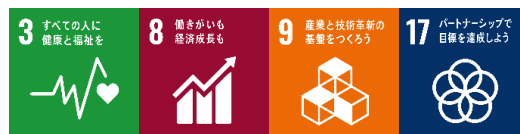


## 世界をどう理解したいのか？

政策研究大学院大学 土谷 隆



私は研究者である。30年余り研究を続けてきて、いろいろなことに取り組んできた。「世界をどう理解したいのか？」これは、研究をするにあたり、折に触れて、さまざまな文脈の中で、頭の中に浮かんできた台詞である。この「理解」という言葉は、与えられた答えのある問題を理解する、というような理解ではなく、未知のものを明らかにする、という「創造的理解」である。

研究者としてのアンテナのようなものがあり、ある事をもっと理解したい、という気持ちにかきたてられて研究を始める。理解すべき対象はさまざまで、それは、たとえば最適化アルゴリズムの計算複雑度の解析やそれにまつわる微分幾何学の理論であったり、リニアモーターカー磁気シールドの最適設計問題だったり、古代メソポタミア村落の人口動態推定であったりした。これらの研究を通じてさまざまな発見をして興奮を味わってきたし、ささやかながらも人様に使っていただけるようなアルゴリズムも作ってきた。

いろいろなものが繋がっている筈である、ということが自分が研究に対して感じている夢である。噂話は大好きな性分であるから、ある分野でこんなことがあった、ということ、大した理解もなく面白がって話題にすることも多い。噂話のレベルであっても物事を広く見ようとするのと、浅薄な理解に終わることは紙一重である、と思いつつも、両者の境界は曖昧だ、と思ったりもする。いろんな方向にアンテナが向いていることはしばしば力となる。頭の中にいろいろなものが同居していると、思わぬきっかけで両者が結びつく、ということがある。このことを、今取り組んでいる、新型コロナウイルスの感染拡大の解析と社会的制御 [1-3] について説明してみよう。ここでは、新型コロナウイルスの感染拡大制御と計算複雑度の理論が結びつく。

新型コロナウイルスの感染は、鼠算式に広がっていく。集団免疫ができるほどになると飽和して感染拡大は収まるが、今の日本の感染レベルはそれほど高くないので鼠算式に増加する。一人の感染者が1日に $\beta$ 人に感染させるとして、15日で治ることとする [1]。 $\beta$ を「感染力」と呼ぶ。15日という感染期間は帰国者の自己隔離期間が14日間であることを考えると、まあまあ妥当な数値と納得できるものであろう。また、感染力 $\beta$ は社会的距離をとるとか行動変容をすることである程度変えることが可能である。

すると、ある日1人の感染者がいると、彼・彼女が治る15日目の終わりには、感染者は $((1+\beta)^{15}-1)$ 人に増加あるいは減少する。この式の中の $(1+\beta)^{15}$ は、15日間は感染者が1日ごとに $(1+\beta)$ 倍ずつ鼠算あるいは複利計算で増えていくことを表し、 $-1$ は本人が治ることによる減少分を表す。 $\gamma = ((1+\beta)^{15}-1)$ と定義すると、 $\gamma < 1$ ならば総感染者数は15日ごとに $\gamma$ 倍ずつされて感染は収束し、 $\gamma > 1$ ならば拡大する。以下では $\gamma$ を「感染拡大率」と呼ぶことにする。よくいわれる「実効再生産数」は「感染拡大率」を近似したもので、両者には密接な関係がある。

私は、昨年春の感染拡大時は $\beta=0.16$ 程度であったと推計している [1]。すると「感染拡大率」 $\gamma = ((1+\beta)^{15}-1) = ((1.16)^{15}-1) = \text{約} 8.26$ となる。すなわち、感染者は15日ごとに8.26倍で増えていくのである。ある日に1人感

染者がいるとすると、1ヶ月で68人、2ヶ月で4667人、3ヶ月で318876人、4ヶ月で21785213人が感染することになる。(簡単のため、一月を30日とした。)

ある国では、潔く、感染拡大を防ぐために、社会・経済活動を完全に止めて、強烈なステイホームを16日間することを考えた。これは、国民が他人に会うことを一切せず、感染者が他人に移す機会を完全にシャットアウトする戦略である。この戦略によると、感染期間は15日なのだから「何人感染者がいようとも、行動制限を始めてからわずか16日目にはウイルスは自然に各感染者の中から消え、国内の感染者は0となる」のである。そこでさらに少し余裕を持たせた上で、3週間後に行動制限を解除して活動を再開した。

ところが、別のある国では、どうしても経済を回し続けたい、という人々が政策を決定している。そこでは、感染が拡大してさあ大変だ、でも経済も大事だ、ということで、このウイルスを消すために、社会・経済活動をちょっとだけ(かなり?)我慢して、人と人の接触機会を8割減らしてみよう、ということになった。

行動規制を始めた日から、接触機会が8割減るのに比例して、感染力 $\beta$ が以前の8割減となるとすると、 $\beta=0.16 \times 0.2=0.032$ となる。この時15日後に感染者がどれだけ減少するかを先と同じ考え方で見積もってみると「感染拡大率」 $\gamma = ((1+\beta)^{15}-1) = (1.032^{15}-1) \approx 0.604$ で約40%減である。増える方は15日で約8倍になるのに、減らす方は8割の接触減で頑張っても15日でほぼ40%しか減らないのである。

結果として、1人程度になるまで減らすのに、増えた時の4倍の期間がかかる。例えば、2ヶ月で増加した4667人を1人にまで減らすのに8ヶ月もかかり、延々と行動規制が続くのである。接触8割減で一生懸命やったのに何だか冴えない結果である。もう片一方の国では僅か2-3週間でゼロである。この違いは明らかであろう。だから、行動制限は厳しくやった方が劇的に短くすんでずっと有効なのである。

強烈なステイホームをやることは、計算複雑度の言葉でいうと「経済を止めて感染者数を定数時間でゼロにするアルゴリズムを採用して感染者数を減らす」ことに相当する。一方、接触者8割減でいくことは「社会・経済活動を止めないかわりに感染者数が指数関数的にしか減少しない(一日に一定の比率でしか減少しない)アルゴリズムを使って感染者を減らそうとしている」ことになる。この違いは、アルゴリズムを研究している立場からはとてつもなく大きなものであるし、上の思考実験のように、実際的にも戦略としての成果の違いは劇的なものになる。

理屈はごく簡単であるが、このような基本的認識がほとんど社会で共有されていないことには忸怩たるものがある。小池都知事の「7日間で7割」の言葉は、指数関数的減少アルゴリズムを採用しましょう、という、まさに残念な目標設定をしていることに他ならない。もちろんこれは、都知事というよりも行政全体の認識の持ち方の問題なのだが。

上の議論では、感染期間が有限である、ということは本質的である。これは、計算機科学周辺でアルゴリズムの解析をやっている人間は自然に思い至る発想であるように思う。一方、数理疫学や経済学で用いられる感染症流行の基本モデルであるSIRモデルでは、モデルを微分を使って微分方程式の形で表し、感染者の感染している期間

は、指数分布に従うと仮定する。すると、感染している期間がいくらでも長い感染者が少数ながら存在することになるため、理論的には感染期間は有限である、という仮定を置くことはしにくい。少々大げさなようであるが、離散的で有限なものを扱うことを当然と考える計算機科学と現象を連続的なものとしてモデル化して強力な微分方程式の数学の道具立てを用いて解析を進める数理疫学のモデル観の違いがそこには表れているように思う。

もちろんそれぞれの立場には一長一短はあるわけで、いろいろな視点から物事を見るためにも、多様な分野の研究者を糾合してこの問題の解決にあたらなくては行けないのではないだろうか。

先ほど2つの国を引き合いに出した計算方法は、[1]で新型コロナウイルスの感染の広がりを解析するために実際に使っているものである。SIRモデルと基本的な考え方は同じであるが、微分方程式を1日ごとの漸化式に置き換えて、さらに、感染者の感染期間が指数分布に従うという代わりに、感染期間は一律で一定期間(15日)であるとする、ここで説明したモデルとなる。モデルとしての性能はSIRモデルと同程度で、微積分や指数分布を必要とせず、より多くの人にわかりやすいのが利点だと考えている。

何事につけ、偉大な成果は二つのまったく異なる分野の出会いによって生み出されることが多い。そのためには、いろんな分野に興味を持つ好奇心とそれを追求する熱意が大事である。ここに挙げたのは、余りに簡単で、偉大な成果でも何でもないが、研究者の頭の中では、しばしば異なる分野のイメージが出会い化学反応が起き、それが新しい意味のある結果を導く原動力となること、そしてそれが研究者をワクワクさせ、研究を興奮に満ちた生業としているものであることが少しでも伝われば幸いである。

そして時はまさに勝負の2月である。私が都知事だったら懸命に人々にこう訴えかけるであろう。

「君は今必死で頑張ってイベント満載の3月を笑顔で迎えたいのかい？それともまた中途半端なことをして冴えない一年間をビクビクしながら過ごしたいのかい？」

そして3月初旬までに新規感染者を一ケタに押さえ込むことを実現するために、行政的に強力な二の矢、三の矢を放つことを、職を賭してでも躊躇はしない。

皆で必死に頑張って笑顔で3月を迎えましょう！

#### 参考文献等

[1] 土谷隆：新型コロナウイルス感染症の広がりに関する一考察。オペレーションズ・リサーチ，66巻2号。（同タイトルのオリジナル版が、政策研究大学院大学のホームページより取得可能です。）

[2] 土谷隆：にわかになら新型コロナウイルス感染症に関する研究をしてみても感じたこと—長い長いため息—。オペレーションズ・リサーチ，66巻1号。（この研究の舞台裏のようなことが書いてあります。）

[3] 土谷隆：土谷隆ホームページ。http://www3.grips.ac.jp/~tsuchiya/（感染拡大の予測などを載せています。）

## 著者紹介

土谷 隆

1960 年生まれ。東京大学計数工学科卒業。同大学院修士課程修了後、1986 年から 2010 年まで統計数理研究所に助手、助教授、教授として勤め、2010 年より政策研究大学院大学教授となり現在に至る。成蹊学園サステナビリティ教育研究センター客員フェロー。最適化や数値計算を方法論の中心にすえた統計数理や数理工学を専門とする。