

2009年9月29日

# 地理空間情報に基づく 新型インフルエンザ感染予測

東京大学 生産技術研究所  
鈴木 秀幸

## ヒトインフルエンザ

- これまで人類は新型インフルエンザの大流行によって大きな被害を受けてきており、現在もその脅威にさらされている。

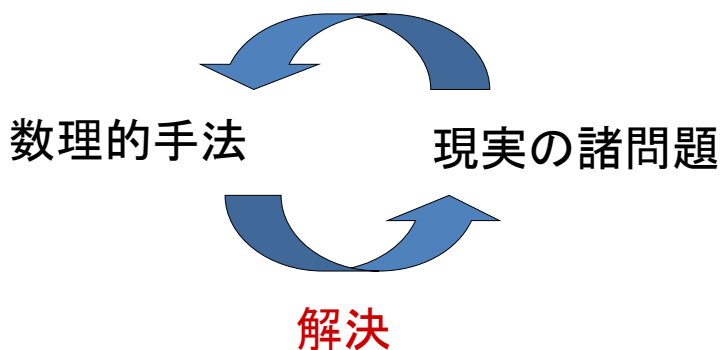
名称	時期	死者数	型
スペイン インフルエンザ	1918～1920	5000万人	H1N1
アジア インフルエンザ	1957～1958	200万人	H2N2
香港 インフルエンザ	1968～1969	100万人	H3N2
新型(ブタ由来) インフルエンザ	2009～	約2800人～	H1N1
新型(トリ由来) インフルエンザ?	?	?	H5N1

## 感染拡大シミュレータの意義

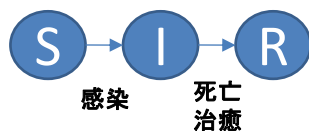
- 新型インフルエンザの感染拡大は「実験してみる」ことができない。
- 感染拡大を定量的に再現できれば、
  - 効率的な対応策の発見
  - 各種対応策の効果の比較
  - 対応策の費用対効果の検討などがシミュレータ上で可能となる。
- 特に、都市圏における感染拡大を考えることが重要である。

## 数理工学

### 数理モデリング



## 感染拡大モデル: SIRモデル



$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I$$

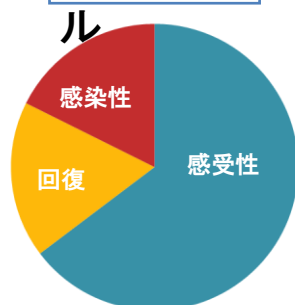
$\beta$ : 感染率,  $\gamma$ : 隔離率

[Kermack & McKendrick, 1927]

- 最も基礎的な感染症モデル
  - S: 感受性(susceptible)
  - I: 感染性(infectious)
  - R: 回復(recovered) 隔離(removed)
- 潜伏期(E: exposed)を考えたモデルはSEIRモデルと呼ばれる。

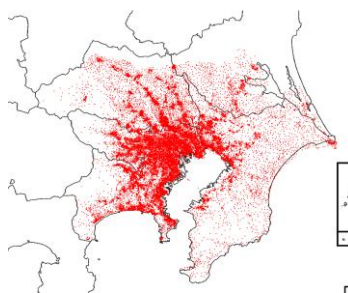
## モデルと現実との乖離

SIRモデル



人口だけを考慮

現実の感染拡大



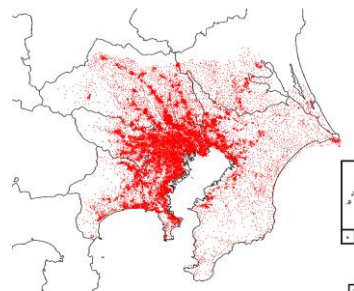
人の空間的分布・年齢の分布・人の流れなどに大きな影響を受ける

## 定量的モデルに向けて

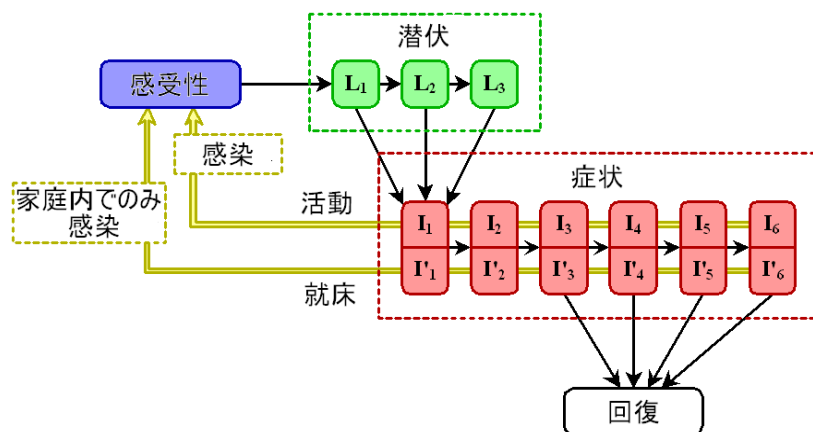
- SIRモデルのようにシンプルなモデルに対しては、様々な数理的手法を用いて、切れ味の良い解析を行うことが可能である。
  - 一方で、シンプルなモデルでは、現実との乖離が問題となる。
  - インフルエンザ対応策の定量的評価のためには、より詳細なモデルが適している。
- 個人ベースモデル

## 個人ベースモデル

- 一人一人の人の流れと感染状態の遷移を考慮する。
- 人間同士の接触によって感染が広がる。
- 数値シミュレーションによる解析が基本。



## 感染状態の遷移



[Halloran et al., 2002]

## 感染確率

- 人同士の接触により、確率的に感染。
- 感染確率は、感染させる側と感染する側の年齢で定める。

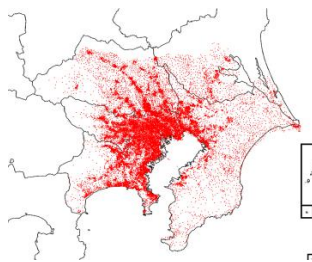
アジア風邪からの推測データ[Haber et al., 2007]

		感受性側		
		5 - 18	18 - 64	65 -
症状側	5 - 18	0.00061	0.00033	0.00080
	18 - 64	0.00053	0.00032	0.00080
	65 -	0.00054	0.00029	0.00102

## 東京都市圏感染拡大シミュレータ

パーソントリップ調査

東京都市圏  
交通計画  
協議会



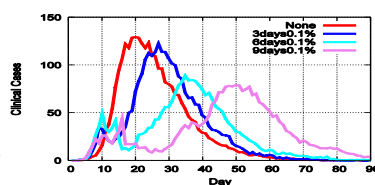
人の流れの  
時空間データ

東京大学  
空間情報科学  
研究センター

人の流れの時空間データ

東京都市圏  
インフルエンザ感染  
拡大シミュレータ

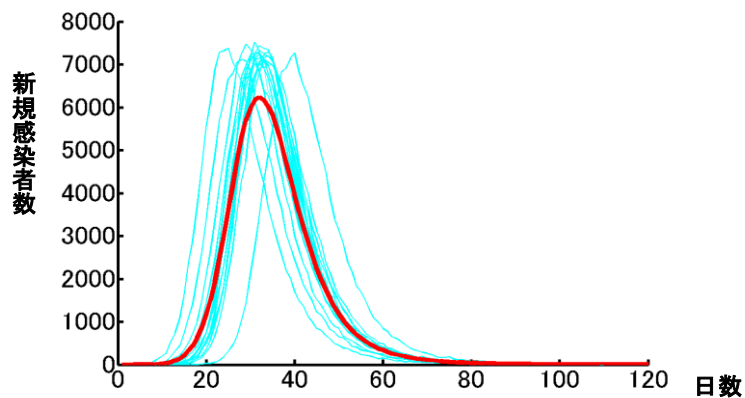
個人ベース  
モデル



新規感染者数の時間推移

## シミュレーション例

- ある人の内部状態を潜伏期に設定し、その後の感染拡大をシミュレートした結果。



## 感染拡大対応策の定量的評価

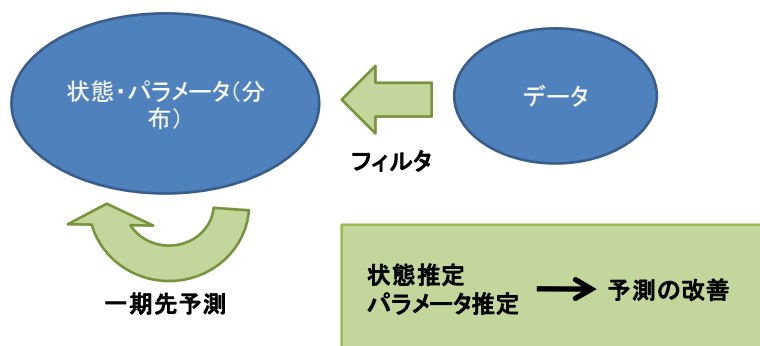
- 毎回のシミュレーション結果は大きく異なる。将来の感染を統計的に予測するシミュレータである。
- 多数のシミュレーション結果を用いることにより、各種対応策によって期待される効果を定量的に評価することが可能となる。
- SIRモデルでは考慮できない微細な時空間情報を用いた定量的評価を本シミュレータを用いて行う。

## パラメータの決定

- 一般に、限られた情報から、モデルのパラメータを同定することは難しい。
- 何らかのモデル・パラメータを用いて実行したシミュレーション結果が得られたとき、その妥当性が問題となる。
- 限られた実データと整合性を取りながら数値シミュレーションを行い、同時にパラメータの同定を進める数理的手法の開発が、気象予測などの分野において進んでいる。

## データ同化

### 感染拡大モデル + データ同化



## まとめ

- 東京都市圏において新型インフルエンザの感染拡大状況をシミュレートする解析システムを開発した。
- 本シミュレータを用いることにより、各種の対応策の効果をより定量的に評価することが可能となる。
- 今後、本シミュレータおよびデータ同化モデルを用いて研究を進めていく。



## 地理空間情報の利用者として

- パーソントリップ調査データの限界
  - 平日1日分の移動データしかないため、同じ移動を毎日繰り返している。実際には、人間の行動の多様性が感染の拡大に影響すると考えられる。
  - 人数が80万人に限られているため、人間同士の接触を線形なスケーリングにより処理している。人間の密度の極度な偏在が反映されない。
- 地理空間情報として妥当な仮定に基づいて、データを膨らませる技術の必要性