

科学研究費補助金研究成果報告書

2009年6月26日現在

研究種目： 基盤研究 (C)
研究期間： 2007-2008
課題番号： 19590634
研究課題名 (和文) 都市空間を再現したマルチエージェントシミュレーションによる感染症対策の
効果判定
研究課題名 (英文) Multi-agent systems for disease control and prevention
研究代表者
谷村 晋 (TANIMURA SUSUMU)
兵庫医科大学・医学部・講師
研究者番号： 60325678

研究成果の概要：地域社会を対象に感染症対策の実験を行うと莫大な時間・費用を要するばかりではなく、失敗は倫理的に許されないという大きな制限が発生する。そのため、この代替手段として、コンピュータの中に地域社会を再現して、そのなかで感染症対策実験を行うシミュレータの開発を目的とした。本研究におけるシミュレータは、地域社会における感染症流行を忠実に再現するレベルまでに達しておらず、シミュレータ開発は継続中である。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分化・細目：社会医学・公衆衛生学・健康科学

キーワード：マルチエージェントシミュレーション、感染症

1 研究開始当初の背景

感染症流行を抑制するためにさまざまな疾病対策が実施されるが、この実施対象は地域社会・住民であるため、試行錯誤による実験を通じて効果判定を行うことが極めて困難であり、過去の経験に基づく方策に頼るか、実効性が不明なまま生物医学的知見

から導き出された方策を試行するしかない。特に、生物テロや流行経験のない新興感染症の場合は、過去の経験にたよることができず、どのような対策が有効であるのかを明らかにすることは社会的急務である。

近年、感染症対策の実験手段として、マルチエージェントモデルを用いたシミュレーションが採用さ

れるようになった (Bagni et al., 2002; Bian, 2004; Patlolla et al., 2004; Dunham, 2006)。このマルチエージェントシミュレーション (MAS) では、コンピュータの中に人工社会が作成され、その中に多数配置されたエージェント (個人) が人工社会の中を自律的に行動し、エージェント同士の相互作用から社会環境が変化し、エージェントはその環境変化を知覚して適応した振る舞いをする。実験者は、エージェントが一般的にどのように感染するかを指定するが、個々のエージェントが他のエージェントを感染させる具体的な仕方については指定しない。また、環境とエージェントについての基本的構造を指定するものの、相互作用はコンピュータが自動的に実行していく。その全体的な帰結は実験者が評価する。これにより、例えば感染症対策のこの部分を変更したら、感染症流行はこのようになるなどを評価する実験を行うことができる。

この *in silico* 実験手法を用いて、HIV/AIDS 対策 (Teweldemedhin et al., 2004)、睡眠病 (Muller et al., 2004)、マラリア対策、天然痘対策 (Cummins et al., 2004; Barrett et al. 2005; Riley and Ferguson, 2006)、インフルエンザ対策 (Favier et al., 2005; Ferguson et al., 2005; Longini Jr. et al., 2005; Ferguson et al., 2006) などが検討された。例えば、Favier et al. (2005) は、実際のタイ王国および周辺地域の人口分布にあわせた 8500 万人のモデルによる *in silico* 実験を行い、その結果、20 例目の発症 2 日目で 5km 地域を地域封鎖してタミフルを予防投与すれば 90% の確率で拡大半径が 27km に抑えられた。我が国においても Ohkusa et al. (2006) が有用な知見を明らかにしている。

これらの先行研究は、KISS (Keep It Simple, Stupid) 原則とよばれるモデル構築方法論を採用している。エージェントの配置は、全体としては対象人口分布を合致するものの、実社会と無関係なランダム配置であり、全体的に集計された疾病流行動態のみに着目している。つまり、全体的に感染症流行がどの程度抑制されるかしか評価できなかった従来の方法は、全体主義的に最適化された対策を探るにはよいが、一方で、局所的に抜きん出て激しい流行が

存在してもそれは全体的に薄められた評価しかされないことから、実際の感染症対策としては問題があった。

2 研究の目的

(1) 我々は地理情報システム (GIS) 上にマルチエージェントモデルを実装してシミュレーションを行う。これにより、従来の手法では総体的な評価しかできなかった感染症対策の *in silico* 実験が、実際の地域で局所的に評価できるようになる。

GIS と MAS の組み合わせ自体は、新しいことではなく、1998 年にインテル・サンタフェ研究所主催の “Integrating Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Agent Modeling Techniques” 以来、その試行が報告されている (Tsou and Battenfield, 1998; Jiang, 2000; Schüle et al., 2004; Castella et al., 2005; Brown et al., 2005; Karadimas et al., 2006)。しかし、感染症対策に適応された例はない。

そこで、本研究では、感染症の伝播を再現できるマルチエージェント GIS シミュレータを構築することを試みた。実世界の地物、交通網、人口分布などヒトの移動に関連するオブジェクトを GIS 上に再現し、その上をエージェントが自律的に行動するように設定する。感染しているエージェント、感受性のあるエージェント、免疫のあるエージェントなどを現実に応じて配置し、MAS を自動実行する。MAS による実験結果は、カーネル密度変換法によりリスク面推定を行い、地域集積性の位置と強度を評価する。

本研究は、より現実的な感染症対策の *in silico* 実験を GIS 上で実現する新しい方法の提唱である。地域社会・住民を人体実験まがいの対象にすることなく、感染症対策の実験を試行錯誤的に行い、その効果判定を行うことができ、社会に大きな貢献をするものと考えている。

(2) 感染症流行拡大のモデリングは、感染症流行拡大シミュレーションの核心部である。日本上陸も懸念されているウエストナイルウイルスを対象に、感染症流行拡大のモデリングを試行し、シミュレー

シミュレーションモデル構築を目的としたパラメータ推定を行った。

3 研究の方法

(1) コンピュータ (OS: Ubuntu 9.04) 上に、Web サーバである Apache HTTP Server (version 2.2.11)、データベースである MySQL (version 5.1.30)、スクリプト言語である PHP (version 5.2.6) を用いて、いわゆる LAMP 環境を構築した。マルチエージェントシステムは、PHP を用いて開発し、Web アプリケーションとして動作するようにした。

感染モデルはヒト - ヒト感染のみに限定して、感染性期の人に出会った感受性者が設定した感染確率で感染し、一度感染した者は 2 度と感染しないと定義した。また、感染者のうち、設定した致死率で感染者が死亡するようにした (ただし、致死率を 0 にも設定できる)。

サンプルデータとして、ベトナム・ナチャン市におけるセンサスデータ (2006 年) から位置情報を含む個票を得て、男性 10521 人、女性 10520 人、合計 21041 人のデータを準備した。性年齢から便宜的に 1 日の行動を割り当てた。0-6 歳は自宅の滞在、7-12 歳は小学校 (8 箇所) 13-15 歳は中学校 (4 箇所) 16-18 歳は高校 (1 箇所) に通学し、成人男女は、ランダムに定めた勤務先や買い物先に毎日出かけるように設定した。シミュレーションを実行すると、毎日の行動を通して、学校や家庭など共有空間において、設定した感染確率で感染が成立する。

(2) アメリカ疾病予防センター (CDC) より、1999 年から 2007 年までの州別年度別のウエストナイル感染者数 (ウエストナイル熱、ウエストナイル脳炎、その他の合計値) を得た。各州の人口中心地点を米国国勢調査局より得て、そこから直線距離の OD (Origin-Destination) 行列を作成した。人間の患者が初めて発生した年をその州における流行初年度と定義し、流行初年度の差分から流行遅延時間の OD 行列を作成した。距離の OD 行列を遅延時間の OD 行列で除することで、拡散速度の OD 行列を得た。

古典的重力モデルにおける流動量 (T_{ij}) を感染症

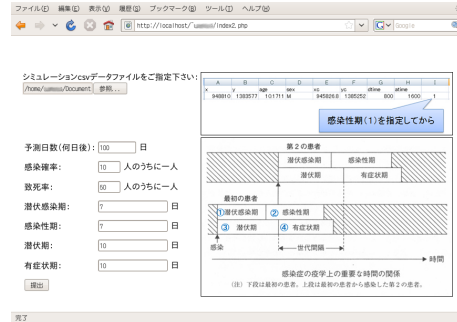


図 1 マルチエージェント GIS プログラムのユーザインターフェイス

拡散速度 (S_{ij}) に置き換えて、モデルを構築する

$$S_{ij} = k \frac{P_i^\alpha P_j^\lambda}{d_{ij}^\beta}$$

ここで、 $S_{ij} = d_{ij}/t_{ij}$ なので、

$$t_{ij} = \frac{1}{k} \frac{d_{ij}^{(\beta-1)}}{P_i^\alpha P_j^\lambda}$$

となる。ただし、 t_{ij} は i 番目の州から j 番目の州までの遅延年である。このモデルに、距離 OD 行列、遅延時間 OD 行列、都市人口を与えて、 α 、 β 、 λ を推定した。

4 研究成果

(1) 作成したシミュレータのインターフェイスを図 1 に示す。ベトナム・ナチャン市のセンサスデータから一部を切り取ったものをサンプルデータとして、実行した結果の画面を図 2 に示す。感染確率 0.2、致死率 0.001、感染潜伏期 7 日、感染性期 7 日、潜伏期 10 日、有症状期 10 日で設定した場合のシミュレーション結果を、図 3 (24 時間後) と図 415 日後に示す。また、カーネル密度推定法による密度変換を行った結果を図 5 に示す。シミュレータ開発は、現在もなお継続中で、報告書作成時点のシミュレーション結果は、感染症拡大の様子を忠実に再現するには至っていない。シミュレーションによる有益な知見を得て、さらにオープンソースとして、シミュレータを広く公表するには、さらな



図2 マルチエージェント GIS プログラムの実行結果画面

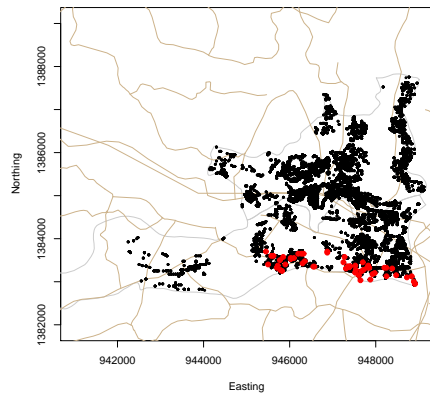


図3 感染流行開始 24 時間後の感染者。感染者は赤丸、非感染者は黒丸で示す。パラメータ設定は、感染確率 0.2, 致死率 0.001、感染潜伏期 7 日、感染性期 7 日、潜伏期 10 日、有症状期 10 日。

る改善と改良が必要とされ、さらに開発期間が必要である。

(2) モデル定義から、流行初年度が同年である州では、それら州のペアにおける流行遅延時間が 0 であるため、拡散速度も 0 となった。この拡散速度が 0 となる州のペアを除いた拡散速度の度数分布は右に裾の長い非対称分布であった。

推定したモデルパラメータを用いて算出した流行拡大速度を図 6 に示す。人口が大きくなればなるほど拡大速度は増し、距離が大きくなればなるほど流行が到達するまでに時間がかかる。例えば、500km 離れた都市では、人口 100 万人規模なら約 3 年、人

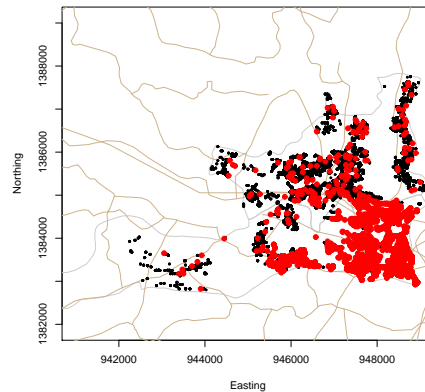


図4 感染流行開始 15 日後の感染者。感染者は赤丸、非感染者は黒丸で示す。パラメータ設定は、感染確率 0.2, 致死率 0.001、感染潜伏期 7 日、感染性期 7 日、潜伏期 10 日、有症状期 10 日。

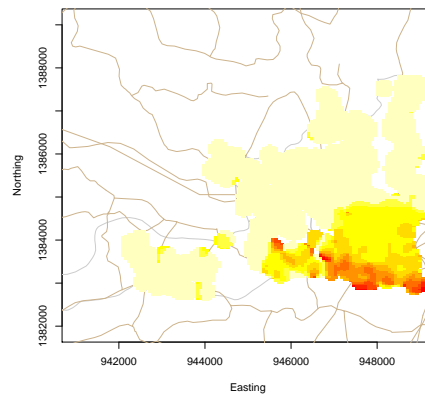


図5 感染流行開始 15 日後の感染者密度平面

口 5 千万人規模なら約 2 年で WMV 感染症が到達することが明らかになった。ベクターや他の宿主を考慮していない単純なモデルであるが、本モデルは拡大速度の約 40% を説明した。

5 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 5 件)

- ① [Susumu Tanimura](#), Vu Dinh Thiem, Hideki Yanai, Paul Kilgore, Koya Ariyoshi. Geo-

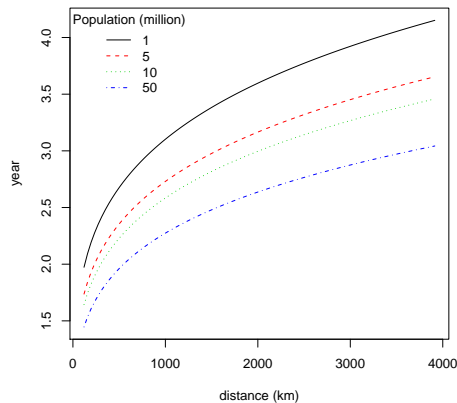


図6 米国 WNV 感染症流行から推計されたパラメータによる感染拡大速度。横軸は流行原点からの距離、縦軸は最初の患者が報告されるまでの時間(年数)都市人口(凡例参照)別に描画している

graphic demographics of Khanh Hoa, Vietnam: Application of kernel density estimation. **Journal of International Health** 23(2): 109, 2008. 査読無

- ② Susumu Tanimura, Chushi Kuroiwa, Tsutomu Mizota. Auxiliary cartographic functions in R: North arrow, scale bar, and label with leader arrow. **Journal of Statistical Software**, 19(Code Snippet 1): 1-8, 2007. 査読有
- ③ Susumu Tanimura, Vu Dinh Thiem, Chushi Kuroiwa, Tsutomu Mizota. Regional Risk Factors Affecting Spatial Clustering of Dengue Fever: Application of Bayesian Hierarchical Models. **Tropical Medicine and Health** 35(2): 225, 2007. 査読無
- ④ Kensuke Goto, Susumu Tanimura, Ataru Tsuzuki, Vu Dinh Thiem, Ali Mohammad, Hideki Yanai, and Tsutomu Mizota. On the application of high resolution satellite data to GIS mapping in developing country. **Tropical Medicine and Health**, 35(2):224-225, 2007. 査読無
- ⑤ Saori Kashima, Hideki Yamamoto,

Susumu Tanimura, Kenji Nakata, and Shoji Sakano. Evaluation of tsunami affected area in Sri Lanka by using remote sensing (RS) and geographic information systems (GIS) for the capacity development of rapid emergency response. **Tropical Medicine and Health**, 35(2):224, 2007. 査読無

[学会発表](計13件)

- ① Natalya Shin, Susumu Tanimura. The role of distance and population size on the WNV epidemic in the US during 1999-2007, The Joint Meeting of the 49th Annual Meeting of Japanese Society of Tropical Medicine and the 23rd Annual Meeting of Japan Association for International Health, Oct.25-26, 2008, Tokyo.
- ② Susumu Tanimura, Natalya Shin. Diffusion rate of West Nile virus infection in the US, 1999-2007, The Joint Meeting of the 49th Annual Meeting of Japanese Society of Tropical Medicine and the 23rd Annual Meeting of Japan Association for International Health, Oct.25-26, 2008, Tokyo.
- ③ Susumu Tanimura, Vu Dinh Thiem, Kensuke Goto, Motoki Suzuki, Tho Le Huu, Kilgore Paul, Dang Duc Anh, Koya Ariyoshi, Hideki Yanai. Exploring aggregate effect on demographic data with administrative boundaries for health policy and planning, The Joint Meeting of the 49th Annual Meeting of Japanese Society of Tropical Medicine and the 23rd Annual Meeting of Japan Association for International Health, Oct.25-26, 2008, Tokyo.
- ④ Natalya Shin, Nader Ghotbi, and Susumu Tanimura. A Comparative Study between the Influences of Mongolian and Uzbek Traditional Swaddling Habits on the Higher Rates of Rickets. The 23th Eastern Regional Meeting of Japan Association for International Health, Mar.16, 2008, Tokyo.

- ⑤ Viengmany Bounkham and Susumu Tanimura. Health Status and Health System in Lao PDR. The 26th Western Regional Meeting of Japan Association for International Health, Mar.1, 2008, Okayama.
- ⑥ Lor Vann Thary and Susumu Tanimura. Health System and Health Status in Cambodia. The 26th Western Regional Meeting of Japan Association for International Health, Mar.1, 2008, Okayama.
- ⑦ Vong Sreytouch and Susumu Tanimura. Social Marketing of HIV Prevention in Cambodia. The 26th Western Regional Meeting of Japan Association for International Health, Mar.1, 2008, Okayama.
- ⑧ Natalya Shin, Nader Ghotbi and Susumu Tanimura. Higher Rates of rickets among Uzbek children raised in cradle. The 26th Western Regional Meeting of Japan Association for International Health, Mar.1, 2008, Okayama.
- ⑨ 後藤健介, Vu Dinh Thiem, 谷村晋, 野内英樹, 溝田 勉. ベトナムにおける衛星データを用いた環境変動解析結果の疾病対策への活用の試み. 第 48 回日本熱帯医学会大会, 別府市, 2007 年 10 月 12 日-13 日.
- ⑩ 谷村晋, Vu Dinh Thiem, 野内英樹, Paul Kilgore, 有吉 紅也. 疫学指標分母人口に対する可変面域単位問題の影響 - ベトナム戸別センサスデータを用いた検討 -. 第 48 回日本熱帯医学会大会, 別府市, 2007 年 10 月 12 日-13 日.
- ⑪ 谷村晋, Vu Dinh Thiem, 野内英樹, Paul Kilgore, 有吉 紅也. ベトナムナチャン市における人口構成指標の分布 - カーネル密度推定法による推計 -. 第 22 回日本国際保健医療学会全国総会, 吹田市, 2007 年 10 月 7 日-8 日
- ⑫ 谷村晋. R による地理情報の視覚化と探索的空間データ分析. 日本行動計量学会第 35 回大会, 京田辺市, 2007 年 9 月 2 日-5 日

- ⑬ 谷村晋. 地理情報の視覚化. 2007 年度統計関連学会連合大会, 神戸市, 2007 年 9 月 6 日-9 日

6 研究組織

(1) 研究代表者

谷村 晋 (TANIMURA SUSUMU)

兵庫医科大学・医学部・講師

研究者番号 : 60325678