

外部支援者の効果を考慮した被災地の居住機能回復過程の時系列分析

Time Series Analysis of Residential Recovery Process in Disaster Stricken Areas Considering the Effect of External Supporters

入谷 柚*

Yu Iritani

*地域計画学・レジリエンス計画研究室（指導教員：奥村誠 教授）

近年、災害が地域に与える影響の中でも直接的被害だけでなく機能の回復過程や外部支援者の効果に関心が集まっている。本研究では、外部支援者の効果を考慮して居住機能の回復を状態空間モデルに基づき、モバイル空間統計で得られる観測時系列を用いて分析する。

Key Words: 災害回復過程、外部支援、状態空間モデル、モバイル空間統計

1. はじめに

地域が災害から受ける影響の中でも、直接的被害だけでなく機能回復過程や外部支援者の効果に関心が集まっている。特に居住機能は、社会経済活動の回復を左右するものであり重要性が大きい。

本研究では避難所生活などが行われる直後の混乱期以降の 2 年程度を対象に、外部支援者の効果を考慮した居住機能回復過程を、状態空間モデルに基づきモバイル空間統計で得られた観測時系列を用いて分析する。

2. 分析方法

(1) 状態空間モデル

状態空間モデルは直接観測されない潜在変数である「状態変数」の時間変化過程を、観測変数を活用して推定するモデルである。状態ベクトル α_t の変化の過程を表す状態方程式（式(1)）と、状態ベクトル α_t と観測ベクトル y_t の関係を表す観測方程式（式(2)）から構成される。

$$\alpha_{t+1} = T_t \alpha_t + R_t \eta_t, \quad \eta_t \sim N(0, Q_t) \quad (1)$$

$$y_t = Z_t \alpha_t + \varepsilon_t, \quad \varepsilon_t \sim N(0, H_t) \quad (2)$$

ここで、 η_t は過程誤差ベクトル、 ε_t は観測誤差ベクトルであり、それぞれ分散共分散行列 Q_t, H_t の正規分布に従う。 T_t, R_t, Z_t は変数間の関係を表現する行列である。

本研究では、支援量や居住機能を状態変数、訪問人口や夜間人口を観測変数として分析する。状態変数と観測変数の間に図-1 のような関係を仮定する。 $\mu_{i,t}$ は i 週間後の居住機能回復量を表し、居住機能の回復に支援量の効果が現れるまでの遅れを考慮した変数である。図-1 の関係は式(3)の状態方程式と式(4)の観測方程式によって表現できる。

$$\begin{pmatrix} \alpha_{t+1} \\ \omega_{t+1} \\ \mu_{2,t+1} \\ \mu_{1,t+1} \\ \gamma_{t+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \beta & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_t \\ \omega_t \\ \mu_{2,t} \\ \mu_{1,t} \\ \gamma_t \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} (\eta_\alpha),$$

$$(\eta_\alpha) \sim N\left(0, \begin{pmatrix} \sigma_\alpha^2 & 0 \\ 0 & \sigma_\omega^2 \end{pmatrix}\right) \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} v_t \\ r_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_t \\ \omega_t \\ \mu_{2,t} \\ \mu_{1,t} \\ \gamma_t \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{v,t} \\ \varepsilon_{r,t} \end{pmatrix},$$

$$(\varepsilon_{v,t}) \sim N\left(0, \begin{pmatrix} \sigma_v^2 & 0 \\ 0 & \sigma_r^2 \end{pmatrix}\right) \quad (4)$$

未知パラメータは過程誤差の分散 $\sigma_\alpha^2, \sigma_\omega^2$ 、支援量と居住機能回復量間の係数 β 、観測誤差の分散 σ_v^2, σ_r^2 であり、最尤法で値を決定し、状態の推定はカルマンフィルタと平滑化で行う。

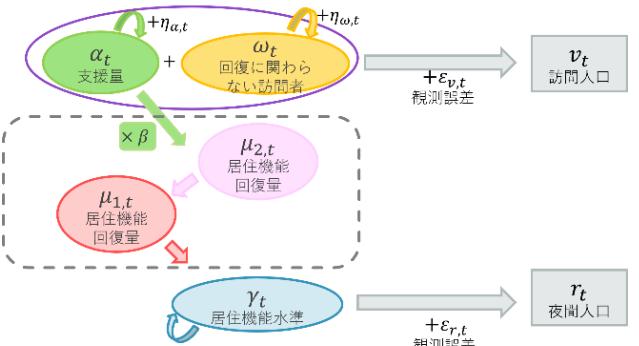


図-1 状態空間モデルで仮定する変数間の関係

(2) 対象地域、対象期間

2018 年 7 月の西日本豪雨による岡山県倉敷市の被災地域と 2019 年 10 月の東日本台風による長野県長野市の被災地を対象とする。具体的には各市のメッシュの人口推移をクラスター分析して、夜間人口が被災時に大きく減少し、その後時間をかけて回復したクラスターに含まれ、期間中に欠損のなかった倉敷の 37 メッシュと長野の 18 メッシュを被災地域とみなした。

すなわち、対象期間は、被災後 12 週間から 2 年までとする。倉敷は 2018 年 10 月 7 日から 2020 年 7 月末までの 96 週間、長野は 2019 年 1 月 5 日から 2021 年 10 月末までの 96 週間である。

(3) 観測時系列データの作成

500m メッシュの 1 時間ごとの滞在人口を居住市区町村別に把握することができるモバイル空間統計データに基づき、0~3 時台の市町村内居住者滞在人口の平均値を夜間人口、10~15 時台の全滞在人口ー市町村内居住者滞在人口の平均値を訪問人口と見なして、1 週間毎の時系列データを作成する。

さらに、各被災地域の被災前 1 か月の平均夜間人口で割り、被災地域間の人口規模の違いを取り除く。すなわち、夜間人口は被災前と比較した割合(%)、訪問人口は被災前夜間人口当たりの訪問人口に加工して用いる。

3. 推定結果

支援量の効果が現れるまでの時間遅れを 1~10 期の間で変化させ、 $\mu_{i,t}$ の個数が異なるモデルを推定した結果、倉敷、長野ともに図-1 に示した 3 期遅れのモデルの当てはまりが最も優れていた。

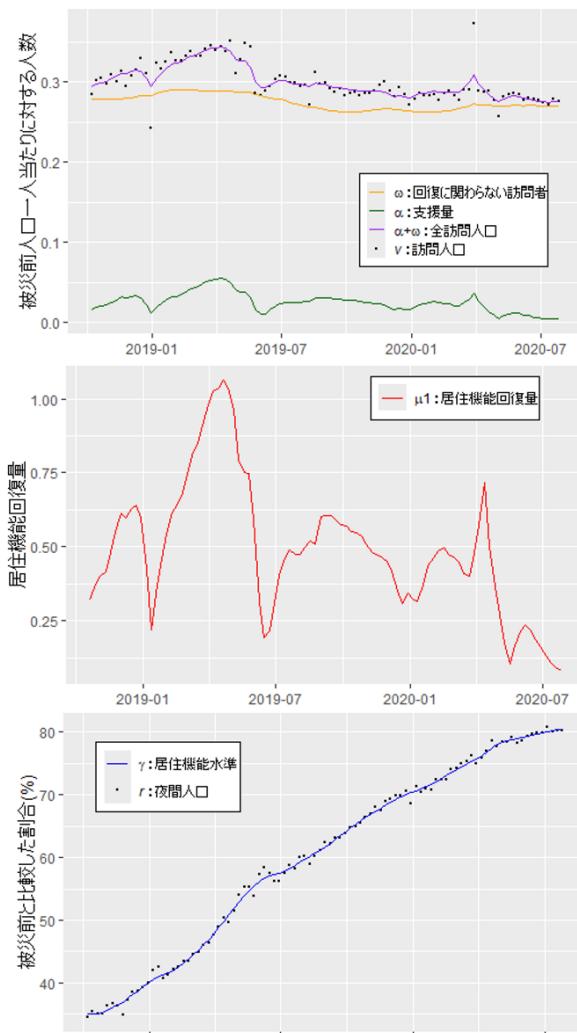


図-2 倉敷における状態の推定値

倉敷で推定したモデルの AIC は -2.27 であり、図-1 の破線内を取り除いた支援量の効果を含まないモデルの -2.02 よりも小さいので本モデルの方が当てはまりが優れている。図-2 に状態の推定値と観測値を示す。全訪問人口（紫）の推移と支援量（緑）の推移が似た挙動をしており、相関係数は 0.897 で、 β の推定値は 19.4 で

ある。

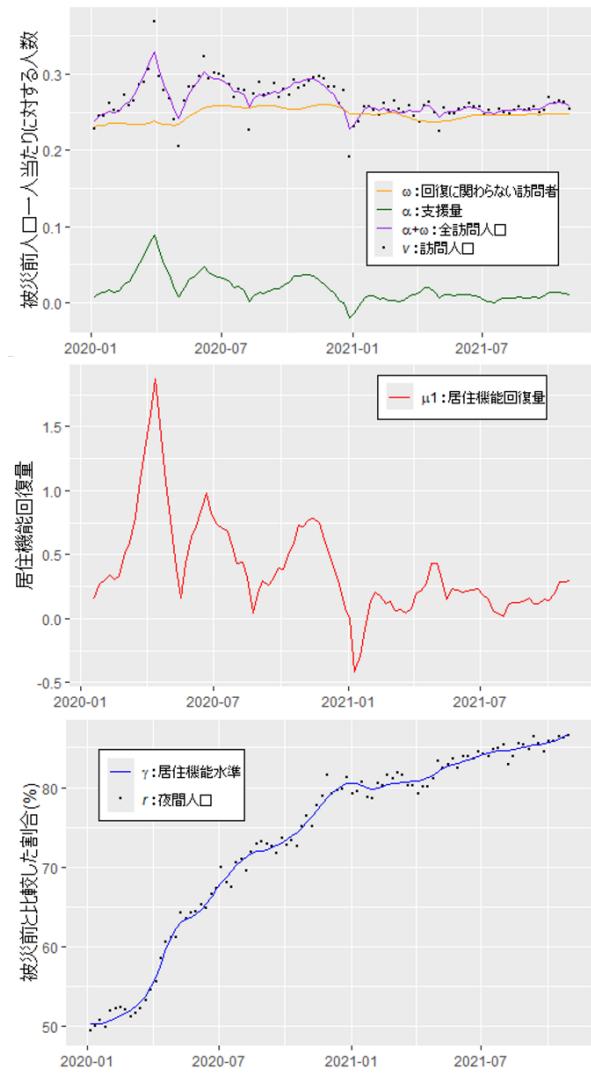


図-3 長野における状態の推定値

長野で推定したモデルの AIC は -1.47 であり、支援量の効果を含まないモデルの -1.45 よりも小さいので本モデルの方が当てはまりが優れている。状態の推定値と観測値を図-3 に示す。全訪問人口と支援量の相関係数は 0.896 で、 β の推定値は 20.8 と倉敷の値より若干大きくなっている。この違いは被災の規模や地域の特徴によるためと考えられるが、今後さらなる要因の分析が必要である。

4. おわりに

以上倉敷、長野とも被災地への訪問者数が多いほど支援量が多くなり、3 週間程度後の居住機能の回復に繋がることが確認できた。今後の課題として、外部支援者の効果を表す β の違いの要因を探る必要がある。また、被災地への訪問者だけでなく同市町村内の別の場所に来た訪問者の効果の分析や、水害以外の災害での分析を行うことが望まれる。

参考文献

- 1) 野村俊一：カルマンフィルタ，共立出版，2016, 154p.

(2025 年 2 月 4 日提出)