

なぜ、オンライン活用なのか

2020年12月26日更新
中村寿徳

現在（2020年12月）、新型コロナウイルス感染症の流行対策としてテレワーク等が強く推奨されています。¹ この「テレワーク」を推進するものが「オンラインの活用」であると同時に「オンラインの活用」は商用に限定されるものではなく、他の社会的活動にも適用が可能です。人との接触の一部をオンライン化する事で即座に個々人の感染リスクが低下する事は直感的に理解出来ますが、「社会全体がどれ程オンラインの活用に取り組み、どれ程の成果が得られるのか」については、さほど関心を持たれていない様にも感じます。²

2020年春の新型コロナウイルス感染症の流行、いわゆる「第1波」の際に北海道大学の西浦博教授の「接触を8割減らせば約1カ月で流行を抑え込める」という発言が³、いささか誤解を含んで広まり、世間では「8割の接触回避が必要な接触回避戦略は到底、現実的でない」という印象を与えてしまった感があります。西浦教授が間違っているとは思いませんが、この「8割」は、極端に高い値だと思います。その理由として、その時点で得る事のできる情報は不確かで、また悲観的なものだったと推測出来ます。実際、西浦教授は「再生産数2.5」「重篤化してからの死亡率49%」など、不確かな情報しかない場面で、最悪の場合を想定している事が分かりますが、それ以上にハードルを高めてしまっているのが「1カ月で流行を抑え込め」という目標で、これがハードルを高めてしまった特に大きな要因だと思います。勿論、西浦教授は他の想定での計算もしているとは思いますが、「8割」は衝撃的なイメージを伴って急激に認知されてしまった様にみえます。

しかしながら、接触回避戦略は有効な戦略であり、他に代わるものがあまりないと言う事も考えられるので、もう一度、非常に簡単な想定を使って、少し考えてみたいと思います。

【1. 外出自粛の効果】

人から人に感染する伝染病を想定します。感染してから感染させるまでの日数を7日、再生産数は1.5、死亡率は1.6%だと仮定します。最初は毎日100人（700名/7日）の感染速度だったとして、そのまま感染の拡大を放置すると、56日後には毎日約2,563名が感染する勢いとなります。

$$\text{感染速度（新規感染者数/1日）} = 100 \times 1.5^8 = 2,562.9$$

感染者の1.6%が死亡すると考えると、この56日間での感染による感染者数は50,721名、死者は811.5名になります。

$$\text{予想感染者数} = \sum_{t=0}^8 700 \times 1.5^t$$

$$= 1,050 + 1,575 + 2,363 + 3,544 + 5,316 + 7,973 + 10,960 + 17,940$$

$$= 50,721$$

$$\text{予想死者数} = \text{予想感染者数} \times 0.016 = 811.5$$

実現は困難ではあるものの、最初毎日100名発生していた感染者が、7日目に他人に感染させて、同時に発症、隔離されて隔離後は誰にも感染させないものとするとして、もし、ここで外出を8割減らすと、3回目の感染（15日目から21日目）では、700名/7日であった感染者が2.52名/7日と激減します。

$$700 \times \left(\frac{1.5}{25}\right)^2 = 2.52$$

4回目の感染（22日目から28日目）では、感染者が1人でも確認される可能性は16%以下となり「外出を8割自粛すれば1ヶ月で終息」は、計算上は可能といえます。

$$700 \times \left(\frac{1.5}{25}\right)^3 = 0.1512$$

しかしながら、「外出を8割自粛」は、実現可能とは言い難いと考えられます。では、いったい、どれくらい外出を自粛すればよいのか、を考えてみる事にします。

ここまでで行った計算は、極単純なもので、外出頻度を ε として、まず、外出を自粛する事によって感染者と接触する機会を ε 倍にする事が出来ます。そして同時に全員が外出を控えた場合、出先での人の密度も ε 倍になるのでこれを考慮すると感染者と接触する機会は ε 倍の2乗という事になります。そして「再生産数」というのは「感染者が新たに何人に感染させるか」という意味ですので、再生産数を R 、元々の感染者の人数を α 、新規感染者の人数を β とした場合、その関係は以下の様に示す事が出来ます。

$$\beta = \alpha \times R \times \varepsilon^2$$

感染を繰り返す内に次第に感染者数が減るならば、ある程度安心が出来ます。その状態は、 α （元々の感染者の人数） $>$ β （新規感染者の人数）で表す事が出来ますので、

$$\alpha > \alpha \times R \times \varepsilon^2$$

$$\text{または、 } 1 > 1 \times R \times \varepsilon^2$$

となります。つまり、下記の条件が満たされれば、感染速度は減速するという事になります。

$$\varepsilon < \sqrt{\frac{1}{R}}$$

ここで再生産数（ R ）が1.5の場合、

$$\varepsilon < \sqrt{\frac{1}{1.5}}$$

という事になりますので、 ε （外出頻度）が0.816以下ならば感染は拡大しない、という事になります。これは約2割の外出自粛という事になります。

2割の外出自粛で計算すると、
第1回（0から7日目の感染速度）：

$$700 \times 1.5 \times 0.8^2 = 672 \text{ (1日当たり96名)}$$

第2回 (8から14日目の感染速度) :

$$672 \times 1.5 \times 0.8^2 = 645.1 \text{ (1日当たり92.2名)}$$

第3回 (15から21日目の感染速度) :

$$645.1 \times 1.5 \times 0.8^2 = 619.3 \text{ (1日当たり88.5名)}$$

この様に、基礎的な再生産数が1.5の場合、外出を2割削減すれば、他の予防手段の向上がなくても感染拡大を抑制する事が出来ます。

完全に感染拡大を放置した場合に比べると、56日以内に感染する確率は、10.8分の1 (9.2%) となり、90.7%感染の確率を下げる事が出来ます。

$$\begin{aligned} \text{感染する確率} &= \left\{ \sum_{t=0}^8 700 \times (1.5 \times 0.8^2)^t \right\} \div \left(\sum_{t=0}^8 700 \times 1.5^t \right) \\ &= \frac{4,683}{50,721} \approx \frac{1}{10.8} \end{aligned}$$

$$\text{感染する確率の減少} = 1 - \frac{1}{10.8} = \frac{9.8}{10.8} \text{ (感染確率が90.7\%削減出来る)}$$

更に3割外出を控えた場合について計算してみると、

- ・8回目 (56日目) 以降の感染数は最初の10分の1以下。(60名/7日)
- ・15回目 (105日目) 以降の感染数は最初の100分の1以下。(6.9名/7日)
- ・24回目 (169日目から175日目) に感染者が1人でも確認される可能性が43.3%、終息の見込みが立つ事になります。

ここで行った計算は、比較的単純なものですが、基本的な要点は押さえていると思います。

感染してから感染させるまでの期間として想定した7日は、短い様にも感じますが、これが14日であったとしても、単純に期間が2倍になるだけで、再生産数が1.5ならば、やはり外出頻度を0.816倍以下とする事で感染速度を低下させる事が出来ます。

再生産数は、いわゆる「第1波」の頃は情報も少なく、その他の対策も徹底していなかった事もあり、2.0~2.5くらいの再生産数が想定されたりしましたが、概ね現在は1.5以下程度になっているように思います。

試しに再生産数2.0の場合と2.5の場合を計算すると、

$$\text{(再生産数2.0)} \quad \varepsilon < \sqrt{\frac{1}{2.0}} = 0.707$$

$$\text{(再生産数2.5)} \quad \varepsilon < \sqrt{\frac{1}{2.5}} = 0.632$$

となり、再生産数2.0は外出の3割削減で、再生産数が2.5あったとしても4割削減で感染速度を低下させる事が出来ます。更には計算とは別に混雑緩和により第三者との距離が拡大する利点も期待出来るので、実際の値は計算よりももっと良好なものになるかも知れません。

勿論、この外出自粛戦略は他の換気や空気消毒技術、マスク等の技術の向上と同時に進む事になりますので、相乗的に終息のための有力な手段となりますし、ほぼ確実にこれだ

けの効果のある外の方法は、今のところ思いつきません。

また、厚生労働省のオープンデータ⁴を見る限り、いわゆる第1波は4月10日に708名の陽性者を確認した後、10分の1程度まで低下し、6月末頃まで、ほぼ安定した値となり、いわゆる「第2波」も8月7日に1,595名を記録した後、3分の1程度になって10月末頃まで安定しています。これは今まで取られて来た対策が、一定の効果を挙げており、もう少し努力を重ねる事で換気などに適した5月、6月や、9月、10月に終息させる可能性を示すものといえます。

(また、感染者数が僅かとなると、公的機関の実施する水際対策や感染経路の追跡が極めて有効に機能する様になりますし、こういった技術は日増しに向上するはずです。)

【2. 外出自粛戦術を実施するためには】

さて、ここで、「大多数で上記の努力をしたならば、上記の計算通り感染が抑制出来、また、上記で予想される結果が全員に取って最も良いもの」だと仮定してみます。その場合、最も良い結果を得る障害になるものもあるはずですが、お気付きかも知れませんが、これは「ゲーム理論」です。

ある個人Aが、外出自粛戦術を取ったとします。この時、自粛せずに外出した時の効用をEとして常に1だとします。感染回避の効用をHとして複雑な関数は使わず、大雑把に感染回避の確率そのものだと考える事にします。ここで、参加者が他者の外出自粛を考慮しない場合、2割外出自粛戦術の利得 (U) は

$$U = 0 + 0.2 = 0.2 \quad \text{となります。}$$

表で示すと、

参加者A	
外出	利得: 1
外出自粛	利得: 0.2

参加者Aは外出を選択するでしょう。

そこで、外出自粛時に外出に代わる効用を追加する事にします。つまり、オンライン化です。これによってある程度の効用Lを得る事が出来るものとします。ただし、この効用は普段から馴染みのある楽しみである外出の効用程のものではありませんから、その値を0.5だと仮定します。

ここで整理すると効用関数は、

外出の場合： $U = E$

外出自粛の場合： $U = L + H_t$ (Lは常に0.5。)

もし、多数の参加者がおり、全ての人が外出自粛を行った場合、感染回避率は $(1 - 0.8^2 = 0.36)$ 、片方が外出自粛を実施した場合は、市中の人口密度を平均で0.9倍、外出自粛の外出頻度が平均で0.9倍ですので、感染回避率は $(1 - 0.9^2 = 0.19)$ です。ここで表を作ると、以下の様になります。

参加者A, 参加者B	外出	外出自粛
外出	利得: 1, 1	利得: 1, 0.69
外出自粛	利得: 0.69, 1	利得: 0.86, 0.86

この状況では、AもBも「外出」を選び (1, 1) の利得を得ますし、それが合理的です。

では、どうすれば人々は外出自粛という選択をする様になるのか、という問題ですが、1つには長期的な視野を持ってもらう事が有効といえます。⁵ 両者が「外出自粛」を選択した

場合、1回目に0.36の感染回避を実現する事が出来ます。感染間隔上の2回目では市中の感染者数が何もしない場合（再生産数通り増える。）の、0.64倍になりますので、

$(1 - 0.8^2 \times 0.8^2 = 0.59)$ となり、片方が外出自粛をした場合は

$(1 - 0.9^2 \times 0.9^2 = 0.36)$ となります。利得表は以下の様になります。

参加者A, 参加者B	外出	外出自粛
外出	利得: 1, 1	利得: 1, 0.86
外出自粛	利得: 0.86, 1	利得: 1.09, 1.09

一見、これだと両方が外出自粛を選択しそうですが、1回目と2回目の合計をみれば下記の様になります。

参加者A, 参加者B	外出	外出自粛
外出	利得: 2, 2	利得: 2, 1.55
外出自粛	利得: 1.55, 2	利得: 1.95, 1.95

やはり、両方が外出する方が合理的となります。

また、1から3回目の合計は下記の通りです。

参加者A, 参加者B	外出	外出自粛
外出	利得: 3, 3	利得: 3, 2.48
外出自粛	利得: 2.48, 3	利得: 3.19, 3.19

この場合の様に、参加者が感染間隔で3回先（感染間隔が7なら22日後）の結果を認知してくれたならば、感染回避の効用が高まり、A, B 両者が外出を控えた場合の効用（A: 3.19, B: 3.19）が最適となります。

しかしながら、これで問題は解決した訳ではありません。ゲーム理論について勉強した方ならすぐに分かると思いますが、これはいわゆる「囚人のディレンマ」ゲームになっています。つまり、参加者Aが外出自粛を選択したとしても、参加者Bが外出自粛を行わなかった場合、参加者Aは外出を選択した場合の3より低い2.48の利得しか得る事が出来ず、参加者AはBとの信頼出来る約束でもない限り「相手は『自分だけ外出自粛を実施しても他の人はやらないだろう』と考えて自粛しないだろう」、あるいは「自分だけ外出自粛を実施しても他の人はやらないだろう」と考えて「外出」を選択してしまう可能性があります。

これは、回を重ねる毎に両方で協力した場合の利得とそうでもない場合の利得の幅が拡大しますので、回を重ねるほど両者の協力の可能性が拡大するもので、フォーク定理と呼ばれゲーム理論の世界では良く議論された問題です。フォーク定理については、いささか複雑であり、ここでは説明は行ないませんが、直感的にも分かる様に、この「囚人のディレンマ」的ゲームで利得を最大化するためには、両者の協力で得られる利得に対する認識と十分な信頼度が必要となります。

また、このゲームを「囚人のディレンマ」的でない状態にする事も出来ます。勿論、参加者がより長期的な結果を認識すればそうなりますが、その他の方法もあります。ここまでの分析ではオンライン化によって得られる効用を0.5で固定しましたが、オンラインの効用が、例えば0.2増大すると（つまり、0.7になる。）、3回分合計のゲームでは、片方が外出自粛した場合の利得が3.08になり、外出を選択した場合の3を上回るので、協力の有無に関係なく、参加者Aと参加者Bは外出自粛（オンラインを楽しむ）を選択し、認識さえついて行くならば⁵、その利得は協力した場合の利得になります。その値は（3.79, 3.79）です。この現象は普段でも良く見かけます。自分達が子供の頃は、まだテレビの録画があまり使い勝手のよいものではなかったので、早めに家に帰って、翌朝学校で昨日見たテレビの話で盛り上がる、という事は日常茶飯事でした。要は強制的に外出自粛をさせるのではなく、好んで家にいる事を選択してもらえるのがオンライン化の優位性です。

【3. 結論】

ここまでの簡単な計算で、オンライン化を達成する為に必要な事として次の3つが明らかになりました。

1. 「外出自粛戦略」に関する長期的な認識を持ってもらう。
2. 「協力」に対する信頼度を高める。
3. オンライン化による効用を高める。

上記の実施に当たっては、他の専門分野（教育、行政、社会活動、創作活動、文化活動など）の各論的な部分に依存する事になりますが、少し考えただけでも「1.」に関しては「オンライン化は、感染症拡大に対して確実かつ大規模な効果がある」という事を粘り強く説明する事が効果的である様に思います。また、推進しようとする側も「認識されない」と有効な効用になり得ない」という認識を持ち続ける事が必要です。⁵ 加えていえば「やればやるだけ、伝染病の終息は早くなる。つまり、オンラインを活用して何らかの満足感を追求する事が、人の命を救う事に繋がるという事」も認識して損はないと思います。意外かも知れませんが経済学の世界では「死ぬのが怖いからしないだろう」という考えは成り立ちません。現代の経済学では「人は一定の確率での死をも覚悟して効用を求めるもの」だと考えられています。⁶

「2.」の協力に対する信頼度を高めるという事も必要です。人間というのは良いと分かっても長期に渡って、効用も満たされず苦しい思いをしながら、ただ「合理的だ」という理由だけで合理的な行動を保てるものではありません。² 2005年にノーベル経済学賞を受賞したトーマス・シェリングは、この「人間は必ずしも合理的に行動するとは限らない」という問題を古くから研究し⁷、その影響はリチャード・セイラー（2017年ノーベル経済学賞受賞者）などに代表される“behavioral economics”（行動経済学）という分野に引き継がれており、注目すべき部分だと思えます。⁸ 難しい問題ですが、例えば「周りのみんながやっている」とか「知り合いもやり始めた」というのは事実を確認しやすい「実績」で、経験的にいうと、この実績は信頼度を高めます。

「3.」に関しては、言うまでもなく「満足してもらえるものを提供する」「提供してもらうのを楽しむ」「提供作業を楽しむ」という事くらいは私でも分かりますが、要するに内容が大事ですので皆様の表現力や熱意、技術、知識などが最大限に発揮されるべき場面だと思います。ただ、経験的に言うと、何かを楽しむ場合は「習うより慣れろ」で慣れていないと面白く無いように感じます。逆にいうと粘り強く慣れるまでやってみる事で効用を拡大させる事が出来るかも知れないという事です。実際に慣れるまでやってみて、自分の得る効用が増したならば、相手は「彼は自分の思っていたより楽しんで（大きな効用を得て）いるようだ。」と考えて、自分の選択に「慣れるまでやってみて今より大きな効用を得る」という選択肢を追加するかも知れません。ちょうどスポーツやゲームで「みんなが楽しそうだからやってみよう」と、最初は難しく面白くなくても、続けてやってみると面白くなる」のようになっていと思います。そうやってオンラインを楽しむ人が増えれば、非感染者が感染者に接触するリスクと感染者が非感染者に接触するリスクを下げ、上記で計算した様に相当な感染抑制に繋がり、人の命を救う事になります。

正直、新型コロナウイルスに対する対策として、医療の専門家の方々はあらゆる手段を尽くして、感染拡大を相当抑え込んで下さっていると思いますが、それでもなお感染は拡大しており、あらゆる治療薬が試され、予防法が試されたにも関わらず、未だに医療関係者ですら感染して戦線を離脱したり、疲労困憊してしまったり、行政も感染経路の追跡すら困難となりつつあるようです。最早、医療分野で考えられる策は、全て試されてしまったかの様にも見え、今、現在の状況を一変させるには、応用経済学の実戦投入以外にはないと思います。

【註釈】

¹ 「テレワーク徹底を再要請 西村再生相、経済3団体に」（共同通信 2020.12.1 <https://jp.reuters.com/article/health-coronavirus-usa-idJPKBN27W2H8> 12月16日確認）

² 「『勝負の3週間』減らぬ人出 大都市繁華街、1割減止まり」 「新型コロナウイルスの感染拡大を受け、政府が『勝負の3週間』と位置づけて集中的な対策を呼びかけてから2週間で過ぎた。しかし大都市の繁華街などの状況を分析すると、呼びかけ前に比べて人出に大きな減少はみられない」（日経新聞社 2020.12.11 <https://www.nikkei.com/article/DGXZQODG112WI0R11C20A2000000> 12月26日確認）

³ 「西浦教授は、人と人の接触が8割減れば、15日後に感染者が十分に減少し、1カ月で効果を確認できるとした」（時事通信 2020.4.15 <https://www.jiji.com/jc/article?k=2020041500281> 12月16日確認）

⁴ <https://www.mhlw.go.jp/stf/covid-19/open-data.html> （12月16日確認）

⁵ かつて、法政大学経済学部学部長などを務め、現在でも幾つかの分野で第一人者と目される村串仁三郎名誉教授が一時的に引退宣言をされた後、村串先生から引き継いだ研究資料の中に先生の自著『賃労働理論の根本問題』（時潮社、1973年）という書籍がありました。正直、難解そうであったので受け取るのを躊躇しましたが、先生から強く「持っておくように」と言われて受け取りましたが、最近読み返して、大事な事に気付きました。その著書で、ある者が今まで食べた事のない食べ物を食べて気に入った場合、新しい効用が生じる可能性について論じられていました。それを読んで自分は「確かに効用というのは認識して初めて生じるものだ」と強く確信する事になりました。

⁶ 経済学者のRobert E. Hall、Charles I. Jones、Peter J. Klenowの共同論文“TRADING OFF CONSUMPTION AND COVID-19 DEATHS”（2020年）には“As is well appreciated in economics, individuals make life-and-death decisions every day when deciding what job to take or whether to drive across town.”と記載されており、「危険を覚悟で職業を選択したり、ドライブをする決断をする」事は経済学的に認知されている事を認めている。

⁷ Thomas C. Schelling's *Choice and Consequence*（Harvard University Press, 1984）トーマス・シェリングは日本ではあまり有名ではなく、自分はツイッターでフォローしてもらってから真剣に氏の著書などを読む様になった単なるツイッター仲間ですが、現在では「現代経済学の基礎を作った」と言っても過言ではないのではないかと思います。

⁸ セイラーはその著書 *Misbehaving: The Making of Behavioral Economics*で、“Many times over the years my interests would intersect with Schelling's, an early supporter and contributor to what we now call behavioral economics”と述べている。