

# コロナ感染対策の政策転換

新居 俊作 (九州大学 数理学研究院)

2020年4月16日

あまり意識されていないことですが、3月までと4月以降でコロナウイルス感染対策が明らかに転換されていることを解説します。  
どちらも基本再生産数  $\mathcal{R}_0$  がカギですが、その利用方法が違います：

**3月以前** 非感染者の割合が  $\frac{1}{\mathcal{R}_0}$  より小さくなって放っておいても感染が広がらなくなる (集団免疫) までの間、可能な限りゆっくりと感染を拡大させる (数値目標無し)。

**4月以降**  $\mathcal{R}_0$  が1より小さくなって感染者が直ぐに減少する様に、人の接触を全人口平均で6割削減する (明確な数値目標)。

4月以降の政策の限界は、感染者が減って外出制限を緩めれば、再び急速に感染が拡大し始め、根本的な感染抑制にはならないことです。

また、この政策を実現するには、人と人との接触の8割削減を国民に要請しなければならず、7割では効果がないことを最後のセクションで説明します。

次ページの Figure 1 は厚労省の Webpage で公表されていた文書中 (2月中に公表された文書で、もう削除されてます) の図ですが、同様の図はテレビ等にも何度も現れていました。

そして Figure 2 は4月3日の日本経済新聞の記事 [日経 1] からの引用です。

この記事の中で北大の西浦教授は、外出制限によって人の接触を (減らせる人は) 8割減らせられれば (それによって全人口平均で6割減らせられれば) 感染を減少に転じさせることが出来るが、現状の外出自粛では人の接触は2

## 新型コロナウイルス対策の目的（基本的な考え方）

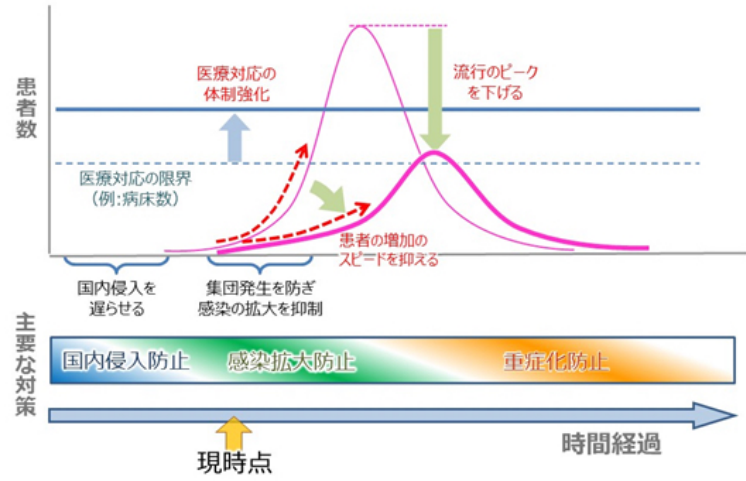


Figure 1: 初期の考え方

## 接触8割減なら感染爆発を抑制

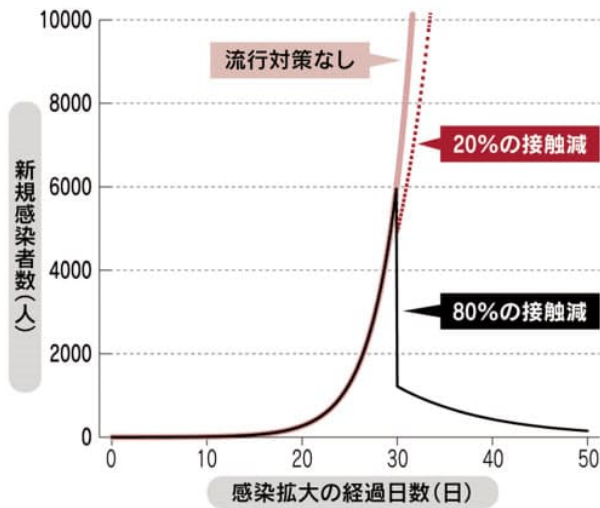


Figure 2: 現在の考え方

割しか減らず流行の拡大が数日遅れるだけで爆発的な患者増は抑えられない  
としています。

この二つは一見同じようなことを言っている様に見えますが、実は感染  
拡大対策の考え方が根本的に違います。

特に Figure 1 のグラフのピーク位置は集団免疫が獲得された時点で、そ  
の時の非感染者数の割合は  $\frac{1}{R_0}$  ですが、Figure 2 のピークは接触の削減  
を始めた直後で(それが実際に分かるのは潜伏期間が過ぎて医療機関に感  
染者数が分かる約2週間後)、その時の非感染者数は  $R_0$  とは無関係で、  
いつ削減を始めたかによって決まります。

## 1 理論的な背景

どちらの場合でも基本再生産数  $R_0$  が重要な意味を持ちます。

先ず大雑把には、基本再生産数  $R_0$  は一人の感染者が「周りにいるのは  
非感染者だけ」の時にうつす平均的な人数です。(詳しくは [新居 1] を見て下  
さい) 変数変換をして時間の効果を消してある(無次元化と言います)、つま  
り「一定時間内」ではなく「個々の感染者の感染期間全体を通して」うつす  
人数にしてあるので、この人数をうつすのにどれだけの時間がかかるかは明  
示されませんが、平均的な感染期間(2週間程度)と考えて下さい。

一人の感染者がうつす人数が  $R_0$  なので、そうしてうつされた感染者達が  
次にうつす人数は  $R_0^2$  で、その次は  $R_0^3$ 、...、と次々に累乗されて行きます。  
なので、もし  $R_0 < 1$  なら新たな感染者は段々と減って行きますが、 $R_0 = 1$   
なら新たに感染する人数は一定で、 $R_0 > 1$  なら新たな感染者は段々と増え  
て行きます。

$R_0 < 1$  の場合 感染者数は日毎に急速に減っていく。

$R_0 = 1$  の場合 感染者数は変化しない。

$R_0 > 1$  の場合 感染者数は急速に増えていく。

日本経済新聞4月7日の記事[日経 2]によると3月中の推定値は  $R_0 = 1.7$   
程度であったものが、4月に入って3を超えた可能性があるとのこと  
です。しかし、4月3日の記事やその中の図(Figure2)及び、それ以降のシミュレ  
ーションでは不確実な値は使わず欧米での経験値  $R_0 = 2.5$  を用いているそう  
です [Buzzfeed]。

この場合は  $\mathcal{R}_0 > 1$  なので感染者は無限に増え続けるかと言うと、もちろん人口は有限なのでそんなことはありませんが、実は全人口が感染するより前に新規感染者は減り始めます。それが以下で解説する集団免疫です。

上で、基本再生産数  $\mathcal{R}_0$  は一人の感染者が「周りにはいるのは非感染者だけ」の時にうつす平均的な人数、と書きましたが、「周りにはいるのは非感染者だけ」ではないときはどうなるのでしょうか？

$$(\text{一人がうつす人数}) = (\text{接触する非感染者数}) \times (\text{各接触でうつす確率}) \quad (1)$$

と考えましょう。そうすると、感染者の生活パターンが同じでも、接触する人の中の非感染者の割合が下がればうつす人数も減るでしょう。

仮に全人口の半分が感染者又は、回復者(免疫を持っていて再びかかることはないと考えられている)であるとしましょう。この時は、一人の感染者と接触する人の半分が感染者又は回復者なので、一人の感染者が接触する非感染者の数は、「周りにはいるのは非感染者だけ」であるときと比べて半分になるでしょう。ということは一人の感染者がうつす人数も半分になって  $\frac{\mathcal{R}_0}{2}$  となるでしょう。同様に考えると、「周りにはいるのは非感染者だけ」ではない場合に一人がうつす人数は

$$(\text{一人がうつす人数}) = \frac{(\text{非感染者数})}{(\text{全人口})} \times \mathcal{R}_0 \quad (2)$$

としてよいでしょう。この右辺を**実行再生産数**と呼び  $\mathcal{R}_e$  と書きます。

そうすると、感染者が増えて非感染者が減り式 (2) の右辺が 1 より小さくなれば新規感染者は減り始めるはずで、これが**集団免疫**が獲得された状態です。つまり

$$\frac{(\text{非感染者数})}{(\text{全人口})} < \frac{1}{\mathcal{R}_0} \quad (3)$$

です。

例えば、 $\mathcal{R}_0 = 1.7$  で集団免疫が獲得されるのは全人口の 41% が感染した時で、 $\mathcal{R}_0 = 2.5$  ならば 60% が感染した時、となります。

この状態の特徴として次のことが重要です：

非感染者の割合が  $\frac{1}{\mathcal{R}_0}$  になるまで増え続け、途中の広がり方が速かったか遅かったか、あるいは一時的に止まったり減ったりしたかにはよらない

## 2 初期の政策

政府が最初に取りっていた政策はここまでの分析に基づいています。基本的な考え方は次の通りです：

外出等の自粛によって  $R_0$  を「出来るだけ(目標値無し)小さくする」

つまり、自粛によって式 (1) の右辺第一項の一人の感染者が(接触する非感染者数)を少なくして  $R_0 = (\text{一人がうつす人数})$  をすくなくすると、Figure1 の様に、感染者の増加のスピードは遅くなり、かつ、(3) の右辺も大きくなるので集団免疫が獲得されるまでに感染する人数も少なくなる、と言うわけです。

特に Figure 1 のグラフの縦軸は感染者数のみで回復者を含まないのので、集団免疫を獲得するまでに最終的に感染する人数が同じでも、感染が広がるスピードが遅ければ、同時に感染している(その時点でまだ回復していない)人数は減るので、グラフの山は低くなります。

感染者の症状が比較的軽くて重症化して医療機関にかかる必要のある人が非常に少なく、更に死亡率が無視できるくらいに低ければこれで構いません。例えば、季節性インフルエンザには日本国内で毎年一千万人も人がかかりますが、死亡率が 0.1%と低いために、年間一万人しか(それでもかなり多いですが)犠牲者は出ません。

実際、イギリスは当初「新型コロナウイルス感染症への免疫を持つ人を増やして感染を抑えるために、ある種の集団免疫を形成」と言う戦略を表明していました [MIT]。日本の場合は、そこまで極端ではなく、自粛によって人為的に  $R_0$  を可能な限り小さく(だが1より大きくても構わない)することと、これは推測ですが、春になって気温の上昇とともにウイルスが不活発になって(季節性インフルエンザの様に)自然終息することに期待していたのではないかと思われまます。

しかし、これは甚大な結果をもたらします。

上述の様に3月中の未だ集団感染が抑えられていた状態でも  $R_0$  は 1.7 程度です。これは上述の様に人口の 41%つまり五千万人近くが感染することになります。そのうち多くの人々が重症化し、更に死亡率が 1%程度と高いために 50 万人程度が死亡する可能性があります。西浦氏はもう少し精度の良い予測をして、重症者 85 万人、死者 40 万人と予測しています [日経 3]。これは被害が大きすぎますし、感染が広がるスピードを多少遅くしても早い段階で医療崩壊(重症者数が医療機関の収容可能人数を大幅に上回って必要な医療が提供できなくなる)が起きるでしょう。イギリスも「死者 25 万人」という予測が出て方針を転換しました [MIT]。

### 3 現在の政策

現在の政策は以下の様になります：

外出を止めることを要請、指示することにより  $R_0 < 1$  を実現する

この、 $R_0 < 1$  という数値目標を実現するための手段が人の接触 8 割減です。

Figure 2 及び関連する文献のシミュレーションは  $R_0 = 2.5$  としているので、以下その前提で話を進めます。

式 (1) で (接触する非感染者数) を 4 割  $= \frac{1}{2.5}$  に削減します。すると、元の  $R_0$  が 2.5 ですから削減後の  $R_0$  は丁度 1 になります。そうすると、一人が一人にしかうつさなくなるので、新規感染者数は増減せず一定になります。Figure 3 は 4 月 11 日の日経新聞のもの [日経 4] ですが、図中で「6 割削減」と書いてあるところからグラフが真横に伸びているのがこれに対応します。

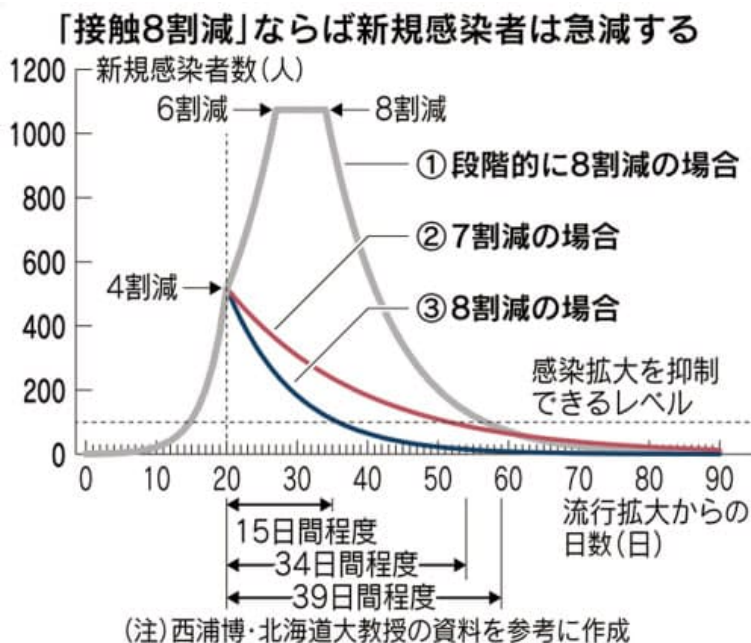


Figure 3: 接触削減とその後の推移

そして、(接触する非感染者数) を 3 割 (7 割減) 又は 2 割 (8 割減) にすると  $R_0$  は 1 より小さくなるので感染者数は減少を始め、その減少スピードは接

触の削減が大きいほど早くなります。また、6割に市ただけ(4割減)では感染拡大は止まりません。(以上の計算では6以上削減でいいはずが、専門家会議が8割減を要請している[日経1]理由は次のセクションで解説します。)

この状態の特徴として次のことが重要です：

接触の6割以上削減を始めた直後から感染者が減りはじめ、それを維持できれば感染者はほとんど居なくなるが、根本的に社会に感染が広がらなくなっているわけではなく、その後接触削減を止めて $R_0$ が元に戻れば、また急激に感染者が増加し始める。

つまり、感染を力づくで押さえ込んでいる状態で、感染が根本的に終息するわけではないわけです。

今後政府がどのような施策を打つ計画かは現時点では不明ですが、現在の政策をとる限りでは、医療崩壊が起きる前に感染拡大を抑え込み、市民生活がきつくなったら緩め、それでまた感染が拡大したら再び抑え込み、というのを、ワクチン接種と抑えきれなかった感染により集団免疫が確立するまで(つまり、非免疫保持者の割合が $\frac{1}{R_0} = 0.4$ より小さくなるまで)繰り返さざるを得ない様に思われます。

## 4 全人口平均で接触6割減には一般が8割減

前のセクションでは、 $R_0 = 2.5$ を根拠に感染を押さえ込むには人と人との接触を6割以上減らさなければならないことを説明しました。ところが、専門家会議が8割減を要請していて[日経1]その齟齬が混乱を招いているようです。実際、安倍首相は中間をとった感じで「最低7割、極力8割減」と繰り返し国民に要請しています。しかし

国民に要請すべきなのは接触8割以上減でなければならず、7割ではダメ

であることがこのセクションを読むと分かります。

実は、専門家委員会の8割減は、全人口平均で6割減らすためには、一般の人は8割減らす必要がある。ということで、それは西浦氏による専門家向けの説明[西浦1](の残り30秒以降)や一般向けのインタビュー記事[西浦2](の2ページ目)を見れば分かるのですが、ここではそれをもう少し細かく解説します。

行動経済学者の小幡績准教授が書いているように[小幡]\*、世の中には「原

\*実は小幡氏がここで長々と述べていることを織り込んで6割減を達成するためには8割

則的に外出はしないで下さい」と政府が言っても従わない人達や、従いたくても事情があって従えない人達(小幡氏の言う「グループAの半分」。西浦氏も小幡氏もこの2者をまとめて「夜の街」を例にあげています)、あるいは例外的に、休んでもらうと社会の方が困る人達(西浦氏のあげる「ハイリスク」の典型である医療関係者、あるいは食品日用品小売業者、配送業者、通販業者、その他社会インフラ関係等)が居ます。(驚くべきことに、小幡氏の記事には最後のグループは登場しません。)

そこで、簡単にするために上で挙げた、行動を変えない人の割合を  $p$  としましょう。その上で、残り  $1-p$  の人達が人との接触を(割合として)  $x$  に減らしたとします。このとき人口全体で接触は

$$p + (1-p)x \quad (4)$$

に減ります。

今仮に  $p = \frac{1}{4}$  つまり、世の中の4分の1の人は政府の呼びかけに従わないとしましょう。その上で、人口全体の平均で6割の削減(=4割に削減)を達成するには他の人は  $x$  に減らさないといけないとします。すると(4)は次の様になります：

$$\frac{1}{4} + \left(1 - \frac{1}{4}\right)x = 0.4 \quad (5)$$

これを  $x$  について解くと

$$x = 0.2 \quad (6)$$

となって8割減ということになります。

実際の西浦氏の計算はもっと細かく分類して<sup>†</sup>削減率 0.79 という精密な結論を得ているそうです。(残念ながら詳細なデータは見つけれませんでし

減を要請する必要がある、ということ向西浦氏は計算しているのであって、目標達成の仕方が違うだけです。小幡氏はこの辺のことを全然調べていないらしく、人口全体で6割が目標であることも、そこから氏が指摘している要因を取り込んで計算した結果が8割であることも、どちらも知らない様です。それでいて冒頭に「疫学の学者の先生方は、社会や人間というものが分かっていないらしい」などと書くのですから、その尊大さには呆れると言うより笑っちゃいます。

世の中には勉強しないでマスコミで平気で嘘を付く人がいるので気をつけましょう。

<sup>†</sup>例えば、医療関係者は削減どころかコロナ対応で普段より仕事量が増えているので、その分も入れて計算しなければならないでしょう。同様に、多くの人が外出を避けるために宅配を利用する様になったので、宅配業者の仕事量が3割増になったという話もあります。

あるいは、介護施設に入っているお年寄り、家族等の面会を禁止する程度しか接触を減らす方法がないでしょうから、それで6割8割は無理でしょう。

逆に、例えば満員の東京の山手線一編成には3500人以上乗っているのです、それで通勤しているサラリーマンはリモートワークにして全く通勤せずに家族としか顔を合わせない様にすれば、劇的に減らせるでしょう。



た。計算に行列を使っているというのをちらっと見たので、連立方程式を解いている様です。)

## References

[日経 1] 日本経済新聞 4月3日

<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO57610560T00C20A4MM0000/?fbclid=IwAR04jx-5FWgaEOUb7YeBIgJQ9pIdFDhEq9HU2BfVBynHE5dEK0FpOH4Jmng>

[日経 2] 日本経済新聞 4月7日

<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO57786850X00C20A4EA2000/>

[日経 3] 日本経済新聞 4月15日

<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO58103320V10C20A4CR8000/>

[日経 4] 日本経済新聞 4月11日

<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO57961860R10C20A4CZ8000/>

[Buzzfeed] BuzzFeedNews 4月11日

<https://www.buzzfeed.com/jp/naokoiwanaga/covid-19-nishiura>

[新居 1] 新居俊作「コロナの感染拡大と終息の予測方法」

<https://www2.math.kyushu-u.ac.jp/~snii/SIR.pdf>

[MIT] MIT Technology Review 3月17日

<https://www.technologyreview.jp/nl/the-uk-is-scrambling-to-correct-its-coronavirus-strategy/>

[西浦 1] <https://twitter.com/ClusterJapan/status/1247463049662889985>

[西浦 2] <https://headlines.yahoo.co.jp/hl?a=20200411-00010003-bfj-soci&>

[小幡] 東洋経済 ONLINE 4月18日

<https://toyokeizai.net/articles/-/344963>