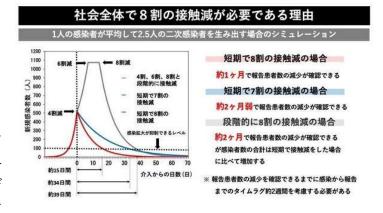
# みんなにわかってほしい数理モデルと意思決定

東京学芸大学 西村圭一

この2ヶ月の間に、ほとんどの人が右のようなグラフを目にしたに違いありません。意思決定に際しての重要な情報を提供しているにも関わらず、様々な批判がなされています。

この予想に用いられている数理モデル を理解することは、多くの人にとって簡単 なことではありません。しかし、数理モデ ルにもとづく予想の解釈の仕方を知るだ



けでも、下記の記事に見られるような批判に対する捉え方や感じ方が変わるように思います。

### 痛み伴っても劇的に減らす 「8割おじさん」西浦博教授、覚悟の発信

https://www.tokyo-np.co.jp/article/national/list/202005/CK2020050202100060.html

#### ◆先駆者の苦悩

科学技術振興機構(JST)のホームページのインタビュー記事によれば、西浦さんは医学生時代に非政府組織(NGO)活動に参加。途上国でのポリオの必要な予防接種率の算定に数式が用いられていることに触れて興味を持った。日本には数理モデルの専門家がいなかったためロンドンに渡り、十年間、世界の第一人者の下で学んだという。

西浦さん自身「医学系の学会では、数式が出るたび聴衆はどんどん離れていく」と認めるように、数式を駆使できる感染症の専門家は多くない。経験や勘に頼る部分が大きかった感染症予測で明確な数字を提示する西浦さんは、専門家会議で日に日に存在感を増し、政府決定にも大きな影響を持つようになる。

影響の大きさゆえ「何も対策をしないというあり得ない前提の数字を発表して不安をあおっている」「再生産数二・五は国内の現実とかけ離れて高すぎ、試算はおかしい」などと批判も寄せられる。

西浦さんは厚生労働省の記者クラブで、記者らに自らの数理モデルを解説する「意見交換会」 を四月十五日から始めた。その場で「多くの人の命が失われるのに、大きく政策が変わらない ことに苦悩があった」と、予測を公表した思いを語った。「数式でけむに巻かないように、皆 さんと情報を共有していきたい」と、自らの計算を広く理解してもらいたいとの思いも語った。

ここでは、きわめて簡単な例をもとに、数理モデルにもとづく予想をどう解釈したらよいかに ついて説明してみることにします。

# そもそも「数理モデル」って何?

遊園地で、ポップコーンを買おうとしたら、列ができていた、「どのくらい待つことになるのかな。」「あきらめようかな。でも食べたいなあ。」、そんな思いをしたことはないでしょうか。



(東京書籍「新しい数学1」より)

何分くらい待つことになるかを予想しようと思ったら、どんなことを調べますか。

- ・いま何人並んでいるか
- ・一人に何分かかるか

がわかったら予想できますか。

例えば、20 人並んでいて、先頭の人が45 秒で立ち去ったとします。そうすると、待ち時間は $45 \times 20 = 900$  (秒) = 15 (分)

と予想できます。これは、「数理モデルを作り、予想した」ことになります。もう少し詳しく言えば、「購入時間一定モデル: (待ち時間) = (一人が購入するのにかかる時間) × (自分より前に並んでいる人数)に基づく予想」です。

## 15 分は本当?

立場を替えてみましょう。もし、あなたが店員で、お客さんに「何分くらい待ちますか?」とたずねられたら、なんと答えますか。「15分と言ってしまい、もし、もっとかかったら・・・、安全のため20分かな。」

確かに15分ぴったりになるということはないです。なぜでしょうか。それは、購入にかかる 時間は実際には一定ではないからです。複数購入する人もいるでしょうし、おつりの有無による 違いもあるからです。

でも、20分と答えてしまうのでは、KKD(経験と勘と度胸)による予想に過ぎません。必要以上に長い時間を答えてしまうと、お客さんが逃げてしまうリスクもあります。

例えば、しばらく観察して、複数購入し、かつ、お金のやりとりに手間取った場合が 50 秒だったらどうでしょうか。

50×20=1000 (秒) 16 分 40 秒

となります。これは、「最大でも16分40秒」という予想ができたことになります。逆に、早かった場合を見つければ、最速も予想することができますね。

こう考えると、最初の予想で、「先頭の人が 45 秒」だったという結果だけで「一人が購入するのにかかる時間」を決めていることも見直す必要があることに気づきます。「5 人立ち去るのに 180 秒」だったことがわかったとします。すなわち、 $180 \div 5 = 36$  (秒)となります。36 秒と 45 秒、どちらを使いますか。同じ、(待ち時間) = (一人が購入するのにかかる時間)×(自分より前に並んでいる人数)というモデルを使っていても、そこに入力する値の「質」によって、予想の「質」も変わってくることがわかります。

もちろん,このモデルを使うには,「自分より前に並んでいる人数」もわからなければなりません。人数を数えることが面倒なほど並んでいる場合は,どうしたらいいでしょうか。

- ・行列はだいたい 10 m
- ·2m進むのに3分

という情報から予想してみましょう。このときは,

(待ち時間) = (行列の長さ) ÷ (1m 進むに関わる時間)

という数理モデルで予想することになります。

2 つのモデルで同じような予想になるのなら、その予想を信頼できる度合いは高まるでしょう。もし異なるのであれば、その違いが生じる原因を考えることで、予想を修正することもできます。例えば、最初のモデルでは、カップルやファミリーで1つしか買わないのに2人、4人と数えていたかもしれません。あとのモデルでは、行列の長さを誤って見積っている可能性もあります。

この例から数理モデルを使った予想に関して,以下のことがおわかりいただけるでしょうか。

- ・一つの値としてではなく、「~から・・・の間」のように解釈する。
- ・「~から・・・の間」のもっともよい値のほうを用いた予測を最善シナリオ,もっとも悪い値を 用いた予測を最悪シナリオと言う。
- ・モデルに用いる値の質(精度)が予想の質に影響する。質の高いデータが得られことによって、予想が変わることはある。
- ・数理モデルはひとつとは限らない。複数のモデルで確かめることで信頼の度合いが高まったり、モデルの修正点を見つけたりしやすくなる。

もう一度、最初の記事をみてみましょう。

影響の大きさゆえ「何も対策をしないというあり得ない前提の数字を発表して不安をあおっている」「再生産数二・五は国内の現実とかけ離れて高すぎ、試算はおかしい」などと批判も寄せられる。

上の説明にのっとれば、何も対策をしないというのは「最悪シナリオ」のことかもしれない、と解釈できます。また、「再生産数二・五は国内の現実とかけ離れて高すぎ」については、「2.5 自体をどのように決めたのかを説明してもらわないと判断できない」というのが妥当な批判です。

また、白鴎大学の岡田先生が、「データを開示してほしい、そうすれば、さまざまな研究者が様々な方法で検証できるのに・・・」と再三言っているのも、きわめて的確なコメントであることもおわかりいただけるのではないでしょうか。

# 数理科学的意思決定の難しさ

数理モデルが、自粛要請や緊急事態宣言をするかしないかを決定してくれるわけではありません。意思決定をする際の参考となる情報を提供しているにすぎません。経済的な影響も考慮し最善解を探る必要があるわけです。もちろん、この経済的な影響の判断が KKD では元も子もありません。これについても数理モデルを用いて予想がなされているのでしょう。そして、複数のシナリオを創り出し、それらを比較検討し、何らかの決定を行うことになります。

その過程では、数理モデルそのもののメカニズムではなく、用いているモデルでは何をもっとも重視しているのか (何を重視するかによってモデルがかわるからです)、それを重視することは妥当なのか、が話し合われるべきです。また、シナリオに対しても同様で、何をどのくらいの度合いで重視したらこうなるのか、その度合いを変えたらどうなるのか等を話し合う必要があります。

このような合意形成には、ファシリテーターの役割が重要なように思います。用いているモデルの詳細を説明されると、他の領域の専門家やデシジョンメーカーは理解できません。そうすると算出された結果だけに目が向き、何を優先すべきかが当事者間の力関係に依拠してしまうことになってしまいます。

同じことはマスコミに言えるのではないでしょうか。どのような合意形成がなされるべきかを、上記のような観点を押さえて、世に問うていくことが求められると思います。それがないと、市民は示された方針にただ従うか、感情レベルでの批判を繰り返すことしかできないからです。もちろん、市民にもそれを理解できるような数理科学的素養が必要です。その育成は、数学教育の果たすべき責務であることは間違いありません。

西浦先生は、3月30日の都の記者会見で次のように説明しています。

・・・・図の中で赤い文字で示していますけれども、今後一週間で、期待値としては 88 人の報告があると考えられ、その翌週には 217 人が期待される患者数であろうと考えられます。かっこの中にあるのが、95%信頼区間の上限です。来週、今から数えて一週間の間に、95%信頼区間の上限値にある患者数は 244 人と推定され、その次の週の 7 日間で想定される 95%上限区間の患者数は 647 人、これらはいずれも国内発生例で予測される患者数です。・・・

https://www.metro.tokyo.lg.jp/tosei/governor/governor/kishakaiken/2020/03/30.html

「217 人が期待される」とは不謹慎な、というツイートもあったとか。これは確率に基づいて 算出される「期待値」のことです。

赤玉 3 個, 青玉 2 個, 白玉 1 個が入った袋から一つ玉を取り出します。赤玉なら 100 円, 青玉なら 300 円, 白玉なら 500 円の商品券がもらえます。「このゲームを何回も行うとすると, 平均していくらもらえると見込んでよいか (期待してよいか)」が期待値で,

$$100 \times \frac{3}{6} + 300 \times \frac{2}{6} + 500 \times \frac{1}{6} = 233.33 \cdots$$
 (円)

となります。

95%信頼区間は、確率分布を用いた統計的推測に用いるものです。これもポップコーンの例で説明します。5人にかかった時間から算出した一人にかかる時間(36秒)は、先頭の人がかかった時間(45秒)よりは妥当でしょうが、5人にかかった時間の平均がいつも36秒というわけではありません。30秒になったり、50秒になったりすることもあるでしょう。ずっとデータをとり続ければいいでしょうが、そんなことをする暇があるなら販売を手伝え!ということになりますね。

そこで、何回か調べたときに一人にかかる時間がどのくらいばらつくかに関する別の数理モデル(確率分布)を用意します。そうすることで、一人にかかる時間を  $36\pm O$ 秒のように求めることができます。これが「信頼区間」です。 $36\pm O$ 秒は、36 秒という結果に依存しています。違う日に求めたら  $30\pm \Delta$ 秒、また別の日に求めたら  $50\pm D$ 0 になるではないか、という疑問が生じるでしょう。まさにその通りです。そこで「95%6信頼区間」の登場です。例えば、「95%6信頼区間が 31 秒から 41 秒」とは、「100 というのを 1000 回求めたら 1000 回求めたら 1000 回求めたら 1000 にかかる時間」(実際にはわかりません)を含まない場合がありますということです。すなわち、1000 の確率で「1000 のです。そこです。すなわち、1000 のです。そこです。すなわち、1000 のです。

「5%も?」と思った人は、さいころをふってどの程度のことなのかを実感してみましょう。 2回連続で目が出る確率が16.7%、3回連続が2.7%です。