

# 携帯電話人口統計を用いた災害発生直後の都市における 人口分布変化に関する研究

- 平成 30 年北海道胆振東部地震発生後の札幌を事例に -

小野塚仁海\*・橋本雄一\*\*

## CHANGES IN SPATIOTEMPORAL PATTERN OF POPULATION DISTRIBUTION IN A CITY JUST AFTER AN EARTHQUAKE DISASTER -A case study on Sapporo after the Hokkaido Eastern Iburi earthquake -

Masami ONOZUKA, Yuichi HASHIMOTO

Mobile location statistics enables to analyze the spatiotemporal pattern of population distribution which seen after the disasters.

In this study, we aim to clarify spatial pattern of the change in population distribution in Sapporo just after the Hokkaido Eastern Iburi earthquake. Firstly, we extracted districts of which population shows daily pattern clearly, and classified those districts into two types defined by the peak hour of population. Next, we estimated the change in spatiotemporal pattern of population distribution after the disaster and discussed factors those affects on the change.

In this study, it is shown that differences in population compare to normal time are diverse in residential areas, while it tends to decrease in business areas. Therefore, it is assumed that there are some more factors affect on population distribution seen just after a disaster.

**Keywords:** 携帯電話人口統計 (Mobile Location Statistics), 時空間分布 (spatiotemporal distribution), 平成 30 年北海道胆振東部地震 (Hokkaido Eastern Iburi earthquake)

### 1. はじめに

#### 1.1. 携帯電話人口統計の防災研究における活用

携帯電話をはじめとする移動体通信の普及に伴い、近年端末の位置情報を集計した「携帯電話人口統計」と呼ぶべき一連の統計データが、通信事業者や関連事業者等から提供されるようになった。これらの統計データは、災害等のイベント発生時にさかのぼって取得が可能であるため、この特性を活用し、災害発生前後の被災者の行動について分析する研究が行われている。

奥村 (2015) では、2011 年に発生した東日本大震災前後の仙台市中心部を事例に、災害からの復旧課程で生じる人口分布の時空間パターンについて明らかにしている。また、避難者の集中などの事象を携帯電話人口統計を用いることで把握する試みも見られる。例えば、Yabe et al (2016), 瀬戸他 (2016), 船越他 (2017) では、避難者が集中した地区の検出を試みている。しかし、これらの事例をはじめ携帯

電話人口統計を用いた様々な研究が行われているにもかかわらず、特に迅速な状況の把握と意思決定が求められる発災直後における都市内部の時空間構造についてはこれまで明らかになっていない。例えば、奥村 (2015) では、データ取得状況が不安定であることにより発災後 4 日間を除外した分析を行っており、発災直後に生じた時空間パターンについては明らかになっていない。また、避難者の集中等に関する研究では、発災直後の時間帯についても対象とされているものの、都市内部で見られる人口変動の空間的構造については明らかになっていない。そこで本研究では、平成 30 年北海道胆振東部地震発生直後の札幌を事例に、災害発生直後の都市における人口分布の変化について、その空間的特徴を把握するための分析方法を提案する。

#### 1.2. 平成 30 年北海道胆振東部地震について

平成 30 年北海道胆振東部地震は、2018 年 9 月 6

\* 学生会員 北海道大学大学院文学院博士後期課程 人間科学専攻 (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 文学研究科 (Hokkaido University)

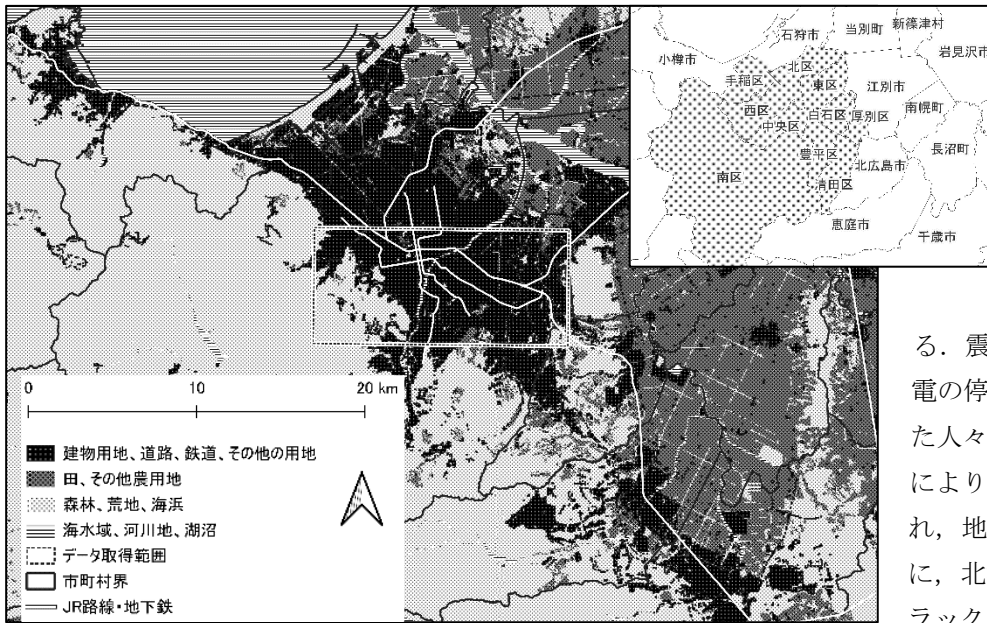


図 1 札幌市周辺の土地利用

国土数値情報「土地利用細分メッシュ（平成 28 年度）より作成

表 1 札幌市各区における住家の被害  
(2018 年 10 月 19 日まで)

	住家 全壊	住家 半壊	住家 一部損壊	合計
中央区			38	38
北区	1	33	248	282
東区	1	52	660	713
白石区	1	108	374	483
厚別区		6	116	122
豊平区	6	14	198	218
清田区	73	238	1372	1683
南区		2	100	102
西区			39	39
手稲区	1	1	57	59

札幌市 第 14 回災害対策本部会議資料より作成

日 3 時 7 分に発生した地震である。北海道胆振地方中東部の深さ 37 km を震源とする内陸型地震であった。震源に近い厚真町で最大震度 7、安平町およびむかわ町で震度 6 強を観測した。

厚真町を中心に大規模な土砂災害が発生し、北海道全体で死者 48 名の人的被害が生じ、

北海道全体で住宅全壊 469 棟、半壊 1660 棟の被害が生じた（北海道, 2018）。

本震災において特筆すべき点として、大規模

模停電の発生があげられ

る。震源付近の発電所における発電の停止や地震発生により起床した人々による電力需要の増加などにより電力の需給バランスが崩れ、地震発生 18 分後の 3 時 25 分に、北海道全域における停電「ブラックアウト」が発生した。北海道電力札幌管内において電力供給が正常化したのは、7 日 22 時 48 分であった。

札幌市内においては、東区で最大

震度 6 弱を観測し、死者 3 名、負傷者 295 名の人的被害が生じた。また、液状化現象が発生した清田区、軟弱地盤を抱える北区、東区、白石区を中心に住家の被害も多数発生した（表 1）。

札幌市内を走る JR 路線、地下鉄、市電（路面電車）は、地震発生当日の 6 日には終日運休、7 日には一部運行再開となり、平常通りの運行となったのは 8 日からである。また停電により、信号機や街灯などが機能せず、自動車交通にも支障が発生した。

### 1.3. 研究方法

本研究では、平成 30 年北海道胆振東部地震発生直後の札幌を対象に、災害直後の都市内部における人口分布変化の特徴を明らかにすることを目的とする。そのため、2. においてまず研究対象地域およびその周辺の都市構造について概観したのち、3. において本研究で使用する携帯電話人口統計の概要と対象期間内における振舞いを示す。さらに、4. において、平常時における日周人口変動とその特徴に基づいて地域を分類する。ついで、5. において地震発生直後の各時間帯における、平常時からの人口変動の大きさについて推計し、その分布を示す。

## 2. 対象地域について

本研究では、札幌市の中心市街地を含む東西約20km、南北約10kmの範囲の携帯電話人口統計データを取得し、研究対象とする。

札幌は北海道道央地方に位置する北海道最大の都市である。2020年の札幌市の人口は約197万人であり、北海道全体の三分の一以上の人口が集中している、北日本における政治、経済、文化の中心地である。札幌市の市街地は札幌市域の北東部に位置しており、石狩平野の南西端部、豊平川の扇状地から石狩川、石狩湾に向かって広がっている。市街地は小樽市、石狩市、江別市、北広島市にも一部またがっ

て広がっている。市街地南西側は余市岳、札幌岳等に連なる山地である。市街地東方には野幌丘陵が存在し、森林が広がっている。

札幌市中心部の様子について、図2に示す。また、札幌市中心部における居住人口の分布について図5に、就業者の分布について図6に示す。さらに、業務機能の居住機能に対する相対的な集積度合を見るため、図7に居住人口に対する就業者数の割合を示す。

研究対象地域北部西側には、札幌駅からすすきの地区にかけて商業集積地域が南北約2kmにわたって広がっている。札幌駅北西には、北海道大学の敷地

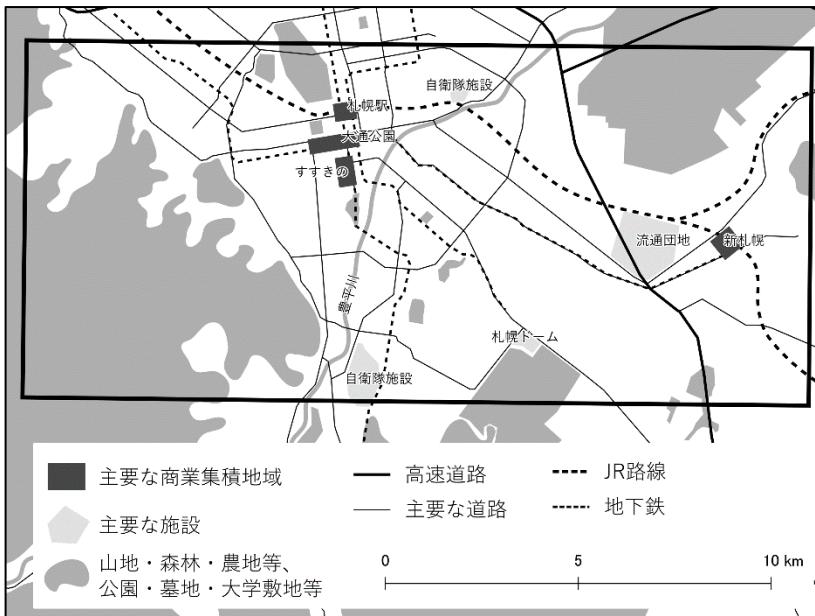


図2 研究対象地域



図3 研究対象地域の行政区域

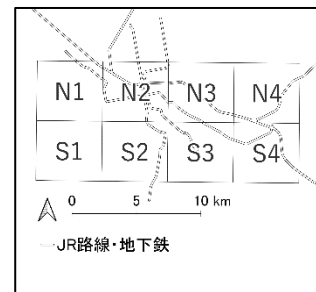


図4 本研究における地域呼称

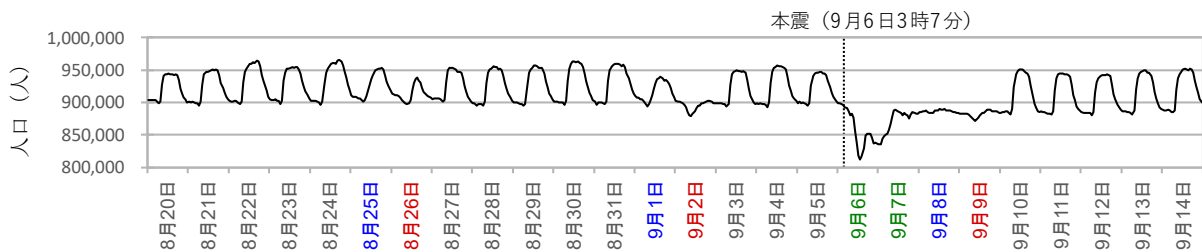


図5 対象地域内における推計総人口の推移

(モバイル空間統計®より作成)

が広がっており、居住人口・就業者ともに少ない地域となっている。札幌駅、大通公園の地域を中心に鉄道路線が東西南北に伸びている。研究対象地域の東部には、新札幌駅を中心とする商業集積地域が存在する。研究対象地域南西部は、藻岩山・円山などからなる山林である。

### 3. 使用したデータ

#### 3.1. モバイル空間統計®について

本研究においては、モバイル空間統計®を使用した。

モバイル空間統計®は、NTT docomo 社の運用する携帯電話基地局データをもとにした人口推計である。

モバイル空間統計®は携帯電話人口統計と呼ばれる各種人口統計の中ではサンプル率が高いとされており（大佛,2020）、人口稠密な地域が3大都市圏と比較して小さい地方都市においても有効なデータが得やすいと考えられる。北海道胆振東部に関する研究では、モバイル空間統計®を用いた帰宅困難者分布の推計及び可視化が行われている（後藤他,2022）。

#### 3.2. 取得したデータについて

本研究においては、標準地域メッシュ 644142 および 644143 で定義される領域の、500m メッシュ単位、1時間単位の人口推計データを、2018年8月20日0時から2018年9月14日23時までの26日間（624時間帯）について取得した。

データを取得した領域は、行政区画として札幌市中央区および白石区、厚別区の大部分と豊平区主要部を含み、さらに清田区、西区、北区、東区、南区、江別市および北広島市の一部が含まれる。

期間中に1回以上欠損値となった領域は54メッシュで、全体の約6.8%である。欠損値が発生した地域は都市の外周部における山林、畑地等が卓越する地域であり、本研究が対象とする都市内部にはあたらないとし、これらのメッシュは分析の対象外とする。

なお、本研究では、データを取得した領域内部の位置関係について記述するため、便宜的に図4に示すN1～S4までの地域呼称を用いる。

#### 3.3. 発災前後におけるデータ取得状況の変動

データを取得した全期間について、各時刻における推計人口の総和は平均して約91万4千人であった。

発災前の8月20日から9月5日にかけての平日において、推計人口の総和は日中に96万人前後、早朝に90万人前後となる1日単位の周期的な変動が見られた。

発災前の土曜日である8月25日、9月1日には、平日と似た形の変動が見られた。日曜日であった8月26日には、日中に約94万人となる、平日と比較して小さな変動が見られた。9月2日には、日中に人口が減少し、夜に向けて増加する変動が見られた。

発災約6時間後の9月6日9時台から13時台にかけて人口が急減し、13時台には推計人口の総和は対象期間中最小の約81万人となった。7日9時台には88万人まで増加し、以後9日にかけて88万人前後で推移した。発災翌週の平日である9月10日から14日にかけては1日単位の周期的な変動が再び現れ、日中に95万人前後、夜間から早朝にかけて89万人を下回る程度となる変動が見られた。

以上より、本研究においては、対象期間を表1のように分類する。また、本研究では「平常時」における人口の1日周期での変動と、発災後2日における人口の変動を比較し、人口分布に現れた地震の影響を推計する。

表2 対象期間の分類

平常時	発災後2日を除く平日
休日	8月25日、26日 9月1日、2日
発災後2日	9月6日、7日
発災後休日	9月8日、9日

### 4. 平常時データの集計と分類

平常時における対象地域内の推計総人口には1日周期での変動が見られたが、個々のメッシュにおける人口が1日周期の変動を示すかどうかは不明である。そのため、各メッシュについて平常時の人口変動を周期スペクトル解析し、1日周期の人口変動が明確に見られるメッシュを抽出する。その上で、平

常時の特徴による発災後の人口変化に見られる特徴の違いを分析するため、各メッシュを人口変動のピーク時刻によって分類する。

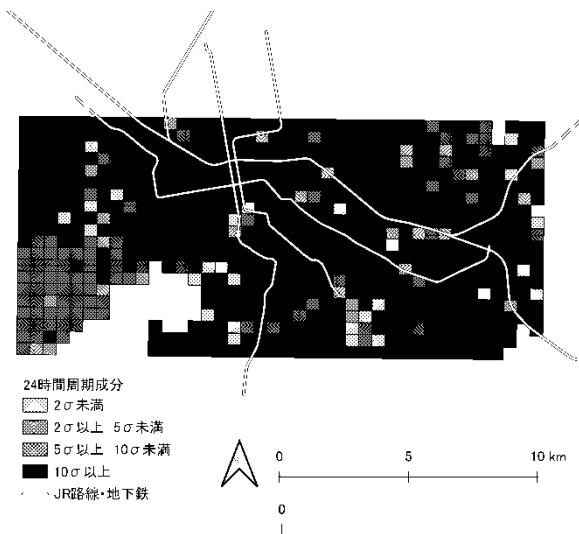


図6 24時間周期成分の相対的強さ

モバイル空間統計®より作成

#### 4.1.平常時データの周期スペクトル解析

各メッシュにおける推計総人口 24 時間周期で変動するものとして分析することが適切であるか確かめるために、各メッシュの時系列データについて周期スペクトル解析を行った。「平常時」とした期間を対象とするため、休日、発災後 2 日間、発災休日のデータを除いて解析を実施した。データ取得間隔が不等間隔となるため、Lomb-Scaggle 法によるスペクトル解析を使用した。

データ取得間隔の最小間隔は 2 時間であり、データ取得期間は 624 時間であるため、2 時間周期から 312 時間周期までの範囲について、1 時間刻みの周期で解析を行った。

24 時間周期成分の振幅の他の周期成分に対する大きさを、標準偏差  $\sigma$  を用いて図 6 に示した。ほとんどのメッシュにおいて  $+10\sigma$  以上の値を示しており、強い 24 時間周期の人口変動が存在することがわかる。一方で、S1 の山林からなる地域や S3 南部の農地や札幌ドームなどからなる地域になどに、24 時間周期の変動が弱く、あるいは見られない地域も見られた。今回は、欠損値が見られない地域のうち 80%以上が対象となる、 $+10\sigma$  以上のメッシュ 608 か

所を「24 時間周期の人口変動が明確にみられる地域」として抽出し、以後の分析に用いることとした。

#### 4.2.ピーク時刻による分類

24 時間周期の人口変動が卓越する地域について、24 時間周期成分の位相を用いて人口がピークを迎える時刻を推計し、時間帯ごとにメッシュ数を集計した(図 11)。その結果、深夜から明朝にかけての時間帯ピークが推定される、居住地区としての性格が強いと考えられる地域と、日中にピークが推定される、業務地区としての性格が強いと考えられる地域の 2 つの集団が認められた。そこで、22 時から翌 6 時台にかけてピークが推定される地域を「居住エリア」、10 時から 18 時台にかけてピークが推定される地域を「業務エリア」として分類した。分類ごとのメッシュ数は表 3 の通りである。また、分類ごとの分布は図 10 のとおりである。

表 3 ピーク時刻による分類集計

居住エリア	416 メッシュ
業務エリア	171 メッシュ
その他のエリア	21 メッシュ

業務エリアは、就業者数の割合が 50%以上となる地域と類似した分布が見られた。業務エリアがまとまって現れた 5 つの地域について、各地域の特徴を記述する。

##### ・N2 北部から N4 西部にかけて

札幌の都心である札幌駅から大通公園にかけての地区、豊平川左岸の工業地域に指定され運送業などが集積する地区、市街化調整区域とされ建設業・運輸業等が分布する地区が連続する地域である。

##### ・S4 北西部

準工業地域が指定されており、流通センターが位置している地区である。

##### ・新札幌

商業地域に指定されており、JR 新札幌駅を中心に、商業施設、病院等が集積する地区である。

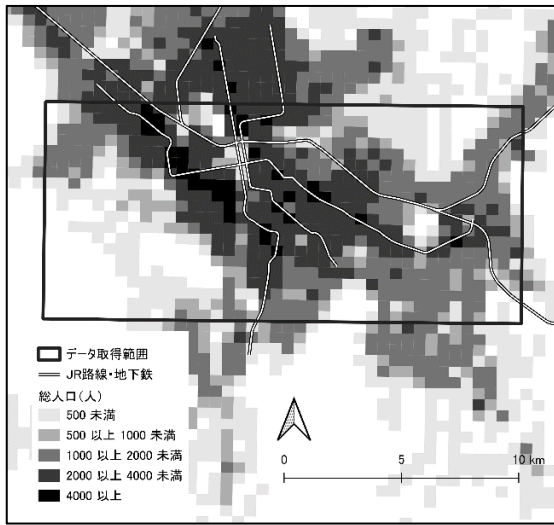


図 7 研究対象地域の居住人口分布

(令和 2 年国勢調査より作成)

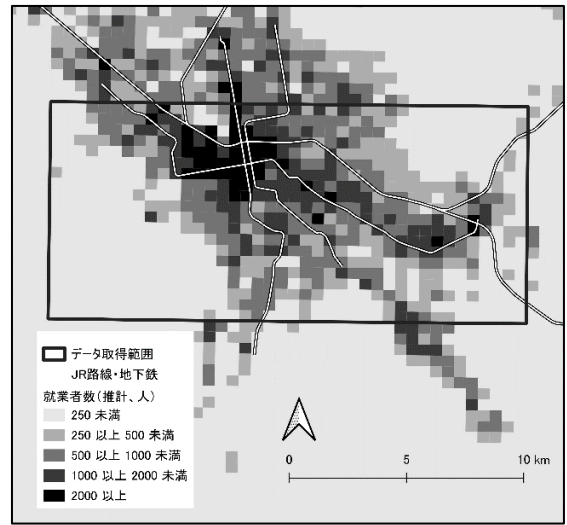


図 8 研究対象地域の就業者分布

(平成 26 年経済センサス基礎調査より作成  
小地域集計をもとに 500m メッシュに按分)

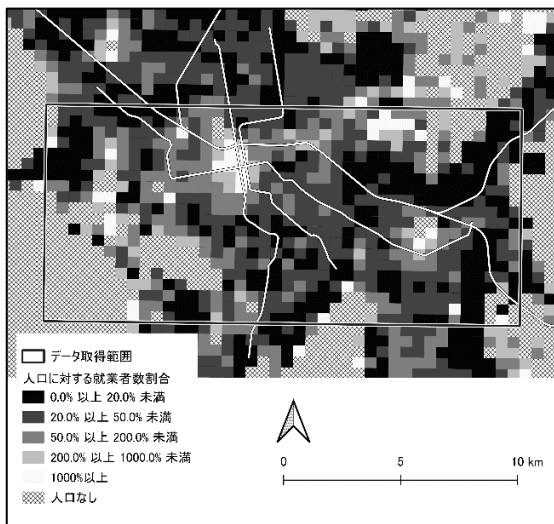


図 9 居住人口に対する就業者数の割合

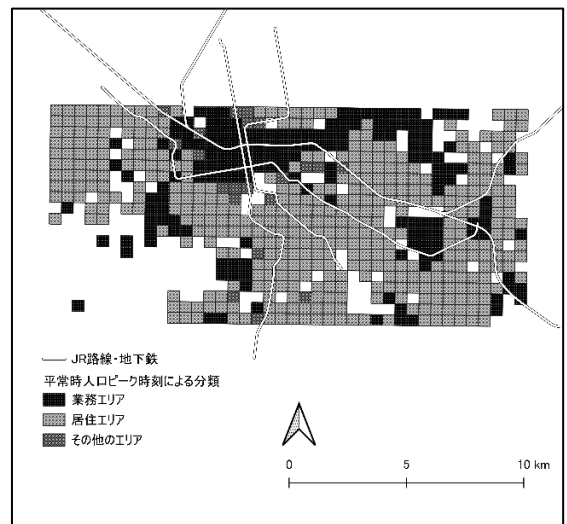


図 10 平常時人口ピーク時刻による分類

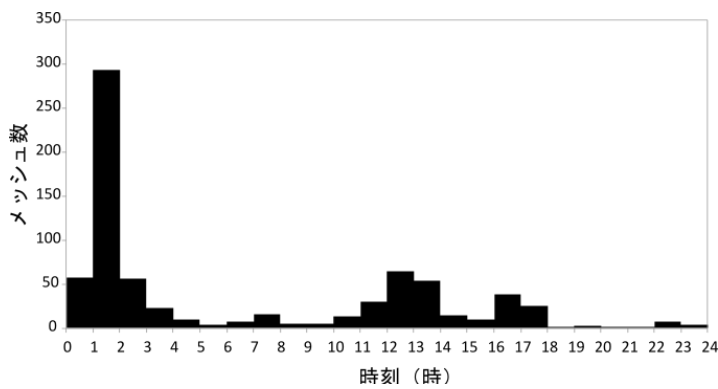


図 11 平常時推計人口ピーク時刻ごとのメッシュ数

モバイル空間統計®より作成

モバイル空間統計®より作成



・S2 中心部

住宅，ロードサイド店舗，自衛隊施設などからなる地域である。

・N1 南東部から S1 北東部にかけて

動物園，病院，低層住宅などからなる地区である。住宅地においては敷地の最低面積が指定されている地域であり，居住人口の密度は低い。

5. 発災後データと平常時データの比較

5.1. 平常時と比較した発災後の人口変化の推計

発災後2日における人口分布の平常時からの変化とその特徴を明らかにするために，平常時の時間帯 T に見られる人口の標準偏差に対する発災後の時間帯 T における人口の偏差の大きさ  $D_{Ti}$  を求めた。対象とする時間帯 T には，表4に示す3つの時間帯を用いた。また， $D_{Ti}$  は，式1の通り求めた。

各メッシュ，各時間帯における  $D_{Ti}$  の相関行列を，表5に示す。さらに，各時間帯における  $D_{Ti}$  の空間的分布を，図12に示す。

表4 対象とした時間帯

6 日 日 中	6 日 10 時 台 ～ 6 日 18 時 台
6 日 夜 間	6 日 22 時 台 ～ 7 日 6 時 台
7 日 日 中	7 日 10 時 台 ～ 7 日 18 時 台

$$D_{Ti} = \frac{\sum_{t \in T} M_{ti} - A_{ti}}{S_{Ti}}$$

$$S_{Ti} = \sqrt{\frac{\sum_{u \in U} (B_{uTi} - \overline{B_{Ti}})^2}{|U|}}$$

$M_{ti}$  = 発災後の時間  $t$  におけるメッシュ  $i$  の人口

$N_{uti}$  = 日付  $u$  時間  $t$  におけるメッシュ  $i$  の人口

$U$  = 平常時に含まれる日の集合

$T$  = 対象とした時間帯の1つ

$$A_{ti} = \frac{\sum_{u \in U} N_{uti}}{|U|}, B_{uTi} = \sum_{t \in T} N_{ti} - A_{ti}$$

...式1

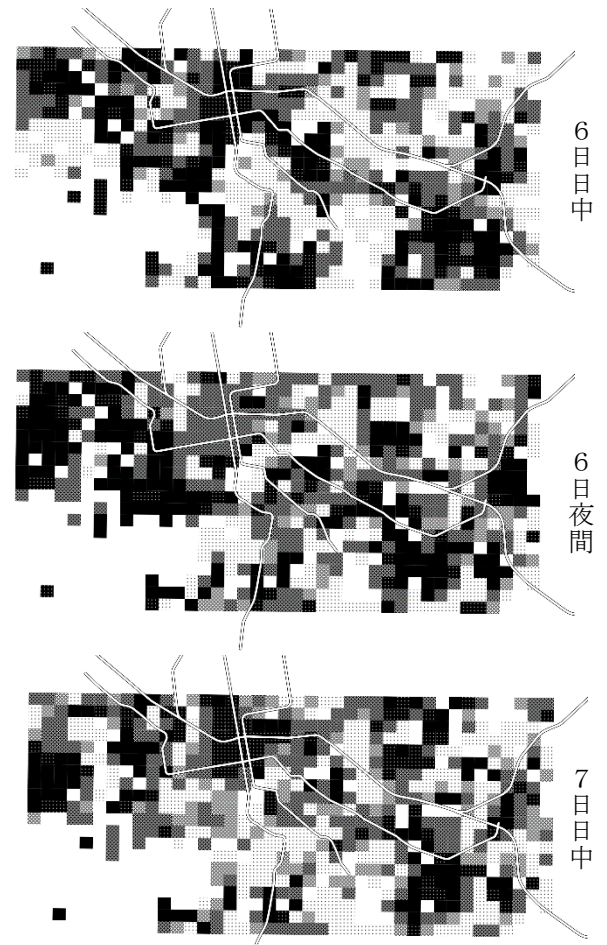


図12 発災後2日間の人口分布と平常時の比較

モバイル空間統計®より作成

表5 時間帯間の  $D_{Ti}$  相関行列

	6 日 日 中	6 日 夜 間	7 日 日 中
6 日 日 中	1.0000	0.4462	0.3974
6 日 夜 間	0.4462	1.0000	0.7348
7 日 日 中	0.3974	0.7348	1.0000

5.2. 各時間帯における人口分布の平常時との比較

6 日 日 中 には，N2 から N4 にかけて流通センター，新札幌，S1 北部，S2 中心部の業務エリアで平常時より人口が少なくなった。その他，居住エリアである N1 北西部から N2 にかけて，S2 南部，S3 から S4 の広い範囲でも人口が少なくなった。一方，N1 南部，N3 中心部，S2 中心部の居住エリアでは，平常時と比較して人口が増加した。

7 日 日 中 には，業務エリア周辺で平常時より人口

が減少した。特に、札幌駅から大通にかけての地域と N3 北東部では、6 日夜間と比較して減少傾向が強くなった。一方、居住エリアにおいては、平常時より人口の多いメッシュが広がった。

6 日夜間と 7 日日中の  $D_{it}$  には強い正の相関がみられ、これらの時間帯では、共通する要因によって平常時からの変化が現れたことが示唆された。

一方で、6 日日中と 6 日夜間、7 日日中の中での  $D_{it}$  の相関は弱い値となった。6 日夜間以降と共通する要因以外の要因が存在することが想定される。

## 6. おわりに

本研究では、平成 30 年北海道胆振東部地震発生直後の札幌を事例に、災害発生直後の都市における人口分布の変化について、その空間的特徴を把握する手法を構築し、分析を行った。分析の結果、発災後における人口分布は、平常時と比較して変化しており、業務機能の集積する地域については、平常時と比較して人口が減少する傾向が見られた。一方で、居住機能が主となる地域では、人口が増加する地域と減少する地域の双方が見られ、都市における業務機能の低下に伴う通勤・通学とともに、他の要因による変化も生じていたと考えられた。また、変化を生じる要因について、発災から最も近い時間帯にのみみられるものがあることが示唆された。

災害発生数日後以降に見られる人口変動の要因については、平常時との差異について因子分析を行うことで、外出行動の減少や居住機能の低下などと解釈される複数の因子によって説明できることが明らかになっている(奥村,2015)。今後、発災により近い時間帯に見られる人口変動を分析することで、災害発生直後に見られる時空間構造の因子が明らかになると考えられる。また、その際には本研究では用いなかった SNS 投稿データや避難所・店舗等のマイクロジオデータと合わせて分析することで、より適切な解釈を行うことができると考えられる。

災害発生直後における被災者の行動に関する理解のため、また災害対応における迅速な状況把握と意

思決定のため、さらなる分析を試みたい。

## 謝辞

本研究は建議研究「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)」の課題研究「地理空間情報の総合的活用による災害への社会的脆弱性克服に関する人間科学的研究」(代表者:橋本雄一, 課題番号:HKD07)および JSPS 科研費(基盤研究 C)「ブラックアウト・ホワイトアウトを考慮した千島海溝地震の津波避難モデル構築」(代表者:橋本雄一, 課題番号 22K0104002)における成果の一部である。

## 参考文献

- 奥村誠. (2015). 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. 都市計画論文集, 50(3), 402-408.
- 大佛俊泰. (2020). 詳細な滞留者属性情報の組み込みによる時空間人口統計データの高度化 パーソントリップ調査データとモバイル空間統計の統合方法について. 日本建築学会計画系論文集, 85(777), 2375-2383.
- 後藤海周, 奥村航太, 浅田拓海, & 有村幹治. (2022). 人口分布統計を用いた北海道胆振東部地震の時間帯別帰宅困難者数の推定. 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 77(5), 1\_173-1\_180.
- 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
- 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), Vol.2017-IS-139, No.3, 1-8
- 北海道 (2018) 平成 30 年北海道胆振東部地震災害検証報告書
- 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)