

# パーソントリップ調査データから見る 市町村間ネットワーク上の拡散現象のモデル

守田 智<sup>†1</sup>, 中川 訓範<sup>†2</sup>

**キーワード**: パーソントリップ調査, 人流, SIR モデル

## 1. はじめに

近年の新型コロナウイルスの流行が社会生活に及ぼした甚大な影響によって人流と感染症拡散について関心が高まっている。感染症を扱う数理疫学分野では、グローバルスケールの航空ネットワークによる長距離移動に注目したモデル[1,2]や、近距離の通勤移動に注目したモデル[3,4]などが用いられている。前者は移民のような長期間にわたる移動による感染拡大に対応しており(ここでは転地型と呼ぶ)、後者はその日のうちに戻ってくるような短期の移動に伴う局地的な感染(ここでは接触型と呼ぶ)に対応していると解釈できる。ここでは、都市圏内のような範囲での人の流動が感染症拡散に与える影響を分析するために、転地型と接触型の両方を内包した単純な感染拡散モデルを導入し、この提案モデルを用いてパーソントリップ調査のデータから観察される実際の人流が感染症の拡散に与える影響を推測する[5]。

## 2. 方法

ここで提案するモデルは、以下の方程式で表される。

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} S_i &= -(1 - \gamma_T) \alpha \frac{S_i I_i}{N_i} - \gamma_T \alpha \frac{S_i}{N_i} \sum_j F_{ij} \frac{I_j}{N_j} \\ &\quad + \gamma_R \sum_j \left( \frac{F_{ij} S_j}{N_j} - \frac{F_{ji} S_i}{N_i} \right) \\ \frac{d}{dt} I_i &= (1 - \gamma_T) \alpha \frac{S_i I_i}{N_i} + \gamma_T \alpha \frac{S_i}{N_i} \sum_j F_{ij} \frac{I_j}{N_j} - \beta I_i \\ &\quad + \gamma_R \sum_j \left( \frac{F_{ij} I_j}{N_j} - \frac{F_{ji} I_i}{N_i} \right) \end{aligned}$$

これは感染率 $\alpha$ 、治癒率 $\beta$ のSIRモデルに転地型拡散( $\gamma_R$ で始まる項)と接触型拡散( $\gamma_T$ で始まる項)を付け加えたものである。行列 $F_{ij}$ は地域 $j$ から地域 $i$ へ移動する人数を表しており、単位時間あたりの全移動数が人口と一致するように規格化を施したものである。すなわち、各地域 $i$ の人口を $N_i$ とすると

$$\sum_{ij} F_{ij} = \sum_i N_i$$

をみたくものとする。また、2地域間移動の行きと帰りの人数が等しいという対称条件 $F_{ji} = F_{ij}$ を仮定する。 $\gamma_T$ は感染

に伴う接触のうち外出移動によるものの割合であり、 $\gamma_R$ は1日あたり長期的な移動の回数である。都市圏をモデル化する場合、移動は主に通勤・通学等の短時間であるから $\gamma_R$ は小さいと想定されるが、 $\gamma_T$ の値については未知である。

行列 $F_{ij}$ は、第5回近畿圏パーソントリップ調査のデータを利用し245市区町村間のものを得た。パーソントリップ調査とは、1日のすべての外出について答える大規模アンケート調査である。調査の詳細については京阪神都市圏交通計画協議会 (<https://www.kkr.mlit.go.jp/plan/pt/index.html>) を参照されたい。

## 3. 結果

感染拡散の影響の強さを測るために次世代行列を使った。次世代行列の最大固有値は基本再生産数 $R_0$ に対応しており、転地型拡散の度合い $\gamma_T$ が増えると $R_0$ は増加するが、転地型拡散の度合い $\gamma_T$ が増えると $R_0$ が減少するという一見直感に反するような結果が得られた。また各市区町村におかれた初期感染者がその都市圏に与える影響を次世代行列の左固有ベクトルに着目することで推定した。その結果、人口に対して移動人数が多い地域が外部に拡散させる影響度が大きくなるという傾向が示唆された。導出法や解析結果の詳細については[5]を参照してほしい。

## 謝辞

この研究は、京都大学経済研究所共同利用・共同研究拠点2022年度プロジェクト研究として実施され、JSPS科研費JP21K03387の助成を受けています。

## 参考文献

- [1] Colizza, V., Barrat, A., Barthélemy, M., Vespignani, A., 2006. The role of the airline transportation network in the prediction and predictability of global epidemics. PNAS 103, 2015--2020.
- [2] Brockmann, D., Helbing, D., 2013. The hidden geometry of complex, network driven contagion phenomena. Science 342, 1337--1342.
- [3] Julien, A., van den Driessche, P., 2003. A multi-city epidemic model. Math. Popul. Stud. 10, 175-194.
- [4] Balcan, D., Vespignani, A., 2011. Phase transitions in contagion processes mediated by recurrent mobility patterns. Nat. Phys. 7, 581-586.
- [5] Morita, S., Nakagawa, K., 2023. Evaluating the impact of human flow on the spread of infectious diseases, J.Theor. Biol. 558, 111367.

<sup>†1</sup> 静岡大学工学部

<sup>†2</sup> 兵庫県立大学国際商経学部