

移動を含めたSIRモデルによるコロナの患者数動態の統計的解析

氏名：宮本 望

所属：関西学院大学大学院 理工学研究科 数理科学専攻

研究動機

COVID-19とは2019年に発見された新型コロナウイルスであるSARSコロナウイルス2がヒトに感染することによって発症する気道感染症である。症状は様々であるが、頭痛、嗅覚や味覚の消失、呼吸器系の症状などが一般的である。変異を繰り返すことで感染者は日々増加しており、経済的打撃は大きい。このようなCOVID-19による感染を少しでも早く収束させるために自身にできることは何かないかと思いこの研究を始めた。

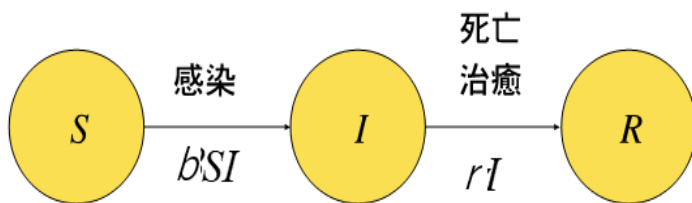
数理モデル

SIRモデル

W. O. Kermack and A. G. McKendrick: Contributions to the mathematical theory of epidemics I, *Proceedings of the Royal Society*, **115A**, 700/721 (1927).

$$\begin{aligned} S_{t+1} &= S_t - \Delta t S_t I_t b \\ I_{t+1} &= I_t + \Delta t (b S_t I_t - \gamma I_t) \dots \textcircled{1} \\ R_{t+1} &= R_t + \Delta t \gamma I_t \end{aligned}$$

S_t : 感受性人口 I_t : 感染人口
 R_t : 隔離人口 b : 感染率
 γ : 回復率、隔離率 t : 時間



移動を考えた提案モデル

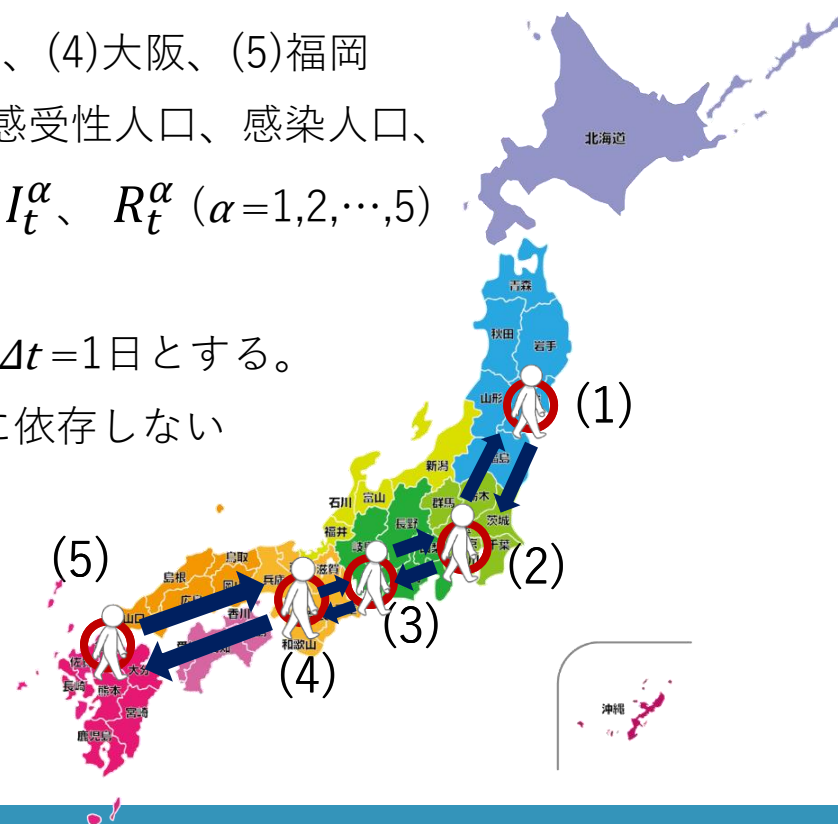
①に都道府県ごとの感染の流行動態を考えたモデル

$$\begin{aligned} S_{t+1}^{\alpha} &= S_t^{\alpha} - \Delta t S_t^{\alpha} I_{t+1}^{\alpha} \\ I_{t+1}^{\alpha} &= I_t^{\alpha} + \Delta t \{ \sum_{\alpha \neq \beta}^5 d^{\alpha} (I_t^{\beta} - I_t^{\alpha}) + b S_t^{\alpha} I_{t+1}^{\alpha} - \gamma I_t^{\alpha} \} \dots \textcircled{2} \\ R_{t+1}^{\alpha} &= R_t^{\alpha} + \Delta t \gamma I_{t+1}^{\alpha} \end{aligned}$$

(1)宮城、(2)東京、(3)愛知、(4)大阪、(5)福岡
それぞれの地域 α における感受性人口、感染人口、
隔離人口をそれぞれ S_t^{α} 、 I_t^{α} 、 R_t^{α} ($\alpha=1,2,\dots,5$)
と表す。

本研究では回復率 $\gamma=0.1$ 、 $\Delta t=1$ 日とする。

d^{α} は都道府県間の全人口に依存しない
ランダムな移動とする。



研究方法

①期間の設定

全国のコロナ感染者数の日時同行において、感染者数の極小ピークを目視で読み取り、第1-5波それぞれの期間を設定した。



③パラメータの設定

移動のパラメータを含める前に、 b^α を各都道府県で別の値をとった場合(其々)と統一した(一様)場合でモデルの検討を行った。

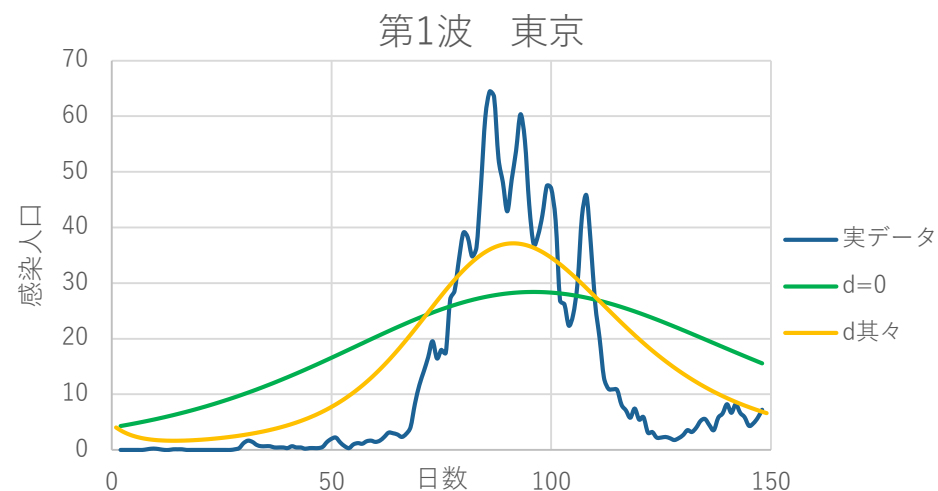
下の表から b^α 其々の場合が全期間でよいモデルとなったため b^α 其々に移動を入れたモデルを作成することとした。

AICの値	第1波	第2波	第3波	第4波	第5波
b^α :一様 $d^\alpha=0.0$	10275.8	22259.8	18150.1	19374.1	解析不能
b^α :其々 $d^\alpha=0.0$	7701.0	9240.4	12307.4	11733.4	14813.1

②計算方法

それぞれの期間での(1)宮城、(2)東京、(3)愛知、(4)大阪、(5)福岡の5都道府県の感染の流行動態に関して式②についてエクセルで数値計算を行った。NHK webサイトより

S_0^α は各都道府県の第1-5波の初日の人口の値を、そして I_0^α は移動を含める前に最尤法でパラメータフィッティングを行い、その値を用いた。



上の図は第1波の東京でパラメータフィッティングを行い、得られた図である。このようにそれぞれの都道府県でパラメータフィッティングを行った。そしてモデルの比較として統計指標 $AIC = 2\log L - 2n$ を用いた。ここで L , n はそれぞれ尤度、パラメータ数を表す。

結果・考察

d^α の値を0.0(移動なし)、一様、其々の場合でパラメータフィッティングを行った。

表は得られたAICの値である。

最小のもの、つまり最もよいモデルを赤字で示す。

AICの値	第1波 2020/01/16- 2020/06/12	第2波 2020/06/13- 2020/10/04	第3波 2020/10/05- 2021/03/07	第4波 2021/03/08- 2021/07/04	第5波 2021/07/05- 2021/11/14
b^α :其々 $d^\alpha=0.0$	7701.0	9240.4	12307.4	11733.4	14813.1
b^α :其々 d^α :一様	7298.7	8973.1	12969.0(#)	11735.0	14653.8
b^α :其々 d^α :其々	6907.1	8382.3	12298.2	11622.7	14738.8

第1-4波では b^α : 其々 d^α : 其々
第5波では b^α : 其々 d^α : 一様
が一番よいモデルとなった。

移動を入れないモデル($d^\alpha=0$)よりも移動を入れたモデルの方がよいモデルとなった。

表は d^α : 其々における第1-4波の b^α 、 d^α の値である。

b^α : 其々 d^α : 其々	第1波 2020/01/16- 2020/06/12	第2波 2020/06/13- 2020/10/04	第3波 2020/10/05- 2021/03/07	第4波 2021/03/08- 2021/07/04
宮城 b^1 d^1	7.84×10^{-3} 0.00	1.21×10^{-2} 0.00	1.83×10^{-4} 0.00	2.50×10^{-4} 6.53×10^{-3}
東京 b^2 d^2	3.55×10^{-5} 2.66×10^{-2}	1.22×10^{-4} 5.03×10^{-3}	1.39×10^{-4} 7.16×10^{-5}	1.28×10^{-4} 0.00
愛知 b^3 d^3	2.52×10^{-3} 0.00	7.44×10^{-4} 9.40×10^{-5}	1.83×10^{-4} 0.00	2.00×10^{-4} 1.35×10^{-4}
大阪 b^4 d^4	8.10×10^{-5} 5.25×10^{-2}	2.58×10^{-4} 3.90×10^{-3}	2.81×10^{-4} 2.01×10^{-4}	4.11×10^{-4} 2.00×10^{-4}
福岡 b^5 d^5	3.52×10^{-3} 0.00	5.10×10^{-4} 0.00	4.03×10^{-4} 2.74×10^{-4}	4.62×10^{-4} 2.32×10^{-4}

第1-2波では各都道府県で b^α 、 d^α の値に差があるが、第3-4波ではあまり差がないことがわかる。

結論・考察

結論

- ・パラメータ b^{α} からは第1-5波全てそれぞれの都道府県で感染率の違いがあることがわかる。パラメータ d^{α} からは、第1-4波ではそれぞれの都道府県で移動している人数に違いがあり、第5波ではどの都道府県も同じくらいの人数が移動していることがわかる。
- ・(1)宮城、(3)愛知、(5)福岡それぞれの d^{α} が0または小さくなった。
- ・移動を入れた方がよいモデルとなった。

考察

- ・各都道府県で感染率は異なっており、移動している人数にも違いがある。
- ・感染率はどの期間においても東京が最小となっている。
→感染者が多い都道府県では効率の良い感染対策がされていると推測される。
- ・(1)宮城、(3)愛知、(5)福岡では移動している人が少ない。
→人口が少ない都道府県では移動を控えられていると推測される。

今後の展望

今回の研究で得られたパラメータの値を用いて、感染者数の予測や、ワクチンの影響について解析したい。また、移動の範囲を地域別などに絞ることでより現実的な人の移動を考慮したモデルを作成したい。