

# 携帯位置情報を用いた札幌市における 帰宅困難者推定

後藤 海周<sup>1</sup>・奥村 航太<sup>2</sup>・有村 幹治<sup>3</sup>・浅田 拓海<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 学生会員 室蘭工業大学 大学院工学研究科 環境創生工学系専攻 (〒050-8585 室蘭市水元町 27-1)  
E-mail: 20041033@mmm.muroran-it.ac.jp

<sup>2</sup> 学生会員 室蘭工業大学 大学院工学研究科 環境創生工学系専攻 (〒050-8585 室蘭市水元町 27-1)  
E-mail: 19041016@mmm.muroran-it.ac.jp

<sup>3</sup> 正会員 室蘭工業大学 大学院工学研究科 もの創造系領域 (〒050-8585 室蘭市水元町27-1)  
E-mail: arimura@mmm.muroran-it.ac.jp

<sup>4</sup> 正会員 室蘭工業大学 大学院工学研究科 もの創造系領域 (〒050-8585 室蘭市水元町27-1)  
E-mail: asada@mmm.muroran-it.ac.jp

2019年2月21日に胆振地方中東部地震が発災した際、札幌駅をはじめとする都心部において公共交通の復旧を待つ人々が溢れ返った。冬期の発災シナリオを含めて、発災タイミングの違いを考慮した帰宅困難者数の推定は緊急時の避難体制を構築するうえで必要不可欠である。このような帰宅困難者数の推計に関する既存研究は、従来、国勢調査とパーソントリップ調査（以下、PT調査）を用いたものが多く報告されている。しかし、各時間や遠方からの滞在人口を考慮し、各メッシュ単位における帰宅手段や活動目的別の分析はみられなかった。そこで本研究では、札幌市においてPT調査、携帯電話位置情報データ（モバイル空間統計）および各避難所や面積を用いて帰宅困難者数の推計を行った。帰宅困難者数の空間分布を可視化した。

**Key Words :** *People who have difficulty returning home, Mobile location information, Earthquake*

## 1. はじめに

2018年9月6日3時7分に発生した北海道胆振東部地震は、マグニチュード6.7、最大震度7を観測し、札幌市においては、震度6弱を記録した。発生時刻が早朝だったこともあり地震発災後の問題として帰宅困難者の発生が取り上げられることは少なかった。しかし同じく胆振地方中東部を震源地とする地震では、2019年2月21日21時22分の発災後には、鉄道の復旧を待つ帰宅困難者で札幌駅が溢れ返った。

札幌駅には市内外への移動手段として鉄道や地下鉄など多くの交通（手段）が集約されており、交通の要所となっている。一般的に地震等の災害時、鉄道事業者は揺れの大きさに応じて速度規制や運転見合わせなどの対応が取られている。札幌市の都市交通データ<sup>1)</sup>によると、2017年度の札幌駅における乗車人数の1日平均はJRが99,436人、地下鉄が57,038人となっており、多くの人々が利用していることがわかる。そのため、発災の時間帯によっては札幌市内でも大量の帰宅困難者が発生する可能性がある。また冬期の平均気温は0°Cを下回るため、

帰宅困難による路上滞留は命に関わる問題になる。したがって、発災タイミングの違いを考慮した帰宅困難者数と路上滞留者数の推定は緊急時の避難体制を構築するうえで必要不可欠である。

帰宅困難者数の推計に関する既存研究において、小山ら<sup>2)</sup>は国勢調査と名古屋都市圏パーソントリップ調査（以下、PT調査）を用いて名古屋市各区の帰宅困難者数を目的別に推計している。また平成26年度札幌市防災会議において、本研究で対象とする札幌市では、PT調査を用いて帰宅困難者数の推計を行っている<sup>3)</sup>。このように多くの既存研究では、帰宅困難者の推定に国勢調査やPT調査のデータが用いられている。しかしながら、これらのデータはその集計が数年に一度の更新頻度であることや、遠方からの訪問客が反映されていないことなどの問題点がある。

そこで本研究においては、データを常に最新のもので活用することのできるNTT docomoが提供する携帯電話位置情報網を活用した人口統計（以下、モバイル空間統計）を、従来のPT調査および各避難所の面積とともに用いることで、道外や札幌市外からの訪問客も考慮した任

意の日付・時間帯での帰宅困難者数を試算する。さらにその中で、徒歩による帰宅限界距離を考慮した路上滞留者を推定を行った。

本研究の構成は、以下第2章において、使用したデータの概要を説明する。第3章では帰宅困難者数および路上滞留者数の算出手順を示す。第4章では帰宅困難者、路上滞留者を4次メッシュを用い距離、通勤の観点から細かく確認する。第5章では本研究の結論を述べる。

## 2. データの概要

本研究では、モバイル空間統計を用いて、ある地域に滞在している人数を把握し、PT調査によってその滞在している人数の中で帰宅が困難となる人の割合（以下、帰宅困難率）を算出した。使用したデータの概要を以下に示す。

### (1) モバイル空間統計(滞人口)

モバイル空間統計とは、NTT docomo の携帯電話位置情報網の運用データから拡大推計された人口統計であり、ある特定の日時の指定や性別、年代および調査エリアの規模などの、様々な条件で絞り込んだ情報の取得が可能である。そのため、観光客分析<sup>4</sup>やまちづくり、防災計画<sup>5</sup>などあらゆる分野にデータが活用されている。なお、本研究において用いたデータは札幌市を対象とし、日時は胆振東部地震の前日の2018年9月5日を用いた。

### (2) 第4回道央都市圏PT調査(平成18年)

本研究では、第4回道央都市圏PT調査を用いた。PT調査は、都市圏における人の移動とその手段に着目しており、世帯や個人属性に関する情報をアンケート形式で取得する。これにより、回答者によるバイアスなどはあるが、人の移動の目的、手段、年齢、性別及び時間帯を把握することができる。道央都市圏PT調査では、通勤・通学や買い物など交通面でつながりの強い札幌市周辺の地域（小樽市、江別市、千歳市、恵庭市、北広島市、石狩市、当別町、南幌町、長沼町）と札幌市をまとめて「道央都市圏」として設定し、その範囲を対象として調査された。

### (3) 国勢調査(500mメッシュ別将来推計人口)

2015年の国勢調査に基づき、2050年までの500mメッシュ別の将来人口の試算が行われている<sup>6</sup>。本研究では2020年における500mメッシュの推計人口を夜間人口として用いた。

### (4) 札幌市避難所データ

本研究では札幌市より提供された各避難所の住所、収容面積のデータを使用した。収容面積は実際に避難生活を送ることができる面積であり、札幌市における収容人数の基準は1人当たり2.0m<sup>2</sup>となっている。

## 3. 帰宅困難者および路上滞留者の算出方法

### (1) 帰宅困難者および路上滞留者の定義

帰宅困難者の定義はいくつか存在する。中林の研究<sup>7</sup>においては「15歳以上の就業就学者のうち帰宅距離が長く、通常交通手段が破損したときに徒歩による帰宅が著しく困難となる人」と定義している。また、宮城県沖地震など各種避難・帰宅行動データなどから「帰宅距離10kmまでは帰宅率が100%、それ以降は1kmごとに10%帰宅困難率が高まり、20km以降は帰宅率が0%となる」という帰宅限界距離を論じており、この考え方は多くの自治体での被災想定時における、帰宅割合の算出の根拠として用いられている。

本研究では、北海道胆振東部地震発災時、ブラックアウトにより信号機が機能しない中でも自家用車で移動した人がいた<sup>8</sup>という事実を踏まえ、発災時に自家用車での移動は可能であると仮定する。そして、本研究での帰宅困難者の定義は「発災時に滞り場所まで公共交通機関を利用して移動しており、帰宅手段としての全ての公共交通機関が運転を見合わせた際に、徒歩での自力での帰宅が著しく困難となる人」とする。路上滞留者の定義を、「帰宅困難者の中で、滞在メッシュに避難施設がない人」とした。

### (2) 帰宅困難割合の算出

帰宅困難者を算出するためには、まず最終的な帰宅不可能者、すなわち路上滞留者の割合を算出しなければならない。その帰宅可能判定の流れを図-1に示す。居住地が道央都市圏内である場合に、PT調査による移動手段から、帰宅に用いられる交通手段が発災時に利用可能かに基づいて表-1のように分類し、帰宅可能な交通手段をとっているか判定した。さらに、発災時の交通手段が徒歩である場合、居住地への移動距離に基づく帰宅可能判定は、帰宅限界距離を用いる。ただし、先に述べた帰宅限界距離に応じた帰宅困難率の定義が、東日本大震災を踏まえて防災会議で新しく設定し直され、次の式で表された。(図-1)

$$\text{帰宅困難率}[\%]=\max\left[\left(0.0218 * (\text{外出距離}[\text{km}])\right) * 100, \quad 100\right] \quad (1)$$

本研究の対象としている札幌市内は特に中心部において、区画が格子状となって整備されているため、マンハッタン距離（各座標の差またはその絶対値の総和）を用いて各メッシュ間の距離を算出した。また、用いたPT調査とモバイル空間統計のデータの日時から、夏季のものを用いて徒歩による帰宅限界を考慮した。

**(3) PT調査や国勢調査とモバイル空間統計の相互補完**

PT調査を主として用いた帰宅困難者の推計には、内在データである拡大人口や、もしくは国勢調査の滞在人口の併用によって算出されているものが多く見受けられる。このような推計の場合、ある特定のPT調査の対象範囲外からの流入人口情報を把握できないことが問題となる。また、帰宅困難者の推定時における空間解像度は、小ゾーンごとで求められていることが多いため、そのゾーン内のどのエリアにおいて路上滞留者が発生しやすいのかを捉えきれないことも問題である。

そこで本研究では、モバイル空間統計を用いることによって、PT調査より小さい空間解像度での滞在人口を追うことや、PT調査では得られない調査対象範囲外からの流入人口情報の把握を可能とした。ただし、モバイル空間統計では人々の移動手段とその目的を追うことはできない。よって、PT調査や国勢調査などを活用して、モバイル空間統計の情報を相互補完した。

**(4) 帰宅困難者の算出方法**

3章(1)の定義に基づけば、居住地が道央都市圏外の滞在人口は全員が帰宅困難者となる。一方、居住地が道央都市圏内の場合、最初にPT調査から任意の時間で発災したと仮定した際の、現在地から自宅までの交通手段と推定移動距離の情報を取得した。そしてその情報から3章(2)に基づいて帰宅可能割合を求め、モバイル空間統計から算出した各ゾーン毎への帰宅人口との積を求めた。この値が帰宅困難者数となる。ただし課題として、モバイル空間統計とPT調査の空間解像度は500mメッシュと小ゾーンで異なることがあげられる。本研究では以下の手順を用いて、メッシュとゾーンのエリアの互換を行い、居住地が道央都市圏内である500mメッシュ人口が、PT調査から得られるゾーン間の移動を行うと仮定し、帰宅困難者数を算出した。算出手順の例を次に示す。

- a) PT調査のデータにおいて、仮定した発災時の各小ゾーンから居住地である小ゾーンに向かう割合と、代表交通手段から(2)に基づいて帰宅不可能（帰宅困難）割合を算出する(図-3)。
- b) モバイル空間統計の500mメッシュ滞在人口において、属する小ゾーンを得るため、メッシュと小ゾ

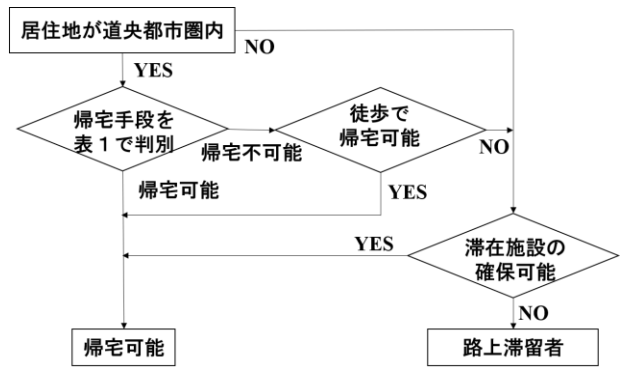


図-1 帰宅可能判定フローチャート

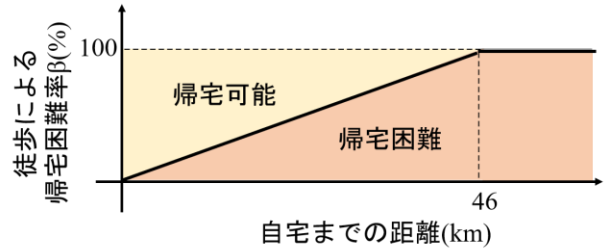


図-2 帰宅困難率

表-1 帰宅可能手段

帰宅可能	帰宅不可能
徒歩・車イス・自転車	タクシー・ハイヤー
原動機付自転車(50cc未満)	自家用バス・貸切バス
自動二輪車(50cc超過)	路線バス
軽乗用車・乗用車	市電・地下鉄・JR
貨物自動車・軽貨物車	船舶・飛行機
	その他

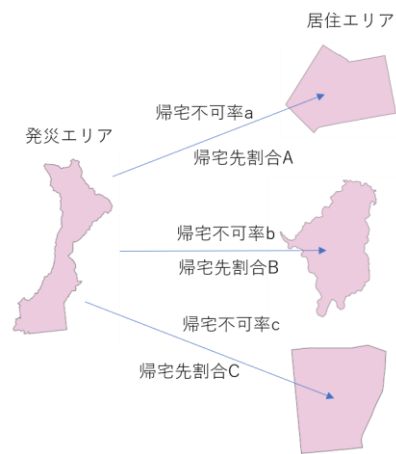


図-3 帰宅不可率と帰宅先割合

- の空間的交差を行う。(図-4)
- c) 国勢調査の500mメッシュ人口データから、PT調査の各小ゾーン内ごとに見た帰宅先の割合をメッシュに与える。(図-4)

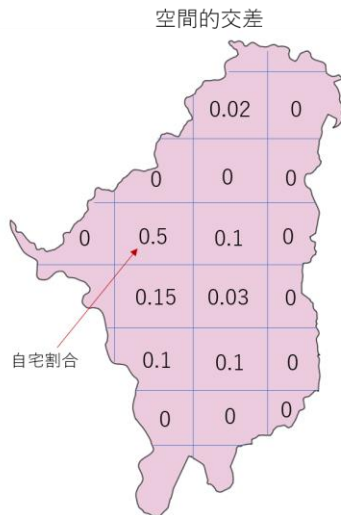


図-4 空間的交差と自宅割合

- d) 各メッシュのモバイル空間統計人口とa)の積により帰宅困難者数を算出
- e) 最後に帰宅困難者数とc)の積により、その帰宅困難者が居住地ゾーンにおける帰宅先メッシュ別の帰宅困難者数を求める。

(5) 路上滞留者の算出方法

(3)で算出された帰宅困難者でも、滞在地と居住地の距離によっては徒歩での帰宅が可能である。そこで、被災時において最も危険だと考えられる路上滞留者を算出する必要がある。居住地が道央都市圏内の場合、(2)より距離に応じた帰宅困難率と(4)の帰宅先メッシュ別帰宅困難者数の積を求めることにより、距離を考慮した帰宅困難者が算出される。一方、居住地が道央都市圏外の場合、道央都市圏外の滞在人口がそのまま全数が帰宅困難者とした、モバイル空間統計はプライバシー保護の観点から、集計されたデータのうち、遠方や人口が少ない市区町村の情報は、秘匿処理によって除去される。したがって、この滞在人口の欠損を考慮して、道央都市圏外の滞在人口は、居住地属性を考慮しない滞在人口  $p$  から道央都市圏内の滞在人口  $ps$  を引いたものを用いた。以上から、路上滞留者  $pr$  を下記の式で算出した。

$$pr = \{(ps * \alpha * \beta) + (p - ps)\} - w \quad (2)$$

ここで、  
 $p$ : 居住地属性を考慮しない滞在人口  
 $ps$ : 居住地属性が道央都市圏の人口  
 $\alpha$ : 交通帰宅困難率  
 $\beta$ : 距離帰宅困難率  
 $w$ : 避難施設への収容人口  
 である。

4. 推定結果

第3章で示した条件を用いて帰宅困難者および路上滞留者を試算した。避難所の収容人数は、札幌市基準と避難所の国際基準であるスフィア基準<sup>9)</sup>を用いて算出した。1人当たりの避難先使用面積は札幌市基準で2.0m<sup>2</sup>、スフィア基準で3.5m<sup>2</sup>である。避難所容量メッシュを図示した(図-5)

札幌市の帰宅困難者は約57,700万人と算出された。その内訳として道央都市圏の帰宅困難者は約22,700人、道央都市圏外の帰宅困難者は約35,000人となった。その分布は図-6で示すように、札幌駅から大通りが特に顕著に現れ、かつ地下鉄沿線にも帰宅困難者が多く発生していることがわかった。さらに宿泊容量を加味した、路上滞留者を示した図-7からわかるように、主に札幌駅・大通公園の中心部においては、路上滞留者のは以外路上滞留者はないことがわかる。胆振東部地震の際には、自動車による通行があったことから、帰宅を可能としたが、通行していた自動車は多くないと考えられる。また、昼間に大規模の震災が発生した場合、一斉帰宅による交通事故を抑制するために自動車の移動などが制限される可能性を考えられる。従って、自動車を帰宅不可能とした場合も図-8に示す。道央都市圏の帰宅困難者は約56,300人、道央都市圏外は先程と同様に約35,000人となった。自動車を不可とした場合中央区以外の区にも少量ながら路上滞留者が発生することがわかった。しかし中央区とは異なり、周囲に余剰収容能力があるメッシュが多いため、避難可能と思われる。また帰宅困難者の中には通勤している人も含まれる。もし企業が帰宅困難となった社員を会社に留めることができる能力がある場合、道内の帰宅困難者の約56,300人のうち約13,800人が通勤者であるため100%収容できれば帰宅困難者は42,500人まで減少する。

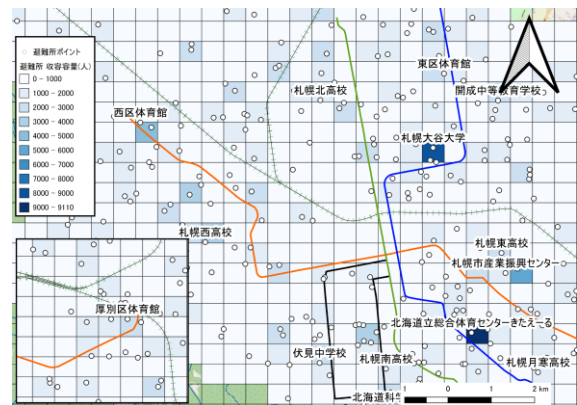


図-5 避難所収容メッシュ

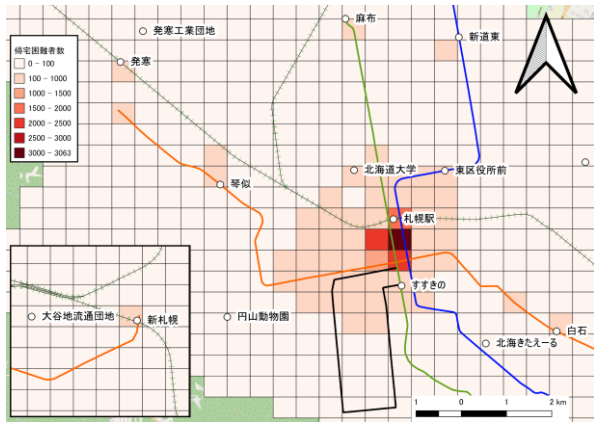


図-6 15時帰宅困難者

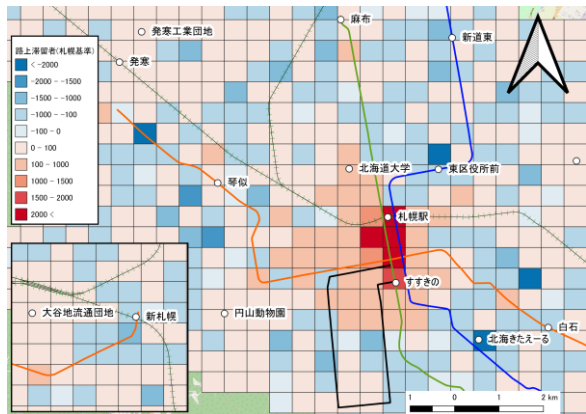


図-7 15時路上滞留者(札幌基準・自動車帰宅可能)

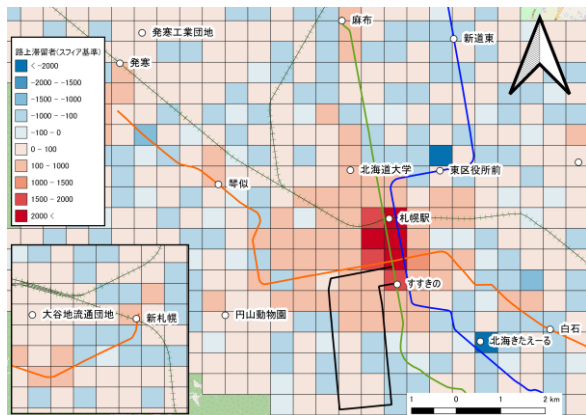


図-8 15時路上滞留者  
(スフィア基準・自動車帰宅不可能)

## 5. 考察

本研究ではPT調査とモバイル空間統計を用いることにより、遠方からの訪問客を考慮し、500mメッシュでの細かいエリアでの帰宅困難者を算出し、札幌市から提供して頂いた避難所データを用いることによって各エリアでの路上滞留者を図示した。しかし、本研究ではモバイ

ル空間統計の性質上、集計対象の年齢が15歳～79歳となっていることに留意する必要がある。

ただし本研究の課題として、以下の点があげられる。1つ目は今回用いたモバイル空間統計は都市調整区域内のメッシュしか含まれていない。そのため福住の札幌ドームや真駒内の自衛隊基地などのデータが含まれておらず、過小評価となっていることが考えられる。2つ目は外国人訪問者数が考慮されていない。札幌市の2019年度上期の外国人観光客は約127万4千人<sup>10</sup>であり、毎年多くの外国人観光客が訪れている。従って、多数の外国人観光客が市内に滞在しているため、各避難所はさらに不足することが考えられる。3つ目は冬の平均気温が0℃を下回っている札幌市では、地震によって路上滞留者になってしまった場合、命に関わることから冬の帰宅困難者と路上滞留の算出が大切となるが今回用いたPT調査は秋の行われた調査のため、PT調査から実際の札幌市の冬の交通手段を把握することは難しく、今回夏の帰宅困難者と路上滞留者の算出を行った。冬では公共交通の使用率や歩いて自宅に帰ることが困難となることから夏より帰宅困難者と路上滞留が多くなることが予想される。4つ目は路上滞留が発生するメッシュから収容余力を持つメッシュへの移動が考慮されていないことである。

今後の研究にはこの4点を含めて、研究をしていくことが求められる。

2020年10月現在の社会情勢を鑑みると、COVID-19の影響によって新たな生活様式に変わりつつある。その中で避難所の1人当たりの面積も変化している、福島県いわき市では1人当たりの面積を2㎡から6㎡へと見直した<sup>11</sup>。このような影響により、路上滞留が増えることが予想されることから、課題の4点とCOVID-19の影響下での帰宅困難者と路上滞留者と考える必要がある。

## 参考文献

- 1) 「札幌の都市交通データブック2019」：  
[http://www.city.sapporo.jp/sogokotsu/kotsutaikai/documents/1\\_pdf\\_sam\\_data2019.pdf](http://www.city.sapporo.jp/sogokotsu/kotsutaikai/documents/1_pdf_sam_data2019.pdf)(閲覧日 2020/10/02)
- 2) 小山真紀, 岡田成幸: 「名古屋市における帰宅困難者推計と中区事業所アンケート調査」, 地域安全学会論文集 No.13, 2010.11
- 3) 平成26年度札幌市防災会議: 資料14 「帰宅困難者の推計について」
- 4) 携帯電話から得られる位置情報を活用した訪日外国人動態調査: <https://www.mlit.go.jp/common/001080545.pdf>

- (閲覧日 2020/10/02) 月21日), p12
- 5) 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, vol.60, 2017
- 9) スフィアハンドブック2018日本語版: 「7.避難所および避難先の居住地」, pp.20-23
- 6) 国土数値情報:  
<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-mesh500h30.html>  
(閲覧日 2020/10/02)
- 10) 札幌市観光統計データ:  
<https://www.city.sapporo.jp/keizai/kanko/statistics/statistics.html>  
(閲覧日2020/10/02)
- 7) 中林一樹:「地震災害に起因する帰宅困難者の想定手法の検討」, 総合都市研究, 第47号, 1992
- 11) いわき市 HP:  
<http://www.ciy.iwaki.lg.jp/www/sp/index.html>  
(閲覧日2020/10/02)
- 8) 北海道開発局:胆振東部地震 分析状況報告(平成30年9

## ESTIMATION OF PEOPLE WHO HAVE DIFFICULTY RETURNING HOME IN SAPPORO CITY BY USING MOBILE LOCATION INFORMATION

Kaisyu GOTO, Kota OKUMURA, Mikiharu ARIMURA and Takumi ASADA

When the Iburi Central East Earthquake struck on February 21, 2019, there were a flood of people waiting for the restoration of public transportation in central Tokyo, including Sapporo Station. Estimating the number of people who have difficulty returning home, including the disaster scenario in winter, considering the difference in the timing of the disaster is indispensable for building an emergency evacuation system. Many existing studies on the estimation of the number of people who have difficulty returning home have been reported using the national census and the person trip survey (hereinafter referred to as the PT survey). However, considering the population staying at each time and from a distance, no analysis was found for each mesh unit by means of returning home or activity purpose. Therefore, in this study, we estimated the number of people who have difficulty returning home using PT surveys, mobile phone location information data (mobile spatial statistics), and each evacuation center and area in Sapporo City. Visualized the spatial distribution of the number of people who have difficulty returning home.