

COVID-19 パンデミック政策の立案とその有効性：マルチレベル動的-一般化構造方程式モデルに基づく評価

張峻屹*1・塚元晟矢*2・吉田拓樹*3・張潤森*4・馮涛*5・康婧*6

* 広島大学大学院先進理工系科学研究融合プログラム（〒739-8592 東広島市鏡山 1-5-1）

¹ 正会員 教授 E-mail: zjy@hiroshima-u.ac.jp

² 非会員(学生) 学部 4 年生 広島大学工学部第四類(建設・環境系) E-mail: b185180@hiroshima-u.ac.jp

³ 非会員(学生) 元博士課程前期学生 広島大学大学院国際協力研究科 E-mail: m194143@hiroshima-u.ac.jp

⁴ 正会員 助教 E-mail: rzhang@hiroshima-u.ac.jp

⁵ 非会員 教授 E-mail: rzhang@hiroshima-u.ac.jp

⁶ 非会員 助教 E-mail: kangjing@hiroshima-u.ac.jp

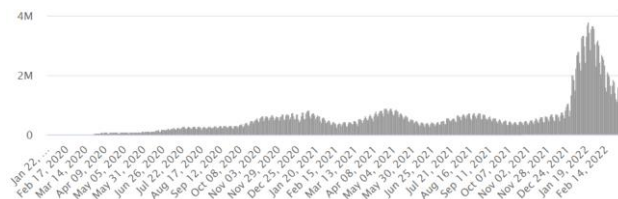
COVID-19 パンデミック政策の効果に関する科学的なエビデンスが欠けている。本研究では、日本の 47 都道府県において 2020 年と 2021 年に実施されてきた様々なパンデミック政策（交通を含む：約 2000 個）を分析のサンプルとして、政策の立案に与える移動・活動と感染状況の影響、政策の立案が移動・活動と感染状況に与える影響を同時に扱うことのできるマルチレベル動的-一般化構造方程式モデルを構築し、体系的でシームレスなパンデミック政策の立案方法として提案されている PASS アプローチをもとに既存政策を適切に分類し、種類別政策の立案とその有効性を評価、二年間の比較も行う。

Key Words: COVID-19 pandemic, policymaking, effectiveness, PASS approach, multi-level modeling, generalized structural equation model, mobilities, infection, prefecture-level analysis

1. 研究背景

(1) 世界の感染状況

世界保健機構 WHO は 2020 年 3 月 11 日に COVID-19 パンデミックを宣言してから、約 2 年が経った。2022 年に入ってから、パンデミック宣言後の最大感染ピークが現れた（2022 年 1 月 21 日に新規感染者が 3,811,394 人：2021 年までの最大ピークの 903,866 人(2021 年 4 月 29 日)より 4 倍以上) (図 1)。



(出典: <https://www.worldometers.info/coronavirus/>)

図 1 世界における COVID-19 新規感染者数の推移

上記の最大ピークの到達に SARS-CoV-2 の変異株 B.1.1.529 系統（オミクロン株）の影響が大きいと、2021 年までの教訓を活かすことができていないと解釈しても過言ではない。

(2) 各国の対応

COVID-19 を引き起こすウイルス SARS-CoV-2 は飛沫感染や接触感染などを通じて人から人へ感染することが知られている。そのため、世界中において人の移動を制限し、人と人の接触機会を減らす政策が主に講じられてきている。

アメリカでは、2020 年において、地域によって違いはあるものの、ロックダウン、貿易以外の国境の封鎖、徐々に一般市民へのマスクの推奨の呼びかけなどを行った。2021 年 1 月にバイデン新大統領は、新型コロナウイルス対策の国家戦略を発表した。トランプ前政権の WHO から脱退し、自国でのコロナ対策を行う方針から

政策の方向転換を強調し、国際機関と協力しながらパンデミック対策を行っていく方針を示した。具体的な戦略内容は、ワクチン接種、接種のための施設の増設、科学的根拠のある情報や感染者数・検査数の定期的な公表、公共交通機関などでのマスクの着用の義務化などである。イギリスでは、デジタルを活用した対策が講じられた。ファイザーとバイオンテックワクチンを 2020 年 12 月時点で承認し、世界的にも早期的なワクチン接種が行われた。中国では、厳しい感染対策が取られている。主に重要視しているのは、ワクチンの大規模接種と、徹底した新規感染者の周囲の人間の PCR 検査だ。ワクチンは中国製のものが 4 種類承認しており、そのうちの 3 種類のワクチンの緊急使用を認めている。市中感染が確認された場合、該当地域の住民の移動を制限し、全員に PCR 検査を行っており、変異ウイルスが発見された際など、場合によっては地区の徹底的な封鎖も行われている。また、水際対策として、入国者は国籍を問わず全員が、出発日の 2 日前以内の PCR・抗体検査、入国時空港での PCR 検査のいずれも陰性ある事が必要である。その後もほとんどの都市で 2～3 週間の宿泊施設の部屋から一切出ることが出来ない隔離措置が義務づけられている。

これらの感染拡大を危惧し、その対策を最重要視する国々が多い一方で、経済を優先させる国もあった。ブラジルでは、ボルソナロ大統領は、「高齢者だけが死ぬ、ちょっとした風邪」に過ぎないと主張し、経済を優先させ、政策としてはマスク着用の義務化もなかった。しかし、国内の世界的にも大きな感染拡大を受け、大統領は、2021 年 3 月についてコロナ対策重視へ方向転換を表明し、ワクチン集団接種キャンペーンの実施、ロックダウンへの批判を避ける考えを示した。ロシアでは、2020 年では、プーチン大統領が、大量の検査によって早期に発見可能とし、新規感染者数増加の中でも、5 月の経済活動の制限や、6 月の首都モスクワ市民の外出制限を全面的に解除した。2021 年に入っても、10 月末から実施されていた国全体規模での有給休暇も、国内の大部分の地域において約 1 週間程度で解除した。

日本も 2020 年 1 月 15 日に最初の症例が特定されて以来、止まない COVID-19 感染拡大に苦しみ、様々な策を講じてきた。パンデミック政策として、日本政府は県外や県内の移動制限を行ってきた。また、日本政府は 2020 年 4 月 7 日に初めて「緊急事態宣言」を発令して以来、約 2 年間にわたって、各都道府県に幾度となく宣言を発令してきた。（緊急事態宣言の内容、条件）この宣言によって多くの生活形態が変わった。多くの労働者は在宅ワークや時差出勤の形をとるようになり、全国の学生は、学校機関の一時的な休校などにより、これらをきっかけとしてリモート授業や分散登校などが行われるようになった。さらに国民の移動手段の多くを担う交通機関は運

航スケジュールの変更や運航の停止などがやむを得ない状況もあった。COVID-19 の感染者数が減少傾向となった 7 月頃、日本の経済回復を目的として、Covid-19 の影響を強く受けた観光・ホテル産業、運輸業などを支援する、「Go To Travel」キャンペーンが始まった。そこからさらに飲食業を支援する「Go To Eat Campaign」も開始された。2021 年に入り、3 度目の感染拡大の波が訪れた、2021 年 1 月 7 日に首都圏に緊急事態宣言が出され、13 日にさらに 6 都道府県に発令された。これらの発令されたほとんどの都道府県が 3 月までその制限は続いた。さらに政府は 13 日同日に、前年 12 月から実施された外国人入国停止措置に、11 の国と地域でのビジネス関係者以外の往来も含め、完全に入国を停止した。さらに 4 月、再び感染の波が訪れ、大阪府、兵庫県、宮城県で初めて「まん延防止等重点措置」と呼ばれる、緊急事態宣言より少し制限の低い措置が適用された。そして 5 月にかけて多くの都道府県で緊急事態宣言やまん延防止等重点措置が適用された。全国的には 6 月中旬に感染の波は 1 度落ち着き、制限が解除される県や延長される県もある中、7 月に入り、再び第 5 波と呼ばれる感染者数増加の波が訪れ、7 月から 9 月にかけて、続々と各都道府県で緊急事態宣言、まん延防止等重点措置が適用された。その間に、昨年延期となった東京五輪は無観客で開催されることになった。これ以降、累計感染者数は横ばいとなり、年末に新型コロナウイルスオミクロン株感染者が徐々に観測され始め、2022 年へと入った。ワクチンに関しては、2 月 17 日に全国の医療従事者を対象に接種が始まり、4 月 12 日に高齢者、5 月 24 日に一般人向けに接種が次々と始まった。

これまで日本が講じてきたパンデミック政策を振り返ると、人の移動を制限するものが全体の対策の多くを占めていることがわかり、人の移動と感染者数に関係があると考えられる。

(3) ゼロ・コロナ政策とウィズコロナ政策の国際的議論

中国はいまだにゼロ・コロナという最も厳格なパンデミック政策を講じている。パンデミックを抑制するという視点からはゼロ・コロナ政策は、最も効果的である一方で、ハードルが高いとの議論もある。中国において、感染のある地域にいる人々の移動は制限され（厳しさは地域によって異なる）、人々の生活に多くの不便を強いられているのは事実であるが、ロックダウンされたコミュニティに対して、政府は強力な支援体制（政府・企業・コミュニティなど）のもとで日常生活の必需品などを提供しているのも事実である。このために、政府は多大な投資を抛出し続けている。しかし、ゼロ・コロナの地域同士を往来する移動は自由であるし、ゼロ・コロナの地域における生活と経済活動はほぼパンデミック前と

同じように行われているのも事実である。ただし、ゼロ・コロナの地域にいる人々はほかの地域に行く際に、健康コードがグリーンであること、PCR 検査結果が陽性であること（出発から 2~3 日以内に発行した証明書）、2 週間以内にコロナあり地域に行ったことがないこと（ビッグデータ旅程カードがグリーンであること）を満たす必要がある。

一方、欧米はいまだに高いレベルの新規感染者数を維持している状況であるが、経済への影響を考慮して、徐々にウィズコロナという戦略に切り替わろうとしている。日本のパンデミック政策は中国と欧米の中間に位置づけられていると言える。入国規制を厳しくするが、国内においていまだに人々の行動変容に強く頼っている。最近、入国規制は 2022 年 3 月から緩和されると決まっているが、1 日入国できる人数は 3500 人から 5000 人に引き上げただけである。

ゼロ・コロナ政策とウィズコロナ政策のどちらがいいかについて、様々な視点から評価する必要があるが、経済の視点からみると、2022 年 1 月に IMF が出版した「世界経済見通し」において、2021 年の中国の GDP 成長率は 8.1% であると予測されている。これに対して、GDP 成長率はアメリカが 5.6%、ユーロ圏が 5.2%、日本が 1.6% であると IMF が予測している。ほかの視点について、コロナ政策による社会的コストをどう計算するか、パンデミック下での人命、社会弱者（高齢者、低収入者、中小企業など）、国家全体の経済発展などとのバランスをどうとるかなどが考えられる。本研究チームが実施したカンボジアを対象とするパンデミック研究においては、システムダイナミクスモデルを用いたシナリオ分析を実施し、厳しい感染拡大抑制を前提に観光経済活動を維持することが可能であるというシミュレーション結果を示すことができおり、将来の新たな感染症対策においてこれらの議論もより積極的に行われていく必要がある。

(4) 科学的なエビデンスの欠如

本来、国家間において各種失敗の教訓を踏まえて、科学的な知見を重んじる政策を立案し、実施することができたはずであるが、科学的なエビデンスの欠如で、倫理的にも社会的にもやっつけはいけぬ各種政策は“社会実験”のように、世界中において実践されてきてしまっている。にもかかわらず、それらの政策が COVID-19 感染拡大の防止への程度寄与するかが不明のままである。実際、プライバシー保護の影響に加えて、適切な政策評価に必要な人々の移動・接触、感染、そして感染の伝播のすべてを含む人々の時空間行動軌跡のデータの収集が困難であり、さらに多くの政策の実施タイミングが重なっていたこともあって、どの政策にどの程度効果があったか、その効果がどの程度持続できたかを見極めること

が難しい。このように、科学的なエビデンスが欠けたままで、場当たりのパンデミック政策を立案・実施せざるを得ない。この実態は世界中において共通に見受けられている。

2. 研究目的及び方法

データの利用可能性を踏まえて、日本の 47 都道府県において実施された各種パンデミック政策（交通関連の政策を含む）の立案に人々の活動・移動の状況および感染の状況がどの程度影響を与えたか、政策の実施によって、期待される効果（活動・移動の減少、感染者数の減少など）がどの程度現れたかを明らかにすることを研究の目的とする。

3. データ

COVID-19 の感染に関するデータ及び政策・対策は NHK ニュースサイトから取得した。その結果、2020 年に 911 個、2021 年に 1014 個の政策・対策を収集することができた。

政策が多様で、その効果を評価するため、政策を適切に分類することが必要である。ウイルスが見えない。このため、パンデミック政策・対策を体系的でシームレスに講じることが求められる。このような視点から、PASS アプローチ (Zhang, 2020) が提案された。P は Prepare/準備-Protection/保護-Provide/提供、A は Avoid/回避-Adjust/調整、S は Shift/シフト-Share/共有、最後の S は Substitute/代替-Stop/中止を、それぞれ意味する (図 2)。この PASS アプローチに基づき、収集した 1925 個の政策・対策を P-A-S-S のいずれかに分類する。

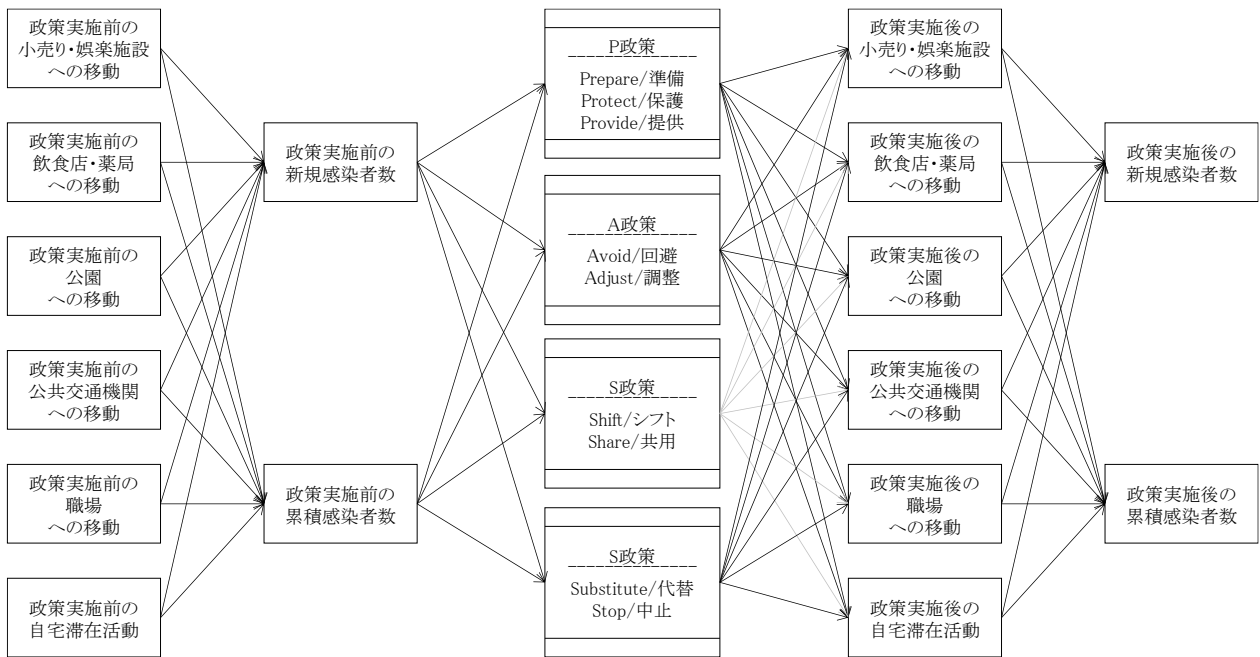


(出典: Zhang, 2020)

図 2 パンデミック政策立案方法のPASSアプローチ

新規感染者数データ : NHK ニュースサイト (https://www3.nhk.or.jp/n-data/opendata/coronavirus/nhk_news_covid19_prefectures_daily_data.csv) で公表されているデータを利用する。

活動・移動データ : Google Mobility Report から入手する。Google Mobility Report において、人々がよく訪れる場所を 6 つのカテゴリ（小売店と娯楽施設、食料品店と薬局、公園、公共交通機関、職場、自宅）に分類し、人々の活動・移動がパンデミック前の同時期と比べてどの程度変



出典：Zhang et al. (2021)

図 3 マルチレベル動的な一般化構造方程式モデル

化したかをパーセンテージで示す。

政策効果を評価するための政策実施前後の期間：政策効果を評価するために、政策実施前後の状況を比較すればよい。しかし、パンデミック政策の場合、政策の効果が実施後のいつから現れるかの先験的な情報は存在しない。このため、本研究では、政策実施前後の 1 週間、2 週間、3 週間および 1 ヶ月という 4 つの期間を選ぶこととした。

4. 政策効果の評価方法

対象期間において、ある政策・対策の実施前後に、人々の活動・移動や感染が減れば、当該政策・対策が有効であると判断する。そして、収集した 2020 年の 911 個の政策、2021 年の 1014 個の政策を分析のサンプルとして、集計分析とモデリング分析の両方から評価を試みる。2020 年と 2021 年の政策の効果の比較も行う。

モデリング分析について、Zhang et al. (2021) のモデリングフレームワークを援用し、以下のマルチレベル動的な一般化構造方程式モデル (図 3) を構築する。47 の都道府県における数々の政策を分析サンプルとするため、同じ都道府県から複数の政策の存在によってサンプル間に相関が生じてしまう。これを考慮に入れて、マルチレベルモデリング手法を取り入れて対応する。一方、研究目的に示される「政策実施前の活動・移動 ⇒ 政策実施前の感染 ⇒ 政策の立案 ⇒ 政策実施後の活動・移動 ⇒ 政策実施後の感染」という影響連鎖を忠実に表現し、データの性質を損なわずにモデリング分析を進めるため、

一般化構造方程式モデルを用いる。この一般化構造方程式モデルを使えば、上記の時間軸における上記の影響連鎖を同時にモデリング作業に取り入れることができる。

構造方程式モデルを構築するにあたって、以下の仮説を立てることとした。

- [1] 政策実施前における外出（小売り・娯楽店への移動、食料品店・薬局への移動、公園への移動、公共交通機関への移動、職場への移動）と自宅活動の増加はそれぞれ感染者数の増加と減少をもたらす。
- [2] 感染者数の増加がパンデミック政策の意思決定を促進する。
- [3] 政策の実施によって、外出活動・移動は減り、自宅活動は増える。
- [4] 政策実施後における外出と自宅活動の増加はそれぞれ感染者数の増加と減少をもたらす。

5. データから直接に読み取れるもの

ここで、感染拡大が深刻な地域とその他の地域に分けて、データそのものから直接に読み取れることを集計分析により明らかにする。そして、感染拡大が深刻な地域（東京都、埼玉県、千葉県、大阪府、兵庫県、福岡県、愛知県と沖縄県の 8 都道府県）とそうでない地域に分けて分析を行う。

(1) 感染拡大が深刻な地域の政策実施後における感染者数と人々の活動・移動の変化

感染拡大が深刻な地域におけるパンデミック政策実施

後の感染者数と人々の活動・移動の変化を表 1 に表す（自宅の変化率：プラス；それ以外：マイナス）。

(2) 感染拡大が深刻な地域における新規感染者数の変化率

すべての P-A-S-S 政策において、その実施 1 週間後の新規感染者数が増えた（図 4）。一方、2週間以降の3つの期間において、P 政策「Prepare 準備-Protect 防止-Provide 提供」以外の影響の増減傾向は一致する：つまり、A 政策「Avoid 回避-Adjust 調整」の実施後に新規感染者数が増えたが、ほかの 3 種類の政策は新規感染者数の減少につながった。P 政策について、2週間と3週間で見ると、新規感染者数の減少とつながったが、1ヶ月で見ると、新規感染者数の増加が見られた。A 政策と S2 政策「Substitute 代替-Stop 停止」の影響は2週間から1ヶ月にかけてどんどん大きくなる。一方、S1 政策「Shift シフト-Share 共用」の影響は3週間で見ると最大となった。上記の結果から、感染拡大が深刻な地域において、パンデミック政策を実施してから1週間足らずの時間では新規感染者数の減少を食い止めることは難しく、期待される効果が2週間以降に現れることが明らかとなった。

表 1 感染拡大が深刻な地域における政策実施前後での新規感染者数と人の活動・移動の変化

| | | 新規感染者 | 小売・娯楽 | 食品店・薬局 | 公園 | 公共交通機関 | 職場 | 自宅 |
|------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|
| 1週間後 | P | 52.0% | 26.0% | 47.3% | 38.4% | 42.5% | 37.0% | 31.5% |
| | A | 46.5% | 14.0% | 34.9% | 44.2% | 37.2% | 27.9% | 41.9% |
| | S_1 | 61.2% | 19.4% | 30.6% | 19.4% | 7.1% | 29.6% | 58.2% |
| 2週間後 | S_2 | 60.0% | 50.6% | 56.5% | 31.8% | 47.1% | 54.1% | 34.1% |
| | P | 49.7% | 30.1% | 35.6% | 46.6% | 39.0% | 41.1% | 30.8% |
| | A | 41.9% | 23.3% | 7.0% | 18.6% | 55.8% | 46.5% | 34.9% |
| 3週間後 | S_1 | 72.4% | 45.9% | 53.1% | 56.1% | 19.4% | 51.0% | 34.7% |
| | S_2 | 71.8% | 52.9% | 63.5% | 56.5% | 58.8% | 56.5% | 20.0% |
| | P | 52.7% | 33.6% | 45.2% | 46.6% | 41.8% | 42.5% | 38.4% |
| 1ヶ月後 | A | 27.9% | 48.8% | 32.6% | 39.5% | 46.5% | 46.5% | 34.9% |
| | S_1 | 71.4% | 22.4% | 40.8% | 27.6% | 16.3% | 31.6% | 65.3% |
| | S_2 | 78.8% | 35.7% | 56.0% | 38.1% | 56.0% | 54.8% | 39.3% |
| 1ヶ月後 | P | 47.9% | 35.3% | 31.6% | 47.8% | 56.6% | 43.4% | 43.4% |
| | A | 30.2% | 53.5% | 20.9% | 41.9% | 65.1% | 41.9% | 39.5% |
| | S_1 | 60.2% | 14.3% | 33.7% | 25.5% | 19.4% | 40.8% | 64.3% |
| S_2 | 72.6% | 29.8% | 40.5% | 40.5% | 51.2% | 57.1% | 44.0% | |



図 4 人口当たりの新規感染者数変化率の平均（感染拡大が深刻な地域）

(3) 感染拡大が深刻な地域における行動変化率

政策実施後 1 週間の政策の影響を図 5 に示す。顕著な傾向として、職場への移動と公共交通機関への移動に対して、P-A-S-S 政策のすべては負の影響に傾く。特に職場への移動の減少がより大きかった。行動が増えたのは自宅活動と公園での活動であり、これらの変化は A 政策以外の影響と関係する。食料品店・薬局への移動について、その減少率はほかと比べて相当に小さかったが、どの政策も食料品店・薬局への移動を減らす働きが見られた。

P 政策「Prepare 準備-Protect 防止-Provide 提供」、A 政策「Avoid 回避-Adjust 調整」、S 政策「Shift シフト-Share 共用」、S 政策「Substitute 代替-Stop 停止」のすべての種類の政策実施 2 週間後（図 6）においては、小売り・娯楽店、食料品店・薬局、公園への移動と自宅滞在時間が増加傾向、公共交通機関、職場への移動が減少傾向となった。全体として変わったとみられるのが食料品店・薬局への移動が増加傾向になったことだ。1 週間後と比べて、特に A 政策「Avoid 回避-Adjust 調整」実施の効果が大きく変わり、公園への移動が大きく増加し、公共交通機関、職場への移動が大きく減少した。

政策実施 3 週間後（図 7）では、1 週間後と大きな変化はなかった。感染が深刻な地域、A 政策「Avoid 回避-Adjust 調整」、S 政策「Shift シフト-Share 共用」、S 政策「Substitute 代替-Stop 停止」のすべての種類の政策実施 2 週間後においては、小売り・娯楽店、公園への移動と自宅滞在時間が増加傾向、公共交通機関、職場への移動が減少傾向となったが、食料品店・薬局への移動においては S 政策「Shift シフト-Share 共用」と S 政策「Substitute 代替-Stop 停止」実施後においてわずかに減少した。また、2 週間後と比べて全体的に増加割合部分が比較的小さくなり、移動が減少したとみられる。

政策実施 1 か月後（図 8）では大きな変化が見られた。まず、すべての政策において公園への移動が増加傾向にあったものが減少傾向へと変わった。A 政策「Avoid 回避-Adjust 調整」実施 1 か月後では、2 週間後と比べて、小売り・娯楽店、食料品店・薬局、公園への移動が減少傾向へと変化した。そして S 政策「Shift シフト-Share 共用」と S 政策「Substitute 代替-Stop 停止」においては、実施 2 週間後と比べて食料品店・薬局の移動がわずかに増加傾向になったが大きな変化は見られなかった。S 政策「Substitute 代替-Stop 停止」のみにおいて、小売り・娯楽店への移動がわずかに減少傾向となっている。

(4) 感染拡大が深刻でない地域の政策実施後での感染者数と人の行動

感染拡大が深刻でない地域でのパンデミック政策実施後の人の行動と感染者数の変化を集計分析した結果を表

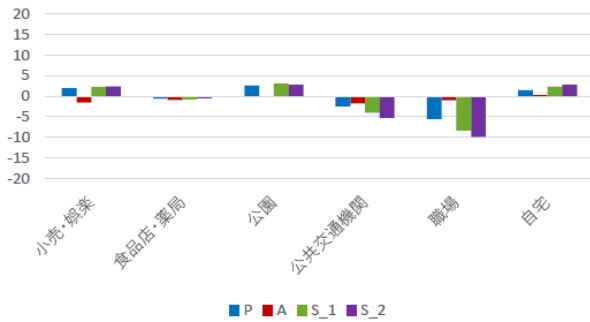


図 5 1 週間後の人の移動変化率の平均(感染が深刻な地域)

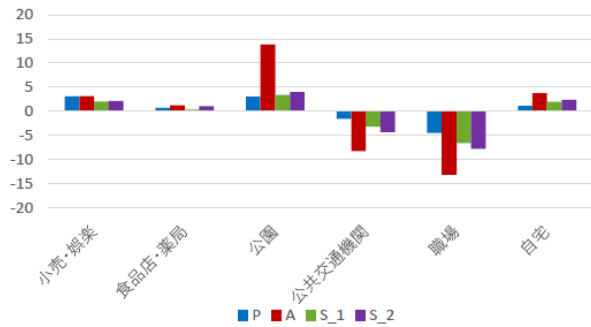


図 6 2 週間後の人の移動変化率の平均(感染が深刻な地域)

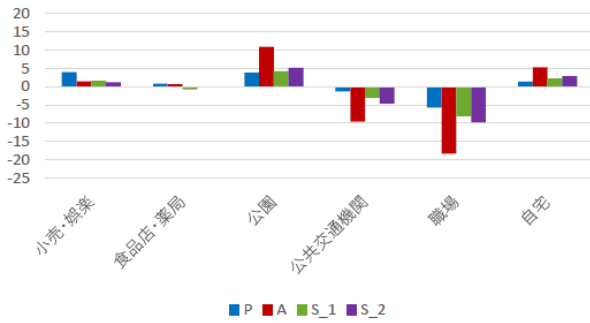


図 7 3 週間後の人の移動変化率の平均(感染が深刻な地域)

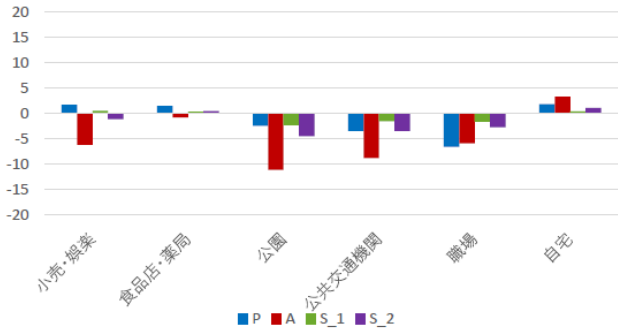


図 8 1 ヶ月後の人の移動変化率の平均(感染が深刻な地域)

2に表す。

(5) 感染拡大が深刻でない地域での新規感染者数変化率

図 9 は日別に各都道府県で観測された新規感染者数のデータをもとに、政策実施日を基準に実施後のそれぞれの期間（1 週間後、2 週間後、3 週間後、1 か月後）での新規感染者数の増減率を人口で割ったものである。今回グループ分けされた（感染が深刻でない地域）グループ 39 都道府県で行われた政策後での新規感染者数変化の平均を表す。感染が深刻な地域の 1 週間後では少し増加しているが、2 週間～1 か月後で減少傾向にある。A 政策「Avoid 回避-Adjust 調整」が行われた 1 週間後では新規感染者数は増加しているが、2 週間～1 か月後では減少傾向にある。S 政策「Shift シフト-Share 共用」実施 1 週間後でわずかに増加しているものの、2 週間～1 か月後で減少傾向であり、減少の振れ幅も徐々に大きくなっている。S 政策「Substitute 代替-Stop 停止」では、1 週間～1 か月後のすべての期間において減少しており、減少の割合も次第に大きくなっている。そして他のどの政策群より比較的減少割合が大きい。全体的に見て、新規感染者数変化率は 1 週間後で少し増加してはいるものの、2 週間から 1 か月にかけて次第に減少傾向にある。特に S 政策「Substitute 代替-Stop 停止」の新規感染者数の減少への貢献度は比較的高いといえる。基礎分析の観点のみにおいていえば、感染が深刻でない地域の 39 都道府県において、実施されたパンデミック政策は 2 週間～1 か月後において新規感染者数を減少させる効果があるといえる。

(6) 感染拡大が深刻でない地域での行動変化率

モビリティデータをもとに、感染が深刻でない地域で行われた政策の実施当日を基準に実施後のそれぞれの期間（1 週間後、2 週間後、3 週間後、1 か月後）での新規感染者数モビリティの増減を人口で割ったもの（移動変化率）である。図 10 は感染が深刻でない地域の 39 都道府県で行われた政策 1 週間後での移動変化率の平均を表す。感染が深刻な地域実施 1 週間後では小売り・娯楽店、食料品店・薬局、公園、公共交通機関への移動が増加傾向、職場への移動が減少傾向、自宅滞在時間が増加傾向にある。A 政策「Avoid 回避-Adjust 調整」、S 政策「Shift シフト-Share 共用」の実施 1 週間後では、共に小売り・娯楽店、食料品店・薬局、公園、公共交通機関への移動が増加傾向であり、職場への移動は減少傾向、自宅滞在時間は減少傾向にある。特に、公園、公共交通機関への移動がほかの政策と比べて比較的大きく増加している。S 政策「Substitute 代替-Stop 停止」実施 1 週間後では移動の変化は全体カテゴリにおいて小さい。そのなかで比較的食料品店・薬局への移動の減少割合が大きい。

まず、PASS 政策すべての政策の実施 2 週間後（図 11）において職場への移動変化と自宅滞在時間の変化は小さい。感染が深刻な地域の実施 2 週間後では小売り・娯楽店、食料品店・薬局、公共交通機関への移動が増加傾向にあり、公園への移動は減少傾向にある。A 政策「Avoid 回避-Adjust 調整」の実施 2 週間後で小売り・娯楽店、食料品店・薬局、公園、公共交通機関への移動が増加傾向にあり、PASS 政策で唯一、公園への移動が増

加しており、その割合も高い。S 政策「Shift シフト-Share 共用」の実施 2 週間後において、小売り・娯楽店、食料品店・薬局、公共交通機関への移動が増加傾向であり、公園、職場への移動は減少傾向にある。S 政策「Substitute 代替-Stop 停止」は実施 1 週間後と同様、移動の変化は小さい。そのなかで比較的食料品店・薬局への移動の減少割合が大きい。

表 2 政策実施後での新規感染者数と人の移動が減少した割合 (感染が深刻でない地域)

| 期間 | 政策 | 新規感染者 | 小売・娯楽 | 食品店・薬局 | 公園 | 公共交通機関 | 職場 | 自宅 |
|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|
| 1 週間後 | P | 39.9% | 19.6% | 26.9% | 34.8% | 30.7% | 28.2% | 33.2% |
| | A | 41.9% | 14.0% | 12.8% | 12.8% | 14.0% | 15.1% | 53.5% |
| | S_1 | 47.7% | 12.8% | 14.0% | 25.6% | 18.6% | 23.3% | 62.8% |
| 2 週間後 | S_2 | 41.0% | 49.5% | 56.2% | 41.9% | 58.1% | 52.4% | 27.6% |
| | P | 46.8% | 12.7% | 22.8% | 48.7% | 22.5% | 20.3% | 40.8% |
| | A | 46.5% | 11.6% | 10.5% | 14.0% | 12.8% | 12.8% | 50.0% |
| 3 週間後 | S_1 | 60.5% | 16.3% | 39.5% | 66.3% | 15.1% | 62.8% | 30.2% |
| | S_2 | 58.1% | 40.0% | 63.8% | 45.7% | 46.7% | 38.1% | 26.7% |
| | P | 48.4% | 8.2% | 32.3% | 35.8% | 19.9% | 30.4% | 41.8% |
| 1ヶ月後 | A | 41.9% | 9.3% | 7.0% | 8.1% | 10.5% | 12.8% | 58.1% |
| | S_1 | 58.1% | 10.5% | 26.7% | 36.0% | 24.4% | 11.6% | 65.1% |
| | S_2 | 59.0% | 41.9% | 61.9% | 49.5% | 54.3% | 36.2% | 36.2% |
| 1ヶ月後 | P | 44.0% | 23.4% | 24.5% | 52.9% | 51.4% | 46.4% | 41.0% |
| | A | 40.7% | 4.7% | 5.8% | 12.8% | 9.3% | 30.2% | 52.3% |
| | S_1 | 58.1% | 8.1% | 25.6% | 40.7% | 38.4% | 19.8% | 68.6% |
| S_2 | 61.9% | 18.1% | 26.7% | 43.8% | 36.2% | 62.9% | 29.5% | |

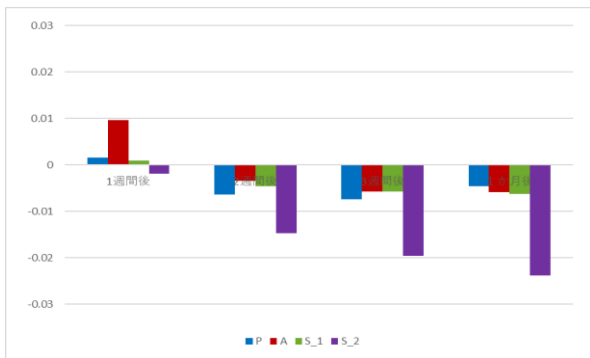


図 9 人口当たりの新規感染者数変化率の平均 (感染拡大が深刻でない地域)

感染が深刻な地域の実施 3 週間後 (図 12) では小売り・娯楽店、食料品店・薬局、公園、公共交通機関への移動が増加傾向であり、職場への移動が減少傾向で比較的割合が大きい。自宅滞在時間も少し増加傾向にある。A 政策「Avoid 回避-Adjust 調整」の実施 3 週間後では小売り・娯楽店、食料品店・薬局、公園、公共交通機関への移動が増加傾向にあり、実施 2 週間後と同様、公園への移動変化の増加の割合は比較的大きい。そして自宅滞在時間は少し減少傾向にある。S 政策「Shift シフト-Share 共用」の実施 3 週間後も同様に、小売り・娯楽店、食料品店・薬局、公園、公共交通機関への移動が増加傾向であり、自宅滞在時間は少し減少傾向にある。S 政策「Substitute 代替-Stop 停止」実施 3 週間後は、2 週間後と同様移動変化が小さい。

感染が深刻な地域実施 1 か月後 (図 13) では、公園や公共交通機関への移動が減少し、3 週間後と比べて公園

の減少度が大きい。A 政策「Avoid 回避-Adjust 調整」、S 政策「Shift シフト-Share 共用」実施 1 か月後では、3 週間後の移動変化とあまり変わらない。小売り・娯楽店、食料品店・薬局、公園、公共交通機関への移動が増加傾向にあり、特に A 政策「Avoid 回避-Adjust 調整」実施後において公園への移動変化の増加の割合は比較的大きい。そして自宅滞在時間は少し減少傾向にある。S 政策「Shift シフト-Share 共用」の実施 1 か月後は、小売り・娯楽店、食料品店・薬局、公園、公共交通機関への移動の増加割合が大きくなった。その反面、職場への移動が大きく減少し、自宅滞在時間は増加した。

政策実施 1 週間～1 か月後における PASS 政策の人の移動変化の増減率を、6 段階にわけて表 3 と表 4 に示した (5 以下の増加 “+” ; 5-10 の増加 “++” ; 10 以上の増加 “+++” ; 5 以下の減少 “-” ; 5-10 の減少 “--” ; 10 以上の減少 “---”)。

(7) 感染拡大が深刻な地域とそうでない地域の比較

感染が深刻な地域 8 都道府県における政策実施後の 4 つの期間での比較について考察を行う (表 3)。これらの都道府県は、他の地域と比べて人口が多く、ビジネス関係での人の動きが多い。そのため、政府や地方公共団体は、これらの地域に長い期間にかけて緊急事態宣言などの厳しい移動制限や営業制限をかけた。その結果なのか、S 政策「Substitute 代替-Stop 停止」実施後において、公共交通機関や職場への移動が減少している。小売り・娯楽店や食料品店・薬局への移動の大きな増加も見られず、自宅滞在時間や公園への移動が増加しているため、多くの人が移動を自粛したり、3 密を避けられるキャンプ場などの利用をしたりした可能性がある。全体を見て、どの政策にも共通して変化がみられるのは、公共交通機関や職場への移動の減少、公園への移動と自宅滞在時間の増加だ。これらの地域では多くの人々が公共交通機関の利用を控え、テレワークなどの労働形態をとったと考えられる。感染が深刻な地域実施後、どの期間においても小売り・娯楽店への移動は増加している。A 政策「Avoid 回避-Adjust 調整」においては、実施後 1 週間においてはすべてのカテゴリへの移動が抑えられているが、2 週間、3 週間とすぎると少しずつ増加し、1 か月後に減少した。S 政策「Shift シフト-Share 共用」においては、人の移動変化割合が小さく、小売り・娯楽店への移動がわずかに増加傾向にあった。

感染が深刻でないにおける政策実施後の 4 つの期間での比較について考察を行う (表 4)。これらの都道府県は、感染が深刻な地域グループと比べて人口が少なく、ビジネス関係での人の動きは少ない。緊急事態宣言やまん延防止等重点措置などの移動制限は、全国的に感染拡大の波が大きかった夏場に多くの都道府県で発令された。

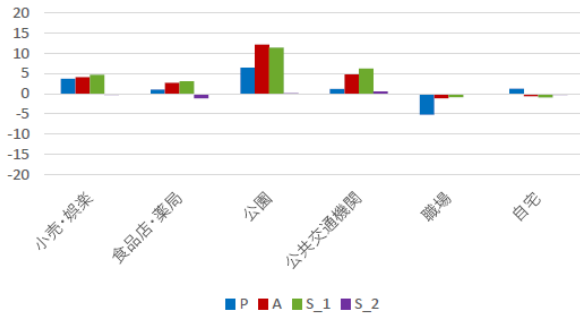


図 10 1 週間後の人の移動変化率の平均 (感染が深刻でない地域)

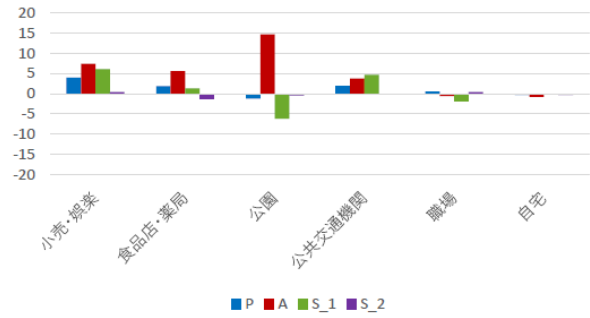


図 11 2 週間後の人の移動変化率の平均 (感染が深刻でない地域)

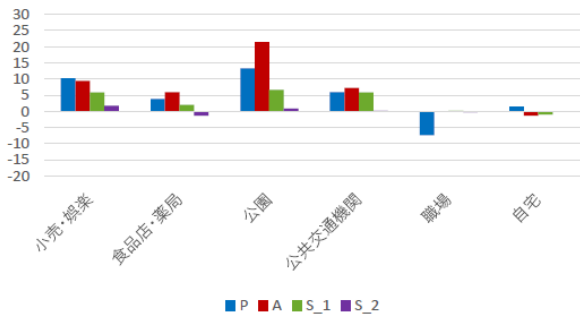


図 12 3 週間後の人の移動変化率の平均 (感染が深刻でない地域)

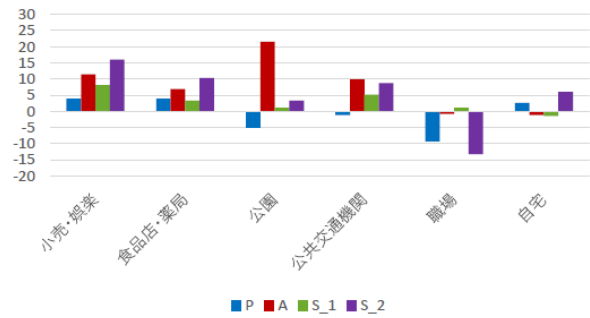


図 13 1 か月後の人の移動変化率の平均 (感染が深刻でない地域)

表 3 人の移動変化増減表 (感染が深刻な地域)

| | | 小売り・娯楽店 | 食品店・薬局 | 公園 | 公共交通機関 | 職場 | 自宅 |
|-----|-------|---------|--------|-----|--------|----|----|
| P | 1 週間後 | ++ | -- | ++ | -- | -- | + |
| | 2 週間後 | ++ | + | ++ | -- | -- | + |
| | 3 週間後 | ++ | + | ++ | -- | -- | + |
| | 1 か月後 | ++ | + | ++ | -- | -- | + |
| A | 1 週間後 | -- | -- | -- | -- | -- | + |
| | 2 週間後 | + | + | +++ | -- | -- | ++ |
| | 3 週間後 | + | + | +++ | -- | -- | ++ |
| | 1 か月後 | -- | -- | --- | -- | -- | + |
| S_1 | 1 週間後 | + | + | + | -- | -- | + |
| | 2 週間後 | + | + | + | -- | -- | + |
| | 3 週間後 | + | + | + | -- | -- | + |
| | 1 か月後 | + | + | + | -- | -- | + |
| S_2 | 1 週間後 | + | + | + | -- | -- | + |
| | 2 週間後 | + | + | + | -- | -- | + |

表 4 人の移動変化の増減の度合い (感染が深刻でない地域)

| | | 小売り・娯楽店 | 食品店・薬局 | 公園 | 公共交通機関 | 職場 | 自宅 |
|-----|-------|---------|--------|-----|--------|-----|----|
| P | 1 週間後 | ++ | + | ++ | + | -- | + |
| | 2 週間後 | ++ | + | -- | + | + | -- |
| | 3 週間後 | ++ | + | +++ | ++ | -- | + |
| | 1 か月後 | +++ | + | -- | -- | -- | + |
| A | 1 週間後 | + | + | +++ | + | -- | + |
| | 2 週間後 | ++ | ++ | +++ | ++ | -- | + |
| | 3 週間後 | ++ | ++ | +++ | ++ | + | + |
| | 1 か月後 | +++ | ++ | +++ | +++ | +++ | + |
| S_1 | 1 週間後 | + | + | +++ | ++ | -- | -- |
| | 2 週間後 | ++ | + | -- | -- | -- | -- |
| | 3 週間後 | ++ | + | ++ | ++ | + | -- |
| | 1 か月後 | ++ | + | + | ++ | + | -- |
| S_2 | 1 週間後 | ++ | + | + | ++ | + | -- |
| | 2 週間後 | -- | -- | + | + | -- | -- |

S 政策「Substitute 代替-Stop 停止」実施後 1~3 週間後では食料品店・薬局や職場への移動が減少傾向にあったが、1 か月後には食料品店・薬局への移動が増加した。しかし自宅滞在時間が増加するのには 1 か月もかかっており、小売り・娯楽店や公共交通機関への移動の減少があまりみられない。全体的にどの政策においても職場への移動は減少傾向にあり、多くの職場でオンライン形式の労働形態がとられた可能性がある。感染が深刻な地域や S 政策「Shift シフト-Share 共用」実施後においては、基本的に職場以外のカテゴリの場所への移動が増加している。A 政策「Avoid 回避-Adjust 調整」実施後においても職場以外のカテゴリの場所への移動変化が 1 週間~1 か月後のすべての期間において増加している。

6. モデリング推定の結果とその考察

マルチレベル動的一般化構造方程式モデルの推定結果 (変化比較期間: 2 週間) を表 5 に示す。説明変数のう

ち、連続変数を基準化したうえで、モデルの推定を行った。基準化によって、関係するパラメータの直接的な比較が可能となる。まず、マルチレベルモデリング手法の導入が有効かどうかについて、都道府県別誤差成分をみて判断することができる。2020 年と 2021 年のモデルのそれぞれに 10 個の誤差成分があり、そのうち、3 個が推定の際に 1 に固定された。残りの 7 個のうち、2020 年に 6 個が統計的に有意で、2021 年に 2 個が有意である。これらの結果はマルチレベルモデリング手法の導入が有効であることを支持する。次に、説明変数のパラメータについて、定数項を含めて、各年にそれぞれ 61 個があり、2020 年モデルに 42 個、2021 年モデルに 45 個がそれぞれ統計的に有意である。これらの結果は、本研究で構築した動的一般化構造方程式モデルの有効性を支持する。

(1) 政策実施前: 活動・移動から感染者数への影響

毎日の新規感染者数と累積感染者のいずれからみても、活動・移動が感染者数に与える影響を表すパラメータは 2020 年モデルと比べて、2021 年モデルのほうにおいて統

表5 パンデミック政策の立案とその有効性を評価するモデルの推定結果

| 目的変数Y | 説明変数X | 2020年モデル(変化比較期間:2週間) | | | | 2021年モデル(変化比較期間:2週間) | | | |
|---|------------------------------|----------------------|--------------|---------|--------|----------------------|-------------|-----------|----------|
| | | 推定値 | p値(有意性) | 95%信頼区間 | 推定値 | p値(有意性) | 95%信頼区間 | | |
| 政策実施前:活動・移動から感染者数への影響 | | | | | | | | | |
| 毎日の新規感染者数 | 小売り・娯楽施設への活動の変化 | -0.110 | 1.9E-01 | -0.274 | 0.055 | -0.485 | 0.0E+00 *** | -0.602 | -0.369 |
| | 食料品店・薬局への活動の変化 | -0.054 | 2.4E-01 | -0.145 | 0.037 | 0.442 | 0.0E+00 *** | 0.361 | 0.523 |
| | 公園への活動の変化 | -0.037 | 4.0E-01 | -0.122 | 0.049 | -0.042 | 2.6E-01 | -0.114 | 0.031 |
| | 公共交通機関利用行動の変化 | -0.051 | 4.6E-01 | -0.187 | 0.085 | -0.237 | 0.0E+00 *** | -0.336 | -0.139 |
| | 通勤行動の変化 | -0.425 | 0.0E+00 *** | -0.585 | -0.266 | 0.316 | 9.0E-03 ** | 0.079 | 0.552 |
| | 自宅滞在行動の変化 | -0.507 | 0.0E+00 *** | -0.740 | -0.273 | 0.300 | 1.2E-02 * | 0.066 | 0.535 |
| | 定数項 | -0.073 | 2.2E-01 | -0.190 | 0.044 | -0.040 | 2.4E-01 | -0.106 | 0.027 |
| | 都道府県別誤差成分 | 1.000 | | | | 1.000 | | | |
| 累計感染者数 | 小売り・娯楽施設への活動の変化 | 0.065 | 4.2E-01 | -0.094 | 0.225 | -0.327 | 0.0E+00 *** | -0.465 | -0.188 |
| | 食料品店・薬局への活動の変化 | -0.284 | 0.0E+00 *** | -0.371 | -0.196 | 0.387 | 0.0E+00 *** | 0.308 | 0.466 |
| | 公園への活動の変化 | -0.004 | 9.2E-01 | -0.085 | 0.077 | -0.003 | 9.4E-01 | -0.077 | 0.071 |
| | 公共交通機関利用行動の変化 | -0.008 | 9.1E-01 | -0.140 | 0.124 | 0.406 | 0.0E+00 *** | 0.296 | 0.517 |
| | 通勤行動の変化 | -0.622 | 0.0E+00 *** | -0.773 | -0.471 | 0.879 | 0.0E+00 *** | 0.613 | 1.145 |
| | 自宅滞在行動の変化 | -0.665 | 0.0E+00 *** | -0.888 | -0.442 | 0.921 | 0.0E+00 *** | 0.666 | 1.176 |
| | 定数項 | -0.079 | 2.1E-01 | -0.202 | 0.044 | -0.234 | 2.0E-02 * | -0.430 | -0.037 |
| | 都道府県別誤差成分 | 1.079 | 0.0E+00 *** | 0.861 | 1.296 | 5.756 | 1.0E-03 ** | 2.386 | 9.126 |
| 分散(都道府県別誤差成分) | 0.130 | | 0.078 | 0.218 | 0.013 | | 0.004 | 0.045 | |
| 分散(新規感染者数モデル誤差) | 0.703 | | 0.641 | 0.771 | 0.651 | | 0.593 | 0.714 | |
| 分散(累計感染者数モデル誤差) | 0.620 | | 0.565 | 0.680 | 0.466 | | 0.424 | 0.513 | |
| 政策実施前:感染者数から政策の意思決定への影響 | | | | | | | | | |
| P政策 (Prepare-protect-provide) (1=yes, 0=no) | 新規感染者数の変化 | -0.369 | 4.0E-03 ** | -0.623 | -0.115 | -0.170 | 0.0E+00 *** | -0.260 | -0.080 |
| | 累計感染者数の変化 | 0.126 | 1.9E-01 | -0.063 | 0.315 | 0.174 | 0.0E+00 *** | 0.086 | 0.263 |
| | 定数項 | -1.145 | 0.0E+00 *** | -1.300 | -0.990 | -0.090 | 3.4E-02 * | -0.173 | -0.007 |
| A政策 (Avoid-adjust) (1=yes, 0=no) | 新規感染者数の変化 | 0.942 | 0.0E+00 *** | 0.703 | 1.180 | -0.208 | 8.2E-02 + | -0.443 | 0.027 |
| | 累計感染者数の変化 | -1.499 | 0.0E+00 *** | -1.942 | -1.056 | -0.860 | 0.0E+00 *** | -1.124 | -0.596 |
| | 定数項 | -1.106 | 0.0E+00 *** | -1.283 | -0.929 | -1.515 | 0.0E+00 *** | -1.690 | -1.339 |
| S2政策 (Substitute-stop) (1=yes, 0=no) | 新規感染者数の変化 | 0.389 | 6.0E-03 ** | 0.113 | 0.665 | 0.196 | 0.0E+00 *** | 0.101 | 0.290 |
| | 累計感染者数の変化 | -2.910 | 0.0E+00 *** | -4.474 | -1.345 | -0.201 | 0.0E+00 *** | -0.313 | -0.089 |
| | 定数項 | -3.360 | 0.0E+00 *** | -3.942 | -2.777 | -0.824 | 0.0E+00 *** | -0.919 | -0.729 |
| 政策実施後:政策の実施から活動・移動への影響 | | | | | | | | | |
| 小売り・娯楽施設への 活動の変化 | P政策(Prepare-protect-provide) | 0.151 | 5.1E-02 + | -0.001 | 0.303 | -0.242 | 2.0E-03 ** | -0.398 | -0.087 |
| | A政策(Avoid-adjust) | -0.806 | 0.0E+00 *** | -0.951 | -0.661 | 0.232 | 3.4E-02 * | 0.017 | 0.446 |
| | S2政策(Substitute-stop) | -0.590 | 0.0E+00 *** | -0.838 | -0.342 | -1.135 | 0.0E+00 *** | -1.317 | -0.954 |
| | 定数項 | 0.230 | 0.0E+00 *** | 0.134 | 0.327 | 0.324 | 0.0E+00 *** | 0.195 | 0.454 |
| | 都道府県別誤差成分 | 1.000 | | | | 1.000 | | | |
| 食料品店・薬局への 活動の変化 | P政策(Prepare-protect-provide) | 0.134 | 7.7E-02 + | -0.015 | 0.282 | 0.169 | 3.0E-02 * | 0.016 | 0.323 |
| | A政策(Avoid-adjust) | -0.744 | 0.0E+00 *** | -0.886 | -0.603 | 0.850 | 0.0E+00 *** | 0.639 | 1.061 |
| | S2政策(Substitute-stop) | -1.235 | 0.0E+00 *** | -1.476 | -0.993 | -0.774 | 0.0E+00 *** | -0.953 | -0.595 |
| | 定数項 | 0.259 | 0.0E+00 *** | 0.164 | 0.355 | -0.012 | 8.5E-01 | -0.141 | 0.117 |
| | 都道府県別誤差成分 | 1.290 | 5.5E-02 + | -0.030 | 2.609 | -6.315 | 8.5E-01 | -72.437 | 59.807 |
| 公園への 活動の変化 | P政策(Prepare-protect-provide) | -0.008 | 9.2E-01 | -0.162 | 0.146 | 0.076 | 3.9E-01 | -0.096 | 0.248 |
| | A政策(Avoid-adjust) | -0.816 | 0.0E+00 *** | -0.963 | -0.669 | 0.515 | 0.0E+00 *** | 0.278 | 0.751 |
| | S2政策(Substitute-stop) | -0.332 | 1.0E-02 * | -0.583 | -0.081 | 0.006 | 9.6E-01 | -0.195 | 0.206 |
| | 定数項 | 0.254 | 0.0E+00 *** | 0.154 | 0.354 | -0.084 | 2.6E-01 | -0.229 | 0.062 |
| | 都道府県別誤差成分 | 1.442 | 5.6E-02 + | -0.036 | 2.919 | -26.366 | 8.3E-01 | -271.809 | 219.078 |
| 公共交通機関 利用行動の変化 | P政策 | 0.145 | 3.8E-02 + | 0.008 | 0.281 | -0.374 | 0.0E+00 *** | -0.544 | -0.205 |
| | A政策 | -1.005 | 0.0E+00 *** | -1.135 | -0.875 | -0.311 | 9.0E-03 ** | -0.543 | -0.078 |
| | S2政策 | -1.529 | 0.0E+00 *** | -1.751 | -1.307 | -0.541 | 0.0E+00 *** | -0.738 | -0.345 |
| | 定数項 | 0.352 | 0.0E+00 *** | 0.266 | 0.438 | 0.370 | 0.0E+00 *** | 0.218 | 0.522 |
| | 都道府県別誤差成分 | 0.909 | 8.9E-02 + | -0.139 | 1.957 | -87.025 | 8.3E-01 | -886.739 | 712.690 |
| 通勤行動 の変化 | P政策(Prepare-protect-provide) | -0.176 | 1.0E-02 * | -0.311 | -0.042 | 0.072 | 3.9E-01 | -0.091 | 0.235 |
| | A政策(Avoid-adjust) | -0.755 | 0.0E+00 *** | -0.883 | -0.626 | -0.033 | 7.7E-01 | -0.257 | 0.190 |
| | S2政策(Substitute-stop) | -2.266 | 0.0E+00 *** | -2.485 | -2.047 | 0.775 | 0.0E+00 *** | 0.586 | 0.964 |
| | 定数項 | 0.410 | 0.0E+00 *** | 0.327 | 0.494 | -0.141 | 6.5E-02 + | -0.291 | 0.009 |
| | 都道府県別誤差成分 | 0.422 | 3.2E-01 | -0.415 | 1.259 | -99.551 | 8.3E-01 | -1012.560 | 813.457 |
| 自宅滞在行動 の変化 | P政策(Prepare-protect-provide) | 0.097 | 1.4E-01 | -0.033 | 0.227 | 0.014 | 8.7E-01 | -0.152 | 0.181 |
| | A政策(Avoid-adjust) | 0.996 | 0.0E+00 *** | 0.872 | 1.120 | 0.011 | 9.3E-01 | -0.217 | 0.239 |
| | S2政策(Substitute-stop) | 2.137 | 0.0E+00 *** | 1.925 | 2.349 | -0.527 | 0.0E+00 *** | -0.720 | -0.334 |
| | 定数項 | -0.451 | 0.0E+00 *** | -0.532 | -0.369 | 0.045 | 5.7E-01 | -0.111 | 0.201 |
| | 都道府県別誤差成分 | 0.453 | -1.5E+00 *** | 0.279 | | 112.296 | 8.3E-01 | -918.128 | 1142.720 |
| 分散(都道府県別誤差成分) | 0.006 | | 0.001 | 0.033 | 0.000 | | 0.000 | 373.200 | |
| 分散(小売り・娯楽施設活動モデル誤差) | 0.833 | | 0.760 | 0.914 | 0.799 | | 0.728 | 0.877 | |
| 分散(食料品店・薬局活動モデル誤差) | 0.794 | | 0.724 | 0.871 | 0.774 | | 0.705 | 0.849 | |
| 分散(公園活動モデル誤差) | 0.856 | | 0.781 | 0.939 | 0.972 | | 0.886 | 1.066 | |
| 分散(公共交通機関利用行動モデル誤差) | 0.670 | | 0.611 | 0.734 | 0.932 | | 0.849 | 1.024 | |
| 分散(通勤行動モデル誤差) | 0.653 | | 0.595 | 0.715 | 0.863 | | 0.786 | 0.947 | |
| 分散(自宅滞在行動モデル誤差) | 0.610 | | 0.556 | 0.668 | 0.895 | | 0.815 | 0.982 | |
| 政策実施後:活動・移動から感染者数への影響 | | | | | | | | | |
| 毎日の新規感染者数 の変化 | 小売り・娯楽施設への活動の変化 | -0.229 | 1.0E-02 * | -0.405 | -0.054 | -0.002 | 0.0E+00 *** | -0.002 | -0.001 |
| | 食料品店・薬局への活動の変化 | -0.015 | 8.3E-01 | -0.153 | 0.123 | 0.001 | 1.0E-03 ** | 0.000 | 0.002 |
| | 公園への活動の変化 | 0.017 | 7.3E-01 | -0.077 | 0.110 | 0.000 | 4.2E-01 | 0.000 | 0.000 |
| | 公共交通機関利用行動の変化 | -0.030 | 6.0E-01 | -0.141 | 0.082 | -0.001 | 1.7E-02 * | -0.001 | 0.000 |
| | 通勤行動の変化 | 0.055 | 8.0E-01 | -0.380 | 0.490 | 0.000 | 5.0E-01 | -0.001 | 0.001 |
| | 自宅滞在行動の変化 | 0.280 | 1.8E-01 | -0.129 | 0.688 | 0.001 | 5.7E-01 | -0.002 | 0.004 |
| | 定数項 | 0.057 | 1.7E-01 | -0.024 | 0.138 | -0.006 | 3.0E-03 ** | -0.011 | -0.002 |
| | 都道府県別誤差成分 | 1.000 | | | | 1.000 | | | |
| 累計感染者数 の変化 | 小売り・娯楽施設への活動の変化 | -0.481 | 0.0E+00 *** | -0.642 | -0.321 | -0.045 | 0.0E+00 *** | -0.056 | -0.034 |
| | 食料品店・薬局への活動の変化 | 0.345 | 0.0E+00 *** | 0.219 | 0.470 | 0.047 | 0.0E+00 *** | 0.037 | 0.057 |
| | 公園への活動の変化 | 0.146 | 1.0E-03 ** | 0.060 | 0.233 | 0.006 | 0.0E+00 *** | 0.003 | 0.009 |
| | 公共交通機関利用行動の変化 | 0.025 | 6.3E-01 | -0.077 | 0.127 | 0.000 | 9.6E-01 | -0.009 | 0.009 |
| | 通勤行動の変化 | 0.567 | 5.0E-03 ** | 0.169 | 0.966 | 0.036 | 0.0E+00 *** | 0.019 | 0.053 |
| | 自宅滞在行動の変化 | 0.684 | 0.0E+00 *** | 0.308 | 1.060 | 0.138 | 0.0E+00 *** | 0.082 | 0.194 |
| | 定数項 | -0.138 | 1.8E-02 * | -0.252 | -0.024 | 0.680 | 0.0E+00 *** | 0.561 | 0.800 |
| | 都道府県別誤差成分 | -2.412 | 1.0E-03 ** | -3.798 | -1.027 | -52.833 | 0.0E+00 *** | -81.135 | -24.530 |
| 分散(都道府県別誤差成分) | 0.018 | | 0.005 | 0.058 | 0.000 | | 0.000 | 0.000 | |
| 分散(新規感染者数モデル誤差) | 0.945 | | 0.861 | 1.037 | 0.002 | | 0.002 | 0.003 | |
| 分散(累計感染者数モデル誤差) | 0.754 | | 0.686 | 0.829 | 0.664 | | 0.604 | 0.730 | |

*** 0.1%右音・** 1%右音・* 5%右音・+ 10%右音

計的に有意なパラメータ数が多い（毎日の新規感染者数モデル：2個から5個に増えた；累積感染者数モデル：3個から6個に増えた）。この結果から、2020年から2021年にかけて、人々は、外出活動・移動と感染との関係についてより敏感になったと解釈することができる。通勤行動と自宅滞在行動は2020年と2021年ともに有意であり、それぞれのパラメータは2020年にマイナス、2021年にプラスの値である。通勤行動について、その減少率が大きければ大きいほど、毎日の新規感染者数は2020年に増え、2021年に減ることが分かる。一方、自宅滞在行動について、その増加率が大きければ大きいほど、毎日の新規感染者数は2020年に減り、2021年に増えることが分かる。上記の影響傾向は累積感染者数についても同様に見られた。つまり、通勤行動からみると、2020年と比べて、2021年のほうにおいて、人々は、感染拡大防止の視点からより合理的な行動をするようになったと言える。一方、自宅滞在行動の分析結果について、直感的に分かりづらいが、おそらく、2020年と比べて2021年に自宅感染が増えたということの影響だと思われる。例えば、日本小児科学会（2021）によると、2021年5月11日時点で小児患者の感染の大部分が家庭内での成人からの感染であったことを突き止め、成人が家庭内にウイルスを持ち込まないための対策の重要性を強調した。文科省は2021年11月22日に発行した“学校における新型コロナウイルス感染症に関する衛生管理マニュアル：「学校の新しい生活様式」”において、家庭内の感染拡大防止対策の重要性を強調し、家庭内での具体的な感染予防対策についてまとめた。なお、毎日の新規感染者数に与える通勤行動と自宅滞在行動の影響の大きさ（パラメータ）について、2020年（通勤行動：-0.425；自宅滞在行動：-0.507）に後者のほうが影響が大きいものに対して、2021年にそれらの影響が逆転となったというか、差があまりないとも言える（通勤行動：0.316；自宅滞在行動：0.300）。ただし、累積感染者数に与える通勤行動と自宅滞在行動の影響の相対的な大きさについて、2020年と2021年に変化がない。2021年モデルにおいて、ほかに統計的に有意なパラメータを有する説明変数のパラメータの符号から、毎日の新規感染者数と累積感染者数の両方からみて、期待される効果が一致したのは食料品店・薬局への活動の変化のみ（パラメータが正值）である。小売り・娯楽施設への活動の変化に関するパラメータは負値であり、小売り・娯楽施設への活動の減少が感染者数の増加と正の相関を示すようになった。一方、公共交通機関利用行動について、その利用減少が毎日の新規感染者数を増やす働きを示し、累積感染者数を減らす傾向が見られた。これらの複雑な影響を適切に理解するため、累積感染者数モデルの定数項が統計的に有意であることから分かるように、ほかの要因をモデルに取り

入れる必要がある。これは今後の研究課題として残される。

(2) 政策実施前：感染者数がパンデミック政策の意思決定に与える影響

毎日の新規感染者数と累積感染者数のいずれも、1つを除き、ほかのすべてのパラメータは統計的に有意である。パラメータの符号からみて、新規感染者数の増加は2020年のA政策と、2020年と2021年のS2政策（Substitute-stop）の意思決定（実施）を促進する効果が見られたが、ほかの政策の立案に対して、感染者数の増加は、立案しない方向に働く傾向が示された。逆に言えば、多くのパンデミック政策は感染者数が多い時期に立案されていないことも解釈することができる。これについて、ここで扱う影響のモデルのすべての定数項は統計的に有意であるため、感染者数の影響について、ほかの要因を取り入れてみないと適切に評価できない可能性があると言える。

(3) 政策の実施が活動・移動と感染に与える影響

パンデミック政策の実施によって、人々の外出活動と移動の制限と自宅滞在行動の増加が期待される。各政策を表すダミー変数のパラメータが正の場合、政策実施前と比べて政策実施後の外出活動と移動の減少が小さくなること（つまり、実施後の減少率から実施前の減少率を差し引くと正值となること）を意味する。この場合、政策実施の効果が期待外れとなる。一方、自宅滞在行動の場合、政策ダミー変数のパラメータが正であることは、政策実施前と比べて政策実施後の自宅滞在行動の増加を意味し、当該政策が期待される効果を発揮できたと解釈できる。このように、外出活動と移動に対する政策パラメータが負の場合、そして、自宅滞在行動に対する政策パラメータが正の場合、当該政策の期待される効果が現れたと判断することができる。このような視点からみると、2020年モデルに13個のパラメータが、2021年に6個のパラメータは政策の実施効果を支持することが分かった。これは2021年の政策の実施効果が2020年より悪いと言える。言い換えると、政策実施前の現象から、パンデミック政策の政策立案者が2020年の教訓を政策立案に生かすことができなかったことが分かった。

期待される効果を示した政策のなかに、多くの場合において、S2政策（Substitute-stop）の効果はより大きいことが分かった。ただし、小売り・娯楽施設と公園への活動に対して、A政策（Avoid-adjust）は外出活動と移動の制限からみてより効果的である。P政策（Prepare-protect-provide）について、その効果が見られたのは2020年の通勤行動、2021年の小売り・娯楽施設への活動と公共交通機関利用行動の抑制のみで、ほかの多くの場合にその効

果が見られない。つまり、どちらかと言えば消極的な P 政策はパンデミック政策としてあまり望ましくないと言える。しかし、実際、P 政策の実施が最も多かった。

政策実施後、外出活動・移動の減少、自宅滞在行动の増加が感染者数の減少につながったかどうかについて、外出活動・移動から感染者数への影響パラメータが正值であれば、そして、自宅滞在行动のパラメータが負値であれば、つながったと解釈することができる。この視点から、2020年に3つのパラメータは、2021年に5つのパラメータは、政策の期待される効果が現れたことを示した。つまり、2020年の教訓を活かして政策を2021年に実施した後に、政策の期待される効果が現れたと言える。2020年に通勤行動の変化が累積感染者数に与える影響はほかの行動変化と比べて圧倒的に大きい(2番目に大きい影響を示した食料品店・薬局への活動の変化の影響より1.6倍(=0.567/0.345)も高い)に対して、2021年には、通勤行動の変化と食料品店・薬局への活動の変化の影響は逆転された(後者は前者より影響が1.3倍(=0.047/0.036)高い)。政策実施後の各モデルの定数項の多くは統計的に有意であるため、ほかの影響要因を追加し、分析を一層深める必要があることが示唆された。

7. 研究成果

(1) 研究成果

2021年において、感染が深刻でない地域においては政策実施2週間後以降、新規感染者数が減少する傾向となり、感染が深刻な地域においてはS政策「Shift シフト-Share 共用」、S政策「Substitute 代替-Stop 停止」において実施2週間後以降、新規感染者数が減少する傾向になった。しかし、A政策「Avoid 回避-Adjust 調整」実施後に感染者数の減少が見られなかったため、まん延防止重点措置などの回避・調整するような政策は、感染が深刻な地域において感染拡大防止の効果が低い可能性がある。また、2021年において、2020年と比べて人の移動変化と感染者数変化の間にあまり関係は見られなかった。移動以外のいくつかの要因が感染者数の増減に関与したと考えられる。例をあげるとするならば、2020年とはっきり違うことは、ワクチン接種の有無である。日本では2021年から新型コロナワクチン接種が認められ、多くの人々が接種を行った。新型コロナワクチンには、新型コロナウイルス感染症の発症を予防し、感染や重症化を予防する高い効果があるといわれている。そのため、ワクチンの効果が、感染拡大を防止し、感染しても軽症であったために病院に行かなかったケースもあるということが大いに考えられる。そして、2020年において移動を抑制したとみられるA政策「Avoid 回避-Adjust 調整」、S政策「Substitute 代替-Stop 停止」については、S政策「Substitute

代替-Stop 停止」において多くのカテゴリへの移動を抑制する効果が見られた。A政策「Avoid 回避-Adjust 調整」が移動を抑制できなかったことは、感染が深刻な地域において感染者数が減少しなかったことに関係があると考えられる。

マルチレベル動的な一般化構造方程式モデルの分析の結果から、以下のことが分かった。

(1) 政策実施前：活動・移動から感染者数への影響

- 2020年から2021年にかけて、人々は、外出活動・移動と感染との関係についてより敏感になった。
- 通勤行動からみると、2020年と比べて、2021年のほうにおいて、人々は、感染拡大防止の視点からより合理的な行動をするようになった。
- 自宅滞在行动について、その増加率が大きければ大きいほど、毎日の新規感染者数は2020年に減り、家庭内感染の広がりのせいで、2021年に増えることが分かる。
- ほかの活動・移動について、一定傾向のある影響は見られなかった。

(2) 政策実施前：感染者数がパンデミック政策意思決定に与える影響

- 感染者数のほとんどがパンデミック政策の意思決定に有意な影響を与えたが、多くのパンデミック政策は感染者数が多い時期に立案されていなかったことを示唆する分析結果があった。

(3) 政策の実施が活動・移動と感染に与える影響

- 2021年の政策の実施効果が2020年より悪く、パンデミック政策の政策立案者が2020年の教訓を政策立案に生かすことができなかった。
- S政策「Substitute-stop」は期待される効果を発揮することができたが、ほかに、効果が現れた政策はあまり見受けられなかった。特に、実際多く実践されているP政策の効果は望ましくない。
- 2020年の教訓を活かした政策を2021年に実施した後に、政策の期待される効果が現れた。
- 2020年に通勤行動の変化が累積感染者数に与える影響はほかの行動変化と比べて圧倒的に大きかったが、2021年になると、通勤行動の変化と食料品店・薬局への活動の変化の影響は逆転された。

謝辞：この研究は、日本科学技術振興機構 JST「新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) 関連 国際緊急共同研究・調査支援プログラム (J-RAPID)」(No. JPMJRR2006)、JST・RISTEX「科学技術の倫理的・法制的・社会的課題 (ELSI) への包括的実践」(No.

JPMJRX20J6)、2020.09~2022.03、独立行政法人日本学術振興会科学研究費補助金・基盤研究 (B) (特設分野) (No. 18KT0007) の助成を受けた。ここに謝意を表す。

REFERENCES

- 1) 日本小児科学会 (2021) 小児における新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の現状と感染対策についての見解。https://www.jpeds.or.jp/uploads/files/20210520_corona_genjo_taisaku.pdf
- 2) Zhang, J. (2020) Transport policymaking that accounts for COVID-19 and future public health threats: A PASS approach. *Transport Policy*, 99, 405-418.
- 3) Zhang, J., Zhang, R., Ding, H., Li, S., Liu, R., Ma, S., Zhai, B., Kashima, S., Hayashi, Y. (2021) Effects of transport-related COVID-19 policy measures: A case study of six developed countries, *Transport Policy*, 110, 37-57.

(Received March 6, 2022)

(Accepted: to be decided)

COVID-19 Pandemic Policymaking and its Effectiveness: Evaluation based on a Multi-level Dynamic Generalized Structural Equation Model

Junyi ZHANG, Seiya TSUKAMOTO, Hiroki YOSHIDA, Runsen ZHANG, Tao FENG and Jing KANG

The lack of scientifically-sound evidence about the effects of COVID-19 pandemic has been pointed out in the literature. Targeting the 47 prefectures in Japan, this study examines the effectiveness of pandemic policies (including transport-related policies) made in 2020 and 2021. In total, about 2000 policy measures were collected. Using these collected policy measures as the analysis sample, this study first builds a multi-level dynamic generalized structural equation model that can jointly represent the influences of before-policy changes in various mobility indicators on the before-policy COVID-19 infections, the influences of the before-policy COVID-19 infections on pandemic policymaking, the influences of pandemic policymaking on after-policy changes in various mobility indicators, and the influences of after-policy changes in various mobility indicators on the after-policy COVID-19 infections. Policy measures are classified based on the systematic and seamless pandemic policymaking methodology, PASS approach (P: Prepare-Protect-Provide; A: Avoid-Adjust; S: Shift-Share; S: Substitute-Stop). The effectiveness of pandemic policymaking is further compared between 2020 and 2021.