

## 審査の結果の要旨

氏名 鳥居 将太郎

本論文は、Kinetics of virus inactivation by disinfection in drinking water treatment (浄水処理の消毒工程におけるウイルス不活化の速度論的解析)と題し、6章から構成されている。

第1章では、ウイルスが水処理における健康リスク管理の観点から重要であることを指摘し、消毒に関する研究の意義ならびに本論文の目的と構成を示している。

第2章では、消毒によるウイルスの不活化機構および不活化モデルに関する先行研究をまとめている。病原ウイルスについての概論、消毒による不活化機構、不活化モデルの構築に関する諸研究、ウイルスの消毒処理感受性などに関する既存の研究事例を整理して示している。

第3章では、Continuous quench flow system (CQFS) を用いてオゾンによるウイルスの不活化速度を解析した。オゾンは強い酸化力を持っており、水性ウイルスを効果的に不活化することができる。しかし、オゾンは反応性が高いため、ウイルスの不活化とオゾン曝露との関係を同時に測定することは困難であり、これまでの研究では、ウイルスの不活化とオゾン曝露との関係を正確に測定したものはほとんどなかった。このような迅速反応の速度を解析するためには、CQFS が有用と考えられるが、これまでの研究では、バッチシステムとは異なる不活化速度定数の結果が得られることが報告されていた。本章は (1)微生物の不活化速度を正確に評価するための CQFS の開発、(2)オゾンによる水系ウイルスの不活化速度定数の評価、(3)先行研究との比較を目的とした。その結果、CQFS の反応管内の単純なプラグフローの仮定では、不活化速度定数が過小評価されることが示された。速度定数の正確な測定は、滞留時間分布(RTD;すなわち層流仮定)を考慮した疑似一次反応モデルによって達成された。不活化実験の結果、以下の順にウイルスの抵抗性が高くなっていることが示唆された。Qβ < MS2, fr, GA < CVB5 Faulkner, φX-174, PV1 Sabin, CVB3 Nancy。4-log 不活性化の予測 CT 値は、0.018 mg sec L<sup>-1</sup> (Qβ) から 0.16 mg sec L<sup>-1</sup> (CVB3 Nancy) までの範囲であった。4log の PV1 不活化に必要な CT 値は 0.15 mg sec L<sup>-1</sup> であり、米国環境保護庁のガイダンスマニュアルで報告されている値よりも 166 倍も小さかった。これまでの研究における過大評価は、反応器内の RTD の仮定が適当でなかったためである。ウイルス不活化のために必要なオゾン CT 値が再検討されるべきであることを示唆した。

第4章では、(i)多摩川と相模川で採取した F-RNA フェージ遺伝子型 GI の環境染色体合計 35 株について遊離塩素抵抗性を調べ、(ii)遊離塩素抵抗性の確率密度関数を仮定して、異種 F-RNA フェージ GI 株の全体的な不活化効率を予測する不活化モデルを開発した。その

結果、F-RNA フェージ GI 株のほとんどの環境株は、実験室株である MS2 および fr に比べて高い遊離塩素抵抗性を示した。開発したモデルは、MS2 の 8 log の不活化が予想される場合、GI フェージの全体的な不活化効率は、多摩川では 5.6 log、相模川では 5.3 log に制限されることを示唆した。したがって、環境水中での不活化効率を正確に予測するうえで、特定の微生物の遊離塩素感受性の不均一性をモデルに組み込む必要があることを示唆した。

第 5 章では、コクサッキーウイルス B5 (CVB5) の 13 種類の株間の遊離塩素、紫外線、オゾンに対する感受性のばらつきを評価し、環境中に存在する株の CVB5 の全体的な不活化を予測するモデルを開発した。遊離塩素、紫外線、オゾンでは、株間でそれぞれ最大 3.4 倍、1.3 倍、1.8 倍の感受性の違いがあることがわかった。Genogroup B の CVB5 は、実験株 Faulkner が属する genogroup A と比較して、遊離塩素およびオゾンに対する感受性が有意に低かった。Genogroup B のカプシドタンパク質は、酸化剤に反応しやすい含硫アミノ酸の含有量が少なく、また、酸化剤に反応しやすいことが明らかになった。さらに、株間の消毒感受性の不均一性を捉えるために、不活性化率定数の確率分布を組み込んで Chick-Watson モデルを再構築した。この拡張された Chick-Watson model の算定結果では、CVB5 の 6log 不活化を達成するためには、Faulkner 株による予測よりも最大 4.2 倍大きな遊離塩素 CT が必要であることを示した。本章は、ある種のウイルスの全体的な不活化を予測するためには、消毒感受性のばらつきを取り入れる重要性を示唆した。

第 6 章は、総括であり、本論文の結論及び今後の展望について整理して示している。

本論文は、水中病原ウイルスのリスク管理における消毒について、新たな知見をまとめたものであり、都市環境工学の学術分野に大いに貢献する成果である。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。