

携帯電話位置情報を用いた 豪雨時の人の移動行動分析

銭谷 直樹¹・山口 裕通²・中山 晶一朗³

¹ 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: zeniya-28niya709@stu.kanazawa-u.ac.jp

² 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

³ 正会員 金沢大学教授 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: nakayama@staff.kanazawa-u.ac.jp

我が国では近年、異常気象・大規模水害が多発している。低頻度で発生する大規模で災害化する大雨に対して、避難勧告、大雨特別警報等の防災関連情報の発信による避難誘導といったソフト対策の充実が欠かせない。迅速な災害関連情報提供を行うため、2007年12月より「緊急速報メール」の運用がNTTドコモより開始された。しかし緊急速報メールなどの災害関連情報の配信内容が拡大されていながら、その配信時の人の移動行動の変化を定量的に分析した研究は現在ほぼないのが現状である。そこで本研究では既存研究を参考に時系列混合ガウスモデルを構築し、そのモデルを実災害時の時系列データに適用した。そして豪雨時の災害関連情報発信下において、人々の移動行動を定量的に把握した。

Key Words: *emergency alert email, big date, a heavy rain, evacuation advisory, mobile spatial statistics*

1. はじめに

我が国の国土は、夏から秋にかけては偏西風と太平洋高気圧の影響により台風が通過するため、定期的に強風・豪雨に見舞われる場所である。近年は災害化する異常気象・大規模豪雨が多発している。例えば、平成24年7月の九州北部豪雨では、阿蘇地方で観測史上最多となる3時間雨量315mmを記録して各所で土砂災害が発生するとともに、福岡県を流れる矢部川では観測史上最高水位の記録とともに堤防決壊による広域の浸水が発生した。この他、平成29年7月九州北部豪雨、平成30年7月豪雨などが挙げられる。

このような状況を踏まえ、国土交通省では平成27年1月に「新たなステージに対応した防災・減災のあり方」⁽¹⁾を打ち出した。ここでは、「比較的発生頻度の高い降雨等」に対しては施設によって防御することを基本とするが、それを超える降雨等に対しては、ある程度の被害が発生しても「少なくとも命を守り、社会経済に対して壊滅的な被害が発生しない」ことを目標としている。低頻度で発生する最大クラスの大雨等に対して、施設に

よるハード対策だけで守り切る戦略は、財政的にも社会環境・自然環境の面からも現実的ではなく、ソフト対策の充実が欠かせない。ここでの「ソフト対策」の代表的なものとしては、避難勧告、大雨特別警報等の防災関連情報の発信による避難誘導がある。災害発生時における迅速な災害関連情報の伝達は、災害が迫りくる不安の中で避難者が効率よく非難する一助となり、自然災害の人的被害を軽減するために有効と考えられる。

迅速な災害関連情報提供を行うため、2007年12月より「緊急速報メール」の運用がNTTドコモより開始された²⁾。緊急速報メールとは、携帯電話事業者が国や自治体、関係省庁が発信する災害関連情報を対応モバイル端末へ配信するサービスである。「緊急地震速報」から始まった配信内容は、2015年11月、「気象等及び噴火に関する特別警報」、2018年5月「指定河川洪水情報」と拡大している³⁾。

しかし緊急速報メールなどの災害関連情報の配信内容が拡大されていながら、その配信時の人の移動行動を定量的に分析した研究は現在ほぼないのが現状である。動的に変化する事象の分析を行うことにより、災害時の

人々の移動の実態を捉えられる、災害関連情報の効果測定など、防災計画の高度化に寄与することができる。

そのような常に流動する災害時の人の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のできる人の位置情報データが必要である。近年、人の移動行動を捉えることのできる位置情報データ、モバイル空間統計が登場した。モバイル空間統計は携帯電話の基地局との通信情報を活用して推計される携帯電話利用者の位置情報であり、このデータを統計的な推定によりエリア内における 1 時間ごとの滞在人口を推計して算出することが可能である⁴⁾。

以上の問題意識から、本研究ではモバイル空間統計を用いて、豪雨時の災害関連情報発信下で人々はどうのような移動行動をしたのか、という疑問に答えることを目的とする。

2. 本研究の位置づけ

本章では、従来型の人の移動行動データとその研究、人の移動行動を携帯電話位置情報などのモバイル端末位置情報データで分析した研究、災害時の人の移動行動に関する研究をそれぞれ整理したうえで、本研究の位置づけを述べる。

これまでの種々の行政の移動行動に関連する計画策定には、主に国勢調査とパーソントリップ調査のデータが利用されてきた。国勢調査は日本に住んでいるすべての人及び世帯を対象とする最も基本的な人口統計調査で、国勢調査から得られる基礎情報は将来に向けた様々な施策を立案・推進するために国や地方公共団体の地域の振興、住みよい街づくり、防災対策など、政治・行政において利用されることはもとより、民間企業や研究機関でも広く利用されている。一方で、パーソントリップ調査（PT 調査）は、「都市圏内での人の移動」に着目した調査であり、ある人の平日の 1 日の動きを調査した上で、それぞれの移動（トリップ）の鉄道や自動車、徒歩といった交通手段情報を取得している。そして、これらを集計して OD ペア・リンクごとの交通手段分担率や交通量などを調べている。そして、PT 調査から把握される、都市圏における複雑で多様な交通実態を用いて、将来時点における交通状態を予測し、円滑な都市機能を確保するためのインフラ整備の検討を行っている。

しかし、これら 2 つの調査は調査期間の間隔が長く、人口の流動が激しい現代社会の実態を、常に反映できているとは言い難いという課題がある。さらに、いずれも通常時の人の移動行動に留まっており、災害時に人がダイナミックに移動する行動実態を把握することは不可能である。

近年ではモバイル端末の位置情報データを用いて人の移動行動を分析する研究が増加しつつある。具体的には、GPS 情報をもとに分析したもの（関本ら、2012；石井ら、2018）⁸⁹⁾があり、Wi-Fi パケットセンシングデータを活用したもの（川野ら、2018；小林ら、2018；木崎ら、2018；寺部ら、2018）¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾などが挙げられる。しかし、GPS 情報は特定端末のみの情報しか取得しかできずデータ数が限られる。また Wi-Fi パケットセンシングデータは Wi-Fi パケットを受信するデバイス近くを通過した人のデータのみを取得するため、データ数が限られ、取得データの属性の偏りが大きい。そのため分析対象が全属性、不特定多数の男女である災害時の場合には不適である。

本研究で利用するモバイル空間統計に関する既往研究では、モバイル空間統計そのものの活用の将来性を検討したもの（寺田、2014；松原、2017）¹⁴⁾¹⁵⁾、日夜間の滞在人口変化を分析し、各地区の特性評価を行う手法を検討・提案したもの（渋谷ら、2018）¹⁶⁾などがある。これらの研究において、モバイル空間統計の利用は主に日常の人の移動や地域の特徴把握にとどまり、災害時の移動行動の分析にモバイル空間統計を用いた研究はまだ十分にされていないのが実情である。

近年、ほぼ全国範囲で継続的かつ 1 時間単位という細かい時間間隔という、時間的にも空間的にも細かい人口情報を把握することができるモバイル端末の位置情報データの活用が進みつつある。しかし、このデータを活用して「災害時の異常行動」を明らかにする方法論は、まだ十分に確立されていない状態である。そこで本論では、携帯電話位置情報を活用することで、これまでの研究ではほとんど実施することが不可能であった、災害時の人の移動行動の実態を定量的に把握するモデルを提案する。そのうえで、通常時と豪雨時に人の移動行動の差異を実際の災害を例に取り上げ分析する。

3. モバイル空間統計の概要

ドコモの携帯電話ネットワークは携帯電話が常に電話やメールなどを着信できるよう、ドコモが管理する各基地局のエリア毎に所在する携帯電話を周期的に把握している。この仕組みを利用し、各基地局が管轄するエリア内の NTT ドコモの携帯電話台数から、都市における人口分布を推計したものがモバイル空間統計である。モバイル空間統計は人口分布、性別・年齢階層別人口構成、地域間の移動人口からなる。推計対象となる空間的な範囲は携帯電話のサービスエリアとほぼ等しく、日本全国の市区町村役場を 100%カバーしている。また、時間的には最も細かい情報では、携帯電話ネットワークが各基地

局エリアに所在する携帯電話を把握する頻度（おおよそ 1 時間毎）の単位で、継続的なデータを作成することが可能である。

モバイル空間統計はその仕組み上、いくつかの留意点がある。まず各基地局のエリア単位で把握される運用データが基礎となるため、メッシュデータの空間解像度は基地局の密度（数百m～数km間隔）に依存する。また推計対象とする人口の範囲は携帯電話の利用人口に依存する。とくに、普及率が低い 80 歳以上や、携帯電話サービスの契約を行えない 14 歳以下に関する人口はモバイル空間統計の推計対象外とされており、年齢層が 15～79 歳の人口が推計対象となる。NTT ドコモの携帯電話利用者をサンプルとする統計的な推定情報であるために、真の滞在人口とモバイル空間統計により推計された人口の間には誤差が生じるため留意が必要である。また、携帯電話ネットワークは携帯電話利用者のプライバシーに関する情報を扱っているため、モバイル空間統計での人口推計にあたってはプライバシーの保護に十分に留意する必要がある。モバイル空間統計は [1] 人口統計の作成に不要な電話番号の様な個人を識別できる情報を運用データから除去する「非識別化処理」、[2] 性別・年代別などの属性別に携帯電話の台数を数え、ドコモの携帯電話の普及率を加味し人口推計を行う「集計処理」、[3] 推計人口のなかで少ない人口を除去する「秘匿処理」の三段階の手順で作成される。このような手順を踏むことにより、モバイル空間統計は集団の人数のみをあらわす人口統計となり、個人を特定することはできないように配慮されている。

4. モデルの提案

(1) 本研究の分析モデルの概要

本研究では、モバイル空間統計データによる人口推移情報を、災害がない「通常時」と「豪雨時」に比較・分離することで、災害関連情報配信下における人の移動行動を定量的に推測する方法を提示する。ここで示す方法は、大村ら(2018)¹⁷⁾の研究で提案された時系列混合ガウスモデルを改良して用いていく。

(2) 1 時間毎の推移をみる時系列混合ガウスモデル

本研究では、任意エリア内における人の移動行動の時系列推移について詳しく分析する。ここで、この移動行動の時間変動パターンは、大きく 2 つに分解できると考えてモデルを構築していく。

1 つ目の時間変動パターンは、人の移動行動パターンとして通常時で起きる可能性が非常に高い、または頻繁に起こっていると推測できる移動行動による人口の時間

変動として、「通常変動」と呼ぶ。この変動は、ある一定の周期的（あるいはカレンダーに合わせて規則的）な時間変動のパターンを持つと考えられる。

2 つ目の、「通常変動」以外の時間変動パターンは、通常時で起きる可能性が非常に低い移動パターンによる人口の時間変動として、「異常変動」と呼ぶ。例えば、大規模な災害が発生すると、避難や支援のために、普段とは異なる人の移動パターンが発生し、人口の時間推移も通常時と大きく異なる推移を示すことが予想される。本研究では、混合ガウスモデルをベースとした方法によって、人の移動行動の時間変動情報を「通常変動」と、災害時などに発生する「異常変動」に分離し、各時間において「その時間が異常であるか」を判断しながら、モバイル空間統計データによる時間変動の観測データを分析していく。

(3) 時系列混合ガウスモデル

大村ら (2018)¹⁷⁾を参考に、モバイル空間統計データによって得られる、 a 地点の d 日・ h 時台の人口推計値 $y_{a,d,h}$ が得られる確率は、異常時分布と通常時分布から得られる確率を合算したものとして、以下のように考える：

$$P(y_{a,d,h}) = \alpha_1 P_{\text{normal}} + \alpha_2 P_{\text{error}}(y_{a,d,h}) \quad (1)$$

ここで、 $P_{\text{normal}}(y_{a,d,h})$ と $P_{\text{error}}(y_{a,d,h})$ は、それぞれ平均が $(\mu_{\text{normal},a,d,h}, \mu_{\text{error},a})$ で、分散が $(\sigma_{\text{normal},a}^2, \sigma_{\text{error},a}^2)$ の正規分布に従うと考える。このとき、通常時の人口分布の平均値だけは、時間的に規則的に推移するものと考え、以下のように定式化する：

$$\mu_{\text{normal},a,d,h} = \mathbf{m}_{w(d),h} \mathbf{x}_a \quad (2)$$

$w(d)$ は日付 d の曜日を示す関数であり、 $\mathbf{m}_{w(d),h}$ は周期要素ごとのダミー変数ベクトルであり、各成分 $\mathbf{m}_{w(d),h,i}$ はある時間帯 (d, h) がその周期要素 i に該当する場合には 1、該当しない場合は 0 が入る。そして、 \mathbf{x}_a ベクトルの各要素には、場所 a における周期要素 i の振れ幅を示すパラメータが入る。1 時間単位の変動を扱う本研究では、曜日 3 種類（平日、土曜日、日曜日）× 24 時間ごとに合計 84 個の周期成分を考えることとする。本論文では、データから \mathbf{x}_a 、 $\mu_{\text{error},a}$ 、 $\sigma_{\text{normal},a}^2$ 、 $\sigma_{\text{error},a}^2$ を推計したうえで、通常時の $\mu_{\text{normal},a,d,h}$ と観測値 $y_{a,d,h}$ との差を豪雨による影響から分析していく。

このように、時系列混合ガウスモデルでは、モバイル空間統計データにより得られる滞在人口を、各時間帯に

おける観測人口の確率分布を、二つの分布を混合したものと考えることで、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災害や異常気象などに起因する異常変動を考慮することができる。なお、通常時の分布の平均値は式のように定式化されると考えて、 \mathbf{x}_a と $\sigma_{\text{normal},a}^2$ をパラメータとしてデータから推定する。

次に、災害や異常気象などの異常時では、交通機能の混乱や災害関連情報の発信などによる心理的影響によって、人々の移動行動が変化し、通常時の分布から考えにくいような滞在人口が観測されることが考えられる。そのため異常時における人口の確率分布は観測される確率は低いものの、様々な値をとりうる、つまり分散の大きい分布になると考えられる。この異常変動の分布では、平均値 $\mu_{\text{error},a}$ （時間変動ないと仮定）と分散値 $\sigma_{\text{error},a}^2$ がパラメータであり、パラメータとして推定する。

(4) パラメータ推定法

通常時における正規分布と異常時における正規分布の二つの正規分布が混合した時系列混合ガウスモデルは、ある地点 a 、日付 d 、時間 h においては式のように定式化できる。

$$\begin{aligned} p(y_{a,d,h} | \mathbf{x}_a, \mu_{\text{error},a}, \sigma_a, \alpha_a) \\ = \alpha_{\text{normal},a} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\text{normal},a}^2}} \\ \times \exp\left(-\frac{(y_{a,d,h} - m_w(d,h)\mathbf{x}_a)^2}{\sigma_n^2}\right) \\ + \alpha_{\text{error},a} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\text{error},a}^2}} \\ \times \exp\left(-\frac{(y_{a,d,h} - \mu_{\text{error},a})^2}{\sigma_{\text{error},a}^2}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

$\mathbf{x}_a, \mu_{\text{error},a}, \sigma_a, \alpha_a$ は、最尤推定法を用いてパラメータ推定を行い推定する。この時の尤度関数は、式 34 のようになる。本研究では、この尤度関数を対数化したものを最大化する、最尤推定法によりパラメータ $\mathbf{x}_a, \mu_{\text{error},a}, \sigma_a, \alpha_a$ を、空間 a ごとに推定していく。

$$\prod_{(d,h) \in D \times H} p(y_{a,d,h} | \mathbf{x}_a, \mu_{\text{error},a}, \sigma_a, \alpha_a) \quad (4)$$

ここで、 D は分析対象期間の日付集合であり、 H は1時間ごとの全時間集合（つまり、0時台、1時台、…、23時台の合計24個の成分を持つ集合）である。しかし、この尤度関数は、積と和が混合しているため微分は困難である。したがって、EMアルゴリズム¹⁸⁾を用いて各種パラメータを推定する。

5. 分析する災害事例

(1) 災害事例の概要

本章では分析対象となる実際の災害事例の概要を述べる。

取り上げる災害事例は豪雨当日の状況が似通った2つの都市を取り上げる。2017年8月台風5号が接近した際の石川県小松市と2017年7月台風3号が接近した際の広島県三次市である。取り上げる事例の概要について以下に述べる。石川県小松市では2017年8月8日から9日にかけて、台風5号の影響により石川県内では大雨となった。金沢河川国道事務所が管理する手取川・梯川においても氾濫注意水位を超過する出水となり防災体制をしき対応にあたった。この豪雨は梯川水位観測所で観測史上5番目を記録した大雨であり、小松市において13,745人に対して「避難勧告」が発令された¹⁹⁾。さらに図に示すように住民避難の目安となる氾濫危険水位を超過したため、金沢地方気象台と北陸地方整備局が共同で「氾濫危険情報」を発表するとともに、石川県内では6月15日から運用を開始した「緊急速報メール」を午前10時30分に北陸地方整備局管内で初めて発信した。

2017年7月5日から2017年6日にかけて、対馬海峡付近に停滞した梅雨前線めがけて暖かく非常に湿った空気が流れ込んだ影響などにより、線状降水帯が形成・維持され、同じ場所に猛烈な雨を継続して降らせたことから九州北部地方で記録的な降水となった²⁰⁾。この時、三次河川国道事務所が管理する江の川水系馬洗川において、7月5日6時40分に「氾濫警戒情報」が出された。さらに住民避難の目安となる氾濫危険水位を超過したため、広島地方気象台と中国地方整備局が共同で7月5日、午前8時50分に「氾濫危険情報」を発表した。また平成29年5月1日から中国地方整備局管内の国管理河川13水系で始まった緊急速報メールが、全国の国管理河川で初めて実施され、8:57に三次市全域に発令された²⁰⁾。

(2) 分析対象エリア

分析対象エリアは国土数値情報のメッシュデータを参考に決定した図-1、2に示すエリアである。分析対象エリアの近くには、一級河川である梯川と筑後川水系の馬洗川が流れている。

本研究では分析対象エリアを赤枠で囲まれた「中心部エリア」と黒枠で囲まれた「南部エリア」に分け分析を行う。赤枠の「中心部エリア」は小松市では小松駅・市役所など、三次市では三次駅・市役所などがあり通勤者・通学者数が多く朝の時間帯に流入が多いエリアとなっている。黒枠で囲まれた「南部エリア」はイオンモール新小松が立地し、昼間の時間帯では他エリアからの流

入があると考えられる。



図-1 石川県小松市の分析対象エリア



図-2 広島県三次市の分析対象エリア

(3) 使用データ

通常時の人々の移動行動を把握するために豪雨や大きな災害、イベントなどが無い約1か月間の期間を用いて4章で提案した時系列混合ガウスモデルを適用し、通常時の人の移動行動を分析する。そして豪雨当日のモバイル空間統計のデータを通常時の分析結果と重ね合わせる。石川県小松市では2017年5月29日～2017年6月25日と豪雨があった2017年8月8日のデータ。広島県三次市では2017年6月1日～2017年6月30日と2017年7月5日を用いる。

6. 豪雨時の移動行動分析

(1) 都市間での比較

図-3 は石川県小松市の中心部エリア、図-4 は広島県

三次市の中心部エリアの分析結果を表す。縦軸はエリア内の滞在人口、横軸は時刻を表す。青の点線のエリアは通常パターンを示し、赤線は豪雨当日のモバイル空間統計データより得られた滞在人口量の推計値を表す。緑の線は豪雨当日に災害関連情報が発信された時刻を示す。

図-3 を見ると、避難勧告が午前6時40分に発令されたが、その後通常パターンを大きく外れることはなかった。その後、緊急速報メールが配信された午前10時30分以後には市街地エリアでは940人程度の減少があった。しかし依然として約14,500人がエリア内に滞在していることが確認できる。

図-4 に示す三次市中心部では午前8時50分に氾濫危険水位を超過し、緊急速報メールが午前8時56分に配信された。その後350人程度の減少が見られた。しかしエリア内に3,500～3,700人程度の人々が災害関連情報配信後も依然として存在していることが確認できる。

小松市、三次市の分析結果から、災害関連情報発信後、通常時と比較しある程度の滞在人口量の減少があるが、過半数は対象エリアへの通勤・通学行動などが通常通り行われていたことがわかった。これは災害関連情報を発信することの効果は限定的なのではないかと考えられる。

図-5、6 は通常時と豪雨時の滞在人口量の差分の時系列変化を示している。横軸は時刻を示し、縦軸は滞在人口量の差分を示している。赤いヒストグラムは豪雨時の滞在人口推計量が通常時の95%信頼区間から外れた時刻を示している。

表-1、2は各時点における通常時と豪雨時における滞在人口量、豪雨時の推計値から通常時の滞在人口量の差分、その差分と通常時の滞在人口量の商である減少率を表している。この減少率の値は、豪雨時において通常時からどの程度滞在人口量が減少しているか、の割合を示している。

表-1 を見ると、豪雨当日の差分の負値は合計で-6604人であった。正值の合計は3971人。一日を通しての差分の合計値は-2633人である。つまり豪雨当日は合計で2633人の他エリアからの流入の減少があったことを示している。この減少分の人数は、普段はこのエリアに定住せず他エリアから流入してくる人々が、豪雨のためこの中心部エリアへの流入をやめた人々と考えられる。

同様に広島県三次市では、表-2 から、豪雨当日の負値は合計で2598.9人であり、正值の合計は256.9人であった。一日を通しての差分の合計値は-2342人である。この値も小松市と同様に、広島県三次市では豪雨当日、このエリアに普段流入してくる人たちのうち2342人が豪雨のためエリア内に流入するのを取りやめたと考えられる。

続いて表-1 と図-5 をみていく。石川県小松市中心部においては緊急速報メール配信直後の午前10時では

3.94%の滞在人口量の減少，午前 11 時にこの日最大の 5.93%程度の減少が見られる．最大 5.93%記録後，徐々に減少率は低下傾向にあり，夜の 19 時には通常時とさほど変わるぬ滞在人口量となった．

表-2 と図-6 を見ると広島県三次市中心部では緊急速報メールが発信された直後の午前 9 時では通常パターンを外れることはなかったが，午前 10 時にはこの日最大となる 8.85%の減少率となった．三次市の場合，小松市と異なり，減少率の

最大値を記録してからゆるやかに低下していくのではなく，15 時以降に再び減少率が増加した．

この二つの市の減少率の違いは，雨の降り方の違いによるものと考えられる．図-7，8 は小松市，三次市のそれぞれの豪雨時の一日の降雨量を示している．図-7 をみると，小松市は朝の時間帯からお昼ごろにかけて強い雨脚となり，午後になっても断続的に雨が降った．そのため，普段中心部へ流入する人たちが雨の様子をみて一日を通して流入を取りやめたために通常より減った，と考えられる．一方三次市は，図-8 をみると 11~12 時は雨が降っていないなかったため，13 時，14 時頃には普段通りに回復した．夕方以降に減少率が増加したのは，九州北部豪雨の報道を見聞きし，豪雨を警戒して通常より早く帰宅した人達が多かったのではないかと考えられる．

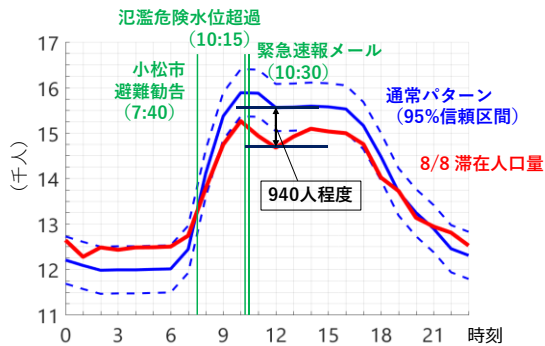


図-3 石川県小松市中心部における通常時と豪雨時の滞在人口量

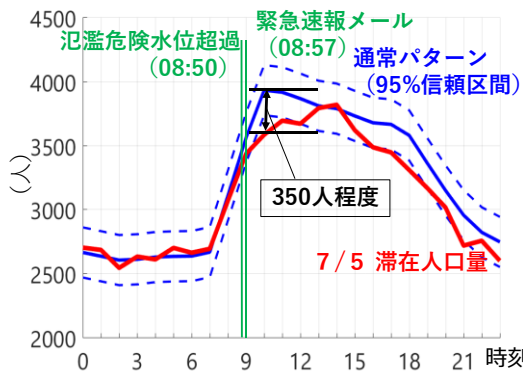


図-4 石川県小松市中心部における通常時と豪雨時の滞在人口量

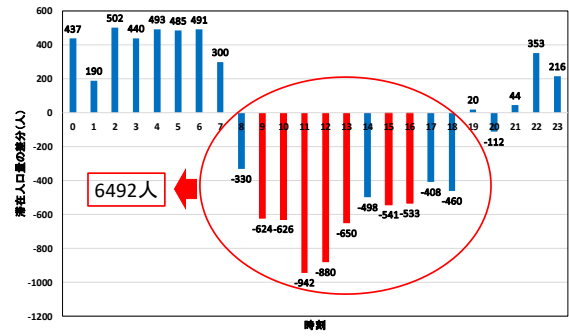


図-5 石川県小松市中心部における通常時と豪雨時の滞在人口量の差分

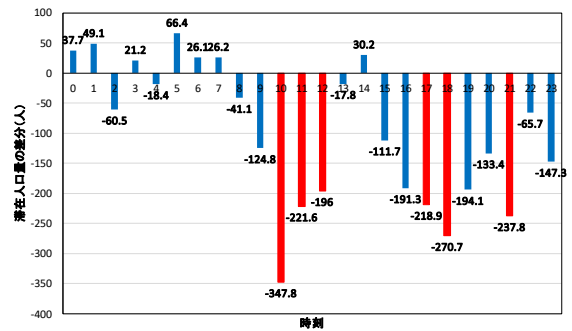


図-6 広島県三次市中心部における通常時と豪雨時の滞在人口量の差分

表-1 石川県小松市中心部における滞在人口量

時刻	通常時(人)	推計値(人)	差分(人)	減少率(=(差分)/(通常時))
0	12202	12639	437	3.58%
1	12083	12273	190	1.57%
2	11977	12479	502	4.19%
3	11987	12427	440	3.67%
4	11986	12479	493	4.11%
5	11998	12483	485	4.04%
6	12007	12498	491	4.09%
7	12438	12738	300	2.41%
8	14110	13780	-330	-2.34%
9	15369	14745	-624	-4.06%
10	15884	15258	-626	-3.94%
11	15873	14931	-942	-5.93%
12	15557	14677	-880	-5.66%
13	15567	14917	-650	-4.18%
14	15589	15091	-498	-3.19%
15	15572	15031	-541	-3.47%
16	15526	14993	-533	-3.43%
17	15159	14751	-408	-2.69%
18	14477	14017	-460	-3.18%
19	13703	13723	20	0.15%
20	13245	13133	-112	-0.85%
21	12895	12939	44	0.34%
22	12452	12805	353	2.83%
23	12305	12521	216	1.76%
合計	329961	327328	-2633	

表-2 広島県三次市中心部における滞在人口量

時刻	通常時(人)	異常時(人)	差分(人)	減少率(=(差分)/(通常時))
0	2663.3	2701	37.7	1.42%
1	2633.9	2683	49.1	1.86%
2	2603.5	2543	-60.5	-2.32%
3	2609.8	2631	21.2	0.81%
4	2627.4	2609	-18.4	-0.70%
5	2632.6	2699	66.4	2.52%
6	2634.9	2661	26.1	0.99%
7	2665.8	2692	26.2	0.98%
8	3108.1	3067	-41.1	-1.32%
9	3558.8	3434	-124.8	-3.51%
10	3930.8	3583	-347.8	-8.85%
11	3914.6	3693	-221.6	-5.66%
12	3865	3669	-196	-5.07%
13	3808.8	3791	-17.8	-0.47%
14	3786.8	3817	30.2	0.80%
15	3729.7	3618	-111.7	-2.99%
16	3676.3	3485	-191.3	-5.20%
17	3663.9	3445	-218.9	-5.97%
18	3577.7	3307	-270.7	-7.57%
19	3360.1	3166	-194.1	-5.78%
20	3148.4	3015	-133.4	-4.24%
21	2954.8	2717	-237.8	-8.05%
22	2820.7	2755	-65.7	-2.33%
23	2745.3	2598	-147.3	-5.37%
合計	76721	74379	-2342	

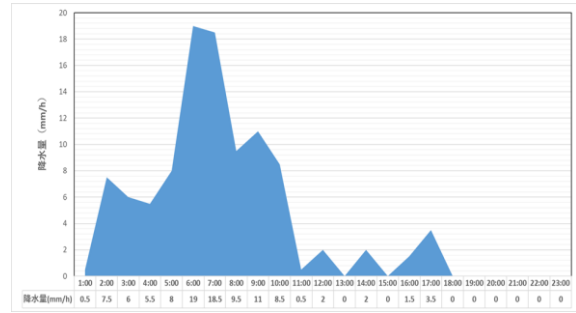


図-7 石川県小松市の降水量 (2017/08/07)

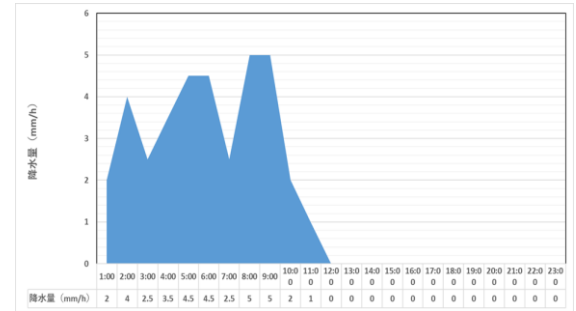


図-8 広島県三次市の降水量 (2017/07/05)

(2) 中心部と郊外の比較

図-5を見ると、石川県小松市中心部においては避難勧告が午前7時40分に発表され、発表直後の午前8時頃から、通常時に比べ滞在人口が減少している。緊急速報メール配信直後の午前10時では626人の減少、午前11時にこの日最大の942人の減少が見られる。ピーク値を記録後、徐々に差分は低下傾向にあり、夜の19時には通常時とさほど変わるぬ滞在人口量となった。避難勧告があつてから、通常パターンに戻るまで6492人の減少があつた。

小松市南部の分析結果を示す図-9を見ると、午前中では中心部エリアと同様に、滞在人口の減少が確認できる。しかし、午後には通常時と比べ滞在人口が増加している。南部エリアにおける通常時と豪雨時の滞在人口量の差分を示す図-10をみると、10時~12時に通常時から減少した人数は1902.2人であり、15時~17時に通常時から増加した人数は1706.2人であった。この差分は-196人であった。これは普段午前中にイオンモール新小松に行く人々が、災害関連情報を取得し、雨の様子を見て普段より時間を遅らせて向かったと考えられる。そのため10時~12時には通常パターンを外れた。しかし雨が弱まった午後には、普段午前中に行く人々と普段午後に行く人々がイオンモール新小松に向かったため、通常パターンより多い滞在人口量が推計されたと考えられる。また差分がマイナスになったのは、豪雨のためにイオンモール新小松に向かう人が減少したためと考えられる。

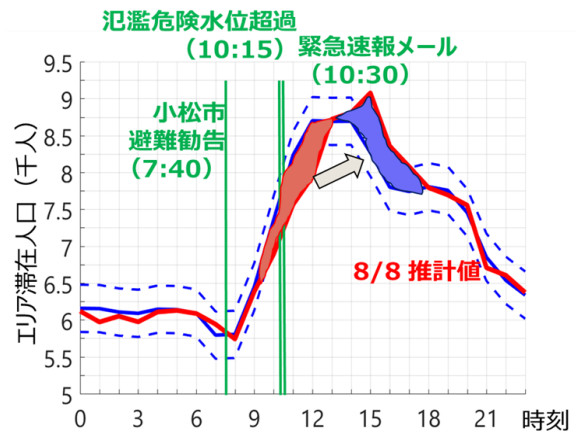


図-9 石川県小松市南部における通常時と豪雨時の滞在人口量

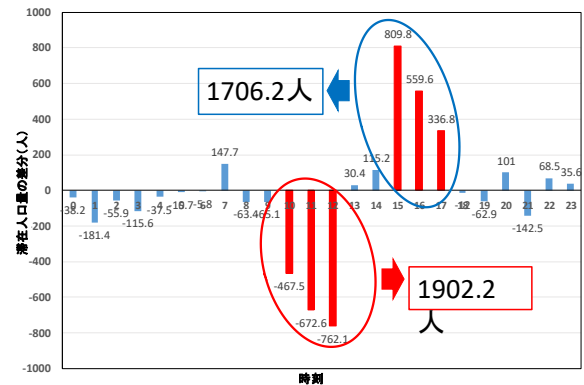


図-10 小松市南部における通常時と豪雨時の滞在人口量の差分

7. おわりに

(1)まとめ

本論では、大村ら (2018)¹⁷⁾の時系列混合ガウスをより時間的に細かい単位で分析できるように修正し、「モバイル空間統計データ」に適用することで、通常時の人の移動行動の時間変動を定量できに分析した。

この結果、大雨時を含む石川県小松市、広島県三次市の滞在人口量の時系列変動から、豪雨時において災害関連情報発信後の滞在人口量の変動の傾向については、都市による違いはないことがわかった。

また石川県小松市の中心部と南部エリアの比較分析から、エリアの特徴の違いにより豪雨時における滞在人口量の時系列変動に違いがあることが分かった。このことから、異常時における災害対策は、市域という広いエリア一体で行うのではなく、より小さな単位で各エリアの人の移動行動に合わせて行う必要があると考えられる。

(2)今後の課題

本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適用することにより、災害時の避難に関する動的に変化する事象の分析を行うことができた。こ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、様々な災害時における人々の異常行動を明らかにしていきたい。例えば、平成 30 年に大阪府で大きな被害をもたらした 3 つの災害（大阪府北部の地震、平成 30 年 7 月豪雨、平成 30 年台風 21 号）での携帯電話位置情報データに照合することで、災害の種類による人の移動行動の違いの解明、平成 30 年台風 21 号において JR 西日本が行った計画運休の効果測定などである。

謝辞：

本研究は、科学研究費補助金・若手研究(B)17K14736、文部科学省卓越研究員事業、ならびに金沢大学都市・河川防災寄付講座によって支援された研究成果の一部である。また、本研究を進めるにあたって、都市河川防災寄付講座のシンポジウム・防災計画研究会において、多くの有意義なアドバイスをいただいた。この場を借り、皆様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 国土交通省 (2015) 「新たなステージに対応した防災・減災のあり方」 <<http://www.mlit.go.jp/common/001066501.pdf>> (参照 2019-1-27)
- 2) NTT ドコモ (2007) 「緊急速報「エリアメール」を提供開始-携帯電話で「緊急地震速報」が受信可能に<
<https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/page/071126_00.html> (参照 2019-02-01)
- 3) 国土交通省 (2018) 「洪水情報の緊急速報メール配信をすべての国管理河川に拡大します！～洪水時における住民の主体的な避難の促進に向けて～」 <<http://www.mlit.go.jp/common/001227903.pdf>> (参照 2019-02-01)
- 4) NTT ドコモ 「モバイル空間統計」 <https://www.nttdocomo.co.jp/biz/service/spatial_statistics/> (参照 2019-02-01)
- 5) 清家剛・三牧浩也・原祐介・小田原亨・永田智大・寺田雅之：まちづくり分野におけるモバイル空間統計の活用可能性に係る研究，都市計画論文集，Vol.46, No.3, 2011
- 6) 森尾淳・山下良久・萩原剛・河上翔太：時系列データを用いたガソリンスタンド等の立地と撤退に関する一考察，土木計画学研究発表会・講演集，vol58, 2018
- 7) 土井勉・白水靖郎・南部浩之・松島敏和：パーソントリップ調査から見た交通行動の変化と交通計画の課題～近畿圏 PT 調査を題材として～，土木計画学研究・講演集，vol45, 2012
- 8) 関本義秀・中村敏和・増田祐介・金杉洋：大規模な GPS 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，土木計画学研究・講演集，vol45, 2012
- 9) 石井良治・末成浩嗣・越智健吾・関信郎・大塚賢太・酒井幸輝・會田優磨・南川敦宣，携帯電話 GPS ビッグデータの都市交通分野における活用に向けた信頼性検証，土木計画学研究発表会・講演集，vol58, 2018
- 10) 川野倫輝・円山琢也：トピックモデルを用いたスマホ型回遊調査データの基礎分析，土木計画学研究発表会・講演集，vol58, 2018
- 11) 小林巴奈・福田大輔・中西航・内田賢悦・浅田拓海・有村幹治・菅芳樹：Wi-Fi パケットセンシングデータを用いた広域観光周遊行動のモデル分析，土木計画学研究発表会・講演集，vol58, 2018
- 12) 木崎凜太郎・川野倫輝：トピックモデルによる熊本大学構内のスマホ型回遊行動調査データの基礎分析，土木計画学研究発表会・講演集，vol58, 2018
- 13) 寺部慎太郎・一井啓介・柳沼秀樹・小野瑞樹・康楠・田中皓介：Wi-Fi パケットセンサーを用いた歩行観光客周遊行動の二か年比較，土木計画学研究発表会・講演集，vol58, 2018
- 14) 寺田雅之：モバイル空間統計：携帯電話ネットワークを活用した人口推計技術とその応用，土木計画学研究発表会・講演集，vol58, 2018
- 15) 松原徳和：モバイル空間統計による動態人口把握観光防災，帰宅困難者対策の観点から，情報管理 2017.10,vol.60 no.7

- 16) 渋川剛史・十河孝介・服部楓・森本章倫：携帯電話基地局データを活用した地区特性評価手法の検討～昼夜間人口変動に着目した評価～，土木計画学研究発表会・講演集，vol58，2018
- 17) 大村暁子：時系列混合ガウスモデルを用いた長距離旅行者量の日変動分解，金沢大学平成 29 年度学士学位論文
- 18) 中井悦司:IT エンジニアのための機械学習理論入門，技術評論社，2016
- 19) 金沢河川国道事務所（2017）「梯川において観測史上 5 番目の規模の洪水に対し，河道拡幅・赤瀬ダム操作の連携により氾濫被害を防止～平成 29 年 8 月 8 日発生[台風 5 号]手取川・梯川出水の国・県の対応～」 <
<http://www.hrr.mlit.go.jp/press/2017/10/171027kanazawa-1.pdf>>（参照 2019-1-27）
- 20) 内閣府（2017）「平成 29 年 7 月九州北部豪雨の被害状況」 <
http://www.bousai.go.jp/fusuigai/kyusyu_hinan/pdf/dai1kai/siryu2.pdf>（参照 2019-1-27）
- 21) 国土交通省中国地方整備局三次河川国道事務所（2017）「緊急速報メールを活用した洪水情報のプッシュ型配信を全国の国管理河川で初めて、江の川水系で実施しました。」 <
http://www.cgr.mlit.go.jp/miyoshi/press/H29/0705_1.pdf>（参照 2019-02-01）

(Received March 10, 2009)

QUANTITATIVE ANALYSIS OF BEHAVIOUR UNDER THE FLOOD
 EMERGENCY ALERT BY MOBILE PHONE LOCATION DATA

Naoki ZENIYA, Hiromichi YAMAGUCHI and Shoichiro NAKAYAMA