理の国際動向

飲料水の水質に関する規制やガイドラインでの記載

	微生物	MCLG*またはガイドライン値	除去・不活化への言及	参考文献
EU	体表面吸着大腸菌ファージ	—	原水で>50 PFU/100 mLの場合は、処理プロセスで測定しlog除去効率を把握	EU, 2020; EU, 2023
米国	腸管系ウイルス	0 (ゼロ) *	4 log (99.99%)	US EPA, 2023
カナダ	腸管系ウイルス	—	>4 log (99.99%)	Health Canada, 2019
オーストラリア	大腸菌ファージ	0 PFU/100 mL	ウイルスのろ過および消毒の効率の検証に有用	Australian Government, 2017
WHO	大腸菌ファージ <i>Bacteroides fragilis</i> ファージ 腸管系ウイルス	—	ウイルスの消毒および物理的除去プロセスの効果指標	WHO, 2022

*MCLG, Maximum Contaminant Level Goal : 最大汚染レベル目標値

➡ 大腸菌ファージの監視やウイルスの処理性能を有するシステムを求めて管理

3

諸外国の水道におけるウイルスのリスク管理

指標細菌（大腸菌，腸球菌等）を監視しつつ，
腸管系ウイルスが指標細菌よりも

- ✓環境水中で生残性が高い
- ✓ろ過処理で除去性が低い
- ✓塩素消毒で不活化されにくい 点を留意

大腸菌の不検出は、必ずしも腸管系ウイルスが存在しないことを示すわけではないため、大腸菌ファージ等を用いたウイルスのリスク管理が重要

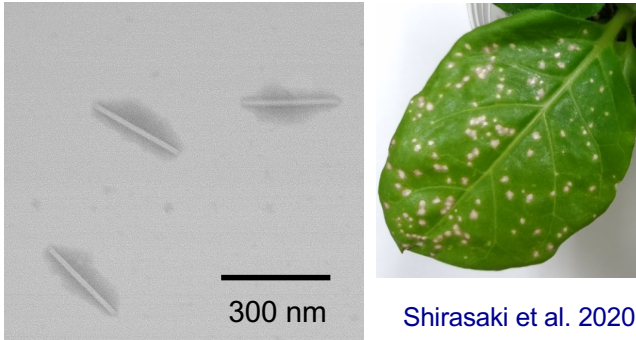
ただし、水道水から大腸菌ファージが検出されないことは、腸管系ウイルスや原虫が存在しないことを裏付けるものではない

WHO, 2022

コクサッキーウイルスB5のようにファージよりも塩素消毒耐性が高いヒト腸管系ウイルスが存在するため、ファージを指標とすることは、水道水の安全性を保証するには不十分

浄水処理のウイルス除去指標：PMMoV遺伝子マーカー

Pepper mild mottle virus (PMMoV)

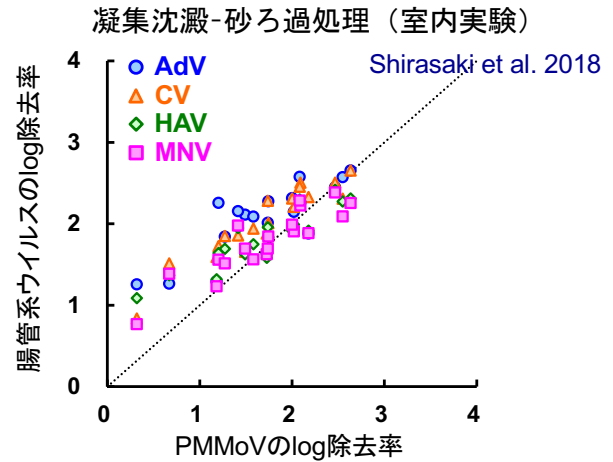


PMMoVの電子顕微鏡画像

Shirasaki et al. 2020

- ピーマンやトウガラシ類に感染する植物ウイルス（ヒトへの感染性はない）
- チリペッパーソース中濃度： $10^8 \sim 10^9$ copies/mL
- 食品や調味料を介して摂取したヒトの糞便中に高濃度で排出される
- 流入下水中濃度： $10^8 \sim 10^{10}$ copies/L
- ヒトふん便汚染を示すウイルス指標

全国8ヶ所の浄水場原水を用いた腸管系ウイルスとPMMoVの除去実験



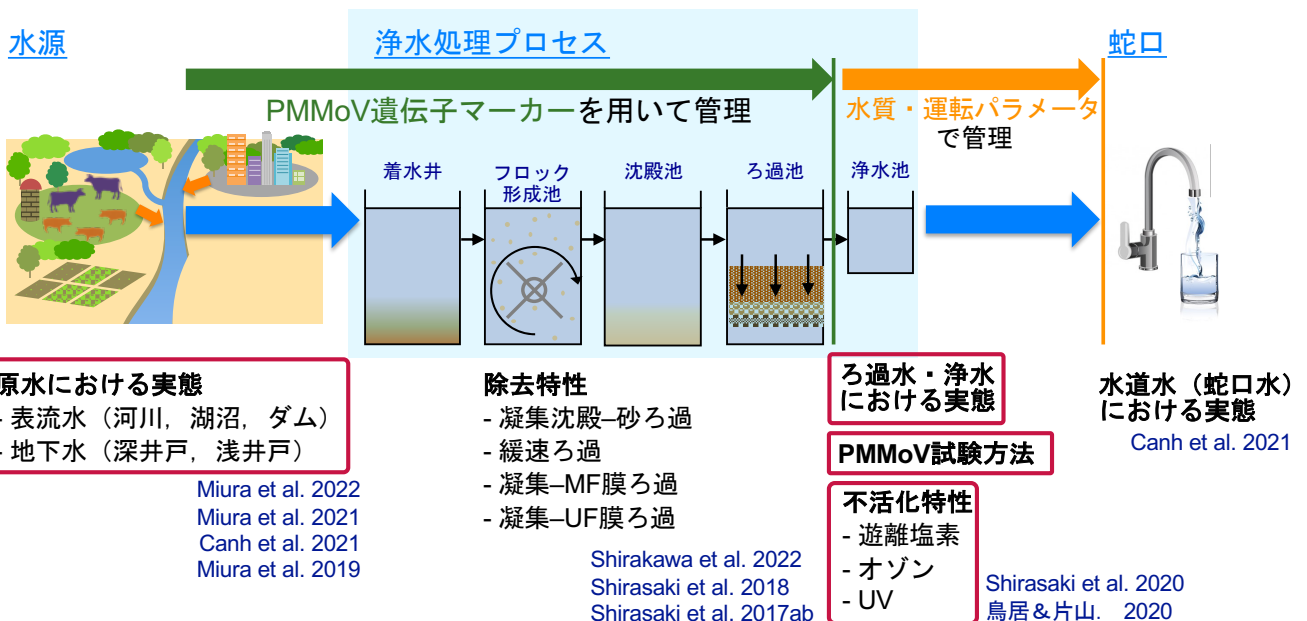
- 浄水処理における除去性が腸管系ウイルスと類似
- 塩素消毒に耐性があり、浄水試料から $10^{1 \sim 2}$ copies/Lの濃度で検出されることから、除去指標として有用である可能性

5

検討中のリスク管理手法

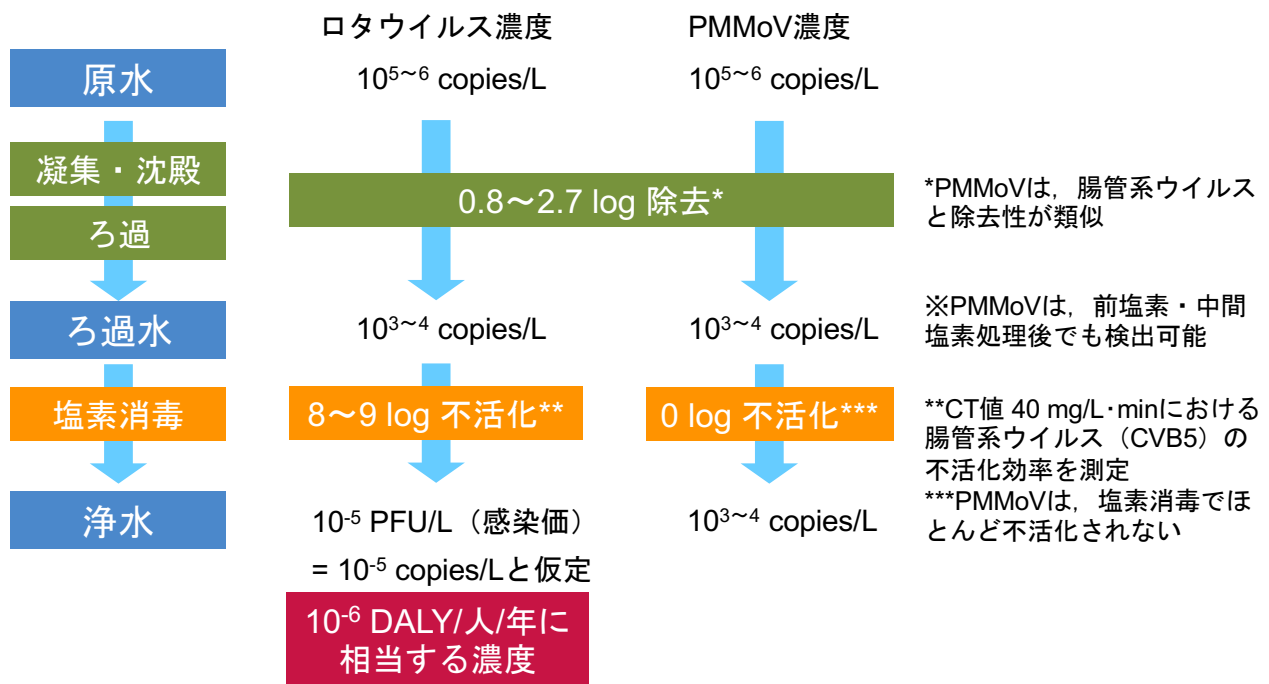
表層水を水源とする水道における病原ウイルスに対して

PMMoV遺伝子マーカーおよび病原ウイルスの除去・不活化を保証する水質・運転パラメータを用いたリスク管理



6

浄水処理のウイルス除去指標：PMMoV遺伝子マーカー

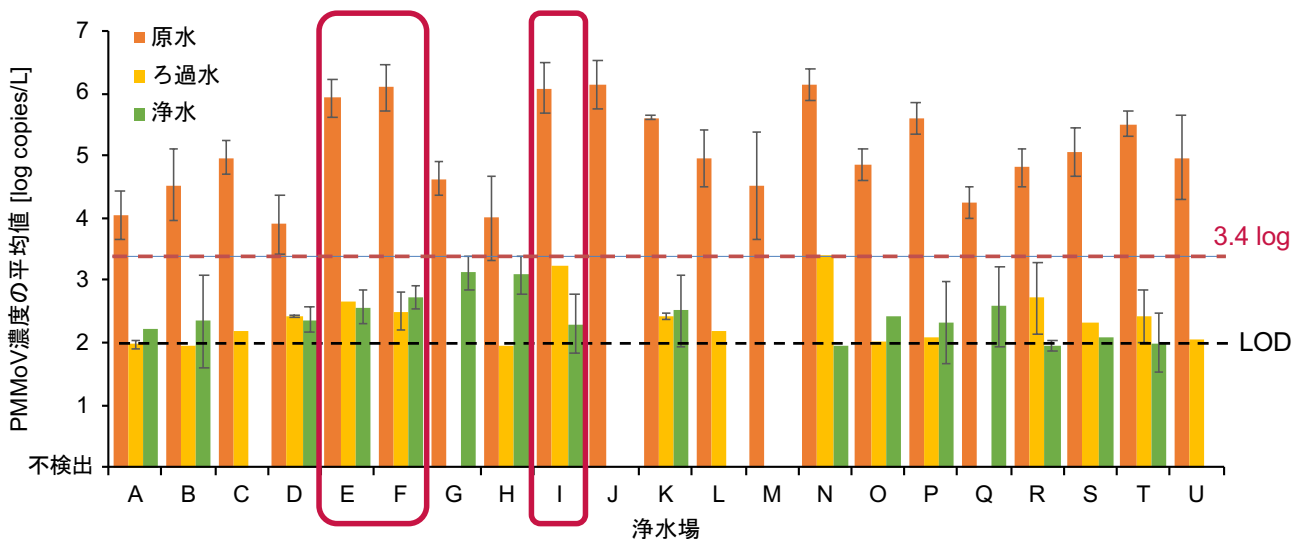


➡ ろ過水におけるPMMoVの管理目標値を 10^4 copies/L以下として設定できないか

厚労科研「水道水及び原水における化学物質等の実態を踏まえた水質管理の向上に資する研究」
 ウイルス分科会 研究分担者：片山浩之，白崎伸隆，増田貴則，三浦尚之 7

結果

全国21浄水場におけるPMMoVの実態（2020～2022年）

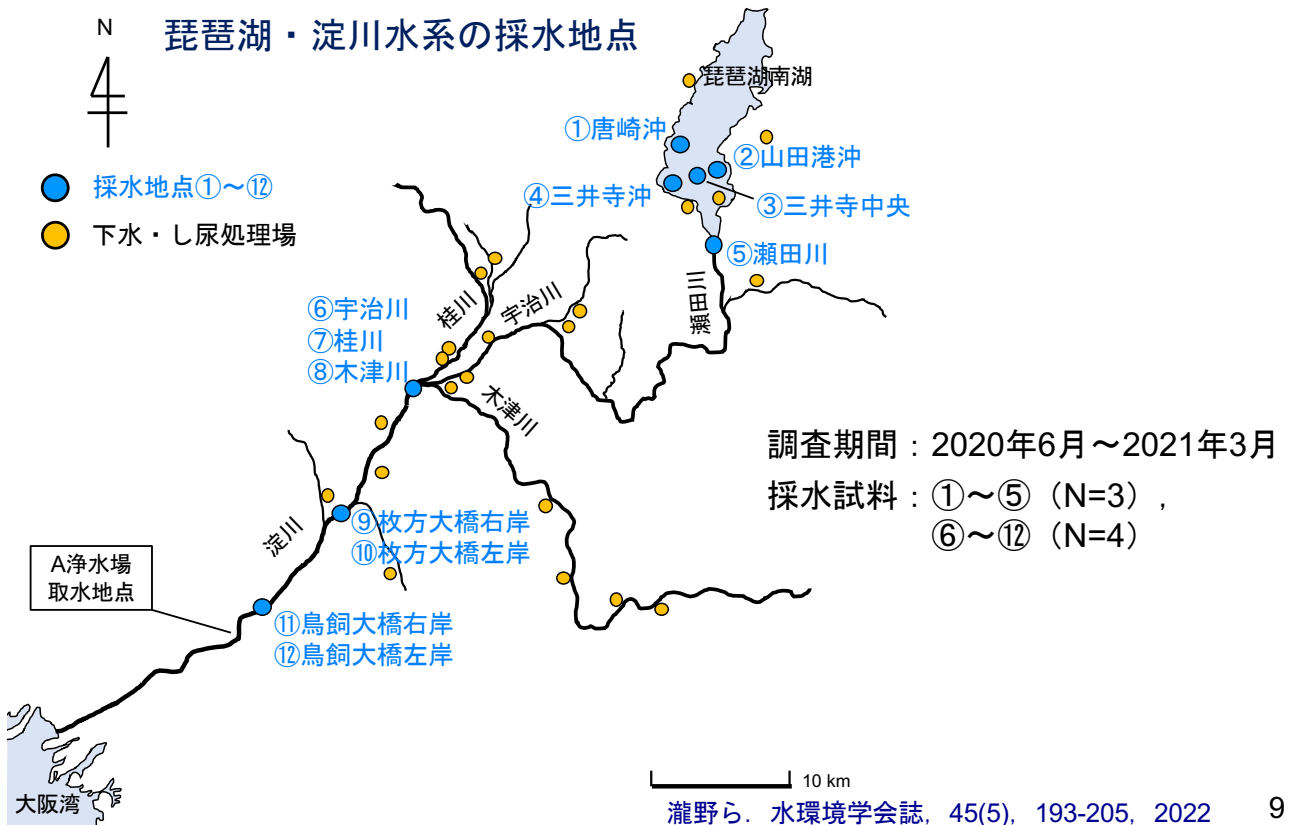


- 原水中濃度が 10^6 copies/Lと高く、高度処理が導入されていない浄水場では、ろ過水や浄水試料から最大 10^3 copies/Lのオーダーで検出
- 原水中濃度が 10^6 copies/Lに満たない浄水場でも、浄水試料から 10^3 copies/Lのオーダーで検出される場合も見られた

➡ ろ過水のPMMoV濃度「 10^4 copies/L以下」は管理可能な目標値と考えられる

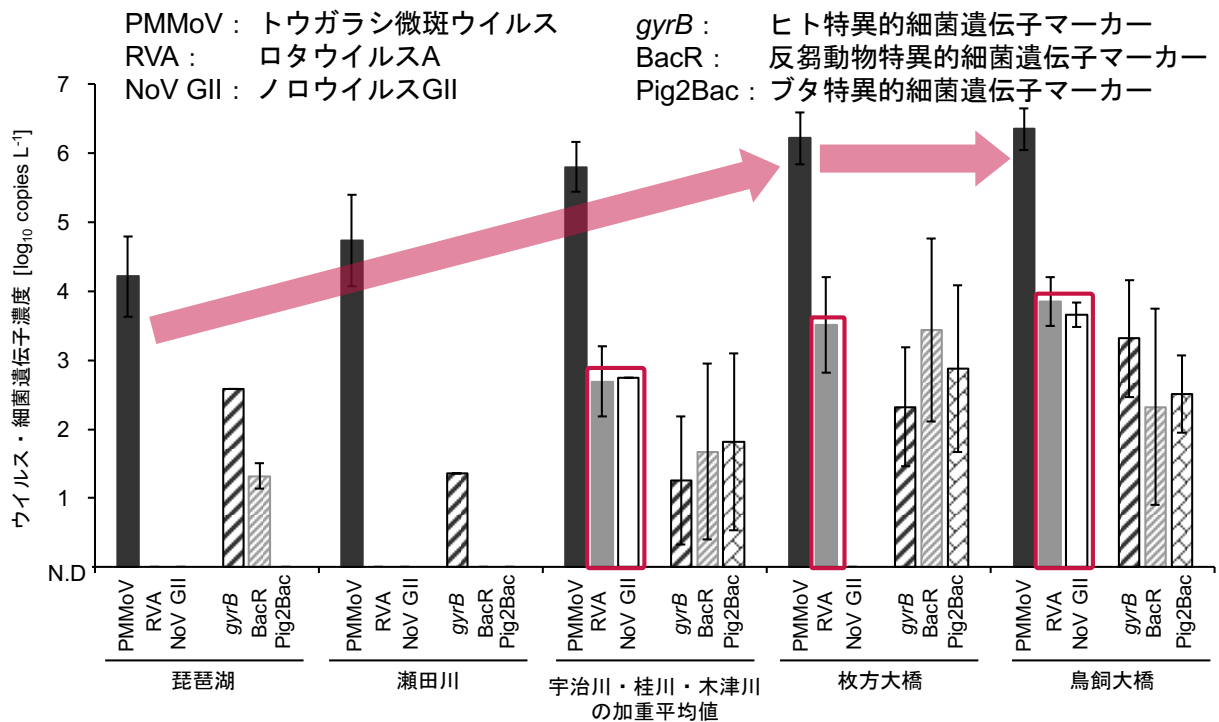
方法

実態調査：サンプルの採取



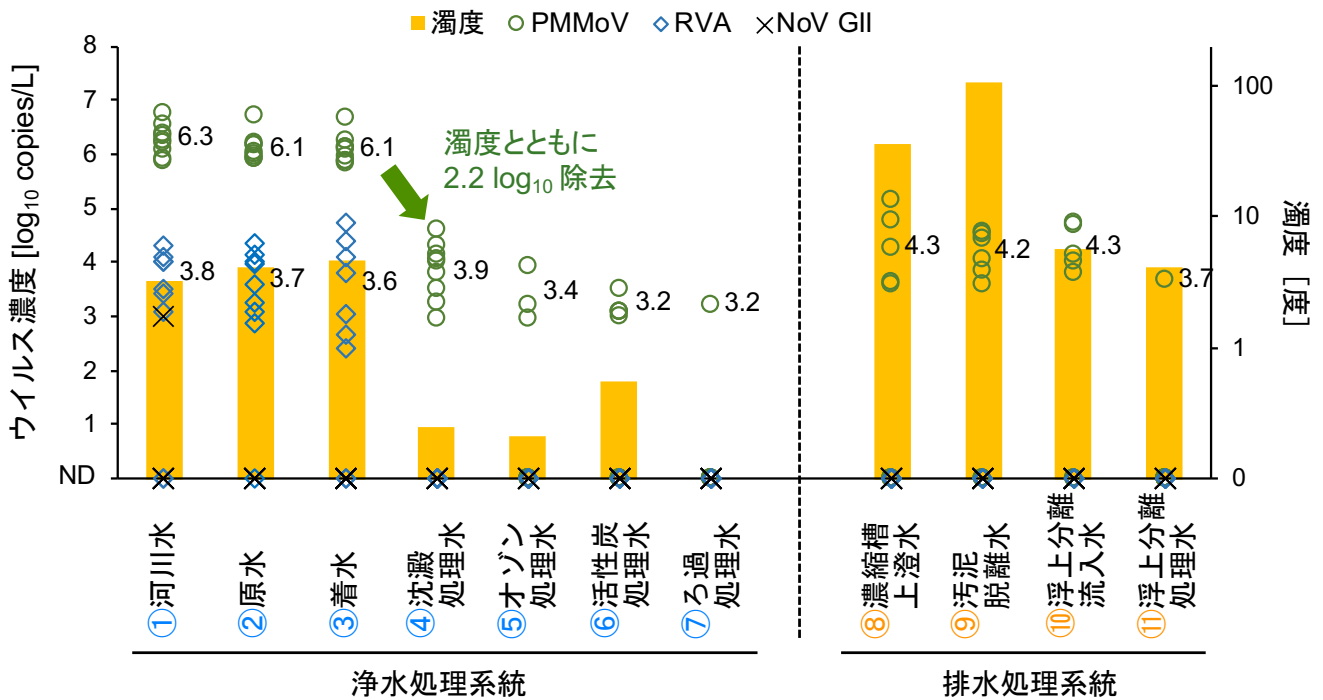
結果

水道水源流域におけるウイルス・細菌遺伝子の濃度



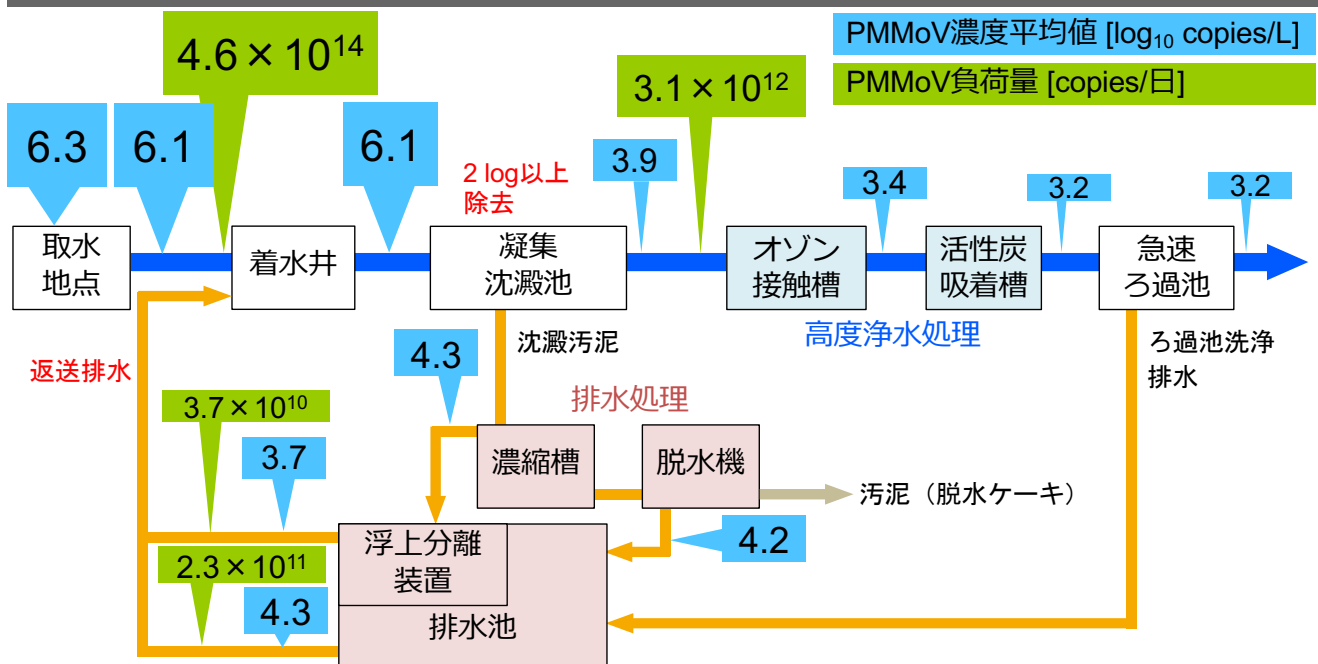
- 琵琶湖から淀川下流域に掛けてPMMoV濃度がおおよそ2オーダー上昇

高度浄水処理・排水処理プロセスにおけるPMMoVの挙動



瀧野ら. 土木学会論文集G (環境), 78(7), III_1-III_10, 2022 11

高度浄水処理・排水処理プロセスにおけるPMMoVの挙動



- 浄水場の排水処理プロセスにおけるウイルスの挙動を初めて明らかにした
- 原水に対する返送排水のPMMoV負荷量は0.06%
- 凝集沈澱で除去されたウイルスの大部分は汚泥に含まれる形で系外に排出

瀧野ら. 土木学会論文集G (環境), 78(7), III_1-III_10, 2022 12

まとめ

1. 水道におけるウイルスのリスク管理に関する最新の国際動向

- EUでは浄水処理プロセスの体表面吸着大腸菌ファージの監視，米国・カナダでは処理効率の目標値，オーストラリアでは浄水の大腸菌ファージについて言及し，リスクを管理している

2. PMMoV遺伝子マーカの水源流域，浄水処理，排水処理プロセスにおける実態

- 2020～2022年度に実施した全国21浄水場における実態調査の結果，PMMoV遺伝子マーカはろ過水や浄水試料から最大 10^3 copies/Lのオーダーで検出され，ろ過水で「 10^4 copies/L以下」は管理可能な目標値であると考えられる
- PMMoV遺伝子マーカは，水源流域における水の循環利用に伴うふん便汚染レベルの変動を把握するのに有用である
- 浄水処理および排水処理の各プロセス水試料に含まれるPMMoV遺伝子マーカを測定することで，処理システムにおけるウイルスの挙動を把握することができる

13

謝辞

報告した研究は，以下の助成を受けて実施された。

- 厚労科研「水道水及び原水における化学物質等の実態を踏まえた水質管理の向上に資する研究」（研究代表者：松井佳彦，22LA1007）
- 厚労科研「化学物質等の検出状況を踏まえた水道水質管理のための総合研究」（研究代表者：松井佳彦，19LA1005）
- JSPS 科研費 基盤研究(A)「水の微生物学的安全性の確立に向けた革新的ウイルス指標群の網羅的活用」（研究代表者：片山浩之，20H00259）

14