

## 数理モデルを用いた下水ウイルス量と感染者数の双方向予測研究

分担研究者：佐々木 顕 所属 総合研究大学院大学

**研究要旨** 国土交通省と連携の下、首都圏のA地方公共団体から提供されたデータを用いて、下水中ウイルス量時系列と感染者数の時系列との関係を解析する数理モデル、およびデータ解析のためのRプログラムを開発した。下水ウイルスRNA濃度から集水域の陽性報告数データと比較することにより、この数理モデルが下水RNA量から集水域の感染動向を高い精度で予測できることが示された(2023年公衆衛生学会総会)。また、この数理モデルを実装したWEBアプリケーションCOVIVISを開発し、下水サーベイランスを行った様々な自治体がこのツールを用いてデータ解析できるための体制を整備した。

### A. 研究目的

下水中のウイルス濃度から、地域のウイルス感染状況を把握し、将来流行予測を行うための簡潔で汎用性の高い数理モデルを開発する。またこの数理モデルを用いたデータ解析が行える汎用のウェブアプリケーションを開発し、下水コロナウイルス濃度データを持つ研究者、自治体等が、地域の感染状況把握と予測を行える環境を構築する。対象地域の感染状況と下水中ウイルス濃度の時系列からモデルのパラメータフィッティングを行うプロセスもアプリケーション内に組み込むことにより、地域特性や変異株の置き換わりによるパラメータ変化に自動的に対応させる。感染症サーベイランスと予防政策立案に下水中ウイルス濃度モニタリングが常態的に採用される環境の構築を目指す。

### B. 研究方法

1. 厚生労働科学研究班がA市環境創造局下水道施設部の協力を得て実施した首都圏A自治体の下水処理施設における週別ウイルス濃度測定データ(2020年~現在)と、自治体による新型コロナウイルス陽性日別報告数データを用いて、下水ウイルス濃度から地域の感染動向を予測する数理モデルを構築した。モデルは、発症日を基準点として、感染者あたりのウイルス排出曲線をパラメタライズし、モデルによる感染者数予測の予測力を最大化するパラメータを推定した。

2. 上記の数理疫学的な基礎モデルを、データ入力と予測結果の解釈が容易に行えるウェブアプリケーションを開発し、ウェブ上で運用・公開する。また、アプリケーション操作マニュアルや背景説明、解析結果の共有を行うウェブページを整備する。

### C. 研究結果

1. 5つの下水処理施設で平均化したウイルスRNA濃度(対数)からモデルを用いた流行予測値と、自治体におけるCOVID-19患者数(対数)とは、決定係数0.7~0.8の高い適合性を示した(図1, 2)。

2. モデルパラメータのフィッティングにより、感染者のウイルス分泌量のピークは発病後0-1日と推定され、ピーク前後の緩和時間は1-2日と急峻であったこと。つまり、気道感染による発症数のピークと、下水でのウイルス濃度のピークがほぼ一致しており、このことから、下水で検出されるウイルス濃度には、気道感染から腸管感染への感染部位の移行後の腸管からの排出よりも、気道感染時の口腔分泌物が大きく寄与していることが示唆された。

3. また集水域人口10万人当たり一人の感染者により、下水中のRNA濃度は検出限界(400GC/L)を大きく超える1600 GC/Lだけ上昇すると推定された。

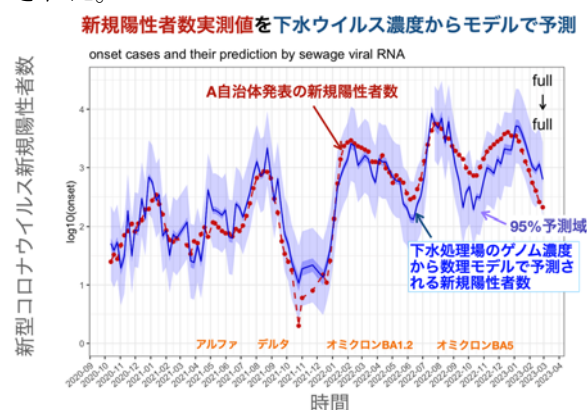


図1. A自治体第3-8波の流行時系列を下水RNA濃度時系列から数理モデルで予測した結果

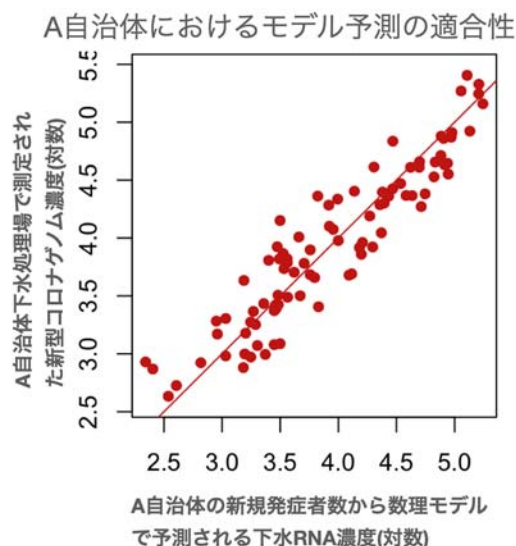


図2. 下水RNA濃度からの感染状況予測の適合性

4. 本研究で構築した数理モデルを用いて環境水中の下水RNA濃度データからの集水域の流行状況を予測するアプリ COVIVIS を開発した(図3、2024年5月公開予定)。

COVIV 解析ツール ウェブアプリ版



図3. ウェブ解析アプリケーション COVIVIS のホーム画面 <https://covivis.soken.ac.jp>

#### D. 考察

これらの結果(数理モデルによる高精度予測、発症と下水濃度上昇の時間差の少なさ、集水域での無症候性感染を含む感染状況の下水濃度への高感度の反映)から、下水中のウイルスRNA濃度センサスと数理モデルの結合により、時間遅れが少なく、検出感度の高い高精度の流行予測が行えることが示唆された。

今回のモデルとデータ解析は、市中環境水中のウイルスゲノム濃度モニタリングが、無症候性感染の割合が高い SARS-CoV-2 を含む多様なウイルス感染症流行の規模を推定するために有用であることを示した。

#### E. 結論

下水中ウイルス濃度を用いて処理域での新型コロナウイルスの流行を予測する数理疫学モデルを開発した。このモデルを2020年以降のA自治体での下水中ウイルス濃度時系列データに適用する事により、A自治体での流行の高精度の予測が可能になった。

#### F. 健康危険情報

なし

#### G. 研究発表

論文発表

なし

学会発表

1. 佐々木頭、数理疫学モデルを用いた環境水ウイルス濃度からの流行予測、公衆衛生学会、2023年、つくば国際会議場

#### H. 知的財産権の出願・登録状況(あれば記載)(予定を含む。)

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

流行予測ウェブアプリ COVIVIS を開発した(資料 1.2.3)。