

予防接種シミュレーションを用いた保健医療政策的意決定支援

薛キョウ 出口弘 (東京工業大学) 市川学 (国立保健医療科学院)

A Decision Support System for Prophylaxis Policy Using a Pandemic Immunization Simulation

*Jiao Xue and Hiroshi Deguchi (Tokyo Institute of Technology)
Manabu Ichikawa (National Institute of Public Health)

概要— 本研究では、都市内の人々の健康意識、対人関係、他人との接触、感染・接種行動など、様々の現象をモデル化のための都市の予防接種システムシミュレーションを行った。シミュレーションはワクチン需要を把握するだけでなく、集団接種の義務付け、ワクチン補助金付与など、保健医療政策の効果試算と評価を行う際の重要な分析ツールである。保健医療政策の意決定者はシミュレーション結果を通じて、より効果的な戦略立案と、感染症対策を講じることが可能になると考えられる。得られたシミュレーション結果に基づいた考察から、特定な人やグループにワクチン支援制度を導入することで任意接種ワクチンの接種率向上の一助となることが示唆された。

キーワード: 保健医療政策的意決定, エージェントベースシミュレーション, 接種行動変容

1 はじめに

シミュレーションは、現実世界の問題をコンピュータ上に再現することにより、実験結果をもとに将来起こりうる可能性を予測するという利点があり、政策試算・評価を行う際の重要なツールとして活用されている。本論文では、予防接種を含む保健医療問題に注目し、医療政策分析ツールとしてのシミュレーション手法を用いた政策立案の意決定支援システムについて説明する。

シミュレーションによる医療政策分析の先行研究は数少なく、近年ではシミュレーション分析を通じて、医療保険政策¹⁾、医療・社会保障費抑制政策²⁾、薬価低下政策³⁾など多様な医療政策の効果を定量的に予測できている。しかし従来の研究の多くは、医療費適正化を図るため、経済的な視点から医療政策のあり方をシナリオとして展望しつつ、それぞれのシナリオについての費用を推計している。その際、制度を受ける側を社会心理的な側面から定性的に検討はされておらず、個人の意決定や行動選択は制度の実施にどのくらいの影響を及ぼすかについて評価できていない。

この問題を克服するためにエージェントベースシミュレーション手法を活用する。医療制度分析のためのエージェントベースシミュレーションにおいては、制度を受ける個人は自律的意決定主体であり、一人ひとりの行動をコンピュータ上で表現することで、様々な医療政策における個人の挙動を調べることができ、さらに、政策効果がどのように変わってくるのかを考察することができる。

エージェントベース手法を用いた医療政策シミュレーションの先行研究として、倉橋⁴⁾は天然痘とエボラ出血熱を対象としたシミュレーションモデルを構築した上で、住民の接種率、ワクチン備蓄量などを含む医療政策の有効性について検証した、しかし、モデルには個人レベルのワクチン接種行動、及び個人が形成する社会的な人間関係、いわゆるソーシャルネットワークは接種モチベーションに与える影響を考えず、人と人、または社会との相互作用による政策実行・普及は考慮されていなかった。

これらを踏まえ本研究では、エージェントベースア

プローチを用い、都市内の人々の健康意識、対人関係、他人との接触、感染・接種行動など様々な現象をモデルで表現し、ワクチンニーズ把握、及び保健医療政策を議論するための基礎的な知見を得ることを目的とした予防接種システムシミュレーションを行う。分析に用いたシミュレーションは、システム上の人々の接種行動変容を表現するだけでなく、集団接種の義務付け、ワクチン補助金付与など、政策の効果試算と評価を行う際の重要な分析ツールであり、保健医療政策の意決定者はシミュレーション結果を通じて、より効果的な戦略立案と、感染症対策を講じることが可能になる。

2 予防接種シミュレーション

本研究では、これまでわれわれが構築してきた仮想都市におけるソーシャルネットワークモデル⁵⁾⁶⁾を利用し都市内の社会的相互作用を表現可能なエージェントベースのアプローチを用い、都市のソーシャルネットワーク上に人間の接種意思を表現できる都市内の接種シミュレーションを行う。シミュレーションにおいては、人間を表現した個々のエージェントがワクチン接種を行うか否かの意決定を行う主体として存在し、予防接種における保健行動変容メカニズムに基づき、自分の考えや行動を決定する。この意決定には、同じネットワークにいる家族や友人など身近な人の取る接種行動パターン自体からの影響を受ける。モデルの全体は、多数の人間エージェントのミクロ的な相互作用からなるシステムとして捉えてモデル化するものであり、接種モジュール、感染症の伝播モジュール、仮想都市上の人間行動モジュール、それぞれの部分モデルから構成される。本章では構築するモデルについて説明する。

感染症により、感染リスク、接種可能なワクチン、及び接種行動パターンが異なるため、本研究では季節性インフルエンザを想定し、東京都大島町の仮想都市空間における季節性インフルエンザ流行シミュレーション⁷⁾⁸⁾に基づき、インフルエンザワクチンの接種シミュレーションを行う。対象とする都市ネットワークの入れ替え、または対象となる感染症やワクチンを変化させることが可能になる。なお、本稿のモデルを構築するにあたり、東京工業大学の出口研究室で開発された社

会シミュレーション用言語 SOARS⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾ を利用した。

2.1 仮想都市におけるソーシャルネットワーク

ABM を用いた仮想都市環境構築の研究として、市川らは地理情報及び政府統計の総合窓口 (E-STAT) が公開した統計データをもとに、世帯類型、または家族構成を考慮した仮想都市環境構築システムを提案した¹²⁾。さらに、われわれは、「日本版 General Social Survey」に基づく対人関係ネットワーク構成の分析結果を用い、都市で起こりうる社会現象を再現するために開発された仮想都市環境構築システムをもとに仮想都市におけるソーシャルネットワークを構築し、仮想都市空間上にソーシャルネットワークを可視化した⁵⁾。

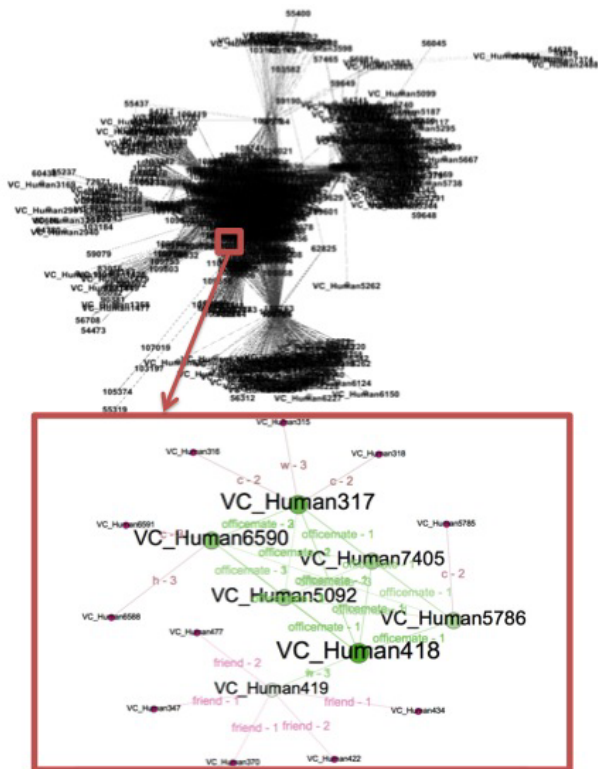


Fig. 1: 生成された都市におけるソーシャルネットワーク

Fig. 1 は、ある 8000 人の都市をベースとして生成されたソーシャルネットワークである (Gephi¹³⁾¹⁴⁾ を用いて生成した。ノードは都市内の人間エージェント、エッジは 2 人の人間関係、エッジの重みは 2 人の親密程度と関係類別を表すことになる。例えば、Fig. 1 により、VC_Human419 は VC_Human418 の妻 (w) であり、2 人の親密程度は '3' である。

本研究において、提案した仮想都市のネットワークは基盤となり、都市における感染症の蔓延、人間エージェントの接種行動モジュールと独立であるため、対象とする都市ネットワークの入れ替え、または対象となる感染症やワクチンを変化させることが可能になる。

2.2 予防接種における保健行動メカニズム

保健行動とは、健康の保持・増進を目的とした行動であり、予防接種など予防的防衛的行動は保健行動の一つと考えられる¹⁵⁾。保健医療政策決定者は個人の保健行動メカニズムに着目し、重要な政策変数を操作することは、行動変容を促す保健指導のためには重要である。

本研究では、接種行動に影響を与える要因の評価から人間の接種意識決定プロセスを再現するため、合理的行為モデル (Theory of Reasoned Action Model¹⁶⁾¹⁷⁾ に基づいて予防接種行動メカニズムを提案する。

2.2.1 合理的行為モデルに基づいた接種行動モデル

合理的行為モデルとは、Fishbein & Ajzen¹⁶⁾¹⁷⁾ によって提唱された代表的な行動理論であり、合理的行為モデルにより、保健行動は行動意図から導かれると考えられている。行動意図とは、個人がある行動を起こすことに対する主観的確率であり、「健康行動が自分にもたらす価値への評価」という個人の要因と「周囲の人が考える行動の評価及び他人との調和意図」など社会的影響を反映する要因から構成されている。これまでに合理的行為モデルを用いた研究には、献血行動¹⁸⁾、喫煙行動¹⁹⁾、歯科衛生行動²⁰⁾ など健康に関する行動に適用されてきたが、予防接種行動を説明した研究はなく、本研究を行うことで合意的行為モデルの汎用性を検討する上で重要になると考えられる。

合理的行為モデルのオリジナルの枠組みにより、Fig. 2 のような予防接種行動モデルを描くことができる。本研究において、接種行動は、個人の意図関数であり、その意図は、2 つの基礎的な決定要因の関数である。1 つは個人的要因であり、「予防接種への態度」と呼ばれる。予防接種に対する態度は、個人の感染リスク認知と評価、すなわち、接種する時と接種しない時の感染リスクの変化により、人が認知する接種行動価値の評価から決められる。社会的影響を反映する第 2 の要因は「主観的規範」と呼ばれ、接種行動に関わる社会的規範、及び規範を重視するかどうかの意識が考えられる。

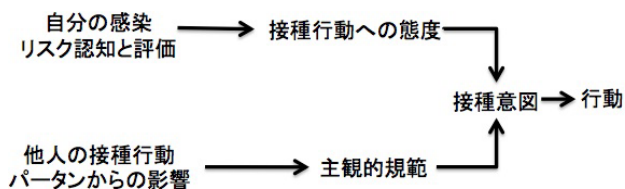


Fig. 2: 予防接種行動モデルの枠組み

2.2.2 接種行動への態度：接種価値の定式化

個人の接種行動への態度は、接種行動が自分にもたらす価値であり、個人の属性、感染症に対する恐怖度、ワクチンに対する主観的な認識によって決定される。接種行動の価値を評価するために本研究では、感染のデシジョンツリーを作成し、個人の主観的要素を考慮した期待効用分析によるオプション評価方法により、予防接種を受けるために必要となる自己負担料の支払い意思額「willing to pay」を定式化する。必要なパラメータを Table 1 に示す。

Table 1: 主要パラメータ

確率パラメータ	
P_1	接種しない場合の感染率
P_2	感染した場合の重症率
P_3	感染した場合の死亡率
損失パラメータ	
C_{sl}	重症の場合、可能な経済損失と生産性損失
C_{se}	軽症の場合、可能な経済損失と生産性損失
C_{die}	死亡の場合、可能な経済損失と生産性損失

$P_i (i = 1, 2, 3)$ は確率パラメータであり、感染確率は個人の健康状態、周囲の感染状況から算出される。個人が確率 P_1 により感染し、日常生活に影響を与えることで、その分の仕事・家事・勉強等が滞り、その埋めあわせを感染者本人が負担することになり、実際のお金の取引が行われていなくとも社会的には負担が発生する。感染に伴う損失は損失パラメータで表す。予防接種の効果は人により無効になる、または副作用が起きる可能性もあるが、本研究ではワクチンの有効性を認め、副作用による損失を考慮せず、接種をしない場合による損失の期待値のみを検討する。

従って、記述した感染リスクに関する確率パラメータは、個人の属性、行動ルール、周りの感染状況など客観的条件から算出できる数値であり、人間の主観認知偏差が回避される。しかし、人間には主観的感覚があり、接種リスクが正しく認識されない場合も存在する。人間の意思決定では、利得より損失が大きく感じられ、人間は効用状態の期待値よりも効用状態の変化に注意を払う傾向があり、主観確率の推定は大きく偏ったものとなっていることが強調されている²¹⁾。また、人間は自分の健康状態への認識程度により、予防接種に対する意識が変わる。例えば、感染症流行期間に感染症と接触する機会が少ない人間は、自分の感染リスクに対して認識不足の傾向がある。すなわち、主観的な感染リスクへの認知度が低い。逆に、周囲の感染率が高くなるほど、人間は主観的に感染リスクへの危機意識を拡大する傾向があり、主観的な感染率の値は客観値より高いと想定される。そこで、Prelec²²⁾の意思決定の記述モデルに基づく、確率加重関数を利用し、確率値の決定に対する重み付けへと変換する確率加重関数を提案する。自分の健康状態の認識に対する主観認識を評価する主観確率関数 $W(P)$ は以下の通りに定義する。

if $r > a\%$, then $W(P) < P$;

$$W(P) = W^- = \exp(-(\ln P)^{1/r})$$

if $r < a\%$, then $W(P) > P$;

$$W(P) = W^+ = \exp(-(\ln P)^r)$$

ここで、

$$r = \frac{\text{個人ネットワークにいる健康人数}}{\text{個人ネットワークにいる総人数}}$$

' a ' は個人が認識した自分の健康状況から決めるパラメータであり、値が小さいほど健康である。本研究では、感染リスクに対する個人の主観認識を考慮し、期待効用分析によるオプション評価方法により、予防接種を受けるために必要となる自己負担料の支払い意思額「willing to pay」 $C(\text{pay})$ を評価するための理論式を以下に導出する。

$$C(\text{pay}) = W(P_1) * P_2 * P_3 * C_{die} + W(P_1) * P_2 * (1 - P_3) * C_{se} + W(P_1) * (1 - P_2) * C_{sl}$$

ワクチンの接種価格は [willing to pay] より大きくなれば、接種すると想定される。

2.2.3 主観的規範

接種態度に基づいて行動をする時の接種行動は、自分にもたらす価値とその行動が自分のネットワークにいる他人（特に家族や友人など身近な人）の取る接種行動、さらには自分は他人を重視するかどうかを勘案する。そして、最終的に行動するかどうかを決めると想定され、他人からの接種行動の影響を定式化する。そこで、人間 i に対し、自分の人間関係ネットワークからの主観的規範を $ISN(i)$ とし、 $ISN(i)$ は個人が家族や友人など、身近な人の取る接種行動を模倣する主観的率値として以下のように定義する。

$$ISN(i) = \frac{\sum_j^i \text{の個人ネットワーク上にいる接種人数 } w_{i,j} * Ld_j}{\sum_j^i \text{の個人ネットワークにいる総人数 } w_{i,j} * Ld_j}$$

$$w_{i,j} = i \text{ と } j \text{ の親密程度;} \\ Ld_j = j \text{ のリーダーシップ度}$$

ここで、人間 j は i の個人ネットワーク上にいる人である。また、 Ld_j は i の個人ネットワーク上に j のリーダーシップ度であり、グラフエントロピー法²³⁾により i の人間関係ネットワーク上に各人のリーダーシップ度が推定できる。

i の人間関係ネットワークが持っているグラフエントロピー E_{all} :

$$E_{all} = \sum_{i,j} p_{i,j} \log\left(\frac{1}{p_{i,j}}\right)$$

ここで、 $p_{i,j}$ は人 i と人 j の親密程度 $w_{i,j}$ が、ネットワーク全体の親密程度の和に占める割合である。

$$p_{i,j} = \frac{w_{i,j}}{\sum_{i,j} w_{i,j}}$$

E_i は i が持っているエントロピーであり、次式で与えられる。

$$E_i = \sum_j p_{i,j} \log\left(\frac{1}{p_{i,j}}\right) + \sum_j p_{j,i} \log\left(\frac{1}{p_{j,i}}\right)$$

\bar{E}_i は、 i 及び i が持っている人間関係をすべて取り除いたネットワークのグラフエントロピーである。最後、次式で定義される i のリーダーシップ度を計算する。

$$i \text{ のリーダーシップ度: } L_i = \frac{\bar{E}_i}{\log\left(\frac{E_{all}}{\bar{E}_i}\right)}$$

2.2.4 接種行動意図の定式化

個人の接種行動意図には、接種行動への態度、ならびに主観的規範の形成が組み込まれている。接種行動意図の定式化 (Fig. 3) により、個人の予防接種行動予測が可能になると期待される。

2.3 モデルの全体図

仮想空間におけるインフルエンザ伝播シミュレーションの研究として、出口らは、現実社会の例に基づき、人間の生活空間を反映できる仮想空間を構築した上で、感染症の蔓延モデルを実装した。仮想空間における各々の人間活動により、感染が発生され、そこで、感染症蔓延のアルゴリズムと感染症の状態遷移をモデル上に実装し、生活空間を介する感染症の流行現象を表現することが可能となった⁷⁾。本研究では、仮想都市モデ

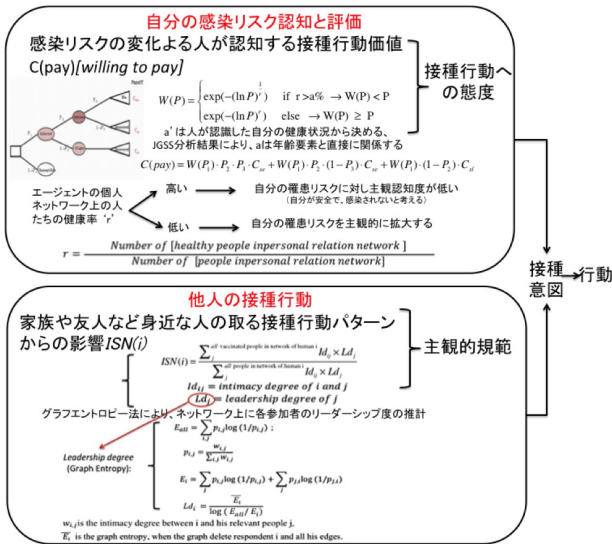


Fig. 3: 接種行動意図計算のまとめ

ル上にインフルエンザの蔓延モデルをベースとし、感染リスクを算出する。さらに、ワクチン接種行動変容メカニズムに加え、仮想都市におけるネットワーク上に人間自発的ワクチン接種モデルを構築する。モデルの全体図を Fig. 4 に示す。

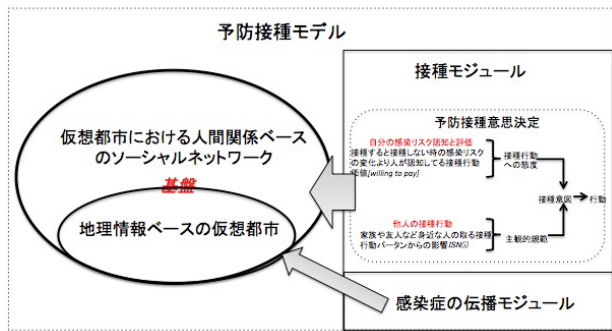


Fig. 4: 予防接種モデル全体図

予防接種シミュレーションでは未接種者を対象とし、本研究で提案した接種行動変容メカニズムを構成する変数を用い、行動の促進要素を従属変数とした合理的行為モデルによるすべての人間エージェントの予防接種の意思決定プロセスのシミュレーションを行う。

3 シミュレーション結果分析

このシミュレーションでは、予防接種モデルを用い、感染症の状態遷移と感染症蔓延アルゴリズムに基づいて仮想空間上で多数回の流行を発生させ、感染症の変化に伴い、接種動向の変化を検討する。なお、初期状態として、初期接種者は都市全人口の 5%、都市内生徒数約 150 名程度のある高校に 5 人の感染者が発生した状況よりシミュレーションを開始している。

3.1 マクロ結果：感染者数及び接種者数の推移

現実の感染プロセスは、自然と社会的対策が織りなす境界条件の中で、実現可能なものの中の一つのプロセスであると考えられる。感染モジュールにおいて、同じ境界条件の中で様々な感染プロセスの可能性をシミュレーションで解析できる⁷⁾。同じ境界条件で生じた起こりうる個々の感染プロセスにより、接種動向も異なる。高校に 5 人初発のシナリオについて、10 回のシミュレーションを行い、各シミュレーション結果から感染症の流行日数をラベルとして付け、総感染者数を横軸に、総接種者数を縦軸として 10 回の結果を示した散布図を Fig. 5 に示す。また、Fig. 6 では、10 回のうち 2 回の感染プロセスに応じる接種動向の変化である。横軸は日数、縦軸をこの日の全感染者数、及び接種者数としている。

レーションを行い、各シミュレーション結果から感染症の流行日数をラベルとして付け、総感染者数を横軸に、総接種者数を縦軸として 10 回の結果を示した散布図を Fig. 5 に示す。また、Fig. 6 では、10 回のうち 2 回の感染プロセスに応じる接種動向の変化である。横軸は日数、縦軸をこの日の全感染者数、及び接種者数としている。

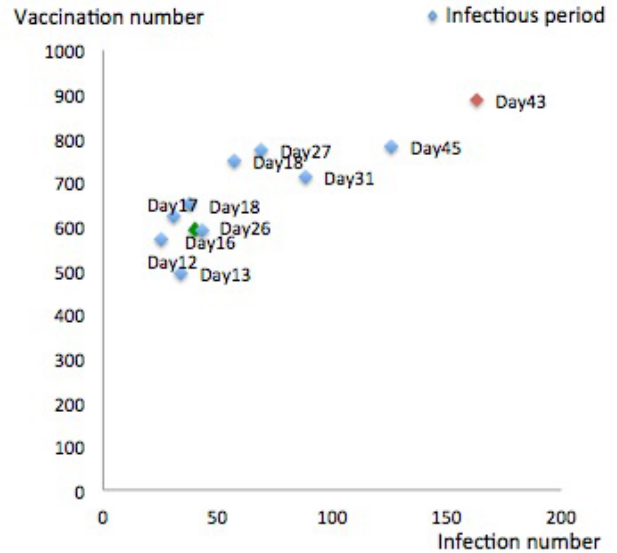


Fig. 5: 流行日数，総接種者数と総感染者数

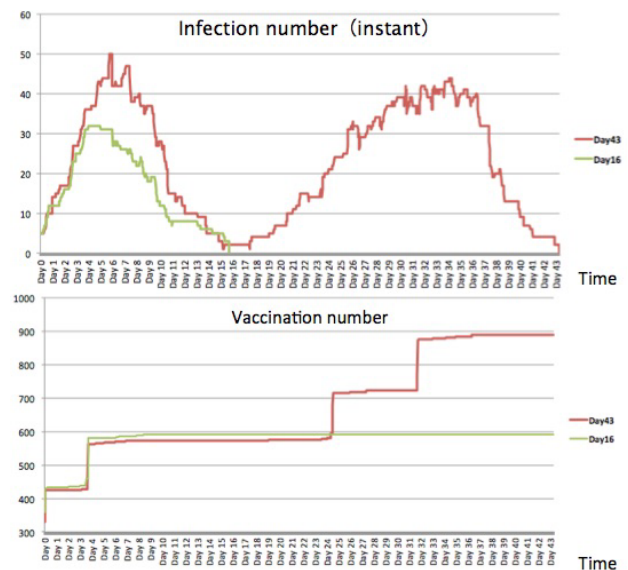


Fig. 6: 感染者及び接種者の推移

Fig. 6 に示した感染者数と接種者数の推移状況により、0 日目から流行が始まり、3 日目に感染者数の急激な増加がみられている。感染者数の増加に伴い、3 日目に接種者数も急上昇している。4 日目から 7 日にかけて感染ピークを迎え、その後徐々に減少が始まり、18 日に最低点に至る。なお、4 日目から接種人数はほとんどの日において、前日より増加がみられているが、感染者数のピークを迎えた後接種人数の変化はほとんど生じていない。

流行日数 Day16 の結果とは違い、流行日数 Day43 の結果は 2 回流行のピークを示している。一回目のピークと同じように、流行が激しい時にはワクチンの需要

量は大幅に上昇しており、また、総感染者数の変化は小さい時は感染者数の減少と同時に感染リスクを感じて接種する人が減少し、全接種者数も増えてない。

3.2 マイクロ結果：社会的規範下における個人の接種意図変化

本節では都市全体の社会ネットワークにおける社会的な規範が個人の接種意図に与える影響を考察対象としている。具体的には接種の社会規範の下で、個人間相互作用は直接、間接を問わず、どのような形でわれ、様々な形で他人、または社会の接種動向に影響を与えるかといった問題点に焦点をあてている。

そこで、本節ではあるエージェントを抽出し、周囲の接種行動、及び接種意図の変化を示す。抽出されたエージェントは [Human 418] という名前の 50 代の男性、サラリーマン、[Human 418] の妻は [Human 419] で表示する。最初、[Human 418] の職場の人 [Human 5785] と [Human 6590] が接種した。その影響を受け、職場の同僚 [Human 7405] と [Human 317] も接種した。さらに、[Human 418] も接種し、妻の [Human 419] にも影響を与えた (Fig. 7 を参照)

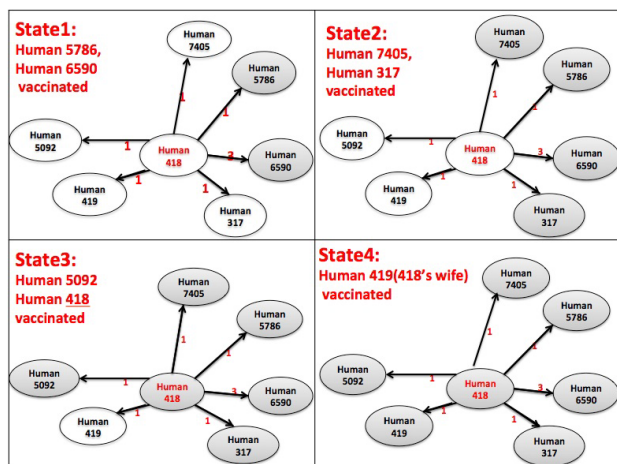


Fig. 7: Human 418 の接種行動マイクロ分析

その結果、個人の間関係ネットワークにおける接種率が上昇するにつれ、ネットワーク上いる関係者たちの接種可能性も高くなること、またその上昇率が高いほど都市全体での普及率が高いことが明らかになった。予防接種に対し、一般社会の影響もあるが、仲間からの影響が特に強いものでもある。つまり、個人の間関係ネットワークを把握することで、社会的規範下における人間の接種行動を予測することが可能となる。

4 保健医療政策の効果試算

予防接種シミュレーションを用いることで、都市内の予防接種システムを再現することが可能となる。さらにシナリオとして、具体的な医療政策をモデルに読み込むことができ、様々な政策におけるシステムの挙動を調べることで、政策決定者の意思決定支援は実現可能となる。本研究では、3つの医療政策を考慮し、シミュレーションを行った。

4.1 感染症流行初期、接種率を確保する

感染症流行初期、接種者を都市全人口の 5%、7.5%、10% と設定し、接種人数及びの感染人数の変化の検討を行う。結果は Fig. 8 に示す。

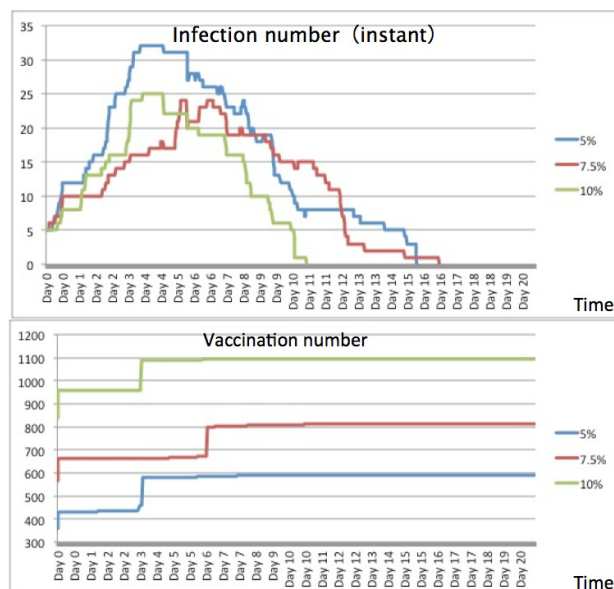


Fig. 8: 初期接種者数により感染者及び接種者の推移

日ごとの感染者数の変化は感染プロセスに依存するため、初級接種人数が多ければ多いほど感染者数等の流行規模に関する数値は必ずしも少ないという結論は得られないが、シミュレーション結果から初級接種人数の割合により、流行の時間差があることを認めることができる。特に、初期接種人数が多いほど流行開始曲線の立上がりからピークに至る間の曲線における傾きが緩やかに変化している。そのため、たくさんの方が予防接種をうけることで、都市内のウイルス数が抑えられ感染症の拡大することを防ぐことができると考えられる。さらに、初期ワクチン接種率が増えることで、全体的な接種人数も増加している。その理由は、同調行動に代表される個々の人間エージェント間の相互依存関係、すなわち社会的規範の存在下における人間の予防接種に対するモチベーションが上げられたためであると思われる。

4.2 接種費用を一部助成する

本節では、費用負担は予防接種を阻む重要な要因と想定され、公的な費用補助の効果を明らかにするためにシミュレーションを行う。モデルにおいて、[willing to pay] は接種意図の構成要素の一つとして人間エージェントの行動に結びつくと考えられる。[willing to pay] は個人の期待価格、すなわち個人によるワクチン販売価格の予想である。ワクチン価格を変化させることによって消費者の価格感応性がどの程度変化したのかという問題についての考察を行う。

Fig. 9 はワクチン値段を 0 円、原価の半額、原価 (ワクチンの原価を 3600 円とする)、原価の 1.5 倍のシミュレーション条件別に感染者及び接種者の推移状況をプロットしたものである。この図から、割安感があるときには最初の接種数も多く、割高感があるときには初期接種者が少なくなる傾向が見られ、感染症流行が始まる時の接種人数はワクチン価格の影響を受けて変動することがわかる。

また、0 円と半額の場合、流行の初期段階から接種人数が多いため、感染が広がらず、インフルエンザシーズンが早めに終了した。原価、またはワクチンの販売

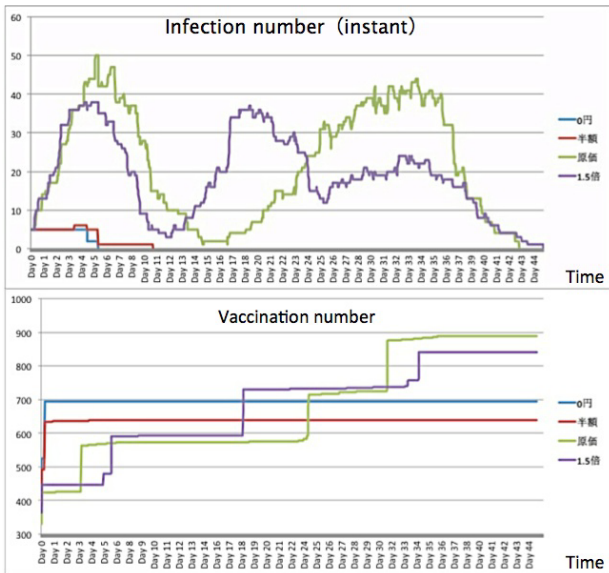


Fig. 9: ワクチン価格により感染者及び接種者の推移

価格が原価の1.5倍とした場合は、接種人数は時間経過とともに増加し、特に1.5倍の場合は原価より感染症の流行時間が長い、接種人数が少ないという結果が得られた。

4.3 補助対象の効果考察

人間エージェントの日常的な接触の違いにより、感染症が広がる伝染経路には大きな違いがある。助成金の配分の対象となるグループは補助金制度に合わせて自分の接種意図が変わることで、伝染経路に影響を与え、都市全体の感染人数及び接種人数も変わると考えられる。

4.3.1 年齢別の補助制度効果考察

本研究では補助対象を幼稚園児と小学生(11歳以下)、中学生(12歳から17歳)、高齢者(65歳以上)と設定し、各接種対象にワクチン価格を半額程度助成する。3つのシナリオをモデル上に導入する。Fig. 10は各の補助シナリオにおける接種人数を示している。

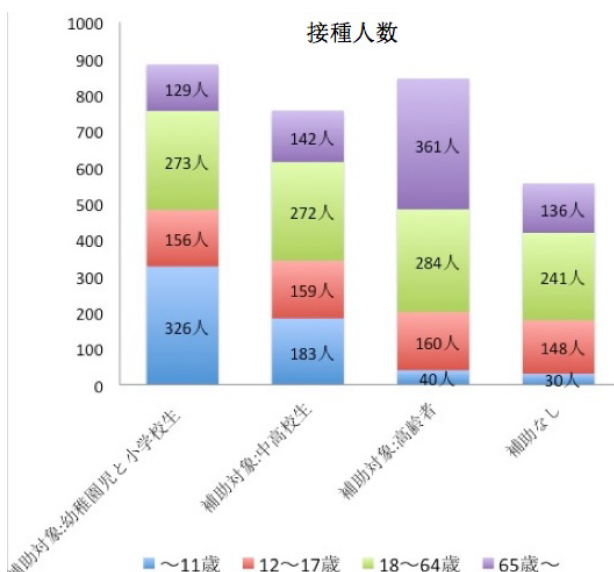


Fig. 10: 補助対象における接種人数

シミュレーションの結果により、ワクチン補助金制

度における補助対象の接種意図を高めることで、接種率が上がることが示唆される。また、補助対象により、制度の効果が異なる。特に、同じ補助金制度を中高生に導入した場合には、接種率の増幅は小さくなる傾向が見られた。

4.3.2 中学生補助制度と高校生補助制度の結果比較

予防接種費用の補助は国民健康保険事業の一部であり、国民健康保険事業の予算額を考慮し、助成額及び補助対象を含む予算案に基づいて、補助制度を見直すべきである。研究対象となる大島町において、平成27年度国民健康保険事業の予算額は1,720,000円である²⁴⁾。本研究では、そのうちの約3割を予防接種費用の補助金として想定され、大島町内にいる中学生、高校生を補助対象として2つのシナリオにおけるシミュレーションを行った。

モデルにおいて、高校生人数は153名、中学生は126名である。中学生と高校生に全額補助する場合、予防接種制度にかかる国民健康保険事業予算額に占める割合は30.98%、26.37%であり、中学生と高校生に全額補助のシミュレーション結果をFig. 11に示す。

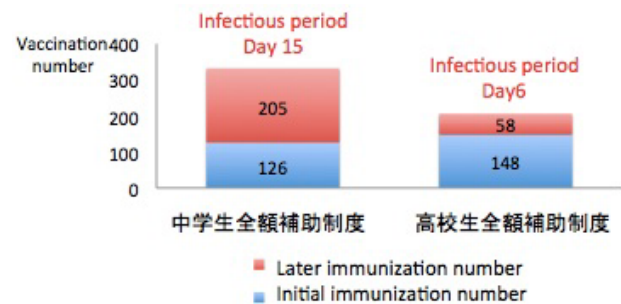


Fig. 11: 中学生補助制度と高校生補助制度の結果比較

一方で、モデルの初期設定では、高校に通う全高校生エージェントの中からランダムに5人を選び最初の感染者とした。そのため、接種費用の全額を助成する補助制度を実施する時、補助制度に該当する高校生が148名、148名の高校生全員を接種することで、一人一人の人間関係ネットワークにおける接種率が上昇するにつれ、ネットワーク上いる家族や友人など身近な人合計58名(全接種者数の28.2%)は接種した。また、中学生全員126名は初期接種者とした場合、205人の接種者(全接種者数の61.9%)が増えた。結果により、初期感染者が高校生と設定した場合、高校生補助制度を実施したことにより感染症の流行期間が短縮され、流行期間中の新接種者の数は比較的少ない。

新接種者の構成をFig. 12に示す。

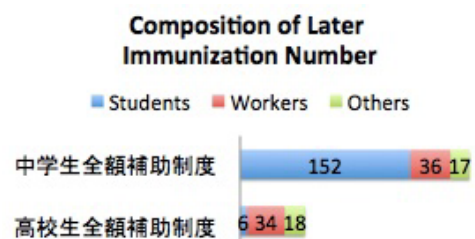


Fig. 12: 新接種者の構成

中学生全額補助制度を実施した結果、中学生の接種は間接的に他人への影響があり、新接種者205名のう

ち、152名(74.1%)は学生(幼稚園児,小学生,高校生)である。その原因は、高校初発の場合は都市内である程度の流行が起きる時に、学校の感染人数が多いならば、高校生の支払い意思額は高くなる。また、現在のモデルにおいて、18歳以下のエージェントの主観的規範作用は家族からの影響のみと考えられ、接種行動に関して、学生は親、及び兄弟姉妹からの影響を受けやすいと考えられる。

5 まとめと展望

本稿では、エージェントベースモデリング(ABM)を用い、仮想都市における感染症の蔓延モデル及び都市のソーシャルネットワークをベースとし、人間の予防接種行動変容メカニズムを導入することで、人間の接種意識や行動を考慮した予防接種シミュレーションに基づくインフルエンザワクチンに関する保健医療補助政策の分析手法を提案した。さらに、予防接種シミュレーションを用い、保健医療政策の効果試算と評価を行った。シミュレーションの結果から、新たな政策導入に伴い、接種の推進及び伝染病への対処能力が向上されることがわかった。これより、感染症流行前の時点での保健医療政策実施の適切性、及び接種意識の改革に焦点を当てた医療補助制度内容の検討の必要性が明らかになった。特定の人やグループに適切なワクチン支援制度を導入することが任意接種ワクチンの接種率向上の一助となることが示唆された。

また、接種を推進するためには、人間の接種意識を向上させることが必要であることを示した。感染症の流行は人々に依存するところが大きく、接種の推進及び伝染病への対処能力の向上を図ることを目的として、合理的なワクチン助成制度を導入するべきである。今後、合理的なシナリオを設定し、疾病の伝播を最大限に防止する必要がある。どの年齢層をワクチン助成制度の対象にすれば、最も効果が上がるのかということを検討することは今後の課題である。

本研究で提案した予防接種システムには、施策の効果試算に重点が置かれているため、政策コストが考慮されていない問題点がある。そのため保健医療政策の意思決定者に対し、政策に関する費用対効果分析にも注目すべきである。今後、接種率と医療に係る政府支出の予算額のトレードオフ関係を着目し、政策の導入による医療費の削減を考察し、予防医療事業の費用対効果の分析に関する研究を進める予定である。

また、本研究で提案した予防接種における健康行動変容メカニズムは、ワクチンの供給不足による接種行動意図と行動の不一致の問題が考慮されていない問題点がある。実際、ワクチン需要の予測と実際の需要には大きな隔たりがあり、需要と供給のバランスで成り立っておらず、市場が不均衡な状態である。よって需要と供給の隔たりを埋めるために、都市の総接種率を把握することは重大な意義があると考えられる。将来、需要と供給の不均衡に伴う経済的な損失を減らすため、ワクチン準備数や予算などの制約のモジュールをシミュレーション上に導入する。同時に、保健医療政策を想定し、政策により接種率をコントロールすることで、保健医療制度はワクチン市場に多大な影響を与えることになることが予測される。

謝辞

本研究は若手研究 A15H05349 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 岩本康志, 福井唯嗣: 医療・介護保険の積立方式への移行に関する確率シミュレーション分析, 会計検査研究, 第46号, 11/32 (2012年9月)
- 2) 二木立: 二木教授の医療時評(61) 社会保障国民会議「医療・介護費用のシミュレーション」を複眼的に読む, 文化連情報 369, 14/17 (2008)
- 3) 姉川知史: 薬価低下政策と医薬品需要の実証分析-シミュレーション分析による薬価制度改革の予測と評価, 医療経済研究(6), 55/75 (1999)
- 4) 倉橋節也: エボラ出血熱・新型感染症医療政策シミュレーションゲーム, 第2回人工知能学会: 経営課題にAIをビジネス・インフォマティクス研究会, (2015.3.16)
- 5) Xue, Jiao, Manabu Ichikawa, and Hiroshi Deguchi: Agent-based Social Network Model of Construction through Analysis of Japanese General Social Survey Data, Communications in Information Science and Management Engineering, Vol.5 Iss.1, 1/12 (Jan.2015)
- 6) 薛キョウ, 市川学, 出口弘. ソーシャルネットワークにおける予防接種モデルの提案と評価. 第74回日本公衆衛生学会総会抄録集, 第62巻, 第10号. 471, (2015)
- 7) 出口弘, 齋藤智也, 田沼英樹, 市川学, 兼田敏之, 金谷泰宏. 伊豆大島の事例に基づくインフルエンザ感染プロセスと対策のエージェントベースモデル. 第73回日本公衆衛生学会総会抄録集, 第61巻, 第10号. 532, (2014)
- 8) 市川学, 齋藤智也, 藤本修平, 出口弘. 伊豆大島の事例に基づくインフルエンザ感染プロセスと対策のエージェントベースモデル. 第74回日本公衆衛生学会総会抄録集, 第62巻, 第10号. 471 (2015)
- 9) Ichikawa Manabu, et al. SOARS: introduction as a social microscope for simulations of social interactions and gaming. Organizing and Learning through Gaming and Simulation Proceedings of ISAGA 2007. 149/158 (2007)
- 10) Tanuma, H., Deguchi, H., Shimizu, T, SOARS: Spot Oriented Agent Role Simulator-Design and Implementation, Agent-Based Simulation: From Modeling Methodologies to Real-World Applications, 1/15 (2005)
- 11) <http://www.soars.jp/>
- 12) 市川学, 出口弘. 社会シミュレーションのための仮想都市環境構築システム, 公益社団法人計測自動制御学会, システム・情報部門, 社会システム部会, 第7回社会システム部会研究会. 91/94 (2014)
- 13) Bastian, M., Heymann, S., Jacomy, M, Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. ICWSM, 361/362 (2009)
- 14) <http://gephi.github.io/>
- 15) Kasl, Stanislav V. and Sidney Cobb. Health behavior, illness behavior and sick role behavior: I. Health and illness behavior. Archives of Environmental Health: An International Journal 12.2. 246/266 (1966)
- 16) Fishbein, M., Ajzen, I. Belief, Attitude, Intention, and Behavior: An Introduction to Theory and Research. Reading, MA: Addison-Wesley.(1975)
- 17) Ajzen, I., Fishbein, M. Understanding attitudes and predicting social behavior. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.(1980)
- 18) Giles, Melanie, et al. An application of the theory of planned behavior to blood donation: the importance of self-efficacy. Health Education Research 19.4. 380/391 (2004)

- 19) Ajzen , I. , Timko, C. , White , J. B. Self-monitoring and the attitude-behavior relation. *Journal of Personality and Social Psychology* , 42 , 426/435 (1982)
- 20) McCaul , Kevin D. , H.Katherine O'Neill , and Russell E. Glasgow. Predicting the Performance of Dental Hygiene Behaviors: An Examination of the Fishbein and Ajzen Model and Self Efficacy Expectations1. *Journal of Applied Social Psychology* 18.2. 114/128 (1988)
- 21) Kahneman , Daniel , and Amos Tversky. Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica: Journal of the Econometric Society* , 263/291 (1979)
- 22) Prelec , Drazen. The probability weighting function. *Econometrica* , 497/527 (1998)
- 23) Tsugawa , Sho , et al. On Estimating Success of Online Development Communities using Topological Structure of Social Networks. *IEICE Institute of Electronics , Information and Communication Engineers (IN2008-61)*. 105/110 (2008)
- 24) 平成 27 年度東京都大島町予算資料
<http://www.town.oshima.tokyo.jp/uploaded/attachment/92.pdf/>