

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23650143

研究課題名(和文) 統計数理モデリングに基づく感染症拡大予測と科学的政策決定

研究課題名(英文) Prediction of Epidemic of Infectious Disease by Statistical Modeling, and Scientific Policy Making

研究代表者

井元 清哉 (Imoto, Seiya)

東京大学・医科学研究所・准教授

研究者番号：10345027

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円、(間接経費) 810,000円

研究成果の概要(和文)：東京近郊を模倣した5地区からなる仮想都市を計算機上に構成し、会社員・学生・在宅者の3カテゴリーの行動パターンに従う120万人の住民を配置し、学校・会社・商店などでの感染伝達をシミュレーションするためのエージェントベースシミュレーションモデルを構築した。ワクチン接種を実施しない場合の感染割合が30%となるように感染力を設定し、優先接種グループとして会社員、在宅者、ランダムを3通りをシミュレーションした。その結果、会社員に優先接種した場合には、大きな効果が見られた。

研究成果の概要(英文)：Like Tokyo, we constructed virtual city including five areas on computer and 1.2 million residents, which are categorized into three attributes, company employees, students and non-workers, lives there. An agent-based simulation model was established to simulate epidemic at schools, companies or stores. We tuned the parameters in the simulation model so that the infectious rate becomes 30% and performed three types of vaccine deriver strategies; priority to company workers, people in house or random deriver. As the result, priority to company workers is the most effective.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・統計科学

キーワード：感染症シミュレーション 予測モデル エージェントベースシミュレーション 予防

## 1. 研究開始当初の背景

新型インフルエンザなどの感染症拡大を抑制するための政策は、科学的エビデンスをもって立案されなければならない。しかしながら、2009年新型インフルエンザへの対応は、十分な科学的エビデンスに裏打ちされていとは言えない。申請者は、空港検疫の非有効性を統計学的に証明し(2010年1月7日読売新聞夕刊一面トップ記事として紹介された)、海外から感染者が流入する状況の下で学校閉鎖などの社会介入の最適実施を研究し原著論文として欧州の感染症対策専門誌に発表した(Sato et al. (2010) Euro Surveillance)。しかしながら、感染拡大を予測するための数理モデルは、感染していない人々、潜伏期間にある人々などそれぞれの属性にある人々をまとめた変数を用い、その時間発展を微分方程式により表したものであったため、実際の各都道府県の新規インフルエンザ確定者数を予測するにはモデルの表現力が圧倒的に足りないことが分かった。そこで、これまでの感染症拡大シミュレーションモデルを確率モデルとして定式化し、より高い表現力を有するエージェントベースのシミュレーションモデル(Ferguson et al. (2005) Nature)と融合させることで、地域毎の感染拡大を予測し、地域毎の対策の連携を構築できると考え本研究課題着想に至った。

## 2. 研究の目的

微分方程式により表現されたマクロレベルのシミュレーションモデルを確率モデルとして定式化し、そのパラメータ推定をData Assimilationの技術を用い自動化する。また、各都市の特徴をエージェントベースで表現し、前述のマクロレベルシミュレーションとエージェントの仮想社会におけるミクロレベルのシミュレーションを有機的に繋ぐ統計的モデリングの枠組みを確立する。次に、構築されたエージェントベースの感染拡大予測シミュレーションモデルを用いて、どのような集団にワクチン接種のプライオリティをおけばより有効に感染拡大を抑制できるかを解析する。また、想定される政策の感染拡大のコントロールにおける有効性について網羅的に検証を行う。

## 3. 研究の方法

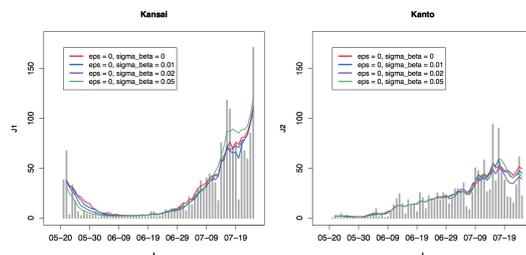
SEIRモデルに基づくマクロシミュレーションモデルにより表現された大阪、東京の2つのモデルを繋いだ連結マクロシミュレーションモデルを構築し、一つのマクロシミュレーションモデルでは表現できない実際の感染者数を表現するモデルを構築し、その限界を探る。このモデルに基づき、自動的にデ

ータからモデルのパラメータ推定を行うデータ同化の技術を開発する。

次に、100万人を超える住人の住む仮想社会を構築し、その上で、具体的な政策、特にワクチンの優先接種について、ワクチン配布のタイムラグなど現実的な状況の下で最も効果的な方策を探索する。また、集団免疫の考え方に従い、最も集団免疫力の高くなる優先接種の方法についても検討を行う。

## 4. 研究成果

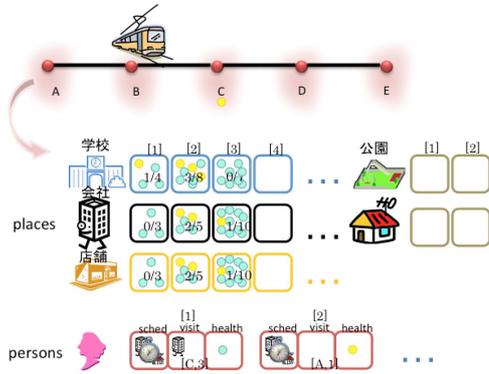
M.M. Saito, S. Imoto, R. Yamaguchi, H. Sato, H. Nakada, M. Kami, S. Miyano, T. Higuchi (2013) Extension and verification of the SEIR model on the 2009 influenza A (H1N1) pandemic in Japan, Mathematical Biosciences, 246(1):47-54, 2013.



図：大阪と東京の感染者数のデータと構築したシミュレーションモデルによる予測結果

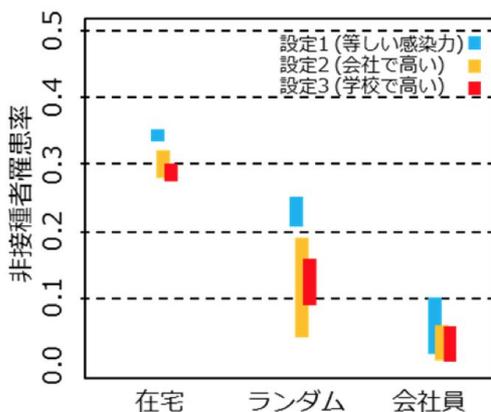
大阪と東京を結ぶ連結マクロシミュレーションモデルを構築し、パラメータ推定のためのデータ同化手法を開発した。その結果、単独では大阪、東京それぞれの感染者数を精度高くシミュレーションすることが困難であったが、連結モデルにより高い精度でシミュレーションできることを示した。このことは、小さい集団におけるマクロシミュレーションモデルの表現力の限界を示しており、より複雑なエージェントベースのシミュレーションモデルの必要性を示している。

次に、エージェントベースシミュレーションモデルとして、東京近郊を模した120万人が住む5地域からなる仮想社会を計算機上に構築した。そこには、会社員、学生、在宅者の3種類の属性のいずれかに属するエージェントが実際の行動様式を模したスケジュールに従い生活している。この中に、数人の感染者を配置し、どのように感染拡大が起きるかをシミュレーションできるモデルを構築した。生活の場として、会社、学校、スーパー、公園、家庭、電車があり、各場所において感染者と非感染者が同一のスペースにいた場合のみ、そのスペースの密度に応じて感染確率が割り当てられ、確率的に感染のイベントが起きる。



図：エージェントシミュレーション設定

このシミュレーションモデルを用いて、感染拡大抑制のための介入策のシミュレーションを行った。具体的には、会社員、学生、在宅者のいずれに優先してワクチンを接種すべきかを検討した。その結果、アクティブに動き回る会社員に優先接種した場合が最も効果的に感染拡大を抑制できた。特に、電車内における感染拡大が多く見られたことから、電車を頻繁に利用する会社員に選択的にワクチンを打つことが最も効果が高く、かつ、集団免疫を最も高める可能性があることが示唆された。



図：ワクチン接種の効果

この研究成果は、

M.M. Saito, S. Imoto, R. Yamaguchi, M. Tsubokura, M. Kami, H. Nakada, H. Sato, S. Miyano, T. Higuchi (2013) Enhancement of collective immunity by selective vaccination against emerging influenza pandemic, PLoS ONE, 8(9), e72866.

において発表した。

また、感染拡大のシミュレーションモデルにおけるデータ同化に基づくパラメータ推

定法は、

M.M. Saito, S. Imoto, R. Yamaguchi, S. Miyano, T. Higuchi (2012) Parallel agent-based simulator for influenza pandemic, Proc. DOCMAS, Lecture Note in Computer Science, Springer-Verlag, 7068, 361-370

M. Saito, S. Imoto, R. Yamaguchi, S. Miyano, T. Higuchi (2012) Identifiability of local transmissibility parameters in agent-based pandemic simulation, Proc. 14th International Conference on Information FUSION, 2466-2471.

の2本の論文において発表した。

学校閉鎖のシミュレーションについて、その効果の推定を研究し

H. Nishiura, K. Ejima, K. Mizumoto, S. Nakaoka, H. Inaba, S. Imoto, R. Yamaguchi, M.M. Saito (2014) Cost-effective length and timing of school closure during an influenza pandemic depend on the severity, Theoretical Biology and Medical Modelling, 11:5.

において発表した。その中では、最もコスト的に効果的な閉鎖期間、およびタイミングについて議論を行った。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 5件)

M.M. Saito, S. Imoto, R. Yamaguchi, S. Miyano, T. Higuchi (2012) Parallel agent-based simulator for influenza pandemic, Proc. DOCMAS, Lecture Note in Computer Science, Springer-Verlag, 7068, 361-370

M. Saito, S. Imoto, R. Yamaguchi, S. Miyano, T. Higuchi (2012) Identifiability of local transmissibility parameters in agent-based pandemic simulation, Proc. 14th International Conference on Information FUSION, 2466-2471.

M.M. Saito, S. Imoto, R. Yamaguchi, H. Sato, H. Nakada, M. Kami, S. Miyano, T. Higuchi (2013) Extension and verification of the SEIR model on the 2009 influenza A (H1N1) pandemic in Japan, Mathematical Biosciences, 246(1):47-54, 2013.

M.M. Saito, S. Imoto, R. Yamaguchi, M. Tsubokura, M. Kami, H. Nakada, H. Sato, S. Miyano, T. Higuchi (2013) Enhancement of collective immunity by selective vaccination against emerging influenza pandemic, PLoS ONE, 8(9), e72866.

H. Nishiura, K. Ejima, K. Mizumoto, S. Nakaoka, H. Inaba, S. Imoto, R. Yamaguchi, M.M. Saito (2014) Cost-effective length and timing of school closure during an influenza pandemic depend on the severity, Theoretical Biology and Medical Modelling, 11:5.

〔学会発表〕(計 1件)

斎藤正也、井元清哉、山口類、坪倉正治、上昌広、中田はる佳、佐藤弘樹、宮野悟、樋口知之 (2012) インフルエンザ介入政策における集団免疫を高めるワクチン接種対象群の選択. 2012 統計関連学会連合大会、北海道大学

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0件)

取得状況 (計 0件)

〔その他〕

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

井元 清哉 (IMOTO, Seiya)

東京大学・医科学研究所・准教授

研究者番号：10345027

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：