

災害時にリアルタイムで高精度な人流推定を行えるパーティクルフィルタの提案

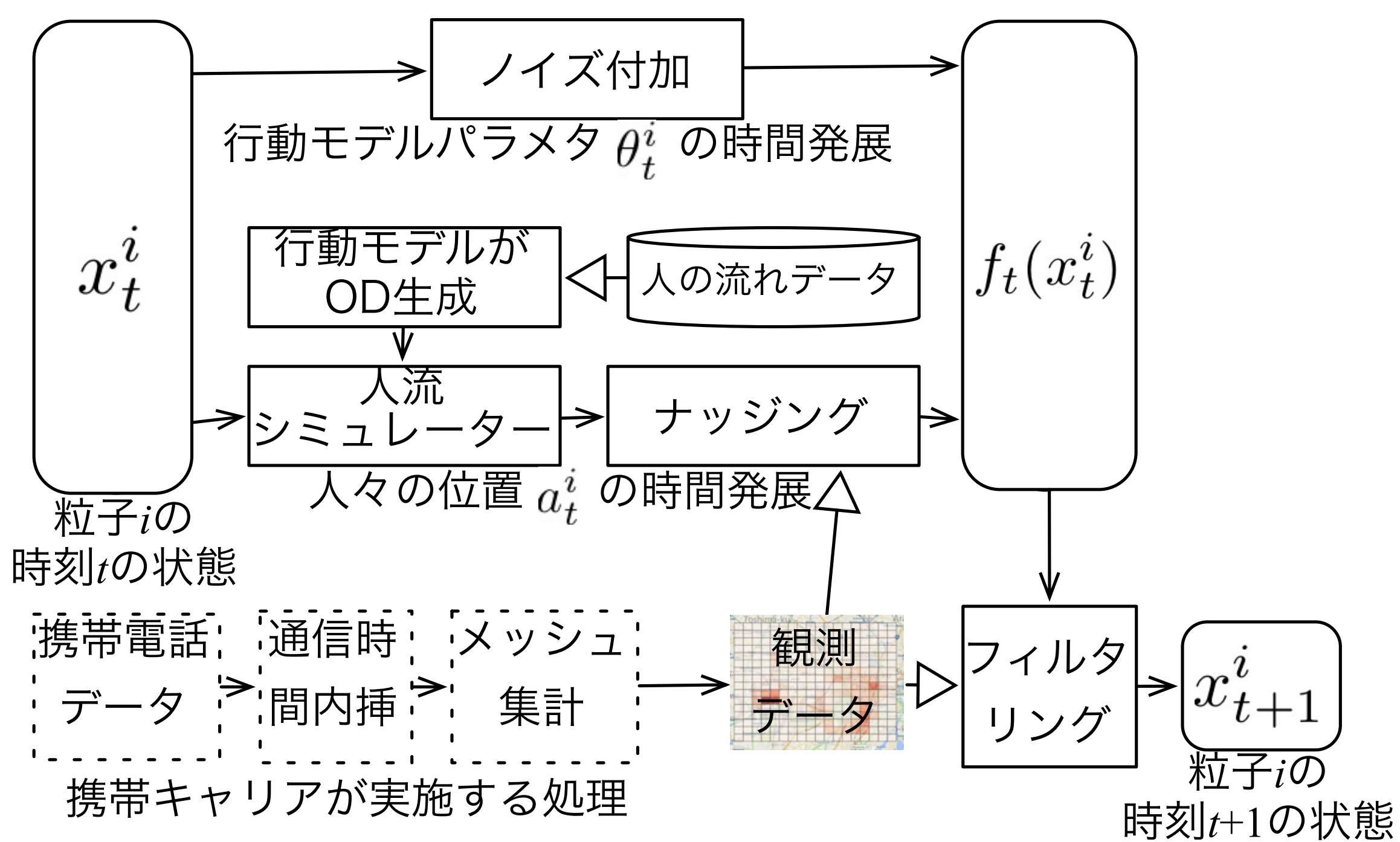
須藤 明人(特任研究員), 檜山 武浩, 矢部 貴大, 関本 義秀

研究の背景

災害が発生した直後から人の分布をリアルタイムに時々刻々推定することは公益性の高い問題である。推定手法としてデータ主導とシミュレーションの2つが考えられるが、いずれも精度等に問題があるため、これらを組み合わせて推定を行うパーティクルフィルタ(PF)を用いた研究が交通工学分野で注目されている。

しかし、大規模災害時の都市圏全体の人々の流動や分布を推定対象とし、かつ、現実的に入手可能な携帯電話のメッシュ集計データを観測データとして、リアルタイムなデータ同化を試みた研究はこれまでなかった。そこで本研究では、災害時のリアルタイム人流推定を高精度に行えるPFを提案し、実際の携帯電話データを観測値に用いて人流推定を行った。

アプローチ



PFで人の分布を推定するにあたり、人の位置の時間発展をマルチエージェントシミュレーションで粒子の時間発展を与えるという素朴な方法は変数が高次元で人の行動は不確実性が高いため高精度な推定は難しい。

そこで、本研究では時間発展にナッジングという処理を加える提案分布を持つPFを考案した。ナッジングは状態変数を観測値に近づける処理であり、[1]でその有効性が指摘されている。ナッジングの量を計算するための最適化問題を定式化し、これが画像処理分野で知られるEMDの求値問題と等価であることを示した。

手法の詳細

1. シミュレーターと行動モデル

シミュレーションには[2]の手法にルート探索機能を付加したシミュレーターを用いた。エージェントごとのODはあらかじめ定めた行動モデルで生成する。行動モデルのパラメータはPFの推定対象なので、観測値に適応したODが得られる。

2. 状態空間モデル

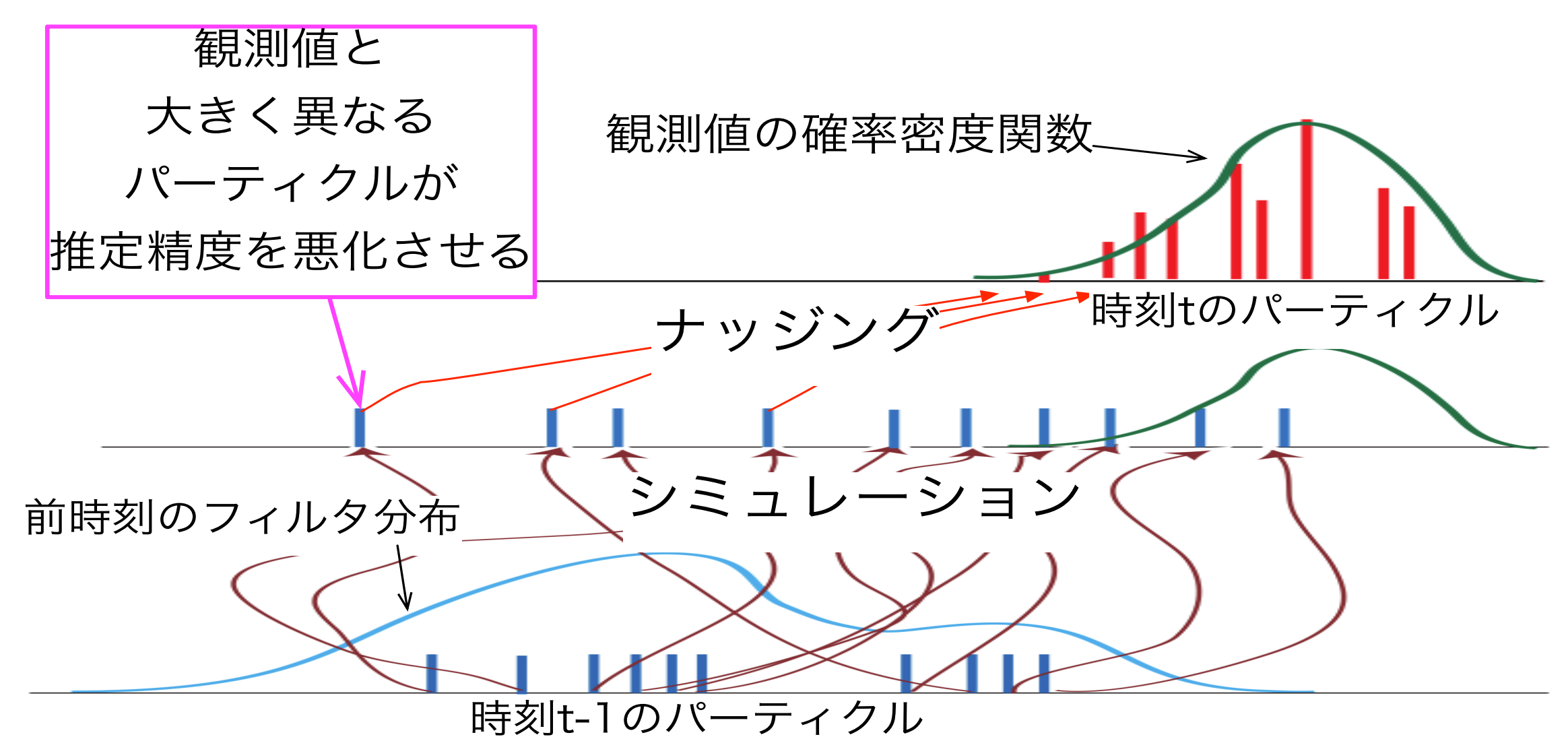
エージェントの位置 a_t と行動モデルのパラメータ θ_t が状態変数であり、その時間発展を行動モデルに従うシミュレーターとノイズの付加で与える状態空間モデルを用いる。すなわち v をガウスノイズとして

$$x_t = f_t(x_{t-1}, v_t) = (a_t^1, a_t^2, \dots, a_t^n, \theta_t^1, \theta_t^2, \dots, \theta_t^m)$$

$$a_t = s_t(a_{t-1}) + v_t^a \quad \theta_t = \theta_{t-1} + v_t^\theta$$

とする。ただし s はシミュレーション結果である。

3. ナッジング項を持つパーティクルフィルタ



人流推定問題の特性をふまえ、本研究では a の時間発展をシミュレーションとナッジングを用いて

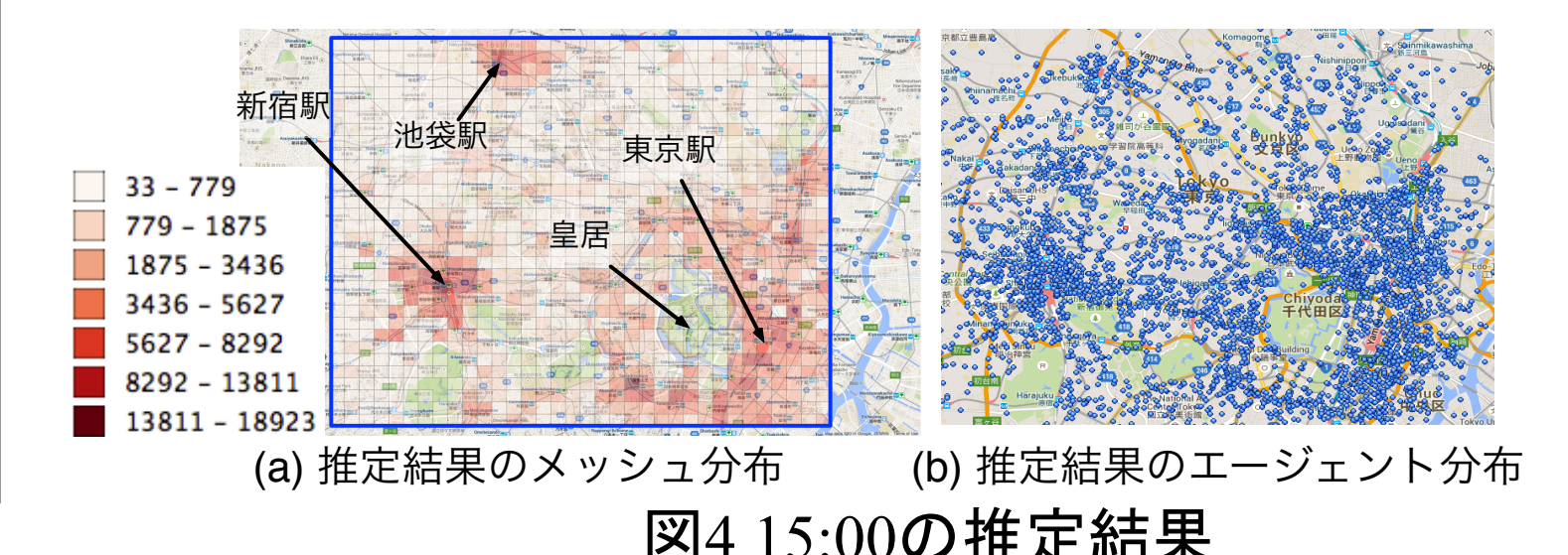
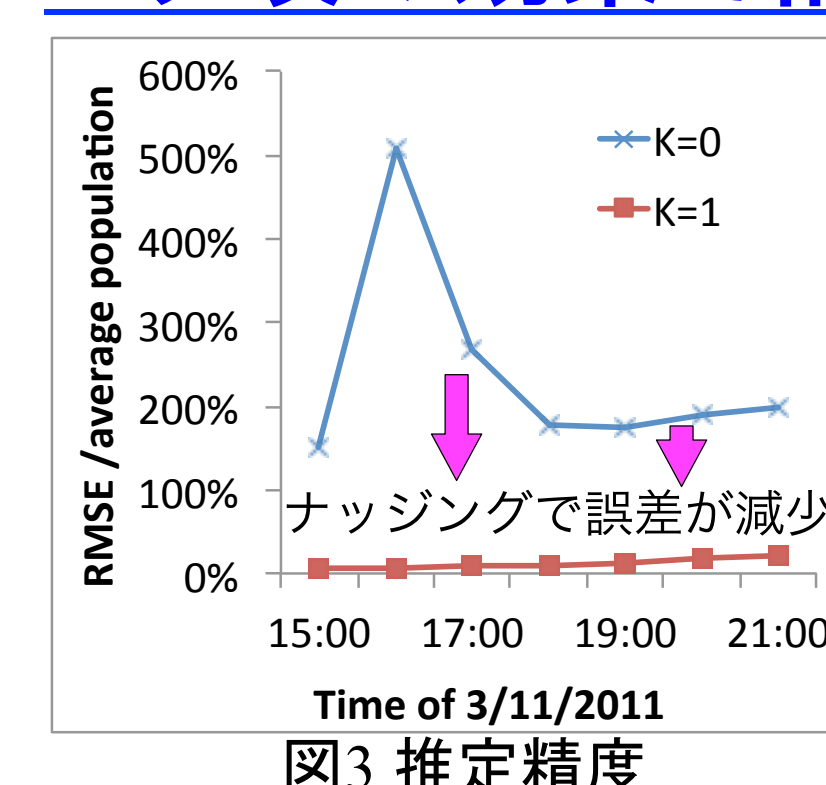
$$a_t^i = s_t(a_{t-1}^i) + \chi(a_{t-1}^i, \Delta) + v_t^a$$

で与える。 χ がナッジング項であり、シミュレーション結果 s を観測値に近づける効果がある。 χ の算出問題は輸送問題の一種であるEMDを算出する最適化問題と等価であることを本研究で証明したので、 χ はEMDの算出法[3]の方法で求められる。

実験結果

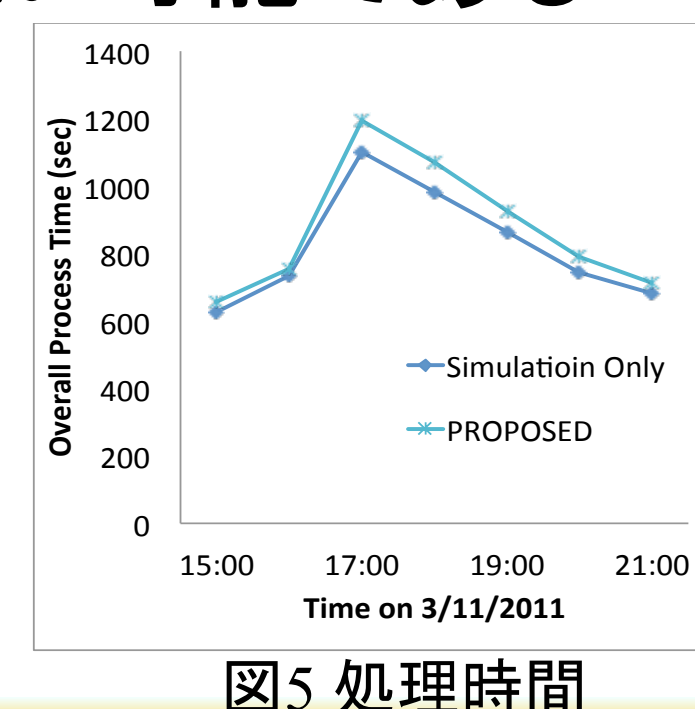
1. 推定精度

新宿千代田中央の三区で東日本大震災当日を想定した推定を行った結果が図3、図4である。図3よりナッジング項の効果で精度が向上していることがわかる。



2. リアルタイム性

実験1の処理時間を図5に示す。リアルタイムな推定が可能であることがわかる。



参考文献

- [1] van Leeuwen, Peter Jan. "Nonlinear data assimilation in geosciences: an extremely efficient particle filter." *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 136.653, 2010.
- [2] 岡村ら. "一般街路網シミュレーションモデルの開発と検証." 交通工学研究発表会論文報告集 (1996): 93-96
- [3] Rubner, Yossi, Carlo Tomasi, and Leonidas J. Guibas. "The earth mover's distance as a metric for image retrieval." *International journal of computer vision* 40.2 (2000): 99-121.