

携帯電話人口統計を用いた災害時における都市内人口の分布変化に関する研究
—平成 30 年北海道胆振東部地震の事例—

小野塚仁海*・橋本雄一**

**Intra-urban Population Changes in the Event of Disaster using Mobile Phone Demographics:
a Case Study of the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake**

Masami ONOZUKA *, Yuichi HASHIMOTO**

Abstract: This study aimed to clarify the changes in the population distribution in Sapporo after this earthquake using mobile phone statistics. Furthermore, this attempted to detect population concentration at escape sites after the disaster. As a result, the daytime population in the central area was significantly reduced due to the decline in urban activity after the earthquake. In addition, it was confirmed that a large number of people stayed in some of the residential areas in the surrounding area. However, in the analysis, no clear trend emerged from this data regarding the concentration of evacuees in escape sites.

Keywords: 平成 30 年北海道胆振東部地震(2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake), 携帯電話人口統計 (mobile phone demographics), 大規模停電(wide and long-term power outage), 滞留人口(floating population)

1. はじめに

携帯電話人口統計は、スマートフォンなどの高性能携帯電話により常時測位される位置情報を収集・集計したものである。これらのデータを用いることで、特定の時刻における人口の分布や人流などを推測できるため、近年これらを活用し災害時のミクロな人の分布や移動を分析する試みが活発に行われている。例えば、2016 年に発生した熊本地震を事例とした、Yabe et al(2016), 瀬戸他(2016), 船越他(2017)の各研究では、災害による避難者の移動や集中を、携帯電話人口統計をもとに読み解くための手法の高度化が目的とされている。しかし、被害状況や避難所における避難者数の推移などに関する空間的データと組み合わせた研究は、いまだに稀である。

そこで本研究では、2018 年 9 月 6 日に発生した北海道胆振東部地震後の札幌市を事例に、携帯電話人口統計の一種である「混雑統計」を用いて、地震と停電が都市内人口の分布に与えた影響について明らかにする。特に、札幌市内の避難所について、実際に集

計された避難者数と携帯電話人口統計を合わせて用いることで、都市部および都市近郊における停電下での避難行動が、携帯電話人口統計に及ぼす影響について明らかにする。

2. 研究の方法

研究方法は次のとおりである。はじめに、北海道胆振東部地震の被害状況について、北海道および札幌市の検証、札幌市内の避難所における避難者数の推移をもとに概観する。次に、混雑統計データを用い、地震発生後の人口分布が平常時と比較してどのような傾向を示すのかについて、平常時との差分と空間的自己相関分析を用いて明らかにする。次いで、平常時との人口分布の差が札幌の都市構造や避難所等の施設分布とどのように対応するのか推計し、これらをもとに考察を行う。

3. 本研究で用いる携帯電話人口統計

本研究で用いる携帯電話人口統計は、NTTドコモ社が収集・集計したデータをもとにゼンリンデータコム社が提供する混雑統計である。このデータは、

* 学生会員 北海道大学大学院文学院博士後期課程 (Graduate School, Hokkaido University)

〒060-0810 北海道札幌市北区北 10 条西 7 丁目 E-mail : oniten@eis.hokudai.ac.jp

** 正会員 北海道大学大学院文学研究院 (Hokkaido University)

データ提供に同意したスマートフォンから5分に1回送信される位置データを、個人が特定できないよう集計・匿名化し提供するものである。

本研究では、『混雑統計』データのうち、滞留人口を示す『混雑度』データを用いた。データの集計単位は250mメッシュであり、取得対象とした期間は、胆振東部地震が発生した2018年9月6日を含む、9月1日から9月30日までの30日間とした。また、朝（午前6時から午前9時まで）、昼（午前11時から午後2時まで）、夕（午後5時から午後8時まで）、深夜（午後11時から翌午前2時まで）の四つの時間帯を設定し、のべ120の時間帯にわたる混雑度を取得した。

4. 平成30年北海道胆振東部地震の概要

2018年北海道胆振東部地震は、2018年9月6日午前3時7分に発生した地震である。震源に近い厚真町で震度7、安平町やむかわ町で震度6強を観測し、厚真町を中心に土砂災害などにより北海道全体で死者43名、重傷者48名の人的被害が生じた。また、家屋への被害も広範囲で発生した。

本地震における特筆すべき事象として、北海道全域に及ぶ大規模停電が引き起こされたことが挙げられる。停電の影響は、水道など他のライフラインや公共交通、流通にも波及した。

本研究の対象地域となる札幌市では、死者3名、負傷者295名の人的被害を生じ、また液状化現象が発生した市南東部清田区で住家73棟が全壊した。また、北海道電力札幌管内では、停電の影響が地震発生から約44時間後の7日22時48分まで続いた。

札幌市では、地震後に300か所の避難所を開設しており、9月7日朝には最大10297人に達した。

避難者数は、揺れの大きかった市東部・北部で先行して増加し、6日夜には札幌市中心市街地で大幅に増加、揺れの比較的小さかった市中心部、西部、東部などでも避難者数の増加が見られた。7日昼から8日にかけて、停電の解消に伴って避難者数が市内全域で減少した（図1）。

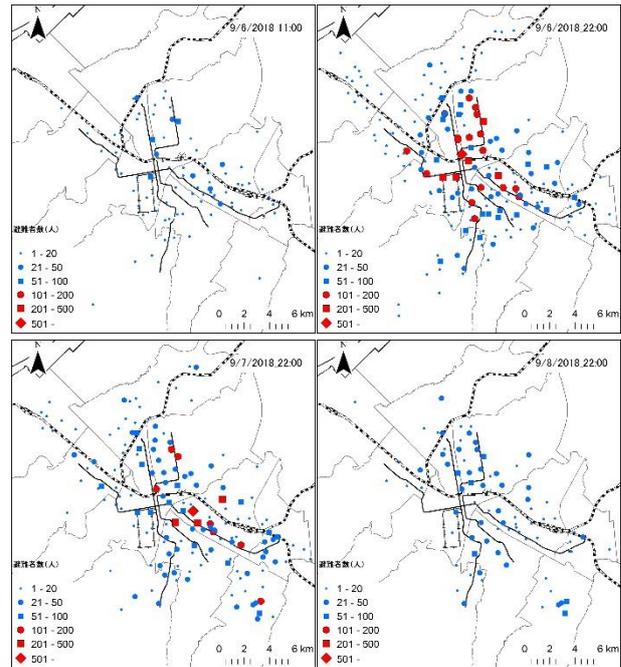


図1 札幌市における避難者数の推移
札幌市危機管理対策室資料により作成。

5. 札幌市周辺における地震後の人口分布傾向変動

5.1. 分析手法

本研究では、2018年9月の平日のうち、地震の影響が少ないと考えられる日時を対象とし、その平均値を「平常時の混雑度」として用いることにした。また、地震後各時間帯の混雑度と「平常時の混雑度」の差分をとることで、地震による人口分布の変動を求めた。

さらに、求められた人口分布の変動にどのような特徴があるか検出するため、値に特徴のある地域の集積する地域（空間クラスター）の有無と分布を統計的に特定する Getis-Ord G_i^* 統計量を用いた処理を行った。

5.2. 結果

前段で推計した平常時の混雑度と比較する形で、地震発生後の各時間帯における人口分布の変動を推計した。その結果、市中心市街地において地震発生当日の昼の時間帯から8日にかけて、平常時よりも混雑度が低い状況が続いたこと、市街地周辺の地域において混雑度が平常時より高い地域がま

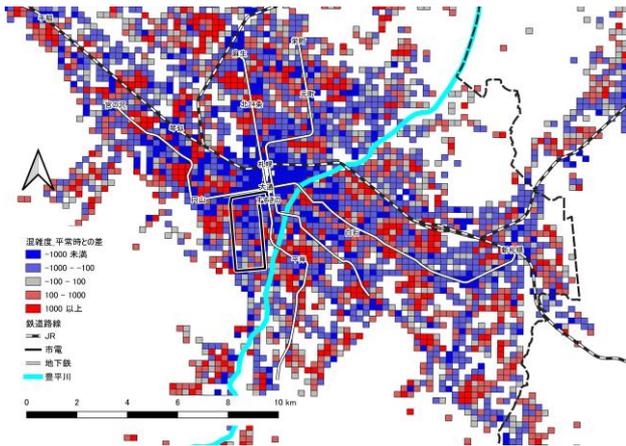


図 2-1 混雑度の平常時との差 (9月6日昼)

「混雑統計」より作成

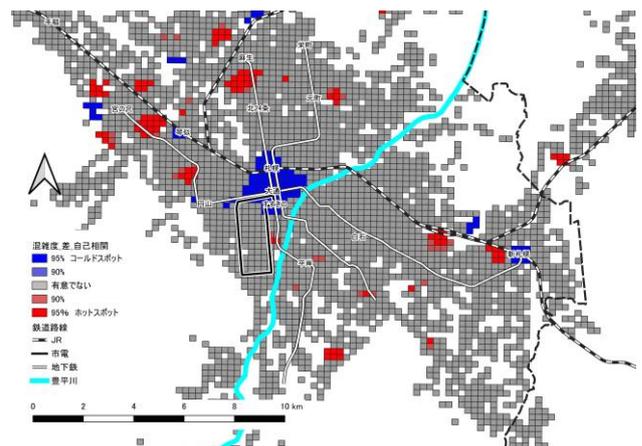


図 3-1 空間クラスターの分布 (6日昼)

「混雑統計」より作成

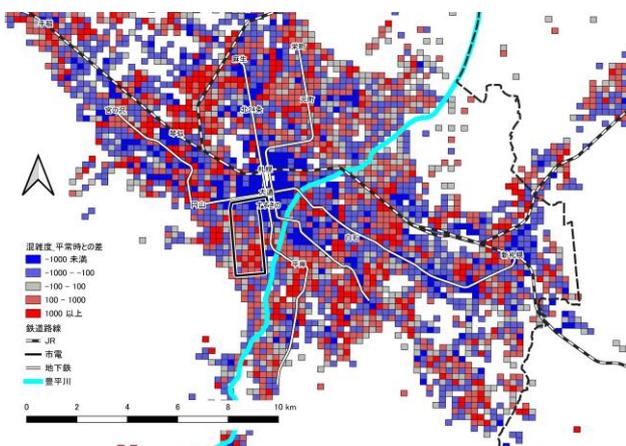


図 2-1 混雑度の平常時との差 (9月7日昼)

「混雑統計」より作成

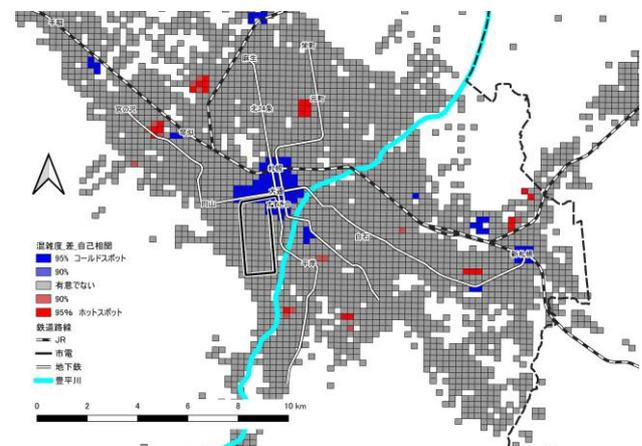


図 3-2 空間クラスターの分布 (7日昼)

「混雑統計」より作成

だらに分布することが示された(図 2-1,2-2). G_i^* 統計量を用いて空間クラスターを推計した結果, 6日朝から8日朝にかけて, すべての時間帯において札幌駅・大通駅周辺にコールドスポット(低い値のクラスター)が検出された. また, 宮の沢駅南東, 麻生駅南北などの地域で, 時間的に連続したホットスポット(高い値のクラスター)を確認できた. 周辺部では, ほかにもホットスポットが見られた(図 3-1,3-2).

6. 混雑度の変動と避難者数の関係

6.1. 分析手法

はじめに, 周囲とは異なる数値の傾向を示す「空間的外れ値」を検出することができる Local Moran's I 統計量を用いて, 混雑度の平常時との差において特異な傾向を示すメッシュの分布を推定

し, 避難所などの施設周辺における混雑度が周囲と異なる傾向を示すか確認した. ここでは, 避難者数がピークに達しており, 避難者の避難所への集中が混雑度に最も影響を与えていたと考えられる9月7日「朝」の時間帯について, 「平常時との混雑度の差」を属性値として用い, Local Moran's I 統計量を算出した. その際に空間重み行列には, 距離の逆数を用いた.

次いで, 避難所において集計された避難者数と避難所周辺における混雑度の関係を明らかにするため, 集計された避難者数と各避難所の立地するメッシュにおける混雑度の平常時との差の値を用いて単回帰分析を行った.

避難所における避難者数の集計値は, 混雑度の集計単位に合わせ, 6日朝から11日朝までの集計

値を用いた。避難所においては、混雑統計の「深夜」にあたる時間帯の避難者数集計は行われておらず、7日「夕」の時間帯にも集計結果がないため、対象となる時間帯は16時間帯となる。これら16の時間帯のうち、避難者数および混雑度の双方が使用可能な時間帯が6時間帯以上だったものに対し分析を行った。分析対象は、市内240か所の避難所のうち99か所であり、これら避難所について最小二乗法による単回帰分析を行った。

6.2. 結果

9月7日「朝」における、「平常時との混雑度の差」を属性値として用いたLocal Moran's I統計量の計算結果を図4に示す。また、外れ値を示す地域と避難所の立地についてみるため、避難所の立地を黄丸で示す。

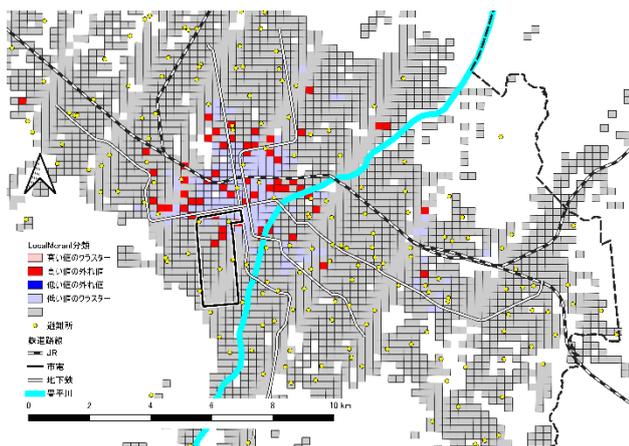


図4 空間的外れ値と避難所の分布

「混雑統計」、札幌市危機管理対策室資料より作成

平常時よりも混雑度が低い地域が広がっていることを示す薄青の地域が、中心市街地を中心に広がっており、その周辺に高い値の外れ値を示す濃赤のメッシュが分布する。高い値の外れ値を示すメッシュは、周囲の傾向と比べて混雑度が高い地域であり、避難者数がピークに達した7日「朝」においては、避難者が集中した地域と推察されるが、実際には避難所の分布と外れ値の分布に関連は薄い。高い値の外れ値を示した59メッシュのうち、避難所が立地するのは3メッシュのみであった。また、高い値の外れ値を示すメッシュに立地する避難所のうち、最大避難者数が100人を超え

るものは1つのみであった。

避難所ごとに求められた回帰モデルにおける回帰係数を図5に示す。図中で青く示されている避難所は、回帰係数が負の値であり、避難者数が増加すると混雑度が減少する傾向がある地域である。最大避難者数が500人を超えた大規模な避難所においても、回帰係数が負の値をとる例が見られた。

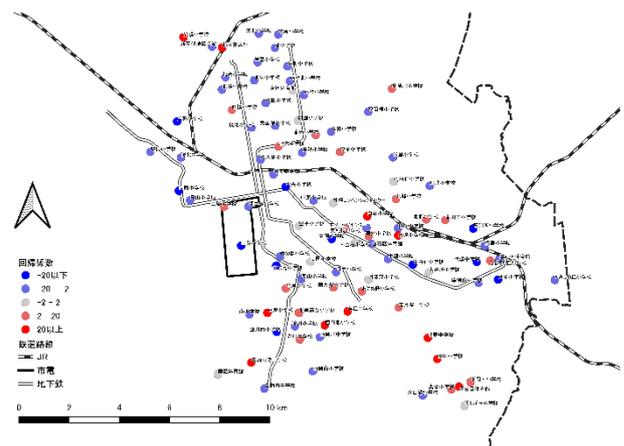


図5 避難所ごとの回帰モデルの回帰係数「混雑統計」、札幌市危機管理対策室資料より作成

7. おわりに

本研究は、平成30年北海道胆振東部地震を事例に、携帯電話人口統計データの一種である混雑統計と、避難所等で集計された避難者数のデータを用いることで、札幌市における人口分布の変動とその特徴を明らかにした。

その結果、混雑統計混雑度データからは、中心市街地における昼間人口の減少など、地震の影響により平常時と異なる人口分布が見られた。特に、混雑度による空間クラスターからは、通勤・通学・買物等の減少によって札幌市の中心市街地で滞留人口が平常時より大幅に少ないことが確認された。また、周辺部の住宅地でホットスポットが検出されるなど、地震により異なる人口分布となっていることが明らかになった。

しかし、実際の避難者の分布と、混雑統計における避難所周辺の混雑度との関係については、明確な関係が見られなかった。携帯電話人口統計を用いて避難所等災害時に避難者が集まる地域を推定

する試みは、熊本地震における事例を中心に、これまで多く行われており、それぞれ避難所等に避難者が集まっている様子がある程度検出できたとされている。しかし、本研究においては、空間的外れ値と避難所の分布、避難所における避難者数の集計値と混雑度の相関などで関連は見られず、本事例において混雑した避難所について携帯電話人口統計を用いて検出することは困難であると考えられる。

札幌市の調査によれば、札幌市の住民のうち、避難所に避難したのは0.5%であり(札幌市,2019)、多くの住民(76.1%)は自宅に留まっている。加えて、避難所への避難者は札幌市の都市部全域に広く分布しており、特定の地域において多くの住民が避難を行った様子は市南東部を除いて見られないため、携帯電話人口統計の枠組み内では避難者の検出が困難であったと考えられる。

加えて、携帯電話の電源状況と避難決心に関係があることも考えられる。そのため、避難所内におけるサンプルレートが避難所外よりも低くなり、携帯電話人口統計を用いた避難所混雑の検出が困難になっている可能性もある。

携帯電話人口統計上に現れる地震災害の影響は、その地震災害の特性によって大きく変化すると考えられる。リアルタイムで取得することが可能な携帯電話人口統計は、災害研究だけでなく防災の現場においても有用なデータであると考えられるが、その活用方法の検討のためにはさらなる事例の研究が必要である。

本研究では、特に避難所周辺における滞留人口の変化に着目した分析を行った。しかし、災害時に人が集中する施設は、ほかに商業施設なども想定される。また、避難先として避難所以外の施設・住宅などに向かう事例も多くみられる(札幌市,2019)。今後「避難所への避難」だけでなく、様々な行動を対象として分析を行う必要がある。

混雑統計について

「混雑統計[®]」データは、NTTドコモが提供するアプリケーション(ドコモ地図ナビサービス(地図アプリ・ご当地ガイド)等の一部のアプリ)の利用者より、許諾を得た上で送信される携帯電話の位置情報を、NTTドコモが総体的かつ統計的に加工を行ったデータ。位置情報は最短5分毎に測位されるGPSデータ(緯度経度情報)であり、個人を特定する情報は含まれない。

付記

本研究は、文部科学省「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画(第二次)」及びJSPS科研費19K01166「千島海溝地震による津波の避難行動モデル化と情報統合システム構築」における成果の一部である。

参考文献

- 瀬戸寿一, 檜山武浩, 関本義秀 (2016) : 平成28年熊本地震における携帯電話位置情報を用いた避難所の混雑度推計, 地理情報システム学会講演論文集, 25, C-3-2.
- 船越康希, 畑山満則 (2017) : 熊本地震における避難所の同定手法の提案とそれを用いた支援政策に関する研究, 研究報告情報システムと社会環境 (IS), 2017-IS-139(3), 1-8.
- Takahiro Yabe, Kota Tsubouchi, Akihito Sudo, Yoshihide Sekimoto (2016) : A framework for evacuation hotspot detection after large scale disasters using location data from smartphones: case study of Kumamoto earthquake. Proc. of 24th International Conference on Advances in Geographic Information Systems. (ACM SIGSPATIAL 2016)
- 札幌市 (2019) : 『平成30年北海道胆振東部地震対応検証報告書』札幌市.
- 北海道 (2018) : 『平成30年北海道胆振東部地震災害検証報告書』北海道.