

# みずほレポート

2020年10月21日

## 新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の感染拡大要因は何か

—主要先進国の感染抑制策データとモビリティデータを用いた、解釈可能な機械学習モデルによる分析

- ◆新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の感染拡大要因を明らかにするため、主要先進国28カ国を対象に、感染抑制策の実施状況を表す厳格度指数データと、人々の移動量の変化を表すモビリティデータを用い、解釈可能な機械学習モデルである交互作用項付き一般化加法モデル（GA2M）による分析を行った。
- ◆厳格度指数とモビリティを説明変数、2週間後の感染者増加確率を被説明変数とするGA2Mを推計した結果、小売・娯楽関連のモビリティや、厳格度指数の外出制限、職場閉鎖、学校閉鎖が、感染者数の増加確率の予測に重要であることが明らかとなった。
- ◆小売・娯楽モビリティは感染者数増加確率に対する非連続的な影響があり、小売・娯楽モビリティが平常時対比▲10%の水準を超えると、感染者数増加確率が上昇することが分かった。また、外出制限、学校閉鎖、職場閉鎖を実施すると感染者数増加確率が低下する傾向があることを確認した。
- ◆最後に、GA2Mの推計結果を用い、主要先進国28カ国の感染増加・減少局面の転換に寄与した要因分解を行った。日本では、8月上旬の感染者数減少に対し、東京都による感染抑制策の実施と、小売・娯楽モビリティの減少が影響したことが明らかとなった。

---

アジア調査部 兼 高度デジタル情報解析室 主任研究員 服部直樹  
03-3591-1298 naoki.hattori@mizuho-ri.co.jp

---

●当レポートは情報提供のみを目的として作成されたものであり、取引の勧誘を目的としたものではありません。本資料は、当社が信頼できると判断した各種データに基づき作成されておりますが、その正確性、確実性を保証するものではありません。本資料のご利用に際しては、ご自身の判断にてなされますようお願い申し上げます。また、本資料に記載された内容は予告なしに変更されることもあります。なお、当社は本情報を無償でのみ提供しております。当社からの無償の情報提供をお望みにならない場合には、配信停止を希望する旨をお知らせ願います。

---

## 目 次

---

1.	はじめに	1
2.	データ	1
	(1) 厳格度指数とモビリティ	1
	(2) COVID-19 新規感染者数との関係	2
3.	モデル	4
	(1) 交互作用項付き一般化加法モデル (GA2M)	4
	(2) GA2M の推計方法と結果	5
4.	推計結果の解釈	8
	(1) モビリティ	8
	(2) 厳格度指数	9
	(3) 交互作用項	10
5.	感染局面別の要因分解	12
	(1) 日本	12
	(2) 主要先進国 28 カ国	13
6.	おわりに	15
	(1) 本稿の政策的インプリケーション	15
	(2) 今後の課題	16
	参考文献	17

## 1. はじめに

2020年に入って瞬く間に全世界へ拡大した新型コロナウイルス感染症（COVID-19）に対し、各国政府は学校・職場閉鎖や外出制限などの感染抑制策を次々と講じてきた。これらの施策は、繁華街の出入減少といった人々の移動の量的な変化を通じて、あるいは、いわゆる「3密」の回避に代表される行動の質的な変化を通じて、COVID-19の急速な拡大の防止に一定の効果を発揮したと考えられる。

一方で、感染抑制策の実施は、経済活動に大きな悪影響を及ぼした。とりわけ、飲食業、宿泊業、旅客交通業、実店舗形態の小売業など、不特定多数の人との接触が生じうる業種は、感染抑制策下で事業活動の大幅な縮小を余儀なくされた。各国政府は、売上や収入の減少に直面した企業・個人に対し、財政出動による金銭的支援を行っているが、COVID-19が完全に終息するまで、政府が経済的損失の全てを補償し続けることは困難である。感染抑制策は、COVID-19の拡大防止と経済活動のバランスを考慮したうえで実施される必要があり、そのためには、感染抑制策の疫学的効果の把握が欠かせない。

そこで本稿では、機械学習を活用し、感染抑制策の実施や人々の移動量の変化がCOVID-19の拡大防止にどの程度影響したかを定量的に分析した。具体的には、日本を含む主要先進国28カ国<sup>1</sup>を対象として、感染抑制策の種類や厳格度合いを示すオックスフォード大学のGovernment Response Stringency Index（以下、厳格度指数）と、人々の移動量の変化を示すGoogleのCommunity Mobility Report（以下、モビリティ）を用い、先行きの新規感染者数の増加確率を予測するモデルを構築した。

モデル構築に際しては、単に感染増加確率の予測結果を求めるだけでなく、感染抑制策とモビリティに関する政策的インプリケーションを得るため、予測精度が高くかつ解釈性に優れた交互作用項付き一般化加法モデル（GA2M<sup>2</sup>）を用いた。GA2Mの活用により、感染抑制策、モビリティと新規感染者数との間の複雑な関係を可視化でき、最適な感染抑制策の種類・厳格度合いの決定や、感染者数の増加確率を考慮したモビリティの増加上限値の設定といった、当局の政策判断の改善につながりうると考えられる。

## 2. データ

### （1） 厳格度指数とモビリティ

まず、本稿で使用する厳格度指数とモビリティのデータについて、確認しておこう。

オックスフォード大学（Oxford COVID-19 Government Response Tracker）が算出する厳格度指数は、①学校閉鎖、②職場閉鎖、③公共イベント中止、④集会制限、⑤公共交通閉鎖、⑥外出制限、⑦

---

<sup>1</sup> 人口500万人以上かつ一人当たりGDP3万ドル以上（購買力平価ベース）の国のうち、新規感染者数、厳格度指数、モビリティのデータが利用可能な国を抽出した。対象は、アラブ首長国連邦、イスラエル、イタリア、オーストラリア、オーストリア、オランダ、カナダ、ギリシャ、サウジアラビア、シンガポール、スイス、スウェーデン、スペイン、スロバキア、チェコ、デンマーク、ドイツ、ノルウェー、ハンガリー、フィンランド、フランス、ベルギー、ポーランド、ポルトガル、英国、韓国、日本、米国、である。

<sup>2</sup> GA2Mは、Generalized Additive Models plus Interactionsの略称であり、交互作用項がない通常の一般化加法モデル（GAM）と区別するためにこうした名称が用いられている。

国内移動制限、⑧入国制限、⑨情報提供・啓蒙活動<sup>3</sup>、の9種類の感染抑制策の実施状況を、図表1に示すそれぞれの厳格度に応じて0（＝実施せず）から最大4（＝最も厳格）の順序尺度の値に置き換え、合計して指数化したものである<sup>4</sup>。厳格度指数を用いることで、各国の感染抑制策の厳格度合いを一定の基準で評価することができる。

もう一方のGoogleのモビリティは、同社アカウントのロケーション履歴に基づき、④小売・娯楽（レストラン、カフェ、ショッピングセンター、テーマパーク、博物館、図書館、映画館など）、⑤食料品店・薬局（食料品店、食品問屋、青果市場、ドラッグストア、薬局など）、⑥乗換駅（地下鉄、バス、電車の駅などの公共交通機関の拠点）、⑦職場、⑧住宅、⑨公園（地域の公園、国立公園、公共のビーチ、マリナー、ドッグパーク、広場、庭園など）、の6種類の場所を対象に、感染拡大前の平常時（2020年1月3日～2月6日の5週間）を基準とする訪問数・滞在時間の変化率を示す指標である。例えば、ある時点の小売・娯楽のモビリティが▲50%であれば、レストランやショッピングセンターなどの訪問数・滞在時間が感染拡大前と比較して50%減少したことを意味する。

図表 1 厳格度指数の個別系列と具体的な感染抑制策の内容

		厳格度を示す順序尺度の値				
		0	1	2	3	4
厳格度指数の個別系列	①学校閉鎖	実施せず	閉鎖を推奨	一部学校の閉鎖を要請	全学校の閉鎖を要請	
	②職場閉鎖	実施せず	閉鎖を推奨	一部施設の閉鎖を要請	食料品店や病院などの必須施設を除く、全施設の閉鎖を要請	
	③公共イベント中止	実施せず	中止を推奨	中止を要請		
	④集会制限	実施せず	1000人超の集会を制限	101～1000人の集会を制限	11～100人の集会を制限	10人未満の集会を制限
	⑤公共交通閉鎖	実施せず	閉鎖を推奨、もしくは輸送能力を大幅に削減	閉鎖を要請、もしくは公共交通機関の利用を禁止		
	⑥外出制限	実施せず	自宅待機を推奨	日常の運動、食料品の購入、通勤といった例外を除く、不要不急の外出の制限を要請	週に一度、もしくは一世帯当たり一人といった最低限の例外を除く、全ての外出を制限	
	⑦国内移動制限	実施せず	地方・都市間の旅行取り止めを推奨	地方・都市間の移動制限を要請		
	⑧入国制限	実施せず	入国者をスクリーニング	一部もしくは全ての入国者に検疫を実施	一部地域からの入国を禁止	全ての地域からの入国を禁止し、国境を閉鎖
	⑨情報提供・啓蒙活動	実施せず	当局がCOVID-19に関する注意喚起を実施	伝統的メディアとSNSの双方を活用した組織的な情報キャンペーンを実施		

（出所）Oxford COVID-19 Government Response Trackerより、みずほ総合研究所作成

<sup>3</sup> 厳格度指数の個別系列①～⑨、モビリティの個別系列④～⑨の番号は、筆者が便宜的に付けたものであり、その順序に意味はない。

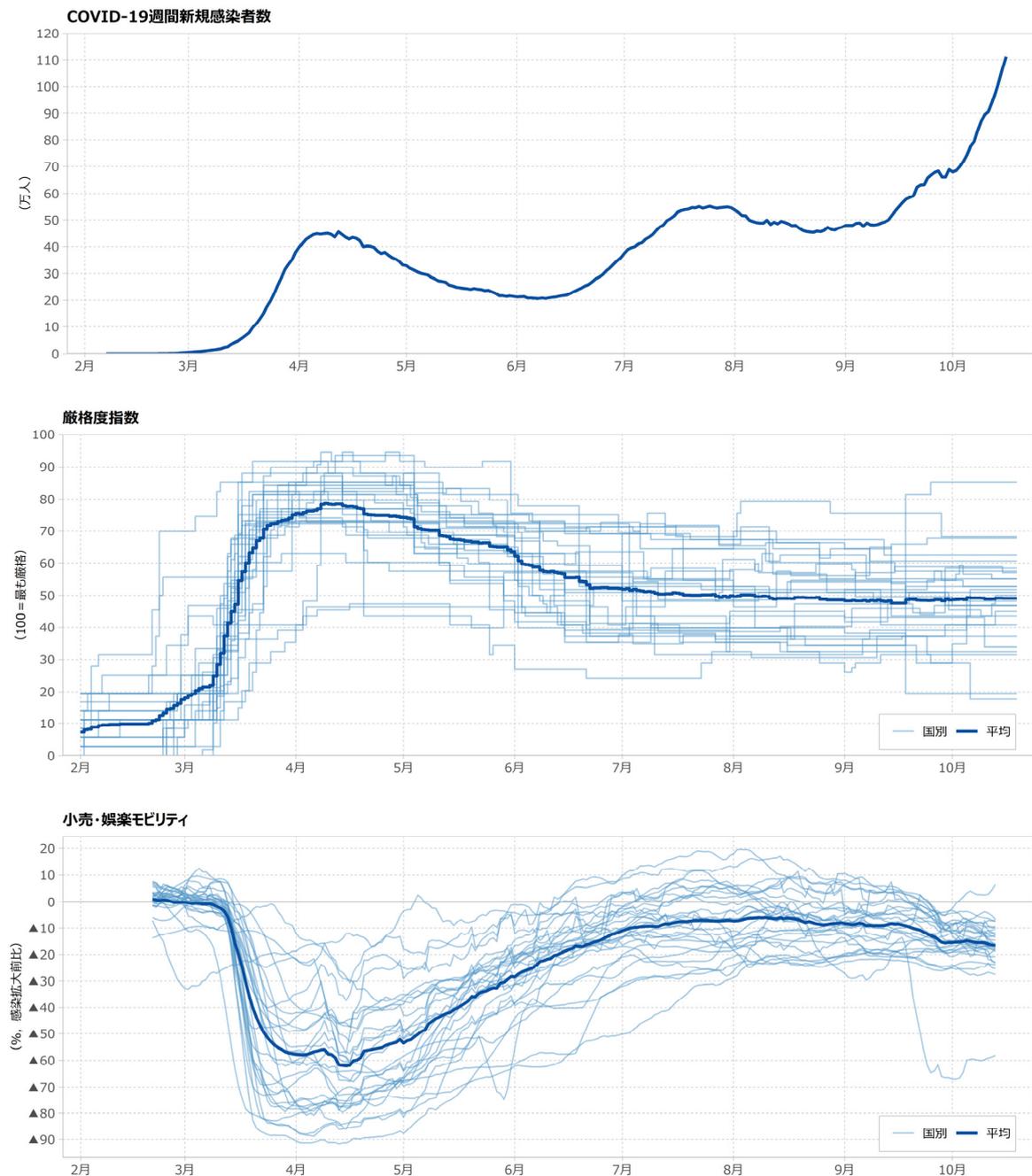
<sup>4</sup> 厳密には、各感染抑制策の実施範囲が対象国の全国か一部地域かが区別されており、実施範囲が一部地域の場合は順序尺度の値に0.5を乗じる処理が行われる。詳細は、下記のデータ公表元ウェブサイトを参照されたい。  
[https://github.com/OxCGRT/covid-policy-tracker/blob/master/documentation/index\\_methodology.md](https://github.com/OxCGRT/covid-policy-tracker/blob/master/documentation/index_methodology.md)、2020年10月19日閲覧）

## (2) COVID-19 新規感染者数との関係

図表2は、主要先進国28カ国のCOVID-19週間新規感染者数、厳格度指数、小売・娯楽モビリティの推移をみたものである。週間新規感染者数は28カ国の合計値を、厳格度指数と小売・娯楽モビリティは28カ国それぞれの値と平均値をプロットした。

主要先進国はこれまでに、10月下旬時点で進行中のものも含め、3回の感染増加局面を経験している

**図表 2 主要先進国 28 カ国の COVID-19 週間新規感染者数、厳格度指数、小売・娯楽モビリティ**



(出所) COVID-19 Data Repository by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University、Oxford COVID-19 Government Response Tracker、Google COVID-19 Community Mobility Reports より、みずほ総合研究所作成

る。最初の増加局面は、2020年2月下旬に始まった。欧州の一部で発生した新規感染者数の急増を受けて、厳格度指数は2月下旬頃から上昇し、3月半ばに一気に水準が高まった。小売・娯楽モビリティも同時期に大幅に減少しており、感染抑制策の実施がすぐに移動量の減少へつながったことがわかる。感染抑制策の実施による当局の要請だけでなく、感染を恐れた人々の自発的な行動変化も、小売・娯楽モビリティの減少に影響したと考えられる。こうした感染抑制策の厳格化やモビリティの減少は一定の効果をあげたとみられ、4月上旬には新規感染者数がピークアウトした。感染が落ち着き始めたことを受けて、厳格度指数は4月後半から低下し、小売・娯楽モビリティも概ね4月下旬ごろから緩やかに回復した。

こうした厳格度指数の低下やモビリティの回復の動きが、6月中旬に始まった2回目の増加局面の一因になった可能性がある。新規感染者数が再び増加したことを受け、低下傾向にあった厳格度指数は6月下旬からほぼ横ばいとなり、感染抑制策の緩和が停止された。同時期に小売・娯楽モビリティの回復ペースも鈍化し、平均値ベースで見ると感染拡大前の水準（±0%）まで戻ることなく、感染拡大前比▲20%～▲10%の範囲で横ばいとなった。その結果、7月後半には新規感染者数の増加傾向が止まり、更なる感染拡大は防がれた。しかし、8月に入っても新規感染者数はほとんど減少することなく、9月上旬まで高原状態が続いた。

2回目の感染増加局面の特徴は、厳格度指数と小売・娯楽モビリティの水準や変化幅が1回目の局面と大きく異なるにも関わらず、新規感染者数が結果的にピークアウトした点である。この事実は、厳格度指数、モビリティと新規感染者数の関係性が、少なくとも平均値ベースで見ると、1回目と2回目の局面で大きく変化した可能性を示唆している。

3回目の感染増加局面は、9月中旬から始まり、本稿執筆時点の10月下旬でも継続中である。2回目の増加局面の後、新規感染者数がほとんど減らないまま3回目の増加局面に突入したため、主要先進国の新規感染者数の水準は極めて高い。また、新規感染者数の増加ペースが非常に速いのも、3回目の増加局面の特徴である。新規感染者数の急増を受けて、イスラエルが9月に2度目となる全国規模のロックダウンを開始したほか、スペインも9月下旬に首都の一部ロックダウンに踏み切った。英国やフランスでも、10月中旬から一部地域で感染抑制策を再び厳格化させている。

### 3. モデル

#### (1) 交互作用項付き一般化加法モデル (GA2M)

このように、厳格度指数とモビリティは何らかの形で新規感染者数に影響を及ぼしていると想定されるが、少なくとも図表2でみた厳格度指数と小売・娯楽モビリティの平均値ベースでは、新規感染者数との間に安定的な関係は見いだせない。実際には、各国が実施した感染抑制策の種類や内容、小売・娯楽以外のモビリティの変化も、新規感染者数の変化に影響している可能性がある。加えて、厳格度指数やモビリティの水準によって新規感染者数への影響の現れ方が変化したり、そうした変化が非連続的に生じたりする、複雑な構造が背景にある可能性も考慮すべきだろう。

そこで本稿では、そうした多くの変数と複雑な構造を扱うことができる分析手法として、機械学習

の一種である交互作用項付き一般化加法モデル（GA2M）を用いた。GA2Mの特徴は、複雑なモデルによる予測精度の高さと、内容の解釈性を両立した点である。

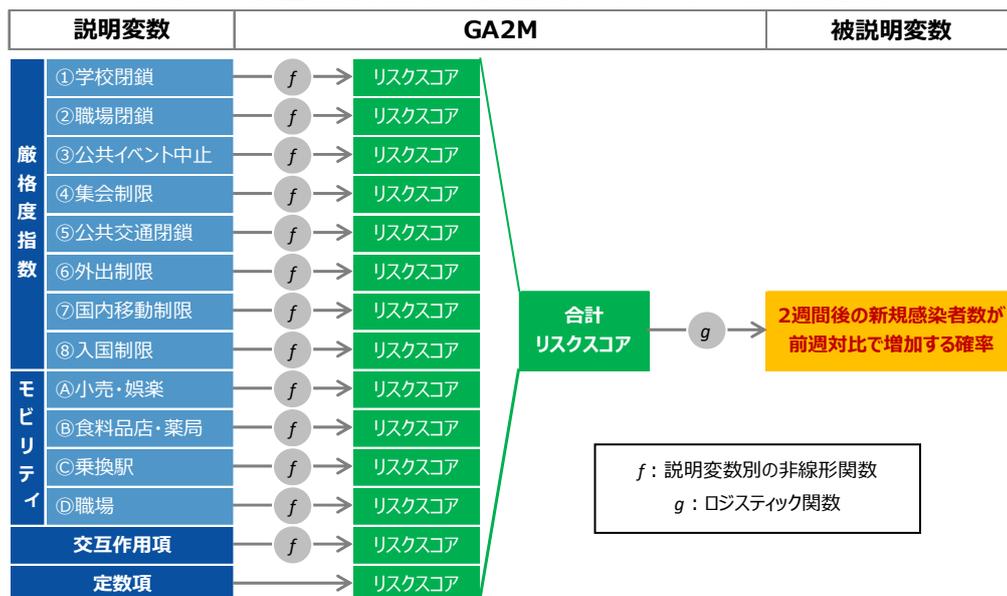
一般的に知られている機械学習の手法には、ランダムフォレスト、サポートベクタマシン、ニューラルネットワークなどがある。これらの手法は、複雑なモデルを構築して高い予測精度を達成することができるものの、その複雑さゆえに説明変数と被説明変数の間の関係を解釈することができず、「ブラックボックスAI」と呼ばれることがある。本稿で用いるGA2Mは、そうした「ブラックボックスAI」との対比から、「ホワイトボックスAI」もしくは「ガラスボックスAI」と呼ばれている。「ホワイトボックスAI」を用いた分析を行うことで、被説明変数に対してどの説明変数がどれだけ影響しているか、といった解釈を行うことが可能になり、政策的インプリケーションの導出につながりうると考えられる。

図表3は、GA2Mの概念図である。GA2Mでは、まず説明変数それぞれについて非線形関数（図表3の $f$ ）を推定する。次に、非線形関数 $f$ で説明変数をリスクスコアと呼ばれる新たな変数に変換し、最後に、全てのリスクスコアを合計して被説明変数の値を予測する仕組みになっている。GA2Mが予測精度の高さと解釈性を兼ね備えるカギが、この非線形関数 $f$ である。非線形関数 $f$ は、各説明変数が被説明変数に及ぼす複雑な影響をモデルに取り込むと同時に、特定の説明変数と被説明変数の関係を他の説明変数から分離する役割を担っているためだ。また、GA2Mは「交互作用項付き一般化加法モデル」の名の通り、入力した説明変数だけを用いるのではなく、説明変数の交互作用項（2つの別々の説明変数の積）も新たな説明変数として加えることで、更に複雑な影響を考慮し、モデルの予測精度を高めている。

## （２） GA2M の推計方法と結果

本稿では、予測対象である被説明変数を、2週間後の新規感染者数の増加ダミー（2週間後のCOVID-19

図表 3 交互作用項付き一般化加法モデル（GA2M）の概念図



（出所）みずほ総合研究所作成

週間新規感染者数が前週対比で増加するときに1、減少するときに0をとる変数)とした。これにより、2週間後に新規感染者数が増加する確率を予測するモデルを構築することができる。なお、ラグを2週間としたのは、COVID-19に感染してから検査で陽性が確定し報告されるまで、概ね2週間程度を要すると考えられるためである。

説明変数には、厳格度指数の個別系列①～⑨のうち⑨情報提供・啓蒙活動を除く8系列と、モビリティの個別系列④～⑥のうち⑤住宅と⑥公園を除く4系列を用いた。厳格度指数の⑨情報提供・啓蒙活動を除外したのは、同系列が後述する推計期間中にほとんど変化していないためである。また、モビリティの⑤住宅、⑥公園を除外したのは、これら2系列が④小売・娯楽、③乗換駅、①職場と概ね反対方向に動いており、独立した情報が相対的に少ないと考えたためである。

GA2Mでは説明変数に加える交互作用項の数をハイパーパラメータとして設定できるが、本稿では、層化5分割交差検証付きグリッドサーチの結果に基づき、交互作用項の数を25個とした。また、推計期間は2020年6月以降とした。6月以降と5月以前を比較すると、1回目の感染増加局面である5月以前は、厳格度指数やモビリティの変動幅が6月以降と比較して非常に大きい(図表2)。また、5月以前は各国で感染者数を把握するための検査体制が十分に整っていなかったり、マスクや飛沫感染防止シートなどの感染防止用品が不足していたりしたため、感染者数増加確率に影響を及ぼしうる条件に大きな相違があると考えられる。こうしたことから、5月以前のサンプルを推計期間に含めると結果にバイアスが加わり、足元の感染者数増加確率を上手く予測できなくなる可能性があるため、推計期間を6月以降に設定した。

GA2Mの推計には、Microsoft Researchが開発したPythonにおける実装であるInterpretML (バージョン0.2.1)を用いた。データは説明変数が2020年6月7日週<sup>5</sup>～9月27日週、被説明変数(2週間ラグ)が6月21日週～10月11日週の週次データである。主要先進国28カ国の合計475サンプル<sup>6</sup>を、訓練・検証データ(380サンプル)とテストデータ(95サンプル)に分割し、訓練・検証データで層化5分割交差検証付きグリッドサーチを実施したところ、最適なハイパーパラメータ(交互作用項の数=25)による平均交差検証スコアは0.695であった<sup>7</sup>。また、最適なハイパーパラメータのもとで訓練・検証データを再学習した後に計算したテストスコアは0.726であった。その後、テストデータを含む全サンプルで再学習を実施し、説明変数の重要度を示す図表4と、各説明変数と感染者数増加確率との関係を示す図表5、図表6、図表7を出力した。図表7については、紙幅の都合上、25個の交互作用項のうち重要度が相対的に高い4個を掲載した。

GA2Mが出力する重要度(図表4)は、全てのサンプルに対する各説明変数のリスクスコアの絶対値をとり、その平均を計算したものである。すなわち、重要度はそれぞれの説明変数が2週間後の感染増加確率に対して平均的にどの程度大きく影響するかを示している。

また、説明変数と感染者数増加確率の関係(図表5～7)は、各説明変数が特定の値をとるとき、2

<sup>5</sup> 当該日を含む過去7日間を意味する。例えば、6月7日週は、6月1日～6月7日の週に対応する。

<sup>6</sup> 少なくとも一つの変数でデータが存在しない週はサンプルから除外した。

<sup>7</sup> 層化5分割交差検証付きグリッドサーチの評価に用いたスコア指標は精度(Accuracy)である。

週間後の感染者数増加確率にどの程度のインパクトがあるかを示している。インパクトが±0であれば、感染者数増加確率には影響がなく、プラスであれば確率が上昇、マイナスであれば確率が低下することを意味する。例えば、ある説明変数の特定の値に対応するインパクトが▲0.10であれば、そのとき感染者数増加確率を10%Pt低下させる効果があると解釈できる。インパクトが単独の説明変数の場合（図表5、図表6）は、横軸が説明変数の値、縦軸が感染者数増加確率へのインパクトを表す線グラフ（網掛け部分は標準偏差）となり、説明変数が交互作用項の場合（図表7）は、横軸・縦軸が掛け合わされている説明変数の値、図の赤色～黄色～緑色が感染者数増加確率へのインパクトを表すヒートマップとなる。

なお、図表5～7は、本来、図表3の非線形関数  $f$  の形状を示すものである。非線形関数  $f$  は説明変数の値をリスクスコアに変換するが、このリスクスコアの合計値は対数オッズに相当し、ロジスティック関数（図表3の  $g$ ）で0～1の値をとる確率に変換することができる。そこで本稿では、本来ならばリスクスコアを表示する図表5、図表6の縦軸の目盛りと図表7のヒートマップの目盛りを、確率に変換し、そこから0.5を減じた値を表示した。したがって、これらの目盛りは▲0.5から+0.5の範囲をとる。この目盛り変換により、各説明変数が2週間後の感染者数増加確率に対しどの程度のインパクトをもっているかを直感的に理解することができる。ただし、各説明変数による感染者数増加確率

図表 4 説明変数の重要度

説明変数	重要度	説明変数	重要度
<b>モビリティ</b>		<b>交互作用項（モビリティ × 厳格度指数）</b>	
④小売・娯楽	0.200	④小売・娯楽 × ①学校閉鎖	0.082
⑥食料品店・薬局	0.113	④小売・娯楽 × ②職場閉鎖	0.073
③乗換駅	0.124	④小売・娯楽 × ③公共イベント中止	0.112
⑩職場	0.057	④小売・娯楽 × ④集会制限	0.080
<b>厳格度指数</b>		④小売・娯楽 × ⑤公共交通閉鎖	0.119
①学校閉鎖	0.086	④小売・娯楽 × ⑥外出制限	0.057
②職場閉鎖	0.108	④小売・娯楽 × ⑦国内移動制限	0.078
③公共イベント中止	0.039	⑥食料品店・薬局 × ②職場閉鎖	0.069
④集会制限	0.096	⑥食料品店・薬局 × ③公共イベント中止	0.094
⑤公共交通閉鎖	0.024	⑥食料品店・薬局 × ⑤公共交通閉鎖	0.159
⑥外出制限	0.131	⑥食料品店・薬局 × ⑥外出制限	0.121
⑦国内移動制限	0.080	⑥食料品店・薬局 × ⑦国内移動制限	0.051
⑧入国制限	0.034	⑥食料品店・薬局 × ⑧入国制限	0.105
		③乗換駅 × ②職場閉鎖	0.069
		③乗換駅 × ③公共イベント中止	0.053
		③乗換駅 × ④集会制限	0.073
		③乗換駅 × ⑥外出制限	0.070
		③乗換駅 × ⑦国内移動制限	0.095
		⑩職場 × ⑥外出制限	0.070
		<b>交互作用項（モビリティ × モビリティ）</b>	
		④小売・娯楽 × ⑥食料品店・薬局	0.061
		④小売・娯楽 × ③乗換駅	0.053
		④小売・娯楽 × ⑩職場	0.041
		⑥食料品店・薬局 × ③乗換駅	0.086
		⑥食料品店・薬局 × ⑩職場	0.069
		③乗換駅 × ⑩職場	0.068

（注）重要度は、全てのサンプルに対する各説明変数のリスクスコアの絶対値をとり、その平均を計算した値。  
（出所）みずほ総合研究所作成

へのインパクトの値は、他の説明変数のリスクスコアの合計値が0（感染者数増加確率=0.5に相当）の場合の仮想上の値である。したがって、図表5～7のインパクトの値が常にそのまま感染者数増加確率に加わるわけではない点に留意されたい。

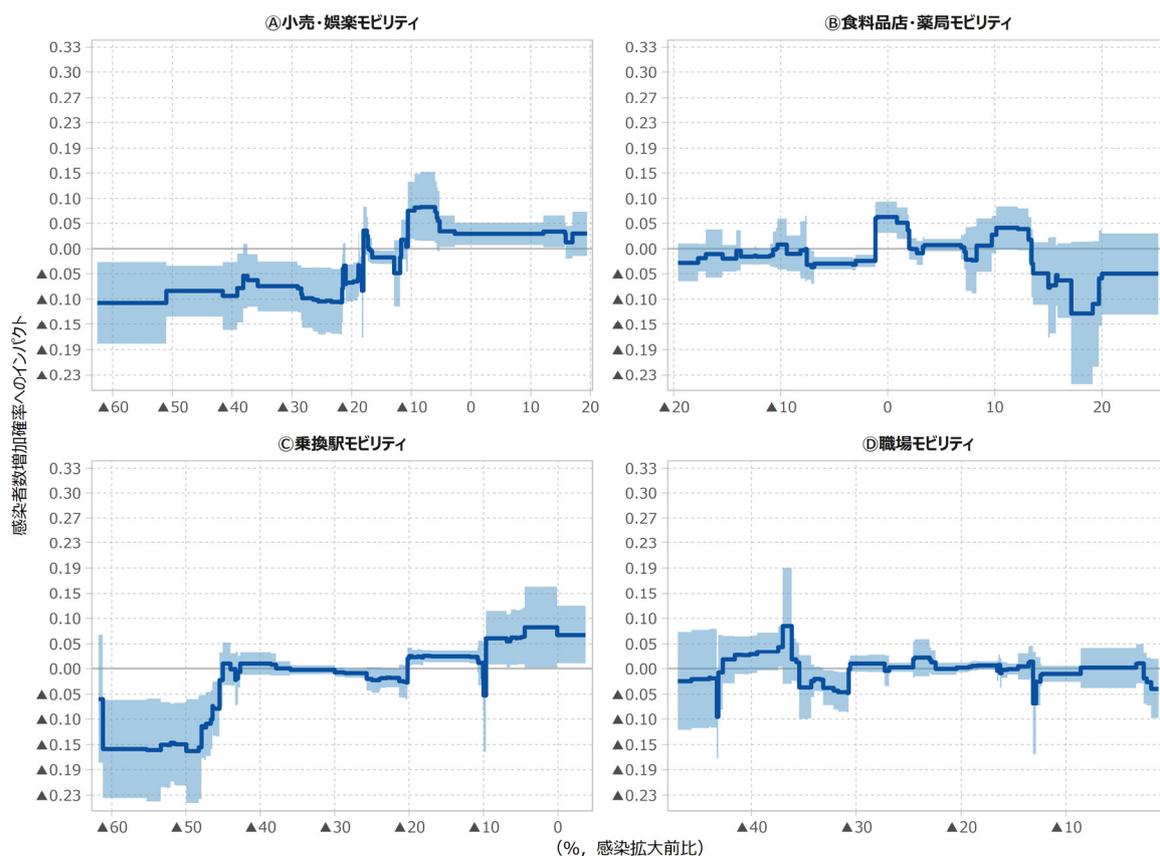
#### 4. 推計結果の解釈

GA2Mの推計結果の確認は、まず重要度（図表4）の高さで着目すべき説明変数を決め、その説明変数について被説明変数との関係（図表5～7）を解釈する手順で行う。出力した図表が現実のどのような面を描写しているか考えるのは、機械ではなく、人間の役割である。

##### (1) モビリティ

交互作用項を含む全ての説明変数の中で最も重要度が高いのは、④小売・娯楽モビリティである。図表5で④小売・娯楽モビリティと感染者数増加確率の関係を確認したところ、④小売・娯楽モビリティが感染拡大前比▲10%を超えると感染者数増加確率へのインパクトがプラスに転じている。インパクトの大きさには幅があるが、2週間後の感染者数増加確率を3～8%Pt程度上昇させる傾向があるようだ。一方で、④小売・娯楽モビリティが同▲18%未満であれば、感染者数増加確率を5～10%Pt

図表 5 モビリティと感染者数増加確率の関係



(注) 縦軸目盛りはリスクスコアをロジスティック関数で確率に変換して0.5を減じた値であり、幅が一定ではない。  
水色の網掛け部分は標準偏差を示す。

(出所) みずほ総合研究所作成

程度低下させる傾向がある。このように、レストラン、ショッピングセンター、娯楽施設などの訪問数・滞在時間が感染者数に及ぼす影響は、連続的に変化するのではなく、感染拡大前比▲20%～▲10%の水準を閾値として、非連続的に変化していると考えられる。

その他のモビリティの系列と感染者数増加確率の関係をみると、④小売・娯楽モビリティに次いで重要度が高い③乗換駅モビリティにも同様の閾値があり、感染拡大前比▲46%未満で感染者数増加確率を10～15%Pt程度低下させる一方、同▲10%超で感染者数増加確率を5%Pt前後上昇させる傾向がある。また、⑧食料品店・薬局モビリティは、感染拡大前比+13%超のとき感染者数増加確率を低下させる傾向がある。モビリティの増加が感染者数増加確率を低下させるのは直感に反するが、これは、厳格な外出制限などの感染抑制策の実施時に、人々がスーパーマーケット等に集中し、⑧食料品店・薬局モビリティの大幅な増加が生じる動きを捉えているものと考えられる。なお、⑩職場モビリティは全範囲を通じて明確な関係がみられず、感染者数増加確率への影響は限定的であるようだ。

## (2) 厳格度指数

厳格度指数の系列では、⑥外出制限の重要度が最も高い。図表6の⑥外出制限について、横軸の順序尺度の値を図表1の内容と照らし合わせて確認すると、0（実施せず）のとき感染者数増加確率が約3%Pt上昇するが、1（自宅待機の推奨）と2（不要不急の外出制限の要請）では感染者数増加確率が3%Pt程低下する傾向がある。「自宅待機の推奨」程度の注意喚起であっても、人々の行動変化を促し、感染抑制に一定の効果があるといえそうだ。加えて、厳格なロックダウンに相当する3（最低限の例外を除く全ての外出を制限）では、感染者数増加確率の低下幅が12%Pt程度にまで拡大するとの結果が得られる。

感染抑制策は様々な経路を通じて感染者数増加確率に影響すると考えられるが、そのうち、モビリティの変化を通じた影響は、上述したモビリティによる感染者数増加確率へのインパクト（図表5）で計測されている。したがって、図表6の⑥外出制限が捉えているインパクトは、マスクの着用、こまめな手洗いやアルコール消毒、ソーシャルディスタンスの徹底といった、人々の行動の質的な変化を促すアナウンスメント効果を通じた影響が中心であると考えられる。

その他の厳格度指数の系列で重要度が相対的に高いのは、①学校閉鎖、②職場閉鎖、④集会制限、である。①学校閉鎖と②職場閉鎖は、ともに概ね右下がりの形状であり、実施内容の厳格化に伴って感染者数増加確率を下げる傾向があることが確認できる。どちらも、順序尺度が0（実施せず）の状態では感染者数増加確率を上昇させるが、1（閉鎖を推奨）と2（一部の閉鎖を要請）では感染者数増加確率への影響がほぼゼロになり、3（全ての閉鎖を要請）まで厳格化すれば、感染者数増加確率を低下させる効果がある。ただし、「全ての閉鎖を要請」する効果は、学校に比べて職場の方がかなり大きい。

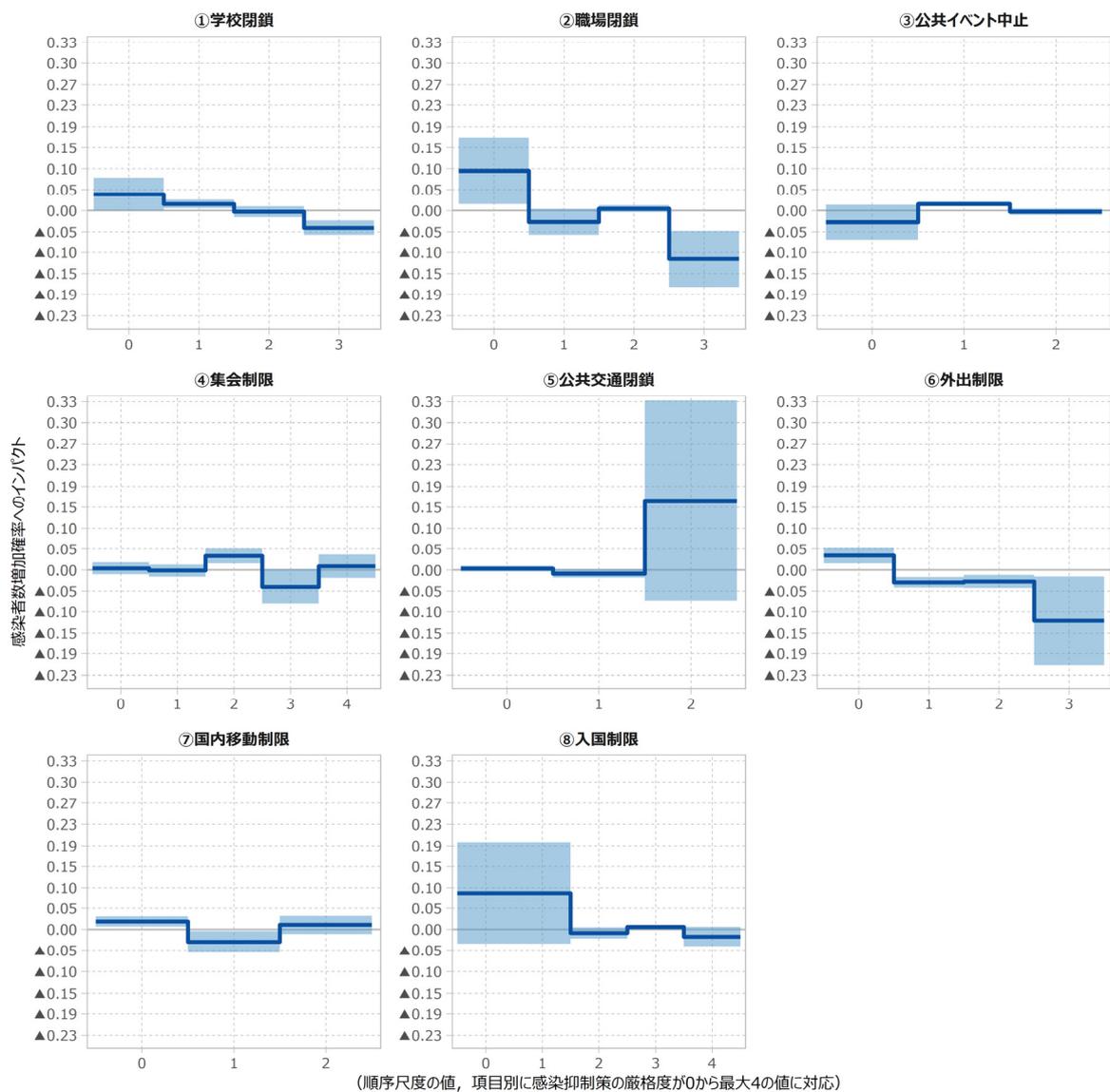
なお、④集会制限については、順序尺度が0（実施せず）、1（1000人超の集会を制限）、4（10人未満の集会を制限）のとき感染者数増加確率にほぼ影響しないが、2（101～1000人の集会を制限）で確率がやや上昇、3（11～100人の集会を制限）で確率が低下するいびつな形状となっている。これには、国によって④集会制限のとりうる厳格度の範囲にバイアスがあることが影響していると思われる。

一部の国は、推計期間中に2（101～1000人の集会を制限）と3（11～100人の集会を制限）の間でしか④集会制限の厳格度を変更しておらず、2と3の比較によって、3（11～100人の集会を制限）の方が感染者数増加確率を低下させる傾向があると推計結果に現れた可能性があると考えられる。

### （3） 交互作用項

交互作用項では、相対的に重要度が高い説明変数として、モビリティと厳格度指数の交互作用項のうち、⑧食料品店・薬局モビリティ×⑤公共交通閉鎖、⑧食料品店・薬局モビリティ×⑥外出制限、④小売・娯楽モビリティ×⑤公共交通閉鎖、④小売・娯楽モビリティ×③公共イベント中止、について確認する。

図表 6 厳格度指数と感染者数増加確率の関係



(注) 縦軸目盛りはリスクスコアをロジスティック関数で確率に変換して0.5を減じた値であり、幅が一定ではない。  
水色の網掛け部分は標準偏差を示す。

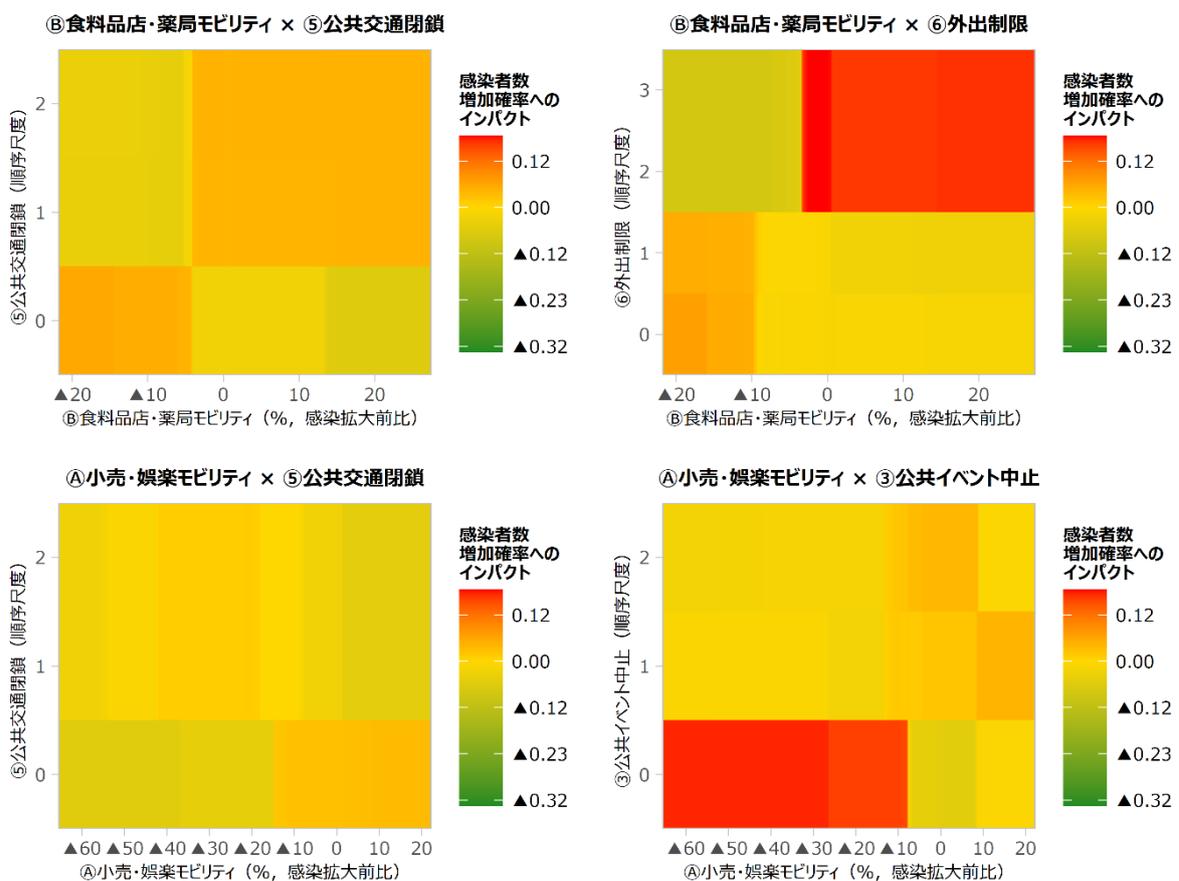
(出所) みずほ総合研究所作成

まず、図表7の⑧食料品店・薬局モビリティ×⑤公共交通閉鎖では、⑧食料品店・薬局モビリティが感染拡大前比▲5%未満に抑えられていても、⑤公共交通閉鎖の順序尺度が0（実施せず）であれば、感染者数増加確率が上昇することを示している。また、⑤公共交通閉鎖が1（閉鎖を推奨、もしくは輸送能力を大幅に削減）もしくは2（閉鎖を要請、もしくは公共交通機関の利用を禁止）に厳格化されても、⑧食料品店・薬局モビリティが同▲5%超であれば、同様に感染者数増加確率が上昇する。したがって、感染者数の増加を抑制するためには、⑤公共交通閉鎖を厳格化したうえで、食料品店や薬局での過度な密集を抑えたり、飛沫感染を防止したりするなどの対策を講じる必要がある。

次に、⑧食料品店・薬局モビリティ×⑥外出制限では、⑥外出制限の順序尺度が2（不要不急の外出制限の要請）や3（最低限の例外を除く全ての外出を制限）といった厳格な内容でも、⑧食料品店・薬局モビリティが感染拡大前比▲5%超であれば、感染者数増加確率が10%Pt以上上昇することを示している。上記の⑧食料品店・薬局モビリティ×⑤公共交通閉鎖で得られたインプケーションと同様に、感染抑制策下における食料品店や薬局への人の集中が、感染拡大の一因となっている可能性があるだろう。

④小売・娯楽モビリティ×⑤公共交通閉鎖のヒートマップは全体的に変化に乏しいが、④小売・娯楽モビリティが感染拡大前比▲15%超かつ⑤公共交通閉鎖の順序尺度が0（実施せず）のときに、感

**図表 7 主要な交互作用項と感染者数増加確率の関係**



(注) 凡例の目盛りはリスクスコアをロジスティック関数で確率に変換して0.5を減じた値であり、幅が一定ではない。  
(出所) みずほ総合研究所作成

感染者数増加確率がやや上昇している。上述したように、④小売・娯楽モビリティ単独では同▲10%超のとき感染者数増加確率を上昇させる傾向があったが、⑤公共交通閉鎖を実施しない場合では、感染拡大につながる④小売・娯楽モビリティの閾値が同▲10%から同▲15%に低下するようだ。

最後に、④小売・娯楽モビリティ×③公共イベント中止は、④小売・娯楽モビリティが感染拡大前比▲10%を下回っていても、③公共イベント中止の順序尺度が0（実施せず）であれば感染者数増加確率が大幅に高まる点が特徴的である。レストラン、ショッピングセンター、娯楽施設などの人出が全般的に減少していても、特定のイベントに人が集中すると感染拡大につながりやすいと解釈でき、いわゆる「3密」の回避が重要であることを示唆している。

## 5. 感染局面別の要因分解

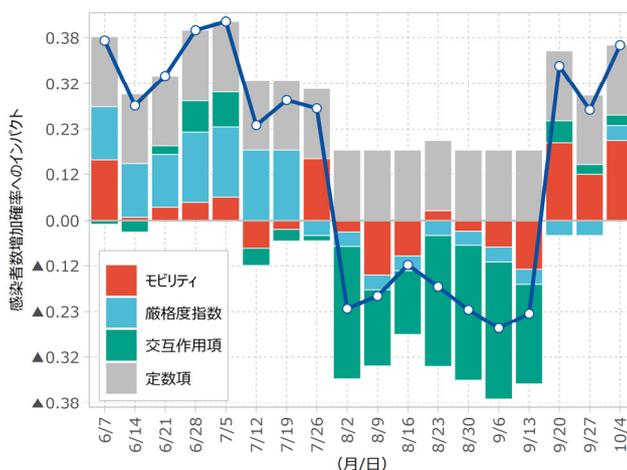
ここまで、GA2Mの推計により、感染抑制策やモビリティが先行きの感染者数増加確率にどのように影響するかを分析してきた。その結果を用いて、それぞれの要因が感染者数増加確率に及ぼしてきた影響を時系列的に整理し、各国の感染者数の増加・減少局面の転換に何が寄与したのか確認しよう。

### (1) 日本

図表8は、日本における2週間後の感染者数増加確率に対する要因別寄与度を示している。図中のモビリティ、厳格度指数、交互作用項は、図表4に掲載した全37系列の説明変数を3つの要因に集約したものだ。なお、交互作用項25系列のうち、モビリティ×モビリティの交互作用項6系列は図表8のモビリティ要因に含んでいる。したがって、図表8の交互作用項は、モビリティ×厳格度指数の交互作用項19系列を集約したものである。また、定数項による感染者数増加確率へのインパクトは約+18%Ptで一定である。これは、GA2Mの推計に用いた全28カ国・17週間のサンプルの中で、感染者数が増加したサンプルの方が、減少したサンプルより多いことを意味している。

図表8をみると、日本の感染者数増加確率へのインパクトは6～7月にかけてプラス圏で推移し、2週

図表 8 日本の感染者数増加確率に対する説明変数の寄与度



(注) 6月7日週～9月27日週は全実績データを学習後に計算した推計値。10月4日週のみ未学習データで計算した予測値。  
縦軸目盛りはリスクスコアをロジスティック関数で確率に変換して0.5を減じた値であり、幅が一定ではない。  
(出所) みずほ総合研究所作成

間後の感染者数が増加することを示唆していたが、8月に入って急にマイナスに転じた。この前後の寄与度の推移をみると、まず7月下旬に厳格度指数がプラスからマイナスに転じ、次いで8月上旬にモビリティがマイナスに転じるとともに、交互作用項のマイナス幅が大きく拡大している。7月下旬には、東京都が不要不急の外出自粛を呼びかけた（⑥外出制限に該当）ほか、飲食店などの営業時間短縮を要請（②職場閉鎖に該当）する方針を示し、厳格度指数のマイナス転化につながった。8月に入ると、7月下旬の連休で一時的に感染拡大前比▲7.4%に増加していた④小売・娯楽モビリティが、再び同▲12.9%まで減少した。この④小売・娯楽モビリティの減少そのものと、先に実施されていた感染抑制策の厳格化の交互作用により、8月上旬に感染者数増加確率が急低下した。

その後、感染者数増加確率は9月中旬にかけてマイナス圏で推移したが、9月下旬になって突然プラスに転じた。この動きを主導したのもモビリティである。④小売・娯楽モビリティは9月13日週時点で感染拡大前比▲12.6%だったが、9月20日週には連休の影響で同▲8.1%まで増加した。この間、厳格度指数は変化していないが、モビリティの増加により交互作用項も大幅なマイナスからプラスに転じ、感染者数増加確率を上昇させる要因となった。10月4日週時点では④小売・娯楽モビリティが同▲7.9%と9月下旬からほぼ変わらず、感染者数増加確率も引き続きプラス圏で推移している。

## （２） 主要先進国 28 カ国

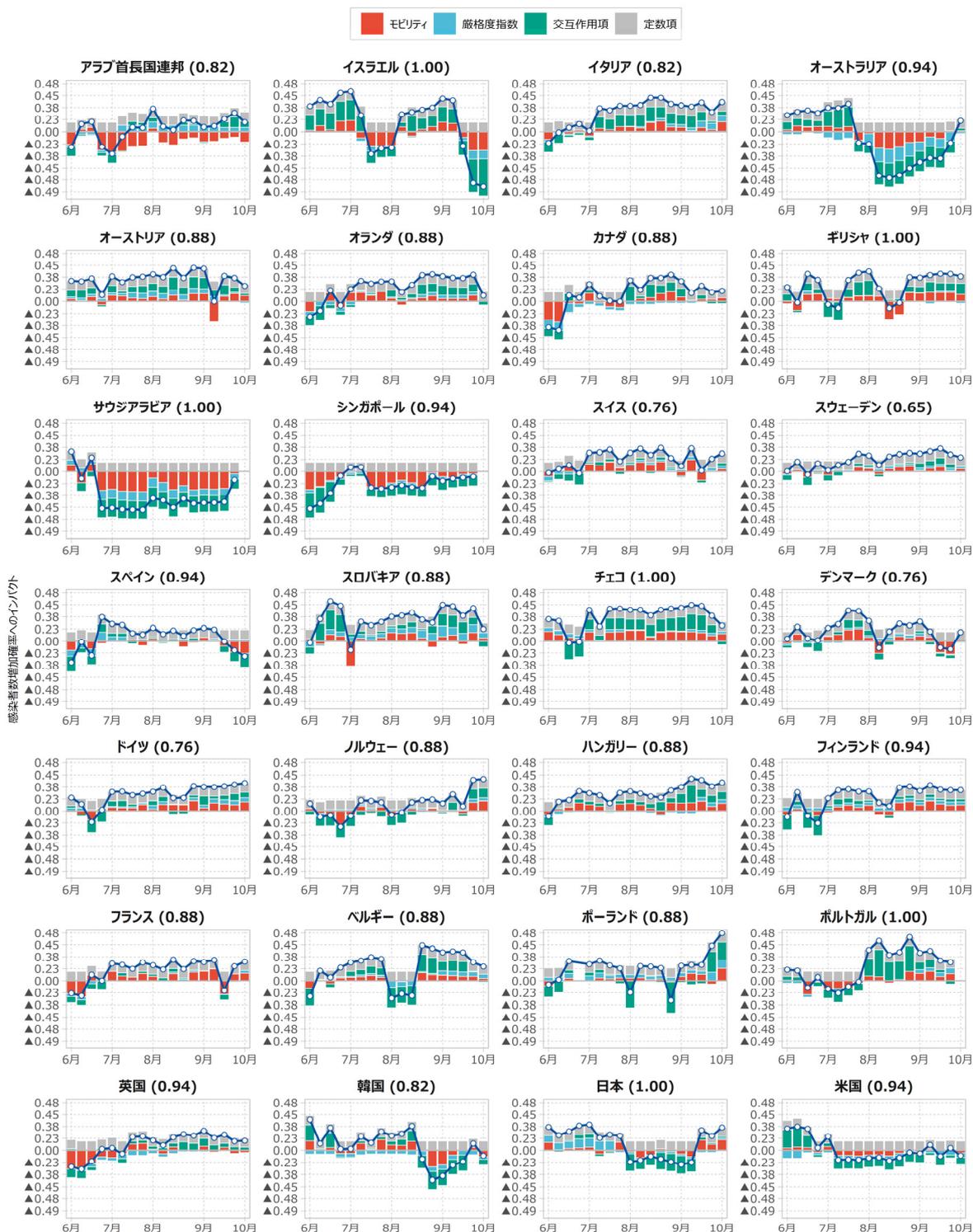
図表9は、図表8と同じ2週間後の感染者数増加確率に対する要因別寄与度を、全ての分析対象国について示したものである。

まず、10月中旬時点で新規感染者数が急速に拡大している欧州についてみると、ドイツ、フランス、イタリア、英国などの主要国をはじめとする欧州の多くの国で、感染者数増加確率へのインパクトがプラス圏で推移している。

例えばドイツでは、7月以降に④小売・娯楽モビリティや③乗換駅モビリティが徐々に増加してきたことに加え、①学校閉鎖などの感染抑制策が段階的に緩和されたことが、感染者数増加確率の上昇につながったようだ。フランスでは、6月末に①学校閉鎖、②職場閉鎖、⑥外出制限など感染抑制策の多くが緩和されており、その後のモビリティ増加もあいまって、感染者数増加確率へのインパクトがプラス圏で推移した。イタリアでは、7月から④小売・娯楽モビリティが徐々に増加し、モビリティと交互作用項のプラス寄与が拡大した。また、9月下旬に①学校閉鎖が解除されたことも、厳格度指数の要因から感染者数増加確率の上昇に寄与している。このように、④小売・娯楽モビリティを中心とするモビリティの増加や、①学校閉鎖、②職場閉鎖、⑥外出制限などの感染抑制策の緩和が、欧州主要国の新規感染者数の増加に影響していることが示唆される。

一方、欧州主要国のうち、新規感染者数がピークアウトしたスペインとデンマークは、何れも感染者数増加確率へのインパクトが9月にマイナスへ転じている。スペインは9月下旬から首都の一部でロックダウンが実施されたことを受け、④小売・娯楽モビリティが減少しており、モビリティと交互作用項が感染者数増加確率を引き下げた。デンマークでは、④小売・娯楽モビリティや⑧食料品店・薬局モビリティの減少が、9月中旬の感染者数増加確率の低下につながった。ただし、デンマークは10月上旬に再びモビリティが増加しており、今後の新規感染者数の動向に留意が必要であろう。

図表 9 国別の新規感染者数の増加リスクに対する説明変数の寄与度



(注) 6月7日週～9月27日週は全実績データを再学習後に計算した推計値。10月4日週は未学習データで計算した予測値。  
 国名の横の括弧は、全実績データを再学習後に計算した訓練スコアであり、予測精度を示すものではない。  
 縦軸目盛りはリスクスコアをロジスティック関数で確率に変換して0.5を減じた値であり、幅が一定ではない。  
 (出所) みずほ総合研究所作成

なお、欧州以外では、イスラエル、オーストラリア、韓国において感染者数増加確率へのインパクトが短期間の間にプラスからマイナスへ転じている点が注目される。これらは、程度の違いこそあれ、何れもロックダウンをはじめとする感染抑制策の厳格化によるものである。例えば、イスラエルでは5月以来となる2回目の全国規模のロックダウンが9月18日から実施された結果、同週にモビリティ、厳格度指数、交互作用項全ての寄与度がマイナスに転じ、2週間後の感染者数増加確率へのインパクトが前週の約+40%Ptから約▲25%Ptへ急低下した。実際、イスラエルの新規感染者数はロックダウン実施から2週間後の9月末に減少へ転じており、大規模なロックダウンが感染抑制につながったことがうかがえる。

## 6. おわりに

### (1) 本稿の政策的インプリケーション

本稿では、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の感染拡大要因を明らかにするため、主要先進国28カ国を対象に、感染抑制策の実施状況を表す厳格度指数と、人々の移動量の変化を表すモビリティデータを用い、解釈可能な機械学習モデルである交互作用項付き一般化加法モデル（GA2M）による分析を行った。その結果得られた主な政策的インプリケーションは、次のとおりである。

まず、被説明変数である2週間後の感染者数増加確率に対する重要度が、全ての説明変数の中で最も高かったのは、④小売・娯楽モビリティであった。④小売・娯楽モビリティが感染者数増加確率に及ぼす影響は非連続的であり、感染拡大前比▲10%を超えると、感染者数増加確率が上昇する傾向があることが確認できた。モビリティの回復は経済活動の活発化にとって極めて重要な要素であり、こうした閾値の存在は、感染拡大防止と経済活動の間に本質的なトレードオフがあることを示唆している。

次に、分析対象とした厳格度指数の8系列のうち、感染者数増加確率に対する需要度が相対的に高く、感染者数増加確率への明確なインパクトが確認できたのは、重要度の順に⑥外出制限、②職場閉鎖、①学校閉鎖、であった。⑥外出制限は、「自宅待機を推奨」程度の注意喚起でも感染者数増加確率が低下する傾向があり、厳格なロックダウンを実施すると、感染者数増加確率が更に大きく低下することが確認できた。②職場閉鎖と①学校閉鎖は、ともに「全ての閉鎖を要請」（②職場閉鎖は必須施設を除く）すると感染者数増加確率が低下するが、その効果は②職場閉鎖の方が大きい。ただし、経済活動への悪影響も②職場閉鎖の方が大きいと考えられる。

そして、交互作用項に関する結果の解釈では、⑤公共交通閉鎖や⑥外出制限といった感染抑制策を厳格化しても、⑧食料品店・薬局モビリティが増加すると、感染者数増加確率が上昇することが明らかとなった。また、④小売・娯楽モビリティが減少しても、③公共イベント中止が実施されなければ、同様に感染者数増加確率が上昇する傾向があることを確認した。これらは、特定の施設に人々が集中することで感染拡大につながりやすくなることを示唆しており、いわゆる「3密」の回避の重要性を改めて認識させる結果であるといえる。

## (2) 今後の課題

最後に、本稿の分析における課題についても指摘しておきたい。

第一に、COVID-19は現在進行中の事象であり、今後、厳格度指数、モビリティと感染者数増加確率の関係が変わりうる点である。本稿の政策的インプリケーションは、推計期間である2020年6～9月のデータに対して得たものであり、将来にわたって有効であり続ける保証はない。特に、人々の行動様式の変化や、感染拡大を有効に防止しうる新たな方策・技術の登場（ワクチンの普及もその一つである）といった構造変化が生じれば、当然ながら、政策的インプリケーションについても再考が求められるだろう。

第二に、ハイパーパラメータの選択に対する結果の頑健性の問題である。本稿では、層化5分割交差検証付きグリッドサーチによりGA2Mの交互作用項の数=25個を選択したが、そのほかの選択肢と比較して平均交差検証スコアが突出しているわけではなく、推計期間などの条件変更によって異なる交互作用項の数を選択されうる。GA2Mで交互作用項の数を変更して再推計すると、図表5～7の形状も変化しうる（図表7については、そもそも別の交互作用項が採用される可能性がある）。このとき、重要度が高い説明変数（④小売・娯楽モビリティや⑥外出制限など）の形状はあまり変わらない傾向があり、ハイパーパラメータの選択に対し相対的に頑健であるといえる。一方で、それ以外の説明変数は形状が大きく変化することがあり、頑健性が相対的に低い。したがって、重要度が高くない説明変数については、幅をもって感染者数増加確率へのインパクトを解釈すべきであろう。

第三に、逆の因果性の存在である。本稿では、厳格度指数とモビリティが感染者数増加確率に及ぼす影響を分析することを目的とし、被説明変数について2週間ラグをとることで、時系列的に因果の方向性を考慮している。しかしながら、例えば「新規感染者数が数週間連続で増加すると当局が感染抑制策を厳格化する」といった可能性もあり、その場合、2週間ラグでは逆の因果性（感染者数増加確率が厳格度指数やモビリティに及ぼす影響）を完全に排除できない。したがって、本稿で得た政策的インプリケーションは、厳密には因果関係ではなく相関関係であることに留意する必要がある。

第四に、本稿の分析対象は新規感染者数が増加する確率であり、新規感染者数の変化率ではない点である。ある局面において、感染者数増加確率へのインパクトが大幅なプラスでも、新規感染者数の増加率がわずかであったり、逆に感染者数増加確率へのインパクトが小幅なプラスでも、新規感染者数が早いペースで増えたりすることもありうる。本稿で分析した感染者数増加確率への影響に加えて、新規感染者数の量的な変化に及ぼす影響についても疫学的な知見が得られれば、当局が感染抑制策の実施判断を行ううえで有用であると考えられる。

新型コロナウイルス感染症（COVID-19）は、新規感染者数に増加・減少の波こそあれど、有効性のあるワクチンが開発され、世界各国に普及するまで、完全な終息は望み難い。今後も、当面は「ウィズコロナ」状態が続くと想定される中、感染拡大の防止と経済活動のバランスをどのように保つか考えるうえで、本稿の分析がその一助となれば幸いである。

## 参考文献

- Dong, Ensheng, Hongru Du, and Lauren Gardner (2020), “An interactive web-based dashboard to track COVID-19 in real time,” *Lancet Infectious Diseases*, Volume 20, Issue 5, P533–534. DOI: 10.1016/S1473-3099(20)30120-1
- Google LLC, “*Google COVID-19 Community Mobility Reports*,” <https://www.google.com/covid19/mobility/> Accessed: October 19, 2020.
- Hale, Thomas, Sam Webster, Anna Petherick, Toby Phillips, and Beatriz Kira (2020), *Oxford COVID-19 Government Response Tracker*, Blavatnik School of Government
- Nori, Harsha, Samuel Jenkins, Paul Koch, and Rich Caruana (2019), “InterpretML: A Unified Framework for Machine Learning Interpretability,” *arXiv preprint*, arXiv: 1909.09223