

プログラム SiR (Ver.2) 説明書

S.Yamauchi

2021 年 2 月 25 日

目次

1	理論と計算方法	2
1.1	SiR モデル	2
1.2	離散化と数値解法	3
1.3	発症間隔分布関数 $f_{\beta}(a)$ について	5
2	人為的介入	5
3	プログラムの機能	5
4	プログラムの使用法	6
4.1	メニュー	6
4.2	計算条件等の共通パラメータ入力	6
4.3	人為的介入のためのパラメータ入力	8
5	計算例	9
5.1	計算対象と条件	9
5.2	主パラメータ等の入力	10
5.3	ワンタイム介入パラメータの入力	10
5.4	シミュレーション結果	10
6	SEIR モデルとの差異について	10
7	改めて感染症対策の方針	14

改訂記録

初版 2020 年 7 月 30 日

2 版 2021 年 2 月 25 日 感染者数 (感染年齢分布) の初期条件入力方法の変更

1 理論と計算方法

別紙 [1] を合わせて参照ください。

1.1 SiR モデル

感染症伝播をシミュレーションするためのモデルとして、SIR モデル、SEIR モデル等が用いられている。その中ではある感染者が感染してから、他者へ二次感染を引き起こすまでの時間差（発症間隔）の分布には、モデルに付随した特定の仮定が盛り込まれているが、その発症間隔分布は必ずしも現実の感染症には合っていない。

このプログラムでは、ある集団の総人口 N をその対象とする感染症の免疫を持っていない人 ($S(t)$: Susceptible)、その感染症に感染して他への感染性を持っている人 ($I(t)$: Infectious)、感染後隔離されるか回復して他へ感染させたり再度感染することのない人 ($R(t)$: Recovered)、の 3 区画に区分する。さらに、感染者 $I(t)$ を感染後の時間（時間の単位として通常は日を用いる） a で区別し、感染後の時間が $a \sim a + \Delta a$ の間に含まれる人数 $\Delta I(t)$ が

$$\Delta I(t) = i(t, a) \Delta a$$

となるような関数 $i(t, a)$ を定義する。このとき、 $I(t)$ は次式である。

$$I(t) = \int_0^{\infty} i(t, a) da \quad (1)$$

感染時間 a の平均的な感染者の感染力を $f_{\beta}(a)$ 、その感染者が単位時間（1 日）に検出隔離される確率を $\gamma(a)$ とすると、 $S(t)$ 、 $i(t, a)$ 、 $R(t)$ の変化を次式で表すことができる。

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\beta_0 S(t) \int_0^{\infty} f_{\beta}(a) i(t, a) da = -\beta_0 S(t) p(t) = -B(t) \quad (2)$$

$$i(t, 0) = \beta_0 S(t) p(t) = B(t) \quad (3)$$

$$\frac{\partial i(t, a)}{\partial t} + \frac{\partial i(t, a)}{\partial a} = -\gamma(a) i(t, a) \quad (4)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = q(t) \quad (5)$$

ただし、

$$p(t) = \int_0^{\infty} f_{\beta}(a) i(t, a) da \quad (6)$$

$$q(t) = \int_0^{\infty} \gamma(a) i(t, a) da \quad (7)$$

であり、 $B(t)$ は新規感染者、 $q(t)$ は新規隔離者である。

式 (3) は単位時間の新規感染者数であり、式 (4) の $a = 0$ での境界条件となる。その β_0 は比例定数であり、

$$\int_0^{\infty} f_{\beta}(a) da = 1$$

となるように $f_{\beta}(a)$ が正規化されていれば、

$$\beta_0 = \frac{(\text{基本再生産数})}{N} \quad (8)$$

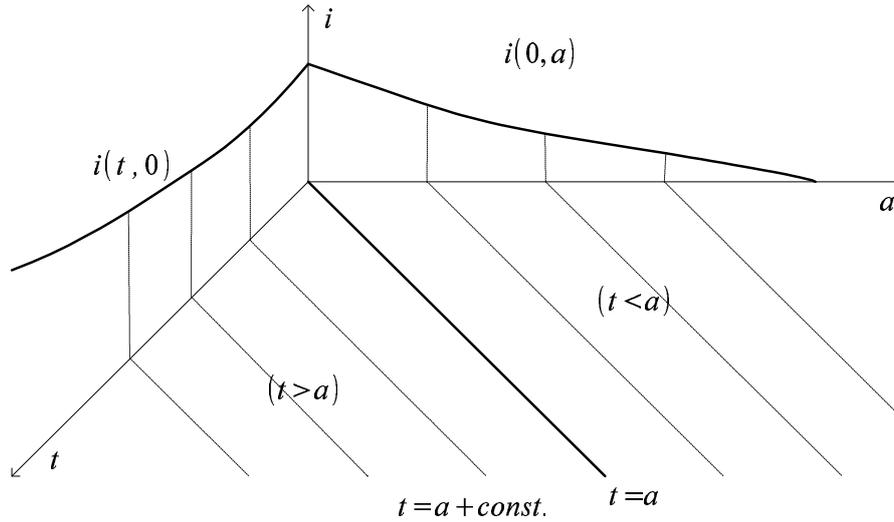


図1 特性曲線による解

として求まる。感染力分布 $f_\beta(a)$ は、二次感染の発症間隔分布そのものである。

各未知関数 $S(t), i(t, a), R(t)$ に、 $t = 0$ で適当な初期条件が与えられれば、解が確定することになる。

式 (4) の 1 階偏微分方程式には特性曲線 $t - a = \text{const.}$ が存在し、この特性曲線に沿って

$$\frac{di}{da} = -\gamma(a)i(t, a) \quad (9)$$

が成立するので、同一特性曲線上の 2 点 (t_0, a_0) 、 (t_1, a_1) 間で次式が成立する。

$$i(t_1, a_1) = i(t_0, a_0)e^{-\int_{a_0}^{a_1} \gamma(\sigma)d\sigma} = i(t_0, a_0)\frac{l(a_1)}{l(a_0)} \quad (10)$$

ただし、 $l(a)$ は

$$l(a) = e^{-\int_0^a \gamma(\sigma)d\sigma} \quad (11)$$

であり、感染者が感染後 a 時間後まで感染者として (隔離されずに) 生存できる割合を意味し、「生残率」とよばれる。プログラムでは $\gamma(a) = \text{const.} = \gamma_0$ としているので、 $l(a) = e^{-\gamma_0 a}$ である。

図 1 に示す $t - a$ 平面上で、 $t = 0$ の初期条件 $i(0, a)$ と $a = 0$ の境界条件 $i(t, 0) =$ 式 (3) が定まると、全ての点で $i(t, a)$ が求まる。

1.2 離散化と数値解法

時間 t と感染時間 a を共に $\Delta t = \Delta a$ 刻みで区切り、 $S(t), i(t, a), R(t)$ 等を離散化して $S_k, i_{k,j}, R_k$ 等と略記する。今、時刻 t_k の値 $S_k, i_{k,j}, R_k$ まで求まっているとして、時刻 t_{k+1} の値 $S_{k+1}, i_{k+1,j}, R_{k+1}$ の値を以下の方法で求める。

まず、式 (3) および (10) より

$$i_{k+1,j+1} = i_{k,j} \frac{l_{j+1}}{l_j} \quad (j = 0 \sim na - 1) \quad (12)$$

$$i_{k+1,0} = \beta_0 S_{k+1} p_{k+1} \quad (13)$$

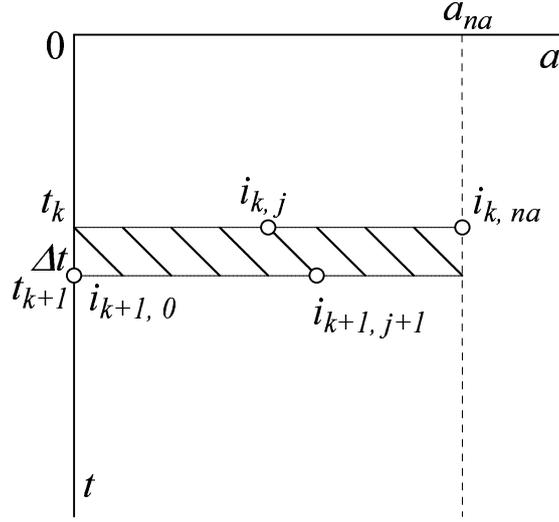


図2 特性曲線に沿う $i_{k,j}$ と $i_{k+1,j+1}$

ただし、 p_k は式 (6) を離散化した次式である。

$$p_k = \sum_{j=0}^{na} f_j i_{k,j}$$

であり、 na は $f_j \Delta a = f_\beta(a_j) \Delta a \ll \epsilon$ (微小量) となる j の値で、 a_{na} が a の上限であるとみなせるものとする。式 (5) と (7) は、

$i_{k+1,0}$ の計算に際して未知の S_{k+1} の他に、 p_{k+1} にも $i_{k+1,0}$ が必要であるが、これは、下記の S_{k+1} の計算と含めて、反復計算により求める。

式 (2) を中心差分で表して

$$\frac{S_{k+1} - S_k}{\Delta t} = -\beta_0 \frac{(S_{k+1} + p_{k+1}) + (S_k + p_k)}{2}$$

これより

$$S_{k+1} = \frac{1 - 0.5\beta_0 p_k \Delta t}{1 + 0.5\beta_0 p_{k+1} \Delta t} S_k \quad (14)$$

p_{k+1} の中に未知の $i_{k+1,0}$ が含まれているので、まず $i_{k+1,0}$ を適当に仮定して式 (13) 以下を反復計算することにより、 $i_{k+1,0}$ 、 p_{k+1} および S_{k+1} を求めることができる。新規感染者 B_{k+1} は次式である。

$$B_{k+1} = i_{k+1,0} = \frac{S_k - S_{k+1}}{\Delta t}$$

特性曲線 $t - a = C = \text{const.}$ に沿って式 (9) が成立することより、

$$\frac{dR(t)}{dt} = \int_0^\infty \gamma(a) i(t, a) da = - \int_0^\infty \left(\frac{di}{dt} \right)_C da$$

図 2 を参考にして、上式を特性曲線に沿って $t = t_k \sim t_{k+1}$ 間で積分すると、

$$R_{k+1} - R_k = \int_0^\infty (i_{k,j} - i_{k+1,j+1}) da = \sum_{j=0}^{na-1} (i_{k,j} - i_{k+1,j+1}) \Delta a$$

が得られる。この右辺は隔離により Δt 時間に市中から隔離される感染者数であるが、感染時間 a_{na} を越えて市中に残される感染者数は、 Δt 時間ごとに $i_{k,na} \Delta a$ ずつ増加していく。感染力を失ったこれらの感染者は隔離されなくても回復者に含めることにすれば、 R_{k+1} は次式で求められる。

$$R_{k+1} = R_k + \left\{ \sum_{j=0}^{na-1} (i_{k,j} - i_{k+1,j+1}) + i_{k,na} \right\} \Delta a \quad (15)$$

1.3 発症間隔分布関数 $f_\beta(a)$ について

別紙 [1] に記載しているため、ここでは割愛する。

2 人為的介入

この集団内で「社会的距離」措置などの人為的な介入を行ったとすると、それは、式 (2)、(3) の β_0 の値を減少させることに等しい。その減少率を接触減少率 ϕ として、 β_0 の代わりに次式の β_1 を用いる。

$$\beta_0 \longleftarrow \beta_1 = (1 - \phi)\beta_0 \quad (16)$$

この場合、感受性者数 S の集団で、一人の感染者から新たに感染される平均人数 (実効再生産数) は次式となる。

$$\text{実効再生産数} : R_e = \frac{\beta_1 S}{\gamma} = \frac{(1 - \phi)\beta S}{\gamma} = (1 - \phi) \frac{S}{N} R_0 \quad (17)$$

適当な「社会的距離」措置による介入 ϕ の下で、感受性者数 S が減少し、 $R_e < 1$ となれば、感染拡大が防止できる。

3 プログラムの機能

プログラムは、所定の基本再生産数 R_0 、発症間隔分布 $f_\beta(a)$ のもとで、式 (2) ~ (5) の連立微分方程式を解いて、 $S(t)$ 、 $i(t, a)$ 、 $R(t)$ の解を求め、各区分 S, I, R の人数および日々の新規感染者数 B の時間推移を画面上にグラフ表示する。集団の総数は、(1 人に比べて) 十分に大きければ影響しないが、表示の便宜上、10 万人 ($N = 100,000$) あたりの数として表示する。

計算に際して、感染の季節依存性等の特性変化は考慮せず、 R_0 、 $f_\beta(a)$ 等のパラメータは変わらないとするが、感染症拡大対策措置として下記の 2 種類の方式の人為的介入を考えて、式 (16) により β_0 を変更する。

(介入なし) 人為的介入を行わない。

(介入 1) 所定の期間だけ所定の強さの介入を数回 (5 回まで) 行う (ワンタイム介入)。

(介入 2) 感染者数 I が、あるしきい値を超えた時から別のあるしきい値に下降する時まで、所定の強さの介入を繰り返し行う (断続的介入)。

表 1 メニュー一覧

主メニュー	サブメニュー	機能
File	Print	画面の印刷
	pRinter setup	プリンタの選択・設定
	eXit	プログラムの終了
No intervention	Calculate	人為的介入なしの計算
	Main parameters	主パラメータの変更
Intervention	One-time	ワンタイム介入の計算
	Intermittent	断続的介入の計算
	Main parameters	主パラメータの変更
Scale		グラフ表示範囲の変更
Help		(なし)

4 プログラムの使用法

4.1 メニュー

プログラムのメニュー一覧を表 1 に示す。

計算に関する機能は、"No intervention" と "Intervention" の二つの主メニューの中に含まれ、"Intervention" の中に前記の 2 種類の介入がサブメニューとして含まれる。(介入なし) の場合は、"No intervention" -> "Calculate" と選択すると、結果がグラフ表示される。(介入 1) または (介入 2) の場合は、"Intervention" -> "One-time"、または "Intervention" -> "Intermittent" を選択すると、介入パラメータ変更ダイアログの後、計算結果がグラフ表示される。

再度いずれかの介入方式 (介入なしを含む) を選択すると、以前の計算結果とは関係なく、新たに計算し直す。"File" -> "Print" を選択すれば、現在のグラフ画面を標準プリンタへ再描画する。全計算結果は、当該フォルダー内に temp.dat 名のファイルに記録されている。このファイルは、次回の計算時に上書きされ、またプログラム終了時に削除されるので、必要ならファイル名を変更すれば保存できる。

"No intervention" -> "Main parameters" または "Intervention" -> "Main parameters" を選択すると、全ての計算で共通のパラメータ (発症間隔分布パラメータ、 R_0 、 T_{max} 等) を変更できる。どちらのメニューも共通パラメータのみを変更して、前回計算した介入方式で再計算する。

"Scale" メニューはグラフで表示する座標範囲を変更するのみであり、計算結果や次回の計算に影響しない (変更した表示座標範囲は有効)。また、"Help" メニューは準備されていない。

4.2 計算条件等の共通パラメータ入力

メニューの "Main parameters" を選択すると、表 2 (a) の 発症間隔分布の選択ダイアログが表示される。5 種類の分布のいずれかを選択して次へ移ると、(b) の共通パラメータ入力ダイアログが表示されるので、必要な数値を変更する。発症間隔分布の本来のパラメータは、入力した平均値と標準偏差を用いて内部で計算さ

表2 主パラメータ一覧

(a) 発症間隔分布の選択

プロンプト	分布の種類	デフォルト
Weibull	ワイブル分布	
Gamma	ガンマ分布	
Log. Normal	対数正規分布	
Exponential	指数分布 (SIR 相当分布)	
SEIR model	SEIR モデル相当分布	

(b) 共通パラメータ

入力プロンプト	パラメータの機能	許容範囲	デフォルト値	単位
R0	基本再生産数 R_0	$0 < R_0$	2.5	-
mean	分布の平均値 μ	$\mu > 0$	4.8	日
s.d.	分布の標準偏差 σ	$\sigma > 0$	2.3	日
gamma_0	隔離率 γ_0	$0 < \gamma_0 < 1$	0.0	-
T_max	計算日数 T_{\max}	$0 < T_{\max} < 10000$	200.0	日
S(0)	S の初期値 S_0	(表示のみ)	99999.0	人/100K
B(0)	B 新規感染者数の 初期値 B_0	$0 < B_0 < 1000$	0.1	人/100K
R(0)	R の初期値 R_0	$0 < R_0 < 100000$	0.0	人/100K

れる。ただし、指数分布では入力した標準偏差は無視され、SEIR モデルでは範囲外の標準偏差を指定した場合は内部で変更される。隔離率 γ_0 は検討が不十分であるので、当面は $\gamma_0 = 0.0$ とされるよう薦める。

$t = 0$ の初期条件として 1 日の新規感染者数 B_0 と回復者数 R_0 を指定する。感染者の感染年齢分布 $i_0(a)$ は計算開始以前にも同数だけ感染していたとして、一様分布 $i_0(a) = B_0$ (ただし、 $0 \leq a \leq$ 感染力継続日数) であるとする。したがって I の初期値は $I_0 = B_0 \times$ (感染力継続日数) である*1。

S の初期値 S_0 の値は、入力ダイアログに現在の設定値が表示されるだけであり、ダイアログ終了時に新たな値 $S_0 = 100000 - I_0 - R_0$ に変更する。その補正值が負となる場合は、 $S_0 \rightarrow R_0 \rightarrow I_0$ の順に、入力値または補正值を 0 に置き換えて補正する。"共通パラメータ" の枠で示すパラメータは、全ての介入方式 (介入なしも含む) に共通である。これらのパラメータには、デフォルト値として示す値がプログラム内の変数の初期値として設定してあり、必要に応じて変更すれば、プログラムを完全に終了するまで最後の変更値が有効となる。

*1 この部分は Ver. 2 でこのように変更された。

表 3 人為的介入パラメーター一覧

入力プロンプト	パラメータの機能	許容範囲	デフォルト値	単位
One-time intervention				
Redct1	1 回目接触減少率 ϕ_1	$0 < \phi_1 < 1$	0.8	–
t_srt1	1 回目介入開始日 t_{srt1}		10.0	日
t_stp1	1 回目介入終了日 t_{stp1}		70.0	日
Redct2	2 回目接触減少率 ϕ_2	$0 < \phi_2 < 1$	0.0	–
t_srt2	2 回目介入開始日 t_{srt2}		70.0	日
t_stp2	2 回目介入終了日 t_{stp2}		70.0	日
Redct3	3 回目接触減少率 ϕ_3	$0 < \phi_3 < 1$	0.0	–
t_srt3	3 回目介入開始日 t_{srt3}		70.0	日
t_stp3	3 回目介入終了日 t_{stp3}		70.0	日
Redct4	4 回目接触減少率 ϕ_4	$0 < \phi_4 < 1$	0.0	–
t_srt4	4 回目介入開始日 t_{srt4}		70.0	日
t_stp4	4 回目介入終了日 t_{stp4}		70.0	日
Redct5	5 回目接触減少率 ϕ_5	$0 < \phi_5 < 1$	0.0	–
t_srt5	5 回目介入開始日 t_{srt5}		70.0	日
t_stp5	5 回目介入終了日 t_{stp5}		70.0	日
		$0 \leq t_{srt1} < t_{stp1} \leq t_{srt2} < t_{stp2} \leq t_{srt3} < t_{stp3} \leq t_{srt4} < t_{stp4} \leq t_{srt5} < t_{stp5} \leq T_{max}$		
Intermittent intervention				
Reduction	接触減少率 ϕ	$0 < \phi < 1$	0.8	–
On_threshold	介入開始しきい値 (人数) I_{on}	$I_{off} < I_{on} < 100000$	350.0	人/100K
Off_threshold	介入終了しきい値 (人数) I_{off}	$0 < I_{off} < I_{on}$	50.0	人/100K

4.3 人為的介入のためのパラメータ入力

メニューの "Intervention" -> "One-time" または "Intervention" -> "Intermittent" を選ぶと、表 3 の人為的介入パラメータの入力ダイアログが表示される。これらの入力値はその介入方式に対してのみ有効であり、他の介入方式で計算を行っても、元の値が残っている。

"One-time intervention" 内の 介入開始/終了日 (t_{srt1}, t_{stp1}) 、 (t_{srt2}, t_{stp2}) 、 (t_{srt3}, t_{stp3}) 、 (t_{srt4}, t_{stp4}) 、 (t_{srt5}, t_{stp5}) はこの順に実施されると想定し、連続してもよいが重複は不可とする。介入を指定していない期間では、何の介入も無い ($\phi = 0$) として計算する。

いずれの場合でも、表の許容範囲列で示す範囲の値を想定している。範囲外の値を入力した場合のチェックは不十分である。

また、計算時間刻み (= 0.25 日)、最大計算ステップ (= 40000) などのパラメータは、プログラム中で固定している。

表 4 COVID-19 日本における感染拡大の経過

月日	おもな出来事	起点日よりの日数
1月16日	全国で最初の感染者	-30
2月15日	(起点日)	0
4月7日	7都府県へ緊急事態宣言発出	52
4月16日	全国へ緊急事態宣言拡大	61
5月14日	39県で緊急事態宣言を解除	89
5月21日	関西2府1県で緊急事態宣言を解除	96
5月25日	首都圏・北海道の緊急事態宣言解除	100
6月19日	都府県間自粛要請の全国解除	125
7月22日	Go To キャンペーン開始	158
7月23日	(観測値の最終日)	159
8月3日	(緊急避難対策タイムリミット)	170

5 計算例

5.1 計算対象と条件

日本全体における新型コロナウイルスの感染初期(2月15日)から今日までの、感染状況をシミュレートする(表4)。

別のプログラム RView(v.2) [2] によりこの間の実効再生産数の推移を推定した結果を表5に示す。COVID-19 ウイルスの標準的性質として、発症間隔分布が平均値 4.8 日、標準偏差 2.3 日のワイブル分布となり、基本再生産数を $R_0 = 2.5$ としている。

表 5 期間ごとの再生産数、減少率の推定結果

人口	全国 12714 万
起点日 (2/25) の市中感染者数推定	
人	10
人/100K	0.00787
実効再生産数 (減少率) $R_0 = 2.5$	
0 ~ 61 日	1.5 (0.4)
61 ~ 100 日	0.7 (0.72)
100 ~ 170 日	1.25 (0.5)
(170 日 ~)	1.0 (0.6)

この結果を本プログラム SiR に用いて感染をシミュレーションする手順を、以下に示す。

5.2 主パラメータ等の入力

メニューの "No intervention" または "Intervention" のサブメニュー "Main parameters" を選ぶと、まず 発症間隔分布の種類を選択するダイアログが表示される (図 3)。表 5 の値を求めた条件に合わせて、ワイブル分布を選ぶ。

続いて表示されるダイアログで、基本再生産数 R_0 、上記分布の平均値 mean、標準偏差 s.d、その他を入力する。この 3 パラメータも表 5 を求めた条件に合わせるべきである。それに続くパラメータは、目的に合わせて変えればよいが、日当たり隔離率 γ_0 、計算日数 T_{\max} 、市中の初期感染者数 $I(0)$ 、初期回復者数 $R(0)$ に表 5 の値を入れる。

人為的介入を選択していないので、起動時の介入なしの設定のまま計算が行われて、結果が表示される。

5.3 ワンタイム介入パラメータの入力

画面表示のグラフは無視して、メニュー "Intervention" → "One-time" を選ぶと、介入条件を入力するダイアログが表示されるので、予定した表 5 に従って入力する (図 5)。

この例では、2 月 15 日を第 0 日として、第 0 ~ 61.0 日の間 (緊急事態宣言以前) は接触減率 0.4、第 61.0 ~ 100.0 日の間 (全国緊急事態宣言発出中) は接触減少率 0.72、第 100.0 ~ 170.0 日の間 (緊急事態宣言解除後) は接触減少率 0.5、第 170.0 ~ 500.0 日の間 (第 2 波到来による自粛) は接触減少率 0.6 と入力している。

日は連続な時間の単位であり、整数を入力しても小数部を伴う実数として扱っている (第 61 日と第 62 日の間には 24 時間の空白時間が残る)。1 日の開始は、午前 0 時でも午前 9 時でも、適当に解釈すればよい。上の例では、4 回の介入の期間は途切れずに繋がっているが、介入が途中で途切れた場合は、その間は減少率 0.0 (つまり基本再生産数 R_0 を用いる) として計算する。もし期間が重複した場合は、後方の期間が削減補正される。

5.4 シミュレーション結果

以上の入力のもとで計算した結果を図 6 (a), (b) に示す。同図 (a) は元の表示から縦軸のスケールを拡大しており、(b) はさらに横軸を 500 日後まで表示したものである。青色曲線は感受性者 $R(t)$ (100,0000 人/10 万人に近い大きな値で表示範囲外)、赤色曲線は市中の感染者 $I(t)$ 、緑色曲線は回復者 $R(t)$ 、黒色曲線は日あたりの新規感染者 $B(t)$ であるが、新規感染者だけは 10 倍した数値をグラフ表示している。

第 2 波は既に始まっており、8 月 3 日 (第 170 日) の時点で第 1 波以上の感染者となっている。遅きに失しているが 170 日 時点以降、最小限の規制 (自粛要請) で減少率 0.6 として実効再生産数を 1.0 まで下げると、拡大が止まり、日あたり新規感染者、市中感染者共にほぼ一定の水準で推移する。それらが少しずつ低下するのは、市中のわずかな免疫所持者 (回復者) R のためである。

6 SEIR モデルとの差異について

これまで用いてきた SEIR モデルとの違いについて、少し検討する。

本プログラム SiR で発症間隔分布として SEIR モデル相当のものを用いて、同じ条件で計算した結果を図 7 に示す。これを先のワイブル分布を用いた図 6 (b) と比較すると、全体の形状はほぼ相似であるが、SEIR



図 3 発症間隔分布の選択

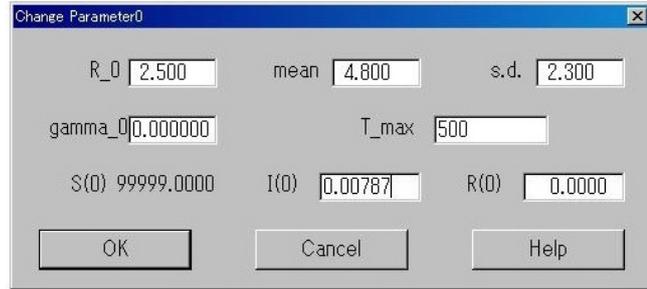


図 4 主パラメータの入力

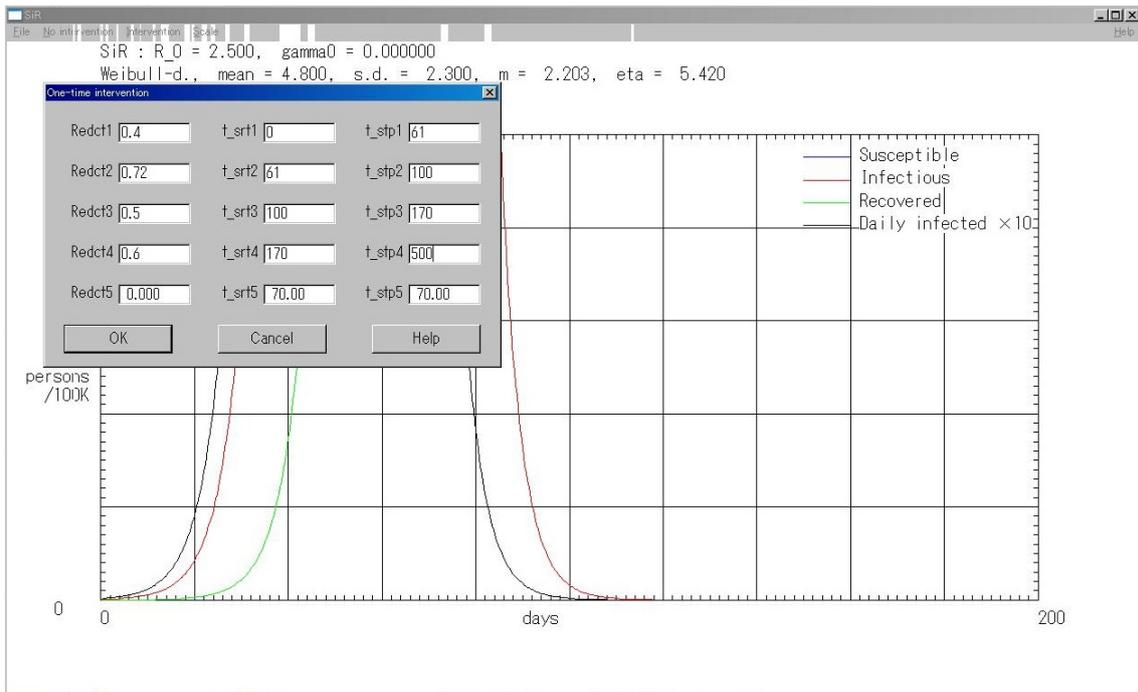
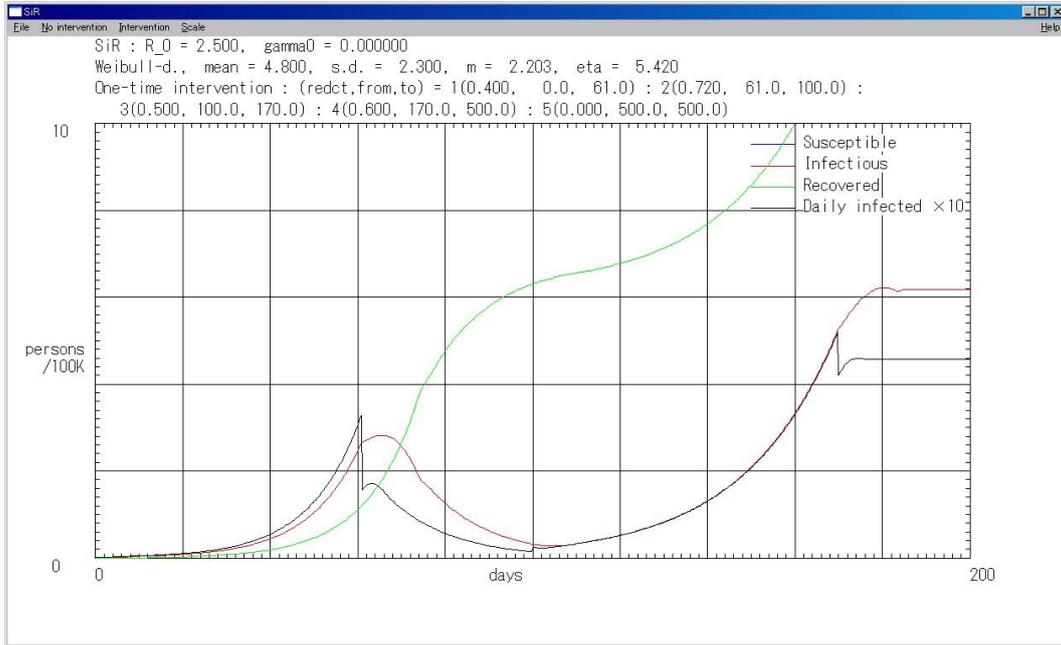


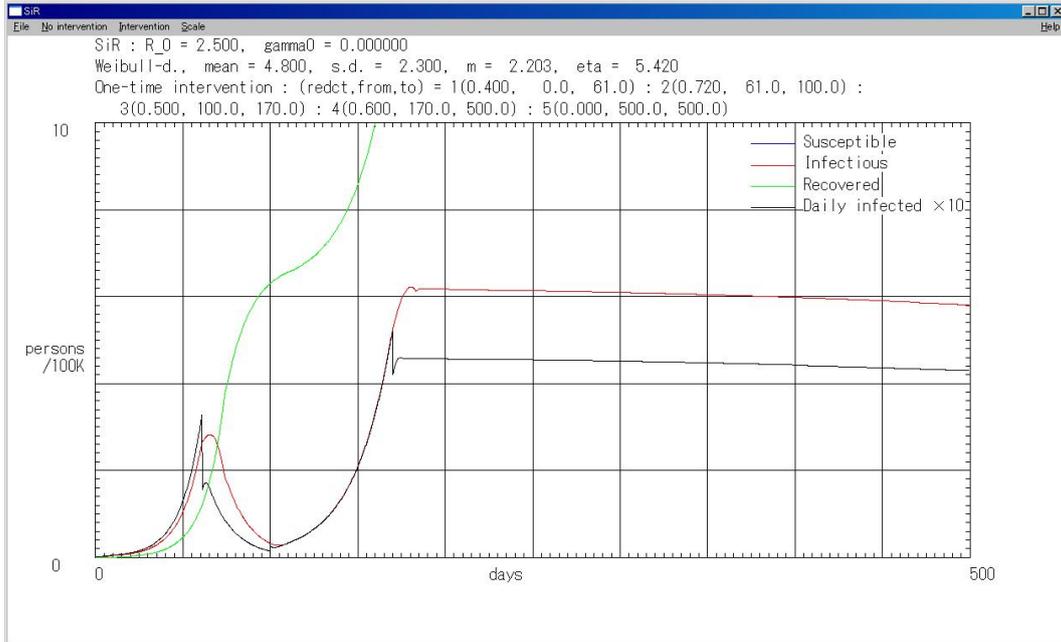
図 5 ワンタイム介入パラメータの入力

モデル相当分布の方が日あたり新規感染者数、市中感染者数、共に 1.5 倍程度に大きくなっている。SEIR モデル相当の分布では、その平均値 (4.8 日) を同じにすることはできるが、標準偏差は $\text{平均値}/\sqrt{2}$ 以下にすることができないので、この条件では本来 2.3 であったものが 3.394 となっている。このために、同じ実効再生産数でも指数増加率 (RView で説明した r) [3] が大きくなり、結果的に感染が速く拡大する結果を予測したものと考えられる。

元来の SEIR モデルのプログラム epidemic (v.3b) を用いて、同じ条件で計算した結果を図 8 に示す。図には表示されていないが、発症間隔分布の平均値 $T_E + T_I$ は同じ (4.8 日) であるが、標準偏差 $\sqrt{T_E^2 + T_I^2}$ は 3.394 である。一見してわかるように、図 7 の感染者 I (赤曲線) に比べて図 8 の潜伏者 $E(t)$ (青曲線) と感染者 I (赤曲線) を合わせた値はかなり小さくなっている。これは、本 SiR モデルの感染者は感染力の強弱に関係なくそれを有する間は感染者に区分されるのに対して、SEIR モデル (SIR モデルも同じ) では一人の感染力は一定であり、感染力を得た時点 (E から I へ移る時点) で感染者となり、感染力を失う時点 (I から R へ移る時点) で回復者となるとしているからである。であるならば、日ごとの新規感染者数 $B(t)$ (共に黒曲



(a) 200 日後まで



(b) 500 日後まで

図 6 計算結果 (ワイブル分布)

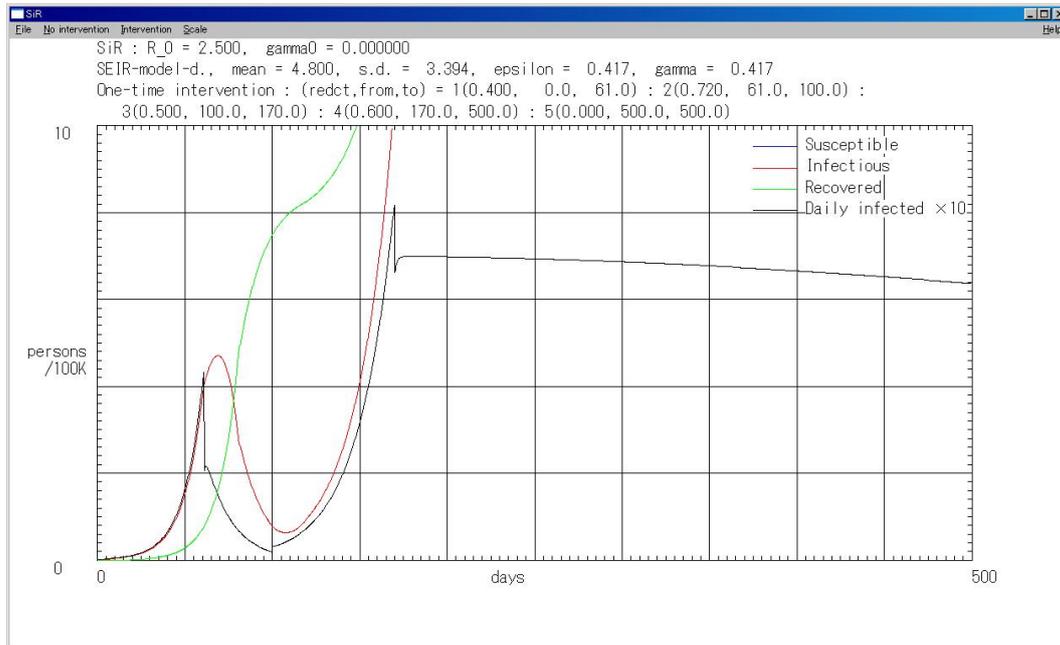


図7 SEIR モデル相当分布を用いた SiR モデルの結果 (SiR による)

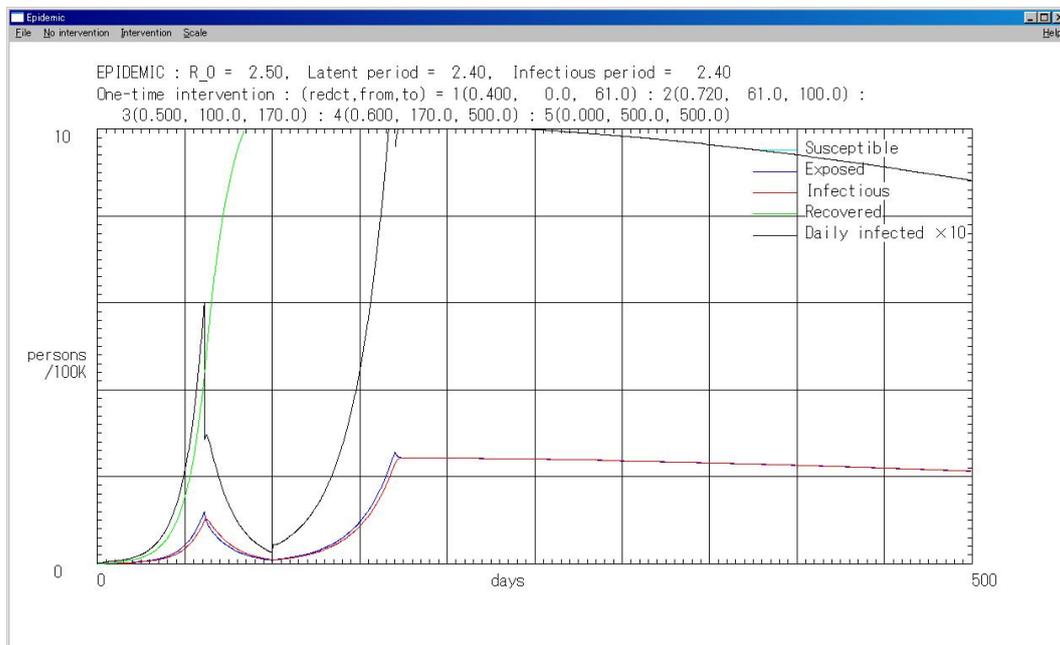


図8 SEIR モデルの結果 (epidemic v.3b による)

線) は等しくなると思われるが、図8のSEIRモデルの方が約1.5倍大きい値となっている。今のところ、この理由は良くわからない(ミスの可能性もありえる?)。

7 改めて感染症対策の方針

これまで、何度も感染症対策の方針 (考え方) を記載したが、要点だけ再度記載する。

- (1) 感染力が強く、かつ免疫が長く続かない感染症に対しては、ワクチンがない限り決定的な対策はありえない。COVID-19 とは数年間、感染症全体とはおそらく永遠につき合う必要がある。
- (2) 対策として考えられることは、ワクチンができるまでの時間稼ぎであり、実効再生産数

$$R_e = (1 - \phi) \frac{S}{N} R_0$$

を小さくして感染者 (その内の死者) を最小にすることに尽きる。

- (3) 三密回避、対人距離確保、アルコール消毒、マスク、手洗いなど、種々の対策は必要条件であるが十分条件ではない。結局、社会全体として実効再生産数が 1 以下にならない限り、感染は必ず拡大すると考えねばならない。
- (4) 医療 (生命) と経済のバランスは、経済は補償できるが生命は補償できない点で、二者対等ではない。医療の許容範囲内で経済活動を制限して実行し、制限に伴う相応の損害を十分に補償することを、政策の基本とすべきである。
- (5) 検査により感染者を早期に発見して隔離することは、その比率で感染者が減ることになるので極めて重要であり、方々から強く指摘されているとおりである。その拡充徹底が急務である。

参考文献

- [1] S.Yamauchi, "感染の発症間隔分布を考慮した SiR モデル, 2020.07.29
- [2] S.Yamauchi, "プログラム Rview 説明書 (V.2)", 2020.07.30
- [3] S.Yamauchi, "発症間隔分布に基づいた増幅率・再生産数間の関係について", 2020.07.29