

実際の移動データを用いた individual based model のパンデミックへの応用

大日康史 国立感染症研究所感染症情報センター

菅原民枝 国立感染症研究所感染症情報センター

目的

individual based model(以下、略して ibm)は、近年の感染症モデルとして最もパワフルなモデルであり、新型インフルエンザ対策では広く用いられている¹⁻⁶⁾。また、天然痘対策にも用いられている^{7, 8)}。しかしながらモデルはあくまでモデルあり、実際の人の所在、移動を表現したものではない。モデルをより現実的に近づける努力は重要であるが、それでもやはり現実性は乏しい。逆に本研究では、実際の人の所在、移動のデータからモデルを構築した。このような試みは既に行われている⁹⁻¹¹⁾が十分ではない。Eubank⁹⁾らはポートランドでの人口 160 万人での所在データを用いてスモールワールド性を確認し、また、それを天然痘に応用している¹⁰⁾。しかしながら、そこでは電車を始め移動手段内での感染は考慮されていない。逆に、日本において通勤電車内でのみの接触を計測された研究¹¹⁾があるが、電車以外での接触が考慮されていない。したがって、所在と移動の両方のデータを同時に扱えることは重要である。また、先行研究では感染症にとって重要な接触場所である家庭、学校、職場を認識し、また家族内での感染がさらに学校、職場等で広がるのが表現されない。本研究では、その両者を満たす東京都市圏パーソントリップ調査(以下、PTデータ)の貸与を国の新型インフルエンザ対策、バイオテロ対策企画立案のために受け、分析を行う。本研究では特に、パンデミックにおける初発例日本侵入時の感染の広がりに着目して、モデルを構築する。なお、天然痘と用いたバイオテロへの応用は既に行われている¹²⁾。

またこうした実際のデータを用いた ibm は現実性の高い地理的な情報を提供する。それを正確に地図上で表現し、対策立案の基礎的な資料にできることは、従来の ibm あるいはより単純なモデルでは不可能なことなので、このモデルの重要な利点である。したがって、その地図上での正確な表現はこのモデルの有用性を決定づける非常に重要な要素となる。日本ではそうしたシミュレーション結果の地図上での表現は立ち後れていたが、本研究ではそれを実現することを目的の一つとする。

方法

PTデータ¹³⁾は、1998 年 10-12 月に実施された、首都圏在住(夜間人口 3300 万人)の 5 歳以上約 88 万人の 1 日の移動、所在が記録されたもので抽出率は約 2.7%である。所在は、自宅、学校等の別、1648 カ所のゾーン(夜間人口 1.5 万人目安)で表示され、鉄道の乗降駅、時間も記録されている。

このデータを用いてまず接触回数を求める。その上で、社会、電車内では半径 1m 以内の人数を推測する。社会での接触はゾーンで定義されているためにそこでの接触密度は、接触回数を一定の(平均)面積(1km²)で除した数値が接触密度となる。つまり、ある時間あるゾーンでの社会での接触を n 回とすると、半径 1m 以内での接触は $n \times 3.14 \times 37.03$ (還元倍率)/1000² で与

えられる。同様に電車での接触密度は、乗車した車両は不明であるので10両編成で1200m²としてそこでの半径1mでの人数として定義される。つまり、ある時間電車での接触を n 回とすると、半径1m以内での接触は $n \times 3.14 \times 37.03$ (復元倍率) / 1200 と推定される。

自然史、感染性を有する期間、無症候比率、無症候の場合の感染性、就床(日常活動を中断し受診)率は先行研究によった^{3,4)}。感染性は家庭および社会での感染性が $R_0=1.5$ になるように調整した。

シミュレーションは、海外での感染者が、感染3日後に帰国、八王子の自宅に帰宅後感染性を有するとした。職場は丸の内としてJR中央線で通勤するとした。シミュレーション結果の地図表現は、国土交通省国土地理院発行の数値地図 25000とESRI ジャパンの都道府県地図情報を利用し、ArcGISを用いて作成した。

結果

図1-8 は初発例感染第3日からの感染拡大の様子を示す。○は感染者の住所を小ゾーン単位で表記しており、大きさはその小ゾーンでの感染者数を反映している。

考察

初発例が受診するのが感染5日目、それから最速で対応の意思決定がなされたとして対応が開始されるのは早くも感染7日目である。感染7日目の感染拡大範囲は図14に示されているが、地理的には首都圏全域に及んでいる。この時点での感染者数は3032名と非常に少ないものの、その地理的な広がりには広大である。この範囲の人口はおそらく2000万人を超えると推測される。

群馬、栃木、山梨、静岡県、茨城県北部といった首都圏近隣県への感染拡大は観察されないが、これはPTデータの限界によるものである。また、同様に大阪、名古屋、仙台、福岡等の大都市への波及は示されていないが、これも同様の理由による。しかしながら、大都市間の交通の激しさを考慮すれば、1日ないしは数日以内に首都圏と同様の状況になることは想像に難くない。他方で、地方都市においては、鉄道による移動、通勤が首都圏程には発達しておらず、その意味での感染効率は首都圏よりは低いと推測される。

結論

本稿は実際の移動データを用いてパンデミックの感染拡大状況を把握することができた。これは、これまでの数理モデルがあくまで仮想的な都市を想定していたのに対して、現実的な対策立案に活用できるモデルを提示できたと言えよう。またその為には、他地域での検討も首都圏からの長距離移動も含めて首都圏同様に進める必要がある。それによって、地方における対策、立案に資することができると期待される。

残念ながらこうしたモデルは現時点で新型インフルエンザ対策のガイドライン¹⁴⁾にはまだ用いられていない。今後の改訂においては有用なツールになると期待される。

参考文献

- [1] Ferguson NM et al.: "Strategies for containing an emerging influenza pandemic in Southeast Asia", *Nature*, 2005.
- [2] Longini Jr. IM et al.: "Containing Pandemic Influenza at the Source", *Science*, 2005.
- [3] Ohkusa, Y H. Maeda, K. Aihara: "Evaluation of Pandemic Plan using individual based model", the Joint Meeting of Japan and Korea Biological Mathematics, 2006.
- [4] Germann et. al., 2006 "Mitigation strategies for pandemic influenza in the United States" *PNAS* (06) 5935-5940
- [5] Ferguson NM et al.: "Strategies for mitigating an influenza pandemic", *Nature*, 2006.
- [6] Glass R. J. et al. "Targeted Social Distancing Designs for Pandemic Influenza" *EID* 12 (11), 2006.
- [7] 大日康史「individual based model を用いての公衆衛生的対応能力を明示的に考慮した天然痘対策の評価」平成 17 年度厚生労働科学研究費補助国際健康危機管理ネットワーク強化研究事業「生物テロに向けたシミュレーションの構築と介入効果の検討に関する研究」研究報告書
- [8] 大日康史「individual based model を用いての公衆衛生的対応能力を明示的に考慮した天然痘対策の評価」*医療と社会*, vol.16,no.3,pp.275-284.
- [9] Eubank, S. et. al. (2004) Modeling disease outbreaks in realistic urban social networks. *Nature*, 429, 180-184.
- [10] Barrett CL, Eubank SG and Smith JP (2005) "If Smallpox Strikes Portland..." *Scientific American*. 292 (3) :42-49.
- [11] 七丈 直弘 (2006) 「人の移動を考慮した感染シミュレーションモデルの作成」厚生労働科学研究費補助金「生物テロに向けたシミュレーションの構築と介入効果の検討に関する研究」報告書
- [12] 大日康史, 「実際の移動データを用いての individual based model の開発」, 平成 18 年度厚生労働科学研究費補助金新興・再興感染症研究事業「生物テロに使用される可能性の高い細菌・ウイルス等による感染症の蔓延防止、予防、診断、治療に関する研究」分担報告書
- [13] 東京都市圏交通計画協議会(2004)「東京都市圏パーソントリップ調査PTデータ利用の手引き」
- [14] 新型インフルエンザ専門家会議(2007)新型インフルエンザ対策ガイドライン(フェーズ 4 以降).

図1:3日目

Day 3

Pandemic Flu Simulation in Tokyo Metropolitan Area

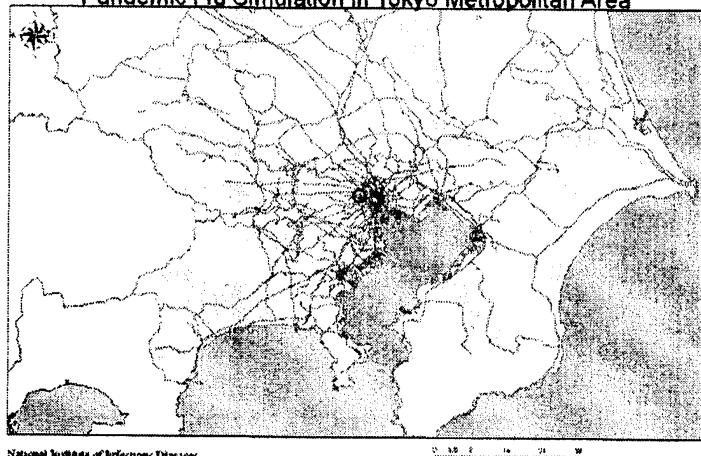


図2:4日目

Day 4

Pandemic Flu Simulation in Tokyo Metropolitan Area

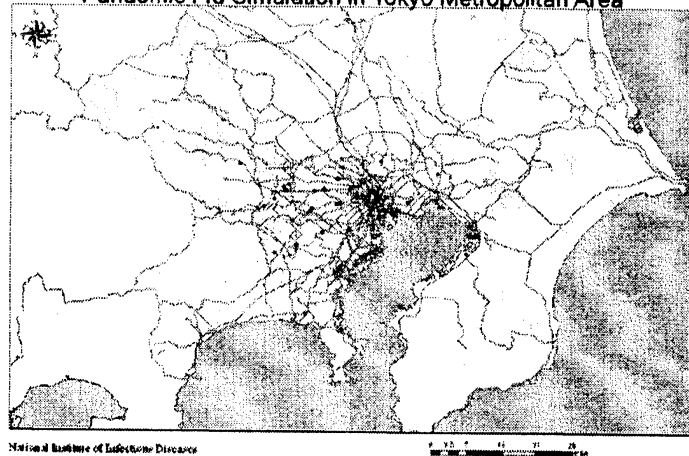


図3:5日目

Day 5

Pandemic Flu Simulation in Tokyo Metropolitan Area

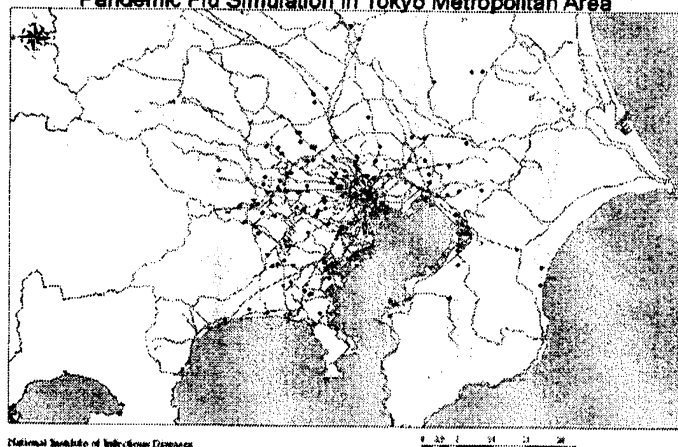


図4:6日目

Day 6

Pandemic Flu Simulation in Tokyo Metropolitan Area

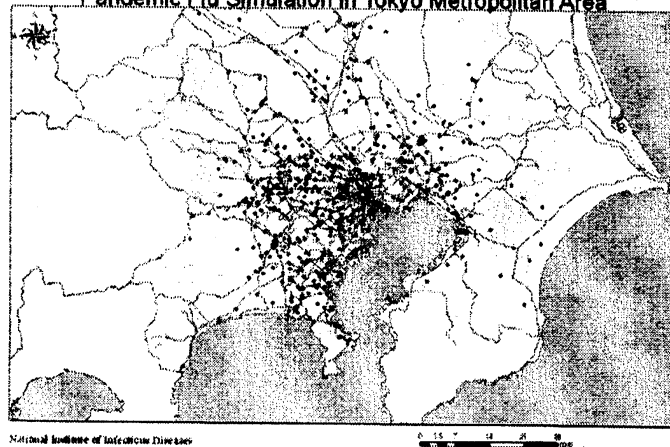


図5:7日目

Day 7

Pandemic Flu Simulation in Tokyo Metropolitan Area

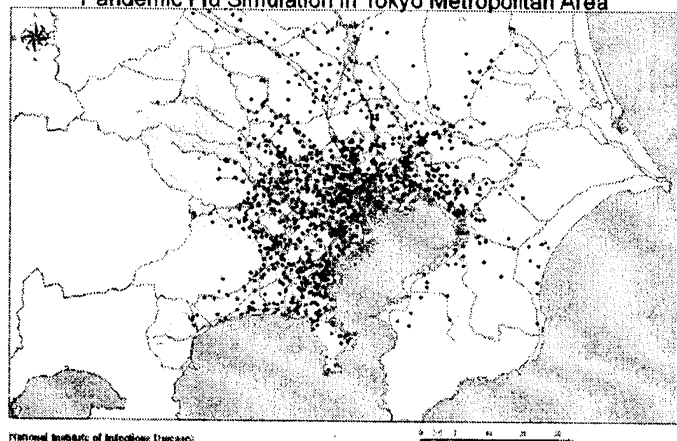


図6:8日目

Day 8

Pandemic Flu Simulation in Tokyo Metropolitan Area

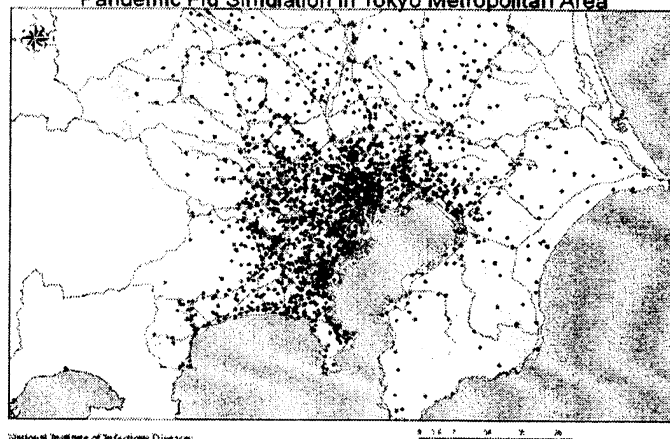


図7:9日目

Day 9

Pandemic Flu Simulation in Tokyo Metropolitan Area

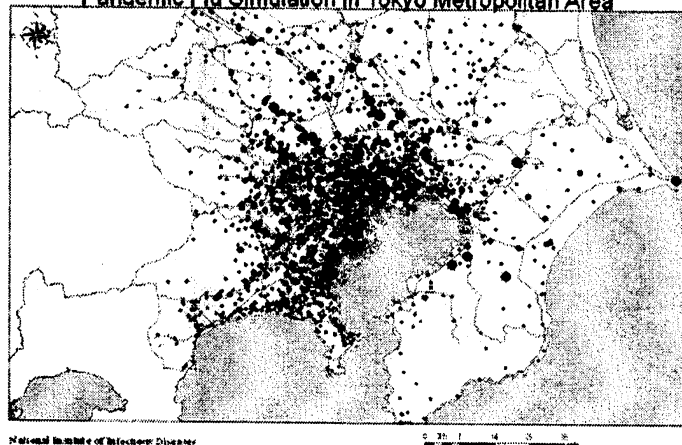


図8:10日目

Day 10

Pandemic Flu Simulation in Tokyo Metropolitan Area

