

平成 25 年 9 月 19 日

## パンデミックなどの際にワクチンの配布戦略を評価する感染症シミュレーターを開発

- 都市における個人の行動を考慮に入れた大規模感染症シミュレーションを多数の計算機を接続して実行する、並列計算によって実現した。
- ワクチンを会社員などの活動的な集団に優先的に接種することで集団免疫を高め、高リスク者を含む住人全体の感染割合を低下させ得ることを示唆する結果を得た。

統計数理研究所の斎藤・樋口、東京大学医科学研究所の井元・山口らの研究グループは、かつてない規模の個人ベース・シミュレーションにより、東京近郊を模倣した人口 122 万人の仮想都市でのインフルエンザの流行とワクチン接種の効果を試算しました。今回の計算では、ワクチン接種の優先付けを変えることで、どこまで集団免疫を強化、すなわちワクチンを接種していない集団の感染割合をどこまで低減することができるかを焦点としました。

その結果、これまでの政府のワクチン接種計画では優先度が低かった活動的な集団(会社員・学生)を最優先して接種した場合、非接種者内の感染割合をランダムに接種した場合に比べて大幅に低減させ得るという結果が得られました。

### 研究の背景

とりわけ新型インフルエンザにおいては、ワクチンの設計から生産までの時間的猶予はそれほど大きくなく、事前に全国民にワクチンを配布して十分に防衛力を高めるという対策は、多くの場合現実的ではありません。そのため、初期生産分を配布する集団を選定することが必要になってきます。これまでの政府のワクチン接種計画では、医療関係者のほか、高齢者や特定疾患保持者などリスクの高い集団を最優先する方針が取られてきました。

他方、会社員や学生などの活動的な集団に積極的に接種することで集団免疫を強化しようという考え方もあります。これらの集団は、重篤化や死亡のリスクは低いものの、他者との接触機会が多く、感染した場合により多くの二次感染を引き起こす可能性があります。ワクチンの接種によってこれらの活動的な集団の感染を防ぐことで、地域全体の感染割合を下げることができ、結果として高リスク者が重篤化や死亡に至る確率を下げようというのです。

こういった介入政策の候補をシミュレーションによって評価するには、個人の行動を取り入れる必要があります。介入政策が選択的であるのに加え、感染伝播そのものが個人の行動を反映した比較的少数の他者との接触によってなされるからです。個人の行動の取り込みは膨大な計算量を必要とするのですが、近年の並列計算機の普及により、十分可能になってきています。

## 研究の内容

本研究では、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カテゴリの行動パターンに従う住民を配置し、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計算を行いました。5地区は人口の多い郊外と会社が集中している都心とからなり、地区間の移動には鉄道を用いるとしています。ワクチン接種を実施しない場合の感染割合が30%に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、ランダムな3通りを考えました(原論文では、活動的集団として、学生のみ、学生・会社員の混合の場合もそれぞれ扱っていますが、ここでは最も効果が高い会社員のみの場合を紹介します)。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ました。例えば流行開始から1ヶ月の間にすべての会社員に配布する場合、非感染者内の感染割合を7%程度に低下させることが示されました(図2)。一方、ランダム選択や在宅者を対象とした場合には、それぞれ約20%、約30%となり、非接種者への波及効果が小さいことがわかります。

なお、それぞれの場所での感染力の強さは、感染動向を決定する重要な要素ですが、それをデータに基づいて決めるには、現在利用可能な感染動向調査のデータは十分な精度を持ちません。そこで、結果としての感染割合が30%となる条件のもとで、①会社と学校が家庭より高い感染力を持つ、②家庭の方が会社と学校より高い感染力を持つ、③いずれも等しい感染力を持つ、という3つの設定のもとで、それぞれ感染割合を評価しました。そして、設定による変動はあるものの、いずれの設定でも会社員を優先するのが最も有利であるという結果となりました。

## 今後の展望

今回の研究では、ワクチンによる集団免疫強化を調べてシミュレーションを行いました。これはウィルスの毒性が弱く、社会活動の維持と感染流行の抑制との間でうまくバランスを取るのが課題である場合を想定しています。強毒性の場合は、選択的自宅待機や鉄道の運行停止などの緊急避難的な対策と組み合わせたときに、ウィルスの早期絶滅をいかに実現するかが課題になると考えられます。実際、感染者数の推移を見ると、ワクチンだけではウィルスの伝播経路を早い時期に死滅させることはできません(図3)。

また、実際の感染流行の予測に使うには、データに基づく改良が必要な部分が残されています。感染症動向調査による過去の流行パターン、流行したウィルス種の数などは参照すべきデータの第一候補といえます。しかし、このような系統的に採取されたデータに加え、薬剤販売量やTwitterにおける「インフルエンザ」を含むつぶやき数などの、代替指標を使った感染動向の分析も始まっています。さまざま目的で採取された大量のデータをモデルの信頼性向上に役立てる研究は、これからのビッグデータ時代には必須になってくるでしょう。

## 発表論文

### 論文タイトル

Enhancement of collective immunity in Tokyo metropolitan area by selective vaccination against an emerging influenza pandemic

(新型インフルエンザに対するワクチンの選択的投与による東京都市圏での集団免疫の強化)

### 著者

<sup>1</sup>斎藤 正也、<sup>2</sup>井元 清哉、<sup>2</sup>山口 類、<sup>3</sup>坪倉 正治、<sup>3</sup>上 昌広、<sup>3</sup>中田 はる佳、  
<sup>4</sup>佐藤 弘樹、<sup>2</sup>宮野 悟、<sup>1</sup>樋口 知之

<sup>1</sup>統計数理研究所、<sup>2</sup>東京大学医科学研究所ヒトゲノム解析センター、<sup>3</sup>東京大学医科学研究所先端医療社会コミュニケーションシステム社会連携研究部門、<sup>4</sup>防衛医科大学校衛生学公衆衛生学講座

### 論文出版情報

掲載誌: PLOS ONE

公開日(解禁日): 2013年9月18日アメリカ東部夏時間 17時(日本時間9月19日6時)

### 本件問合せ先

(研究成果について) 統計数理研究所 特任助教 斎藤 正也 (さいとう まさや)

電話 : 050-5533-8582 (呼出) E-mail : [saitohm@ism.ac.jp](mailto:saitohm@ism.ac.jp)

(報道について) 統計数理研究所 広報室 担当者 須藤 文雄 (すとう ふみお)

電話 : 050-5533-8511 FAX : 042-527-9302 E-mail : [kouhou@ism.ac.jp](mailto:kouhou@ism.ac.jp)

統計数理研究所ホームページ <http://www.ism.ac.jp/>

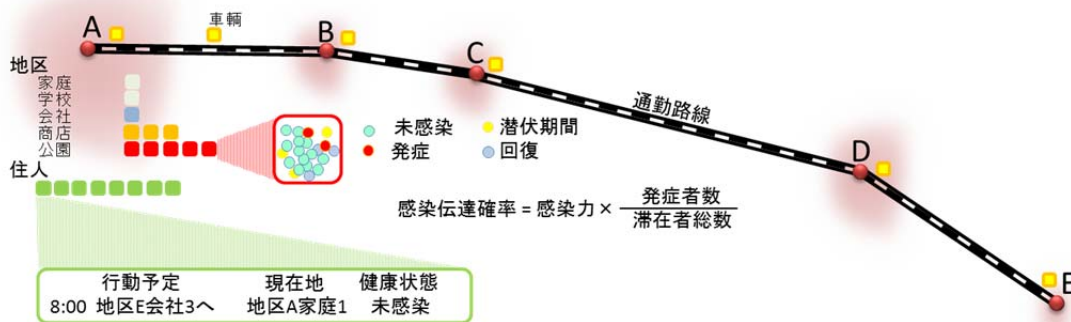


図 1 シミュレーション対象の仮想都市の模式図。鉄道で結ばれた5地区から構成され、それぞれの地区には会社や家庭などの場所と住民がある。それぞれの住民は各自のスケジュールによって行動し、その結果として形成される集団内でウィルスが確率的に伝達される。

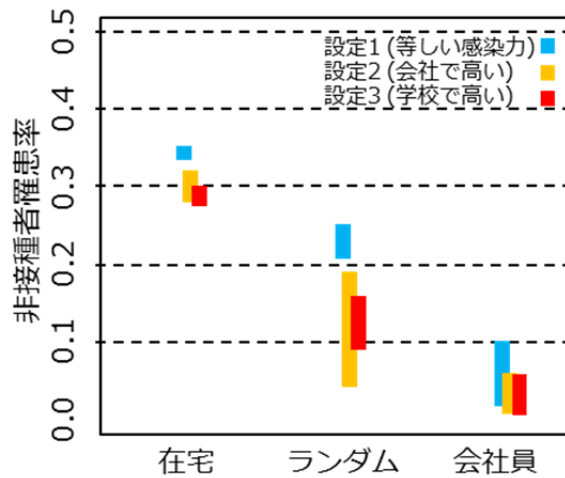


図 2 シミュレーション開始から1ヶ月間に人口の16%にワクチンを接種した場合での、シミュレーション終了時(経過日数180日目)における非接種者にしめる感染者の割合。選択的投与の効果を見るために、接種者を在宅者から、全住民からランダムに、会社員から、それぞれ選択した場合の結果を示している。また、会社や学校および家庭の間での感染力の重み付けを変えたシミュレーションの結果も、色を変えて表示している。

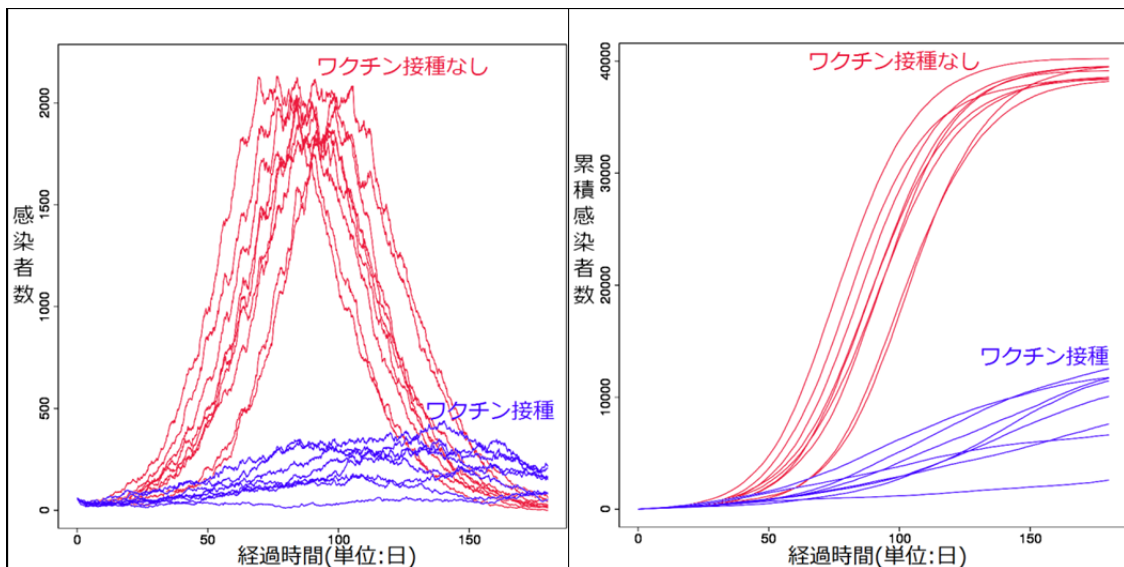


図 3 会社員にワクチンを接種した場合(青)とワクチン接種を実施しない場合(赤)との間の感染者数の比較。左の図は、各時刻における感染者数(瞬時値)、右の図は累積感染者数を示している。[左の図で感染者数がピークを持つことについて: 感染経験者、すなわち当該ウィルスへの免疫を持つ者の数が増加していくことで感染力は時間とともに弱まっていく。したがって、ある時点(1日当たりの新規感染者数と回復者数とが一致する時点)で、感染者数は増加から減少に転ずる] 感染伝達の偶発性による推移の違いを見るために、8つの異なる乱数列でのシミュレーション結果を、それぞれの場合で示している。