

# 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

船越康希<sup>†1</sup> 畑山満則<sup>†2</sup>

**概要**：2016年4月14日、16日に発生した熊本地震では、想定されていた以上の避難者が避難所に殺到し、指定避難所だけでは避難者を収容できなくなった。その結果、指定の避難所以外にも指定外の箇所でも多数の避難所が形成された。この指定外の避難所は、場所が認知されていないため、発災初期に支援の手が届かないという問題をもたらした。そこで本研究では、そのような行政から認知されないような避難所を同定する手段として、携帯電話の位置情報を集計したデータを用いて、避難所を推定する手法を提示し、合わせて得られた知見から支援策について検討する。

**キーワード**：熊本地震、避難所、携帯基地局情報、災害時支援

## A study on the method to identify shelters and its support measures.

KOKI FUNAKOSHI<sup>†1</sup> MICHINORI HATAYAMA<sup>†2</sup>

**Abstract**: Two earthquakes of 7 on the Japanese seismic intensity scale struck Kumamoto Prefecture in April and evacuees more than expected crowded to the designated shelters. As a result, the designated shelters exceed the capacity and many undesignated shelters are occurred. These shelters cannot receive relief supplies because the local government does not recognize these shelters. In this study, we suggest the method to identify undesignated shelters and consider support measures as an example of the Kumamoto Earthquake.

**Keywords**: Kumamoto Earthquake, shelters, the information based on portable base station, disaster support

## 1. はじめに

### 1.1 熊本地震の概要

2016年4月に発生した熊本地震では、震度7の揺れを2回記録した。熊本地震は布田川断層、日奈久断層の二つの断層による連動型地震であり、14日の地震ではMj6.5、また16日の地震ではMj7.3をそれぞれ記録した。図1の本震時（16日）の震度マップを見てみると、震度7を記録した益城町を中心として、熊本県全体で震度6を超える揺れが記録されていたことが分かる。また市町村別の全壊家屋件数を見てみると[1]、熊本市が2452件、益城町が2773件と突出しており、この点からも今回の熊本地震では熊本市と益城町での被害が著しかったことが伺える。またこの16日の本震をきっかけとして、熊本県を中心とした余震活動が活発化し、現時点(2月1日)で震度1以上の地震の回数は4241回と、過去最多の余震を記録している[2]。

この地震が熊本県の居住者に与えた影響は大きく、多数の避難者が多様な形での避難を行なったが、今回の熊本地震ではこの避難者の問題が大きく取りざたされることとなった。それらの問題の一つとして、「指定外避難所」があげられる。地震発生直後には、避難者が指定避難所へ殺到し、指定避難所だけでは避難者を収容できなくなる事態に陥っ

た。その結果、指定避難所以外にも、指定されていない避難所（以降本稿では、以降指定外避難所とする）が発生した。

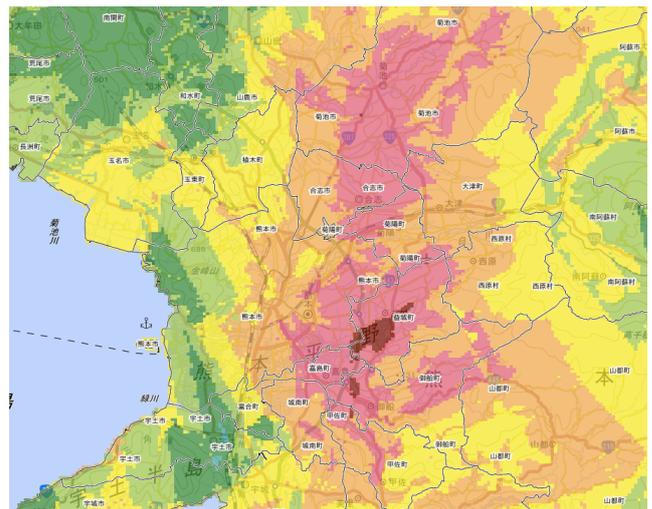


図1 熊本地震の震度マップ

またこの指定外避難所の問題と関連して、車中泊避難が特に問題として取りざたされた。今回の熊本地震では、前述の通り、活発な余震活動が記録された。この活発な余震活動が被災者に対し「またいつ大きな地震が来るとも分からない」、「屋内にいたらまた倒壊しかねない」という不安感を植え付け、家屋被害がなかった被災者の避難や、屋内を敬遠した車中泊避難が多数見られた。

<sup>†1</sup> 京都大学 情報学専攻 社会情報学専攻  
Graduate school of informatics Kyoto University.

<sup>†2</sup> 京都大学 防災研究所  
Disaster Prevention Research Institute Kyoto University

## 1.2 指定外避難所の問題点

これら車中泊避難をはじめとした指定外避難所は、自治体に把握されていないために、支援の手が及ばなかった。このため、指定の避難所の避難者には支援物資が届けられる一方で、自治体が把握していない指定外避難所に避難している避難者には物資などの支援が届かないという支援の隔たりが発生した。そして支援を受けられなかった被災者が SNS ツールなどを利用して支援を求める様子が確認された。

熊本市への聞き取り調査でも、発災初期に指定外避難所の場所が迅速に把握できず、車中泊や他の市町村へ避難した人の把握もできなかったことが確認されている。ただ、各地域の自治会をはじめとした地域コミュニティとの連携を密にしており、それらの地域コミュニティから避難先についての情報連絡を受け、それらの情報連絡をもとに場所を特定し、4月25日には指定外を含めた避難所をほぼほぼ把握し、それらの避難所に対して職員を派遣し、物資の配送などの支援を行っていた。

他にも様々なボランティア団体による避難所の支援が行われたが、どこに指定外の避難所があるのかわからないために、SNSで情報を集めたり、地道に探し回ったりすることでしか指定外避難所の位置を特定できなかったという。

## 1.3 熊本地震における指定外避難所の問題点まとめ

今回の地震の大きな問題として次の点が挙げられる。

1. 発災初期に避難所（指定外の避難所）の位置を特定できずに、支援を行うことができなかったこと。それによって指定避難所と指定外避難所との間に支援の格差が生じたこと。
2. 車中泊の避難者の所在を把握することができなかったこと。

本研究ではこれらの点に留意した上で、これらの問題を解決する手段について今後の章で検討する。

## 2. 研究の位置付け

### 2.1 研究の目的

今回の熊本地震では想定以上の避難者が発生し、指定外の避難場所が形成されてしまった。また同時にプライバシーやペット、屋内避難に対する抵抗などから、車中泊の避難者が多数生じた。このような事態は今後到来が予測されている首都直下地震や東南海地震においても十分に考えられる。想定以上の避難者が発生する場合の対策として、「南海トラフ巨大地震対策について（最終報告）」[3]を見てみると、避難者トリアージを行うものとする記載されている。これは想定以上に避難者が発生した場合には、避難者トリアージを行い、被害の軽い被災者には自宅帰宅を促すことを意味したものである。しかし今回の熊本地震では、

被害があまりない被災者でも、余震を恐れて避難を行っていた事例が多数報告されており、この方策は有効な対策とは考えにくい。

むしろ、地震発生後に事後的に、避難所がどこにあるのかを突き止められるようにしておくことが有効であると考えられる。そこで熊本地震において発生した指定外避難場所が、どこで発生したのかを瞬時に特定することが必要となる。以上の背景から、近年マイクロジオデータを活用した避難所の同定の方策が注目されている。

マイクロジオデータとは、空間的精度と空間的、時間的な網羅性が非常に高い非集計の地理空間情報を指し、パーソントリップ (PT) データや電話帳データなどに代表される。そこで本研究では、避難場所を多数の人が密集した施設ないしオープンスペースと定義し、マイクロジオデータである携帯電話の基地局情報を集計したNTTドコモ社のモバイル空間統計を用いて、避難場所を同定する手法を提示し、避難場所の位置を特定すること、また特定した避難場所に対する支援を検討することを目的とする。

### 2.2 モバイル空間統計について

モバイル空間統計[4]とは、NTTドコモ社の携帯電話ネットワークの運用データから作成される人口統計のことを指す。NTTドコモ社のサービスエリアが対象エリアとなっており、全国市町村役場を100%カバーしている。また統計情報は年間を通じて1時間ごとに整備されており、リアルタイムの人の動きを把握できるなど、従来の特定のPT調査や国勢調査の情報より詳細な分析が可能となっている。また居住地情報（携帯電話を登録した市町村）と性別、年齢情報が属性として整備されているため、年齢別、性別、居住地別の人口分布を把握することができる。以上の点から、本データを用いることで、「いつ、どこで、どのような人がどれだけいるのか」を把握することができ、災害時などの状況を把握する上で、最も有用なデータであると考えられる。

データの作成まで具体的な流れは、携帯の基地局から得られる携帯電話の情報を周期的にキャッチすることで、一定地域ごとのNTTドコモの携帯電話台数を集計し、普及率を加味した上で人口を推計している。具体的には運用データを非識別化処理（個人識別性の除去）、集計処理（ドコモの携帯電話の普及率を加味して人口推計）、秘匿処理（少人数の除去）することでデータ化を行っている[5]。集計処理はさらに、(1)在圏数推計処理、(2)拡大推計処理、(3)エリア変換処理の3つの処理に分けられ、それらのプロセスを経て、人口の推計がなされる。ただし推計された人口があまりに少ない場合には、個人情報特定される危険性があるため、秘匿処理を行い、少人数データを削除して、個人情報の特定を防いでいる。

また集計にあたって、14歳から79歳までの年齢層が対

象となっており、携帯電話の契約ができない14歳以下の人間と、携帯電話の所有人口が少ない80歳以上のユーザはこのデータでは含まれないため留意する必要がある。

本研究では地震被害が最も大きかった熊本県を対象とし、利用するモバイル空間統計のデータは熊本県全域を500mに分割した人口データとする。本研究では地震が発生する前後による人口特性の変化を明らかにするため、期間は地震発生時期を含む2016年3月1日から5月31日までとする。またサンプリングは就寝時間帯を想定して午前4時とした。モバイル空間統計の信頼性についてはすでに大藪ら[6]によってその信頼性が確認されているため、本稿では触れないこととする。

以下、このデータを中心に、熊本市から提供された避難所リストや、国土数値情報・国土基盤地図情報などのオープンデータとの重ね合わせを行いながら、避難所の同定を行う。なお利用するGISのソフトウェアはEsri社が提供しているArcMap10.4.1とする。



図2 モバイル空間統計のイメージ図

### 2.3 先行研究事例

防災分野においても、マイクロジオデータ、特に携帯電話の位置情報を利用した研究はいくつか見られる。さらに避難所の同定についての研究は、今回の熊本地震を契機に幾つかの事例が報告されている。瀬戸・樫山・関本[7]は、ゼンリンの混雑統計データを用いて、熊本地震前後の人口密度の差から、平常時よりも混雑しているメッシュを抽出し、その抽出結果をもとにして避難所を推定する手法を提示している。矢部ら[8]もまたYahoo株式会社と共同でメッシュの混雑から避難所を推定する方法を提示している。特に矢部らの研究では、携帯アプリから得られたGPSデータをもとに、熊本地震時のGPSデータから発災時の熊本県各地の混雑度を求め、それらの結果から、「かくれ避難所」(本稿では指定外避難所と呼ぶ箇所)を抽出し、かくれ避難所の候補と考えられる地物を推定した上で、その避難所での

滞在人数を推計している。ただこれらの研究は、指定・非指定の避難所の類型が不十分であり、かつ推定した結果が正しいかどうかを実証できていないため、本当にかくれ避難所を正しく見つけているとは言い難い。また広域避難の問題点を踏まえた分析などがなされておらず、分析が不十分であると考えられる。

モバイル空間統計を防災分野に活用した事例は、村上ら[9]によって行われた、圏外の観光者などを考慮した東京都の発災時の滞留者・帰宅困難者の推計が代表的なものである。

また秦ら[10]がモバイル空間統計を用いて、熊本地震時にどの程度の広域避難者が発生したのかを推計した上で、被害の大きい地域であった益城町の居住者が、隣接するような都道府県にいつ、どの程度の人数が避難しているのかを明らかにしている。このようにモバイル空間統計が防災分野に活用されている事例がすでに報告されている。しかし避難所の同定のために、モバイル空間統計を利用した事例は未だに見られない。

### 2.4 同定までの方法

一般的に地震などの災害で人が避難する場合、避難者が避難所に押し寄せるため、避難所があるメッシュには多数の人の流入が予想される。そこで、本分析では地震前後の人口推移を比較し、地震以前と比べて地震以降の人口が急激に増加し、「異常な増加」を示している箇所を抽出することで避難所の推定を行う。また推定後に熊本市から提供いただいた避難所データと組み合わせて、推定箇所と実際の避難所の箇所の整合性を確認する。ただしこの推定を行う上で、人口の異常値をどのように決定するかが問題となる。

矢部らの研究では、分析の枠組みとして地震以前の平均値 $\mu$ と標準偏差 $\sigma$ の合計( $\mu+3\sigma$ )を異常値として、地震後に基準値を上回った地域を抽出することで推定を行っている。しかし本研究で扱うデータは時系列データであり、1度しか観測できないデータとなっている。矢部らの手法は、人口のばらつきが正規分布に従うことを仮定したものであり、今回のデータに正規分布を仮定することは分析の枠組みとして疑問が残る。そこで本研究においては、時系列データの分析手法を取り入れることとする。

西村[11]などに代表されるように、自然災害によるショックを時系列のデータをもとに推計する研究などはこれまで盛んに行われてきている。本分析でもそれらの分析手法を利用し、過去の値と誤差項から当期の値を表すARIMA(Auto Regressive Integrated Moving Average)モデルを用いる。

主な分析枠組みとしては次の通りである。(1)熊本地震発生以前(3月1日から4月14日まで)の人口データをもとに、人口増加の異常値を推定する。(2)(1)で算出した異常値を超えているものに関しては大幅に人口が増加してい

ると判断し、人の集まる避難所として抽出する。(3)あらかじめ作成しておいた、避難所として利用される地物を抽出したメッシュデータと(2)の抽出結果を重ね合わせて、推定したメッシュのうちから避難所として利用されていた箇所を抽出する。(4)メッシュ内の地物を確認し、避難所を同定する。(5)熊本市から提供を受けた避難所のデータを利用し、抽出結果と実際の避難所の位置を重ね合わせて、整合性を確かめる。

この「異常値」の算出方法は次の通りである、(1)各メッシュの地震以前の人口の値をもとにして、ARIMA モデルを用いて、AIC を基にした最適なパラメータを推定する。

(2)推定したパラメータをもとに、各メッシュの人口の予測値と信頼区間 95%区間の閾値を算出。以上のプロセスで算出された、信頼区間の上側の値を「異常値」として利用する。なお地震以前の時系列データのみを利用するのは、地震以降に当該データが持つ定常性が崩れ、構造変化を起こしており、地震前後で同一のモデルを当てはめることは不適切と考えられるためである。

またもう一つの分析手法として、居住者属性を利用した分析を行う。舩越ら[12]はモバイル空間統計の居住者属性情報を利用することで、熊本市内で地震以降に急激に益城町の居住者が増加したメッシュを抽出し、避難所の推定を行なっている。本分析もその手法を利用することとする。

事前に作成する避難所の候補の施設としては、役場などの公共施設、学校、などがあげられる。また今回の熊本地震では車中泊による避難も見られ、現地調査によって、駐車スペースのある公園、スポーツ施設、病院(ないし病院の駐車場)なども避難所として活用されていることが確認されている。そこで避難所候補の施設として以上のような施設を設定し、これらの施設が確認されるメッシュを抽出することで地物データとした。また以上の施設データに加えて、車中泊として利用されるオープンスペースが確認される箇所についても地物のメッシュデータとして加える。

表 1 利用するデータ詳細

| 利用したデータ          | 詳細                       | 引用元      |
|------------------|--------------------------|----------|
| 市町村役場など及び公的集会データ | 全てのデータ                   | 国土数値情報   |
| 学校               | 全てのデータ                   | 国土数値情報   |
| 医療機関             | 「病院」に該当するデータ             | 国土数値情報   |
| 文化施設             | スポーツ施設                   | 国土数値情報   |
| 都市公園             | 「街区公園」を除く公園施設            | 国土数値情報   |
| オープンスペース         | メッシュ内の建物面積が0.08㎡以下の箇所を抽出 | 国土基盤地図情報 |

また推定したメッシュと避難所の重ね合わせを行うが、場所によっては複数のメッシュにまたがるような避難所も考えられる。モバイル空間統計の人口データは基地局エリアの推計人数をメッシュとの重なりに応じて面積按分した結果の数値であるため、一つの避難所が複数のメッシュの人口推移に影響を与えていることも考えられる。本分析で利用している避難所はポイントデータであり、ポイントデ

ータに重なるメッシュを抽出することで避難所を推定しているが、避難所が複数のメッシュにまたがるような箇所に関してはポイントが位置するメッシュ1つのみしか抽出できない。そこで避難所が複数のメッシュにまたがっている箇所に関しては、個別に操作を行い、推計結果を補正する。

### 3. 避難所の同定結果

#### 3.1 熊本市提供データによる人口推移の分析結果

以上の手法を用いて避難所の同定を行った。結果は次の図3の通りである。この図を見ると、同定した箇所に避難所が確認されるもの、同定した箇所に避難所が確認されない(過剰に同定した)もの、避難所が確認されているにも関わらず同定したメッシュ外に確認される(同定できない)ものがあることが分かる。この結果を同定率(避難所が確認されたメッシュ数/同定したメッシュ数)、補足率(同定できた避難所数/確認されている避難所数)としてまとめると下の表4の通りとなる。

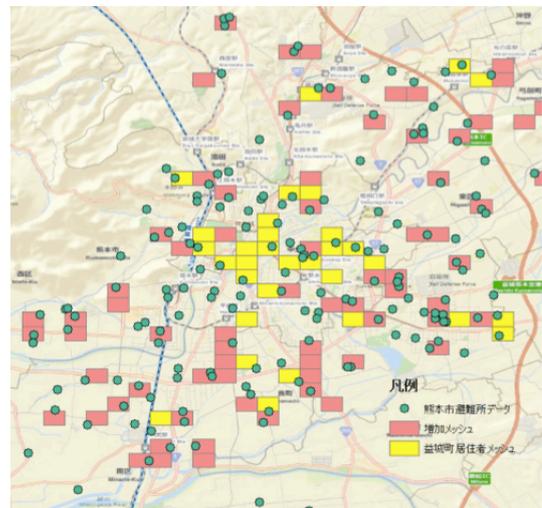


図 3 避難所の同定結果表

この表から、上記の二つの推定方法を利用することで、推定した箇所の7割以上の箇所で実際に避難所が見つかったことがわかった。ただし一方で、過剰に同定してしまう箇所、同定ができない箇所があることもわかる。そこで次節では推定した避難所のメッシュの人口推移を確認することで、推定できる避難所についての類型を行う。合わせて、同定ができなかった避難所、過剰に推定していた避難所についても検討する。

表 2 避難所同定結果のまとめ

|       | 同定率     | 捕捉率     |
|-------|---------|---------|
| A     | 84/121  | 102/198 |
| B     | 33/41   | 38/198  |
| A + B | 117/162 | 114/198 |

#### 3.2 同定したメッシュの人口推移

人口増加を元に推定したメッシュについて、その人口推移を見てみると次のような図が得られる。

次の図は、推定したメッシュのうち、熊本市が管理していた避難所である火の君文化センター(熊本市南区城南町舞原 394-1)と平成中央公園(熊本市南区馬渡 1-8)が位置するメッシュの人口推移を示したものである。この図(左)を見ると、地震以前は人口が定常的な推移を示していたのに対し、14日と16日の地震を経て、多数の人がこのメッシュ内に流入し、地震直後にピークを迎え、1000人を超える人の流入が記録されている。その後人口は減少するも、5月をすぎてもなお、地震以前の人口よりも高い値を推移していることが分かる。もう一方(右)について見ると、平常時から人口が550人前後を推移しており、地震が発生した直後のみ人口が急増し、その後すぐに平常時と同じような人口推移を示している。このように人口の増加をもとにして同定できた避難所には、地震発生後、長期にわたり通常時の人口水準を上回るかたち人口が推移している箇所と、一時的に人口が増加しただけの箇所の2つのパターンがあることが確認できた。

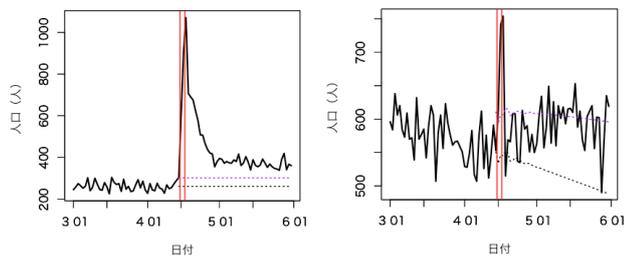


図4 避難所が位置するメッシュの人口推移

また居住者属性に基づいた同定によって抽出できたメッシュについて、その人口推移と益城町の居住者のみの人口推移をみると、次のようなグラフが確認された。この図は避難所となっていた熊本市総合体育館が位置するメッシュの人口推移を示している。この図(左)を見ると、地震以前には2000人近くがメッシュ内で生活していたのに対し、地震の直後にはその人口の値が1700人くらいまで落ち込んでいることが確認され、地震後にメッシュ全体の人口は減少していることが確認できる。一方で図(右)の益城町の居住者の人口推移をみると、地震をきっかけに多数の益城町の居住者が流入していることが分かり、このことからこの地域には益城町の居住者を収容していた避難所があると判断できる。このように熊本市の中心部では、一つのメッシュ内の居住者が2000人を超えるような過密地帯が多く、このような箇所では人口の変動が反映されにくいいため、地震前後の人口の差分を元に避難所を推定する従来の方法では推定できなかった箇所が多数見られる。ただしこのような箇所でも、益城町の居住者の人口推移を注目すると、地震をきっかけに多数の益城町の居住者が流入していることが分かり、避難所の有無を判断することができる。

以上、同定した避難所については、およそ3つの人口推移のパターンを示していることが確認できた。

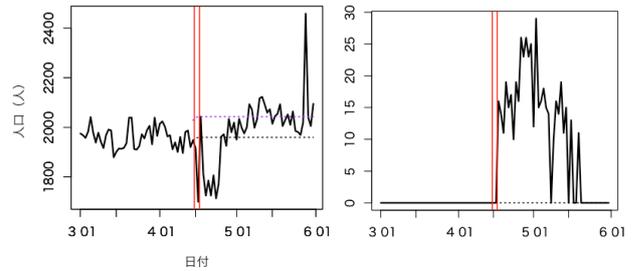


図5 避難所が位置するメッシュの人口推移

### 3.3 同定したメッシュの人口推移

過剰に推定しているメッシュは厳密に言えば、「熊本市が管理している避難所がなかった」場所であり、それゆえこのメッシュ内には熊本市が把握できていなかった避難所があった可能性が高い。そこでこのメッシュに関して、そのメッシュ内の避難所の候補について詳しく見てみると、病院や物資の集積所など、避難所にはなっていないものの人が多数集まっていた箇所が確認された反面、いくつかの箇所では避難所となりうる候補が確認された。さらにその候補について、現地調査及びSNSによる調査を行なった結果、実際に避難所として活用されていたことが明らかになった。

その一例として、熊本市のその一例としてフードパル熊本(熊本市北区貢町 581-2)をあげる。ここは推定したメッシュ内に位置する施設であり、SNS情報を確かめると4月17日時点で多数の人が避難していたことが確認できる(図17)。

以上のように過剰に推定しているメッシュに関しては、個別に訪問やSNS情報を調査することで、結果として指定外避難所となっている箇所であることを明らかにすることができた。



図6 同定した避難所の一例

### 3.4 推定できなかったメッシュの人口推移

以上の結果を踏まえると、推定した箇所におおよそ避難所が確認できた一方で、避難所があるにも関わらずその箇所を推定できていない場合があり、避難所の捕捉率があまり高くないことが分かる。そこで補足できなかった避難所について見てみると、そのほとんどがコミュニティセンターや集会場などの小規模な避難所であることが分かった。これらの避難所に関して、現地住民に対し聞き取り調査を

実施してみると（2016年11月27-12月1日実施）、これらのコミュニティセンターは、実際に地震当日に避難所となっていたものの、避難者のほとんどが地域住民であり、避難者数も数十人程度であったことが分かった。

次の例はそのような避難所として利用されていたコミュニティセンターの一つである、白川中央老人憩いの家（熊本市中央区九品寺1丁目5-12）という老人ホームが位置するメッシュの人口推移を示したものである。

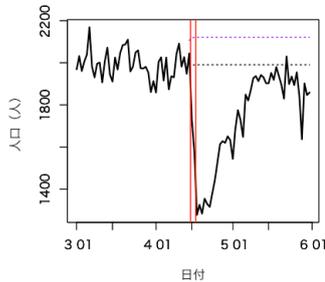


図 7 同定できなかった避難所の位置するメッシュの人口推移

このメッシュ内に位置する避難所の人口推移を熊本市から提供いただいたデータをもとに確認すると、避難所の人口は地震直後が最大で50人であった。一方でこの図をみると、もともとの人口がおよそ2000人で推移していることがわかる。つまり2000人を超えるような人口の過密したメッシュ内ではメッシュ内に数十人が避難していても、そのほかの多数の人間がメッシュ外に避難した場合、メッシュの人口推移は減少することになる。さらに言えばこのような小規模な避難所は周辺住民しか避難しないために、メッシュ外から避難してくるようなケースは稀であると考えられ、その結果としてメッシュ内の人口の増加としては反映されない。このように、熊本市の中心部のようなもともとの人口が多い地域では、コミュニティセンターなどの小規模な避難所の人口の変化が反映されにくく、それゆえ人口増加を見る方法だけでは避難所として推定できないと考えられる。

先の同定手法は、(1)メッシュ内の人口が増加した場合か、(2)他市町村の居住者が滞在している場合に避難所として判定するものであった。しかし一方で、メッシュ内で避難が完了してしまうような小規模な避難所では、メッシュ外から人が流れてこない限り、人口の増加としてデータ上には反映されない。また周辺住民が避難してくる場所であるため、市町村をまたぐような避難者がみられず、(2)の方法でも抽出できない。以上の要因から、周辺住民のみが避難してくるような小規模な避難所に関しては、今回挙げた推定手法では推定できないと考えられる。

またもう一つの要因として、地震以前の人口推移にばらつきが多いために、異常値の判定が難しいものもある。地震以前の人口推移が日によって大幅にバラついているために、地震発生以降の人口推移の変動が「異常な増加」な

かどうかを判断することが難しく、推定ができなかったものと考えられる。このように人口推移が平常時から大幅にばらつくような箇所においても、避難所の推定が難しい。

今回の熊本地震では、コミュニティセンターなどの小規模な避難所では、地域の自治会などの通報によって避難所として確認されていた。このような小規模な避難所では今後とも、このような地域のつながり活用した方法が有効であるといえる。

### 3.5 まとめ

以上のように過剰に推定しているメッシュに関しては、個別に訪問や SNS 情報を調査することで、結果として指定外避難所となっている箇所であることを明らかにすることができた。これらの過剰に推定している箇所について確認して、避難所として確認できた箇所を含めて、改めて集計すると、同定できた避難所数は新たに23箇所増えて、140箇所となる。さらに自衛隊の基地や物資の輸送拠点を確認されたメッシュ10箇所を除くと、推定メッシュ数は152箇所となる。つまり推定したメッシュ152箇所のうち、140箇所において避難場所となっていた箇所が確認できた。

今までの議論をまとめてみると、本手法では次のことを示すことができた。

- (1) 人口が増加しているメッシュを抽出することで、メッシュの外から人が避難してくるような大規模な避難所を抽出することができる、
- (2) 居住者属性のデータを用いることで、広域避難者が滞在している避難所を同定することができる。また熊本県内の交通状況を踏まえると、市町村界を超えるような避難は車を利用した避難をしていると考えることができる。ゆえに、この手法で推定したメッシュを抽出することで車中泊がなされた箇所を推定することができる。
- (3) ただし、コミュニティセンターなどの小規模な避難所については抽出することができない。

## 4. 空間分布に関する考察

3章では指定外を含めた避難所の同定をおこなったが、全ての避難所を推定できるわけではないことがわかった。そこで本章では指定外避難所がどのような分布をしているのかを明らかにする。

今回の熊本地震において注目された指定外避難所には、車中泊の避難所や指定避難所で人が溢れたために発生した避難所、地域の人が寄り集まって形成された避難所などがあることが確認されているが、これらの避難所は様々な要因によって発生したと考えられる。

荒木[13]によると、東日本大震災で発生した指定外避難所の分布の特徴として、被害が少なかった地域、交通の要衝、公共性のある建物や指定避難所の付近、帰宅困難者が多数発生した箇所に指定外の避難所が位置していると指摘しており、今回の熊本地震においても、避難所の分布の特

徴として、これらが主な要因となっていることが考えられる。

そこで、熊本市の指定避難所及び指定外避難所の分布データとモバイル空間統計によって同定した避難所のデータを基に、避難所の分布傾向について明らかにする。

利用するデータについては次の表に示すとおりである。帰宅困難者が多い地域に関しては、最大加速度が高い地域ほど帰宅困難者が発生しやすいものと考え、メッシュごとの最大加速度のデータをもとにして分析を行う。

表 3 利用するデータ一覧

| データ        | 説明変数  | 詳細・出典                          |
|------------|-------|--------------------------------|
| 主要道路までの距離  | 説明変数  | 緊急輸送道路(国土数値情報)をもとに作成           |
| 指定避難所までの距離 | 説明変数  | 熊本市提供データより作成                   |
| 最大加速度      | 説明変数  | 防災研究所の強振観測網(K-NET)のデータから作成     |
| 指定避難所      | 被説明変数 | あり:1 なし:0 として熊本市提供データより作成      |
| 指定外避難所     | 被説明変数 | あり:1 なし:0 として熊本市提供データより作成      |
| 指定外避難所*2   | 被説明変数 | あり:1 なし:0 としてモバイル空間統計の同定結果より作成 |

これらのデータをメッシュごとに集計し、検定を行うことで、道路距離や指定避難所までの距離や最大加速度などの項目が避難所の発生に影響しているかどうかを明らかにする。

まずは指定外避難所全体の傾向を明らかにするべく、ウィルコクソンの順位和検定を行なった。結果は下(表4上側)の通りである。この結果から、避難所がある箇所とない箇所では、主要道路までの距離と、最大加速度において統計的に有意な差が見られることがわかる。次に指定外避難所がある箇所とない箇所との間で指定避難所までの距離に有意差があるかどうかと同様に検定した。(表4下側)結果両者の間には統計的に有意な差が見られた。また先ほどの主要道路と最大加速度の項目についても同様に有意な差が見られた。

表 4 ウィルコクソンの順位和検定の結果

|           | p-value   |
|-----------|-----------|
| 主要道路までの距離 | < 2.2e-16 |
| 最大加速度     | 4.20E-13  |

|            | p-value      |
|------------|--------------|
| 主要道路までの距離  | < 2.2e-16*** |
| 最大加速度      | 4.16e-13***  |
| 指定避難所までの距離 | < 2.2e-16*** |

表 5 ロジスティック回帰分析の結果

|             | Estimate   | Std. Error | z value | Pr(> z )     |
|-------------|------------|------------|---------|--------------|
| (Intercept) | -3.3693393 | 0.5337881  | -6.312  | 2.75e-10 *** |
| 指定避難所までの距離  | -1.2370047 | 0.1704448  | -7.258  | 3.94e-13 *** |
| 主要道路までの距離   | -0.6456831 | 0.2041287  | -3.163  | 0.00156 **   |
| 最大加速度       | 0.0036021  | 0.0006552  | 5.498   | 3.84e-08 *** |

続いて指定外避難所を被説明変数、先の3項目を説明変数としてロジスティック回帰分析を行った。その結果が次の通りである。

この表から、いずれの項目も1%水準で有意であり、指定避難所までの距離と最大加速度については0.1%水準で有意であることがわかった。また指定外避難所の発生要因として、また各項目の中でも指定避難所までの距離の影響が最も高いことが示された。

ここまでで指定外避難所全体の傾向について分析を行なったが、(a)モバイル空間統計で同定した熊本市が把握できなかったような指定外避難所、あるいは(b)モバイル空間統計で同定できなかった小規模な避難所の分布傾向についてそれぞれ分析する。

表 6 (a)に関するロジスティック回帰分析の結果

|             | Estimate  | Std. Error | z value | Pr(> z )     |
|-------------|-----------|------------|---------|--------------|
| (Intercept) | -6.186532 | 1.023784   | -6.043  | 1.51e-09 *** |
| 指定避難所までの距離  | 0.258159  | 0.237899   | 1.085   | 0.27785      |
| 主要道路までの距離   | -1.105301 | 0.50087    | -2.207  | 0.02733 *    |
| 最大加速度       | 0.003583  | 0.001233   | 2.907   | 0.00365 **   |

表 7 (b)に関するロジスティック回帰分析の結果

|             | Estimate   | Std. Error | z value | Pr(> z )     |
|-------------|------------|------------|---------|--------------|
| (Intercept) | -2.1128259 | 0.6219058  | -3.397  | 0.000680 *** |
| 指定避難所までの距離  | -3.5595109 | 0.3300487  | -10.785 | < 2e-16 ***  |
| 主要道路までの距離   | 0.0273683  | 0.2151421  | 0.127   | 0.898774     |
| 最大加速度       | 0.0026768  | 0.0007642  | 3.503   | 0.000461 *** |

両者の結果を見比べてみると、モバイル空間統計でのみ同定した避難所(a)は、主要道路までの距離と最大加速度の項目のみが5%水準で有意であり、指定避難所までの距離の項目に説明力は見られなかった。また係数について見てみると、主要道路までの距離が最も影響力が強いことが見て取れる。一方でモバイル空間統計では同定できなかった避難所(b)は、指定避難所までの距離と最大加速度の項目のみが0.1%水準で有意であり、主要道路までの距離の項目に説明力は見られなかった。係数について見てみると、(a)の結果とは対照的に、指定避難所までの距離が最も影響力が強いことが見て取ることができる。

以上の結果から指定外避難所の中でも、モバイル空間統計で同定できない避難所については、指定避難所の近辺に発生するような避難所であることが分かり、モバイル空間統計で同定できる避難所については、道路からの距離が近い交通の要衝に位置していることがわかった。

最後に以上の得られた知見をもとに、事前の避難所の計画や避難所に対する支援政策のあり方を検討したい。

現状の防災計画は、建物が倒壊した人の数を推計することで避難者人数を求めて、その避難者人数を満たすように避難所を配置している。しかし今回の熊本地震では、建物が倒壊していなくても避難する避難者が多く見られ、このような避難者の見積りに問題があることを示す結果となった。特に車中泊避難者は自宅付近だけでなく、より環境の良い避難所を求めて長距離避難を行う可能性があり、4章の分析で示したような、主要道路の近くの民間施設や駐車場などに避難しようとする恐れがある。今後の計画では、このような車中泊避難を想定した上で、自宅からの距離を

\*\*\*: 有意水準 0.1%, \*\*: 有意水準 1%, \*: 有意水準 5%をそれぞれ表す。

モデルとした避難所配置を見直すことや、ショッピングモールなどの大規模駐車場を有する施設との事前協定などが求められよう。

また船越ら[13]によって、今回の熊本地震では他の市町村へと避難する熊本市居住者の所在を突き止めることができた。熊本市はこのような市町村を跨いだような避難所については把握できていなかったことが明らかになっており、このような避難所を支援できるような他の自治体との広域連携協定の強化も求められる。

## 5. おわりに

以上、モバイル空間統計を利用して避難所を同定する手法を提案し、熊本市の管理していた避難所データおよび実地調査によって、検証を行った。

結果、(1)推定した箇所のほとんどが実際に避難所として活用されていた。また(2)同定した箇所に駐車スペースがあるかどうかをもとにして車中泊避難が行われている箇所を推定することができた。(3)一方で、推定した結果で全ての避難所を捕捉できるわけではなく、周辺住民が避難しているような小規模な避難所に関しては同定できないことが明らかになった。

また同定できなかった避難所に関して、その空間的分布の特徴を明らかにすべく、検定及びロジスティック回帰分析を行い、指定外避難所の多くが主要道路までの距離が近い地域や被害家屋が多い地域が避難所となっていた。さらに先ほど同定できなかった指定外避難所に関して同様の分析を行い、これらの指定外避難所の分布が主要道路までの距離ではなく、指定避難所までの距離に大きく影響していることがわかった。

これらの知見を活かして、今後車避難を想定した避難所の配置計画や、広域避難者のための自治体連携協定の強化が求められよう。

## 謝辞

データの提供をいただきました熊本市、また調査にご協力頂いた熊本市をはじめとする各自治体の職員の皆様に謹んで感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 熊本県：第5回政府現地対策本部会議  
<[http://www.pref.kumamoto.jp/common/UploadFileOutput.ashx?c\\_id=3&id=15459&sub\\_id=1&flid=66701](http://www.pref.kumamoto.jp/common/UploadFileOutput.ashx?c_id=3&id=15459&sub_id=1&flid=66701)>, (2016), (最終確認 2017-1-21)
- 2) 気象庁：「平成28年(2016年)熊本地震」震度1以上の最大震度別地震回数表,  
<[http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2016\\_04\\_14\\_kumamoto/yoshin.pdf](http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2016_04_14_kumamoto/yoshin.pdf)>, (2016), (最終確認 2017-2-1)

- 3) 内閣府：南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ、「南海トラフ巨大地震対策について(最終報告)」, (2013) (最終確認 2016-2-1)  
<[http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku\\_wg/pdf/20130528\\_honbun.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/20130528_honbun.pdf)>
- 4) NTTドコモ：モバイル空間統計に関する情報, NTTドコモホームページ(オンライン), 入手先  
<[https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile\\_spatial\\_statistics/](https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile_spatial_statistics/)>, (最終確認 2016-2-1)
- 5) 寺田雅之, 永田智大, and 小林基成. “モバイル空間統計における人口推計技術(社会・産業の発展を支える「モバイル空間統計」: モバイルネットワークの統計情報に基づく人口推計技術とその活用).” *NTT DoCoMoテクニカル・ジャーナル* 20.3 (2012): 11-16.
- 6) 大藪勇輝, 寺田雅之, and 山口高康. “モバイル空間統計の信頼性評価(社会・産業の発展を支える「モバイル空間統計」: モバイルネットワークの統計情報に基づく人口推計技術とその活用).” *NTT DoCoMo テクニカル・ジャーナル* 20.3 (2012): 17-23.
- 7) 瀬戸寿一, 榎山武浩, and 関本義秀. “平成28年4月熊本地震における混雑度推計”(オンライン), 入手先
- 8) <<http://sekilab.iis.u-tokyo.ac.jp/wp-content/uploads/ZDCkumamoto160520.pdf>> (2016) (最終確認 2016-2-1)
- 9) Yabe, Takahiro, et al. "A framework for evacuation hotspot detection after large scale disasters using location data from smartphones: case study of Kumamoto earthquake." *Proceedings of the 24th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*. ACM, 2016
- 10) 村上正浩, and 岡島一郎. “モバイル空間統計を活用した滞留者・帰宅困難者数の推定と具体的対策の検討.” *日本建築学会大会学術講演梗概集* (2011): 893-894
- 11) 秦康範, 関谷直也, and 廣井悠. “2016年熊本地震における市町村を超える避難行動の実態把握に関する基礎的検討” *地域安全学会便覧集* (2016): No39
- 12) 西村泰紀, 梶谷義雄, and 多々納裕一. “震災が観光入込客数に与える影響に関する定量分析.” *土木学会論文集 D3 (土木計画学)* 68.5 (2012): I\_267-I\_276.
- 13) 船越康希, and 畑山満則. “熊本地震を事例とした避難所の同定及び市町村をまたぐ広域避難に関する研究.” *研究報告情報システムと社会環境 (IS)* 2016.14 (2016): 1-8.
- 14) 荒木裕子, 被災地域の避難所の総合マネジメントに関する研究 -指定外避難所の発生状況を事例として- (オンライン), 入手  
<[http://www.dri.ne.jp/wordpress/wp-content/uploads/01\\_Report\\_araki.pdf](http://www.dri.ne.jp/wordpress/wp-content/uploads/01_Report_araki.pdf)>, (最終確認 2017-2-2)