

人数カウントデータと粒子フィルタを用いたエージェントベースモデルの状態推定

相澤 景 総合研究大学院大学 統計科学専攻 博士課程（3年次編入学）5年

1. はじめに

エージェントベースモデル(ABM)の状態推定は近年盛んな研究トピックとなっている。例えば, Malleson et al.(2020) は群衆移動を表現した ABM に粒子フィルタを適用してエージェントの位置推定を行った。Malleson et al.(2020) では個人がセンサデバイスを保有する状況を想定し, 個々のエージェントの位置がノイズを伴って観測されることを仮定している。Malleson et al.(2020) が課題として指摘するように, 個々のエージェントからの観測よりも, 空間に配置するセンサによってエージェントから集計量を観測する方が取得が現実的な場合もある。近年では, カメラ画像を用いて人数カウントデータなどの集計量を観測できる空間配置型のセンサが登場している。そこで本研究では, 群衆移動から人数カウントデータが観測される状況を ABM と負の二項分布を用いた状態空間モデルで定式化し, 粒子フィルタでエージェントの状態推定を行う方法を提案する。そして, センサ配置が状態推定に与える影響を双子実験で分析する。

2. 提案手法

- システムモデル: Malleson et al.(2020) のABMを拡張

時点 t におけるエージェント i の6次元状態ベクトル

$$\mathbf{x}_{i,t} \equiv (s_{i,t}, x_{i,t}, y_{i,t}, d_{i,t}, e_i, \beta_i)^T$$

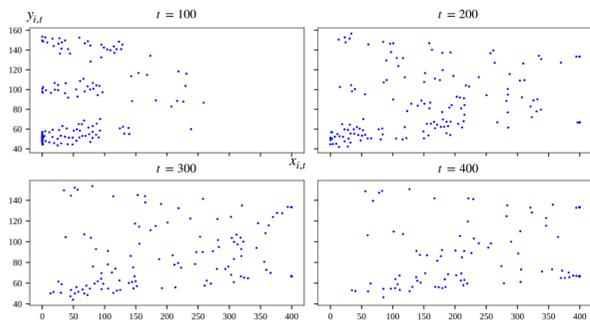
- $s_{i,t}$: エージェント i が移動中の場合は1, そうでなければ0
- $(x_{i,t}, y_{i,t})$: エージェント i の位置
- $d_{i,t}$: エージェント i が目標とする出口
- e_i : エージェント i が入場した入口
- β_i : エージェント i の合理性

K 体のエージェントの状態を並べた $6K$ 次元の状態ベクトル

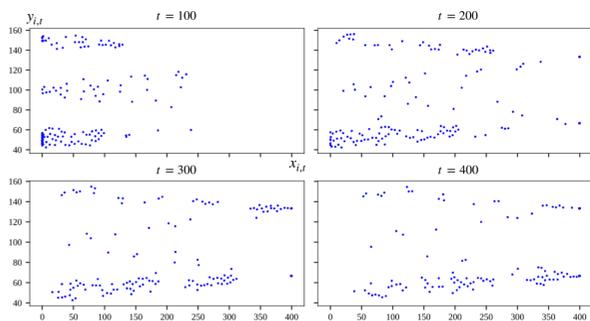
$$\mathbf{x}_t \equiv (\mathbf{x}_{1,t}^T, \dots, \mathbf{x}_{K,t}^T)^T$$

ABMの時間発展 $\mathbf{x}_t = \mathbf{f}(\mathbf{x}_{t-1}, \mathbf{v}_t), \mathbf{v}_t \sim p(\mathbf{v}_t)$

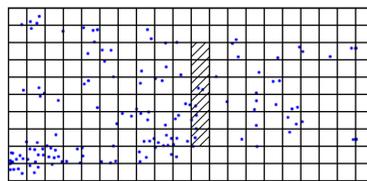
合理性低い
 $\text{logit}(\beta_i) \sim N(-2.0, 0.3^2)$



合理性高い
 $\text{logit}(\beta_i) \sim N(2.0, 0.3^2)$



- 観測モデル: 人数カウントデータの観測を表現



$\lambda_{j,t}$: グリッド i のエージェント数

y_t : 人数カウントデータ

負の二項分布による人数カウントデータのモデル化

$$p(y_{j,t} | \lambda_{j,t}, \omega, \alpha) = \frac{\Gamma(y_{j,t} + \lambda_{j,t})}{y_{j,t}! \Gamma(\lambda_{j,t})} \left(\frac{\alpha}{\alpha + 1} \right)^{\lambda_{j,t}} \left(\frac{1}{\alpha + 1} \right)^{y_{j,t}}$$

表現誤差の導入

$$E[y_{j,t} | \lambda_{j,t}, \omega, \alpha] = \lambda_{j,t} + \omega$$

ABMで表現できる群衆の人数 / 表現しきれない群衆の人数

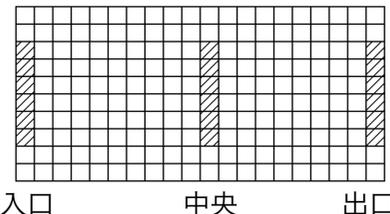
測定誤差の導入

$$V[y_{j,t} | \lambda_{j,t}, \omega, \alpha] = \left(1 + \frac{1}{\alpha}\right)(\lambda_{j,t} + \omega)$$

センサーの精度 ($\alpha \rightarrow 0$ につれての分散の増加を表現)

3. 実験設計

- センサ配置がエージェントの状態推定に与える影響を分析



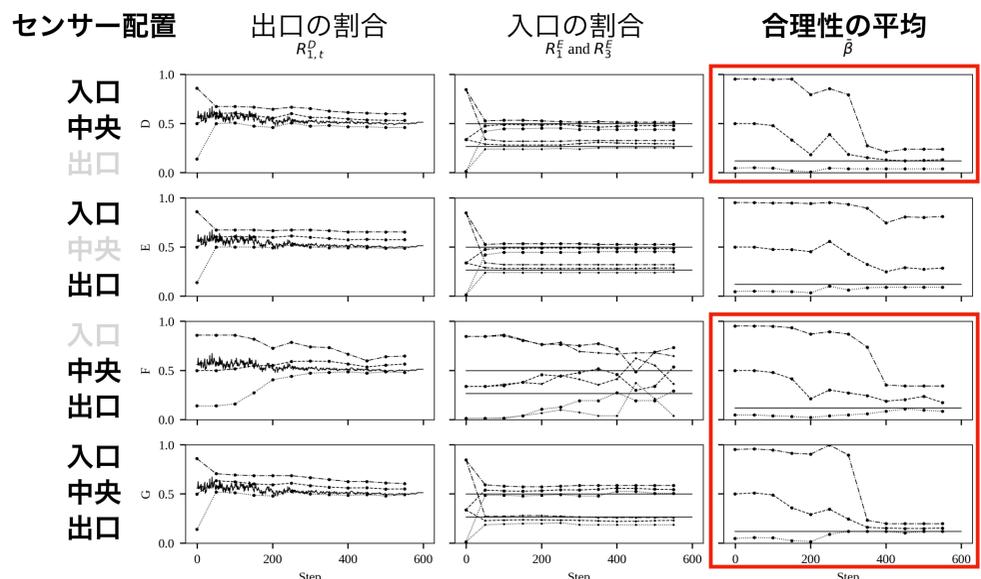
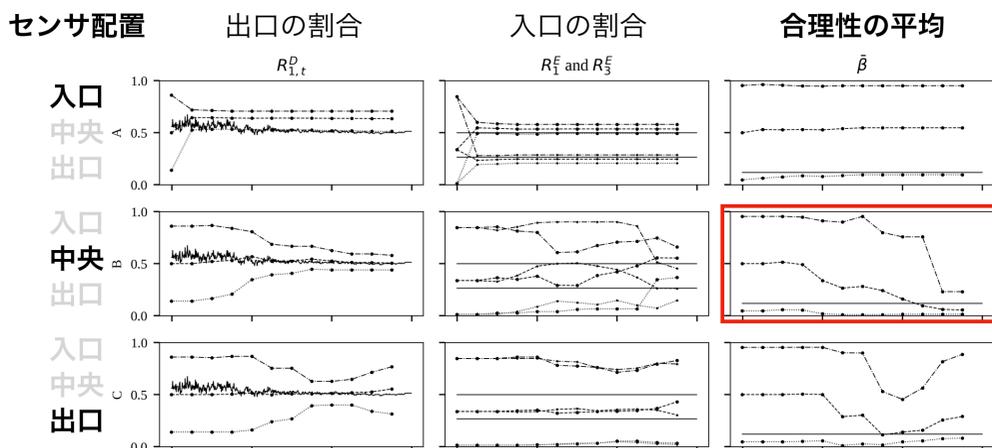
- 推定するエージェントの統計量

K 体のエージェントの状態を並べた状態ベクトル

$$\begin{matrix} s_{1,t} & \dots & s_{K,t} \\ x_{1,t} & \dots & x_{K,t} \\ y_{1,t} & \dots & y_{K,t} \\ d_{1,t} & \dots & d_{K,t} \\ e_1 & \dots & e_K \\ \beta_1 & \dots & \beta_K \end{matrix} \begin{matrix} \rightarrow R_{i,t}^D = \frac{|\{j \in \{1, \dots, K\} | d_{j,t} = i\}|}{K} & \text{目標出口が } i \text{ のエージェントの割合} \\ \rightarrow R_{i,t}^E = \frac{|\{j \in \{1, \dots, K\} | e_j = i\}|}{K} & \text{入場入口が } i \text{ のエージェントの割合} \\ \rightarrow \bar{\beta} = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \beta_i & \text{エージェントの合理性の平均} \end{matrix}$$

4. 双子実験

- エージェントの合理性の推定には中央付近へのセンサ配置が必要



参考文献

[1] Malleson, N., Minors, K., Kieu, L. M., Ward, J. A., West, A., and Heppenstall, A. (2020). Simulating Crowds in Real Time with Agent-Based Modelling and a Particle Filter, Journal of Artificial Societies and Social Simulation, 23(3)3.