

熊本地震における避難場所の 分布に関する分析

畑山 満則¹・船越 康希²

¹正会員 京都大学防災研究所 教授 巨大災害研究センター（〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄）

E-mail: hatayama@imdr.dpri.kyoto-u.ac.jp

²非会員 西日本電信電話株式会社

E-mail: rs.ii.skuth@gmail.com

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、指定外の箇所でも多数の避難場所が形成された。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。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する。この手法から得られたデータと行政が把握していた避難場所の情報と合わせて避難場所の発生過程や広域避難の実態に明らかにする。

Key Words: Kumamoto earthquake, evacuation spot, big data analysis, mobile spatial statistics

1. はじめに

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。16 日の本震をきっかけとして、熊本県を中心とした余震の回数は 4000 回を超え、過去最多の余震を記録している[1]。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ため、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。災害直後には、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り、指定されていない場所にも避難者が滞在せざるをえなくなったこと、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行われたことにより、指定避難所ではない避難場所（以下、指定外避難所と呼ぶ）が多数見られた。被災自治体では、各地域の自治会をはじめとしたコミュニティからの通報や、自衛隊や、DMAT、支援団体など災害直後から救援・救護活動を行う団体からの情報提供で、この指定外避難所の把握に努めたが、時々刻々と変化する状況に対応することは難しく、支援の手が及ばない場所が多く確認された。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）」[2]を見てみると、避難者トリアージを行うものとして記載されている。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。

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、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案し、熊本地震における避難場所の空間分布について考察することを目的とする。

2. 分析に利用したデータ

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であるモバイル空間統計[3]を用いて研究を行った。データは、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[4]。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。地震発生前後の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[5]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。

モバイル空間統計に加えて、国土数値情報・国土基盤地図情報などのオープンデータを行いながら、避難所の同定を行い、熊本市が把握していた避難所リスト（熊本市より提供）を用いて考察を行うものとする。

3. 先行研究

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・檜山・関本[6]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。Yabe et al.[7]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の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[8]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ろう。また秦ら[9]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。

4. 熊本地震における避難場所の同定

(1) 同定手法

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。

Yabe らの研究[7]では、分析の枠組みとして地震以前の平均値 μ と標準偏差 σ 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なっている。しかし本研究で取り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。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。

同定手法（同定手法 A）を以下に示す。

- (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。

- (a) 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。
- (b) 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%区間の閾値を算出する。

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当と考えられるためである。

またもう一つの分析手法（手法 B）として、居住者属性を利用した分析を行う。舩越ら[11]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 m ² 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。

(2) 避難場所同定の結果と考察

① 熊本市提供データによる人口推移分析結果

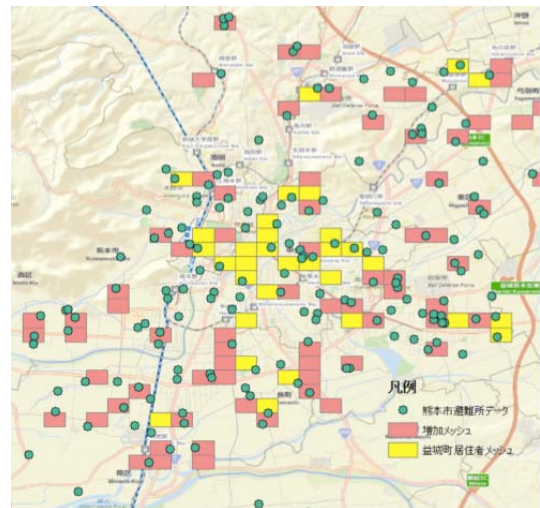


図 1 避難所の同定結果表

避難所同定結果は、図 1 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 2 の

通りとなる。

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

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。

② 同定したメッシュの人口推移

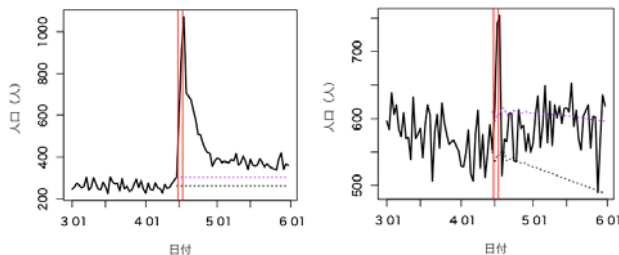


図 2 避難所が位置するメッシュの人口推移

(左：火の君文化センター、右：平成中央公園)

図 2 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。図 2 左を見てみると、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。図 2 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。

5.3 過剰に推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 3)。

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 3 同定した避難所の一例

② 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。

図 4 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。

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。一方でこの図をみてみると、もともとの人口がおおよそ 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ができないと考えられる。

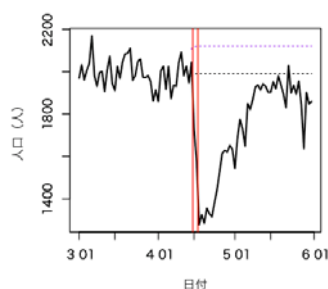


図4 同定できなかった避難所の位置するメッシュの人口推移

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」なの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。

5. 避難所の空間特性に関する分析

(1) 指定外避難所の分布要因分析

これまでの章で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、熊本市から提供いただいた避難所データ及びモバイル空間統計によって同定した避難所データを利用して、避難所の分布傾向について検討する。指定避難所の設置基準について、災害対策基本法の施行令(第 20 条 6 項)を見てみると、被災者が滞在する上で適切な規模であること、避難者の受け入れや生活関連物資の配布に適した構造設備を備えていることなどに加えて、車両その他の運搬手段による輸送が比較的容易な場所にあることが定められている。つまり指定の避難所は主要な道路沿いに位置しているものと言える。しかし、今回の熊本地震において注目された指定外避難所は、車中泊の避難所や人が溢れた結果発生した避難所、地域の人々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おり、これらの避難所は、自宅の周辺や指定避難所の周辺など、道路沿いというだけでは説明がつけられない様々な要因によって発生したものと考えられる。荒木 [12]は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、交通の要衝に加えて、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位置していることを指摘している。今回の熊本地震においても、指定避難所から溢れた避難者が付近の施設を指定外避難所として利用したり、車中泊の避難者が主要道路沿いの施設の駐車場などを利用したりしていることから、これらが指定外避難所の分布を説明する主な要因となっていると考えられる。

(2) 空間特性の分析の枠組み

そこで本章では以下の仮説を設定した上で、検定、回帰分析を行う。

- 車避難などに見られるように車避難による避難者が多数見られる。よって指定外避難所は指定避難所の付近に位置している。
- 指定避難所に入りきれずに溢れた避難者が指定外避難所を形成していると考えられる。よって指定外避難所は主要道路近辺に位置している。
- 帰宅困難者が多い箇所に指定外避難所が位置している。

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。なお帰宅困難者が多い地域という項目に関しては、地震による倒壊家屋が多い地域に帰宅困難者が集中すると考え、家屋倒壊を引き起こす最大加速度を説明変数とする。なお最大加速度は防災科学研究所の強振

観測網(K-NET)のポイントデータを IDW 法によって空間内挿して得られたラスターデータをメッシュごとに集計することで算出した。説明変数とする各項目に関して利用するデータは次の表 3 に示すとおりである。

表 3 利用するデータ一覧

データ	データ属性	詳細・出典
主要道路までの距離	説明変数, 連続値	緊急輸送道路(国土数値情報)からの距離を算出
指定避難所までの距離	説明変数, 連続値	熊本市提供の指定避難所のうち, 最も近い距離を算出
最大加速度	説明変数, カテゴリカル変数	強振観測網(K-NET)のポイントデータを元に作成
指定避難所	被説明変数, カテゴリカル変数	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, カテゴリカル変数	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, カテゴリカル変数	あり: 1 なし: 0 として熊本市提供データより作成

(3) 空間特性の分析の結果

指定外避難所がある箇所とない箇所との間で, 主要道路までの距離, 指定避難所までの距離, 最大加速度の項目それぞれに有意差があるかをウィルコクソンの順位と検定を行い, 確かめた(表 4)。結果これらの項目について, 両者の間には統計的に有意な差が見られた。続いてメッシュ内に指定外避難所があるかどうかを 2 値変数として表現したものを被説明変数, 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。その結果が上の表 5 の通りである。

表 4 ウィルコクソンの順位と検定の結果

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

表 5 ロジスティック回帰分析の結果

	回帰係数	オッズ比	信頼区間 (下側)	信頼区間 (上側)	p 値
(Intercept)	-3.3693393				2.75e-10 ***
指定避難所までの距離	-1.2370047	0.2902523	0.2078213	0.4053789	3.94e-13 ***
主要道路までの距離	-0.6456831	0.5243042	0.35141923	0.7822421	0.00156 **
最大加速度	0.0036021	1.0036086	1.0023207	1.0048981	3.84e-08 ***

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

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。また回帰係数を見ると, 指定外避難所の発生要因として, 各項目の中でも

指定避難所までの距離の影響が最も高く, 指定避難所までの距離が増えるごとに, 「指定外避難所が確認されるメッシュである」確率が低下するということが示された。また主要道路の距離についても同様にある程度の説明力を持った項目であると考えられるが, 最大加速度については推定値が低く, 説明力を持つとは言えないことが明らかになった。

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

	回帰係数	オッズ比	信頼区間 (下側)	信頼区間 (上側)	p 値
(Intercept)	-6.186532				1.51e-09 *
指定避難所までの距離	0.258159	1.294544522	0.812106712	2.0635779	0.27785
主要道路までの距離	-1.105301	0.331111311	0.124057912	0.8837380	0.02733
最大加速度	0.003583	1.00358977	1.001167984	1.0060174	0.00365 *

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

表 7 (b)に関するロジスティック回帰分析の結果

	回帰係数	オッズ比	信頼区間 (下側)	信頼区間 (上側)	p 値
(Intercept)	-2.1128259				0.000680 ***
指定避難所までの距離	-3.5595109	0.02845274	0.0148998 2	0.054333 43	< 2e-16 ***
主要道路までの距離	0.0273683	1.02774626	0.6741448 6	1.5668181 2	0.898774
最大加速度	0.0026768	1.0026804	1.00117958	1.0041834 6	0.000461 ***

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

両者の結果(表 6, 表 7)を見比べてみると, (a)モバイル空間統計でのみ同定した避難所は, 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。また回帰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く, 主要道路までの距離が長くなるほど, 指定外避難所が確認されるメッシュである確率が低くなることが示された。一方で(b)モバイル空間統計では同定できなかった避難所は, 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。回帰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く, 指定外避難所までの距離が長いほど, 指定外避難所が確認されるメッシュで

ある確率が低くなることが見て取ることができる。また両方の分析において、最大加速度は統計的には有意ながら、あまり影響力を持たない変数であることがわかる。荒木は指定外避難所の発生場所に関して、被害が少ない地域に位置しやすいとする一方で、帰宅困難者が多い地域に位置しているとも述べている。今回のような広域にわたる地震災害では、熊本市内での最大加速度にそこまで差がなかったために、説明変数として影響力がなかったものと考えられる。

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。

6. 支援策の検討

(1) 事前の支援に関する検討

まずは本稿で得られた知見をもとにして、事前の支援策について検討する。

熊本市の避難所運営ガイドラインで避難所の配置計画について確認すると、現状の計画では、被害想定調査によって得られた最大規模の避難者数の収容できることを目標としており、そしてその被害想定調査で計算する避難者数は「建物被害やライフライン被害に伴い、避難所生活または疎開を強いられる人数」として計算している。また避難所の圏域について日常の徒歩での生活圏を想定し、小学校区を基本とし、地形を考慮した場合でも集落等の単位を基本とすることを明記している。つまり現状の防災計画では、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。そしてこのような計算に基づく配置計画は熊本市だけではなく、その他の自治体でも多数見受けられる。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もりに問題があることを示す結果となった。そのため、従来の徒歩避難者の配置計画に加えて、指定外避難所が発生することを踏まえた対応策が求められる。分析結果より、指定外避難所のうち、滞在型の避難所は指定避難所の付近に位置しやすく、車中泊型の避難所は主要道路の付近に位置しやすいことが明らかになった。よって事前の支援についても、これらのタイプに応じた支援メニューを考案する必要がある。

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、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、自宅からの距離をモデルとした避難所配置計画に加えて、このような車中泊避難を想定し、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るだろう。ただし、指定外避難所は支援を続けていくと、避難者が居座り続けることにつながりかねない。そこで事前協定は、全面的な物資支援を行うのではなく、車中泊の避難者が確認され次第、自治体に対して連絡を行う程度のものが望ましい。

また、データ分析から他の市町村へと避難する熊本市居住者の所在を明らかにした。避難所運営マニュアルでは、熊本市はこのような避難者を熊本市はこのような市町村を被災地外避難者とし、受け入れ先自治体と連携した上で情報提供などの支援を行うこととしている。しかし、熊本市は市町村を跨いだような指定外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いる。これは受け入れ先の自治体と被災市町村のそれぞれの被害対応に差があったためである。今回被害が少なかった自治体では、避難所の対応なども自主避難を原則としており、特別に指定外避難所を探索する活動がなされることはなかった。このような避難所を支援できるように、先ほど述べたような施設との事前協定のほかに、他の自治体との広域連携協定の強化も求められるだろう。

(2) 対応時の支援に関する検討

指定外避難所に物資を輸送するためには、指定外避難所の場所を把握していること、物資が十分にあること、輸送方法・手段が確保されていることが必要となる。

今回の熊本地震では、各自治体の物資集積所までの物資輸送は、政府によるプッシュ型の支援が行われ、各自治体とも1次集積所には物資が大量に届いていた。輸送方法や手段については、事前に協定を結んでいた県トラック協会などの組織とのミスコミュケーションがあったこと、政府による大量のプッシュ型支援が物資の仕分けをより複雑化させたことが確認されているが、仮にこれらの問題が解決された場合、指定外避難所に物資を送るためには避難所の所在に関する情報がネックになる。

そのためにこれまでモバイル空間統計によって、避難所を推定したが、ここで情報の粒度が問題となる。モバイル空間統計によって取得できる情報は、避難所があると考えられるメッシュ及び人口の情報であり。特に500mメッシュ内に避難所となりうる箇所について、中には1つのメッシュの中でも複数の避難所候補が確認される箇所がある。モバイル空間統計で推定できた箇所にはほぼ避難所となっている箇所であることは本稿ですでに述べた。主に避難所の同定において問題となるのは、発災初期の混乱期である。そのような状況下においては、正確な場所でなくても、おおよその当たりをつけて探索できることは、実際の避難所の同定の際には有用であると考えられる。また同定できない小規模な避難所に関しても指定避難所周辺のコミュニティセンターなどを探索

したり、従来のボトムアップ型の避難所の同定活動を並行したりすることで、大方の避難所を発災初期の段階から見つけられるものと考えられる。

ただ同定した避難所への支援の際に問題となるのは物資量である。特に行政による物資の供給は公平性が求められるため、仮に場所がわかっている場合でも、必要量が分からず避難者全員に物資が行き渡らない場合には、最悪の場合物資の供給が行われないという事態も考えられる。モバイル空間統計で明らかにできるのは、メッシュ内の人口情報であり、厳密には避難所の人口情報ではない。そのため同定した避難所でどの程度の人口がいるのかを把握する手法が求められる。

また指定外の避難所にも物資を提供できるように行政側では、災害後に発生した避難所の早期な「指定化」が求められる。今回の熊本地震では、指定外避難所の中には、耐震基準を満たしていない、応急危険度判定の結果が建物内の安全性を保証できないなどの理由から、行政による追加指定がなされなかった箇所もあった。繰り返になるが、指定外避難所は、同定してから支援を続けていくと、避難者がその箇所に居座りつづけて、災害対応のフェーズの切り替えを行うことができない。以上の理由から、指定外の避難所も早期に追加指定を行うことで、タイミングを見極めながら、避難者を移設し、早期解消につなげる必要がある。

7. おわりに

NTT ドコモ社のモバイル空間統計を用いて、地震前後の人口の差と居住者属性情報をもとにして、避難所となっていると考えられるメッシュを抽出し、避難所候補が確認されている地物データと重ね合わせることで避難所の同定を試みた。また熊本市の管理していた避難所データと重ね合わせることで指定外避難所の同定を行った。

その結果、推定した箇所では実際に避難所であったことが確認でき、推定した箇所のうちのいくつかでは実地調査と SNS 情報を通じて指定外の避難所があったことを確認することができた。また合わせて車中泊避難が行われていた箇所を同定することにも成功した。しかし一方で全ての避難所を確認できるわけではなく、避難所の中でも、コミュニティセンターなどの小規模な避難所は同定できないことが明らかになった。これは、小規模な避難所ではその避難所周辺の住民のみが避難しており、メッシュ外からの流入人口や市町村界を超える避難などから避難所を同定する本手法とは相入れないからであると考えられる。またメッシュの中には、地震以前から人口のばらつきが大きい箇所もあり、そのような箇所においても本手法での同定はできないことが明らかになった。

その後今回同定した避難所の情報を用いて、指定外避難所の分布傾向について分析を加えた。その結果、指定

外避難所の所在は、主要幹線道路沿いか指定避難所の近くかどうかと関わりがあることが明らかになった。今後は推定した避難所情報をもとに、より具体的な避難所支援政策について検討を加える必要がある。

最後に本研究での問題点についても言及しておきたい。本研究では同一メッシュ内に避難所が複数存在する場合には、純粋な形で推計が難しいという問題が残る。これはメッシュを 500m からさらに細かく分割することが求められる。一方で空間モバイル統計は仕様上 250m 以上に詳細に分割することはできず、メッシュを細かく分割しすぎると、推計値の信頼性が揺らぎかねない。そのため発災直後に、迅速に避難所を大まかに見つけることには利用できるが、このデータからより詳細な情報を明らかにすることは難しい。

また携帯の電源が断絶するような環境下や基地局が被災するような状況においては、携帯電話の集計ができず、モバイル空間統計上にはデータとして反映されない恐れがある。この点に関しても留意する必要がある。

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] 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, (2016), (最終確認 2017-2-1)
- [2] 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)
- [3] 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),
https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile_spatial_statistics/, (最終確認 2016-2-1)
- [4] 寺田雅之,永田智大,小林基成:「モバイル空間統計における人口推計技術」,NTT DoCoMo テクニカル・ジャーナル 20.3 (2012): 11-16.
- [5] 大藪勇輝,寺田雅之,山口高康:「モバイル空間統計の信頼性評価」,NTT DoCoMo テクニカル・ジャーナル 20.3 (2012): 17-23.
- [6] 瀬戸寿一,檜山武浩,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
<http://sekilab.iis.u-tokyo.ac.jp/wp-content/uploads/ZDCkumamoto160520.pdf> (2016) (最終確認 2016-2-1)
- [7] 矢部 貴大,坪内 孝太,須藤 明人,関本 義秀:携帯電話から取得される GPS データを用いた平成 28 年

熊本地震における避難行動の分析, 地理情報システム学会講演論文集, Vol.25, CDROM, 2016.

- [8] 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
- [9] 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
- [10] Yabe, Takahiro, et al. "A framework for evacuation hotspot detection after large scale disasters using location data from smartphones: case study of Kumamoto earthquake." Proc. of the 24th ACM SIGSPATIAL. ACM, 2016
- [11] 船越康希, 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.
- [12] 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), 入手先<http://www.dri.ne.jp/wordpress/wp-content/uploads/01_Report_araki.pdf>, (最終確認 2017-2-2) .