

数理生態学／感染症モデルの構築と数学的考察

～感染症の流行を数理モデルにより分析する～

兵庫県立神戸高等学校 総合理学科 2 学年

昨年の 5 月 15 日、神戸高校で国内初の新型インフルエンザ感染者が確認され、翌日から 2 週間の自宅待機を余儀なくされた。そこで私たちは、**artisoc** を用いてシミュレーションにより感染症の流行を分析した。シミュレーションは物事を単純に捉え、その本質を見ることができる一方、仮想に終わることがある。そのため、私たちは国立感染症研究所等における実際のデータをもとにパラメーターを設定し、微分方程式の数値解と比較し妥当性の確認をした後、「年齢別ワクチンモデル」と「マスクモデル」を考察した。

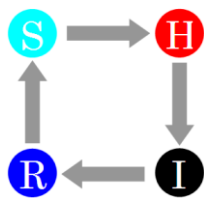
1.はじめに

カーマック・マッケンドリックの「SIR モデル」を参考に、保菌者(H)と、免疫保持者(R)が感受性者(S)にもなるということを考慮し、今回の新型インフルエンザに対応する微分方程式<SHIR モデル>を新しく設定した。各パラメーター(α, γ, h)はシミュレーションのエージェントのルールに関連付ける。

<SHIR モデル>



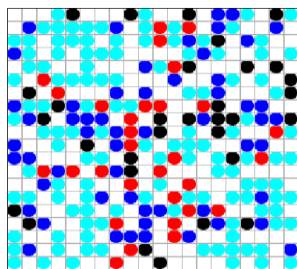
【推移図】



$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = -\beta S(t)H(t) + \alpha R(t) \\ \frac{dH(t)}{dt} = \beta S(t)H(t) - hH(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} = hH(t) - \gamma I(t) \\ \frac{dR(t)}{dt} = \gamma I(t) - \alpha R(t) \end{cases}$$

(S: 感受性者, H: 保菌者, I: 発病者, R: 免疫保持者)
(α : 免疫喪失率, β : 感染率, γ : 回復率, h : 発病率)

2.<SHIR モデル>のシミュレーション化

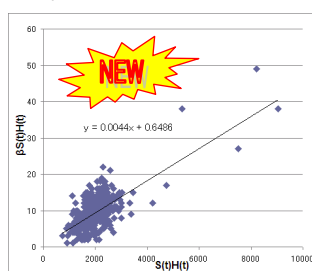


【初期設定】広さ 20×20(400マス)、総人数 240 人
(内訳/S: ● 230 人
H: ● 10 人 I: ● 0 人
R: ● 0 人)

【パラメーター設定】 $\alpha = 1/10$ (ウイルスの変異期間 10 日間)
 $\gamma = 1/5$ (発病期間 5 日間)、 $h = 1/3$ (潜伏期間 3 日間)
◇推移感染率 β^* : S と H が一対一で対面したときの感染率で、
 $\beta^* = 0.25$ と設定し 500 回の試行で妥当性を検証した。

【感染率 β の検証】 感染率 β : 感受性者(S)の集団から保菌者(H)の集団に移る 1 日あたりの人数の割合。

このシミュレーションを用いて、 $S(t) \cdot H(t)$ を横軸、 $\beta S(t) \cdot H(t)$ を縦軸にとった散布図を作成する。散布図における近似直線の傾きが β となり $\beta = 0.0044$



3.シミュレーションの実験値と微分方程式の数値解値の比較

項別	理論値	実験値	誤差率(%)
	微分方程式の数値解	artisoc シミュレーション	$\frac{ 理論値 - 実験値 }{理論値} \times 100$
S	75.76	74.77	1.308
H	27.37	28.17	2.909
I	45.62	46.24	1.345
R	91.25	90.83	0.459

微分方程式の数値解を『理論値』、**artisoc** によるシミュレーションを「実験値」として比較すると誤差率は 3%以下となった。

【考察】 誤差率が 3%以下であることから各パラメーターの設定と、「SHIR モデル」のシミュレーション化は妥当なものであると考えられる。

4.年齢別ワクチンモデル



日本の人口を 6 つの年齢層に分け、ワクチンの優先接種順位を考慮し 1 年間経過観察する。 (δ : ワクチン接種率)

年齢	現実社会での人数	シミュレーションでの人数	感染のしやすさ	β^*	h	γ	α	δ
① 0~5	6585	12	2.77	0.6925	1/3 (潜伏期間 3日間)	1/5 (発病期間 5日間)	1/10 (ウイルスの変異期間 10日間)	6/10
② 6~12	8308	16	2.67	0.6675				6/5
③ 13~19	8681	16	2.76	0.69				6/5
④ 20~39	33823	64	1	0.25			3/20	
⑤ 40~59	34439	65	0.56	0.14				
⑥ 60~	35937	67	0.17	0.0425				

ステップ数(時間)	1~1460	1461~2190	2191~2920	2921~8760
ワクチン接種群	①・②	③	⑥	④・⑤

【ワクチン優先接種順位】

<①・②(2ヶ月)>→<③(1ヶ月)>→<⑥(1ヶ月)>→<④・⑤(8ヶ月)>
【結果】 1 年後の発病者の人数の多い順に、③→②→①→④→⑤→⑥となり、中高生層(③)への対策が重要となる。

5.マスクモデル



繊維数を固定し、100×200 の空間でシミュレーションを用いて二層構造のマスクで二層間の距離を 0~25 で変動させる、このときのウイルスが通過した割合の変化を考察した。

【結果】 二層間の距離が 25 ミクロンよりも小さくできれば性能はよくなるが、25 ミクロン以上の範囲で変化させても効果はないといえる。

