

変異株を伴う感染症の SIR モデル

SIR model of an Infectious Disease with a Variant

齋藤敏之

Toshiyuki SAITO

キーワード：SIR モデル, COVID-19, 変異株

1. 序論

新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) は 2019 年 12 月以降に中国湖北省武漢市を中心に発生したと言われる。感染症は瞬く間に世界中に広まり、厚生労働省の報告によると 2021 年 8 月 31 日現在で、世界での累積感染者数は 2 億 1600 万人を超え、累積死亡者数は 450 万人を超えたと言われている。それに対し社会的には、ワクチンが開発され、感染症に対する抵抗力をつけるが、ウイルスも変異を繰り返し、2021 年 9 月現在 12 種類の変異株が WHO により確認されている^[1]。特に注目されるのがデルタ株で、感染力が強く、WHO によって「懸念すべき変異株 (VOC)」に分類されている。またミュー株によってもワクチンで得られた免疫の働きが下がるという報告があり、「注目すべき変異株 (VOI)」に分類されている。現在日本でもデルタ株が猛威を振るっており、従来型のウイルスと置き換わったとされている。そこで筆者はふと疑問に思った。「置き換わる」とはどういうことかと。そこで拙稿では、従来型ウイルスによる感染者数とデルタ株による感染者数の変化の様子を数値計算して調べてみることにした。本来 1 種類の感染症に対する SIR モデルを 2 種類に拡張し、変化の様子を調べる。合わせてワクチンによって感染を防ぐ効果も検証し、ワクチン接種をしても感染するというブレイクスル一感染に対しても SIR モデルを拡張することを試みる。

なお、拙稿では数理モデルを用いて、感染者数の変化の様子を調べるのが目的であって、一般に関心が持たれるであろう、疫学的な知見や、防疫対策等については言及しない。

2. SIR モデル

筆者は昨年 SIR モデルを用いて、クルーズ船ダイヤモンド・プリンセス号内で、2020 年 1 月末から 3 月にかけて COVID-19 が広まっていく様子について考察した^[2]。そこでは厚生労働省による発症者数データを SIR モデルによって再現できることを示した。SIR モデルは Kermack と McKendrick によって 1927 年に提唱されたモデルである^[3]。この章では SIR モデルの基本について復習する。なお従来型とデルタ株の 2 種類の COVID-19 が混在する場合への応用は次章

以下で説明する。

SIR モデルの S は感受性者 (Susceptible) で病気に感染しておらず感染する可能性のある人、I は感染者 (Infectious) で病気に感染していて感受性者に病気を移す可能性のある人、R は隔離された人 (Removed) で病院等に隔離されたり死亡した人をあらわす。このモデルでは、人々は閉じた環境内におり人の出入りはないと仮定する。また人々は均等に散らばっており、等確率で人と人が接し、その際一定の確率で病気が感染する。医療体制や感染対策等は考慮されない。日々の報道では新規感染者数が発表されているが、このモデルでの感染者数には、既に感染済みでまだ治癒していない人や、無症状病原体保有者の数も含んでいる。隔離された人については再感染を考慮せず、また治癒した人と死亡した人の区別もない。

感受性者数を S 、感染者数を I 、隔離された人数を R 、時間を t とすると、微分方程式は以下のようになる。

$$\frac{dS}{dt} = -\mu SI \quad (2.1)$$

$$\frac{dI}{dt} = \mu SI - \lambda I \quad (2.2)$$

$$\frac{dR}{dt} = \lambda I \quad (2.3)$$

ここでパラメータ μ は感染率、 λ は隔離率とする。感染してから発症・隔離するまでの潜伏期間は、文献[2] で示したように $1/\lambda$ になる。 μ は、本来は様々な状況に応じて変化するべきパラメータである。人々が3密 (密集・密接・密閉) を避けるなどの行動をとったり、緊急事態宣言が政府によって発令されるなどすることにより、変化すると考えられる。例えば、文献[2] ではクルーズ船が横浜港に帰港する前と後の発症者数データを再現するためにパラメータ μ の値を変えている。しかし、拙稿では μ は一定に取ることにする。

全体の人数を $S+I+R=N$ (一定) とすると、変数 S は現実問題として N に非常に近い。実際 2021 年 9 月 5 日の日本の累計感染者数は 1,574,507 人で^[4]、総人口 1 億 2500 万人の 1% 程度である。そこで S を N で近似して (2.2) を書き直すと

$$\frac{dI}{dt} = \left(\frac{\mu N}{\lambda} - 1 \right) \lambda I \quad (2.4)$$

となる。

$$R_0 = \frac{\mu N}{\lambda} \quad (2.5)$$

と書き直すと、 R_0 が 1 より大きいと I は指数関数的に増加し、1 より小さいと I は減少するこ

とがわかる。 R_0 を基本再生産数という^[5,6]。

次にワクチン接種の効果を考える。割合 ϵ の人々がワクチンを接種し中和抗体が体内に生産されたとすると、実質的な感受性者数 S は $(1-\epsilon)S \doteq (1-\epsilon)N$ で置き換えることができるので、実効再生産数 R_e は、

$$R_e = (1-\epsilon)R_0 \quad (2.6)$$

となる。感染が収束するためには、 $R_e < 1$ となることが必要だから、

$$\epsilon > 1 - \frac{1}{R_0} \quad (2.7)$$

となればよい。 ϵ^* を

$$\epsilon^* = 1 - \frac{1}{R_0} \quad (2.8)$$

で定義し、臨界免疫化割合（集団免疫閾値）という^[5,6]。つまり、ワクチン接種を進めて ϵ を大きくし、 $\epsilon > \epsilon^*$ になると感染が収束に向かうことがわかる。

なお、これまでの説明では S, I, R は「人数」として扱ってきたが、これらを $S/N, I/N, R/N$ で置き換え、 μ を μN で置き換えることにより「割合」として扱うことができる。次章以降においては S, I, R は「割合」をあらわす。

3. 変異株が混在する場合の SIR モデル

2021 年 9 月現在、COVID-19 には 12 種類の変異株が全世界で確認されており、日本国内では、アルファ・ベータ・ガンマ・デルタ・イプシロン・シータ・カッパなどの変異株が確認されている^[7]。これら何種類もの変異株を同時にモデルに組み込んでも、問題が複雑化して考察しにくいので、拙稿ではウイルスの感染力の強弱によってタイプ 1 とタイプ 2 の 2 つに分ける。タイプ 2 はタイプ 1 よりも感染力が強いとする。タイプ 2 については、現在 9 割以上の人が感染していると言われるデルタ株を念頭に置いている。タイプ 1, タイプ 2 に感染している人の人口に占める割合をそれぞれ I_1, I_2 とし、感染率を μ_1, μ_2 、隔離率を λ_1, λ_2 とする。

タイプ 1 の感染者が隔離状態になった後、タイプ 2 に再感染はしないとする。同様にタイプ 2 の感染者が隔離状態になった後、タイプ 1 に再感染はしないとする。すると (2.1) ~ (2.3) は次のように書き換えることができる。

$$\frac{dS}{dt} = -\mu_1 S I_1 - \mu_2 S I_2 \quad (3.1)$$

$$\frac{dI_1}{dt} = \mu_1 S I_1 - \lambda_1 I_1 \quad (3.2)$$

$$\frac{dI_2}{dt} = \mu_2 S I_2 - \lambda_2 I_2 \quad (3.3)$$

$$\frac{dR}{dt} = \lambda_1 I_1 + \lambda_2 I_2 \quad (3.4)$$

後はルンゲ・クッタ・ジル法を用いて数値的に解けばよい。そのときに、初期条件とパラメータが必要になる。

初期条件は東京都の感染者数を念頭に定める。日本で最初に4例のデルタ株陽性者が確認されたのは、4月5日から4月11日に東京都健康安全研究センターにより行われた調査においてである^[8]。一方同時期の新規感染者数は1日当たり500名程度である^[9]。報道で発表される新規感染者数には、このモデルでの感染者数とは異なり、既感染者や無症状感染者を含んでいない。ここではそれを含めて大雑把に新規感染者数の10倍に見積もる。東京都の人口は約1千400万人なので、 $I_1(t=0)=500 \times 10/14,000,000 \doteq 4 \times 10^{-4}$ 、 $I_2(t=0)=4 \times 10/14,000,000 \doteq 3 \times 10^{-6}$ 、 $N=1$ として $S(t=0)=1-I_1(0)-I_2(0)$ 、 $R(t=0)=0$ を初期条件として用いることにする。

次にパラメータについて考える。基本再生産数は従来型については $R_0=2\sim 3$ 、デルタ株については $R_0=7\sim 8$ とされているので^[10]、これらの値を用いることにする。隔離率 λ は $1/\lambda$ が潜伏期間に等しいので、潜伏期間から推定する。潜伏期間は従来型については1～14日間、暴露から5日程度で発症することが多いと言われている^[11]。14日とすると $\lambda=0.07$ 、5日とすると $\lambda=0.2$ になる。一方で無症状な病原体保有者もいることが想定されるので、その場合だと ∞ 日になってしまうので λ はとても小さくなる。前回の計算^[2]では、 $\lambda=0.056\sim 0.069$ を用いたので、とりあえず $\lambda_1=\lambda_2=0.06$ で最初の計算を試みることにする。(2.5)より、 $\mu_1=0.06 \times 3=0.18$ 、 $\mu_2=0.06 \times 7=0.42$ とする(パラメータA)。比較のためにもう1組パラメータを設ける。 $\lambda_1=0.06$ は同じ値にとるとして、デルタ株の感染から発症までの期間を若干短めに想定して $\lambda_2=0.07$ とする。更に $\mu_1=0.06 \times 2=0.12$ 、 $\mu_2=0.07 \times 8=0.56$ とする(パラメータB)。パラメータBをAと比較すると、タイプ1は弱くタイプ2は強くなっており、2つのタイプの差が大きくなっている。

表 1. 2つのパラメータ

| パラメータ | A | B |
|-------------|------|------|
| μ_1 | 0.18 | 0.12 |
| λ_1 | 0.06 | 0.06 |
| μ_2 | 0.42 | 0.56 |
| λ_2 | 0.06 | 0.07 |

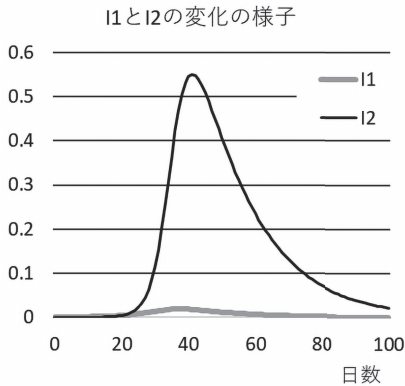


図 1. パラメータ A

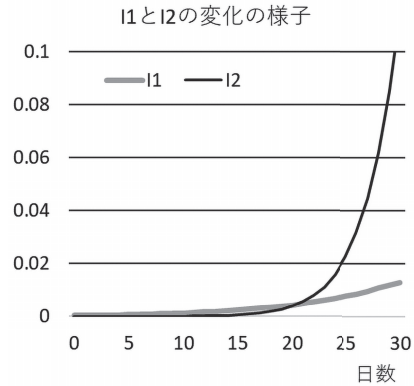


図 2. 図 1 左部詳細図

図 1 にパラメータ A を用いて得られた I_1 と I_2 の変化の様子を示す。また最初の 30 日間を拡大したのが図 2 である。 I_2 は 41 日にピークがあり、半数以上の人タイプ 2 に感染している。また図 2 を見ると、初期値が I_1 の方が大きいので 20 日間程度は I_2 より大きいですが、20 日を過ぎたあたりからタイプ 2 が指数関数的に増加していくことがわかる。 I_1 のピークは 37 日あたりにあるが、ピーク値は 2% にも満たない。全感染者のうちタイプ 2 が 90% を超えるのは、31 日目であり、35 日以降は 95% 以上がタイプ 2 の感染者になる。

次に (2.1) ~ (2.3) を用いたタイプ 1 だけの計算結果と上記 I_1 の比較 (図 3)、タイプ 2 だけの計算結果と上記 I_2 の比較 (図 4) をする。図 3 を見ると、タイプ 1 だけの計算の場合、感染者数のピークは 72 日にあり、約 30% の感染者がいる。それに対しタイプ 2 を伴う連立方程式で計算した場合、ピークが前にずれ、ピーク値も大幅に下がっている。タイプ 2 が混在しているために、タイプ 1 の感染者数が抑制され、その分がタイプ 2 に奪われてしまったと考えられる。次に図 4 を見ると、タイプ 2 だけの計算の場合、ピークの日も大きさも I_2 とほぼ同じであることがわかる。タイプ 1 が混在しているとピークの高さが若干下がる程度である。

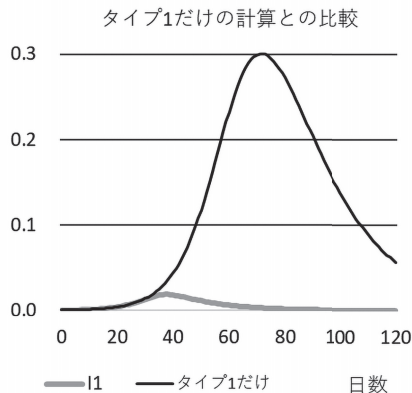


図 3. I (タイプ 1) と I_1 の比較

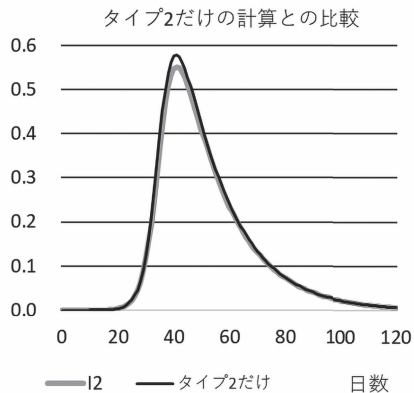


図 4. I (タイプ 2) と I_2 の比較

ここまででは、パラメータ A を用いて計算した結果を示してきた。以下ではパラメータ A と B の比較を行う。 I_1 についての比較を図 5 に、 I_2 についての比較を図 6 に示す。パラメータ A と B の違いは、パラメータ B の方が A よりもタイプ 1 とタイプ 2 の感染力の差が大きいことである。タイプ 1 の感染力はパラメータ B は A よりも弱く、タイプ 2 ではパラメータ B は A よりも強い。そのためパラメータ B では、タイプ 2 に抑圧されて I_1 は更に減少している。実際、図 5 を見るとパラメータ A の値よりも更に小さい。また μ_1 が小さいので本来ならピークがパラメータ A に比べて右に移動するべきなのだが、タイプ 2 に増加分を奪われてしまって、むしろ左に移動している。次に図 6 を見ると、パラメータ B の感染力の方が A より強いので、ピークの位置が左に移動しピークも高い。

最後に、2つのパラメータで、 S と $I=I_1+I_2$ と R がどのような曲線を描くかを図 7 と図 8 に示す。どちらのパラメータを用いても、傾向は同じと言えるだろう。 I は、図 5・図 6 のところで説明したように、ほとんどタイプ 2 の感染力の強さで決まる。従って、パラメータ B の方がピークが急で高くなっている。それに伴い S の減少のし方もパラメータ B の方が急で、より短期間で 0 に向かって減少していく。 R についても同様で、パラメータ B の方が増加のし方が若干急峻である。

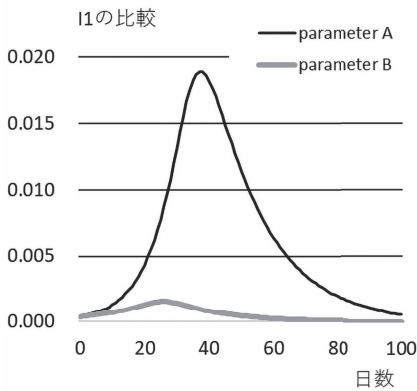


図 5. I_1 の比較

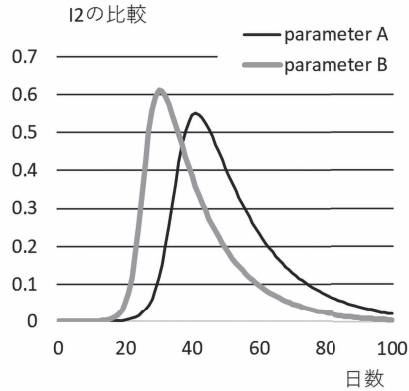


図 6. I_2 の比較

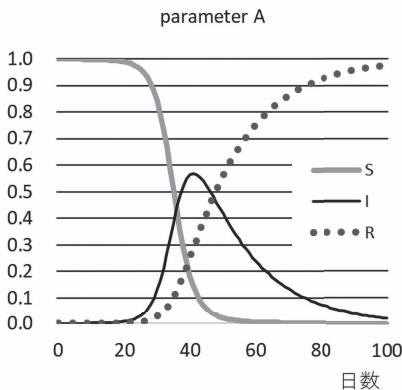


図 7. パラメータ A による計算結果

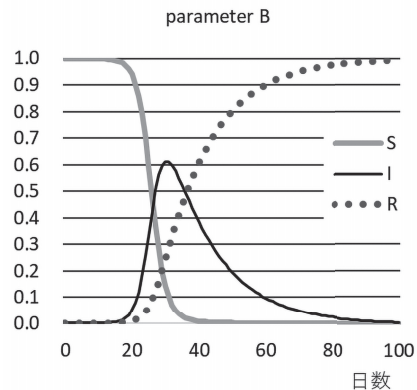


図 8. パラメータ B による計算結果

いずれにせよ、このモデルではすべての人々は、遅かれ早かれ感染することになる。現実の社会では、3密を避けたり、ワクチンを接種して集団免疫を獲得することにより、社会における感染拡大を防ぐことが期待できる。そこで次章ではワクチンの効果について考察する。

4. ワクチンの効果を含む SIR モデル

この章では、ワクチン接種により体内に抗体ができ、感染を完全に防ぐことができる場合を考察する。現在日本ではファイザー社、モデルナ社、アストラゼネカ社のワクチンが接種されている。3社のワクチンはその効果等が微妙に異なるようだが、ここではそのような違いを考えない。またワクチンは、最初は医療従事者、高齢者、基礎疾患を有する人等が優先的に接種されてきた。他方、12歳に満たない子供は接種できないが、そのような年齢や職業等の違いも考えない。すべての人々が等しい割合でワクチンを接種していくと仮定する。さらにワクチンにより十分な量の抗体が体内にできるためには2回の接種が必要とされるが、これについても1回で完全に感染を防げると仮定する。ワクチンを2回接種しても感染する、所謂「ブレイクスルー感染」をこの章では考えない。

前章までは、変数 S は「病気に感染しておらず感染する可能性のある人」の割合であったが、この章以降では「病気に感染していないが、ワクチン接種をしておらず、感染する可能性のある人」の割合に変更する。また新たに変数 S_v を加え、ワクチン接種済みで感染しない人の割合とする。1日あたりのワクチン接種人数を表す接種度 a_v を導入し、 $S_v = a_v t$ とする。日本で COVID-19 に対するワクチン接種が開始されたのは2021年2月17日で、9月8日現在2回接種を終えた人の数が61,995,078人なので^[12]、1日平均約30万人が接種したとすると、日本の人口を約1億2500万人として、 $a_v = 0.0024$ となる。

以上のような仮定をすると、(3.1) ~ (3.4) は以下のように書き換わる。

$$\frac{dS}{dt} = -\mu_1 S I_1 - \mu_2 S I_2 - a_v \quad (4.1)$$

$$\frac{dS_v}{dt} = a_v \quad (4.2)$$

$$\frac{dI_1}{dt} = \mu_1 S I_1 - \lambda_1 I_1 \quad (4.3)$$

$$\frac{dI_2}{dt} = \mu_2 S I_2 - \lambda_2 I_2 \quad (4.4)$$

$$\frac{dR}{dt} = \lambda_1 I_1 + \lambda_2 I_2 \quad (4.5)$$

パラメータ A を用いて上式を解いた結果が図9であるが、曲線が5本あって見にくいので、 $S+S_v$, I_1+I_2 , R の3本に書き変えたものを図10に示す。どちらの図も56日目までしか表示していないが、それは57日目以降に S が負になるためである。

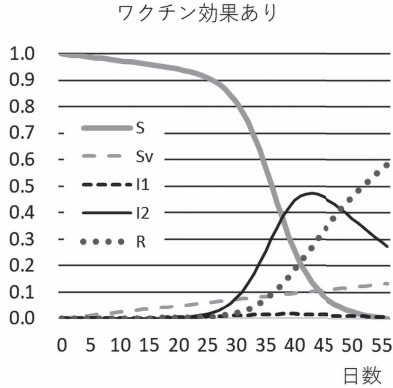


図9. パラメータ A による計算結果 ($a_v=0.0024$)

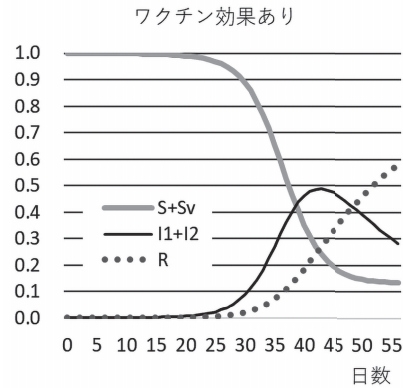


図10. $S+S_v$, I_1+I_2 , R に書き変えた図

S は結局 0 になり、ワクチン接種者以外はすべて感染する。感染のピークは 43 日目で 50% 弱が感染している。

タイプ 2 が主要な効果を担っているので、パラメータ A では実質的な基本再生産数が $R_0=7$ となり、(2.8) より集団免疫閾値 $e^*=0.857$ になる。 $a_v=0.0024$ であるから、ワクチン接種者の割合が集団免疫閾値を超えるのは $e^*/a_v=357$ 日後になる。ところがこのモデルでは 43 日後には感染者の割合がピークになり、 S が急激に減少するため、集団免疫閾値を満たす前にワクチン接種者以外は皆感染してしまう。

さて図 9 をよく見ると、最初の約 20 日間は S が直線状に減少しているように見える。そこで $S=1-a_v t$ で近似できると仮定し、(4.3) と (4.4) を解くことを試みる。以下の計算では添え字 1 または 2 は省略する。

$$\frac{dI}{dt} = (\mu(1 - a_v t) - \lambda)I \quad (4.6)$$

$$\frac{dI}{I} = (-\mu a_v t + (\mu - \lambda)) dt \quad (4.7)$$

両辺を積分して整理すると、

$$\log I = -\frac{\mu a_v}{2} t^2 + (\mu - \lambda)t - c \quad (4.8)$$

となる。積分定数 c は

$$c = -\log(I(t=0)) \quad (4.9)$$

である。 I について解くと、

$$I = \exp\left(-\frac{\mu a_v}{2} \left(t - \frac{\mu - \lambda}{\mu a_v}\right)^2 + \frac{(\mu - \lambda)^2}{2\mu a_v} - c\right) \quad (4.10)$$

となる。 $\mu - \lambda > 0$ のとき (4.10) で与えられる I が最大になるのは $t = (\mu - \lambda) / \mu a_v$ においてだが、これは (2.5) ~ (2.8) で与えられる集団免疫閾値をワクチン接種度で割った値 ϵ^* / a_v に等しい。

$I < 1$ でなければならないので、(4.10) の \exp 関数のカッコ内の最大値は 0 より小さくなければならない。

$$\frac{(\mu - \lambda)^2}{2\mu a_v} - c < 0 \quad (4.11)$$

を満たす a_v を求めると、

$$a_v > \frac{(\mu - \lambda)^2}{2\mu c} \quad (4.12)$$

となる。表 1 の値を用いて (4.12) の右辺を計算してみると、タイプ 1 については 0.005、タイプ 2 については 0.012 となる。主な効果をもたらすタイプ 2 について考えると、 I が最大になるのは $0.857 / 0.012 \div 71$ 日目である。図 9・図 10 を見てわかるように、 S が負になる 57 日目よりも更に後になっており、 S の直線近似が成り立つ領域ではない。 a_v に、より小さい値を用いる場合、 t が小さいところでのみ (4.10) の近似が意味を持つ。

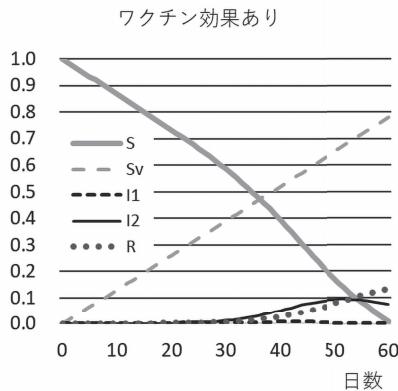


図 11. パラメータ A による計算結果 ($a_v=0.013$)

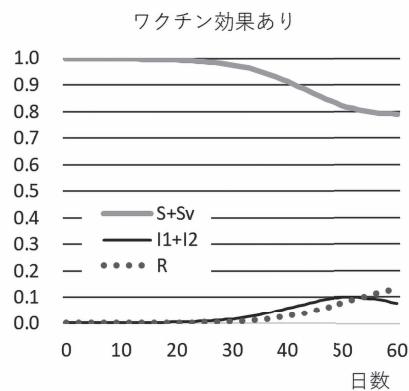


図 12. $S+S_v, I_1+I_2, R$ に書き変えた図 ($a_v=0.013$)

次に a_v の値を変えて同様の計算を試みる。前章での考察からタイプ 2 が主要な効果を担うと考えられるので、(4.12) を用いて計算した a_v より少し大きめの $a_v=0.013$ を用いる。すると (4.1) ~ (4.5) を解いた結果は図 11 と図 12 のようになる。 S は完全な直線ではないが、ほぼ

直線状に減少している。 I_1 と I_2 も山型の形をしてはいるが、ピークでの値は 10% 弱であり、80% 近くの人がワクチンにより感染せずに残っている。これ以上図示はしないが、 a_v を更に大きくして 0.024 にすると S はほぼ直線になり、 I_1 と I_2 も 1% 以下で変化の様子を図示できない位に小さくなる。

5. ブレイクスルー感染

ワクチンを 2 回接種しても新型コロナウイルスに感染する「ブレイクスルー感染」に関するニュースが、最近よく報道されている。ワクチンの効果が十分に発揮されない、変異ウイルスの影響、体内の抗体の減少などが理由としてあげられているが、ワクチンの効果により、感染しても重症化の危険度は下がると言われている。最後にこの章ではブレイクスルー感染について考察する。

厚生労働省の資料^[13]によると 8 月 10 日から 12 日の新規感染者 57,293 人のワクチン接種歴を調べたところ、未接種が 47,132 人、1 回が 2,956 人、2 回が 1,768 人、接種歴不明が 5,437 人であった。 $(2,956+1,768) / 47,132 \approx 1/12.7$ となるので、1 回でも接種していれば感染率は接種していない場合に比べて 1/10 以下になる。

この章では第 4 章の仮定にさらに、ワクチン接種済みの人も感染するという仮定を加える。接種済みの人がタイプ 1 に感染する感染率を $\mu'_1 = \mu_1/12$ 、タイプ 2 に感染する感染率を $\mu'_2 = \mu_2/12$ とする。すると、(4.1) ~ (4.5) は以下のように書き換わる。

$$\frac{dS}{dt} = -\mu_1 S I_1 - \mu_2 S I_2 - a_v \quad (5.1)$$

$$\frac{dS_v}{dt} = -\mu'_1 S_v I_1 - \mu'_2 S_v I_2 + a_v \quad (5.2)$$

$$\frac{dI_1}{dt} = \mu_1 S I_1 + \mu'_1 S_v I_1 - \lambda_1 I_1 \quad (5.3)$$

$$\frac{dI_2}{dt} = \mu_2 S I_2 + \mu'_2 S_v I_2 - \lambda_2 I_2 \quad (5.4)$$

$$\frac{dR}{dt} = \lambda_1 I_1 + \lambda_2 I_2 \quad (5.5)$$

パラメータ A, $a_v=0.0024$ を用いて上式を解くと図 13 と図 14 が得られる。図 13 と図 14 においては、57 日目以降は S が負になるため、ワクチンの効果を OFF (つまり $a_v=0$) に変更して計算を続けた。図 9, 図 10 と比較しても、ブレイクスルー感染の感染率が小さいため、ほとんど違いは無い。ブレイクスルー感染が起きてても、感染のピークあたりから S は 0 に向かって急激に減少していき、最終的に $S=0$ になって感染は収束に向かう。

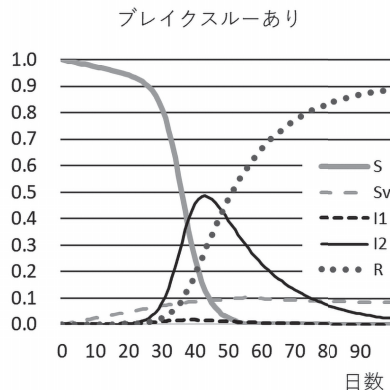


図 13. ブレイクスルー感染がある場合

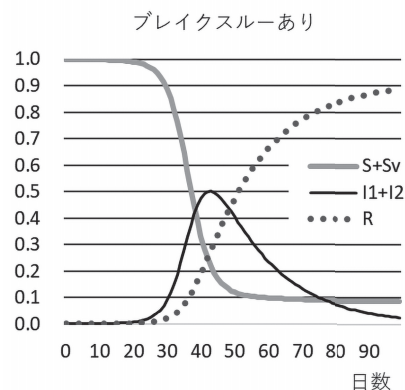


図 14. $S+S_v$, I_1+I_2 , R で描き換えた図

6. まとめ

拙稿では変異株が混在する感染症の場合へ SIR モデルを拡張することを試みた。これは、未だに収束の兆しが見えずに感染が続く COVID-19 において、新たにデルタ株が登場し、従来型への感染者数を凌駕したことを念頭に、シミュレーションを試みたものである。デルタ株のような感染力が強い感染症が混在すると、感染力がより弱い従来型への感染者数は抑制されて増加せず、強い方の感染症のみが増加していくことが確認できた。またワクチン接種で感染を防げる場合でも、このモデルでは、ワクチン接種者以外はすべて感染してしまった。ただし、ワクチン接種のスピードが非常に速い場合には、感染を抑え、収束させることができる。最後に、ワクチン接種後に感染するブレイクスルー感染についてだが、感染力が未接種者に対する感染率の 1/10 以下の場合、その影響は限定的であることもわかった。

参考文献

- [1] 厚生労働省ホームページより, https://www.forth.go.jp/topics/20210904_0001_01.html (2021 年 9 月 6 日現在).
- [2] 斎藤敏之「SIR モデルとモンテカルロ法による感染症拡大シミュレーション」四天王寺大学紀要第 69 号 p417-430, (2021).
- [3] W. O. Kermack and A. G. McKendrick "A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics - I," Proceedings of Royal Society, series A, vol.115, pp.700-721 (1927).
- [4] NHK ホームページ「日本国内の感染者数」<https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/data-all/> (2021 年 9 月 6 日現在).
- [5] 稲葉寿「感染症数理モデルと COVID-19」公益信託 武見記念生存科学研究基金, <https://www.covid19-jma-medical-expert-meeting.jp/topic/3925> (2021 年 9 月 6 日現在).
- [6] 鈴木絢子, 西浦博「感染症の数理モデルと対策」日本内科学会雑誌 109 巻 11 号 p2276-2280 (2020).
- [7] 厚生労働省ホームページ「新型コロナウイルスに関する Q&A (一般の方向向け)」https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryoku/dengue_fever_qa_00001.html#Q2-2-2 (2021 年 9 月 6 日現在).

- [8] 東京都福祉保健局ホームページ「東京 iCDC における変異株スクリーニング検査について」https://www.fukushihoken.metro.tokyo.lg.jp/iryo/kansen/corona_portal/henikabu/screening.html (2021 年 9 月 6 日現在).
- [9] NHK ホームページ「特設サイト 新型コロナウイルス」<https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/> (2021 年 9 月 6 日現在).
- [10] 日本感染症学会ホームページ「一般市民の皆様へ ～かからないために、かかった時のために～ (2021 年 8 月 6 日)」https://www.kansensho.or.jp/uploads/files/topics/2019ncov/covid19_tameni_210806.pdf (2021 年 9 月 7 日現在).
- [11] 厚生労働省ホームページ「新型コロナウイルス感染症 COVID-19 診療の手引き 第 5.2 版」<https://www.mhlw.go.jp/content/000815065.pdf> (2021 年 9 月 7 日現在).
- [12] 首相官邸ホームページ「新型コロナワクチンについて」<https://www.kantei.go.jp/jp/headline/kansensho/vaccine.html> (2021 年 9 月 8 日公表).
- [13] 厚生労働省 第 48 回新型コロナウイルス感染症対策アドバイザリーボード (令和 3 年 8 月 18 日), 資料 2-4 全国の新規陽性者数等及び高齢者のワクチン接種率等, <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000820150.pdf>.