

# 新型コロナウイルス禍における 金沢市の移動行動変容分析

小川 純平<sup>1</sup>・山口 裕通<sup>2</sup>・本多 了<sup>3</sup>・稲原 里咲<sup>4</sup>・中山 晶一朗<sup>5</sup>

<sup>1</sup>学生非会員 金沢大学 理工学域 環境デザイン学類 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:jfbd0410@stu.kanazawa-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 金沢大学助教 理工研究域 地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:hyamaguchi@se.kanazawa-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 金沢大学准教授 理工研究域 地球社会基盤学系

<sup>4</sup>学生非会員 金沢大学 理工学域 環境デザイン学類

<sup>5</sup>正会員 金沢大学准教授 理工研究域 地球社会基盤学系

2020年には、新型コロナウイルスの感染拡大を防止するために、世界中で人の接触を減らす施策が実施された。日本では人々の活動制限を要請する施策（緊急事態宣言等）や報道機関による感染者数等の情報に合わせた注意喚起が実施された。本研究では、これらの施策・注意喚起によって人々はどうのよう行動を変化させたのか？という疑問に定量的に答えることを試みる。具体的には、モバイル空間統計<sup>①</sup>から得られる、金沢市の代表的な地点の500mメッシュ推計人口の時系列推移を、施策や情報の時系列推移で説明する。このアプローチによって、複数の情報で変化をほぼ説明できることと、それぞれの要因による人々の反応を定量的に明らかにした。

**Key Words :** COVID-19, Mobile space statistics, Behavioral change

## 1. はじめに

2019年12月8日中国湖北省武漢市で世界初の感染者が確認されてから、瞬く間に、世界中に感染拡大し、現在（2021年2月6日）に至るまで、全世界で1億人以上の感染者が確認され、死亡者は200万人を超える<sup>1)</sup>。日本においても、2020年1月16日に日本初の新型コロナウイルス感染者が確認されてから、日本全国に感染拡大し、約40万人の感染者が確認され、死亡者は約6,000人に至る<sup>2)</sup>。この新型コロナウイルスへの対応においては、有効な治療薬がすぐには見つからず、日本におけるワクチンの接種開始は2021年2月下旬頃と言われている<sup>3)</sup>。そのため、感染拡大防止のためには人との接触を最小限に減らす対策がとられた。我が国においては、行政による緊急事態宣言の発令等を行いつつ、各自治体から行動自粛の要請が行われた。それに加えて、メディアを通じて感染者数等の情報が連日報道され続けていたことによっても人々の行動変容が起こったと推測される。

新型コロナウイルス禍で行われた緊急事態宣言とは、季節性インフルエンザに比べて重篤になる症例が国内で多く発生し、全国的な急速な蔓延により、国民生活や国

民経済に甚大な影響を及ぼす場合に、政府対策本部長（内閣総理大臣）が、①期間、②区域、③事案の概要を特定して宣言するものである<sup>4)</sup>。この宣言の後、都道府県知事は、より具体的な期間や区域を定め、緊急事態措置を講ずることができるようになる。措置の内容として、外出自粛要請・興行場、催物等の制限等の要請・指示（潜伏期間、治癒するまでの期間等を考慮）・住民に対する予防接種の実施（国による必要な財政負担）・医療提供体制の確保（臨時の医療施設等）等がある<sup>5)</sup>。石川県においても、2020年4月13日から2020年5月14日まで石川県独自の緊急事態宣言が出され、3密（密閉・密集・密接）の回避・不要不急の外出自粛・県外からの不要不急の来訪自粛がとられた<sup>6)</sup>。また、緊急事態宣言の他休業要請・小中高校の休校措置といった政策による人々の活動制限が行われた。その結果、石川県では多くの地点で人の移動行動が減少するといった実施前後で急激な人口分布の変化があったと予測される。

また、厚生労働省は、PCR検査陽性患者数・PCR検査人数・死亡者数等の新型コロナウイルス感染者数に関するデータをホームページ<sup>7)</sup>上に日々掲載している。他にも、テレビ等のマスメディアから連日新型コロナウイル

ス感染症に関する報道がなされ、国民に対し新型コロナウイルスへの警戒を促している。これらの情報は、緊急事態宣言等の行政からの政策同様、人の行動減少に影響すると考えられ、感染者数情報により人々の移動行動が変化した場合、感染者数増加に伴い徐々に人は行動の自粛を行っていく変化が予測される。

新型コロナウイルスは、本論文執筆時点（2021年2月）も感染拡大が続いている。そうした中でも、WHO（世界保健機関）は、「次のパンデミックに備える必要がある」<sup>8)</sup>と今回の新型コロナウイルスのパンデミックから次の感染症に向けての準備をする必要があるとしている。つまり、今後新型コロナウイルスのような感染症が発生する可能性があり、今回行政が行った政策及び情報発信といった対応が繰り返し必要になると考えられる。そのとき、過去の人々の行動変容による効果をより細かく把握しておくことは重要である。

ここで、既往研究について整理する。感染症パンデミックに関する研究は複数行われてきている。石倉<sup>9)</sup>は、閉鎖経済を対象地域として、ワクチンの配布等の医療体制が整っていないパンデミック時の初期段階において、公共交通の停止や学校閉鎖のような社会経済活動制限を行うか否かの判断、及び最適な実施タイミングを導出する方法論の構築を行った。また、数値シミュレーションから導出したモデルの感度分析を行っている。ここで、人々の活動制限時における生産活動低下に関するパラメータが活動制限政策を行うか否かの判断、及び最適な実施タイミングを導出する上で重要であることを示している。石倉は生産活動低下パラメータに仮想的な値を用いてシミュレーションを行っている。しかし、この研究で実施されている内容は、仮想ケースでのシミュレーションである。そのため、実際の観測データから人々の活動制限時における生産活動低下を把握することは、現実に即した活動制限政策を行うか否かの判断、及び最適な実施タイミングを導出する上で重要な指標になると考えられる。

また、新型コロナウイルス流行時の人々の行動変容に関する研究として Hara<sup>10)</sup>、や Arimura<sup>11)</sup>の先行研究がある。Hara<sup>10)</sup>らは、日本全国を対象として、新型コロナウイルス禍における行動変化の分析を行っている。Arimura<sup>11)</sup>らは、北海道札幌市の新型コロナウイルス禍における人の行動の時間変動を、空間分布を用いた可視化を行っている。Hara<sup>10)</sup>ら、Arimura<sup>11)</sup>らはともに携帯電話位置情報データを用いて、学校閉鎖や緊急事態宣言といった政府からの政策実施下における人口減少数を明らかにしている点で、本研究と目的は同じである。本研究の特

色としては、時系列推移に着目して、緊急事態宣言・感染者数といった情報ごとに、人の移動行動への影響の差異を明らかにする点である。

以上より、行政からの政策及び情報発信に対する人々の行動変容を把握することは、新型コロナウイルスのパンデミックのように、今後人々の行動制限を効果的に行うために重要な参考情報となると考えられる。既往研究では、パンデミック時の行政の政策実施下における人の行動変容の把握は多くの成果が挙げられている。一方で、その行動変容が政策によるものか、それともメディア等からの情報による自発的な行動変化であるかまだ十分に把握されていない。

そこで、本研究では、行政からの政策及び情報発信に対して、人々の行動はどのように変わったのだろうか？という疑問に答えることを目的とする。携帯電話位置情報による観測データから推計した人口の時系列推移の予測値と、新型コロナウイルス禍における時系列推移の観測値を比較することで、新型コロナウイルス禍における人々の行動変化を導出する。さらに、その変化を、行政が行った活動制限政策とメディアが発表した感染者数情報の時系列推移と比較することによって、人々の行動変化がどの原因によって起こったかを特定する時系列モデルを作成する。その結果として、以下の2つの疑問に答えることができる。一つ目は、新型コロナウイルス感染症に対して、行政が行った政策及び各種情報発信に対して、人々は移動行動をどのように変えたか。二つ目は、新型コロナウイルス禍で行政が行った複数の政策と情報発信による人の移動行動への影響はどのように違いがあるか。

## 2. 分析データ

パンデミックのような災害時の場合、人の移動は常に流動するため、そういった動きを分析するには高頻度で人の移動行動を把握することができる人の位置情報データが必要である。そのため、本研究では、株式会社ドコモインサイトマーケティングによるモバイル空間統計<sup>1)</sup>データを用いて分析を行う。

モバイル空間統計<sup>1)</sup>とは、各基地局と携帯電話との間の通信から、携帯電話の台数を集計し、人口規模に拡大することで推計される人口統計情報で、500mメッシュといった空間単位ごとに、1時間ごとの人口を「性別」「年代」「居住エリア」などの属性別に24時間365日分析することができる。推計対象は、日本全国をカバーしているため、「いつ、どんな人が、どこから、どこへ」

<sup>1)</sup>「モバイル空間統計」は株式会社NTTドコモの登録商標です。

などエリアの特徴や人々の移動を時間帯ごとに継続的に把握できる。

本研究では、新型コロナウイルス禍における行政からの政策及び情報発信による人々の移動行動変化を分析する。そのために、2019年1月1日から2020年11月06日までの期間（全676日間）、13時台（13時から14時の間）・19時台（19時から20時の間）に金沢都市圏に属する500mメッシュに滞在している石川県内居住者の人口データを用いる。まず、2019年1月からのデータを用いることで、新型コロナウイルスの影響がない通常時における人の移動行動と新型コロナウイルス禍における人の移動行動との比較から新型コロナウイルスに関する変動を抽出することができる。昼間の13時台・夜間の19時台はともに昼間・夜間の時間帯の中で比較的滞在人口量が多くなる時間帯であり、夜間19時台以降は人口滞在量減少がみられる。そのため、これらの時間帯を分析することで、より多くの人の移動行動変化を把握でき、かつ昼間の買い物行動、夜間の帰宅行動・飲み会行動等の時間帯ごとの行動変化を把握することができる。

### 3. モデルの提案

#### (1) 分析モデルの概要

本研究では、モバイル空間統計データによる人口滞在量の時系列推移情報を詳しく分析する。この人口滞在量の時間変動を「通常時の変動」と「新型コロナウイルスに関する変動」に分離・表現できるモデルを構築することで、新型コロナウイルス禍における人々の移動行動変化の原因の特定をしていく。ここでは、重回帰モデルを用いて以下のように定式化する。

$$y_{a,d,h} = \alpha_{a,d,h} + \beta_{\text{limit},a,d,h} X_{\text{limit},d,h} + \beta_{\text{infected},a,d,h} X_{\text{infected},d,h} + \beta_{\text{constant},a,d,h} X_{\text{constant},d,h} + \beta_{\text{normal},a,d,h} X_{\text{normal},d,h} + \varepsilon_{a,d,h} \quad (1)$$

目的変数 $y_{a,d,h}$ は、 $a$ 地点の $d$ 日・ $h$ 時台の石川県居住者の人口滞在量である。そして、この変数が、新型コロナウイルス禍で人の移動行動に影響したと考えられる要因として、以下の4項の線形和で説明されるとする。

- ・政策実施変数項 $\beta_{\text{limit},a,d,h} X_{\text{limit},d,h}$
- ・感染者数変数項 $\beta_{\text{infected},a,d,h} X_{\text{infected},d,h}$
- ・通常時の時間変動項 $\beta_{\text{normal},a,d,h} X_{\text{normal},d,h}$
- ・定数項 $\beta_{\text{constant},a,d,h} X_{\text{constant},d,h}$

そして、 $\varepsilon_{a,d,h}$ は誤差項である。

なお、 $X$ はそれぞれ変数ベクトルであり、それぞれある時点における以下の数値を含む縦ベクトルである。

- ・政策実施変数項 $X_{\text{limit},d,h}$

(Binary 変数 {0, 1})

- ・石川県緊急事態宣言
- ・石川県による休業要請
- ・石川県内の小中学校の休校措置
- ・イベント開催の自粛要請
- ・Go to トラベル
- ・感染者数変数項 $X_{\text{infected},d,h}$   
(人数 ※対象時期以外は0)
  - ・石川県PCR検査陽性人数 (第1波)
  - ・石川県PCR検査陽性人数 (休息期)
  - ・石川県PCR検査陽性人数 (第2波)
  - ・石川県PCR検査陽性人数 (第3波)
  - ・東京都PCR検査陽性人数 (第1波)
  - ・東京都PCR検査陽性人数 (休息期)
  - ・東京都PCR検査陽性人数 (第2波)
  - ・東京都PCR検査陽性人数 (第3波)
- (比率)
  - ・石川県PCR検査陽性率
  - ・東京都PCR検査陽性率
  - ・全国(東京都・石川県以外) PCR検査陽性率
- ・通常時の時間変動項 $X_{\text{normal},d,h}$   
(Binary 変数 {0, 1})
  - ・祝日
  - ・火曜日
  - ・水曜日
  - ...
  - ・日曜日
  - × 学校休校の有無
- ・定数項 $X_{\text{constant},d,h}$   
(Binary 変数 {0, 1})
  - ・第1波
  - ・休息期
  - ・第2波
  - ・第3波

そして、 $\beta$ は係数ベクトルであり、上述の変数に対応する係数をそれぞれ含む横ベクトルである。これらの推定される係数 $\beta_{a,d,h}$ が、それぞれの要因(変数)による影響を示すことになる。係数 $\beta_{a,d,h}$ が負の場合は人口滞在量の減少、正の場合は人口滞在量増加を示す。各項の具体的な内容は(3)で説明する。

#### (2) 人口変動パターンの分解

本研究の時系列モデルでは、モバイル空間統計データにより得られる時間変動情報を通常時の移動行動パターンと、通常時の時系列変動に従わない新型コロナウイルス禍における異常行動に分解する。新型コロナウイルス禍の人口減少パターンとして予測される変動を図3-1に

示す。新型コロナウイルス禍における人口減少の時系列変動は大きく分けて、図 1 の赤線のような政策による急激な減少パターンと青線に示すような感染者数増加に伴うなだらかな減少パターンが考えられる。本モデルでは、時間変動情報を用いていることで、期間の異なる変数・異なる時間変動値を別々の要因として組み込むことができる。そのため、複数の政策・感染者数情報別に影響の把握が可能である。

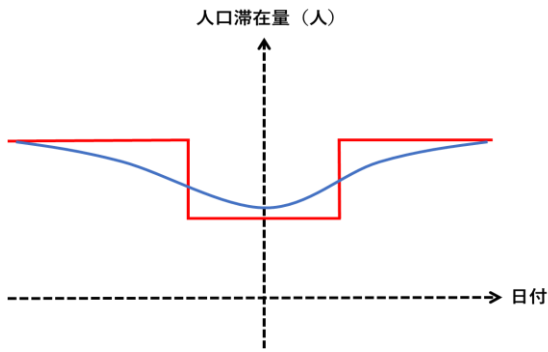


図 1 新型コロナウイルス禍に予測される人口減少パターン

### (3) 各説明変数の設定内容

#### a) 政策実施変数項 $\beta_{\text{limit},a,d,h} X_{\text{limit},a,d,h}$

政策実施変数とは、行政が行った政策の実施期間中における人の行動変動変化を説明する変数である。本研究では表 1 に示す 6 種類を用いている。変数の期間は段階的でも解除となった日を終わりとしている。

なお、政策実施変数は、政策を行った期間に該当する場合は 1、しない場合は 0 とするダミー変数としている。そのため、完全に同じ期間であると多重共線性により係数を識別不可能になってしまう問題がある。そのため、識別可能な変数のみを選択する必要がある。ここで選択した、石川県休業要請、石川県内の小中高の休校措置、イベント開催の自粛要請、大学の休校・オンライン授業化、Go to トラベルは、期間が異なるものを選択しており、それぞれの係数が複数日分の情報を用いて推定できる範囲になっている。なお、石川県緊急事態宣言、県有施設の休園・休館など全く同期間のもものは、影響が合算されて係数が算出される。

#### b) 感染者数変数項 $\beta_{\text{infected},a,d,h} X_{\text{infected},a,d,h}$

感染者数変数とは、感染者数情報等のメディアからの状況発信を表す変数であり、1日ごとの時間変動値である。つまり、新型コロナウイルスの感染者数増加に伴う人の移動行動への影響を示す。本研究では、期間ごと（第1波・休息期・第2波・第3波）の石川県PCR検査陽性患者数・東京都PCR検査陽性患者数、石川県PCR検査陽性率、東京都PCR検査陽性率、全国（東京都・石川県

以外）PCR検査陽性率の計11種類を用いた。陽性率はPCR検査陽性患者数/PCR検査テスト数で算出している。本研究での第1波、休息期、第2波、第3波の定義は次項の第3項で説明する。

#### c) コロナ適応定数項 $\beta_{\text{constant},a,d,h} X_{\text{constant},a,d,h}$

コロナ適応定数項とは、行政からの政策及び情報発信以外の要因による新型コロナウイルス禍での人の移動行動の変動を説明する変数である。本研究では、表 2 に示す 4 種類を用いている。第 1 波・休息期・第 2 波・第 3 波は、通常時（本研究では、2019 年 1 月 1 日～2019 年 12 月 31 日）と比較することで、新型コロナウイルス禍の各期間（第 1 波・休息期・第 2 波・第 3 波）における政策及び情報発信による影響以外の基本的な人口滞存量の時間変動を表す要素として組み込んだ。そのため、この項を組み込むことで、政策及び情報発信による人口滞存量減少への影響を適切に抽出できるようになると考えられる。これら変数が、期間ごとに値が変化していくことは、新型コロナウイルス禍における期間ごとの安定した人口推移の変化を表している。

図 2 に実際の感染者数推移と第 1 波・休息期・第 2 波・第 3 波の期間を示す。この 4 つの期間は、新型コロナウイルス禍における状況変化に伴って期間を設定した。第 1 波は、日本全国で新型コロナウイルス新規感染者が連日確認されるようになってから、石川県緊急事態宣言が解除されるまでの期間としている。休息期は全国感染者数が他の期間に比べ少なく、1日あたりの新規感染者数が約 50 人前後の期間である。第 2 波は、単日の全国新規感染者数が再び 100 人を超えはじめピークに達してから減少し、1日あたりの新規感染者数が約 500 人前後になるまでの期間とする。第 3 波は、再び全国感染者数の推移に増加傾向がみられた期間からデータの取得が可能であった期間までとしている。

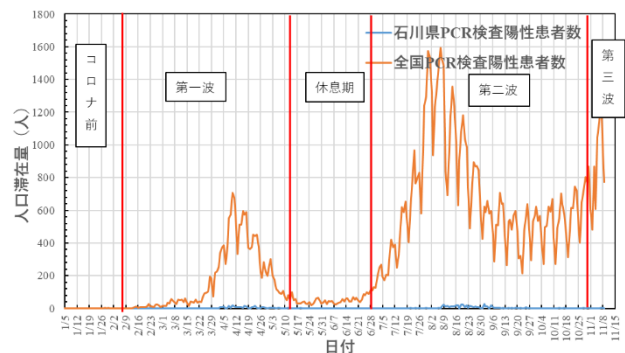


図 2 全国・石川県 PCR 検査陽性患者数推移

d) 通常変動変数項  $\beta_{\text{normal},a,d,h} X_{\text{normal},a,d,h}$ 

通常変動変数とは、人の移動行動の時系列推移の中で日常的に起こる範囲の変動を示す通常変動を表した変数である。本研究では、この通常変動変数として、各曜日（月～日）、大学開校期間、祝日の3種類を用いる。全て政策実施変数同様、該当する日付の場合は1、それ以外を0とするダミー変数とする。

曜日変数は、曜日による人口滞在量の違いを表現する、7日周期の時間変動要素である。例えば、月～金曜日は通勤・通学行動が増え、土・日曜日は観光行動・買い物行動が増えるといった変動を表現するための変数である。

大学開講期間（月～日）は、曜日だけでは表現できない学生の通学行動をより詳しく説明するために組み込む。祝日は、平日と休日の人口滞在量の違いを表現するために組み込んだ。

通常変動変数とコロナ適応定数項による時間変動で、2019年（コロナ前）の人の移動行動の変動を説明することを試みる。つまり、通常変動変数のみで説明できることは、新型コロナウイルス禍で、行政からの政策及び情報発信による影響がなかった期間の時間変動を予測できることを意味する。

表1 政策実施変数の期間・内容

	期間	内容
石川県緊急事態宣言 + 県有施設の休園・休館	2020/4/13～2020/5/14	・3密（密閉・密集・密接）の回避，不要不急の外出の自粛等の要請 ・県内の文化施設・スポーツ施設・観光施設等の臨時休園・休館
石川県休業要請	2020/4/21～2020/5/19	商業施設・飲食店・旅館・大学等石川県内の約106業種に休業要請
石川県内の小中高校の休校措置	2020/3/2～2020/5/19	新型コロナウイルス感染拡大の影響による石川県内の 県立学校の一斉臨時休校
イベント開催の自粛要請	2020/5/26～2020/9/18	緊急事態宣言解除後，感染リスク拡大を防ぐために国によるイベント自粛要請
大学休校・オンライン授業期間	2020/4/1～2020/5/1 2020/5/7～2020/6/4	新型コロナウイルス感染拡大により，学生の大学への登校禁止及び対面授業停止期間
Go to トラベル	2020/7/22～2020/11/8	政府が新型コロナウイルス感染拡大の影響で，苦しい状況が続く観光・運輸・サービス業等を支援する政策

表2 コロナ適応定数項期間・定義

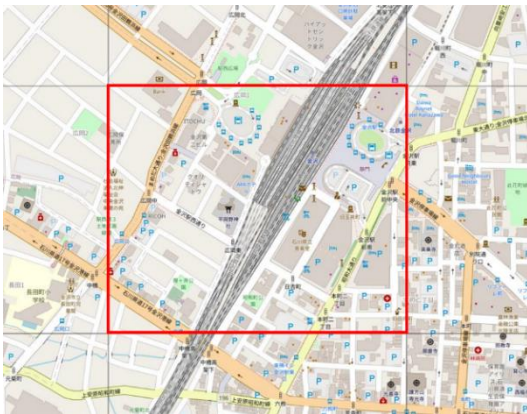
	期間	定義
第1波	2020/2/12～2020/5/14	始まり：全国PCR検査陽性患者が連日発生 終わり：石川県緊急事態宣言の解除
休息期	2020/5/15～2020/6/30	第1波，第2波の間の期間
第2波	2020/7/1～2020/10/31	始まり：1日の全国PCR検査陽性患者数が再び100人を超える 終わり：全国PCR検査陽性患者数の推移が一定化
第3波	2020/11/1～2020/11/8	始まり：全国PCR検査陽性患者数が再び増加傾向

## 4. 代表地点における分析結果

### (1) 分析地点

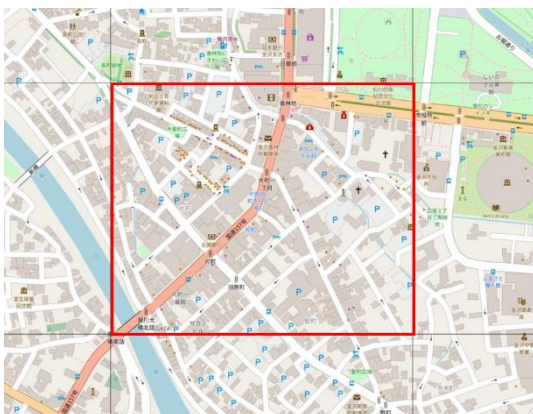
本節では、3節で提示したモデルの妥当性を確認するため、金沢都市圏の3地点での分析を行った。3つの地点は、金沢駅、片町・香林坊と金沢城公園である。各地点の特徴として、金沢駅・片町・香林坊は石川県の中心地であり、デパート等の商業施設及び居酒屋等の飲食店が多く並ぶ。そのため、買い物行動・飲み会行動がみられる。また、金沢駅は交通拠点であり、通勤帰宅行動がみられると考えられる。石川県の主要な観光地である金沢城公園では、観光行動がみられる。これら3地点における滞在行動情報を上述のモデルによっ

て解析することによって、行政からの各政策・メディアからの発表が買い物行動・飲み会行動・通勤帰宅行動・観光行動に及ぼす影響の有無を把握することができる。各地点を示すメッシュは、図3、図4、図5の赤枠で囲まれた部分である。



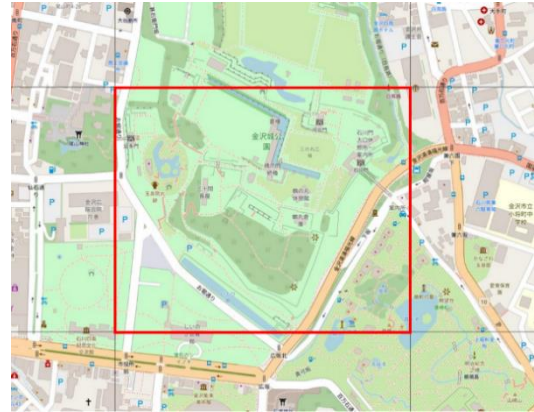
©OpenStreetMap

図3 金沢駅周辺メッシュ



©OpenStreetMap

図4 片町・香林坊周辺メッシュ



©OpenStreetMap

図5 金沢城公園

### (2) 指標の説明

本研究では、モデルから推定された各説明変数にかかる係数 $\beta_{a,d,h}$ を推定して、その違いから、行動変容の特徴とその原因を判断する。

係数は、政策実施変数項にかかる係数の場合、政策が行われている期間1日にあたりの通常時からの人口滞在量変化を示す。感染者数変数項にかかる係数は、石川県・東京都PCR検査陽性患者数の場合はPCR検査陽性患者数が1人増えるごとの人口滞在量変化、石川県・東京都PCR検査陽性率の場合は陽性率が1%増えるごとの人口滞在量変化を示す。係数が正の場合は人口滞在量増加、負の場合は人口滞在量減少を表す。また、ここでは、有意水準を5%として、その基準に満たない係数は「有意でない」と判断する。つまり、係数が「有意でない」政策は、統計的に影響の存在を判断できないことを示す。

また、推定された係数から各政策・発表による人口滞在量変化量の累計値を算出し、各地点における政策間の影響比較を行う。累計値の算出方法は、政策実施変数項の場合、推定された係数と政策を行った期間の日数の積 $\beta_{limit,a,d,h} \sum_d X_{limit,a,d,h}$ で算出した。感染者数変数項では、累計の人口滞在量変化量は $\beta_{infected,a,d,h} \sum_d X_{infected,a,d,h}$ で求めた。この式は、石川県・東京都PCR検査陽性患者数の場合は、係数と総陽性患者数の積、石川県・東京都PCR検査陽性率の場合は、係数と総陽性率の積を意味する。コロナ適応定数項も政策実施変数項と同様に、係数と行った期間の日数の積 $\beta_{constant,a,d,h} \sum_d X_{constant,a,d,h}$ で累計値を求めた。

### (3) モデルの妥当性の確認（金沢駅）

表3に昼間13時台、表4に夜間19時台における金沢駅での回帰分析結果をまとめた。決定係数は昼間0.79、

夜間 0.86 であった。つまり、本モデルでは、金沢駅周辺の昼間・夜間の移動行動の約 80% を説明できていること示す。

図 6、図 7 に昼間 13 時台・夜間 19 時台における実際の人口滞在量変動の観測値と本モデルで推定した予測値を示している。また、図 8 に人口滞在量変動の観測値と予測値の差をとった誤差変動を示している。これらの図をみると、まず、2019 年の変動において大きな誤差がなく、新型コロナウイルス感染拡大前（通常時）の期間の予測は本モデルで精度よく行っている。つまり、通常変動変数項で 2019 年の人口変動を表すことができていると考えられる。一方で、ゴールデンウィーク・3 連休以上の休日・年末年始等の突発的な変動が起きる時点においてモデルの説明力が低くなることが分かる。また、2020 年の人口滞在量推移においても大きな誤差がなく、新型コロナウイルス禍における人々の行動変容を説明できているモデルであるといえる。

表 3 昼間 13 時台回帰分析結果：金沢駅  
(5% 有意な係数には、\*\* を記してある)

昼間 13 時台		
	係数推定値	p-値
<b>石川県緊急事態宣言+ 県有施設の休園・休館</b>	-1127.8**	$7.891 \times 10^{-14}$
<b>石川県休業要請</b>	-844.7**	$1.946 \times 10^{-14}$
石川県内の小中高校の 休校措置	-122.8	0.251
イベント開催の自粛要請	-44.1	0.594
石川県 PCR 検査陽性 患者数 (第 1 波)	-1.5	0.932
石川県 PCR 検査陽性 患者数 (休息期)	-48.4	0.652
石川県 PCR 検査陽性 患者数 (第 2 波)	-6.0	0.394
石川県 PCR 検査陽性 患者数 (第 3 波)	59.2	0.659
石川県 PCR 検査陽性率	-7.5	0.981
<b>東京都 PCR 検査陽性 患者数 (第 1 波)</b>	-3.8**	$7.232 \times 10^{-3}$
<b>東京都 PCR 検査陽性 患者数 (休息期)</b>	10.5**	$9.875 \times 10^{-3}$
東京都 PCR 検査陽性患者数 (第 2 波)	-0.2	0.611
東京都 PCR 検査陽性患者数 (第 3 波)	2.7	0.19
東京都 PCR 検査陽性率	1.7	0.985
全国 (東京都・石川以外) PCR 検査陽性率	-155.4	0.115
Go to トラベル	-69.6	0.528

祝日	-204.1**	$2.113 \times 10^{-3}$
火曜日	-164.9	0.064
水曜日	-175.8**	0.049
木曜日	-118.4	0.193
金曜日	67.9	0.455
土曜日	-188.2**	0.038
日曜日	-257.7**	$3.328 \times 10^{-3}$
月曜日 (大学開校期)	-15.4	0.854
火曜日 (大学開校期)	100.6	0.228
水曜日 (大学開校期)	41.4	0.619
木曜日 (大学開校期)	48.0	0.568
金曜日 (大学開校期)	20.4	0.806
土曜日 (大学開校期)	182.6**	0.027
日曜日 (大学開校期)	201.7**	0.014
月曜日 (大学休校期)	-42.4	0.799
火曜日 (大学休校期)	121.4	0.488
水曜日 (大学休校期)	-7.2	0.964
木曜日 (大学休校期)	-15.5	0.92
金曜日 (大学休校期)	19.2	0.913
土曜日 (大学休校期)	-620.7**	$3.473 \times 10^{-4}$
日曜日 (大学休校期)	-903.7**	$1.953 \times 10^{-7}$
第 1 波	-219.0**	0.014
休息期	-1408.3**	$8.869 \times 10^{-18}$
第 2 波	-594.6**	$2.589 \times 10^{-6}$
第 3 波	-1656.8**	$1.686 \times 10^{-5}$
切片	5055.7**	$1.097 \times 10^{-315}$
<b>決定係数</b>	<b>0.79</b>	

表 4 夜間 19 時台回帰分析結果：金沢駅  
(5% 有意な係数には、\*\* を記してある)

夜間 19 時台		
	係数推定値	p-値
<b>石川県緊急事態宣言+ 県有施設の休園・休館</b>	-1070.8**	$1.414 \times 10^{-11}$
<b>石川県休業要請(106 業種)</b>	-391.4**	$7.622 \times 10^{-3}$
<b>石川県内の小中高校の 休校措置</b>	-399.6**	$4.265 \times 10^{-4}$
イベント開催の自粛要請	-81.4	0.351
石川県 PCR 検査陽性患者数 (第 1 波)	-9.3	0.618
石川県 PCR 検査陽性患者数 (休息期)	-46.3	0.682
石川県 PCR 検査陽性患者数 (第 2 波)	-8.9	0.230
石川県 PCR 検査陽性患者数 (第 3 波)	27.2	0.847
石川県 PCR 検査陽性率	216.8	0.513
<b>東京都 PCR 検査陽性患者数</b>	-3.6**	0.015

(第1波)		
東京都 PCR 検査陽性患者数 (休息期)	11.5**	$7.068 \times 10^{-3}$
東京都 PCR 検査陽性患者数 (第2波)	-1.1**	0.024
東京都 PCR 検査陽性患者数 (第3波)	-0.5	0.818
東京都 PCR 検査陽性率	27.7	0.771
全国 (東京都・石川以外) PCR 検査陽性率	-86.3	0.406
Go to トラベル	132.1	0.256
祝日	-455.6**	$1.294 \times 10^{10}$
火曜日	-120.9	0.197
水曜日	19.4	0.837
木曜日	97.3	0.310
金曜日	843.0**	$1.334 \times 10^{17}$
土曜日	408.0**	$2.288 \times 10^5$
日曜日	-434.1**	$3.059 \times 10^6$
月曜日 (大学開校期)	-76.0	0.389
火曜日 (大学開校期)	265.8**	$2.598 \times 10^3$
水曜日 (大学開校期)	154.7	0.078
木曜日 (大学開校期)	178.9**	0.044
金曜日 (大学開校期)	290.7**	$9.902 \times 10^4$
土曜日 (大学開校期)	181.0**	0.038
日曜日 (大学開校期)	96.9	0.262
月曜日 (大学休校期)	-195.6	0.265
火曜日 (大学休校期)	-296.0	0.109
水曜日 (大学休校期)	-435.5**	$9.641 \times 10^3$
木曜日 (大学休校期)	-505.7**	$2.054 \times 10^3$
金曜日 (大学休校期)	-1147.7**	$9.074 \times 10^{10}$
土曜日 (大学休校期)	-931.8**	$4.017 \times 10^7$
日曜日 (大学休校期)	-343.9	0.058
第1波	-398.7**	$2.413 \times 10^5$
休息期	-1861.9**	$2.877 \times 10^{26}$
第2波	-976.1**	$4.757 \times 10^{13}$
第3波	-1377.5**	$6.677 \times 10^4$
切片	4280.4**	$1.092 \times 10^{262}$
決定係数	<b>0.87</b>	

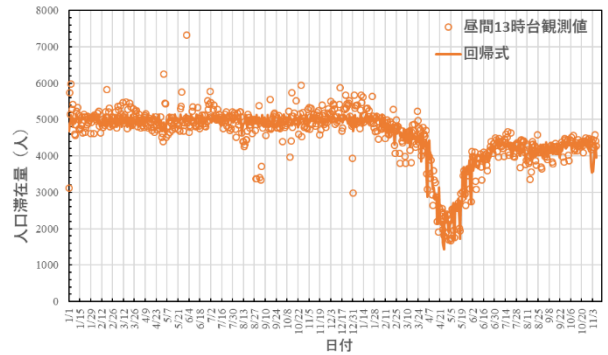


図6 昼間13時台観測値と予測されたモデルの回帰変動  
: 金沢駅

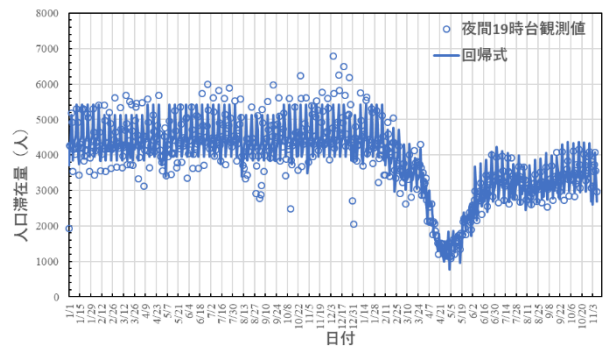


図7 夜間19時台観測値と予測されたモデルの回帰変動  
: 金沢駅

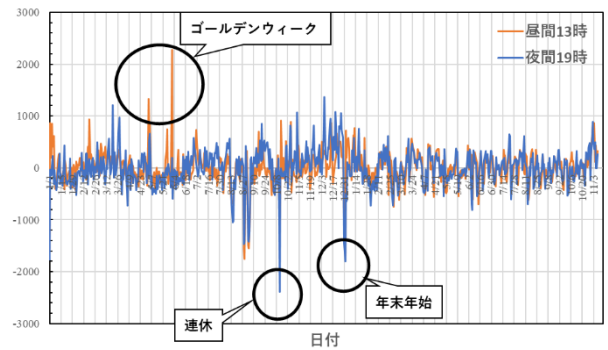


図8 誤差 (観測値-予測値) 変動

(4) 分析結果 (金沢駅)

表 3, 表 4 をみると, 行政が行った政策において石川県緊急事態宣言・石川県休業要請が昼間 13 時台・夜間 19 時台とも負に有意であった。石川県緊急事態宣言は昼間・夜間に関係なく 1 日あたり約 1,000 人, 石川県休業要請は 1 日あたり昼間 13 時台で約 900 人, 夜間 19 時台で約 400 人の行動低下を示している。一方で, 小中高校の臨時休校は, 19 時台のみ負に有意であり, 1 日あたり約 400 人の行動低下に影響した。次に, 感染者数の影響をみると, 石川県 PCR 検査陽性患者数は有意でないのに対し, 東京都 PCR 検査陽性患者数は負に有意であ



った。つまり、石川県居住者は、石川県内の感染者数ではなく、報道が多かった東京都感染者数増加に伴い行動の自粛を進めた傾向にあることが分かる。また、東京都 PCR 検査陽性患者数は、第 1 波（2020 年 2 月 12 日～2020 年 5 月 14 日）期間中において昼間 13 時台・夜間 19 時台ともに負に有意であったが、休息期（2020 年 5 月 15 日～2020 年 6 月 30 日）期間中は昼間 13 時台・夜間 19 時台ともに正に有意であった。また、第 2 波（2020 年 7 月 1 日～2020 年 10 月 31 日）期間中において夜間 19 時台のみ負に有意であった。この結果から、昼間の移動行動は、第 1 波期間中において行動低下に影響したが、時間経過に伴って感染者数情報に応答しなくなる傾向がある。一方で、夜間の移動行動は、休息期では感染者数増加に伴い行動の自粛を進めず、感染者数が増加傾向であった第 1 波・第 2 波期間中で感染者数増加に伴い行動の自粛を進める傾向にあると推測される。

次に、図 9 に昼間 13 時台、夜間 19 時台に金沢駅でみられた各政策・メディアからの発表における人口滞在変化量の累計値をまとめた。図 9 をみると、石川県緊急事態宣言が昼間 13 時台・夜間 19 時台ともに人の行動減少への影響が大きく、30,000 人以上の減少を示している。この結果から、石川県緊急事態宣言の発令により、多くの石川県居住者は買い物行動、飲み会行動、鉄道・バスが必要な外出行動の自粛を図ったと考えられる。石川県休業要請による人口滞在量減少は、夜間 19 時台では約 10,000 人なのに対し、昼間 13 時台では約 20,000 人が減少している。これから、休業要請は、金沢駅において買い物行動・通勤行動により強く影響したと考えられる。小中高校の臨時休校は、夜間 19 時台において石川県緊急事態宣言と同程度の約 30,000 人の行動低下を示している。この原因として、帰宅の手段として金沢駅を利用していた学生の利用がなくなったこと、学校の帰りに駅周辺の商業施設・飲食店を利用する学生がいなくなったことが考えられる。東京都 PCR 検査陽性患者数は、第 1 波期間中の夜間 19 時台において石川県休業要請と比べ、多くの人の行動低下に影響している。つまり、金沢駅 19 時台において東京都 PCR 検査陽性患者数が石川県休業要請より飲み会等の行動自粛を進めると考えられる。また、東京都 PCR 検査陽性患者数は第 1 波期間中に比べ、第 2 波期間中で多くの人の夜間の移動行動自粛に影響し、20,000 人以上の減少がみられる。この結果から、石川県居住者は、石川県緊急事態宣言解除後（第 2 波）で、より感染者数増加に伴い飲み会等の行動の自粛を進める傾向にあることが分かる。

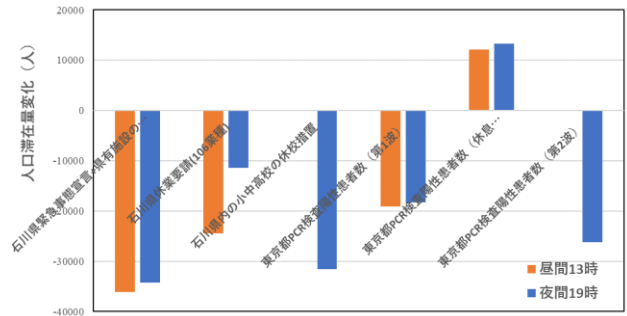


図9 政策・感染者数情報による累計の人口滞在量変化：金沢駅

## 5. 代表地点間の影響比較

### (1) 概説

4節の代表地点における分析から、表 5、表 6 に昼間 13 時台、表 7、表 8 に夜間 19 時台における人の移動行動に影響したと推定された行政からの政策・メディアからの発表による各地点の人口滞在量の減少率・増加率、累計人口滞在変化量をまとめた。ここで、減少率・増加率は、通常変動量に対する行政からの政策及び発表による人口滞在変化量の割合を表し、以下の式 (6) で算出した。

$$\frac{\text{各政策・発表による 累計人口滞在変化量} \beta_{a,d,h} \sum_d X_{a,d,h}}{\text{各政策・発表が実施された期間内の 累計通常変動量} \sum_d (\alpha_{a,d,h} + \beta_{a,d,h} X_{\text{normal},a,d,h})} \quad (6)$$

式 6-1 から算出した減少率・増加率を用いて地点間における行政が行った政策・発表の影響の比較を行っている。

### (2) 昼間における地点ごとによる政策・情報発表に対する反応の違い

まず、昼間 13 時台における地点ごとの違いをみていく。表 5、表 6 をみると、石川県緊急事態宣言の発令による人口滞在減少量は金沢駅が最も大きく 36,090.7 人が減少した。しかし、減少率をみると金沢城公園が大きく、金沢駅、片町・香林坊では 20% 弱であったのに対し、金沢城公園では 30% となった。この差異は、場所ごとの行動目的の差異が影響しているものと思われる。金沢駅や片町・香林坊では、職場や買い物といった日常行動での滞在が占める割合が多いと推測される。その一方で、金沢城公園では周辺・中の県有施設へ来訪する非日常の観光行動で来訪行動が多いと思われる。つまり、上述のように石川県緊急事態宣言に対する減

少率が金沢城公園で特に大きかったことは、(休園・休館措置が取られた) 県有施設に来訪する観光行動において、特に行動を取りやめる割合が大きかったことを意味する。

一方で、石川県休業要請・東京都 PCR 陽性患者数は金沢駅・片町・香林坊の中心地でのみ行動低下を示している。石川県休業要請と東京都 PCR 検査陽性患者数(第1波)はどちらも金沢駅や片町・香林坊において累計で約20,000人の人口滞在量減少がみられた。これらの減少率をみると石川県休業要請の発令が約20%弱、第1波(2020年2月12日～2020年5月14日)期間中における東京都PCR検査陽性患者数が約5%であった。つまり、東京都の陽性者数に比例して行動変容が起こるといった変化よりも、石川県休業要請の有無による人の移動行動減少が大きかったことが分かる。

以上の結果から、石川県緊急事態宣言が3地点全てで行動低下割合が最も大きく出ている等、昼間13時台において行政が行った政策は約20～30%の行動低下に影響していることが分かった。そして、東京都PCR検査陽性患者数等の感染者数に比例した変化は、全体の行動変容の中でも数パーセントにすぎないことが分かった。つまり、この点では人々の行動変容は感染人数の変化によって比例的に変化するより、「緊急事態宣言などの期間に急激に起こった」といえる。

また、大学の休校・オンライン授業の実施期間中において土曜日・日曜日等の休日に3地点全てで約2～3%の人口滞在量減少が確認された。

表5 地点ごと各政策・発表による人口減少率・増加率  
: 昼間13時台

	金沢駅	片町・香林坊	金沢城公園
石川県緊急事態宣言+ 県有施設の休園・休館	-0.23	-0.22	-0.30
石川県休業要請	-0.17	-0.18	
東京都PCR検査 陽性患者数(第1波)	-0.04	-0.06	
東京都PCR検査 陽性患者数(休息期)	0.05		
大学休校期(土曜日)	-0.02	-0.02	
大学休校期(日曜日)	-0.02	-0.03	-0.02

表6 地点ごと各政策・発表による累計人口滞在変化量  
: 昼間13時台

	金沢駅	片町・香林坊	金沢城公園
石川県緊急事態宣言+ 県有施設の休園・休館	-36090.7	-28400.4	-14138.7
石川県休業要請	-24497.5	-21277.1	
東京都PCR検査 陽性患者数(第1波)	-19060.9	-23649.1	
東京都PCR検査 陽性患者数(休息期)	12081.9		
大学休校期(土曜日)	-4965.6	-5057.8	
大学休校期(日曜日)	-7229.9	-8078.7	-2270.0

### (3) 夜間における地点ごとによる政策・情報発表に対する反応の違い

夜間19時台における地点ごとの違いをみていく。表7、表8をみると、昼間13時台に比べ、石川県緊急事態宣言による減少率は3地点でほぼ等しく、約24～29%である。また、累計人口滞在減少量は、片町・香林坊で最も大きく43,362.5人と昼間13時台に比べ、約15,000人減少が大きかった。ここでは、場所ごとに昼間と違った目的行動を捉えている。金沢駅や片町・香林坊では、職場や学校からの帰宅・居酒屋等への飲み会行動での滞在が占める割合が大きいと推測される。特に、片町・香林坊では金沢駅に比べ、多くの飲み会行動がみられると考えられる。金沢城公園では、周辺・中の県有施設からの帰宅行動が多いと思われる。つまり、石川県緊急事態宣言の発令によって、上述した行動を取りやめる割合に差異がないことを意味する。また、片町・香林坊で昼間より多くの人口滞在量減少がみられた原因は昼間の日常行動に比べ、多くの人は飲み会行動をやめると考えられる。

石川県休業要請、東京都PCR検査陽性患者数(第1波)、東京都PCR検査陽性患者数(第2波)は金沢駅、片町・香林坊といった中心地でのみ人の行動低下に影響していることが分かる。また、大学の休校・オンライン授業の実施期間中においても人口滞在量減少がみられた。ここで、累計人口滞在減少量・減少率をみると、金沢駅に比べ、片町・香林坊で減少が大きかったことが分かる。特に、東京都PCR検査陽性患者数は、累計人口滞在減少量は第1波38,809.4人、第2波62,831.6人と金沢駅に比べ、2倍以上の減少がみられた。また、減少率も第1波8%、第2波10%と金沢駅に比べ、2倍の影響を示している。つまり、東京都陽性者数に比例して、飲み会行動をやめる人が多くいることが分かる。

一方で、小中高校の臨時休校は金沢駅でのみ31,565人の行動低下が確認された。これは、帰宅の際、鉄道・バスを利用する学生がなくなったこと、駅周辺の商業施設を利用する学生がなくなったためと思われる。

また、金沢駅や片町・香林坊において石川県休業要請は、累計人口滞在減少量において東京都PCR検査陽性患者数より小さい。しかし、減少率をみると東京都PCR検査陽性患者数に比べ大きいことが分かる。つまり、石川県休業要請期間中(2020年4月21日～2020年5月19日)における夜間の行動変容は、東京都の陽性者数に比例する変化よりも、石川県休業要請の有無による減少が大きかったことが分かる。

以上の結果から、昼間同様、夜間の帰宅・飲み会・買い物行動等の行動変容は東京都PCR検査陽性患者数

の変化によって比例的に変化するより、「緊急事態宣言などの期間に急激に起こった」といえる。

表7 地点ごと各政策・発表による人口減少率・増加率

: 夜間 19 時台

	金沢駅	片町・香林坊	金沢城公園
石川県緊急事態宣言+ 県有施設の休園・休館	-0.24	-0.27	-0.29
石川県休業要請	-0.09	-0.12	
石川県内の小中高校の 休校措置	-0.09		
東京都PCR検査 陽性患者数 (第1波)	-0.04	-0.08	
東京都PCR検査 陽性患者数 (休息期)	0.06		
東京都PCR検査 陽性患者数 (第2波)	-0.05	-0.10	
大学休校期 (水曜日)	-0.01		
大学休校期 (木曜日)	-0.02	-0.02	
大学休校期 (金曜日)	-0.04	-0.04	
大学休校期 (土曜日)	-0.03	-0.06	

表8 地点ごと各政策・発表による累計人口滞在量変化量

: 夜間 19 時台

	金沢駅	片町・香林坊	金沢城公園
石川県緊急事態宣言+ 県有施設の休園・休館	-34265.4	-43362.5	-5965.6
石川県休業要請	-11351.1	-18295.1	
石川県内の小中高校の 休校措置	-31565.0		
東京都PCR検査 陽性患者数 (第1波)	-18246.3	-38809.4	
東京都PCR検査 陽性患者数 (休息期)	13300.5		
東京都PCR検査 陽性患者数 (第2波)	-26256.2	-62831.6	
大学休校期 (水曜日)	-3919.1		
大学休校期 (木曜日)	-5056.7	-5296.1	
大学休校期 (金曜日)	-10329.5	-12888.0	
大学休校期 (土曜日)	-7454.8	-18531.8	

## 6. おわりに

本研究では、時系列モデルを、携帯電話位置情報による「モバイル空間統計データ」に適用することで新型コロナウイルス禍における人々の移動行動変化を明らかにした。

まず、上述の時系列モデルを用いて、金沢都市圏内の主要地点である金沢駅、片町・香林坊、金沢城公園の新型コロナウイルス禍における石川県居住者の人口滞在量の時系列推移を分析した。その結果、3 地点と 2 つの時間帯に共通して、石川県緊急事態宣言による人の行動低下への影響が大きいことが明らかとなった。具体的には、累計で金沢駅は昼間・夜間ともに30,000人以上、片町・香林坊では昼間に約30,000人で夜間にはさ

らに多く40,000人以上、金沢城公園は昼間約14,000人、夜間約6,000人もの行動減少が確認された。この量は、石川県緊急事態宣言の発令により、これらの場所で同時に滞在する人のうちで約20~30%の人が来訪をとりやめたことを示している。また、行政からの要請だけでなく、感染者数情報に応じた、人々の自発的な行動変容も確認された。このとき、行動変化の時間推移を説明できる変数として、ローカルな感染者数情報(石川県PCR検査陽性患者数)ではなく、繰り返し報道された東京都PCR検査陽性患者数が採択された。つまり、金沢都市圏の人々は石川の感染者数より、東京の感染者数の推移に伴って行動の自粛を進めたことが明らかとなった。特に、感染者数情報による自発的な行動変化は、金沢駅や片町・香林坊といった中心地においては、昼間に比べ、夜間の移動行動への影響が大きかった。具体的には、夜間の累計で第1波に金沢駅で約20,000人、片町・香林坊で約40,000人、第2波に金沢駅で約25,000人以上、片町・香林坊で約60,000人以上の減少が確認された。以上のように、片町・香林坊という飲食店街における夜間の滞在行動への影響が特に大きいことから、感染者数情報による自発的な行動変化は、飲み会行動等の夜間の移動行動により強くみられたことが分かる。

次に、地点間の影響比較を行った結果、感染者数情報による自発的な変化は人口の約5%~10%の変化に過ぎなかったのに対し、行政が期間を指定して要請した政策は約10~30%の変化があるという差異があることが分かった。これは、3地点全てで共通であり、感染者数情報による自発的な変化に対して、行政による指定期間の政策の方が効果的に人の行動自粛に影響することが明らかとなった。また石川県休業要請は、昼間と夜間で影響の大きさが異なり、昼間では約20~30%の人の行動減少に影響するが、夜間では10%程度になることが分かった。

本研究では、時系列モデルから行動減少を複数の政策・情報別に分解することで、金沢市の代表的な場所における人々の来訪行動の変化を明らかにした。これと同様のモデルを、より多くの時点・場所の位置情報ビッグデータに適用することで、より精度の高い行政からの情報発信に対する人々の移動行動変化をより広く把握することが可能である。そして、本研究で得られた人々の行動変容の特徴を示す係数は、また新たな感染症パンデミック発生時等の行動制限を行う必要がある際、行政が効率的に人の行動制限を行うための参考情報となることが期待できる。

**謝辞**：本研究は、科学研究費補助金20H02270，文部科学省卓越研究員事業として支援を受けた研究活動による成果の一部です。また，本研究は，ドコモインサイトマーケティング社によるデータがあつてはじめて実現したものである，価値あるデータで研究を実施できる環境を頂けたことに感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 新型コロナウイルス感染 世界マップ：日本経済新聞 < <https://vdata.nikkei.com/newsgraphics/coronavirus-world-map/> > (参照 2021-2-6)
- 2) 東洋経済オンライン < <https://toyokeizai.net/sp/visual/tko/covid19/> > (参照 2021-2-6)
- 3) 新型コロナウイルス NHK 特設サイト「コロナワクチン 日本国内の状況は」 < [https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/medicine/detail/vaccine\\_japan.html](https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/medicine/detail/vaccine_japan.html) > (参照 2021-1-17)
- 4) 新型インフルエンザ等対策特別措置法について | 内閣官房新型コロナウイルス感染症対策推進室 < [https://corona.go.jp/news/news\\_20200405\\_19.html](https://corona.go.jp/news/news_20200405_19.html) > (参照 2021-1-17)
- 5) 新型インフルエンザ等対策特別措置法について「緊急宣言に関する資料」 < [https://corona.go.jp/news/pdf/hp\\_tokuso.pdf](https://corona.go.jp/news/pdf/hp_tokuso.pdf) > (参照 2021-1-17)
- 6) 石川県緊急事態宣言 < [https://www.pref.ishikawa.lg.jp/library\\_documents/kjs200413.pdf](https://www.pref.ishikawa.lg.jp/library_documents/kjs200413.pdf) > (参照 2021-1-17)
- 7) 厚生労働省「オープンデータ」 < <https://www.mhlw.go.jp/stf/covid-19/open-data.html> > (参照 2021-1-17)
- 8) UN News 「World must be ready for the next pandemic, UN says on first International Day of Epidemic Preparedness」 27 December 2020 < <https://news.un.org/en/story/2020/12/1080922> > (参照 2021-2-2)
- 9) 石倉智樹：パンデミック時における都市経済活動の制限政策支援に関する基礎的手法の提案，都市計画論文集，No.45-3，pp565-570，2010.
- 10) Yusuke Hara・Hiromichi Yamaguchi：Japanese travel behavior trends and change under COVID-19 state-of-emergency declaration: Nationwide observation by mobile phone location data, Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, Vol.9, 2021.
- 11) Mikiharu Arimura・Tran Vinh Ha・Kota Okumura・Takumi Asada：Changes in urban mobility in Sapporo city, Japan due to the Covid-19 emergency declarations, Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, Vol.7, 2020.
- 12) モバイル空間統計 < <https://mobaku.jp/about/> > (参照 2021-1-17)

(2021.3.7 投稿)