

核融合炉の He 排気と SIR モデルの数式のアナロジーに基づいた COVID-19 感染症の終息に関する考察

若手フォーラム Zoom 会議

2021. 12. 13 (月) 16 : 30

御手洗 修 (先進フュージョン研 (熊本), 東海大学名誉教授)

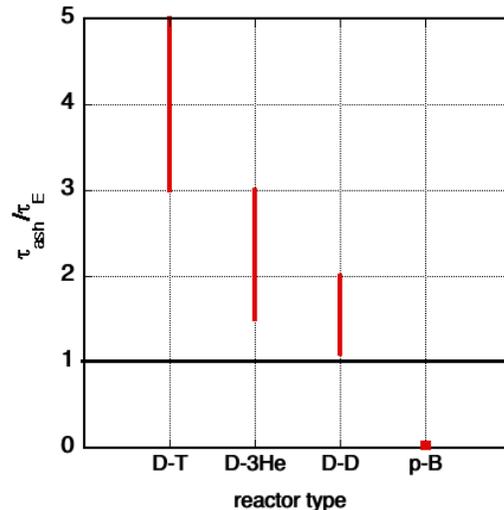
基本的姿勢 : パンデミックの終息法を冷静に科学的に考察する.

1. 研究の動機
2. SIR モデルの基礎 : 経済と感染症対策の両立可能性
3. SIR モデルの東京への適用 (第 1・2 波, 第 3 波の解析)
4. PCR 検査の頻度
5. SEIR モデルへの拡張 (第 1・2 波, 第 3 波, 第 4・5 波の解析)
第 5 波の急減少の原因を探る
6. オミクロン変異株の解析
7. まとめ

協力 : 柳 長門教授 (核融合科学研究所)

1. 研究の動機

- 2020年1月20日頃からパンデミックが来ると予想し外出をやめた。その後本格的なパンデミックになったので、自分に何が出来るかを毎日考えはじめた、それから朝から晩まで情報収集を行った。
- 感染症に関する SIR モデルの微分方程式は Mathematica の教科書にも載っているのので、自分で計算してみようと思った。
- 西浦氏の解説記事（西浦 博，稲葉 寿，「感染症流行の予測：感染症数理モデルにおける定量的課題」，統計数理(2006)．特集「予測と発見」第 54 巻 第 2 号 461-480）のまとめに以下の様な文面がある。「わが国の応用的な感染症数理モデルは潜伏期間で紹介したような統計モデルを例外として、これまで内在性想定に関する議論や定性的な解の挙動に関する理解が十分に深いとは言えなかった。」これを読んだときに私はひよっとしたら数理感染学はまだ確立されていないのではないかと感じて、自分なりに研究してみることにした。
- 先進燃料核融合炉のイグニッション研究**において、燃えかすである He 灰，p 灰の排気時間がエネルギー閉じ込め時間に比して短くなければ成立しないことを長年認識してきた。（プラ核・予定）



2. SIR モデルの基礎 :

2.1. 核融合との類似性

Kermack と McKendrick による SIR モデルの連立微分方程式の第 2 式が D-T 核融合における He 排気の粒子バランス式に類似していることに気づいた。

S を非感染者数 (Susceptible), I を PCR 検査等で陽性となった感染者数 (Infectious), R を感染後免疫を獲得して回復した回復者と死者の和 (Recovered) とすると, SIR モデルの連立微分方程式は次で与えられる。

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dS}{dt} = -S(t) \beta I(t) \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dI}{dt} = +S(t) \beta I(t) - \gamma I(t) \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dR}{dt} = +\gamma I(t) \end{array} \right. \quad (3)$$

$$\rightarrow \frac{dI}{dt} = \left(\frac{\beta S(t)}{\gamma} - 1 \right) \gamma I(t) = (R_o - 1) \gamma I(t)$$

R_o : Basic reproduction number

β は 感染係数, γ を 回復率あるいは隔離率. ここで (2) 式の第 2 項は次のように書くこともできる。

$$\frac{dI}{dt} = \beta S(t) I(t) - \frac{I(t)}{\tau_\gamma} \quad (2-1) \quad \langle == \rangle \quad \frac{dn_{He}}{dt} = \langle \sigma V \rangle_{DT} n_D n_T - \frac{n_{He}}{\tau_{He}}$$

τ_γ は 感染症の寿命の平均値で回復時間とも呼ばれている。(2-1)式は核融合研究で扱う ${}^4\text{He}$ 粒子バランス方程式とよく似ている。

- 核融合の場合, **第 1 項 (ソース項)** は D と T の反応の結果単位時間に発生するアルファ粒子であり, β は核融合反応率に相当。
- **第 2 項 (ロス項, ダンピング項)** は ${}^4\text{He}$ 粒子がプラズマから τ_{He} 時間経って外に出て行く様子を表す。

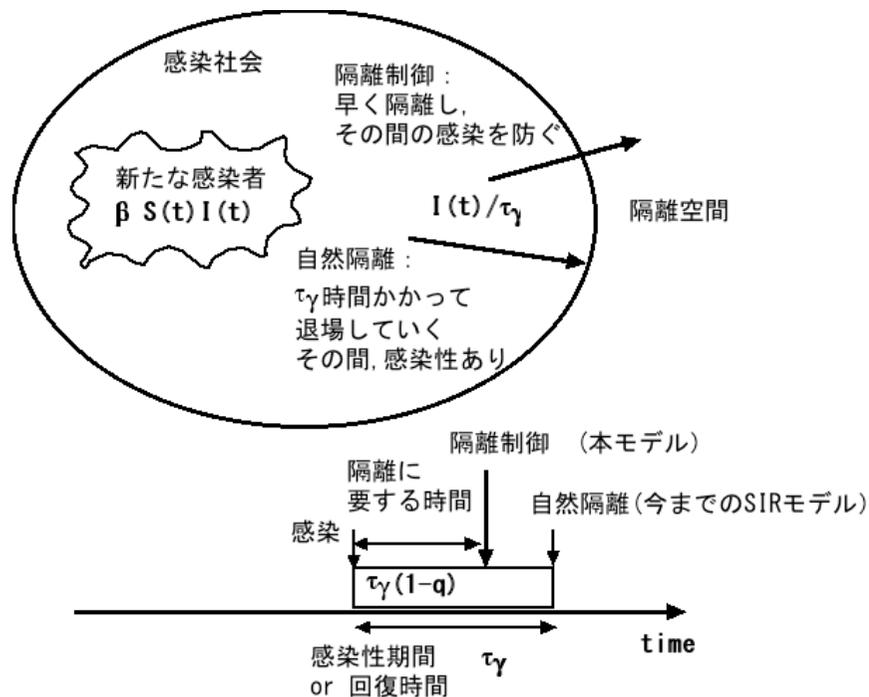
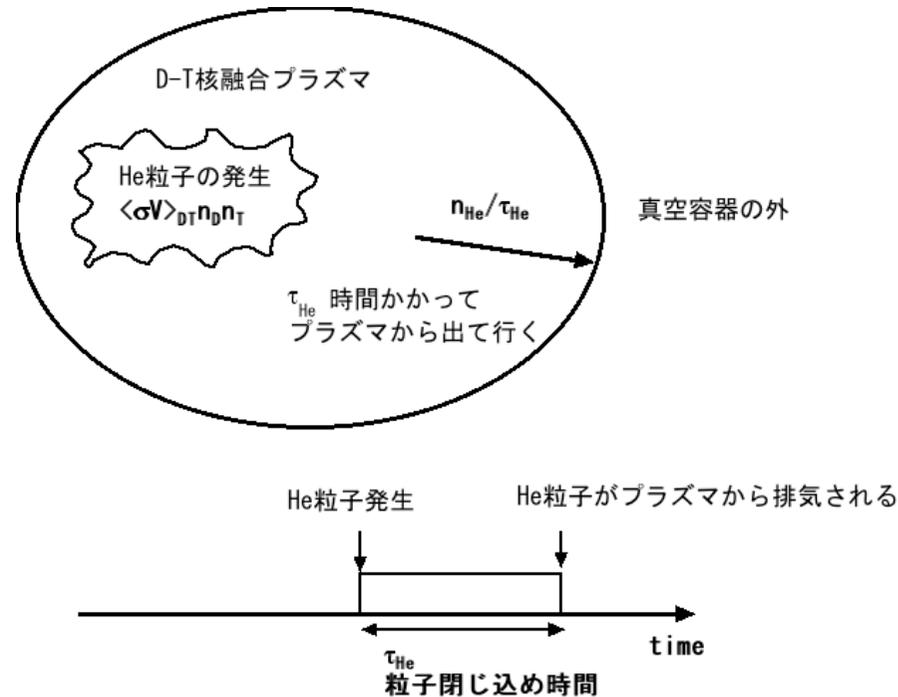


図1 SIRモデルの場合



核融合反応プラズマにおけるHe粒子排気

核融合とのアナロジーで考えると新たな知見が得られる。

SIRモデルでは感染者は τ_γ 時間経つと回復あるいは死んで社会空間から出て行くと解釈する。 τ_γ は感染時間とも呼ばれていて、その期間内には他の人に感染させる能力があるが社会空間にそのままとどまっている。この第2項は隔離項とも呼ばれている。しかしSIRモデルの中では感染者は隔離されているわけではない。→モデルが現実とは異なる！！

(1) 感染者を減らすには、 $\tau_\gamma \rightarrow 0$ として第2項を $-\infty$ にして、減衰項を増やしてIを減少させればよいと**誰もが気がつく**。

$$\frac{dI}{dt} = \beta S(t)I(t) - \frac{I(t)}{\tau_\gamma} \quad \text{これを書き直すと} \quad \frac{dI}{dt} = (R_0 - 1) \frac{I(t)}{\tau_\gamma}$$

基本再生産数 $R_0 = \beta S(t)\tau_\gamma$ を用いると、 τ_γ を短くすることで $R_0 < 1$ にできる。

(2) 感染者を減らすには、**いわゆる隔離率を上げればよい**。そのためには(2)式の隔離項で $\gamma \rightarrow \gamma(1+q)$ とおいて q を外部パラメータとして計算すれば良い。ここで $q \ll 1$ の場合は線型近似で

$$\gamma(1+q)I \approx \frac{\gamma}{1-q} I = \frac{I}{\tau(1-q)}$$

と書き直すことができる。ここでは q は小さいので新たに隔離に要する時間 $\tau_\gamma = \tau(1-q)$ を定義し直して $q < 1$ の範囲で考える。隔離率を上げるということは隔離に要する時間を短くすることと等価で、**隔離率という概念を時間に置き換えることで、我々が目指すべき明確な目標が得られる。**

(現在の数理感染学では τ は固定で、 $\tau = 10$ 日が使われている論文が多い [T. Kuniya, J. of Critical Medicine, "Prediction of the Epidemic Peak of Coronavirus Disease in Japan" 2020, 9, 789])

(3) τ_γ を 0 に近づける努力は**"家畜の感染症対策(口蹄疫, 鳥インフルエンザ)"**ですで行われている。

Wikipediaにおける基本再生産数の定義:

「感染個体が単位時間あたり平均 β の感染を生み出す接触をし、感染性期間が平均 τ であると仮定する。このとき基本再生産数は $R_0 = \beta \tau$ で与えられる。この単純な式は R_0 を減らし、最終的には感染の伝播を減らすいくつかの方法を示唆する。単位時間あたりの接触を減らす(たとえば、伝播が他者との接触を必要とする場合には、家に留まる)、または(防護具などによって)感染を生み出す接触の割合を減らすことで、単位時間あたりの感染を生み出す接触の平均 β を減らすことができる。また感染個体をできるだけ早く発見し、隔離/治療/殺処分(動物の場合によくある) することで、感染性期間の平均 τ を減らすことができる。」 [Wikipedia]

2.2. SIR モデルのソース項における外出制限, ワクチン接種割合の考え方

人と人の接触を強制的に減らすために外出を制限したり, ワクチンを接種すると感染は減少する. 外出制限割合 c , ワクチン接種割合 v としたとき, SIR モデルではどう表されるか?

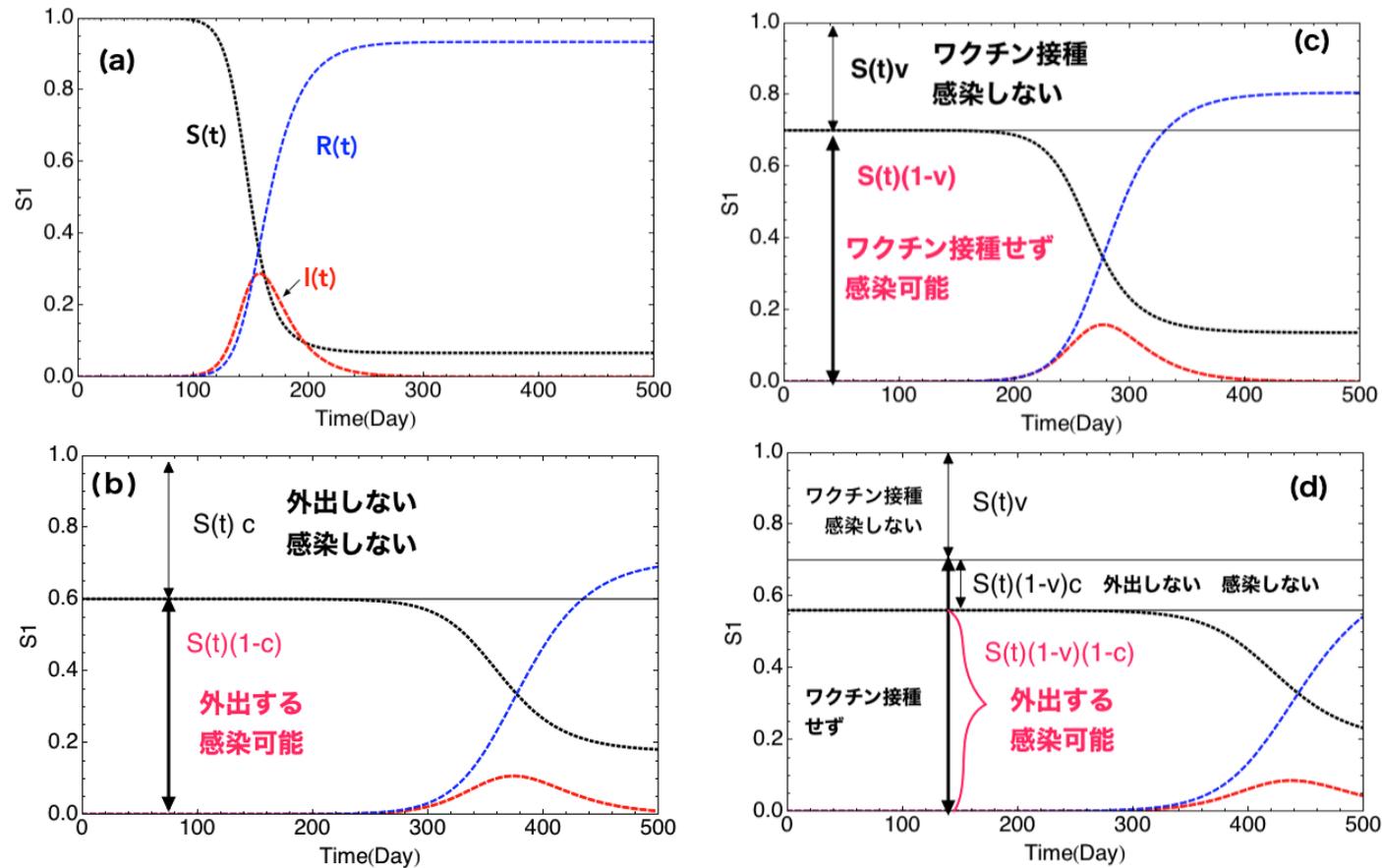


図4 SIR 曲線図においての外出制限, ワクチン接種の考え方.

- (a) 外出制限なし $c=0$, ワクチン接種なし $v=0$ (b) 外出制限のみ $c=0.4$
(c) ワクチン接種のみ $v=0.3$ (d) ワクチン接種と外出制限 $v=0.3, c=0.2$

2.3. ワクチン接種, 外出制限, 隔離時間の3つのケースを取り扱える SIR モデル.

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\beta S(t)(1-v)(1-c)I(t) & (3-1) \\ \frac{dI}{dt} = \beta S(t)(1-v)(1-c)I(t) - \frac{I(t)}{\tau(1-q)} & (3-2) \\ \frac{dR}{dt} = \frac{I(t)}{\tau(1-q)} & (3-3) \end{cases}$$

実効再生産数：基本再生産数を $R_o = \beta S(t)\tau$ とおくと $R_{oeff} = R_o(1-c)(1-v)(1-q)$ の美しい式になる.

これより外出制限項(1-c)と隔離時間項(1-q)は等価であり, 外出制限を課さなくても隔離時間制御によって実効再生産数を減らせることがわかる. 即ち, 自由に外出できることを”経済”とすれば, 隔離時間を短くすることで, 経済と感染症対策の両立が可能であることがわかる.

$$R_{oeff} = \frac{\beta \left\{ \frac{S(t)(1-V \cdot V_e)}{\text{ワクチン接種後の健康な人の外出割合}} \left(1 - (c_{out} + c_{prot}) \right) \right\} \tau (1-q)}{\text{ウイルスそのものによって決まる}}$$

ワクチンを接種した人の割合 × 感染予防率
 外出制限割合 (経済に直結) + 感染防止策 (マスク + 距離 + 換気)
 検査によって感染者を特定し隔離するまでの時間

感染症対策の4要素

ロックダウンをしなくても,
検査で感染者を特定し
短時間に隔離できれば
コロナは終息できる.

3. SIR モデルの東京への適用

東京都人口 ~1400 万人 人口密度の大きい東京を選んだ.

3.1. 第 1 波 (緊急事態宣言近く, 約 50 日まで) の計算

回復時間 : 累計感染者数と累計回復者数+死亡者数の時間差 $\rightarrow \tau=17.54$ days

3 月 1 日の初期の感染者を 1 人として 49 日目の感染者数に fitting させる.

$\beta=0.1653, \gamma =1/17.54=0.057, R_0=2.9$ が得られる. (中国等の研究では $R_0=2.5\sim 3$)

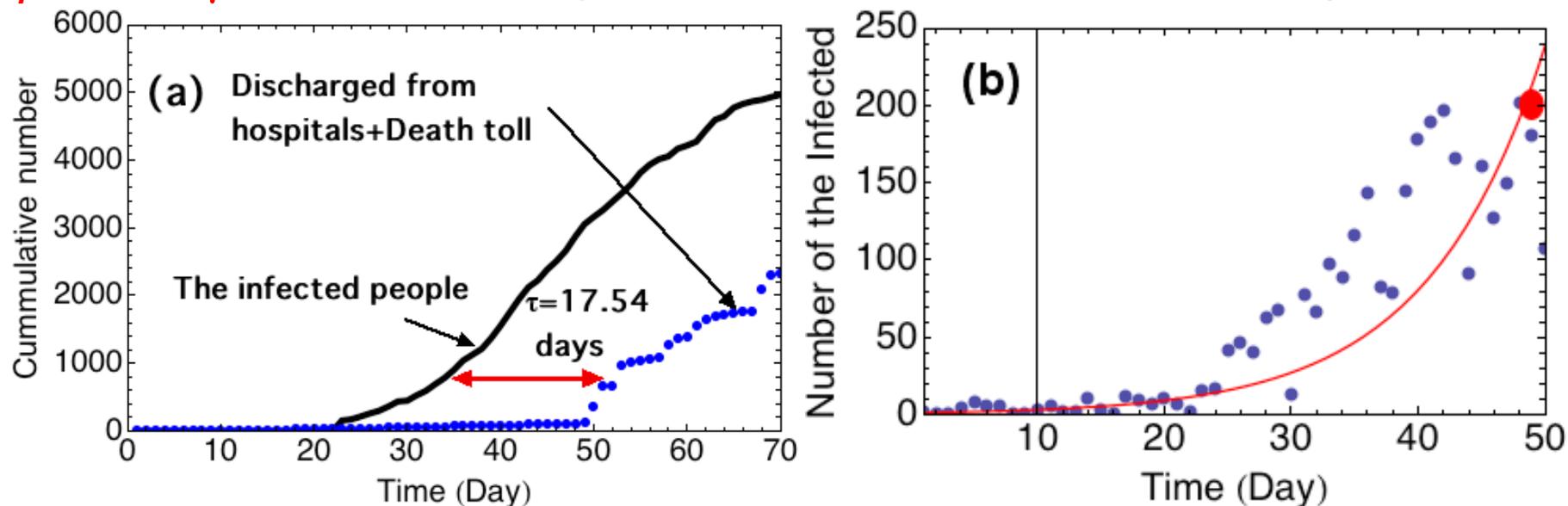


図 3 (a) 累積感染者数(黒)と退院と死亡者数の和の累積数(青)

(b) 東京の感染者数(青点)と SIR モデルで算出した単純当てはめ曲線(赤)

3.2. 第1波の外出制限と隔離時間制御効果の比較 $R_{\text{eff}} = R_o(1-c)(1-q)$

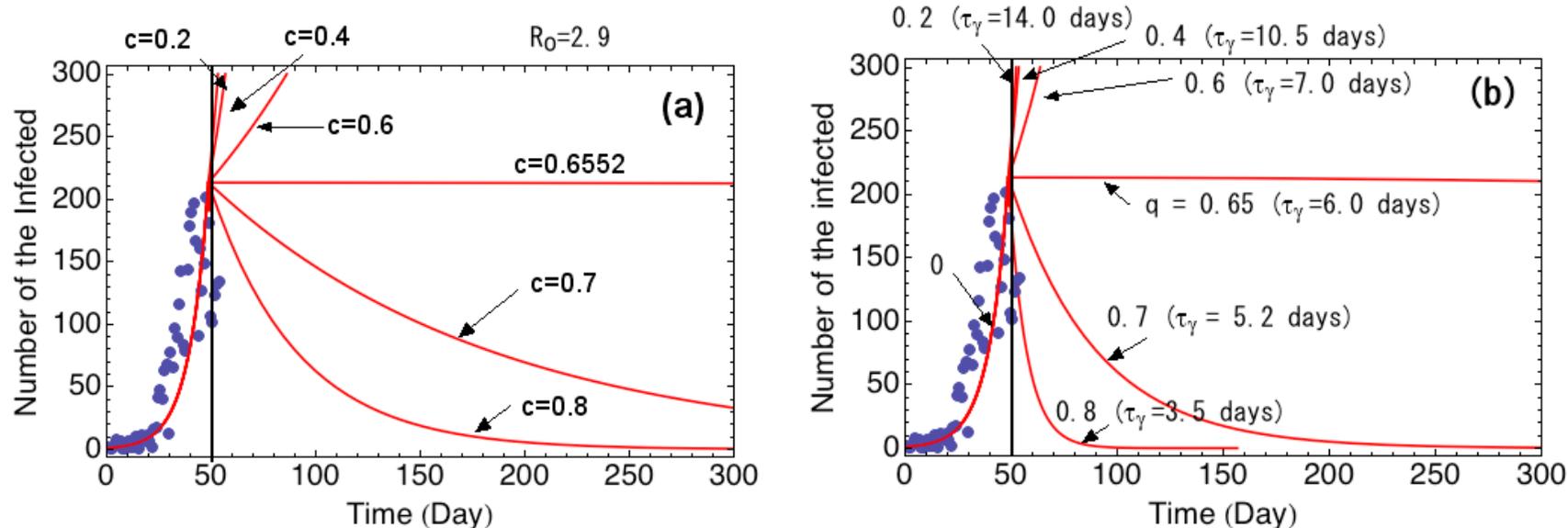


図5 (a) 外出制限のみを行った場合 ($v=0$)
全フェーズで $\gamma = 0.057$, $R_o = 2.9$ を使用

(b) 隔離時間制御のみを行った場合 ($c=0, v=0$)

<https://www.notebookarchive.org/2021-01-39nzsnp/>

- 外出制限を $c=0.6552$ に設定すると感染者数は一定
- 外出制限を $c=0.8$ に設定するとゆっくりと減少
大きく減少させるには2~3ヶ月はかかる。

- 隔離時間が6日と長い場合は感染者数は一定である。
- 隔離時間を3.5日と短くすると急速に感染者が減少する。

**$c=0.7$ と $q=0.7$ は同じ実効再生産数を与えるが、 $q=0.7$ の方が減少は速い。
”ソース項を小さくするより、ダンピング項を大きくする方が減少は速い”**

3.3. 東京都第1波の減衰後と第2波の増大フェーズ：

- (a) 非常事態宣言が出された後11日経ってから感染者数が減少に転じた。
- (b) 感染者数と退院者+死亡者数から求めた回復時間が $\tau = 11.1$ daysと短くなった。
以後、隔離率を $\gamma = 1/11.1 = 0.09$ に設定した。

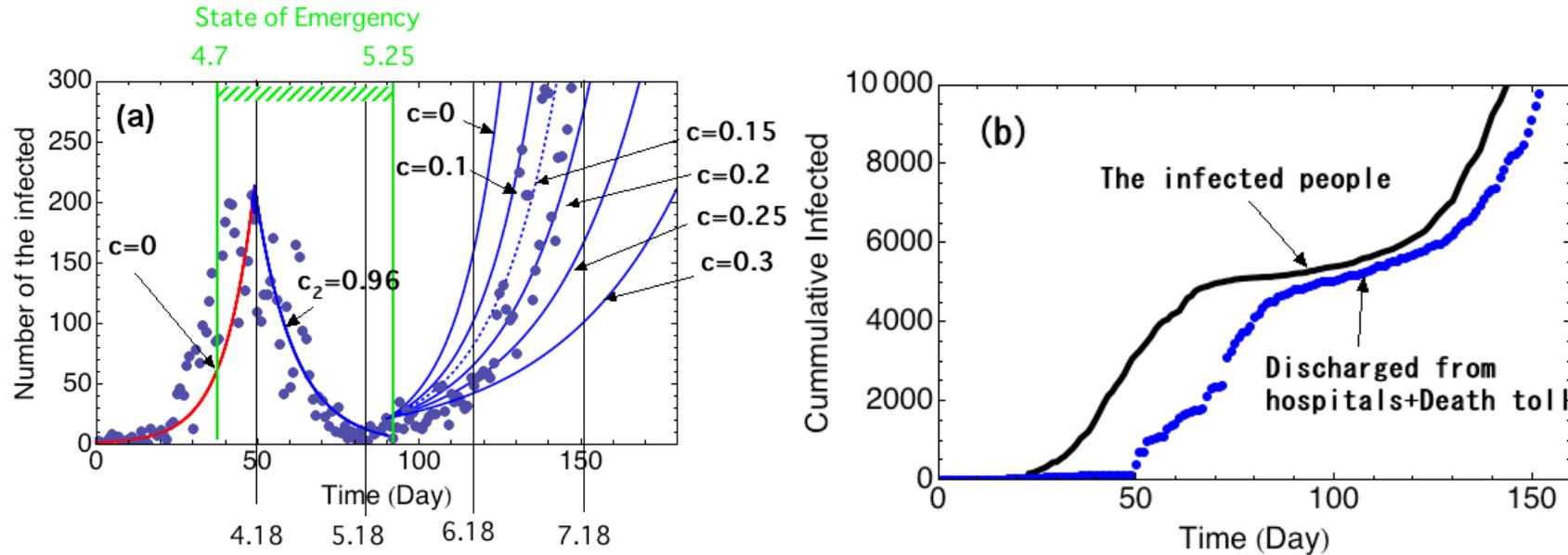


図6 (a) 赤線： $\gamma = 0.057$, $R_0=2.9$, 青線： $\gamma = 0.09$, $R_0=1.83$

外出制限が緩和されると感染者数は徐々に増加。この頃には新しい生活様式（マスク，手洗い，社会的距離等）が身についてきたので，その効果を外出制限割合で等価的に表すとすれば約 $c=0.1\sim 0.3$ 位になる。

外出制限の解除後感染者数が徐々に増加するという事は，新しい生活様式だけでは終息できないことを意味している。

3. 4. 東京第 3 波の解析

3. 4. 1. 緊急事態宣言（外出制限）の効果： 2020 年 10 月 1 日を初期値 120 人とし計算

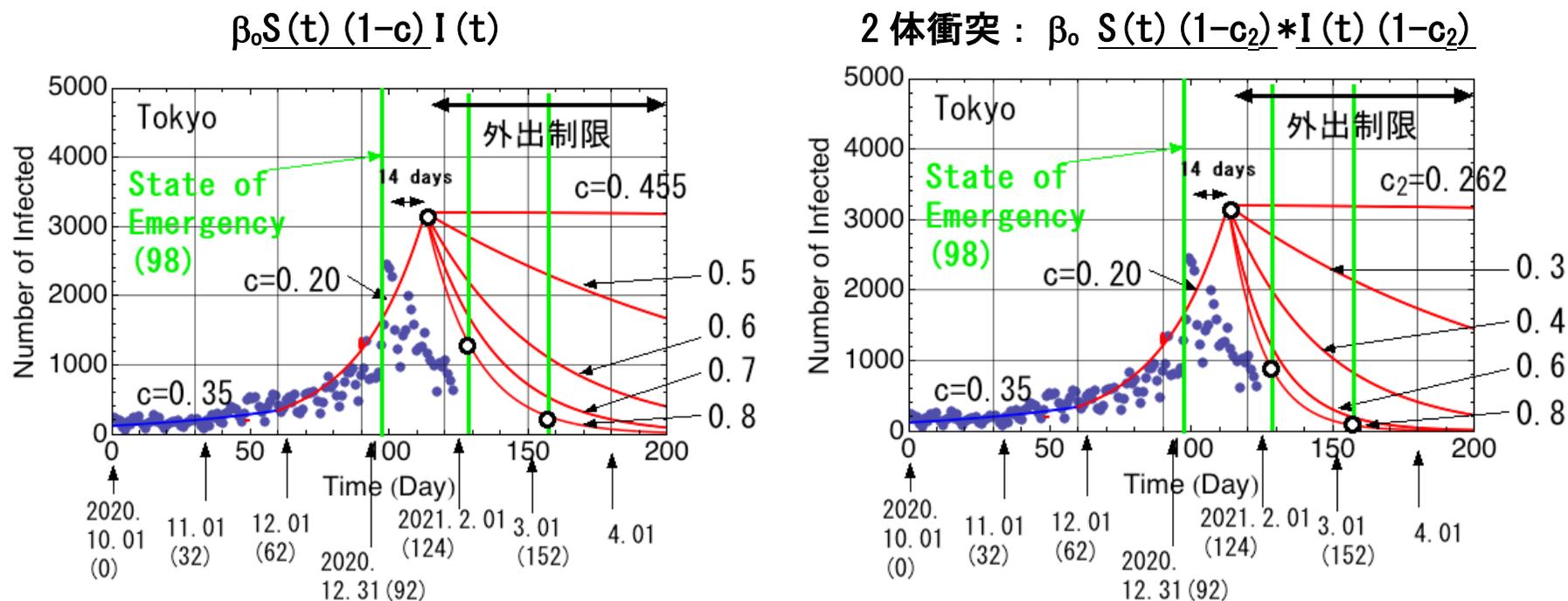


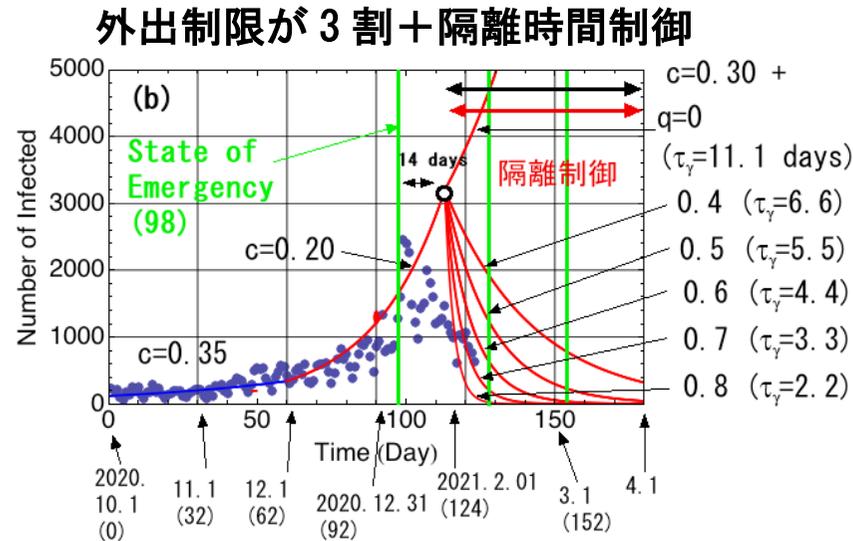
図 7 外出制限の式に (a) $(1-c)$ を用いた場合 , (b) $(1-c_2)^2$ を用いた場合
隔離制御なし

以下では対策する側から見て安全側にある, $\beta_0 S(t) (1-c) I(t)$ を用いている.

マスク, 手洗い, 社会的距離等の効果を外出制限割合で等価的に表すとすれば約 $c=0.35$ 位になる.

3.4.2. 緊急事態宣言（外出制限）と隔離制御のシナジー効果：

●外出制限と隔離制御を同時に行うと終息時期を早めることができる。



●外出制限割合を 3 割まで緩めて（新しい生活様式）

隔離を 3.3 日で行えば一ヶ月で終息

=>3 日で隔離するにはどの程度の頻度で PCR 等の検査を行えば良いか？

●ここでは 2 週間の間に単調に増大すると仮定したが、実際の感染者のデータでは、緊急事態宣言から最初急激に増加しそれから減少に転じている。

一>感染者数の減少の原因は、PCR 検査を多くの人を受けて、陽性となった人は病院、療養施設あるいは自宅にと結果的に隔離されて起きた”自己隔離現象”ではないか？

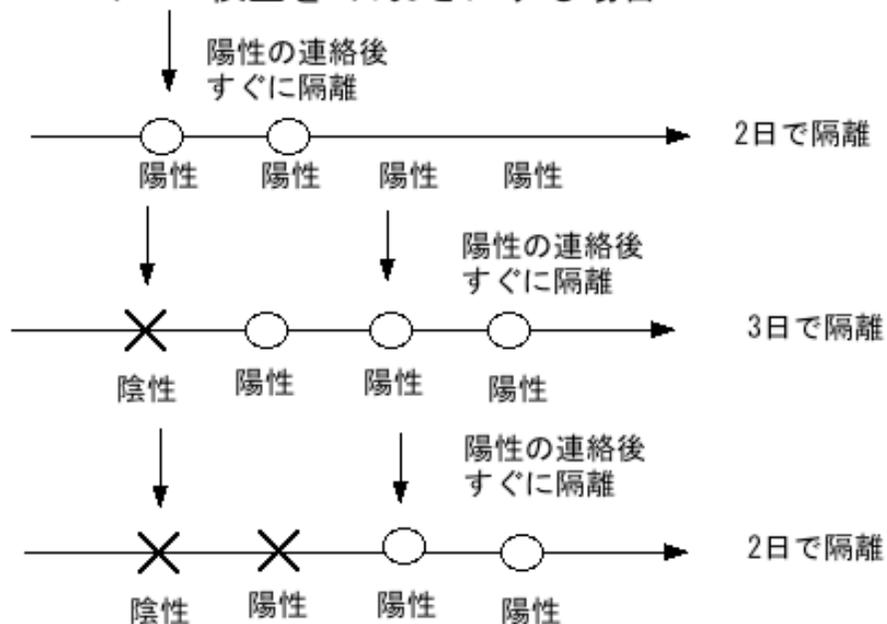
一>PCR 検査数自体を増加させると、自然に隔離現象がおきて感染者数が減少するのではないか？

4. ワクチンがないときの PCR 検査の頻度

- ワクチンがまだ存在しない場合，感染性が出てから 3 日程度で隔離を行えば感染症を終息できるので，これを目安に検査の頻度を知ることができる。
- 今までの感染症では発症してから感染性を有した。一方，COVID-19 は発症する 2～3 日前から感染性を有しているので，3 日程度で隔離を行うためには症状のない**無症状感染者の特定が重要**。

[a] PCR検査結果が1日後にわかる場合：

——>PCR検査を1日おきにする場合



[b] PCR検査結果が15分後に後にわかる場合：

——>PCR検査を2日おきにする場合

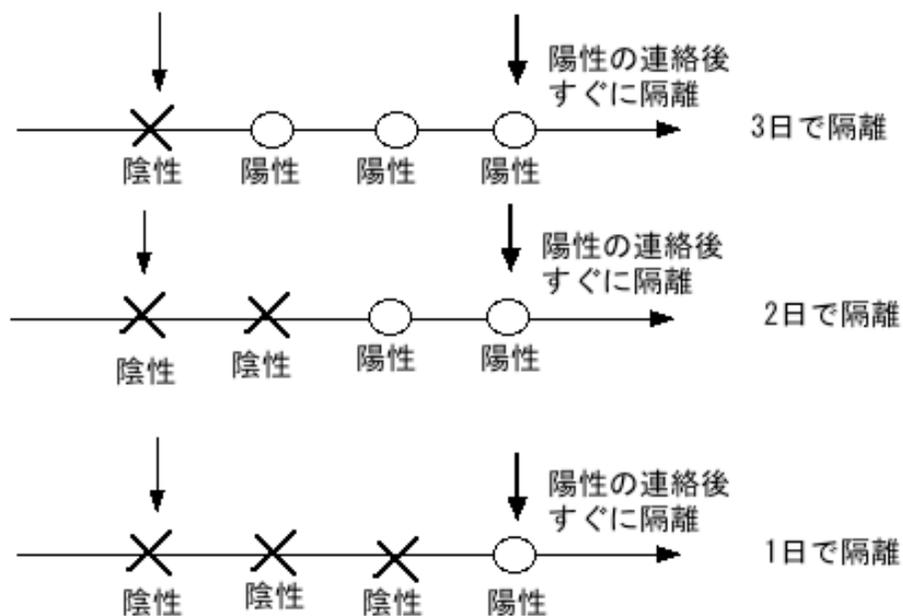


図 10 隔離時間から要請される PCR 検査頻度

5. SEIR モデルへの拡張

感染者は感染した日から潜伏期間をへて感染性を持つ。その時間遅れ効果を、感染したが感染性をまだ持たない人（感染暴露者）E（Exposed）が感染性を待つ時間 τ_d によって表す。

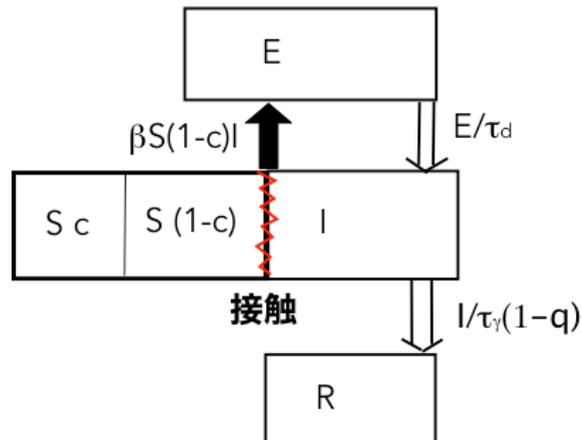
$$\frac{dS}{dt} = -\beta S(t)(1-c)(1-v)I(t) \quad (5-1)$$

$$\frac{dE}{dt} = \beta S(t)(1-c)(1-v)I(t) - \frac{E(t)}{\tau_d} \quad (5-2)$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{E(t)}{\tau_d} - \frac{I(t)}{\tau(1-q)} \quad (5-2)$$

$$\frac{dR}{dt} = \frac{I(t)}{\tau(1-q)} \quad (5-3)$$

感染性が出てくる時間はほぼ5~6日なので、 $\tau_d=5$ とおく。



SEIR モデルの図式理解

(E は reservoir, E/τ_d , I/τ は蛇口)

蛇口を開ければ感染者は減る(流体力学).

SEIR の微分方程式の挙動は電気回路理論とのアナロジーで理解できる。インダクタンスと抵抗を持つ回路に電圧を印加する場合、

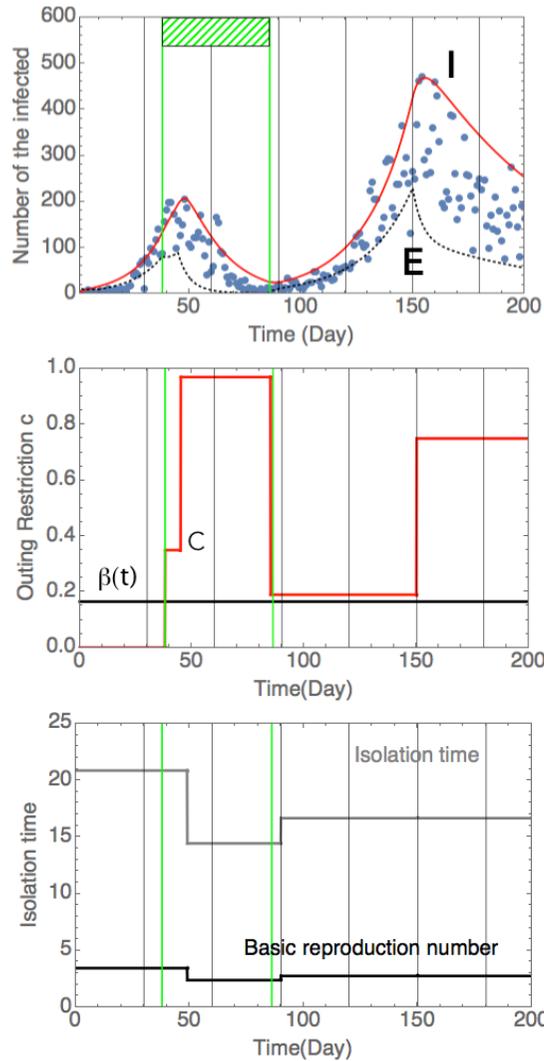
$$L \frac{dI}{dt} + RI = V(t) \quad \rightarrow \quad \frac{dI}{dt} = V(t) - \frac{I}{\tau_d} \quad \text{ただし時定数 } \tau_d = \frac{L}{R}$$

遅れ時間を表す時定数 τ_d があるので大きな電圧 V を印加しても電流 I は直ぐには大きくなり増加するのが遅れる。これを(3-2)式に適用して考えると、時定数を考慮していない場合に比して同じ波形を得るには第1項の外力項を大きく変化させなければいけない

また、(3-3)式に適用して考えると、時定数 τ_d が短ければ電流 I は直ぐに減衰する。これは隔離時間が短ければ直ぐに感染者数 I が減少することと同じである。

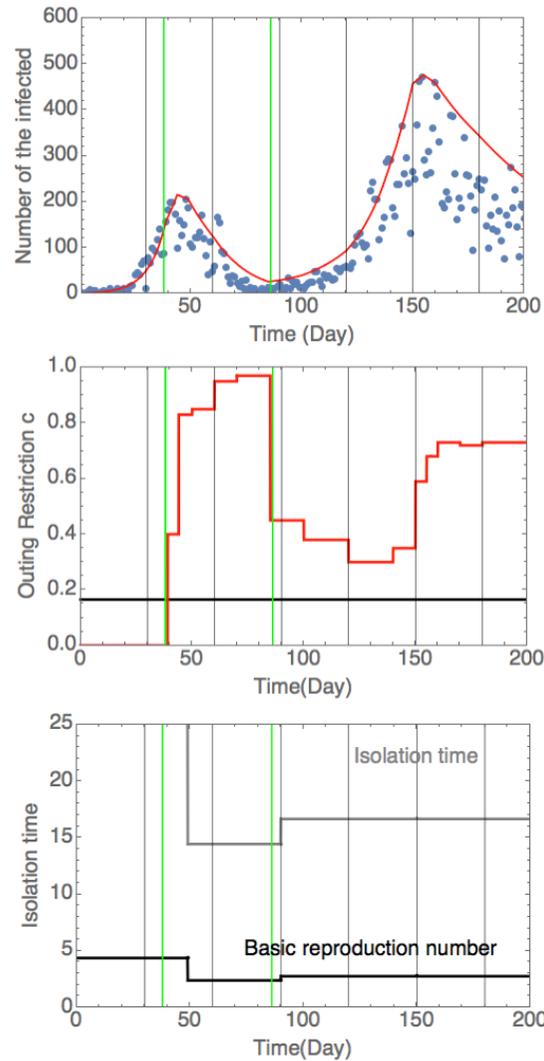
5.1. 第1・2波での比較 (2020.3.1~9末)

SEIR モデル



$$(1-c)^{-1}$$

SIR モデル



COVID-19 の解析は多くは SEIR モデルで行われている。

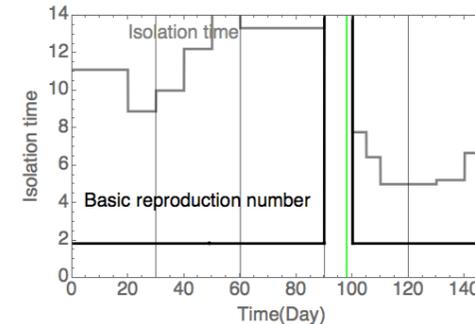
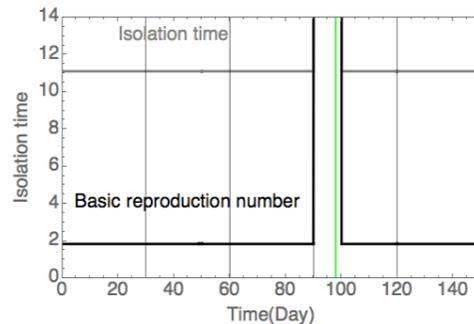
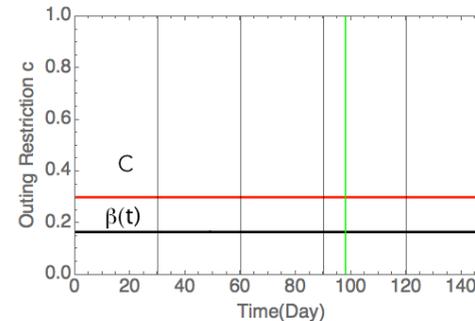
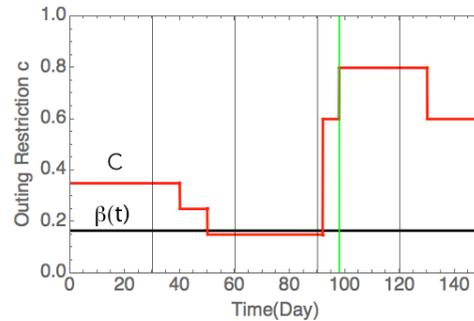
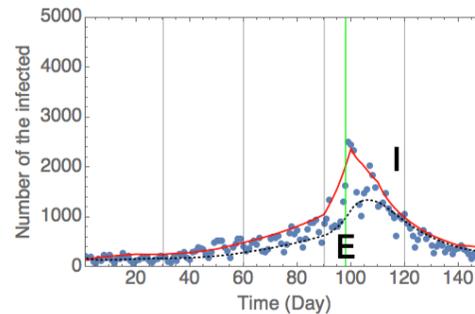
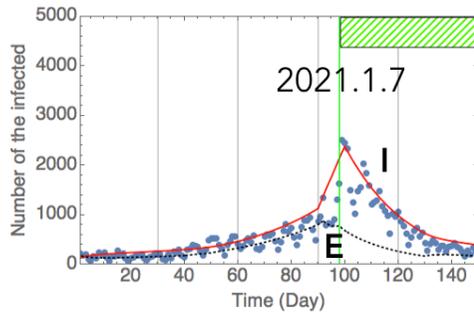
●フェーズごとに分けて Fitting したこれまでの解析とは異なり、日毎にデータを入れて Fitting させた。

ここでは SIR モデルとの違いを調べた。

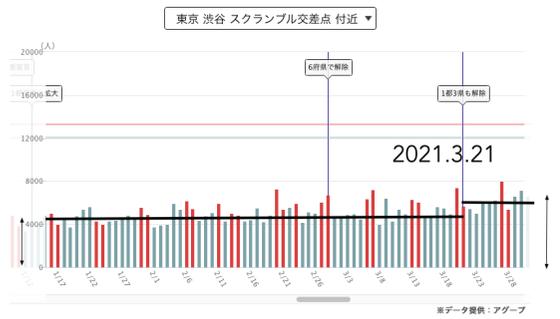
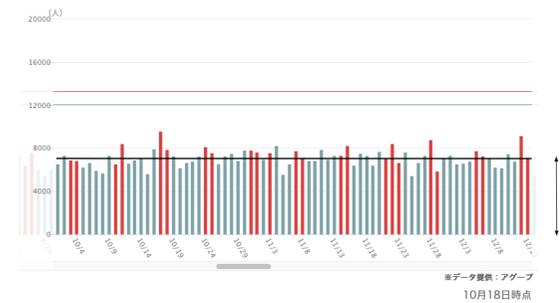
●同じ波形を得るには SEIR モデルでは第 1 項の外力項(外出制限)を大きく変化させなければいけない。

-> 第 1 波の基本再生産数は大きくなる。

5.2. 第3波 (2020.10.1~2021.2末) SEIRモデル 外出制限 人流一定の場合



(1-c)^1 渋谷スクランブル交差点 人流 (by Agoop)



緊急事態宣言で人流は確かに減少しているのですが、感染者の減少は人流で説明できよう。
しかしこの減少は”自己隔離現象”による隔離時間の短縮でも説明ができる??

5.3. アルファ・デルタ変異株による基本再生産数の増加による第4・5波 (2021.3.1~)

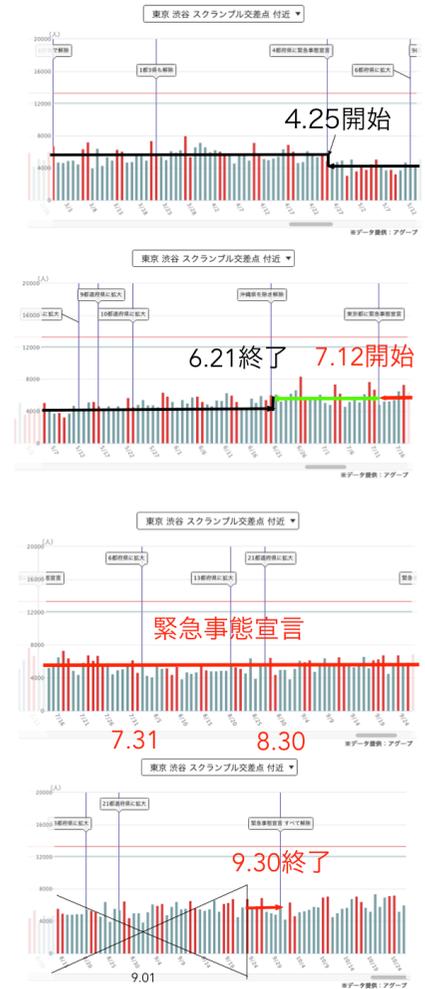
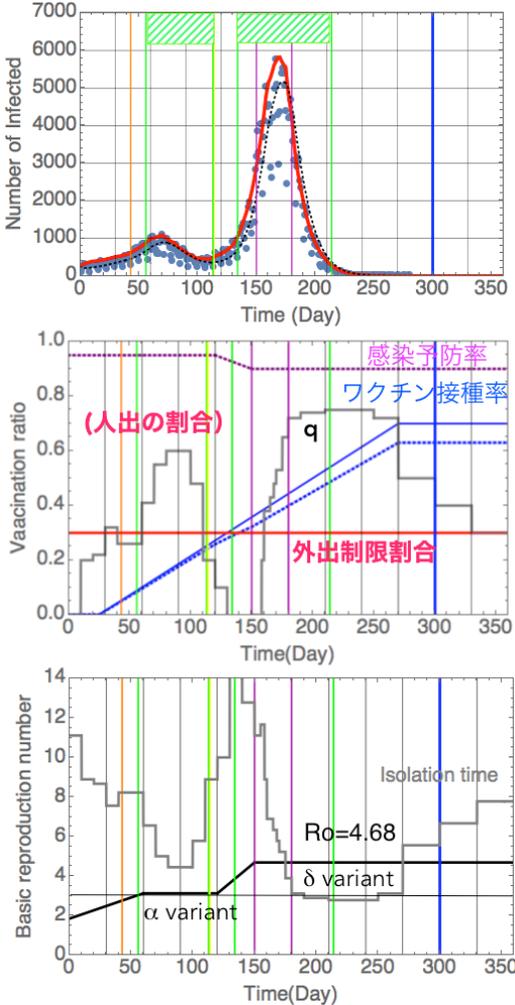
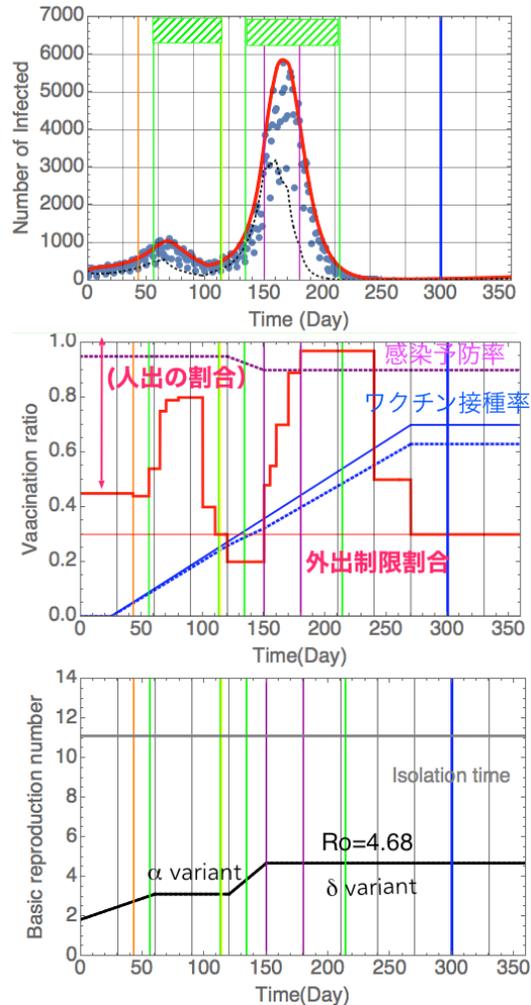
[1] 第5波の急減小の理由を探る SEIR モデル 両者ともに11月末ワクチン接種率7割を仮定

× ワクチン+外出制限

○ ワクチン+隔離時間

人流 (by Agoop)

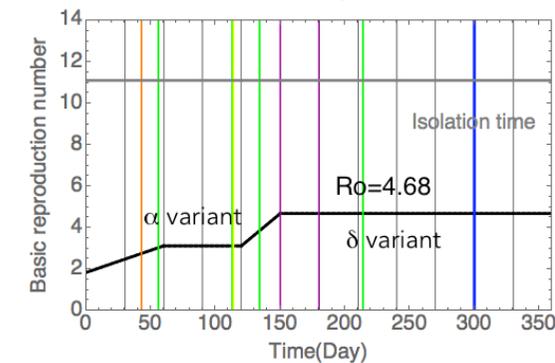
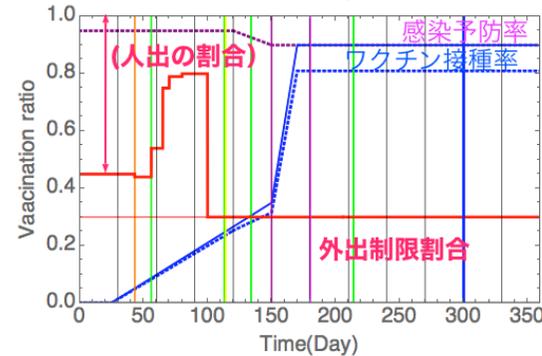
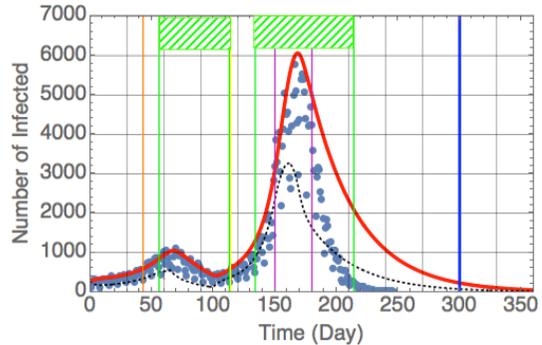
第5波は殆ど人流に変化がないにもかかわらず急速に減少。
 → 人流制御以外の対策があることを示す。
 ウイルスのコピーミスの繰り返しによる自壊作用説
 → これが本当だとしたら、何も対策する必要はないと勘違いする。



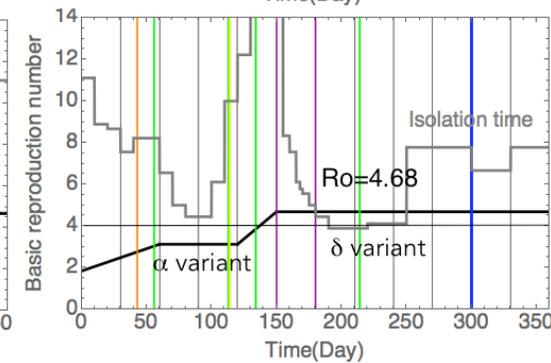
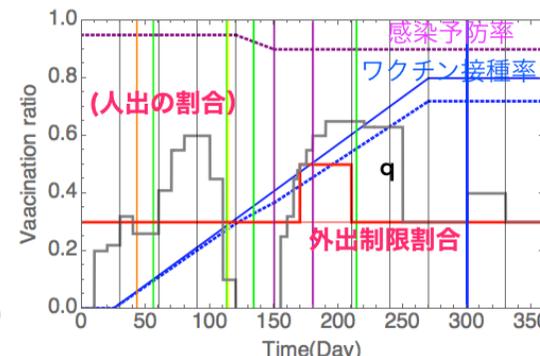
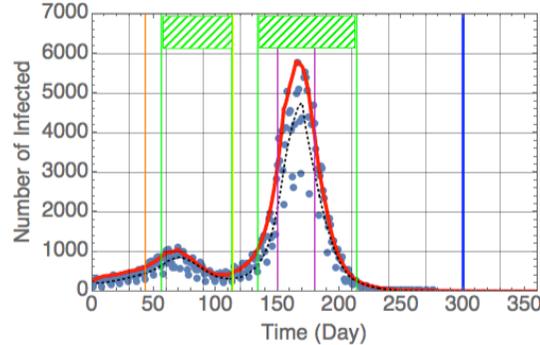
$R_0 = 1.83 \times 1.7 \text{ 倍} \times 1.5 \text{ 倍}$

隔離時間は3日

**ワクチン接種率 9 割を仮定
×ワクチンのみによる
減少ではない**



**ワクチン接種率 8 割 (現実に近い)
○ワクチン+隔離時間
+自己防衛**



隔離時間は 4 日

急減少の原因：自己(自然)隔離現象によるものと推定する.

[1] **自己(自然)隔離現象**：感染症対策の 4 要素の中のひとつ

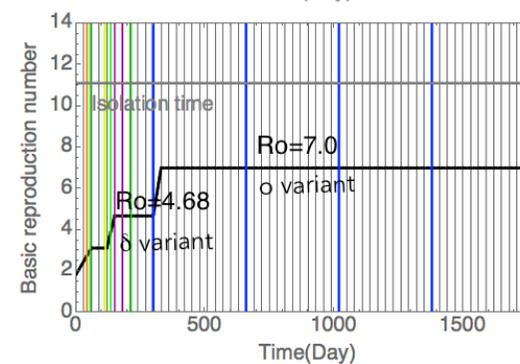
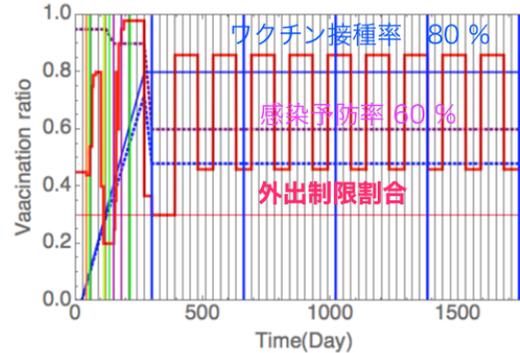
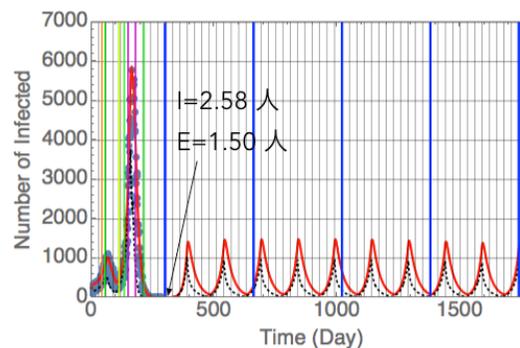
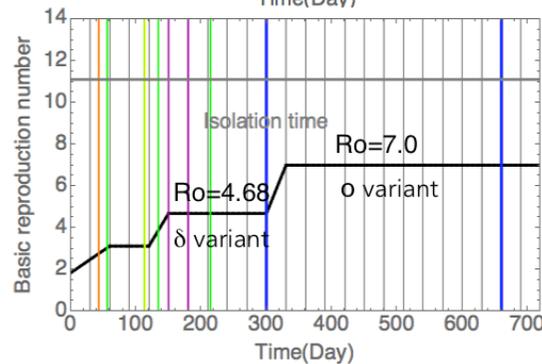
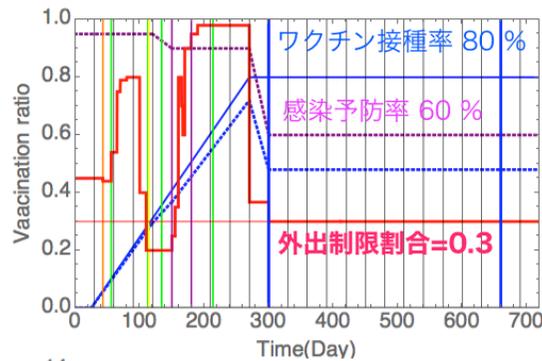
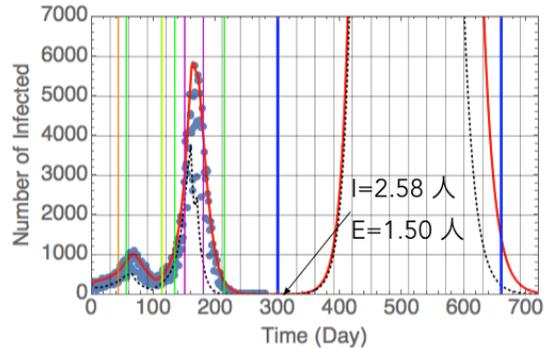
- 自分の健康状態に敏感,
- 早めの検査, 診察, 入院治療 or 自己隔離,
- 他人に感染させたくないという意識
- 家庭内感染による複数人の同時感染
- 無症状感染者の減少?
- 症状が重くなると自然におきる現象

——>現実的対策が可能.

[2] **自己防御反応**

- PCR 検査数を抑える
- 数万人の自宅療養
- 臨時の病院もないので入院先がない
- かけ声だけ
- 酸素ステーションはがら空きなのに患者を受け入れない
- 国も県も誰も助けてくれない絶望感
- 後遺症に対する心配

6.2. ワクチン接種率 $V=80\%$ で、感染予防率が $V_e=60\%$ に低下するマイルドな場合
 感染対策 : $c = 0.3$
 3ヶ月で1000人



人流制御のみで感染制御が
 できると考える場合、
 外出制限と緩和を繰り返す
 誤った対策をとる可能性が
 ある。

5年あるいは無限に外出制
 限と緩和を繰り返す必要が
 生じ、社会的犠牲をとまな
 う。

→ 人流制御のみに依存す
 る考え方を脱却する必要が
 ある。

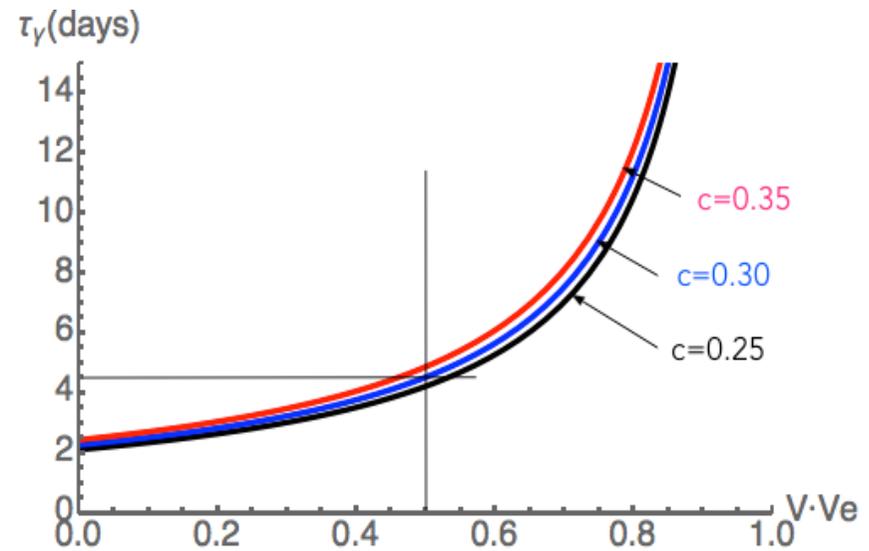
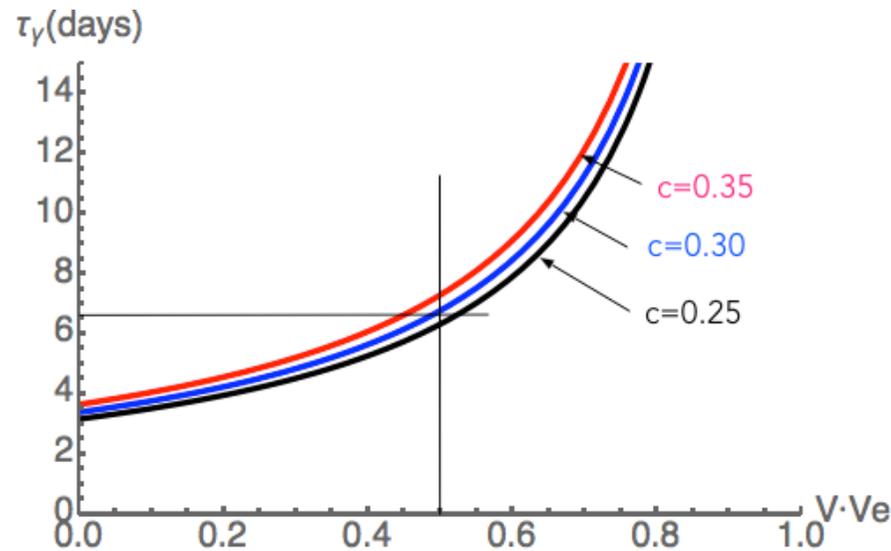
6.3. 隔離時間の評価

ワクチンの接種が行われていない場合、感染を減少させるのに必要な隔離に要する時間は2~3日であるが、ワクチン接種により条件は緩くなり隔離に要求される時間は長くてすむようになる。

$$R_{\text{eff}} = R_o (1-c)(1-v)(1-q) \leq 1 \quad \rightarrow \quad (1-q) \leq \frac{1}{R_o (1-c)(1-v)} \quad \rightarrow \quad \tau_\gamma = \tau(1-q) \leq \frac{\tau}{R_o (1-c)(1-V \cdot V_e)}$$

(デルタ株) $R_o=4.68$, $\tau=11.11$ days

(オミクロン株) $R_o=7.0$, $\tau=11.11$ days



● ワクチン接種率 $V=80\%$, 感染予防率 $V_e=60\%$ の場合 ($c=0.3, V \cdot V_e=0.48$ のとき)

隔離に要求される時間 : 6.5 日

4.4 日

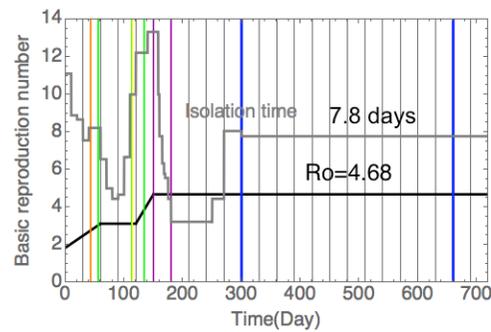
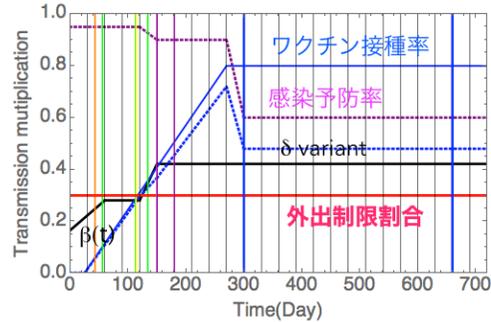
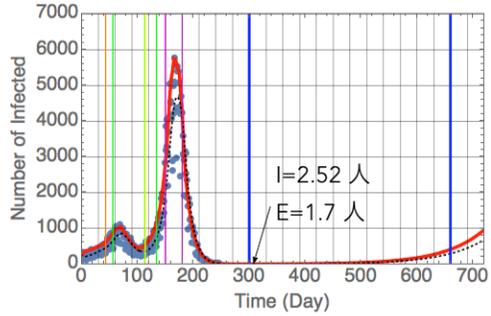
● $V \cdot V_e=0$ の時 ($c=0.3$ のとき)

隔離に要求される時間 : 3.3 日

2.26 日

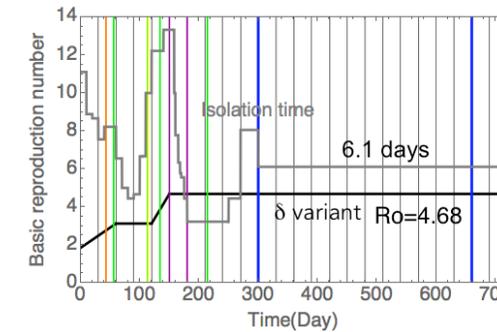
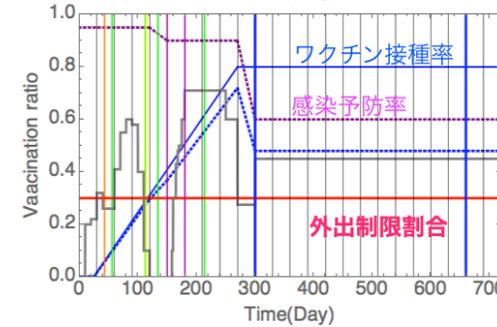
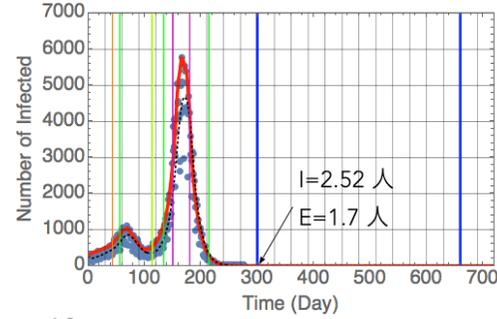
デルタ変異株の場合 ($R_0=4.68$)

$q=0.3, \tau_\gamma = 7.7777 > 6.517$



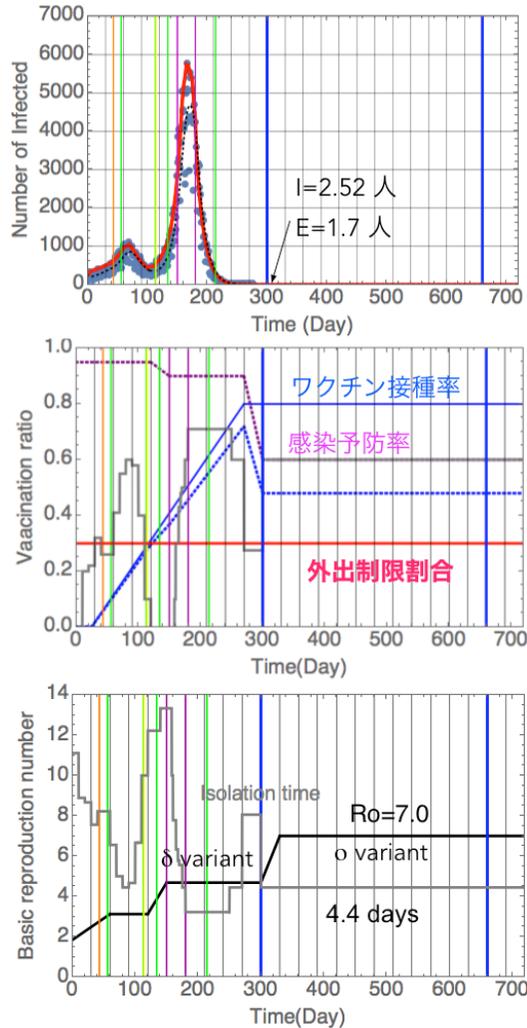
隔離時間は6日程度以内

$q=0.45, \tau_\gamma = 6.1 < 6.517$



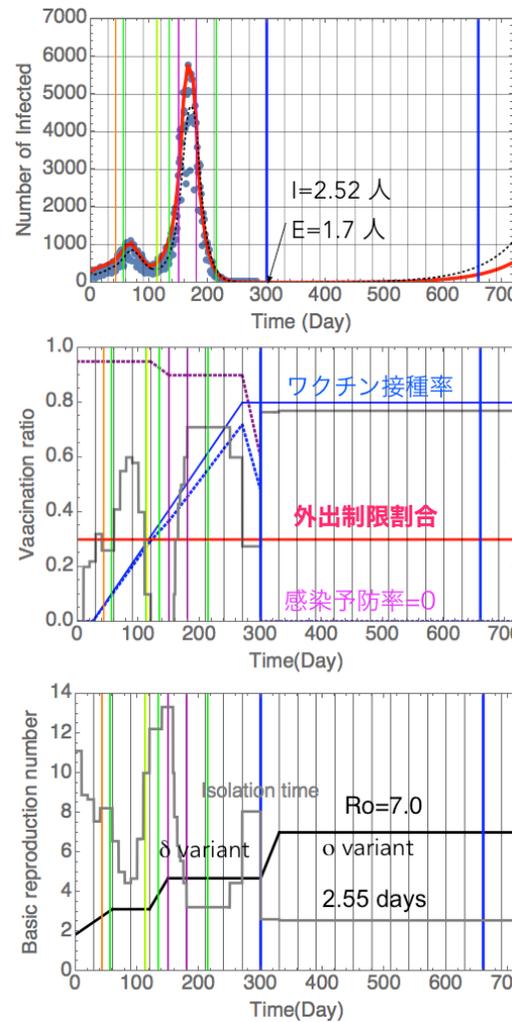
感染率(基本再生産数)が大きくなるほど必要な隔離時間は短くなるので終息が難しくなる。
 次の仮定をしたオミクロン株の場合

$R_0=7$, 感染予防率 $V_e=60\%$ の場合



隔離時間 < 4.4 日

$R_0=7$, 感染予防率 $V_e=0$ の極端な場合

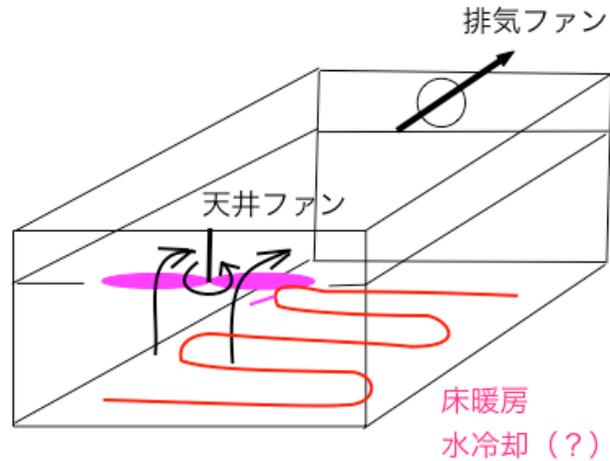


隔離時間 < 2.26 日(結構厳しい)

ワクチンの感染予防率
 の見極めが重要

7. まとめ

- [1]核融合研究の He 灰排気を表す数式と SIR モデルの隔離項の類似性に基づくと、**隔離に要する時間を短くすることで感染を抑えることができる**。この考え方は家畜の感染症対策にすでに用いられている。早期発見、早期隔離すれば感染症を終息させることが可能なことは誰でも理解できる。それをここでは理論的かつ数値計算で示した。
- [2]隔離に要する時間を短くすることは外出制限やロックダウンとは独立なので、**経済を毀損することなく感染症を終息できうる**。ワクチンは隔離に要する時間的猶予を与えてくれる。
- [3]第 1 波～第 4 波までは人流制御によって理解できた。しかし第 5 波における人流の変化が認められない状態での感染者急減少の現象はワクチンと人流制御以外にも方法があることを明らかにした。ここでは**ワクチン効果と自己隔離現象+自己防衛効果を提案する**。特に隔離現象の考え方は実効性ある感染症対策と**パンデミック終息のメカニズム**を提供する (Appendix-1)。
- [4]隔離されない無症状感染者数の割合が増えるほど平均隔離時間は長くなるので終息しにくくなる (Appendix-2)。無症状感染者の特定が非常に重要である。
- [5]核融合装置におけるエネルギー閉じ込め時間と粒子閉じ込め時間の類推から得られる対策
COVID-19 は**空気感染** (airborne transmission) で起こるとというのが今や国際的共通認識。夏と冬にはやるのは換気が悪いからである。**建物の換気方式を抜本的に改める** 時である。
冬は暖房の熱を失なうことなく換気をしなければいけない。” プラズマ核融合装置においてはエネルギー閉じ込めはよいままで、He 粒子の排気は短時間で行わなければイグニッションの維持はできない” という状況と同じである。**加熱粒子による暖房ではなく、熱伝導や輻射を利用し下から温め、上から粒子を排気する方法**が考えられる。冷房の場合は床を水冷 (?) する。感染症対策のためには電力がその分余計に必要となるかもしれない。



[6] 核融合物理の考え方や電気工学あるいは流体力学の微分方程式になじみがある学生はこの SIR あるいは SEIR モデルを簡単に理解できる。 “ソース項よりダンピング項” が重要。 研究者の社会的責任を果たすためにも、このシンプルな理論による感染症対策の考え方を広めることに協力してほしい。 核融合研究のスピノフの考え方でまず社会に貢献し、核融合研究者の存在感を示し、次に核融合炉の実現をめざそう。 この考え方は将来のパンデミック対策にも役立つからである。

Thank you

国や自治体がやるべき実効性ある対策： 国民にのみ犠牲を強いらずに、

- (1) 短時間に検査できる精度の良い検査技術の開発を支援する。幅広い検査体制の充実、グループ検査の実行、ワクチンにより検査頻度は少なくできる。無症状感染者にも無料 PCR 検査を行うことが重要である。(手当たり次第に PCR 検査をしても自己隔離現象が期待できる)。コロナ探知犬は無症状者の短時間検知も可能で、空港、集会場等で使用するとよい。
- (2) 大勢の感染者を少ない医療従事者で治療できる臨時隔離療養所を作ること。自宅療養は最悪。
- (3) 将来のパンデミックも見据えて、下水システムを用いた感染者の把握法をこれを機に確立する。感染者の多い場所を特定してその住民に健康調査をお願いし、グループ検査等で特定すれば少ない PCR 検査ですむ。(ポリオウイルスの撲滅の際に活用された方法。)

●基本的にワクチンなしでも大量検査と迅速判定による隔離時間制御で感染症は制圧できる。ワクチンがあれば時間的猶予ができる。人流制御にこり固まった考え方は国民に不幸をもたらす。

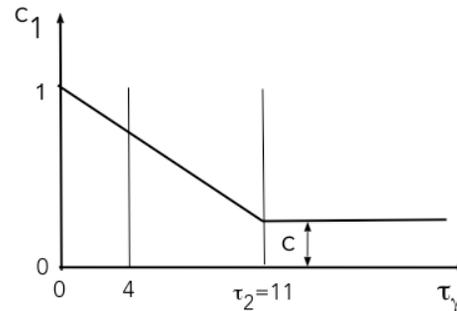
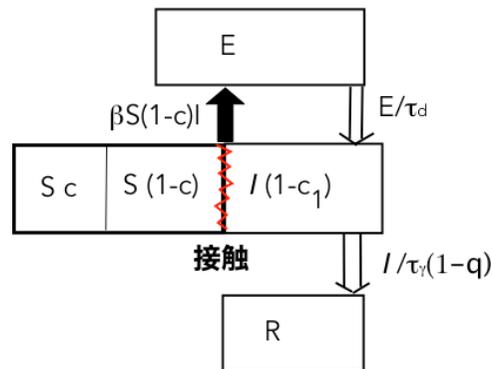
Appendix-1: パンデミック終息のメカニズム

この SIR, SEIR モデルにはパンデミックの終息するメカニズムが内在している。

感染者 I が全く外出せずに、隔離入院、自己隔離されていて他人に接触しなければ $c_1 \sim 1$ なので、ソース項 " $I(1-c_1)$ " はほぼ "0" となり、

$$\frac{dI}{dt} = \beta S(t)(1-v)(1-c) \{I(t)(1-c_1)\} - \frac{I(t)}{\tau(1-q)}$$

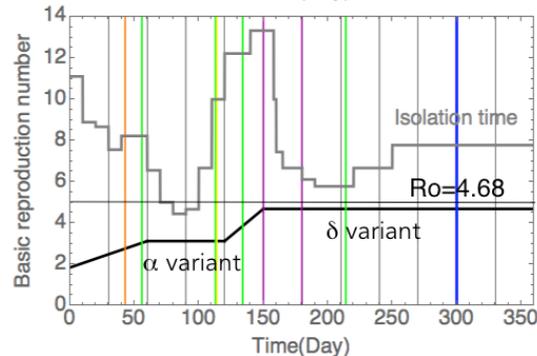
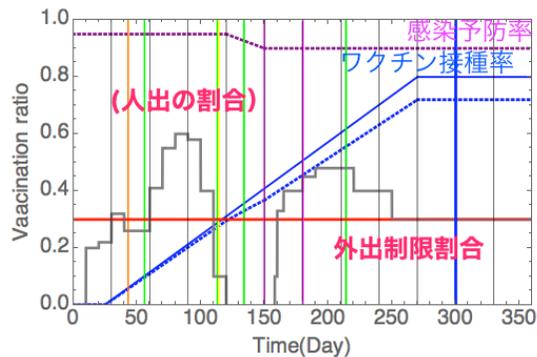
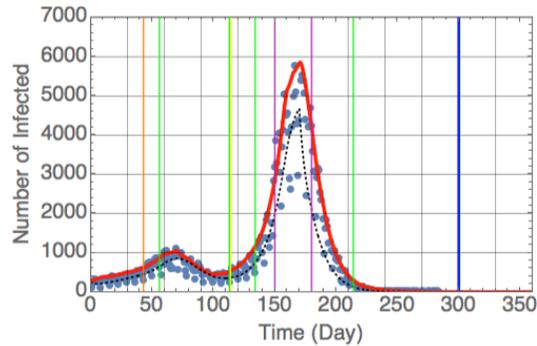
かつ減衰項(隔離項) は $-\infty$ に近くなるので、感染者 I はさらに急激に減少する。特に重症化しやすい場合はそれが顕著になるので終息は速くなる。



例えば、感染者の隔離時間が短いと出歩く感染者は減少する。感染者もマスクをしているので $(1-c)$ 、そのときの外出制限割合 c_1 を上図のように直線で仮定し、隔離時間に応じて外出制限割合がきまるとすると、

$$c_1 = 1 - \left(\frac{1-c}{\tau_2} \right) \tau_\gamma = 1 - \frac{1-c}{\tau_2} \tau_\gamma(1-q) \quad \tau_1 = 4 \text{ 日で } c_1 = 0.74$$

第5波(デルタ株)



パンデミックを終息させるには感染者あるいは感染しているかもしれない人の行動が鍵を握る。ロックダウンは感染した人も、感染していない人も区別なく外出を制限するので効率は悪い。

感染者を特定して直ぐに隔離することは、感染者との接触を断つので非常に効果的である。

ワクチンがなかった時代のスペイン風邪、SARS, MERS の終息は、重症化による隔離効果と接触防止機能という内在するメカニズムによるものと考えられる。従ってこのメカニズムを積極的に利用することでパンデミックを終息させることができると考えられる。

このシンプルな考え方をまず理解してもらうことが重要である。

隔離に要する時間が3日必要であったのが、5日以上でも良くなったのでより終息させやすくなる。

Appendix-2: 無症状感染者の影響

隔離されない無症状感染者数の割合が増えるほど平均隔離時間は長くなるので終息しにくくなる。無症状感染者が隔離されずに普通に生活して自然に治る $\tau_2=11$ 日間に感染を広げると仮定する。

有症状感染者 I_1 と無症状感染者 I_2 について SIR モデルを拡張すると

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dS}{dt} = -S(t) \beta \{I_1(t) + I_2(t)\} \quad (1) \\ \frac{dI_1}{dt} = +S(t) \beta I_1(t) - \frac{I_1(t)}{\tau_1} \quad (2) \\ \frac{dI_2}{dt} = +S(t) \beta I_2(t) - \frac{I_2(t)}{\tau_2} \quad (2') \\ \frac{dR}{dt} = \frac{I_1(t)}{\tau_1} + \frac{I_2(t)}{\tau_2} \quad (3) \end{array} \right. \quad \rightarrow \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{dS}{dt} = -S(t) \beta I(t) \quad (1) \\ \frac{dI(t)}{dt} = +S(t) \beta I(t) - \frac{I_1(t)}{\tau_1} - \frac{I_2(t)}{\tau_2} \quad (2) \\ \frac{dR}{dt} = \frac{I_1(t)}{\tau_1} + \frac{I_2(t)}{\tau_2} \quad (3) \end{array} \right.$$

(2) と (2') を足し合わせて $I_1 + I_2 = I$ において、 k を無症状感染者数の割合とすると、有症状感染者は $I_1 = (1-k)I$ ，無症状感染者数は $I_2 = kI$ で表される。(2) 式を書き直すと

$$\frac{dI(t)}{dt} = +S(t) \beta I(t) - \left\{ \frac{(1-k)}{\tau_1} + \frac{k}{\tau_2} \right\} I(t) \quad \text{第 2 項の並列回路的な平均隔離時間: } \tau = \frac{1}{\frac{(1-k)}{\tau_1} + \frac{k}{\tau_2}}$$

感染性を有してから 2 日で発症した感染者を直ぐに隔離するとき、有症状感染者の隔離時間は $\tau_1=2$ 日、無症状感染者は全く隔離されずに $\tau_2=11$ 日間で自然治癒すると仮定すると、平均隔離時間は

有症状感染者 : 無症状感染者 = 1 : 1 の場合 $k=1/(1+1)$:

$$\tau = \frac{1}{\frac{(1-k)}{\tau_1} + \frac{k}{\tau_2}} = \frac{1}{\frac{0.5}{2} + \frac{0.5}{11}} = \frac{22}{6.5} = 3.38$$

1 : 2 の場合 $k=2/(1+2)=2/3$:

$$\tau = \frac{1}{\frac{0.34}{2} + \frac{0.66}{11}} = \frac{22}{10.1} = 4.3$$

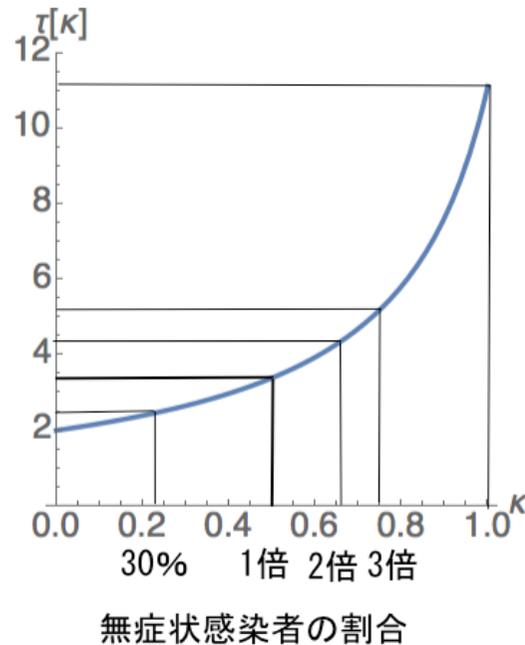
1 : 3 の場合 $k=3/(1+3)=3/4$:

$$\tau = \frac{1}{\frac{0.25}{2} + \frac{0.75}{11}} = \frac{22}{10.1} = 5.2$$

1 : 0.3 の場合 $k=0.3/1.3=0.23$:

$$\tau = \frac{1}{\frac{0.77}{2} + \frac{0.23}{11}} = \frac{22}{8.93} = 2.4$$

無症状感染者数の割合が増えるほど、平均隔離時間は長くなるので終息しにくくなる。



無症状感染者をできるだけ特定し、有症状感染者の隔離時間をできるだけ短くして全体の平均隔離時間を

6日程度内に隔離できればデルタ株の第6波は起きないことになる。

4.4日程度内に隔離できればオミクロン株の第6波は起きないことになる。