

実効再生産数が低下する 5 つの理由*

岩本 康志

経済学者が新型コロナウイルス感染症の経済的影響を予想する場合、まず感染症の動向を予想しないとイケない。そのため、経済学者も疫学での SIR モデルの知識が必要になり、経済学者が同業者向けに解説した Atkeson (2020) が、重宝されている。SIR モデルでは、人口を S (未感染者) と I (感染者) と R (回復者) に分けて、その動きを非線形微分方程式で表す。感染者 I の時間的変化は、

$$\frac{dI}{dt} = \beta_t \frac{S}{N} I - \gamma I$$

で表される。ここで N は総人口である。右辺第 1 項は新規感染者である。1 人の感染者がかりに周辺の人がすべて未感染者であったとすると平均的にどれだけ感染させるかが、時間によって変化する変数 β_t で表される (ただし、時間によって変化する変数は他にもあるが、 t の添え字はついていない)。感染者と回復者は感染しないと仮定されており、平均的な感染は周辺の人の中の未感染者の割合に比例する。第 2 項は感染者の減少 (新規回復者) で、感染者の一定割合 γ が回復するとしている。感染からの回復がポアソン過程にしたがうと、 γ の逆数は感染期間の平均値となる。この式を変形すると、

$$\frac{dI}{dt} = \left(\frac{\beta_t S}{\gamma N} - 1 \right) \gamma I$$

となり、右辺の括弧内が負のままなら、感染者は減少して行って、やがて流行は収束する。Atkeson (2020) は β_t/γ に R_t という記号を当てたので、少しややこしくなった。というのは、実効再生産数

$$\frac{\beta_t S}{\gamma N}$$

に R_t という記号を当てる文献が多数派だからだ。混乱を避けるため、以下では実効再生産数には記号を使わず、(経済学者にとってむしろ大事なので) 何回か言及する β_t/γ は、このままの記号を用いる。

感染の初期 (時点 0 とする) には、感染者がほぼいないので $S/N \approx 1$ となって、

$$R_0 \equiv \frac{\beta_0}{\gamma}$$

は基本再生産数と呼ばれる。 R が回復者と再生産数に重複して使われているのもややこしい。

* 2020 年 5 月 1 日。「岩本康志のブログ」に掲載
(<http://iwmtys.blog.jp/archives/1077409771.html>)。

ここからは、Atkeson (2020)を離れて、筆者によるまとめになる。

実効再生産数は 5 つの要因によって、時間を経て低下していく。2 つは何もしなくても（行動変容がなくても）下がっていく要因、2 つは何かをして（行動変容によって）下がっていく要因、最後の 1 つは今の時期に下がっていく季節的要因である。

①まず、感染が広がると、 S/N が小さくなることで、実効再生産数が下がっていく。これは感染者の周りに免疫をもった人（モデルでの回復者）が増えていると、新たに感染する人の割合が減るからである。初期の基本再生産数がずっと変化しないと、感染者の割合が（固定の）基本再生産数の逆数よりも大きくなると、感染は収束に向かう。集団免疫の形成である。残りの 4 つは、 β_t/γ を下げる要因である。

②感染リスクに個人差があると、平均的な感染速度が下がっていくことで、実効再生産数が下がっていく。これは、最初に感染しやすい人が多く感染して、感染リスクの低い人が未感染者に多く残ることで、未感染者の平均的な感染速度が下がるためである。集団免疫の成立はこの下がった β_t/γ をもとに決定されるので、初期の基本再生産数が維持されると仮定した予測よりも早く集団免疫は形成される。

リスク格差は社会の構造にも依存しているものであり、社会学者であれば、このリスクの格差は等閑視できない。新型コロナウイルス感染症でも階層間の格差に注目した研究が現れている。経済学者が新型コロナウイルス感染症の代表的な予測モデルを展望した Avery et al. (2020)は、異質性に注目した節を設けている。①の項でのべたような、 β_t/γ が一定である（リスクの格差がない）との仮定を社会学者が安易に採用すると、自己矛盾につながる。

以上の 2 つは、ほっておいても実効再生産数が減少するメカニズムであったが、感染症のリスクを認識することによって、人々の行動は変わってくる。

③まず、個人や企業が自衛して、色々と予防をすることが考えられる。

④つぎに、それ以上に政府が個人の自発的予防以上の行動変容を促したり、より強力な措置として行動制限（自粛要請、都市封鎖など）を課したりすることがある。

③と④に関しては、人間行動を分析する経済学が貢献する余地がある。個人にとって低い費用でできる行動変容をナッジで促すには行動経済学の知見が貢献できるし、費用がかかる行動変容には伝統的な経済学によるインセンティブ設計も役に立つ。政策評価の観点からは、政策が β_t/γ をどのように変化させるかを定量的に把握することが重要である。Avery et al. (2020)は、ここに関係する SIR モデルの定式化を、経済学でおなじみの構造型アプローチと誘導型アプローチの区別を使って、整理している。

比較的費用のかからない行動変容は持続できるかもしれないが、多くは経済的・心理的費用をとまうので、行動変容や行動制限は一時的な感染症対策であって、長く持続できないところが他の要因と違う。したがって、集団免疫を得るかどうかには、関係しない。ウイルスを根絶できなければ、政策によって作り出された行動変容の多くは、一時的に感染速度を

遅らせて「時間を稼ぐ」ために用いられる。

⑤最後は、感染症の季節性である。コロナウイルスによる風邪は、インフルエンザほどではないが冬に流行し、夏に沈静化する季節性がある。また、感染者の免疫も永続しない。Kissler et al. (2020)による、夏に基本再生産数が低下すると想定したシミュレーションでは、米国では新型コロナウイルス感染症の流行の波が何回か冬に訪れることが示されている。新型コロナウイルス感染症は「とてもたちの悪いウイルス性の風邪」だが、風邪のように暑くなれば流行が弱まるのか、たちが悪いので暑くなっても弱まらないのかは、季節が一巡りしないとわからない。このため、他の要因と違って、この要因の存在は確定的に言えるものではない。また、寒くなれば、季節性は実効再生産数を上昇させる要因となる。

このブログ執筆時に実効再生産数は低下しているが、それに貢献していると考えられる要因が5つもあると、それぞれの貢献度を識別するのは、研究意欲をそそられる課題ではあるが、容易なことではない。①の識別は感染者数がわかれば可能だが、症状の無い感染者が非常に多いという問題があって、これすらよくわからない。限定的なデータから真の値を推測する作業も、計量経済学者が貢献できる分野である。その他の要因の識別の仕方についても、経済学者が貢献できる余地があるかもしれない。重要な研究分野ではあるが、残念ながら結論を出すには時間がかかりそうだ。

そうこうするうちに政府が他の要因の貢献もすべて緊急事態宣言の効果によるものとして宣伝してしまうかもしれない。経済学者にとっては経済政策で見慣れた光景だ。

(参考文献)

Atkeson, Andrew (2020), "What Will Be the Economic Impact of COVID-19 in the US? Rough Estimates of Disease Scenarios," NBER Working Paper No. 26867.

<https://www.nber.org/papers/w26867.pdf>

Avery, Christopher, et al. (2020), "Policy Implications of Models of the Spread of Coronavirus: Perspectives and Opportunities for Economists," NBER Working Paper No. 27007.

<https://www.nber.org/papers/w27007.pdf>

Kissler, Stephen M., et al. (2020), "Projecting the Transmission Dynamics of SARS-CoV-2 Through the Postpandemic Period," *Science*, April 14.

<https://doi.org/10.1126/science.abb5793>