

令和 7 年度 厚生労働科学研究費補助金
食品媒介性感染症被害実態の推計に基づく施策評価のための研究

状態空間モデルと下水データを用いたノロウイルス総感染者推定に関する研究

分担研究者 上間 匡 国立医薬品食品衛生研究所
協力研究者 佐野大輔 東北大学 大学院工学研究科 土木工学専攻
門屋俊祐 国土交通省 国土技術政策総合研究所 上下水道研究部

研究要旨

国内で報告される食中毒患者数のうちノロウイルスが原因として報告される患者数は 2023 年、2024 年、2025 年はそれぞれ 5,502 人、8,656 人、18,566 人である。ノロウイルスによる胃腸炎は食品を介する食中毒や食品を介さずにヒトーヒト間の伝播による感染性胃腸炎として経験するが、食中毒としての報告は医療機関で食中毒として診断された場合に限られ、感染性胃腸炎は小児科定点からの報告数に限られているほか、不顕性感染者も存在するため、全年齢層をカバーするノロウイルスの感染実態は不明である。本分担研究では、大量調理施設衛生管理マニュアルで推奨される調理従事者等を対象としたノロウイルス便検査のデータや、下水から検出されるノロウイルス遺伝子のデータを元に、状態空間モデルにより、仙台市における年間のノロウイルス感染者数の推定を試みた。

A. 研究目的

ノロウイルスなどによる感染性胃腸炎は、感染者の年齢や免疫状態によって症状が大きく異なることが知られている。また、感染して症状が出ても病院を受診しない人も多く、感染性胃腸炎の報告者数は実際の感染者数を比べ過小であると考えられている。本研究では、時系列データを扱う統計モデルの 1 つである状態空間モデルを適用することで、潜在的な総感染者数を推定することを試みた。

状態空間モデルとは、過去の傾向を活用して将来の値を予測する時系列データの動的システムをモデル化する手法である。状態空間モデルは、状態方程式と観測方程式の 2 つの要素から構成される。状態方程式

は、観測データを生成する仮想的な値を表し、観測方程式は実際に得られるデータに対応する。今年度は、感染性胃腸炎報告症例数と未処理下水中のノロウイルス濃度を用いて、感染性胃腸炎の潜在的感染者数の推定を行った。

B. 研究方法

B-1. データ

2020 年から 2025 年の宮城県内における感染性胃腸炎報告症例数の公開データをウェブ上から取得した

(<https://www.pref.miyagi.jp/site/hokans/surveypdf-shuho.html>)。仙台市では、2020 年から 2024 年までは下水処理場へ流入する下水試料が毎週採取され、測定・記

録された未処理下水中のノロウイルス GII 濃度 [genome copies/L] のデータを取得した。保育園や食料品販売店等の施設の従業員に対して行われたノロウイルス感染調査結果について、仙台市における月別陽性率を抽出したデータを株式会社日本環境衛生研究所から提供を受けた。

B-2. 状態空間モデル (Model 1)

感染性胃腸炎の潜在的な総感染者数を推定するために状態空間モデルの適用を試みた。データとして取得可能な報告症例数は報告率（軽症のため受診しない等）や不顕性感染率によって総感染者数の一部を示しているに過ぎないという仮定のもと、状態空間モデルにおける“状態”を潜在総感染者数 Y_t 、“観測”を報告症例数 y_t とした。状態空間モデルの考え方は、過去から現在に向かって実際に推移しているのは“状態”であって、データとして観測される“観測”は観測誤差を伴って“状態”から生成されるということをも想定したものである。

図 1 に示すように、Model 1 では、時点 t における潜在総感染者数 Y_t は、1 時点前 $t-1$ の“状態” Y_{t-1} から過程誤差 $\xi_{Y,t} \sim \text{Normal}(0, \sigma_{Y,t}^2)$ ($\sigma_{Y,t}^2$: 分散) によって変動する（状態方程式）。

$$Y_t = Y_{t-1} + \xi_{Y,t} \quad (1)$$

時点 t において観測される報告症例数 y_t は時点 t の総感染者数 Y_t から観測誤差 $\omega_{y,t} \sim \text{NegBinom}(0, \theta)$ (θ : 形状母数) を伴って生成される。これはつまり報告症例数は負の二項分布にしたがうことを想定しているが、疫学データに一般的に見られる傾向である症例数の大きな日変動に対応するためである。報告症例数は不顕性感染率及び報告率によって説明されると仮定し、

本研究では不顕性感染率及び報告率を考慮した制約係数 $\beta_t (< 1)$ を定式化し、観測方程式を構築した。

$$y_t = \beta_t Y_t + \omega_{y,t} \quad (2)$$

β_t は“状態”と“観測”の差異に影響を与える要因（例：通院しなかった感染者の発生など）を反映するものである。報告症例数 N_r は顕性感染 N_s 及び不顕性感染 N_a を考慮すると以下の式で表現される。

$$N_r = r_s N_s + r_a N_a \quad (3)$$

ここで r_s は顕性感染の報告率、 r_a は不顕性感染の報告率である。不顕性感染率を p_a 、潜在総感染者数を N_T として整理すると、

$$N_r = \{(1 - p_a)r_s + p_a r_a\} N_T \quad (4)$$

と表現される。式 4 の右辺の係数が制約係数に相当するものである。ノロウイルス感染実態調査は、医療機関における定点観測とは独立して PCR 検査を実施したものであるから、陽性者は未報告の不顕性感染者として扱うことができるとした。つまり、この全国実態調査において示された陽性率 P は、陽性者はすべて無症状との仮定の下では、式 5 のように表現できる。

$$P = 1 - p_a r_a \quad (5)$$

症状を呈しかつその報告率が P より十分低いと仮定できる場合、式 4 は $N_r = p_a r_a N_T$ と整理され、未報告症例数は $N_T - N_r = (1 - p_a r_a) N_T$ であるから、制約係数は簡易的に式 6 のように表現される。

$$\beta = 1 - p_a r_a \quad (6)$$

B-3. 下水データを活用した状態空間モデル (Model 2)

感染者数予測に対する下水データの有効性を把握するため、下水中の胃腸炎ウイルス濃度の時間変化を考慮した多変量状態空

間モデルを構築した (Model 2)。2-2 節と同様に潜在的なウイルス濃度の一部がデータとして観測されることを想定した。時点 t における対数潜在ウイルス濃度 X_t は同時点における潜在総感染者 Y_t から排出されるため、式 7 のように示される。

$$X = \eta Y_t + \omega_{X,t} \quad (7)$$

$$x = X_t + \omega_{x,t} \quad (8)$$

$\omega_{X,t} \sim \text{Normal}(0, \sigma_{X,t}^2)$ ($\sigma_{X,t}^2$: 分散) であり、潜在ウイルス濃度は正規分布に従い変動すると仮定した。 η は感染者数をウイルス濃度に変換する非負の係数とした。式 8 は観測方程式である。感染してから発症の期間においても感染者からウイルスは排出されるため、下水中のウイルス濃度は 1 時点未来の感染者数の予測に活用できる可能性がある。したがって、潜在総感染者数を式 9 のように表現した。

$$Y_t = \phi X_{t-1} + Y_{t-1} + \xi_{Y,t} \quad (9)$$

ϕ はウイルス濃度を感染者数に変換する非負の係数とした

C. 結果と考察

C-1. 2024 および 2025 年度における総感染者数の推定

Model 1 において推定された仙台市の s 総感染者数中央値は最小 341 から最大 1324 の間で推移しており、平均として予測報告症例数の中央値の約 9 倍であった (図 3)。これは、ある時点における患者 1 人には未報告の二次感染例が約 9 件ある可能性を示している。また、2024 年度及び 2025 年度における仙台市の年間推定総感染者数の中央値は、それぞれ 43897 人及び 36097 人であった。本研究においては潜在総感染者数と報告症例数の差は、症例報

告率や不顕性感染率 (制約係数) をもとに決定されるが、取得可能なデータが限られており、制約係数の精度の向上の余地があることに留意する必要がある。また、食中毒統計では、ノロウイルスによる食中毒患者数は 2024 年から 2025 年にかけて 1 万人増加し推計値とは増加トレンドが異なっていることから、精度向上に向けた検討が必要である。

C-2. 下水ウイルスデータの効果

Model 2 においては、2024 年度のデータに対して、下水中のノロウイルス GII 濃度を利用し感染者数を推定した。潜在総感染者数の推定値を下水ウイルスデータの有無で比較したところ、ほとんど差が見られなかった (図 4)。その一方で、下水ウイルスデータを活用することでモデルの将来予測性能が向上することが明らかとなった (図 5)。2024 年 10 月末までのデータをもとに構築したモデルから、2024 年 11 月以降の 10 週先までの将来予測を行ったところ、ウイルスデータを使用したモデルにおいては増加トレンドを予測することができた (図 5 B)。つまり、ウイルスデータを活用した状態空間モデルによって将来の総感染者数のトレンドを把握することが可能であることが示唆される。

D. 結論

状態空間モデルを用いて、調理従事者のノロウイルス検査データ、下水データ等からノロウイルスの年間感染者数、感染者数の増減トレンドを推計することが可能である。

ノロウイルス検査データは 1 社からの提供で、モデルによる推計に用いたデータも地

域を限定したことから、全国規模の推計と
するためには複数社から検査データの提供
を受けるなどが必要と考えられた。限定さ

れたデータの範囲ではあるが、患者1人
に対して、推定感染者は9倍程度は存在す
ることが示唆された。

E.健康危険情報

なし

F.研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

G.知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

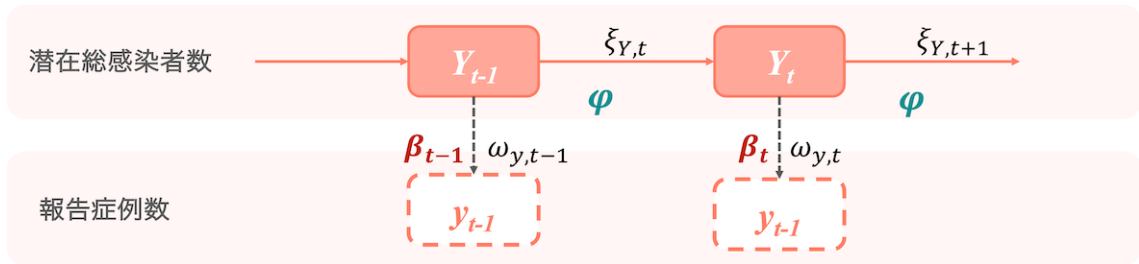


図 1. 状態空間モデル (Model 1) の概要

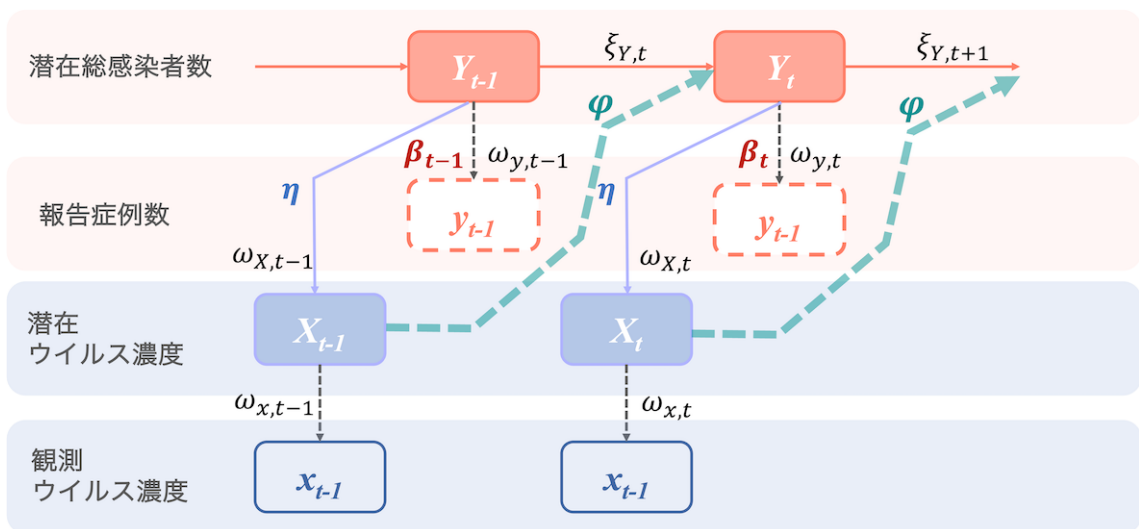


図 2. 状態空間モデル (Model 2) の概要

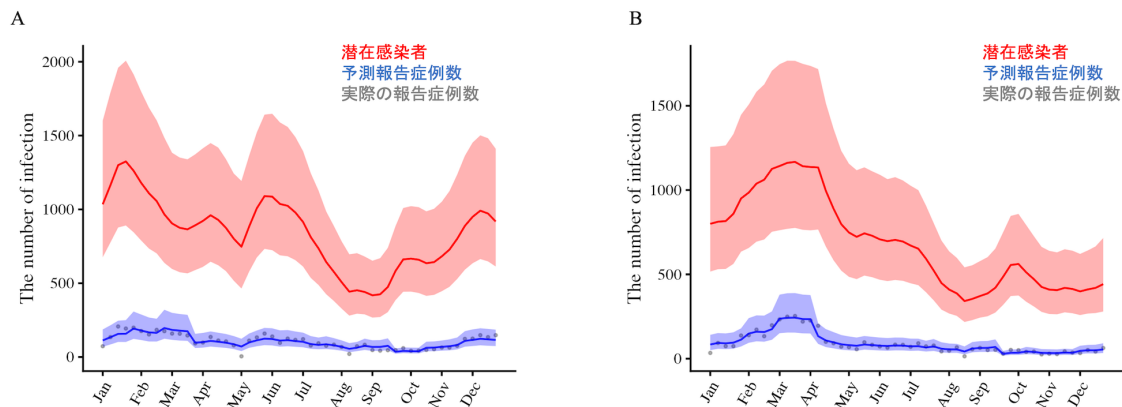


図 3. 2024 年 (A) 及び 2025 年度 (B) における潜在総感染者数 (赤) . 実線は中央値、影は 95%信用区間を示す。青線および影は報告症例数の予測結果であり、灰色のプロットは実際の報告症例数である。

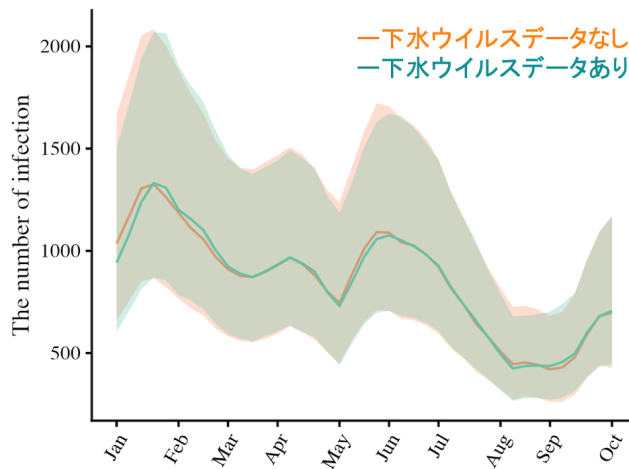


図 4. 2024 年度における潜在総感染者数推定値の比較（橙：下水ウイルスデータ無し、緑：下水ウイルスデータ有り）。実線は中央値、影は 95%信用区間を示す。

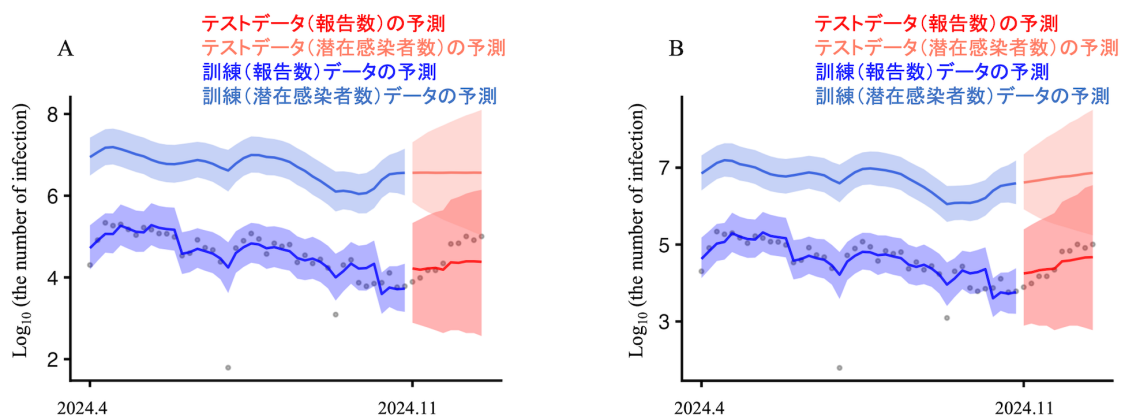


図 5. 将来予測性能の評価（A: ウイルスデータ無し、B: ウイルスデータ有り）。2024 年 11 月以降の区間が 10 週先までの将来予測区間である（赤）。実線は中央値、影は 95%信用区間を示す。灰色のプロットは実際の報告症例数である。