

資料 4

水源におけるヒトふん便汚染と 浄水処理によるウイルス除去効率の把握を 目的としたPMMoVの実測例

国立環境研究所 環境リスク・健康領域
水道水質研究和光分室
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重要性

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

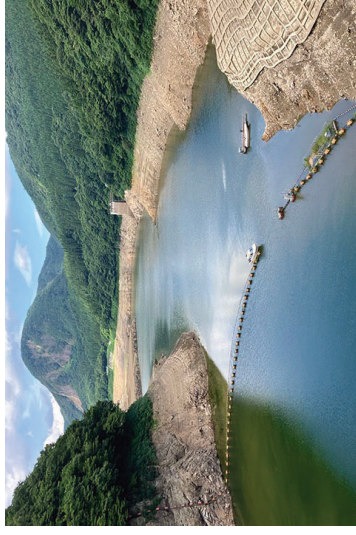
(出典：長野県環境部)



渇水被害

貯水率0%を記録した
宮城県の鳴子ダム

(2025年8月14日撮影)



- ・大雨や水災害の激甚化・頻発化 → CSOの発生，下水道施設の被害・機能停止
- ・積雪量の減少，無降水期間の増加 → 都市下流域での下水処理水混入割合の増加

気候変動影響下においても安全な水道水質を維持するために，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ことが重要

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 大腸菌フアージ	—	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, 2006
カナダ	腸管系ウイルス	—	>4 log (99.99%)	Health Canada, 2019
オーストラリア	大腸菌フアージ	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	大腸菌フアージ <i>Bacteroides fragilis</i> フアージ 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



大腸菌フア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

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

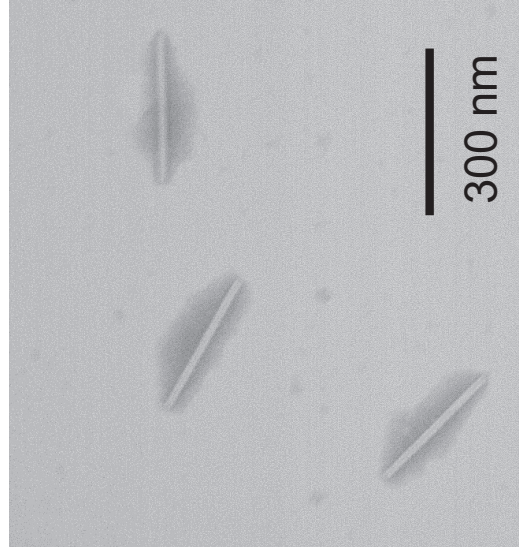


コクサッキーウイルスB5のようにファージよりも塩素消毒耐性が高いヒト腸管系ウイルスが存在するため，ファージを指標とすることは，水道水の安全性を保証するには不十分

浄水処理のウイルス除去指標：PMMoV

トウガラシ微斑ウイルス

(Pepper mild mottle virus, PMMoV)



PMMoVの電子顕微鏡画像



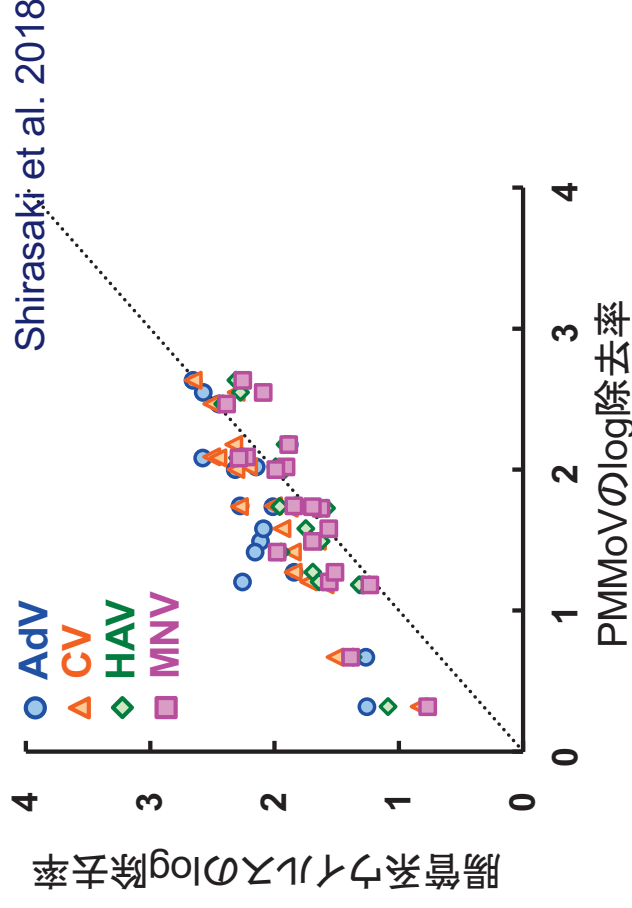
Shirasaki et al. 2020

- 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： $10^8 \sim 9$ copies/mL
- 食品や調味料を介して摂取したヒトのふん便中に高濃度で排出される
- 流入下水中濃度： $10^8 \sim 10$ copies/L

→環境水の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

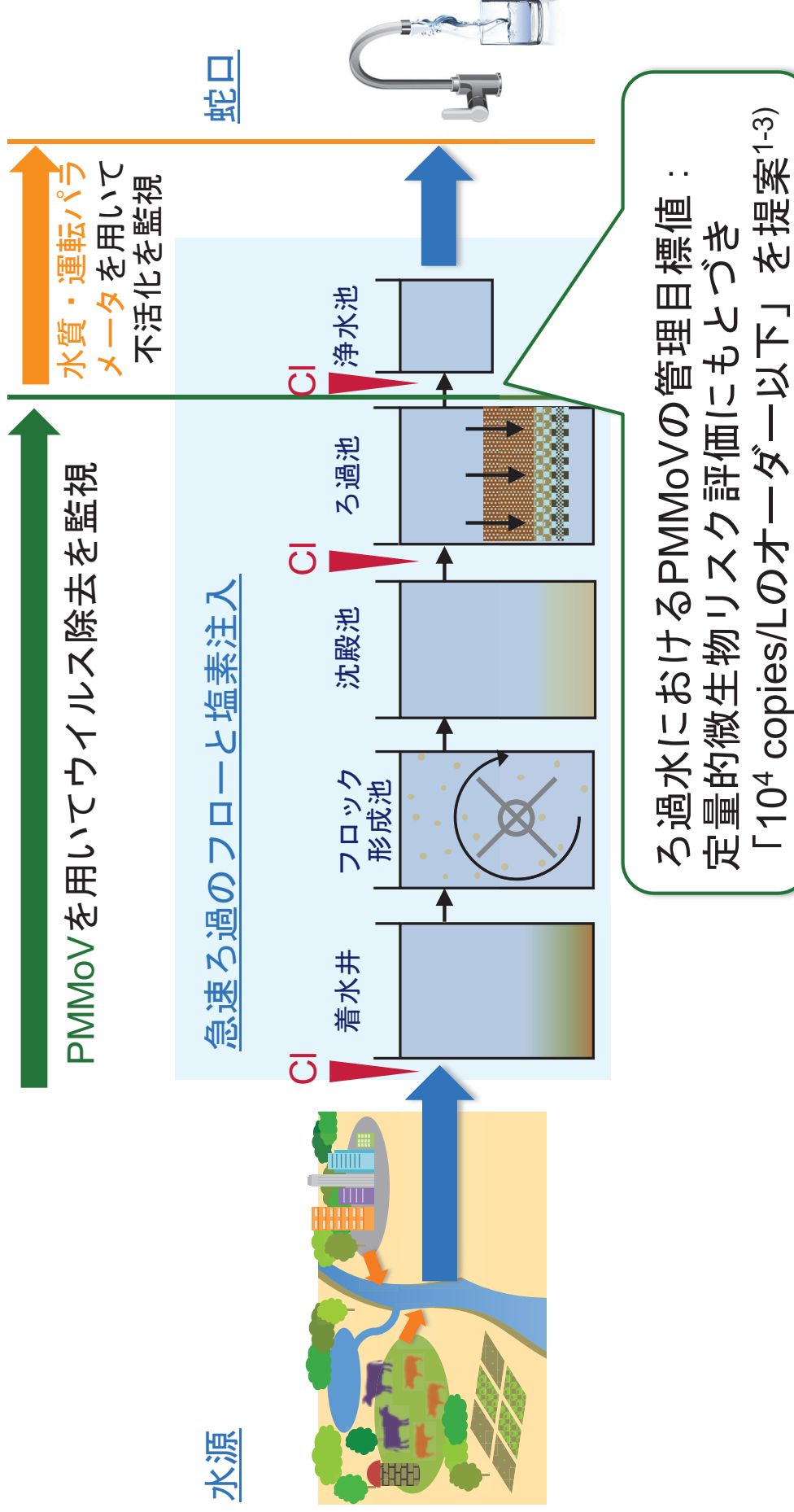
凝集沈澱-砂ろ過処理（室内実験）



- 浄水処理における除去性が腸管系ウイルスと類似（除去率はPMMoVがやや低く安全側）
 - 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場合も
- 除去指標として有用である可能性

検討中のリスク管理手法

急速ろ過による浄水処理における病原ウイルスに対して



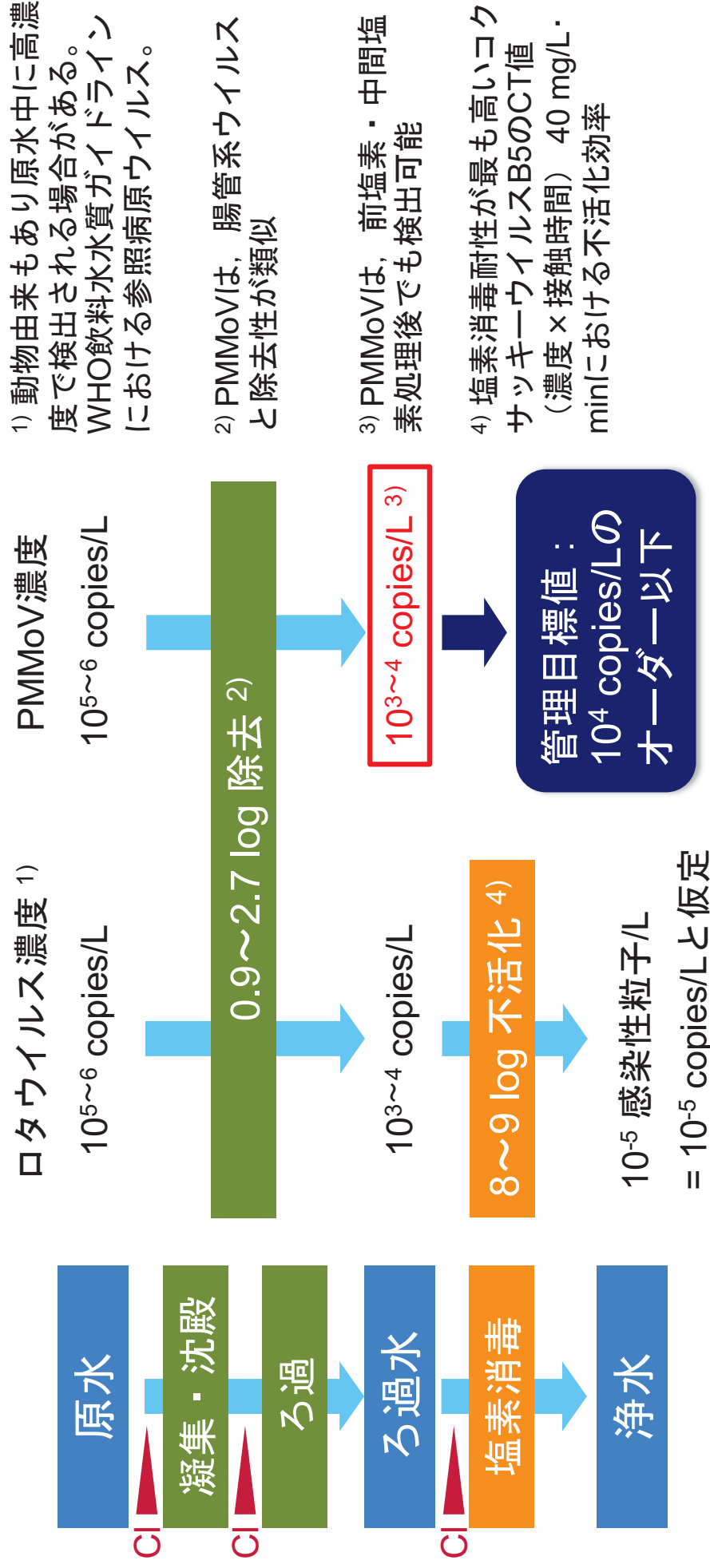
1) 三浦尚之，厚生労働省水道課 令和5年度第1回水道における微生物問題検討会 資料3，2023年12月8日.

2) Miura et al. Pepper mild mottle virus as a process indicator for drinking water treatment: occurrence in surface waters and treatment target. 8th ISFEV Conference, Kawasaki, June 2024.

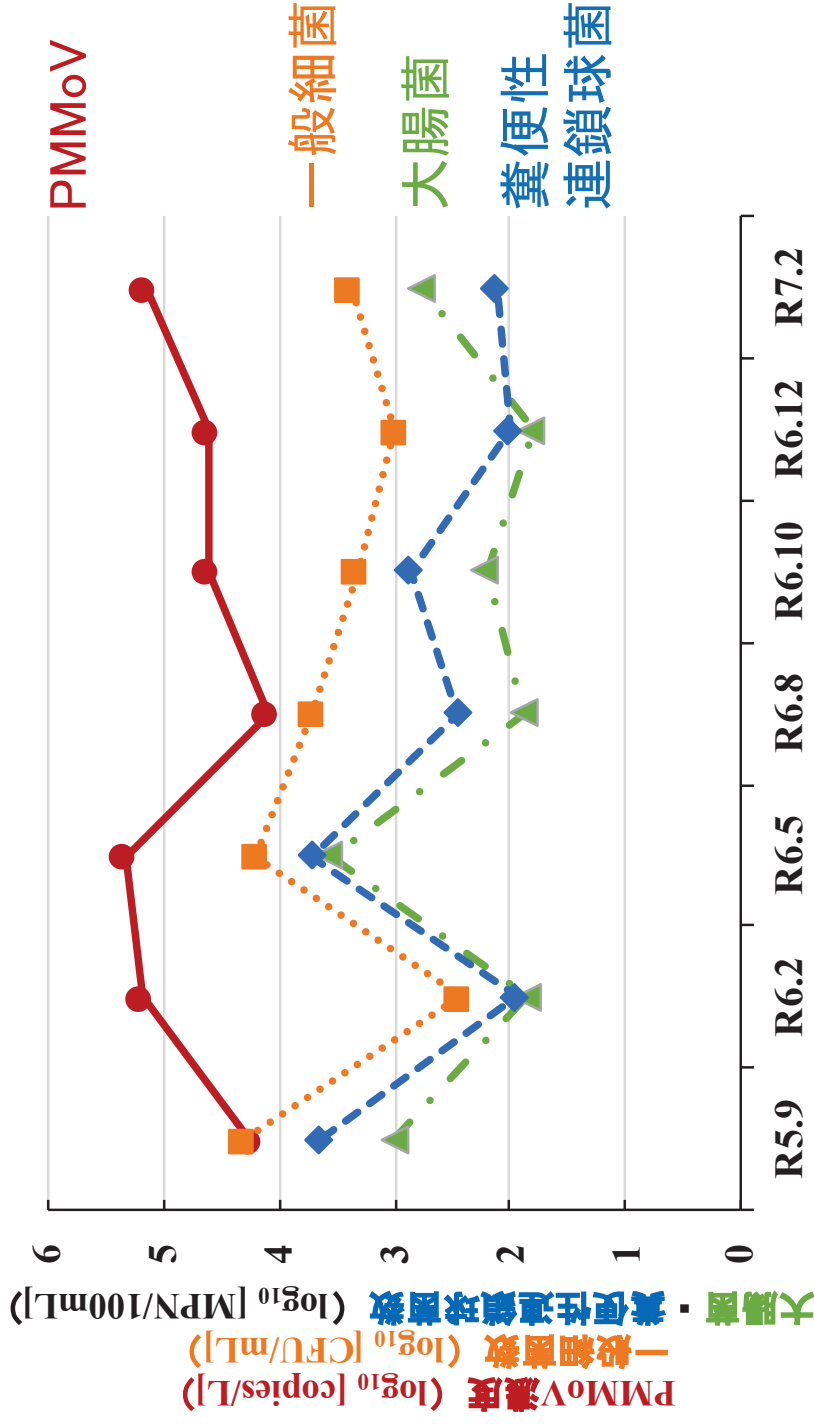
3) 三浦尚之，環境省水道水質・衛生管理室 令和6年度第1回水道における微生物問題検討会 資料3，2024年12月9日.

検討中のリスク管理手法

PMMoVを活用したウイルスのリスク管理



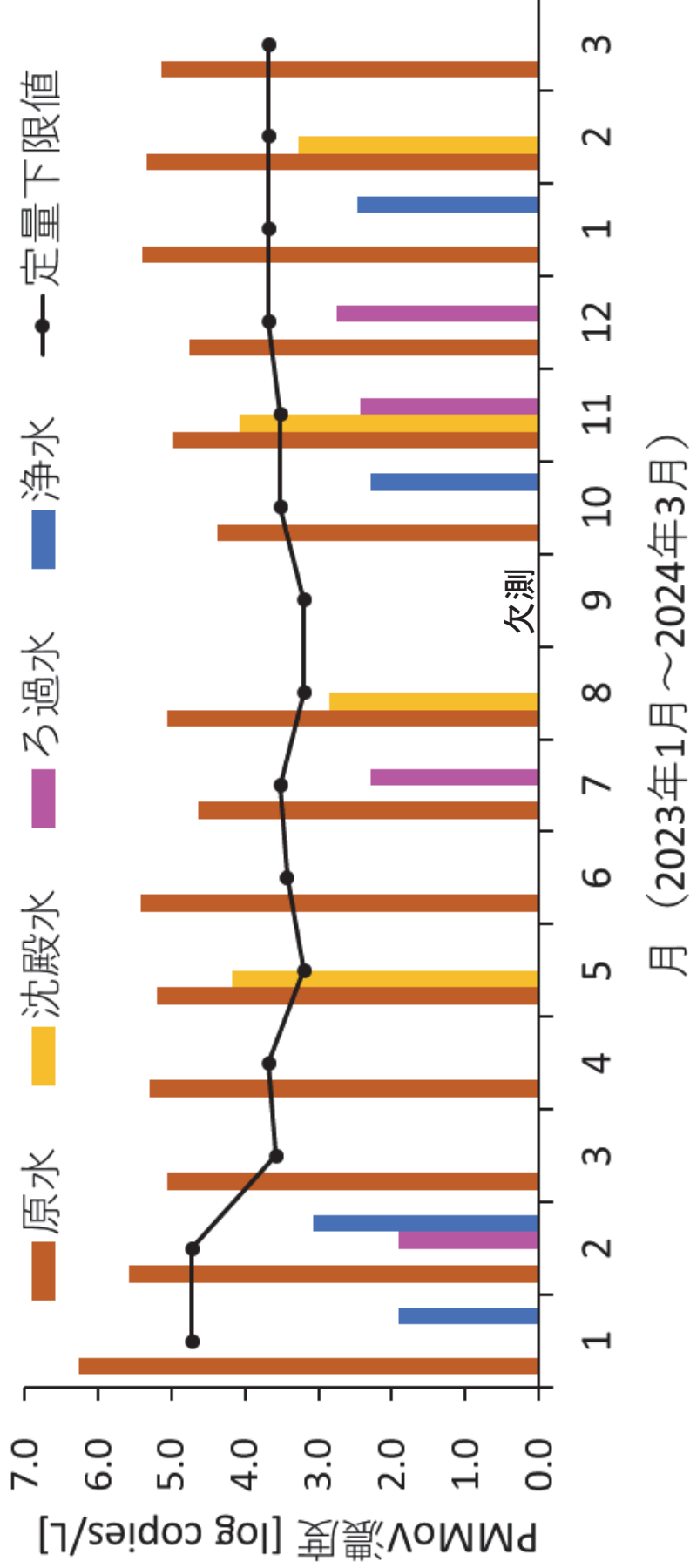
水道事業者等による水源のPMMoV測定結果 神奈川県の水源におけるPMMoVと指標細菌



- 相模川下流域の河川水試料から直接核酸抽出（40 mL→40 μL）
- PMMoV濃度は1年を通じて $10^4 \sim 10^5$ copies/Lのオーダーで、比較的安定して検出
- 指標細菌とは異なる挙動

齊藤巧介, 萱沼康夫, 館野泉, 三浦尚之. 神奈川県営水道の水源におけるPMMoV及び指標細菌の挙動, 令和7年度水道研究発表会講演集, 214-215, 2025

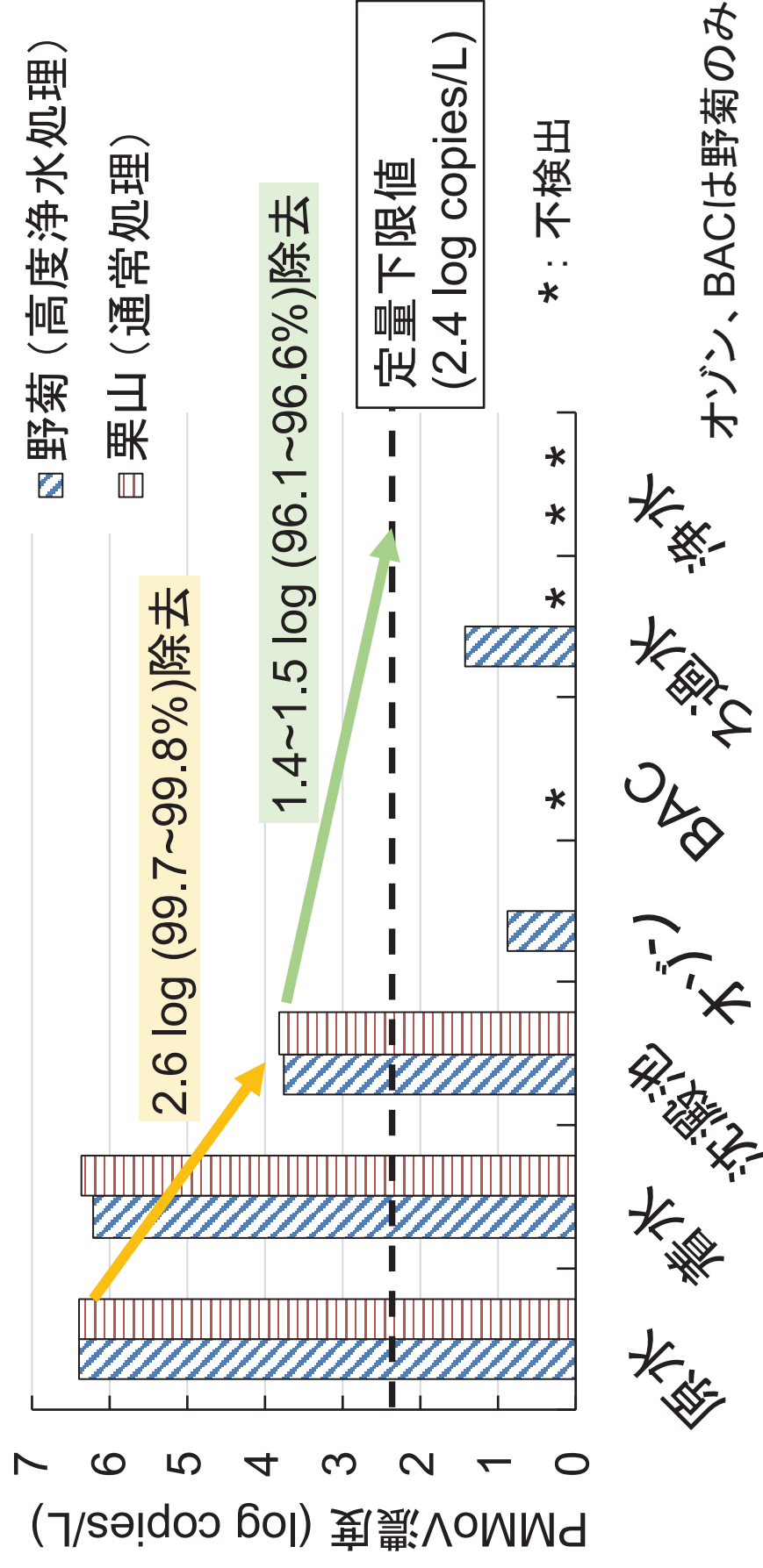
水道事業者等による浄水処理工程のPMMoV測定結果 埼玉県浄水処理工程（急速ろ過）



- 原水（表流水）において $10^4 \sim 10^6$ copies/Lのオーダーで検出
- 沈殿水から 10^4 copies/Lのオーダーで検出される場合も
- ろ過水、浄水は、すべての月で定量下限値未満、 $>0.9 \sim >1.9 \log$ の除去効率

佐藤啓貴，宇津木紀昭，小嶋隼，森田久男，三浦尚之．浄水処理工程におけるウイルス除去指標としてのPMMoVの実態調査，令和6年度水道研究発表会講演集，372-373，2024

千葉県の浄水処理工程（急速ろ過、高度処理と通常処理）



- オゾン処理水以降の試料：陰電荷膜法（1 L→10 mL）＋核酸抽出（10 mL→40 μ L）
- 原水から浄水まで、少なくとも4.1 log（99.991％）の除去効率

安河内巧，田中宏憲，平山賢二郎，山田恵子，金敷毅，三浦尚之．千葉県営水道におけるトウガラシ微生物
ウイルスのモニタリング及び浄水処理工程の挙動，令和6年度水道研究発表会講演集，796-797，2024

まとめ

- 欧米では水道におけるウイルスのリスク管理が行われている
- 環境省請負業務のウイルス分科会では、PMMoVを浄水処理のウイルス除去指標として提案している
- 市販の核酸抽出キット，リアルタイムRT-PCR試薬キット，リアルタイムPCR装置を用いることで，水道事業者等により原水や処理工程水中のPMMoVを測定することが可能
- PMMoVは，水道水源および原水から $10^3 \sim 10^6$ copies/Lのオーダーで検出され，急速ろ過では $>1 \sim >4$ logの除去効率が実測された

PMMoVは浄水処理によるウイルス除去効率の把握に活用でき，ウイルスに係る安全性を示すのに有用である

今後の課題

「PMMoVを用いた浄水処理のウイルス除去効率の把握について」（仮）として水道事業者等に周知し、ウイルスに係る安全性を確認できる方法として活用するために・・・

- ろ過水におけるPMMoVの管理目標値（ 10^4 copies/Lのオーダー）の扱い
 - 市販の核酸抽出キットとリアルタイムPCR試薬・機器を用いて 10^3 copies/Lのオーダーは測定可能であるが、現在の技術では、機関間の測定濃度に最大で1オーダー程度のばらつきがある
- 管理目標値以上でPMMoV濃度が観測された場合の対応
 - ろ過水からPMMoVが 10^5 copies/Lの濃度で検出されたとしても、直ちに腸管系ウイルスの漏えいを想定した何らかの対策が必要なのではない
 - 例えば、再度測定するとともに沈澱水やろ過水の濁度、各処理プロセス水の残留塩素濃度の監視を強化することにより浄水処理を確認し、必要に応じて浄水処理を強化する