

水資源と水環境に関する研究

Researches on Water Resources and Environments



准教授 佐野 大輔
Associate Professor
Daisuke Sano



教授 李 玉友
Professor (協力教員)
Yu-You Li



准教授 小森 大輔
Associate Professor
Daisuke Komori

水資源システム学分野では、世界の水問題を解決することを目指し、以下の研究に取り組んでいる。

- 1) 気候変動と土地利用変化が自然環境に与える影響評価手法の開発
- 2) 地球温暖化と林業の衰退など森林の荒廃による流木発生メカニズムの解明
- 3) 下水処理場における温室効果ガス発生と最適な浄化機能の解析
- 4) 嫌気性消化槽にかかる排水処理と微生物群集動態の解明
- 5) 水インフラへの病原ウイルスの遺伝的適応評価

Our research topics in 2019 were

- 1) The development of evaluation approaches for the effect of climate change and land utilization change on natural environments
- 2) Mechanisms of flood wood generation caused by global warming and forest industry declination
- 3) The optimization of wastewater treatment and greenhouse gas emission
- 4) Bacterial community structure in wastewater treatment and anaerobic digestion reactors
- 5) Water infrastructure and enteric virus evolution

SDGs 時代の水の消毒

2030年までに全世界の人々が安全な飲料水とトイレを使用可能とすることを旨とする Sustainable Development Goal 6 (SDG6) を達成するためには、導入・運転コストが低く、維持管理が容易で、且つ使用者の健康を適切に守ることができる水インフラを開発することが求められる。世界保健機構 (World Health Organization: WHO) が推奨する衛生安全計画 (Sanitation Safety Plans: SSP) は、危害分析重要管理点 (HACCP) を基盤として、汚水・排泄物処理に携わる事業者が、地域住民等の便益を最大化し、かつ健康リスクを最小化するための管理ツールである。下水処理水中の病原体による健康リスクを SSP により管理する場合、病原体の消毒モデルをもとに必要な消毒剤濃度と接触時間を算出し、それらを重要管理点としてモニタリングする必要がある。しかしながら、消毒剤による病原体の不活化効果は処理水質に依存して変動するため、水中病原体の十分な不活化に必要な消毒条件を与える水中病原体消毒モデルは一意的に決定することができない。そのため、下水処

Water disinfection in the SDG era

United Nations Sustainable Development Goal 6 (SDG6) is to supply all people globally with improved drinking water and sanitation systems by 2030. The development of sustainable water infrastructure that is easily installable and maneuverable is essential to achieve SDG6; simultaneously, eliminating users' health risks is mandatory. The World Health Organization (WHO) has recommended sanitation safety planning (SSP) for managing human health risks in wastewater reclamation and reuse. SSP is a scheme for the safe use of excreta, wastewater, and graywater. SSP has adopted the hazard analysis and critical control point (HACCP) approach, which was originally developed in the food industry as a tool to prevent food-borne diseases. The HACCP approach is useful for identifying potential hazards in water-treatment processes and determining preventive/corrective actions to reduce the risk to health due to hazardous contaminants.

When SSP is to be applied to wastewater reclamation and reuse, the behavior of pathogens in water is quantitatively predicted by mathematical models, and critical control points (CCPs) are determined. However, the

理水中の病原体により発生する健康リスク管理に SSP を本来あるべき形で適用することができない状況にあった。

そこで本研究では、様々な下水処理水質に対して適用可能な水系感染症ウイルスの塩素消毒モデルを構築することを試みた。水質と水系感染症ウイルスの不活化効率に関するデータを収集し、消毒剤濃度の減衰を考慮した EFH model のパラメータ推定に用いた。処理水質に応じた消毒モデルを構築するため、各ウイルスの遺伝子型毎の塩素感受性差及び論文間における実験誤差を考慮し、R 及び Stan コードを用いた階層ベイズによる k 、 m 、 n のモデリングを行った。

ノロウイルス、ロタウイルス、ポリオウイルス、アデノウイルス、コクサッキーウイルス、及びエコーウイルスに関する不活化モデルの構築を行ったが、ここではノロウイルスのモデリング結果のみを紹介する。ノロウイルスの不活化速度定数 k はガンマ分布、Hom 係数 m 及び希釈係数 n は対数正規分布が最も低い WAIC を与えた。クロラミンについても同様の結果であった。遊離塩素における Hom 係数 m を除き、各 EFH モデルのパラメータの適合度評価指標は階層ベイズモデルの方が一般化線形モデルよりも低い値を示した。不活化速度定数 k の各係数に着目すると、切片 a を除いた各係数は遊離塩素及びクロラミンで共通の正負の傾向を示した (図 1)。不活化速度定数 k は係数が負である pH 及び温度の増加に伴い減少すると言える。一方、定量 PCR よりブランク法、環境水や下水処理水より緩衝液が用いられる場合、不活化速度定数 k は増加することになる。

不活化速度定数 k 、Hom 係数 m 、希釈係数 n の 2.5%、25%、50%、75%、及び 97.5% 値を用いて、初期塩素濃度 1 ppm、pH=7、水温 20°C、ブランク法、下水処理水の条件下におけるノロウイルスの予測不活化曲線を作成した (図 2)。25% 値に着目すると、1 分間の遊離塩素との接触時間によりノロウイルスの不活化効率は 0.8 log となる一方、クロラミンによる不活化効率は遊離塩素消毒の 400 倍低い値 (0.002 log) と予測された。下水処理場におけるウイルスの不活化には遊離塩素濃度の維持が重要と言える。下水処理水中のアンモニア濃度が高い場合、アンモニアと遊離塩素の反応によりクロラミン濃度が増加し、遊離塩素濃度の減少に伴いノロウイルスの不活化効率も減少するため、遊離塩素の注入濃度を十分に高く設定する必要がある。

prediction of virus inactivation efficiency in water has several problems due to the complex composition of wastewater matrix and the different sensitivities of enteric viruses to disinfectants. Wastewater quality, such as dissolved organic carbon (DOC), suspended solids (SS), pH, and temperature, can vary among wastewater treatment plants (WWTPs) and even within a WWTP, depending on the day and season, which results in the varying efficacy of disinfectant decay and inactivation of the efficiency of enteric viruses even in the same disinfectant dose. Furthermore, inactivation efficiency can differ among the genotypes/strains of an enteric virus.

In this study, we focused on disinfection using free chlorine and chloramine, and tried to construct a predictive virus inactivation model using water quality information. We firstly conducted a systematic review to obtain the inactivation efficiency of enteric viruses (norovirus, rotavirus, hepatitis A virus, adenovirus, coxsackievirus, and echovirus) as well as water quality information. We applied a hierarchical Bayesian model using water quality parameters as the model variables to train virus inactivation efficiency datasets, in which the hidden effects of differences among disinfection tests and genotypes of a virus species were taken into account. We then validated our model's applicability to the newly obtained datasets in this study.

We constructed inactivation models for norovirus, rotavirus, poliovirus, adenovirus, coxsackie virus, and echovirus, but here, we only introduce the model for norovirus because of space limitations. The inactivation rate constant k , Hom coefficient m , and dilution coefficient n were used to follow a log normal distribution. Except for the Hom coefficient m for free chlorine, the hierarchical Bayesian model gave a better fit than the generalized linear model. All of the coefficient values had the same sign, except for the intercept a of the inactivation rate constant k (Fig.1). Increases in pH and temperature lead to a clear reduction of the inactivation rate constant k . On the other hand, the inactivation rate constant k increases when plaque assay is used instead of quantitative PCR, and when a buffer solution is used in the inactivation experiment, rather than environmental water and treated wastewater.

The inactivation curve of norovirus in treated wastewater was predicted under the conditions of an initial chlorine concentration of 1 ppm, pH of 7, and 20 °C (Fig.2). It is assumed that plaque assay was used to measure the reduction of infectious titer. In this prediction, the 2.5, 25, 50, 75 and 97.5 percentile values of k , m and n were used. When the 25th percentile values were used, the predicted log reduction value of norovirus is 0.8 log when the contact time with free chlorine is 1 min, while that with chloramine is 400-fold lower. These results indicate the importance of free chlorine for inactivating norovirus in treated wastewater. Thus, higher doses of free chlorine are required when the ammonium concentration in treated wastewater is high.

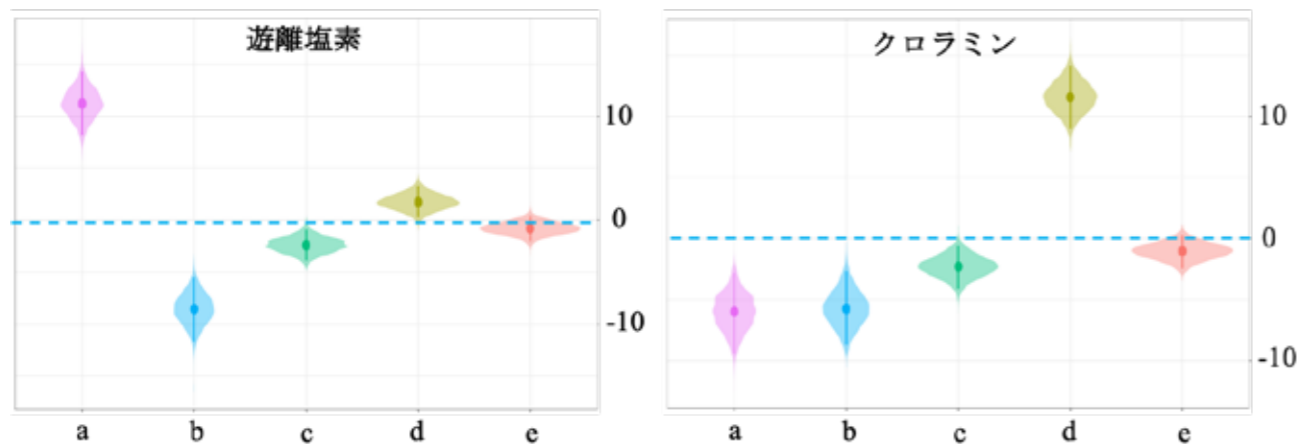


Fig.1 Coefficient values of λ for the inactivation rate coefficient k of norovirus. Alphabet a is an intercept value of a link function of $\lambda (= a + b(\text{pH}) + c(\text{temperature}) + d(\text{virus concentration unit}) + e(\text{water matrix}))$, and b to e are the coefficient values of explanatory variables of pH, temperature, unit of virus concentration, and water matrix (buffer: 0, environmental water: 1), respectively.

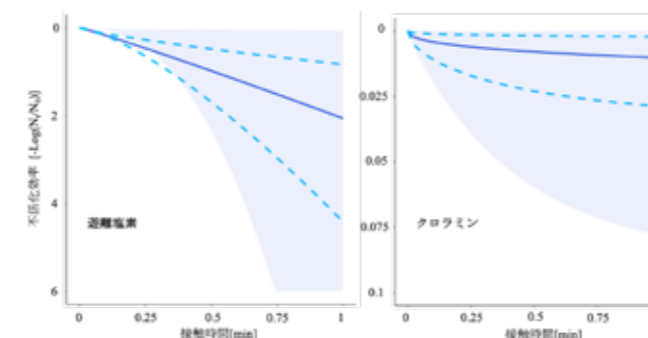


Fig.2 Predicted inactivation curve of norovirus with free chlorine and chloramine. Solid line: 50%tile, dashed line: 25%tile and 75%tile, shade: 95%tile.