

東京近郊のインフルエンザ流行伝播シミュレーション

安田英典¹ 鈴木和男²

¹城西大学 ²国立感染症研究所

1. 序

インフルエンザの流行を効率よく阻止するためには、流行伝播のメカニズムを理解することは重要である。東京では多くの人が映画 'Shall we dance?' のように 1 時間から 2 時間かけて電車で郊外から東京へ通勤している。このため、通勤電車の影響を考慮したインフルエンザ流行伝播の研究が必要である。本研究では、東京西部の郊外をはしる中央線沿線でのインフルエンザの伝播を対象に、モンテカルロシミュレーションによってインフルエンザ流行伝播のメカニズムを検討した。

2. 方法

中央線の沿線地域でのインフルエンザの伝播をシミュレーションするために、仮想中央線モデルを作成した。仮想中央線モデルでは人々の行動がモデル化されており、中央線の主要な駅である吉祥寺駅、立川駅、八王子駅の沿線地域を対象としている。モデルには、通勤データの整合性のために都内の新宿駅と東京駅が追加されている。仮想中央線モデルは、個人の日々の生活をモデル化した **Individual based model** の一種である。人々のコンタクトはコンパートメントと呼ばれる場所中で一定の確率で生じるものとしている。モデルの構成方法の概要を示す。

モデリングでは最初に、地域社会の構成を行う。モデルの地域社会を構成要素は人々、家庭、学校、会社、ショップ、列車である。家庭、学校、会社、ショップは固定コンパートメント、列車は移動コンパートメントとして取り扱われる。列車はタイムテーブルに従って各駅の間を移動する。

各コンパートメントは統計データに基づいて生成されている。家庭の家族構成は国勢調査を、学校、会社、ショップは地方自治体のデータに基づいている。通勤者のデータは第 4 回パーソナルトリップデータに基づいている。対象となる沿線地域の人口は通勤者数に比例するものと仮定した。モデルの人口 8800 人である。八王子、立川、吉祥寺の人口は、2000,2600,2800 である。残りは新宿と東京に割り当てた。スケールダウンしたモデルであるが、予備的な検討によってモンテカルロシミュレーションとしては十分な人口であることが確認されている。次に、人々にイベントヒストリーによって日々の行動を割り当てる。イベントヒストリーは、一日の時間を在宅、通勤通学、会社勤務、学校、ショッピングに割り振ったものである。人々はイベントヒストリーに従ってあるコンパートメントから次のコンパートメントへ移動する。イベントヒストリーの生成は NHK によって実施された国民生活時間調査に基づいている。この調査は、約 3 万人の日本人の一日の活動を 15 分おきに調査したものである。

シミュレーションにおいて、人々は家庭、学校、会社、スーパー、列車の各コンパートメントをイベ

ントヒストリーに従って移動する。各コンパートメントにおいて人々のコンタクトが生じる。コンタクトした相手が感染者であれば、一定の感染率で新たな感染者が生じる。感染率については文献[1-6]において研究されている。本研究では、これらの値を参考にして、各コンパートメントの1時間あたりの感染率を学校が0.0016、列車が0.0125、家庭が0.005、会社とショップは0.00001と設定した。インフルエンザの病状はシナリオで指定した。シナリオではインフルエンザの潜伏期間は2日とし発病後5日で回復するものとした。

3. 結果と議論

・初期感染者グループ

初期感染者が八王子在住者グループである場合と通勤者グループである場合を比較した。初期感染者が八王子在住者である場合、八王子、立川、吉祥寺における流行のピークの時期にずれが生じた。八王子のピークは流行開始から3週間後に生じたが、立川のピークは八王子のピークから約3週間遅れ、吉祥寺のピークはさらに1週間の遅れた。初期感染グループを立川あるいは吉祥寺在住とした場合も他の地域のピークに遅れが生じた。これに対して、通勤者グループが初期感染者である場合には、八王子、立川、吉祥寺の流行のピークはほぼ一致する。

初期感染者が地域内にとどまっている場合は、子供による学校での感染数の増加が他地域への伝播よりも早い。このため、流行のピークに時期的なズレが生じる。初期感染グループが東京への通勤者である場合には、各地域へのインフルエンザの進入時期が同じであるので、ピークのずれは小さい。

毎年経験では中央線沿線ではインフルエンザの流行に大きな遅延はない。例えば、東京都インフルエンザ情報によれば八王子、立川、杉並、新宿において学級閉鎖が2007年1/22～1/25の同時期に実施されている[7]。このことから初期感染者は通勤者グループであると推定される。つまり、‘インフルエンザは都内からやってくる’のである。初期感染者が通勤者グループである場合の地域ごとの感染者の推移を Fig.1 に示す。

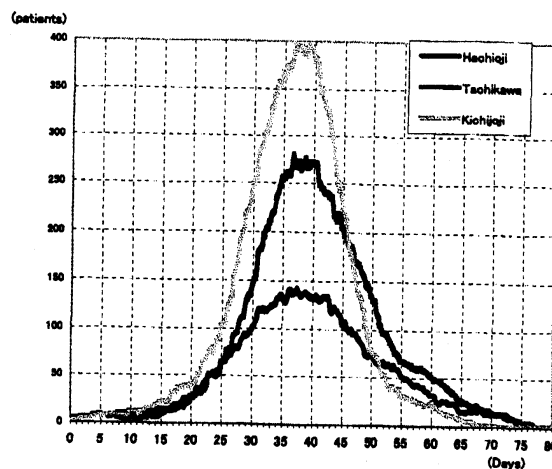


Fig.1 八王子、立川、吉祥寺の感染者数
初期感染者は通勤者グループ、総感染者は2915名で人口の33%.

・感染場所

通勤者グループが初期感染者であるケースの家庭、学校、会社、ショッピング、列車ごとの感染発生数を Fig.2 に示す。感染は大きく少数の感染が続く初期フェーズとその後感染が拡大する拡大フェーズの2つに分けられる。初期フェーズでは列車と家庭が感染場所である。拡大フェーズでは学校および家庭が主要な感染場所である。会社とショッピングにおける感染は少数であった。

初期フェーズの主な感染場所は列車であるので多くの感染者は成人男子であった。また、感染は遠距離通勤者の方が多かった。これは長時間列車に乗っている遠距離通勤者の方が感染する可能性は高いためである。流行の拡大フェーズの主な感染場所は学校と家庭であるので感染者中における子供と成人女子の割合が上昇した。

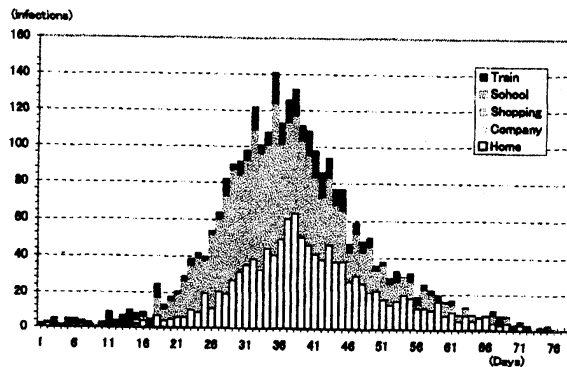


Fig.2 コンパートメント毎の感染発生数

学校と家庭での感染数が増加しても列車での感染数の増加は小さい。列車での感染は主として大人の間で発生するものである。このことは、インフルエンザ伝播において子供の役割が重要であることを示唆している。

Reference

- (1) Elveback L, Ackerman E, Gatewood L, Fox JP. Stochastic two-agent epidemic simulation models for a community of families. *Am J Epidemiol* 1971; 93:267-80.
- (2) Elveback LR, Fox JP, Ackerman E, Langworthy A, Boyd M, Gatewood L. An influenza simulation model for immunization studies. *Am J Epidemiol* 1976;103:152-65.
- (3) Longini IM, Seaholm SS, Ackerman E, Koopman JS, Monto AS. Simulation studies of influenza: Assessment of parameter estimation and sensitivity. *Int J Epidemiol* 1984; 13:496-501.
- (4) Seaholm SS, Ackerman E, Wu SC. Latin hypercube sampling and the sensitivity analysis of a Monte Carlo epidemic model. *Int J Biomed Comput* 1988; 23:97-112.
- (5) Longini IM, Koopman JS, Haber M, Cotsonis GA. Statistical inference for infectious disease. *AM J Epidemiol* 1988; 128:845-59.

(6) Addy CL, Longini IM, Haber M. A generalized stochastic model for the analysis of infectious disease final size data. *Biometrics* 1991; 47:961-74.

(7) <http://idsc.tokyo-eiken.go.jp/inf/2006/05.pdf>

付録 流行のスナップショット

通勤者グループが初期感染者であるケースの流行開始から 50 日経過したときの感染者の分布を Fig.3 に示す。図の左側から八王子，立川，吉祥寺，新宿，東京のエリアが対応している。丸の位置が感染者の所在を示している。（黒は大人，灰色は子供を示す。）四角は列車中の感染者である。大きな丸は新規感染者を示す。黒点は回復者である。Fig.3a は感染発生から 50 日目午前 9 時（昼の背景は白），Fig.3b は 50 日目午後 11 時（夜の背景は灰色）の感染者の分布である。日中，多くの感染者が都心に移動していることが分かる。子供の新規感染者が重なっているのは学校での感染のためである。

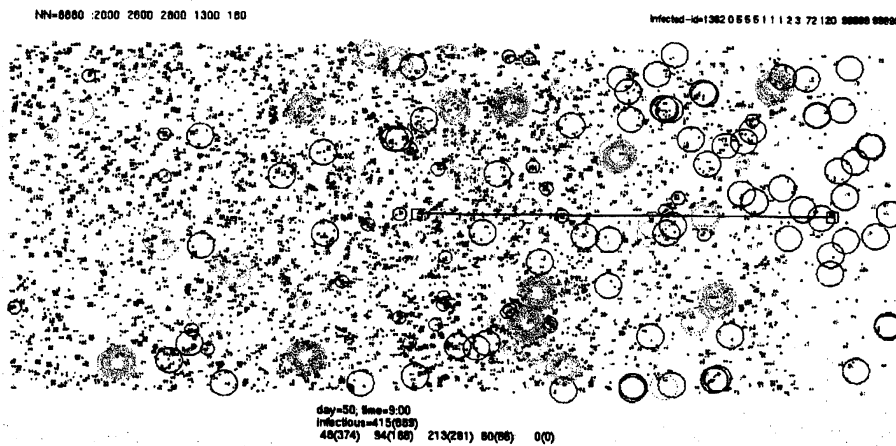


Fig.3. a 流行 50 日目午前 9 時の感染者分布

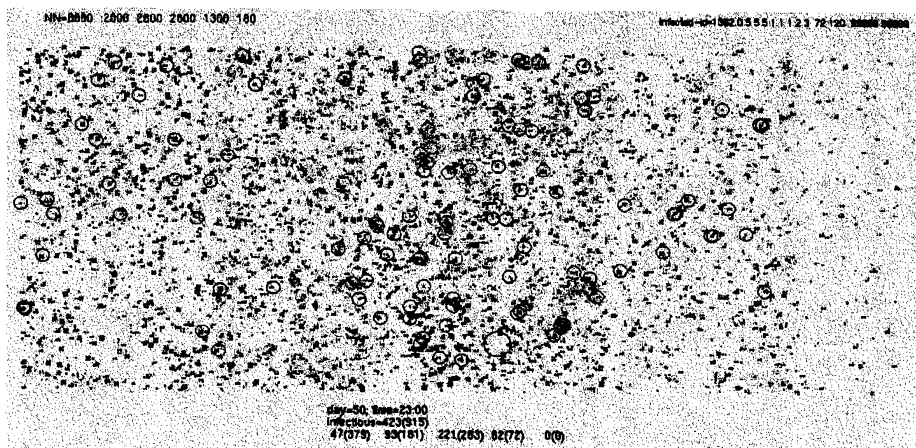


Fig3.b. 流行 50 日目の午後 11 時の感染者分布