



日本銀行金融研究所
Institute for Monetary and Economic Studies,
Bank of Japan

金研ニュースレター

特別号 新型コロナウイルス感染症の経済学(2) 2020年5月

金融研究所 (Institute for Monetary and Economic Studies, IMES) は、1982年10月に日本銀行創立100周年を記念して、日本銀行の内部組織の1つとして設立されました。金融研究所は、金融経済の理論、制度、歴史に関する研究を行っているほか、金融経済に関する歴史的資料の収集・保存・公開を行っています。

ハイライト

SIR モデルとは何か

「金研ニュースレター」は、日本銀行金融研究所が主催するイベントなどを、幅広い読者を対象に、タイムリーにお知らせすることを通じて、金融研究所の活動を紹介することを目的としています。

SIR モデルとは何か

金研ニュースレター特別号「新型コロナウイルス感染症の経済学」シリーズは、金融研究所におけるイベントなどを紹介する通常の金研ニュースレターとは異なり、金融研究所員が同感染症に関する経済学的な研究を幅広い読者を対象に解説するものです。なお、本稿の内容と意見は日本銀行あるいは金融研究所の公式見解を示すものではありません。本稿記載の情報は文末にある執筆時点のものです。

本稿では、新型コロナウイルスの感染者や死亡者の予測に用いられている感染症数理モデルの一つ、SIR モデルについて解説する。公衆衛生政策と需要管理政策の相互作用を考えようとする、感染者数や死亡者数の決定メカニズムをモデルに取り込まなければならなくなる。そうしたことから、感染症数理モデルとマクロ経済モデルを融合する試みがなされているが、そうした分析に関する議論の前提として、SIR モデルのエッセンスを確認しておこうというのが、本レポートの目的であるⁱ。

SIR モデルとは、Susceptible (未感染者)、Infected (感染者)、Recovered (回復者) の頭文字から名前が来ているⁱⁱ。ただし、回復者には、Dead (死者) やワクチンを受けてもはや感染しない者も含まれる。以下では、それぞれの人数を S 、 I 、 R 、 D で表す。一国全体の人数を N とすると、 R の中に D が含まれているので、 $S + I + R = N$ となる。

SIR モデルで鍵を握るのは、遷移確率である。未感染者のうち、ある確率で何人かが感染者になり、ある確率でそのうち何人かが回復する。さらにある確率で、その回復者の中の何人かは死亡する。

遷移過程を説明すると、以下のようになる。

- 死者も含む回復者数は、感染者数に感染者が回復者に遷移する確率 γ をかけただけ増える。これを数式で表すと、回復者の増減(ΔR)は $\Delta R = \gamma I$ となるⁱⁱⁱ。
- 感染者数は、回復した人数分だけ減る一方で($-\gamma I$)、未感染者数(S)に未感染者が感染者に遷移する確率をかけた分だけ増加する。ただし、感染者数が多いと感染確率が高まり、感染者数は増えやすくなる。ここでは、そうしたことを明示的に勘案するため、未感染者数と感染者数の積(SI)に確率 β をかけた分だけ感染者数が増加すると考える。すなわち、感染者の増減(ΔI)は $\Delta I = \beta SI - \gamma I$ となる。
- この間、回復者のうちの一定割合(致死率 ρ)が死亡するので、 $D = \rho R$ となる。

モデルはこれだけである。あとは、 I 、 R の代わりに感染者割合($x = I/N$)、回復者割合($y = R/N$)を用い、時間の単位を $1/\gamma$ 日に変換したうえで上記の遷移式を整理すると、 $\Delta x = R_0(1 - x - y)x - x$ 、 $\Delta y = x$ という関係が出てくる。これらの式の意味はさておいて、注目してもらいたいのは「基本再生産数」と呼ばれる $R_0 = N\beta/\gamma$ で、これは感染者一人が回復するまでに何人感染させることになるかを表している。

2つの確率を組み合わせた、たった一つのパラメーターである R_0 で、感染者割合のパスも回復者割合のパスも決まってしまう。注 i で引用した牧野(2020)では、様々な値の R_0 でのシミュレーション結果(これは予測ではなくあくまでも説明のためのもの)を示している。 R_0 が1.5を超えると、一人の感染者が1.5人以上の感染者を生み、それがまた次の感染者を発生させるということで、回復して抗体をもつ者が十分に増える

までアウトブレイク的な様相を呈することになる。 R_0 が1を下回ると、感染者数割合は減少する。 R_0 が2.6の場合、ピークでは全人口の4人に1人が感染者になるまで感染者数の割合が高まる。全人口のうち9割は、抗体をもって回復するか、死亡する。

感染症の専門家が、 R_0 を1より下回らせなければならぬと言うのは、このためである。 R_0 は接触割合に比例するので、人出を7割減らせば、残り3割の人だけが接触を続けることになり、 R_0 は外出規制前の3割の値($= 1 - 0.7$)に落ちることになる。

問題は、検査が十分に行き渡っていないければ、真の感染者数はわからないため、誰も R_0 (また致死率 ρ)の正確な値を知らないということにある。牧野(2020)では、わが国における新型コロナウイルス感染症の R_0 は、2から5、おそらくは3から4程度ではないかと推測している。3であれば、人出を7割減らせば、 R_0 は0.9($= 3 \times (1 - 0.7)$)にまで落ちるが、4であれば1.2となり、なお1を上回る。

感染症のモデルそのものはシンプルであるが、鍵を握るパラメーターは正確にはわからない。パラメーターの推計について、海外の状況や過去の感染症の経験は一定の参考になるが、わが国にそのまま適用することはミスリーディングかもしれない。また、モデルの構造が一国の閉鎖モデルになっており、現実には起こっている帰国者の輸入感染などはシミュレーションに考慮されていない。こうしたことから、本モデルに基づく公衆衛生政策のシミュレーション結果は相応の幅をもってみるべきと考えられる。

(執筆時点:4月22日)

i SIRモデルをエコノミスト向けに解説したものに、Andrew G. Atkeson (カリフォルニア大学ロサンゼルス校、ミネアポリス連邦準備銀行) (2020) “What will be the economic impact of COVID-19 in the US? Rough estimates of disease scenarios” がある
<https://sites.google.com/site/andyatkeson/>
(Matlab のコードも掲載)。しかしながら、日本語で牧野淳一郎 (神戸大学) によるさらに分かりやすい解説があり、本稿もそれにほぼ全面的に依っている。

牧野淳一郎 (2020) 「3.11 以降の科学リテラシー」、『科学』、5月号、岩波書店
なお、本稿の作成にあたっては、羽澄昌史 (高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所教授) の指導を受けた。ここに謝意を表したい。

ii これに Exposed (接触者) も加えて、SEIR モデルというものもあるが、基本的な構造は同じである。

iii 本当は連続時間のモデルなので、左辺は dR/dt となる。同様に、次式の左辺は dI/dt 。

金研ニュースレター 2020年5月

※本誌に関する照会は、日本銀行金融研究所までお寄せください。

無断での転載・複製はご遠慮ください。

日本銀行金融研究所 (IMES)

〒103-8660 東京都中央区日本橋本石町 2-1-1

TEL: 03-3279-1111 (大代表)

FAX: 03-3510-1265

E-mail: imes.journals-info@boj.or.jp

ホームページ: <https://www.imes.boj.or.jp/index.html>