

ワクチン接種は 感染状況をどの程度改善させたか

先行3カ国のシミュレーション

国内では新型コロナウイルスの感染状況がなかなか改善しない一方、米国や欧州の一部の国などでは、感染状況の改善が続き、各種の制限措置が相次いで緩和されている。状況改善の大きな要因として指摘されているのがワクチン接種の進展であり、日本でも接種の加速を求める声が強まっている。もっとも、感染状況の改善は、国によっては厳格な行動制限が寄与している場合もあり、全てがワクチン接種の効果によるものではないだろう。接種がようやく本格化しつつある日本への示唆を探る観点からも、状況が改善している国におけるワクチン接種の効果を検証してみよう。

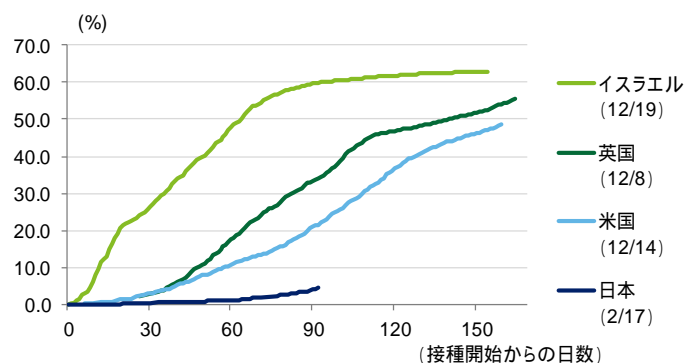
試算の枠組み

具体的には、接種が他国に先駆けて進んだイスラエル、英国、米国の3カ国を対象に、一般的な疫学モデル（SIRモデル）を用いて、ワクチン接種が一切進まなかったと想定した仮想的なケースにおける感染者数などを試算する。

SIRモデルは、人口を、感染する可能性のある人（S：Susceptible）、感染している人（I：Infected）、回復・ワクチン接種により今後感染する可能性のない人（R：Recovered）という3グループに分け、グループ間の遷移を簡単な数式で表現したものであり（例えば、ワクチンにより免疫を獲得した人は、Iを経ることなくSからRに移行する）、今やコロナ感染者数の予測などに幅広く活用されている。基本的なSIRモデルでは感染力が一定とされることが多いが、本稿では感染力がモビリティ（人出）の増加に伴って上昇すると想定する。さらに、ワクチンがなかった場合のシミュレーションを行うために、モビリティ自体も感染状況により変動すると仮定した。上記3カ国の人出は上向いているが、これはワクチン接種が進む中で政府の規制が緩和されたり人々の安心感が高まったりしたことによるもので、ワクチン接種がなかった場合は感染状況が（実際に観察された）実現値よりも悪化し、それに伴って（規制強化や人々の自主的な行動の結果として）人出も実現値より抑えられる、と考えるのが自然だろう。以上の想定の詳細は、本稿末尾を参照されたい。

まず、ワクチン接種のスピードをみると、先行した3カ国の中でも、イスラエルが突出して速いことが分かる（図表1）。1人が接種を受けてから90日後の接種率は、米国が20%程度、英国が30%強だったのに対し、イスラエルでは60%に達していた。なお日本については、接種の開始が遅れたことは周知のとおりだが、開始後のペースも3カ国と比べて目立って遅いと言える。

図表1 ワクチン接種ペース



注：少なくとも1回の接種を受けた人の割合。凡例・括弧内はワクチン接種開始日。
出所：Our World in Data, CEICより有限責任監査法人トーマツ作成

イスラエルで顕著なワクチンの効果

次に、上述の前提に基づく試算結果を国ごとに示したのが図表2だ（左：1週間の新規感染者数、右：モビリティ）。右グラフには、ワクチン接種がゼロとの仮定の下で、実際に観測された感染者数を実現するために必要なモビリティの水準も参考として算出している。

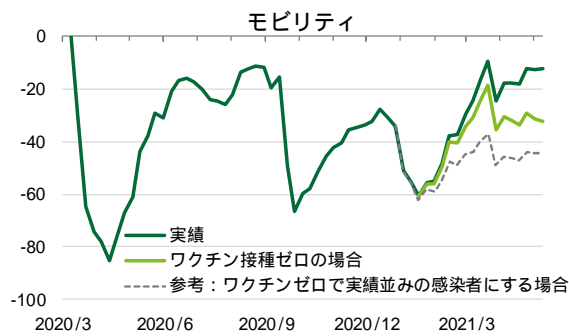
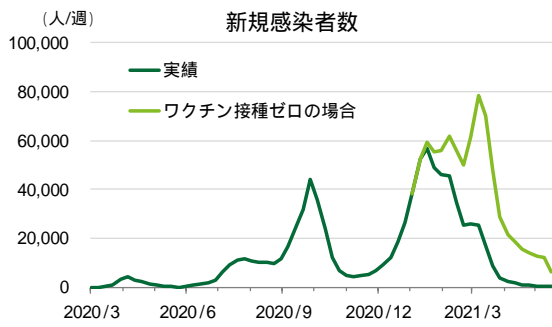
これを見ると、イスラエルでは、1月半ばをピークに実際の新規感染者数は減少の一途を辿っているが、ワクチン接種がなかった場合は3月にかけて大幅な感染拡大に見舞われていたことになる。その後感染者数は減少するが、ピーク時には過去最高の水準まで急増していた計算だ（なお、感染拡大を受けて人出がどの程度抑制されるかは、過去の平均的な関係を元に計算しているため、過去と比べて強い規制が導入されるなどすれば、感染者数の水準や波の形は変わってくることに留意）。

一方、英国では、ワクチンがなかった場合でも1月頭にピークを迎えることは変わりなく、水準はやや上振れするものの4月頃まで減少基調が続くことになる。これは、2020年末からの再度のロックダウンにより、人出が大きく抑えられ続けたことが影響している。実際、試算されたモビリティ水準は、参考モビリティ（ワクチンゼロの下で現実と同等の感染者数を達成するために必要なモビリティの水準）とほとんど変わっていない。しかし、感染者の減少を受けて人出が再び活発化することで、足許にかけて第4波の兆しが生じる結果となる。

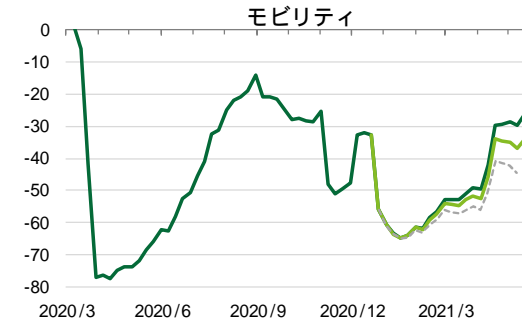
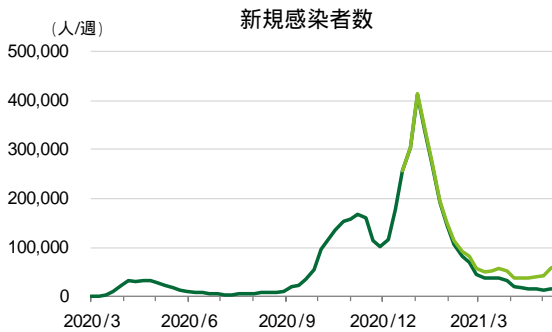
最後に、米国におけるワクチンなき場合のシミュレーション結果をみると、2月半ばまでは実際の感染状況と大差ないが、その後は大幅な感染拡大の波が生じることとなる。参考モビリティが実際の水準から大幅に下振れしていることから、感染急増の深刻さがわかる。

図表2 ワクチン接種ゼロの場合のシミュレーション（週次データ）

イスラエル



英国



米国



注：SIRモデルに一定の前提（本稿末尾参照）を組み込んで試算。モビリティはGoogle Community Reportにおける小売・娯楽施設のデータ（2020/1/3～2/6の曜日別中央値に対する比率）。

出所：Our World in Data, Google, CEICより、有限責任監査法人トーマツ作成

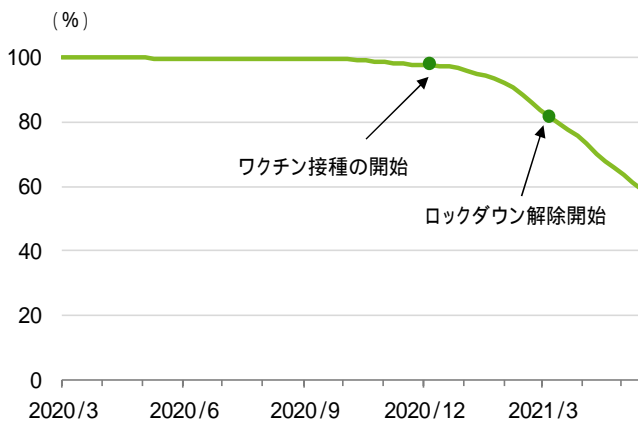
英国では「感染可能性のある人が8割」が制限緩和の目安に

以上から、ワクチン接種の効果は接種ペースが特に早かったイスラエルで顕著であり、その分モビリティの回復も早かったが、英国や米国では、接種開始後の初期はワクチン接種よりも人出の抑制が大きな役割を果たしていることがわかる。ワクチン接種スピードをよほど早めない限り、人出の抑制を続けることが不可欠であると言える。

では、どの程度までワクチン接種を進めれば、行動制限の解除に踏み切って良いのだろうか。ここでは、英国の例をもとに検討しよう。英国でロックダウンの段階的な解除が始まった

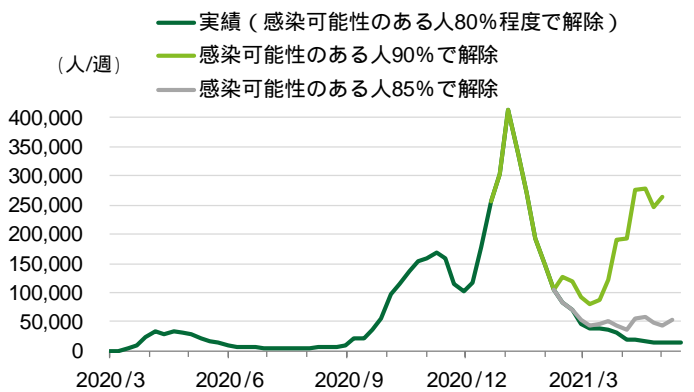
のは3月に入ってからだが、その時点で感染可能性のある人（＝感染もしくはワクチン接種によって免疫を獲得していない人、SIRモデルにおけるS）の割合は、8割程度であった（図表3）。仮にこの割合が90%、85%であった時にロックダウンの緩和が始まっていたとすると、前者では再び感染拡大に弾みがついてしまう一方、後者のケースでは状況はさほど悪化しないという結果となる（図表4）。国により行動制限の度合いやその緩和ペース、ワクチン接種スピード、元の感染状況などが大きく異なるため、一般的な結論を導くのは困難だが、英国の場合は感染可能性のある人が8割台に減るまで行動制限を続けたことが重要だったと言える。

図表3 英国における感染可能性のある人口の割合



出所：図表2と同じ

図表4 英国における早期緩和解除のシミュレーション



注：モビリティの底入れ時期を前倒しし、その後の回復ペースは実績値と同様に推移すると仮定。
出所：図表2と同じ

元の感染者数が少ない日本では、感染可能性のある人の割合は依然として99%前後に上るため、例えば英国と同じ「8割」を達成するにはワクチン接種率が20%程度は必要ということになる。ただし、本稿のモデル通りワクチン接種による免疫獲得にラグがあるとすれば、制限解除が可能となる接

種率が実際には上振れすることには注意が必要だ（実際、英国のロックダウン解除開始時のワクチン接種率は3割強だった）。5月下旬時点で5%程度にとどまる日本の接種率を、早急に引き上げていくことが求められる。

試算の前提

本稿で用いたSIRモデルは下記の通り。

$$\begin{aligned}S_{t+1} &= S_t - N_t^I - V_t \\I_{t+1} &= I_t + N_t^I - N_t^R - N_t^D \\R_{t+1} &= R_t + N_t^R + V_t \\D_{t+1} &= D_t + N_t^D \\N_t^I &= \beta_t \frac{I_t S_t}{S_0}, \quad N_t^R = \gamma_t^R I_t, \quad N_t^D = \gamma_t^D I_t\end{aligned}$$

S_t は感受性人口（感染可能性のある人）、 N_t^I は新規感染者、 V_t はワクチンによる新規免疫獲得者、 I_t は感染者、 N_t^R は新規回復者、 N_t^D は新規死亡者、 R_t は隔離者（免疫獲得者）、 D_t は死亡者、 S_0 は初期人口（厳密には初期人口-1）、 β_t は感染率、 γ_t^R は回復率、 γ_t^D は死亡率。

<パラメータの決定>

S_0 は初期人口（厳密には初期人口-1）、 $I_0 = 1$ 、 $R_0 = D_0 = 0$ とし、新規感染者数 N_t^I 、新規死者数 N_t^D に現実のデータを当てはめる。ワクチンによる新規免疫獲得者数 V_t は、最近の検証結果などを踏まえ、必要回数を完了していない接種者は50%、必要回数を完了した接種者は95%の確率で、2週間後に免疫を獲得すると仮定した。

新規感染者はPCR検査により陽性となった人数であり、実際に感染してから陽性が確認されるまで一定のラグがあることを踏まえ、感染率 β_t は前週の人出の関数としている。

$$\beta_t = \theta_t (1 - \mu_{t-1})^2$$

ここで、 μ_t はモビリティ（小売・娯楽施設における人出）が0から1の値をとるように基準化した指数である（人出がゼロの時に1となる）。 θ_t はいわば粗感染率ともいべき変数であり、人出が全く抑制されない時の感染率を表すが、マスクの着用などにより低下させることができる。

PCR検査の時間差を踏まえ、回復率と死亡率を合わせた隔離率 $\gamma_t = \gamma_t^R + \gamma_t^D$ は0.7とした。週次データのため、陽性が確認されてから平均10日で回復もしくは死亡すると仮定していることになる。

以上のモデルのセットアップは、Fujii and Nakata (2021)を参考にしている。実際のデータを用いて週ごとの S_t 、 I_t 、 γ_t^D 、 γ_t^R 、 R_t が算出され、 β_t が結果として導出される。 β_t とモビリティ・データの上記の関係を元に、週ごとの θ_t を逆算する。

<シミュレーション>

シミュレーションを行う際は、 θ_t と γ_t^R 、 γ_t^D は各週の実際の値と同じとした上で、シミュレーション期間を通じてワクチン接種を全てゼロとする。

ここで、ワクチン接種がなければ感染状況は現実よりも悪化し、それに伴って（政府の規制強化や人々の自主的な行動の結果として）人出も現実より抑制されていたと考えられる。そうしたメカニズムをモデルに組み込むため、国ごとに、 μ_t を定数項と N_t^I （当週と前週の移動平均値）の対数値に回帰し、感染状況に対するモビリティの感応度を推計する（回帰式の推計期間は、第一波の影響が概ね落ち着いた2020年6月もしくは7月から、直近データ時点まで）。現実の感染者数とシミュレーション上の感染者数の差分と、上記で推計された感応度を用いて、ワクチンなき場合のモビリティを試算した。

参考文献

Fujii, D. and T. Nakata (2021), "Covid-19 and Output in Japan", RIETI Discussion Paper Series 21-E-004

デロイト・トーマツグループは、日本におけるデロイト アジア パシフィック リミテッドおよびデロイトネットワークのメンバーであるデロイト・トーマツ合同会社ならびにそのグループ法人（有限責任監査法人トーマツ、デロイト・トーマツコンサルティング合同会社、デロイト・トーマツファイナンシャルアドバイザー合同会社、デロイト・トーマツ税理士法人、DT弁護士法人およびデロイト・トーマツコーポレートソリューション合同会社を含む）の総称です。デロイト・トーマツグループは、日本で最大級のビジネスプロフェッショナルグループのひとつであり、各法人がそれぞれの適用法令に従い、監査・保証業務、リスクアドバイザー、コンサルティング、ファイナンシャルアドバイザー、税務、法務等を提供しています。また、国内約30都市以上に1万名を超える専門家を擁し、多国籍企業や主要な日本企業をクライアントとしています。詳細はデロイト・トーマツグループWebサイト（www.deloitte.com/jp）をご覧ください。

Deloitte（デロイト）とは、デロイトウシュート・トーマツリミテッド（DTTL）、そのグローバルネットワーク組織を構成するメンバー・ファームおよびそれらの関係法人（総称して「デロイトネットワーク」）のひとつまたは複数を指します。DTTL（または「Deloitte Global」）ならびに各メンバー・ファームおよび関係法人はそれぞれ法的に独立した別個の組織体であり、第三者に関して相互に義務を課しまたは拘束させることはありません。DTTLおよびDTTLの各メンバー・ファームならびに関係法人は、自らの行為および不作為についてのみ責任を負い、互いに他のファームまたは関係法人の行為および不作為について責任を負うものではありません。DTTLはクライアントへのサービス提供を行いません。詳細はwww.deloitte.com/jp/aboutをご覧ください。

デロイト アジア パシフィック リミテッドはDTTLのメンバー・ファームであり、保証有限責任会社です。デロイト アジア パシフィック リミテッドのメンバーおよびそれらの関係法人は、それぞれ法的に独立した別個の組織体であり、アジア パシフィックにおける100を超える都市（オークランド、バンコク、北京、ハノイ、香港、ジャカルタ、クアラルンプール、マニラ、メルボルン、大阪、ソウル、上海、シンガポール、シドニー、台北、東京を含む）にてサービスを提供しています。

Deloitte（デロイト）は、監査・保証業務、コンサルティング、ファイナンシャルアドバイザー、リスクアドバイザー、税務およびこれらに関連するプロフェッショナルサービスの分野で世界最大級の規模を有し、150を超える国・地域にわたるメンバー・ファームや関係法人のグローバルネットワーク（総称して「デロイトネットワーク」）を通じ Fortune Global 500®の8割の企業に対してサービスを提供しています。Making an impact that matters を自らの使命とするデロイトの約312,000名の専門家については、（www.deloitte.com）をご覧ください。

本資料は皆様への情報提供として一般的な情報を掲載するのみであり、デロイトウシュート・トーマツリミテッド（DTTL）、そのグローバルネットワーク組織を構成するメンバー・ファームおよびそれらの関係法人（総称して「デロイトネットワーク」）が本資料をもって専門的な助言やサービスを提供するものではありません。皆様の財務または事業に影響を与えるような意思決定または行動をされる前に、適切な専門家にご相談ください。本資料における情報の正確性や完全性に関して、いかなる表明、保証または確約（明示・黙示を問いません）をするものではありません。またDTTL、そのメンバー・ファーム、関係法人、社員・職員または代理人のいずれも、本資料に依拠した人に関係して直接または間接に発生し得るいかなる損失および損害に対して責任を負いません。DTTLならびに各メンバー・ファームおよびそれらの関係法人はそれぞれ法的に独立した別個の組織体です。

Member of
Deloitte Touche Tohmatsu Limited

© 2021. For information, contact Deloitte Tohmatsu Group.



IS 669126 / ISO 27001