

# 2018 年大雪による 北陸地域での行動パターンの被災

石崎 智裕<sup>1</sup>・山口 裕通<sup>2</sup>・中山 晶一朗<sup>3</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 金沢市角間町)

E-mail: itomohiro39@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 金沢市角間町)

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

<sup>3</sup> 正会員 金沢大学教授 理工研究域地球社会基盤学系 (〒920-1192 金沢市角間町)

E-mail: namayama@staff.kanazawa-u.ac.jp

2018 年の大雪により北陸地方では、人々の異常行動（行動パターンの被災）が多く発生した。現状大雪時の人の行動パターンは、十分に行われていない。そこで、携帯電話の集計的な位置情報データであるモバイル空間統計を用いて、2018 年大雪における短距離移動、長距離移動における行動パターンの被災の把握を行った。行動パターンの被災は、短・長距離移動どちらにも発生し、深刻さとしては、最長 10 日間、最大 85% の市民に影響が及ぶことになった。深刻さと回復状況には、その地域の降雪量と交通状態の二つの影響を受け、これらの要素の影響が大きいと回復には時間がかかることが分かった。

**Key Words:** *heavysnow, daily travel pattern, mobile phone location data, mixed-gauss model*

## 1. はじめに

### (1) 研究背景

2018 年の冬は、全国的に気温が低く、日本海側を中心に多くの地点で最深積雪量を上回る異常気象となった。2018 年 2 月 4 日からの雪により北陸地方では、多くの積雪が観測された。福井県福井市では、最深積雪量が 147 cm になり、「56 豪雪」以来 37 年ぶりの大雪になった。この大雪による交通障害も発生し、特に、国道 8 号線に最大 1,500 台の車が長時間立ち往生し、北陸地域の大動脈が長期間で通行不可能になり物流・経済活動に大きな影響を事態は、全国的に取り上げられる話題になった。このような大きな物流・経済活動の被害を起ささないためには、この大雪時に何が起こっていたのかを把握することを通じて、次の大雪時に起きる被害を最小化させることを目指すべきであろう。そこで本研究では、2018 年の冬季に北陸地域（主に福井県）で発生した大雪とそれによる（各人の移動行動の被災による）経済的被害を、「2018 年大雪災害」と表記してこの期間にいったい何が起こったのかを明らかにしていく。

現在、大雪時の被害の把握は、国や自治体、各交通機関などで行われている。例えば、2018 年大雪の被害の

把握状況は、福井県が管理する道路や施設または、物的被害などが主に対象になっている。

一方で、今回の大雪では、福井県に住む多くの人が通勤・通学など通常時の行動パターンを送ることができず、自宅に留まるなどの異常行動（行動パターンの被災）が多く発生していたことも確認されている。例えば、福井商工会議所が会員企業 4000 社に行ったアンケートによれば大雪の影響があった企業は、9 割を超えていた。その原因として、大雪の影響があった企業中の 8 割が「大雪により出勤できない社員がいた」ことをと挙げている。その社員が出勤できない理由の 9 割が大雪による道路混乱としている。このような移動パターンの被災の影響は非常に大きく、特に 2 月 7 日午後には、最大の影響を記録しており、アンケートに回答した企業の約 7 割の企業が休業状態に追い込まれていることを明らかにしている。

以上で述べたように、2018 年大雪災害時には、雪によって引き起こされた道路上などの交通障害によって、通常時と異なる行動を取らざるを得なくなった「行動パターンの被災」がかなり広範囲で起こっていたことは明らかである。それでは、2018 年北陸大雪災害における「行動パターンの被災」は、どのような場所かつ深刻さで発生し、どのように回復していったらう

か？そして、どの程度の経済的な被害があったのだろうか？この「行動パターンの被災」は、大雪を含む災害による経済的被害において、無視できないほど大きな割合を示すものと推測される。そのため、道路における大雪対策を考える際には、このような問いに定量的に答えることで、（チェーン規制など法的な規制も含めて）どの程度のコストをかけて対策を実施すべきかを明らかにすることができる。さらに、このような行動パターンの被災を定量的に明らかにしてその対策を議論することは、大雪だけでなく地震など行動パターンの被災を伴う他の災害時における行動パターンの被災を最小化する方策の検討において重要であると考える。

## (2) 本研究の着眼点と目的

以上のような背景から、本研究では「2018 年北陸大雪災害における行動パターンの被災」に着目して、その実態・影響・回復過程を定量的に明らかにすることを目的とする。ここでは、気象庁の観測データ<sup>2)</sup>から積雪量の多かった福井県嶺北地域を中心とした、行動パターンの被災の把握を行う。そのために携帯電話位置情報のデータから作成された推計人口情報であるモバイル空間統計を用いる。

このような携帯電話の位置情報データは、長期間の情報を継続的に取得しており、さらに広範囲の居住地との膨大な滞在地の人口推計情報を得ることができる。そして、長期間の情報を継続的に取得できることから、多時点の通常時と災害時（異常時）の両方の情報を得ることができる。つまり、規則的な通常時の推計人口の時間変動とその誤差を把握することができ、その誤差範囲から乖離するという「異常時の人の行動パターン」を検出することが可能である。このように、通常時のパターンからの予想できる量を推計することを通じて、大雪時の行動パターンの被災を把握する。

一方で、モバイル空間統計のデータは広範囲のデータを取得することが可能であるため、福井県嶺北地域内における移動パターンと、都道府県をまたぐ移動パターンをも網羅的に分析することができる。そのうえで、大雪時の交通機関の被害データと比較することを通じて、大雪における行動パターンの被災の発生と疎に深刻さを期待する条件を、交通機関の停止・復旧などの状況と比較していくことから明らかにしていく。

## (3) 関連する既存研究と本研究の位置づけ

近年、モバイル空間統計をはじめとする携帯電話の位置情報データが、人の行動パターンを把握するのに多用されつつある。これを用い災害時の人の移動行動を分析した研究としては、関本ら<sup>3)</sup>の東日本大震災当日

と翌日の東京都市圏の帰宅困難状況の分析、奥村ら<sup>4)</sup>の仙台市内の復旧状況の時系列パターンの分析、大村ら<sup>5)</sup>の熊本地震における熊本県旅行者の変化の分析など災害関連の研究などが挙げられる。これらの研究を通じて、携帯電話の位置情報により災害時の人の行動パターンを定量的に把握することができる事が分かる。

一方で、これまでの研究では「地震」を対象にした人の行動パターンの分析の研究が多い。大雪時の人の行動分析に着目した研究としては谷本らの平成 29 年の鳥取県の豪雪に着目した研究がある。この研究では、モバイル空間統計を用いて 2017 年 2 月 10 日からの大雪時の鳥取市内での異常を検知し大雪の期間での最大の異常度と 1 日平均の異常度を求め、その異常度と国勢調査や経済センサスなどからわかる鳥取市内の地域の環境特性との関係性を年齢、居住地別に明らかにした。そこで本研究では、これらの研究の方法論を参考にしながら、2018 年北陸大雪災害の分析を行っていく。

2018 年北陸大雪災害を対象として、その被害を大規模なデータから抽出した研究としては、梅田ら<sup>7)</sup>の研究がある。この研究では、気象データとプローブカーデータを統計的時系列モデルによる災害発生時の道路異常事象検知手法の構築している。本研究では、梅田ら<sup>6)</sup>の異常行動を早めに検出する手法を探求する研究とは異なり、携帯電話の位置情報データを用いて大雪時に見られる異常行動、すなわち「行動パターンの被災」の深刻さを定量的に把握することを目的にする。本研究で用いる携帯電話位置情報のデータは、自動車の走行履歴データと異なり、携帯をもつすべてのひとが対象であり、対象とする移動行動限定されていないことが利点である。つまり、梅田ら<sup>7)</sup>の利用したデータは、道路の異常状態を事前に検出することができるが、車以外の手段による移動行動パターンの被災の把握には向いていない。携帯電話位置情報のデータは、携帯を所有している人なら常に持ち合わせているものであり、様々な交通手段に対応できるため、より広い定義での「行動パターンの被災」を分析できることが期待できる。

なお、本研究独自の視点として、長距離の移動行動を含む網羅的な移動行動を分析する点も挙げられる。関本ら<sup>3)</sup>、奥村ら<sup>4)</sup>、谷本ら<sup>5)</sup>、梅田ら<sup>7)</sup>の研究では、震災または大雪における近距離移動に限定した分析であり、震災時の長距離の移動に着目した研究はほとんどない。大村ら<sup>5)</sup>の研究では、熊本県外からの福岡県、大分県間の移動パターンに着目しており、広範囲かつ網羅的な分析ではない。人は、通勤、通学、観光、勤務、私用などさまざまな理由で日々移動している。そのため普段から近距離、遠距離において様々な移動パターンが存在している。そのため、長短の移動を含むより網羅

的な災害時の「行動パターンの被災」を分析することで、被災の大きさや回復過程などの移動目的間での差異を明らかにすることも期待できる。そのため、本研究では、長距離移動を含む多数の OD ペアを対象として、広範囲かつ網羅的に行動パターンの被災を把握、分析していく。

## 2. 研究で用いるデータ

### (1) 災害時の移動行動が把握できるデータ

我々は、勤務、通学、観光など様々な目的をもって様々な目的地へ移動している。しかし、代表的な行動は規則的かつ周期的に似た移動行動をとることが多い。例えば平日では、朝に通勤・通学を行って夜に帰宅する。そして休日には、観光地へ旅行に行くといった行動の頻度が多いなどの傾向が予想される。ここで、大雪時の行動パターンの被災を把握するためには、通常時の周期的な移動行動パターンを把握し、大雪がなかった場合の移動行動パターンを推測する必要がある。

本研究では、データ株式会社ドコモ・インサイトマーケティングが提供するモバイル空間統計を、通常時の周期的な行動・災害時の異常行動の両方の把握に用いる。このモバイル空間統計は、すべての携帯電話の位置情報が定期的に各地の基地局との通信を通じて、おおよその情報が把握されていることを利用し、NTTドコモに加入している 7,600 万台の位置情報データを集計し、普及率の逆数を乗じることで、任意の時間の滞在人口を推計したデータである。滞在人口のデータは 250m メッシュを最小単位として、かなり詳細に取得できる。しかし、そのメッシュに滞在人口が少ない場合には、プライバシー保護の関係から秘匿処理されてしまうため、人の少ない地方部においてはあまり細かいメッシュサイズの分析は非現実的である。また他の特徴としては、モバイル空間統計の滞在データには、「居住地」「性別」「年代」の属性データが付与されている。例えば、A 市に居住し B 市 13 時に滞在する 30 代の男性が何人かというデータを長期的かつ継続して取得することもできる。また、モバイル空間統計のデータは、パーソントリップ調査とは、異なり A 市から B 市に移動した時の「目的」「移動手段」は、わからない欠点があるためその他の情報を組み合わせて推測しなければならない。

### (2) 研究で取り扱うデータの時空間範囲

前節で大雪時の行動パターンの把握のためにモバイル空間統計を用いることの利点を述べた。本節では、大雪時の行動パターンの被災を把握するために必要な

モバイル空間統計のデータの範囲を述べていく。

前章から述べている通り、研究の対象とする大雪は、2018 年 2 月に北陸地方で発生した大雪を対象にする。気象庁の積雪量のデータによれば、この大雪では福井県の嶺北で、最大値がそれぞれ福井県福井市 147 cm、大野市 169 cm、越前市 130 cm と大きな積雪が観測されており、顕著な行動パターンの被災が観測されていることが報告されている。そのため、本研究では、大雪時の福井県嶺北地域を対象として行動パターンの被災を把握できるデータを用いていく。具体的なモバイル空間統計のデータ仕様は、空間範囲としては福井県嶺北地域については市町村として 11 市町村の情報と、長距離移動を分析するために全国範囲の都道府県単位の情報を分析していく、そして時間範囲としては、2016~2018 年の 1 月 10 日~2 月 28 日の 150 日の滞在人口データを対象として分析していく。

11 市町村間の居住地・滞在地ごとの滞在人口を分析することにより、主に近距離間の移動すなわち通勤、通学などを目的とした主に平日などにみられる移動パターンの分析を行うことができる。そして、47 都道府県間の滞在人口のデータを用いて、遠距離の移動すなわち観光や業務を目的とした行動パターンの分析を実施していく。1 月~2 月までの滞在人口データ 3 年分用いるのは、2018 年は、降雪量が多く、通常通りの生活パターンが行われている日が少ないと考えられる。しかし、2017 年、2016 年は、2018 年に比べると降雪量が少なく通常通りの生活パターンが行われている日は、多いと考えられる。そのためこの 3 年分のデータを用いることにより嶺北地域内冬季の通常時の行動パターンを把握には、十分なデータ量であると考えた。ここで、1 月 1 日~9 日のデータは除外して分析している。この期間は正月・三が日周辺に集中している年末・年始の帰省といった、特殊な行動パターンが多く、さらに曜日の組み合わせによって、この行動量は大きく変わることが予測されるため、数年分のデータのみでは、推測が困難であると予測されるためである。なお、この期間を除外しても、大雪のピーク期間は、十分に分析が可能である。

### (3) 福井市における大雪時人口パターンと本研究の基本的な考え方

本節では、モバイル空間統計から得られる滞在人口データから得られる、通常時の時間変動情報を示して、本研究の基本的なアイデアを説明する。図 1 は、2 月 1 日から 15 日の一時間ごとの福井市全域の推計滞在人口を示したグラフである。グラフは一日周期の波の形をとっており、基本的には、夜間の滞在人口が少なく昼間の滞在人口が多いという変動が毎日発生しているこ



とが確認できる。2月1日～5日の期間にかけて各波の振幅の大きさは20,000人以上ある。これほどの人数が、昼間に流入することは、福井市が福井県の県庁所在地として、嶺北地域の商業、学業の中心都市であり、周辺都市から通勤、通学などのために福井市に来る人が福井市からその他市町村に対して移動する人に比べてとても多いことを示している。

次に、2月6日～13日にかけての昼間人口に着目すると、各日の最大人口が1～5日の週と比較して、おおよそ1万人程度減っていることが確認できる。これは、この大雪時には福井市に移動する人が大きく減ったこと、すなわち行動パターンの被災があったことを示している。この減少分には、道路の状態が悪化したことにより、移動することをあきらめた分、企業が休業または学校が休校することによりそもそも福井市に行く必要がなくなった分、自宅の雪かきを行わなければならない、自宅から外出できなかった分、などが含まれていると想定される。そして、このグラフから行動パターンの被災が約一週間程度継続していたことも確認できる。

この同じ時期の夜間人口に注目をする、昼間人口も一週間前からの減少と比較してそれほど大きな変化がないことがわかる。これは、元々通常時においても、夜間に福井市外から福井市に滞在している人が少なく、夜間に集計される人口のほとんどが福井市に居住していることが考えられる。そのため、普段夜間に福井市に移動する人が大雪の影響であきらめたとしてもそれが全体の滞人口に与える影響は小さいことが考えられる。このことから、これからの分析では大雪の影響を大きく受ける昼間人口（13時の滞人口）に着目して研究を行っていく。

今回の分析により大雪に昼間人口に一週間程度の影響を与えていることが分かったが具体的にどの市から流入してくる人にどの程度の影響を与えたのか、また15日は通常時の行動パターンが送れているように見えるが、1日などと比べると昼間人口の最大値が数千人ほ

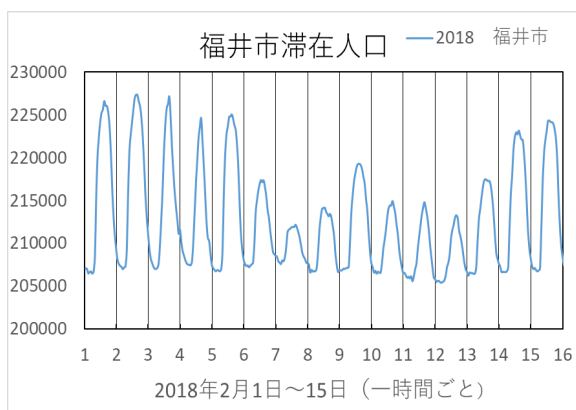


図-1 2018年2月福井市滞人口

ど少なくなっている。そのため、15日の減少は、通常時の行動パターン内の誤差なのか、それともまだ大雪の影響が残っているためなのか判断はできない。本研究での解析では、通常通りのパターンが実現した場合に予想される人口変動の区間推定量をより明確に推定し、異常の程度をより明確に明らかにする。そして、このように通常時パターンから予想される区間推定量と比較するアプローチを通じて、大雪による影響がどの程度続いたのかもについてもより精度よく推定を行うことを目指す。

### 3. 解析方法

#### (1) 本研究で用いる解析方法

本研究では、多時点でのモバイル空間統計の滞在人口データから異常などが無い場合の行動パターンを推測し、その通常時の行動パターンの乖離が小さい日（通常日）と乖離の大きい日（異常日）を統計的に区別することによって行動パターンの被災状況の分析を行っていく。大村ら<sup>9)</sup>は、熊本地震における熊本県内に居住し、熊本県外に滞在した長距離旅行者数を915日分のモバイル空間統計データを同様のアプローチで分析している。この研究では、「時系列混合ガウスモデル」を、モバイル空間統計による人口の時系列推移に適用し、熊本、福岡県間、熊本大分県間における地震直後などにおける異常な行動パターンの抽出に成功した。そこで本研究では、大村ら<sup>9)</sup>の既存研究から時系列混合ガウス大雪時の以上行動パターンの把握に用いることにする。そして、本章では、時系列混合ガウスモデルを説明したうえで、本研究に合わせてモデルを変更した点を述べていく。

#### (2) 既存研究での時系列混合ガウスモデル

大村ら<sup>9)</sup>の研究で用いられている時系列混合ガウスモデルの考え方は、次のとおりである。長距離移動の日々の変動パターンを、一般的によく起きる「通常変動」と災害時など特殊な場合に起きると考えられる「異常変動」の二つから構成されていると仮定し、それぞれの分布と各日がどちらの変動に判別されるのかを推定していく。これは、混合ガウスモデルの考え方を基本として、時系列変動に適用できるようにカレンダー効果を加味したモデルである。この、時系列変動を表現するために、「通常変動」の平均値は、「季節変動項」と「休日効果項」の二つの和で構成されると考える。

##### a) 通常変動モデル

通常変動の平均値を構成する一つの項である。季節

変動項は、365 日間の周期変動として定義する。このような時間変動を組み込むことで、正月やお盆などの帰省行動、入社や入学などによる居住地の変化による移動行動など毎年一定の時期に起きる長距離旅行の行動パターンを表現することができる。このような時間変動は、三角関数を利用して(3a)のように定式化している。

$$\sum_{n=1}^{50} x_n \times \sin\left(\frac{d}{365} \times 2\pi \times n\right) + \sum_{n=1}^{50} x_n' \times \cos\left(\frac{d}{365} \times 2\pi \times n\right) \quad (3a)$$

この式では、1年365日を1から50で割った50種類の周期をもつsin関数・cos関数としての和として表現することで、一年周期の様々なパターンの季節変動を表現することができる。

もう一つの休日効果項は、カレンダー上で休日が連続する日数によって旅行量が大きく異なることを表現できるように各連休中で実現可能な日帰り旅行・2日間の旅行・3日間の旅の組み合わせに応じて旅行量を表現したモデルを用いている。さらに、休日に挟まれた平日には、会社員などが有休をとり、旅行することが考えられる。そのため、この平日にも通常の平日よりも旅行量が増えることを扱う項も追加する。

以上のような時系列変動パターンとそのパラメータは、 $M_{h,d} \times x_n$ のような線形の関係で記述することができ、この形でモデルに組み込まれている。

### b) 時系列混合ガウスモデル

本節では通常時の時系列変動モデルと混合ガウスモデルを組み合わせて、通常日と異常日を検出する時系列混合ガウスモデルを説明する。この時系列混合ガウスモデルでは、モバイル空間統計による旅行者数を、2つの正規分布が混合した分布から得られるものと仮定する。

一つ目の通常時の長距離旅行パターンは、多くの日で規則的に行動している人々で構成されており、基本的には同じカレンダーの特徴がある日では大差ない人数が観測されると思われるため分散の小さい正規分布(図-2の青いパターン)に従うと考えられる。数式で記述すると通常日の観測地は、平均値 $\mu_{nd} = M_d x$ で分散が $\sigma_n^2$ の正規分布から得られると考えられ、 $x$ と $\sigma_n^2$ をパラメータとなる。

二つ目の異常変動では、災害で、交通機関が麻痺をしている場合や、スポーツ大会やライブイベントなど特殊なイベントで大量の人が一つの場所に向けて移動する場合などを考える。この場合には、通常時のばら

つきの範囲と大きく異なる移動人数が観測される。つまり、通常時の青い分布よりもより広い範囲の人数が観測できると考えられる。このような事象を表現するために異常変動の正規分布は、観測される確率は低いが、分散の大きい分布になると考えられる(図-2の赤

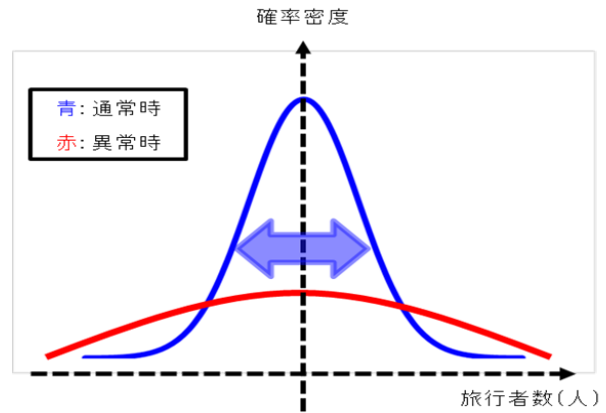


図-2 モバイル空間統計のイメージ図

いパターン)。本研究では、異常変動の分布の平均値を、 $\mu_e$  (時間変動はしないと仮定)、そして分散値を $\sigma_e^2$ として、通常時のパラメータと合わせて同時に推定する。

### c) パラメータ推定法

通常時における正規分布(平均値 $\mu_{nd} = M_d x$ , 分散 $\sigma_n^2$ )と異常時における正規分布(平均値 $\mu_e$ , 分散 $\sigma_e^2$ )の二つの正規分布が混合した正規分布である時系列混

$$p(y_d | x, \mu, \sigma, \alpha) = \alpha_1 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_n^2}} \exp\left(-\frac{(y_d - \mu_{nd})^2}{\sigma_n^2}\right) + \alpha_2 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_e^2}} \exp\left(-\frac{(y_d - \mu_e)^2}{\sigma_e^2}\right) \quad (3b)$$

合ガウスモデルは、日付 d において式(3b)のように定式化される

$\alpha_1$ と $\alpha_2$ は、異常日が観測される確率を表すパラメータであり、それぞれ非負であり和が1であるという制約条件を付けて推定する。この時パラメータになる $x, \mu_{nd}, \mu_e, \sigma_n, \sigma_e, \alpha_1, \alpha_2$ は、最尤推定法を用いてパラメータ推定を行う。この時の尤度関数 L は、式(3c)のようになる

$$L = \prod_{d=1}^{915} p(y_d | x, \mu_{nd}, \mu_e, \sigma_n, \sigma_e, \alpha_1, \alpha_2) \quad (3c)$$

尤度関数を対数化したものの微分がとなるパラメータを見付けることで凸な尤度関数のパラメータの最尤推

表-3 嶺北地域平日 13 時平均移動人数 OD 表 (%)

	福井	大野	勝山	鯖江	あわら	越前	坂井	合計
福井		0.89%	0.76%	5.12%	2.80%	4.05%	8.48%	22.10%
大野	3.79%		1.81%	0.24%	0.13%	0.23%	0.48%	6.67%
勝山	2.75%	1.37%		0.13%	0.13%	0.14%	0.58%	5.10%
鯖江	10.01%	0.12%	0.10%		0.20%	6.52%	0.79%	17.72%
あわら	4.28%	0.05%	0.06%	0.15%		0.19%	4.27%	8.98%
越前	7.11%	0.11%	0.09%	6.59%	0.16%		0.57%	14.62%
坂井	18.57%	0.20%	0.26%	0.75%	4.20%	0.82%		24.80%
合計	46.50%	2.72%	3.08%	12.98%	7.61%	11.94%	15.17%	

定値を得ることができるが、式(3c)で示す本研究の尤度関数は、積と和の形が混合した形の式であり対数化しても解析的に微分できない、EM アルゴリズムを用いて各パラメータを推定していた。

#### (1) 本研究に合わせた時系列混合ガウスモデル

本研究に用いるモバイル空間統計のデータの期間は、2016年～2018年の1月10日～2月28日の計150日間である。そのため、本研究の時系列混合ガウスモデルでは、通常の冬季の移動パターンと異常な行動パターンが行われていた日を区別することが目的となる。このことから大村ら<sup>9)</sup>の研究における季節変動項を考えると困難であり、かつ冬季のみに以上検出には不要であると考えられる。また、休日効果項は、該当する期間内の祝日が2016年1月11日(成人の日)、2016年2月11日(建国記念日)、2017年2月11日(建国記念日)、2018年2月12日(建国記念日の振り替え休日)の4日間しかなく休日効果のパラメータを好いてするためにはサンプル数が不足している。そのため、本研究では、「これらの日付の通常時パターンが日曜日と同じ」と仮定することにした。また大村ら<sup>9)</sup>より移動距離の短い日常移動行動を扱うため、通勤・通学・買い物といった行動を扱うこととなる。そのため、平日と休日で大きく異なることが考えるため、曜日変動効果(1週間周期の変動)を組み込む形で $\mu_{week} = \mathbf{M}_d \mathbf{x}$ を設計する。この時ダミー変数行列 $\mathbf{M}_d$ は、 $150 \times 7$ の行列となる。これにより150日それぞれに各曜日を振り分けることによりそれぞれの曜日ごとの通常パターンの平均期待値を求めることができる。

このようなアプローチを適用することで、異常なパターンと判断された日について、通常日の平均期待値から観測値を引くことで異常量を算出することができる。本研究では、この量を異常量と呼ぶことにする。

さらにこの異常量を通常時の平均期待値で割った値を「異常率」と定義してこれらの値を分析していく。これらの値を算出することで、ある日の異常がどの程度深刻であったのかを定量的に分析することが可能になる。

## 4. 福井県嶺北地域の移動状況

### (1) 嶺北地域の通常時の移動状況

前章までに説明した時系列混合ガウスモデルを用いて本章では、平成30年北陸豪雪における行動パターンの被災を分析していく。表-3は、嶺北地域内の13時の月曜日から金曜日の滞在人口期待値を平均値にし、その値を全体の移動量で割った割合をOD表にしたものである。1番左側の列が居住地(出発地)の市を表しており、1番上の行が目的地の市を表している。OD表の割合が大きいマスには、2つの特徴がある。1つ目は、福井市が出発地、もしくは目的地であるマス。2つ目は、隣接する市町村間の移動であることである。1つ目の特徴の起きる要因としては、福井市を出発地とする行動については福井市の人口が多いことが挙げられる。福井市の人口は、約26万人と他の嶺北地域内の市と比べると3倍から10倍程度人数が多いため、純粋に移動する人数も多くなることが考えられる。また、福井市は、嶺北地域の中心に存在するために、各地区との移動距離が少ないため、普段から移動する人が多いことが考えられる。また、福井市を目的地とする移動が特に多いのは、福井市が嶺北地域の中心都市であり、商業や学業が充実しているため、それらの活動を行うことを目的に、その他の市から通勤、通学する人が多いことを証明するデータであるといえる。2つ目の特徴が起きる要因としては、福井市の出発地の要因でも述べ



たが移動距離が短いことが考えられる。平日の昼間の移動が起こる原因として、通勤があるが、その移動手段としては、車、電車、バスなどがあげられる。そのため、一般的には、これらのコストが低くなるような場所に住むのが普通であり、コストを低くする手段の一つが移動距離を短くすることだと考えられる。また合計に着目すると福井市を目的地とする移動は全体の46.5%となり嶺北地域の平日の約半数の移動が福井市に向かうことになり、災害などにより福井への移動手段が断たれた場合の経済的な損失はかなり大きいと推察できる。そのため、ここからは 2018 年大雪における福井市を目的地とする移動はどうであったか詳しく見ていく。

(2) 福井市を目的地とした 2018 年大雪時の行動パターンの被災状況

図4は、2018年1月10日から2月28日にかけて嶺北地域6市から福井市へ移動する時の行動パターンの被災を普段の移動量から移動できなくなった割合である異常率を示したグラフである。それぞれの折れ線は、各市から福井市に向かう移動の各日の異常率を示している。ただし、時系列混合ガウスモデルにおいて通常日と判定された日に関しては、異常率を0%としている。グラフを見ると多くの市において異常があった期間が3期間あったことが確認できる。1つ目の期間は、1月13日、14日である。あわら市と坂井市は、この2日間に加え1月12日にも異常日であると判断されていた。これは、1月10日から13日にかけて降った雪の影響だと考えられる。2つ目の期間は、1月27日である。また、大野市に関しては、1月24日から1月28日にかけて異常期間が続いており、勝山市に関しては、1月27日付近において異常日は判定されていない。この異常期間には、1月22日からの降雪が影響していると考えられる。3つ目の異

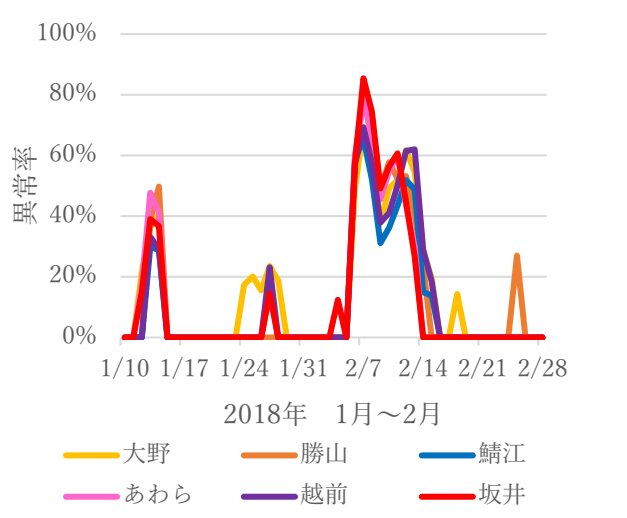


図4 嶺北地域行動パターンの被災

常期間は、2月6日から13日の8日間にわたり異常日が判定されている日が続いている。また、この期間に加えて、坂井市には2月4日にも異常日が判定されており、勝山市は、14日まで異常日が続く、大野市、越前市、鯖江市は、15日まで異常日が続いていた。これは2月4日から7日にかけての降雪があり、その中でも2月5日、6日に連続してかなりの降雪量が連続して観測されたことと2月11日頃から13日にかけて再び降雪があり、行動パターンの被災が続いたことが影響していたことが分かる。本論文では、1月13日、14日を中心に発生した行動パターンの被災を「1月中旬における行動パターンの被災」と呼び、1月27日を中心に発生した行動パターンの被災を「1月下旬における行動パターンの被災」と呼び、2月6日から2月13日を中心に発生した行動パターンの被災を「2月上旬から2月中旬における行動パターンの被災」と呼ぶことにする次項からは、これら3期間のそれぞれにおける異常率や交通機関の乱れなど現実に起きていたことを踏まえつつ、3期間の行動パターンの被災について詳しく見ていく。

a) 1月中旬における行動パターンの被災の分析

図5は、図3の1月10日から1月18日までの部分を抜き出し、福井市のその日における降雪量を加えたグラフである。全ての市において13日、14日が異常日と判定されており、その異常率は、30%~50%となっており、各市においてそれだけの割合の人間が通常通りの行動パターンの移動をすることができなくなった。この時、交通機関は、JRは、一部運休しており、第三セクター鉄道であるえちぜん鉄道の三国芦原線と勝山永平寺線、一部区間での折り返し運転をしていたため坂井地区と奥越地区との移動ができない状態だった。また、道路関連では、12日には北陸自動車道が除雪のために通行止めになる時間帯があり、14日には、国道8号線があわら市と坂井市の間で一時的に通行止めになるなど

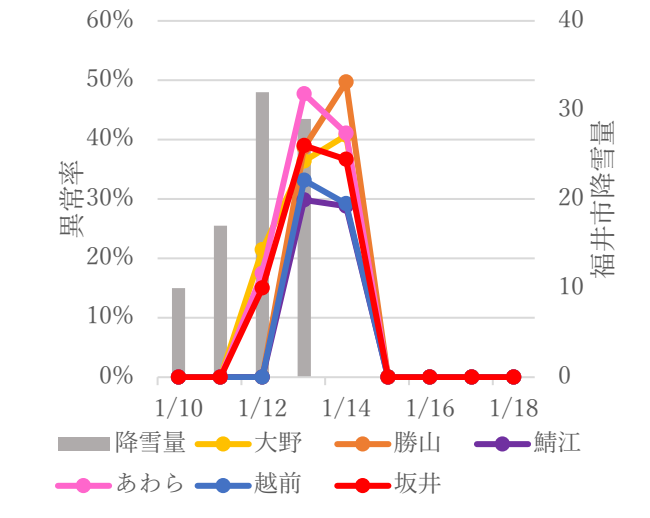


図5 1月中旬の行動パターンの被災

の影響が出ている。このように交通関連では、坂井地区（あわら市・坂井市）、奥越地区（大野市・勝山市）の被害が多く出ており、異常率も坂井、奥越地区に属する市の方が丹南地区（鯖江市・越前市）に属する市よりも異常率が多いことが分かる。また、2地区の坂井市以外の市は、12日から異常日に判定されており被害が深刻であったと考えられる。週明けの15日には、異常日になった市がなく、交通手段の被害もほぼ無くなったことから土日のうちに除雪が進んだことにより被害が長期化することはなかった。

**b) 一月下旬における行動パターンの分析**

図-6は、1月24日から1月28日にかけて各市の異常率を示したグラフである。異常率は1月上旬と比べる14%~24%と少なく大野市以外では異常日に判定された日は、27日のみであり、勝山市では、異常日と判定されていないことから一月上旬からの被災よりは影響は小さいと考えられる。この原因をその当時の状況から考える。この時の交通手段の状況は、JR北陸本線の通常列車は、27日の2本を除けば、通常通り動いており、JR越美本線も23日~27日にかけて運休する列車があったが最大で4本の運休でありJRが嶺北地域の移動に影響を与えたとは考えにくい。また、一月上旬時には、運休していたえちぜん鉄道が運休していないことから交通手段の状況がその当時の移動に影響を与えるほど乱れていたとは考えにくい。このことが、異常率が一月上旬時より低い理由として考えられる。この当時の降雪の状況は、20日~27日かけて積雪量は、福井市で31cm、大野市で64cm、越前市で41cm増えており他二つの被災時期に比べると多くはないが一週間程度10cm程度の雪が降り続けていた。この時期の交通状態と降雪状態から考えると交通には影響がない程度の降雪のため、平日は、普段通りの通勤通学はできたが、雪が降り積もってしまったため、土曜日には、福井市に行くことよりも自宅の雪かきなどの他の大雪に関連する行

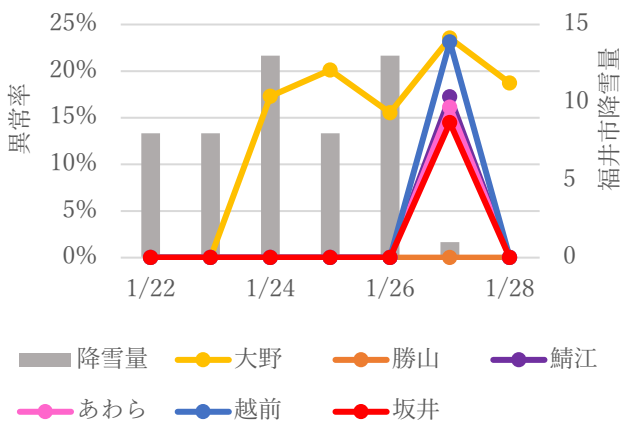


図-6 1月下旬の行動パターンの被災

動を優先する人が多く出たため異常日と判定され、日曜日には、それらの行動が完了したため、通常通りの行動を行うことができたと考えられる。大野市で異常日が続いたのは、ほかの地域に比べ降雪量が多いため、通常とは異なる行動をする人が増えたために、異常日と判定された日が続いたと考えられる。

**c) 2月上旬・中旬における行動パターンの被災の分析**

図-7は、2月6日から2月15日にかけて各市の異常率を示したグラフである。この期間は、異常日が一週間以上も続いており、その他2つの期間に比べても被災の期間が長いことが分かる。異常率を見ると2月7日に最大になっており、あわら市では、85%となっており、その他の市でも65%~79%とかなり高い異常率となっている。この日近辺の交通状況は、鉄道とバスは2月6日から8日にかけてほぼすべての路線で運休しており。道路の状況は、国道8号線も6日11時から8日5時に再開するまで66時間もの間通行止めが続いた。これらの被害状況を見るに6日~8日の交通状況は、利用することがかなり困難な状態であったと考えられる。そのため、この3日間の各市の住民は移動することをあきらめることを選択した人が増えた。

9日になると北陸本線は、本数を減らしてはいるが運行を福井以北でも再開し、越前鉄道の三国芦原線では、一部区間での運行を再開し、国道8号線も通行止めが解除されるなど交通状況が、改善されたため異常率も下がっていることが分かる。しかし、10日、11日になると交通状況は、えちぜん鉄道勝山永平寺線や福井鉄道で一部運行を開始するなど9日と同じ通りに回復傾向にあるにも関わらず、異常率は、各市で増加していることが分かる。これは、休日の通常日期待値が平日と比べると少ないことも関係しているが、平日と休日では、福井市へ行く理由が通勤通学から買い物、観光などに代わることが考えられ、行く理由が変わったため、福

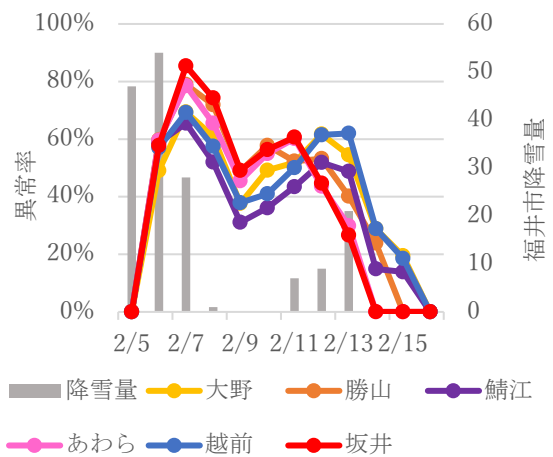


図-7 2月上旬・中旬の行動パターンの被災



井市に無理に行く必要がないと考え、市内にとどまったことが異常率の増加に影響した理由として考えられる。12 日になると再び降雪が多くなり、特に奥越地区と丹南地区では降雪量が多くなった 12 日、13 日にかけて交通状況も悪化していき 13 日には運行を再開していたえちぜん鉄道や福井鉄道なども運転をやめる時間が発生した。そのため、これらが通っている奥越地区と丹南地区の異常率が増加している。また、降雪量がそこまで多くない坂井地区に属する市は、交通状況もそこまで悪化していないこともあり、異常率は減少し、異常日と判断された日も他の地区より早い 13 日までとなっており、この大雪から早く日常生活を取り戻すことができたと考えられる。その後は、降雪もなく交通状態も回復したため、異常率は、徐々に回復した。

#### d) 嶺北地域内の行動パターンの被災の要因

本項では、3 時期の行動パターンに共通する異常日と判定され、異常率が高くなる要因を述べていく。異常率が高くなる要因として 1 つ目に挙げられるのは、降雪量、積雪量の増加である。降雪量、積雪量が増加することによって人々は、除雪するなどの普段とは違う行動の選択肢が発生し、それが普段行っている行動より優先されることにより異常率が上昇することが考えられる。この原因は、異常日と判定された日すべてに発生することが考えられるが、よりこの影響が出やすいのが土日祝の休日であると考えられる。2018 年大雪においては 1 月 27 日や 2 月 10、11 日の奥越地区と丹南地区で見られた影響であり、平日に行っている通勤通学などの行動は優先度が高く、交通状態に影響がないときはそれらの行動が優先されるため異常率が高くなりにくい。また、休日では、行動の理由が変わるため大雪による特殊な行動を優先する人が増えるため、異常率が高くなることが考えられる。異常率が高くなる要因として 2 つ目に挙げられるのは、交通状況の悪化であり、これが原因で異常率が増加したことが確認できるのは、1 月 13、14 日の奥越、丹南地区、2 月 6～8 日が該当する。これらの日は、各地区から福井市につながる鉄道や道路などが大雪の影響により利用できないまたは、利用しにくい状態になると人々は、本来行う行動をやめることにより異常率が高くなることが考えられる。2 月 6～8 日のようにほとんどの交通手段が使えなくなると異常率は、さらに高くなることがわかる。

## 5. 福井県を目的地とする長距離移動状況

### (1) 福井県への通常時の長距離移動状況

表-8 は、福井県を除く、46 都道府県を 10 地域に分け、その地域から福井県へ移動する人の平日と休日の移動

表-8 各地域→福井県通常日平均移動構成割合

地域名	平日	休日
北海道	0.93%	0.61%
東北	1.87%	1.11%
関東	8.81%	6.81%
北陸	25.58%	19.94%
甲信	0.80%	0.94%
中京	15.09%	19.55%
関西	41.86%	46.79%
中国	1.79%	1.64%
四国	0.98%	1.04%
九州	2.29%	1.58%

構成割合を示した表である。割合が大きいのは、関東・北陸・中京・関西地域であり、全体の 90%以上の割合を占めている。多い 4 地域の特徴を見ていくと平日では、中京地域が約 15%、北陸地域が約 25%、休日では、中京地域、北陸地域ともに約 20%となっている。これは、平日に北陸地域から福井県に滞在する人すなわち通勤や業務目的で福井県を訪れる人が多く、休日になると中京地域に居住し、福井県滞在する人の割合が多くなることを示している。中京地域や関西地域は、平日よりも休日の滞在人口が大幅に増えていることから休日に観光客が多く来ていることが考えられる。関東地域は、北陸地域と同じ特徴のため、平日に業務目的などで福井県を訪れる人が多いため休日の変化が小さいと考えられる。次節からは、割合の大きい地域のうち北陸、中京地域に着目して行動パターンの被災を分析していく。

### (2) 長距離移動における行動パターンの被災の分析

#### a) 北陸地域から福井県への行動パターンの分析

図-9 は、図-4 と同じ内容のグラフで北陸地域から福井県の 2018 年大雪時の行動パターンの被災を示したグラフになっている。近距離移動の比較のために坂井市の異常率のグラフも載せてある。異常日と判定された日に着目すると、4 章で見てきた嶺北地域内移動における異常日と同じ時期になっていることが分かり、2 月 4 日に異常率の推移も最大値こそ少ないが嶺北地域内と同じ推移の仕方をしている。すなわち北陸地域と福井県の移動は、嶺北地域内の近距離の移動と同じ特徴があることが言える。その原因としては、1 つ目は、地理的に近く嶺北地域と同じような降雪があったこと。石川県から嶺北地域に通勤する人がいることが挙げられる。これらの二つの原因があったために北陸地域の移動が 4 章で上げた嶺北地域内の行動パターンの被災の要

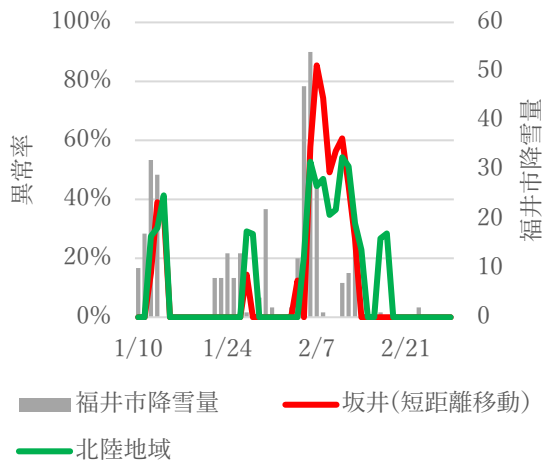


図-9 北陸地域の行動パターンの被災

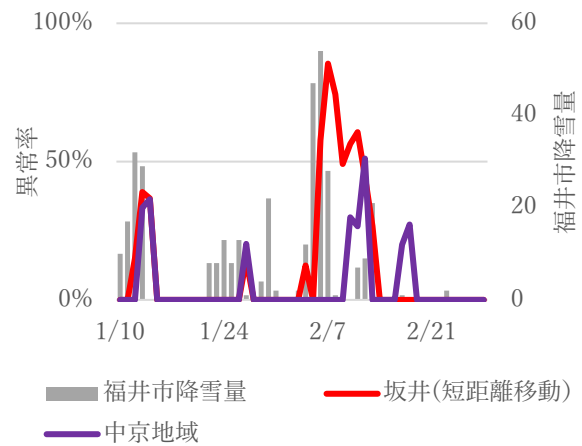


図-10 中京地域の行動パターンの被災

因である積雪による異常行動と交通状況による異常行動が起きる状態になり、北陸地域からの移動が嶺北地域内の近距離移動と同じ特徴を持つことになったと考えられる。一方で、2月17日と28日は、嶺北地域内の移動では、異常日とは判定されていないが北陸地域との移動では、異常日だと判定されている。この二日間においてこの2地域間の交通状況は、鉄道や道路ともに異常はない状態であった。また、観光地は、17日、18日まで休業したところは、ほとんどなく、観光地の状況は、ほぼ通常通りに営業されていることが分かった。しかし、異常日と判定されるほど滞在人口が減った理由としては、それまで福井県で大雪があったという報道などがされたため、北陸地域に住み、福井県へ行くと考えた人の中でまだ大雪の影響があると判断し、福井県への移動を自粛する人が多くいたからだと思われる。

**b)中京地域から福井県への行動パターンの被災**

図-10は、中京地域から福井県の2018年大雪時の行動パターンの被災を示したグラフになっている異常日となった日は、1月13日、14日、27日、2月10日～12日、17日、18日であり、北陸地域で異常だった時期のうち福井市でまとまった降雪があった後の休日に集中している。休日は、通常日期待値が高く、福井県へ訪れる人が多い。そのため降雪により元々福井県に行こうとしていて諦めた人も多くなり異常日になった。また、1月12日は、北陸自動車道が、長距離に渡り通行止めになっていた。その影響もあり13日、14日の異常率は、33%と34%とやや高くなっている。しかし、北陸地域と異なり平日に異常日と判定された日がない。これらの日のうち交通状況の悪かった日の滞在人口は、通常日平均よりも明らかに減少している。異常日として判定されなかった原因としては、長距離移動は、近距離移動とは異なり、毎週同じ人が同じ目的地に行くわけ

ではなく、毎日の滞在人口が一定ではないことが考えられる。そうなる時系列混合ガウスモデルで想定した通常時分布の分散が大きくなってしまふ。本研究におけるモバイル空間統計では、通常時分布の分散が小さく、異常時分布の変動が大きいという前提だったが、中京地域の分析における分散は、通常時分布が0.6595、異常時分布が1.0755であった。このように、通常時分布の分散が大きくなっており、異常時分布の分散とそれほど変わらない値になった。その他の関東地域の分析では、逆転することもあった。このことから通常日と判断される範囲が大きくなってこのような異常があると考えられる日においても通常日と判定されてしまうことがあるため、日変動が大きい長距離移動の場合このモデルは適用するのには向いていないと考えられる。

**6. おわりに**

2018年大雪災害における行動パターンの被災は、嶺北地域内の狭い範囲だけではなく、福井県外からの長距離の移動にも影響を与え、広範囲で行動パターンの被災していたことが分かった。そして、その深刻さと回復過程は、地域ごと異なるが最大では、通常通り移動する人の8割以上の人に影響を与え、最長で10日も継続していたことが分かった。その深刻さ・回復過程の状況は、降雪や交通状態の影響を大きく受けており、積雪量が100cmを超えず、交通状況に深刻な影響を与えない場合には一気に通常日まで回復し、積雪量が100cmを超え、交通状況に深刻な影響が出た場合には被災は長引き、徐々に回復し、交通状況の回復程度により行動パターンの被災の回復速度も対応することを定量的に把握することができた点が本研究の成果である。以上のように行動パターンの被災を定量的に把握する

ことによって、2018 年大雪災害における人の移動行動に経済的な損失の算出なども可能であり、次の大雪に対してその被害を抑えるためにどの程度まで予算をかけることができるのかなどの検討につながると考えられる。また、モバイル空間統計が使える時期なら同じような研究が行えるため、その他の地域における行動パターンの被災を把握する事が出来、比較することによってその地域の大雪による被害の特徴を把握する事につながると考えられる。しかし、長距離移動の分析では、本研究で適用した混合ガウスモデルでは、通常分布と異常分布の分散が逆に、つまり通常時分布の分散が大きいと推定されてしまい、通常日・異常日の判定がうまくいかないことが分かった。これは、長距離移動は、観光や業務目的で行われるため、同じ曜日においても滞在人口の変動は大きいことが原因と推測される。この点を解決するためには、より長期間のデータを用いながら、通常時の時間変動をより精度良く表現できるような時系列モデルの開発が必要となるが、本研究で扱ったデータでは困難であり、今後の研究課題である。逆に本研究のようなアプローチを行うのであればより膨大な時点の長距離移動行動データが必要であることが明らかになった。

**謝辞：**本研究は、金沢大学都市河川防災寄付講座のプロジェクトとして実施された研究成果の一部です。このスペースをお借りして、支援に感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 福井市商工会議所：「豪雪の影響に関する調査（確定版）」結果要旨  
<http://www.fcci.or.jp/chousa/2017/gosetsu-chousa.pdf>
- 2) 気象庁 HP：過去の気象データ  
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 3) 関本義秀・中村敏和・増田祐介・金杉洋：大規模な GPS 位置情報をもとにした東京都市圏における震災時の行動分析,土木学会土木計画学研究・講演集,Vol.45. (2012)
- 4) 奥村誠：都市内災害復旧過程の時空間パターンの把握,携帯電話位置情報集計データの活用公益社団法人日本都市計画学会 都市計画論文集 Vol.50 No.3 (2015)
- 5) 大村暁子・山口裕通・中山晶一郎・福田大輔：長距離旅行行動の時系列変動における異常変動の抽出方法の提案,土木学会中部支部研究発表会,2018
- 6) 谷本圭志・山口博哉：携帯電話の位置情報を活用した豪雪による市民生活への影響—平成 29 年鳥取県の豪雪を対象として,公益社団法人日本都市計画学会都市計画論文集 Vol.53 No.3 (2018)
- 7) 梅田祥吾・桑原雅：気象とプローブデータを活用した統計的時系列モデルによる災害発生時の道路異常検知手法の構築,第 58 回土木計画学研究発表会・講演集

## DAMAGE OF 2018 HOKURIKU HEAVY SNOW IN DAILY TRAVEL PATTERN

Tomohiro ISHIZAKI, Hiromichi YAMAGUCHI and Shoichiro NAKAYAMA