

流動人口統計を用いた 災害時の徒歩帰宅困難者の推定

吉田 慎也¹・薄井 智貴²・山本 俊行³・森川 高行⁴

¹学生会員 名古屋大学大学院 環境学研究科都市環境学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)
E-mail: yoshida.shinya@a.mbox.nagoya-u.ac.jp

²正会員 名古屋大学 特任准教授 大学院経済学研究科 E-mail:tomo.usui@nagoya-u.jp

³正会員 名古屋大学 教授 未来・材料システム研究所 E-mail:yamamoto@civil.nagoya-u.ac.jp

⁴正会員 名古屋大学 教授 未来社会創造機構 E-mail:morikawa@nagoya-u.jp.

2011年の東日本大震災では、首都圏を中心に広範囲で公共交通機関がマヒし、多くの帰宅困難者が発生した。中京都市圏においても、東海・東南海・南海トラフ地震の発生が想定されており、災害時に路上や駅周辺に膨大な数の帰宅困難者が集中することによる、二次災害の発生等が懸念されている。従来、帰宅困難者の推定にはPT調査や国勢調査等が用いられているが、昨今の変動性の高い人口流動を考慮できていない。一方、流動人口統計は携帯電話基地局データを基に推定した滞留人口であり、500mメッシュ内に滞留する時間ごとの人数を性別・年齢別・居住エリア別に把握できる。本研究では、この流動人口統計の居住エリアデータを、住宅地図データ等を用いて細分化し、任意の時刻における詳細なODデータを生成するとともに、全ての人が道路上を徒歩で帰宅するという仮定のもと、時空間内挿法を用いた災害時帰宅困難者の推計を行った結果を報告する。

Key Words: Floating population statistics, Spatiotemporal interpolation, Disaster victim unable to go home

1. はじめに

2011年3月11日、日本観測史上最大となるマグニチュード9.0の巨大地震が発生し、東日本太平洋岸全域にわたる広範囲において未曾有の被害を及ぼしたことは記憶に新しい。この巨大地震においては、建物の倒壊や人的被害はもちろんのこと、ライフラインの停止や交通機関の麻痺、広域にわたる通信障害など、非常に多くの壊滅的な一次被害をもたらした一方で、震源地から遠い関東都心においては、多数の帰宅困難者が発生し、駅や集客施設、歩道・車道において大混乱を招いた¹⁾。こうした教訓から東京都は、2011年11月に東京都防災対応指針を発表し²⁾、今後予想される首都直下地震への具体的な取り組みを示した。一方、政府の地震調査委員会により、東海・東南海・南海トラフ地震の発生確率が10年以内で20~30%と発表され、中部地区においても、防災・減災対策の効果的な推進が急務となっている。特に、震災当日中の帰宅困難者は愛知県全体で約86~93万人と想定されており³⁾、大規模地震発生時に、路上や駅周辺に膨大な数の帰宅困難者が集中し、二次災害の発生や救命・救助活動等の妨げになることが懸念され、2015年3月には「愛知県帰宅困難者対策実施要領」⁴⁾を策定し、帰宅

困難者対策の検討を推進している。

2. 既往研究と本稿の目的

こうした背景のもと、対応策のベースとなる地震発生時の各地域の詳細な帰宅困難者の推定に関する研究は、数多く行われてきた。推定には、アンケート調査データを用いたものや、10年に1度、秋の1日に実施される交通行動調査であるパーソントリップ（以降、PT）調査データを用いたもの、5年に一度の国勢調査等による統計データを用いたもの等、様々なリソースを用いている。

アンケート調査を用いた帰宅困難者推定としては、堤⁵⁾は、アンケート調査結果をもとに、東日本大震災発生当日の帰宅行動の再現シミュレーションを実施し、発災後1時間毎のリンク混雑度を算出している。熊崎ら⁶⁾は、豪雨災害時の自動車交通について、アンケート調査をもとにした交通シミュレーションを行い、帰宅行動を分析した。一方、PTを用いた研究としては、穴口ら⁷⁾は、静岡中部都市圏PT調査データを用いて、小ゾーン毎の帰宅困難人口の推定を行っている。石川ら⁸⁾は、PTデータから居住地、勤務地、自由行動トリップのOD（起終点）を抽出し、その流入流出を用いたシミュレーションによ

り市区町村毎の滞留者数を算出している。国勢調査データによる研究としては、後岡ら⁹⁾は、水戸市を対象として、避難所単位での帰宅困難者推定アルゴリズムの構築を行っている。

しかし、これらの研究に用いられている調査・統計データは、限定された都市の、数年に一度の低頻度かつ限られた数日のみの交通行動データであり、季節の動向や通過人口、観光・イベント来訪者、訪日外国人などの昨今の変動性の高い流動が考慮できない。

そこで、本研究では、ここ数年のビッグデータ普及とともにない登場した、「人口分布統計データ」を用いて、震災発生時刻以降の、メッシュ・リンク毎の時間帯・曜日・交通手段別の帰宅困難者数を動的に推計可能なシミュレータの構築を最終目的とする。この人口分布統計データは、主要携帯電話会社が提供する全国人口カバー率99.9%の携帯電話基地局データをもとに滞留人口を推定し、指定されたエリア（メッシュ）内の滞留者数を1時間毎に集計した流動人数で、メッシュ内に滞留する性別・年代別・居住エリア別に総人数を把握することはできるが、滞留者と移動者の区別、及び交通手段や移動先・目的、個人IDなどは一切不明で、また年代別データにおいても携帯電話契約者である15~79歳のサンプルしか含まれていないという課題がある。

これら人口分布統計データの課題に対しては、村上ら¹⁰⁾や、川岸・瀧澤¹¹⁾に代表される流動人口データを用いた帰宅困難者推計の研究において、徒歩移動者を対象とした市区レベルの集計を前提とし、被災時の交通状況や周辺被災状況、避難時の交通手段等を加味しない簡易的な推計を行っているが、前述の課題により、推計滞留人数に大きな誤差が生じる可能性は高い。

これらを踏まえ、本稿では被災時の交通状況や移動交通手段を考慮した、町丁目レベルの詳細な滞留人口を推計することを目指し、町丁目レベルの時間帯別滞留人口の推計手法を検討する。ただし、帰宅交通手段については、既往研究同様、徒歩のみによる帰宅を仮定し、その他の交通手段については、今後の課題とする。

3. 人口分布統計データの概要

今回用いた人口分布統計データは、株式会社NTTドコモが提供する携帯電話ネットワークの基地局運用データを基に、エリア毎の時間帯別滞留人口を推定した「モバイル空間統計」である。モバイル空間統計は、各基地局エリアで観測された個人の携帯ネットワーク基地局接続情報から、個人識別性を除去し、携帯電話の普及率を加味して集計、秘匿処理したもので、図-1に示す手順により作成されている。今回利用したデータの概要を表-1に示す。データは、2015年10月1日の名古屋市内500m

メッシュの24区分（24時間分）で合計1,406メッシュ

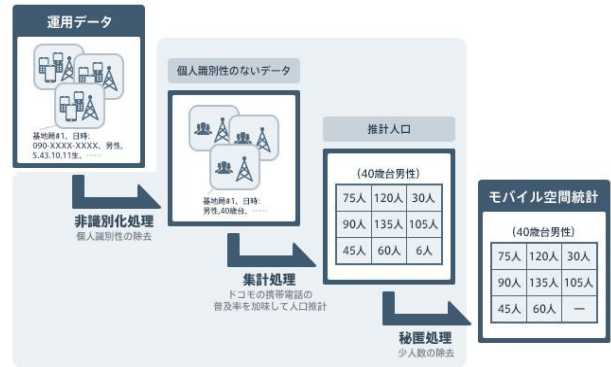


図-1 モバイル空間統計の作成手順
(出典：NTT DoCoMo ホームページ)

表-1 モバイル空間統計データの概要

項目	内容
エリア	名古屋市内 500m メッシュ 例)メッシュ番号：523646872
日付・曜日	日時・曜日 例)2015/10/01
時間帯	24区分（1時間単位での集計） 例)14時
属性データ	性別 例)男性、女性 年代（10歳階） 例)30代 居住地（市区レベル） 例)名古屋市中区、名古屋市名東区 滞留人口（人）

内に滞留する総人数を、性別・年代別・居住地エリア別に把握することが可能である。

ただし、滞留者と移動者の区別、及び交通手段、移動の目的、個人IDなどは一切不明であり、また、前述の通りサンプルの年齢による偏りの問題もある。データ内の居住地エリアは市区レベルのものであり、名古屋市16区分が記載されている。

4. 帰宅困難者ODの居住地レベルの細分化

本研究における帰宅困難者推定手法を説明する。推定手法のフローを図-2に示す。

まず、先述の人口分布統計データを用いてODデータを作成する。人口分布統計は任意の時間帯における滞留位置（メッシュ）を把握できるが、滞留人口がこれからどこへ移動するのか、或いはどこからやって来たのかといった目的地は把握できない。そのため、現滞留位置から移動終点までのODを何らかの手法で推定する必要がある。本研究では、平日昼12時に震災が発生し、人々はす

ぐに自宅に向かい始めると仮定し、O（移動起点）は2015年10月1日12時時点での滞留メッシュの中心点、D（移動終点、つまりは居住地・自宅）は各メッシュに滞留する人の居住エリアとし、シミュレーションを行う。ただし、人口分布統計データに含まれる居住地エリアは市区レベルの情報しか含まれておらず、市区の中心点を移動終点にすることは現実的とは思えない。本研究では、より詳細な町丁目レベルで滞留者を推定するため、住宅地図データを用いた居住地の細分化を試みた。データの細分化にあたっては、秋山ら¹²⁾の研究にある住宅地図を用いた空間的精細化手法を参考にした。まず、名古屋市内の住宅地図データの建物ポリゴン属性情報から、建物属性が「住宅」のポリゴンを抽出する。次に、抽出したポリゴンから各住宅の延べ床面積を算出し、それを町丁目毎に集計し、名古屋市各区で住宅の総延べ床面積に対する町丁目ごとの総延べ床面積の割合を算出する。この割合を用いて、時間帯別人口分布統計データの居住エリア属性に細分化した町丁目レベルの居住地をランダムに割り当て、これを本研究で用いるOD（移動終点、つまり自宅）データとする。

5. ODデータの時空間内挿と流動人口の推定

次に、細分化したODデータを用いて帰宅困難者推定シミュレーションと滞留人数の推定を行う。本研究では、発災時に対象地域内にいる全員が徒歩で一斉に帰宅を開始し、道路ネットワーク上を通過して帰宅すると仮定している。

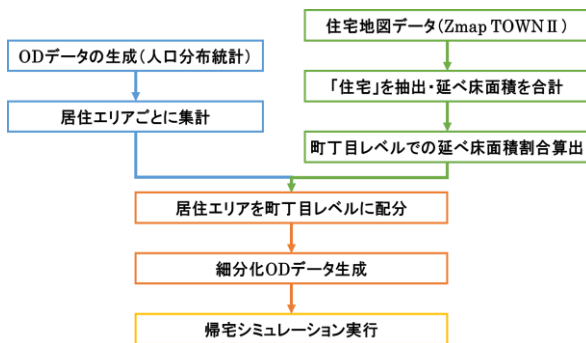


図-2 帰宅困難者推定手法フロー

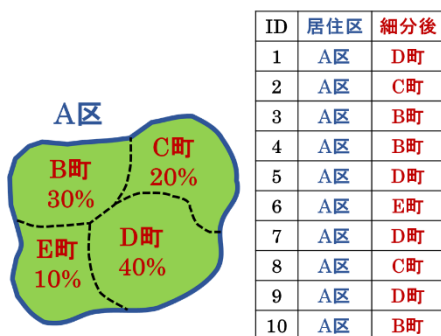


図-3 OD細分化の概念図

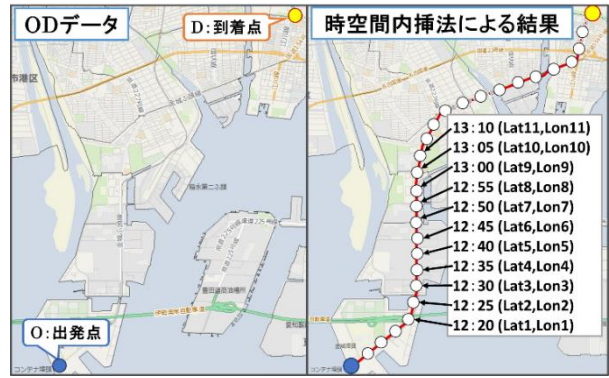


図-4 時空間内挿法の概念図

このとき、ODデータからは起点の位置と時刻、終点の位置しか把握できず、移動途中にどの経路を何時頃通るのかは把握できないため、任意の時間帯にどこにどのくらいの人が集積しているか推定する必要がある。そこで、本研究では時空間内挿法を用いたシミュレーションを行うこととした。時空間内挿法の概念図を図-4に示す。震災時に人々は道路上を通り、時速5km/hの一定速度で最短経路にて自宅に向かうと仮定し、まず、OD間を道路ネットワーク上でDijkstra法により最短経路を探索し、5分毎の位置と時刻を求める。それを名古屋市全メッシュに滞在するODに適用し、全データの内挿結果を時間帯毎にメッシュで集計し、メッシュ内滞在人数を推定する。なお、時空間内挿の詳細についてはSekimoto et al.¹³⁾の論文を参考にされたい。

また、シミュレーションを行う上で帰宅可能判別を行い、全ての人が一斉帰宅した場合と帰宅困難者の発生状況や帰宅時の人口分布の比較を行うこととした。図-5に帰宅困難者の定義を示す。本稿では、滞留者のうち遠距離帰宅者と帰宅断念者の合計を帰宅困難者と定義する。帰宅可能判別については、帰宅距離が10km以下の場合には帰宅可能とし、帰宅距離が10kmを超える場合は全て帰宅困難とした。帰宅可能距離については愛知県帰宅困難者対策実施要領より決定した。

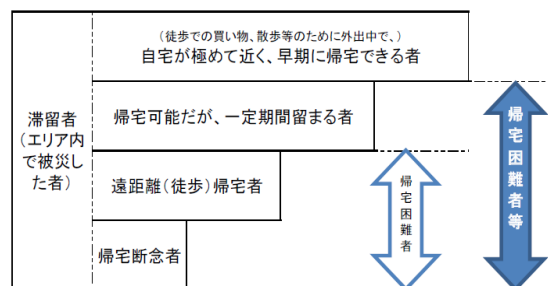


図-5 帰宅困難者の定義
(出典：愛知県帰宅困難者対策実施要領)

6. 時間帯毎の帰宅困難者推定結果と考察

推計結果を図-6~15 に示す。図-6 では、発災時点での帰宅困難者総数を示している。

従来の推定手法では図-7 のように市区レベルでの帰宅困難者の推定であったが、本研究で用いた手法により、図-8~14 のように 500m メッシュレベルでの推定が可能となった。これにより、地域メッシュ毎のより詳細な人口分布を把握することができ、人口が集中するとみられる地域を事前に予測することが可能となる。帰宅困難者の分布を見ていくと、名古屋駅周辺や栄（図-8 赤枠内）といった人口が集中する地域に多く分布していることが確認できる。これは、図-6 を見ても明らかである。また、鉄道路線・幹線道路上やその周辺でも比較的多いことから、移動途中の人が帰宅困難者となることが推察される。発災時点で帰宅困難者の総数は 107,919 人と推定された。本稿では、名古屋市外在住者を考慮していないため、実際にはこれよりも多くの人々が帰宅困難となることが想定される。現在、愛知県では帰宅困難となる場合はむやみに帰宅せず、職場や学校等に留まることを推奨している。しかし、外出先等移動途中の人が帰宅困難となることも想定されるため、そのような場合には一時避難施設を利用することが望ましいと考えられる。

(1) 帰宅可能距離を考慮していない推定結果・考察

図-11~13 に推定結果を示す。13 時時点では約 47 万人の帰宅予定者が存在し、昭和区の県道 56 号線（飯田街道）沿いや、熱田区の国道 19 号線沿い、守山区の県道 15・202 号線沿いといった幹線道路（図-11 青枠内）で人口が集中していることが分かる。これらの道路は名古屋市内を南北や東西に結んでおり、各エリアからの帰宅者が同一の道路ネットワークを利用していることが要因として考えられる。14 時時点における推定人口分布では、帰宅者は約 11 万人にまで減少し、全体的な分布も減少している（図-10 参照）。15 時時点では約 1 万 7 千人が帰宅途中であるが、先の 2 時点と異なり、名古屋市中心

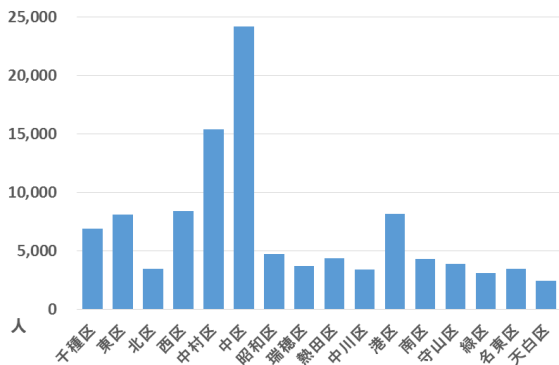


図-6 区別帰宅困難者総数

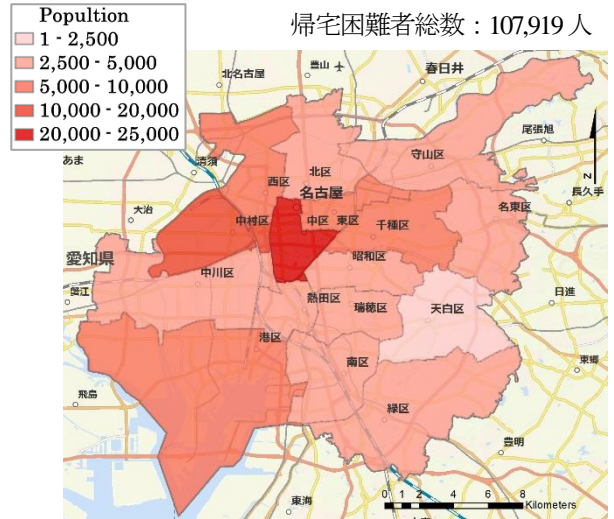


図-7 従来手法による発災時点での帰宅困難者の分布の推定結果 (区レベル)

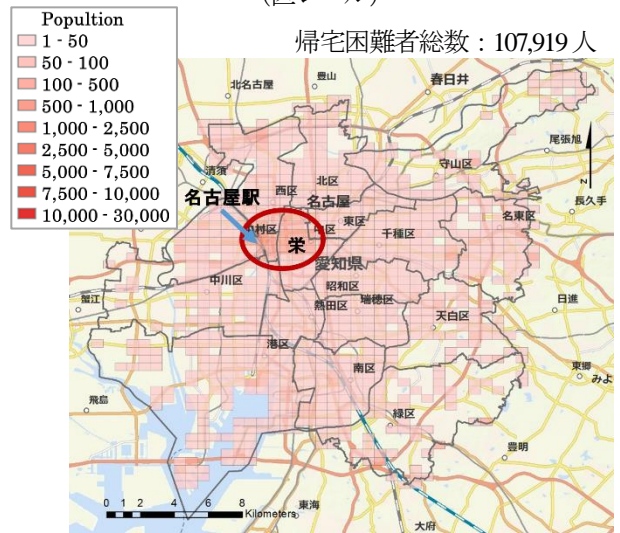


図-8 発災時点での帰宅困難者の人口分布の推定結果 (500mメッシュ)

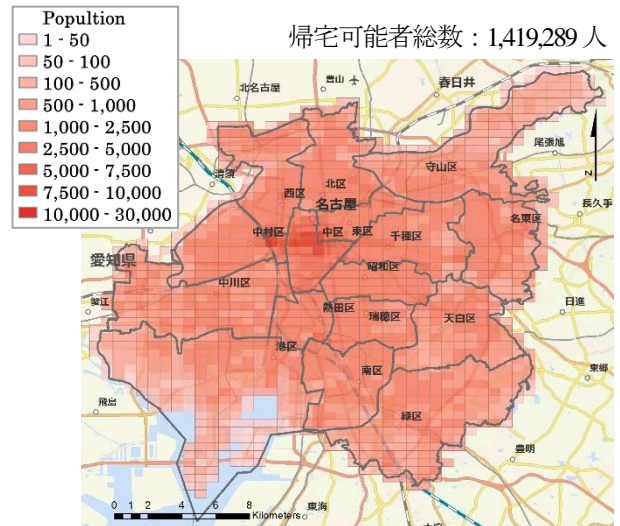


図-9 発災時点での帰宅可能者の人口分布の推定結果 (500mメッシュ)

部のほとんどで帰宅途中の人は見られない。そのため、この時点で帰宅途中の人々は帰宅距離が他の帰宅者よりも長く、帰宅時間を多く要していることが推察される。

(2) 帰宅可能距離を考慮した推定結果・考察

図-14~15に推定結果を示す。13時時点での人口分布は図-11のケースとおおよそ同じであるが、総数は10万人以上少ない。図-11で人口が突出していたエリアが図-14では減少していることが確認できる(図-10参照)。また、14時時点での帰宅者は671人であった。帰宅可能距離を考慮したケースでは、15時以降に帰宅する結果は得られなかったため、ほとんどの人が1~2時間程度で帰宅し終えると推察される。

7. まとめと今後の課題

本稿では、人口分布統計を用いた OD データの細分化手法の提案と、細分化した OD データを用いた徒歩移動による帰宅困難者推定を行った。その結果、従来よりも詳細な地域レベルでの分析が行えることが確認できた。また、帰宅可能距離を考慮することにより帰宅者の集中を低減することを分かった。

今後の課題として、次に2点が挙げられる。1点目に帰宅交通手段、その際の交通状況を考慮したシミュレータの開発である。本稿では交通手段を徒歩のみに限定しているが、実際には交通機関を利用している状況も想定される。その場合に帰宅状況にどのような影響を与えるのかを考察していく必要があると考えている。2点目に名古屋市外在住者の影響の考慮である。本稿では、シミュレーションに際して名古屋市内に滞留する名古屋市内在住者を対象として帰宅困難者推定を行った。しかし、名古屋市外在住者を加えた推定を行う場合、そのほとんどが帰宅困難となることが想定される。また、これらの人々が一時的に利用すると想定される避難施設にも影響を及ぼすことが推察される。一時避難施設の収容能力等を考慮し、今後検討していきたい。

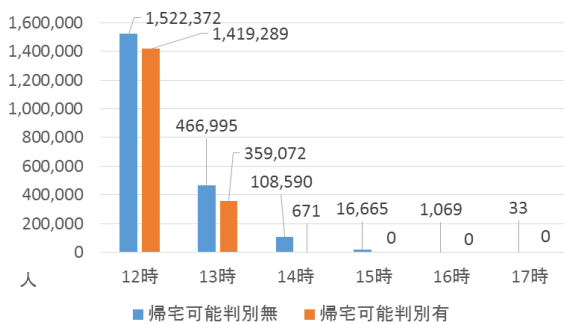


図-10 時間帯別帰宅者数

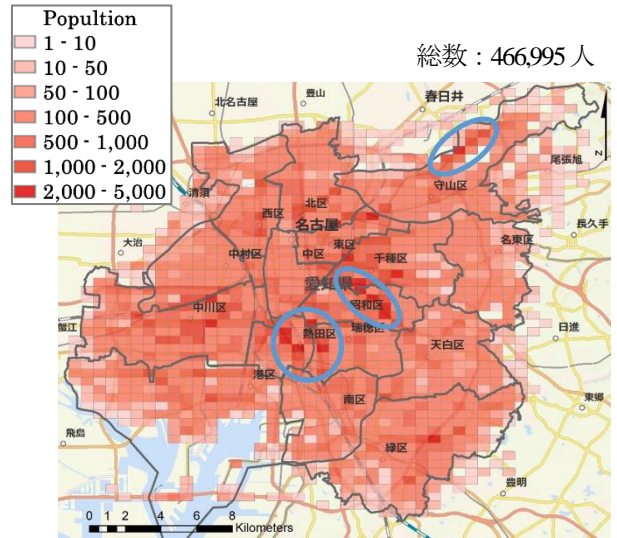


図-11 13時における帰宅途中の人口分布の推定結果 (500mメッシュ・帰宅可能判別無)

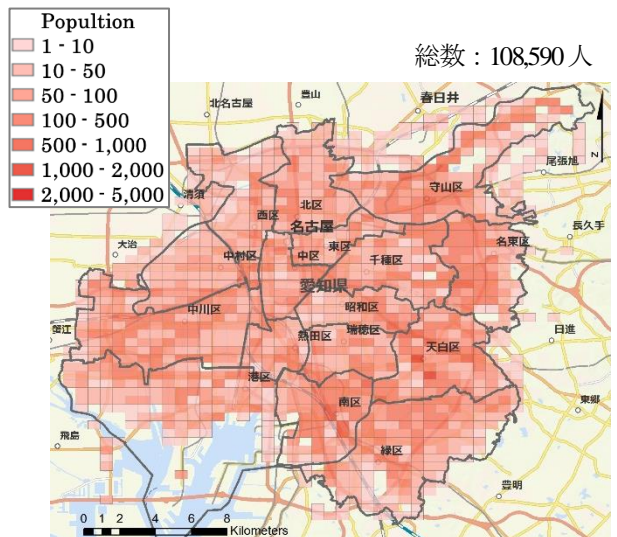


図-12 14時における帰宅途中の人口分布の推定結果 (500mメッシュ・帰宅可能判別無)

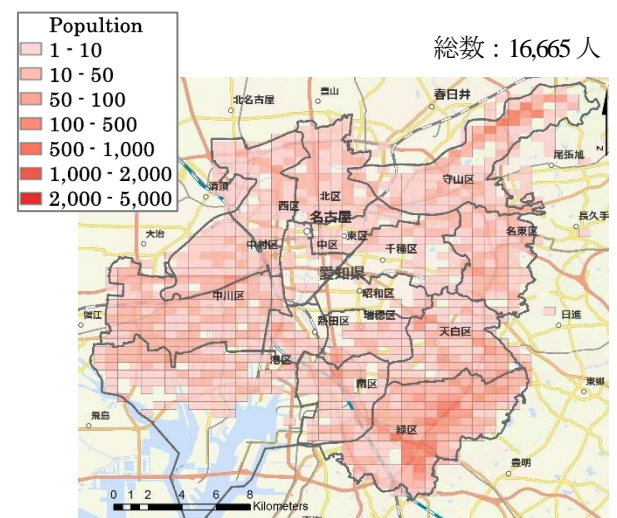


図-13 15時における帰宅途中の分布の推定結果 (500mメッシュ・帰宅可能判別無)

謝 辞

本研究は、東京大学空間情報科学研究センターとの「空間データ利用を伴う共同研究」、科学研究費補助金 (S) 26220906、及び文科省リーディング大学院教育の一環として実施したものである。また、データ提供にあたって、東京大学の金杉洋先生には多大なる協力を頂いた。ここに感謝致します。

参考文献

- 1) 東京都：東日本大震災における東京都の対応と教訓，2011年9月。
- 2) 東京都：東京都防災対応指針，2011年11月。
- 3) 愛知県：愛知県東海地震・東南海地震・南海地震等被害予想調査報告書，2014年3月。
- 4) 愛知県：愛知県帰宅困難者対策実施要領，2015年3月
- 5) 堤一憲：再現シミュレーションに基づく今後の帰宅困難者対応，安全工学，Vol.50 No.6，2011。
- 6) 熊崎 遼，藤田 素弘，Mohammad Hannan Mahmud KHAN, Wisinee WISETJINDAWAT：豪雨災害時の自動車帰宅行動分析と交通シミュレーション，土木計画学研究発表会・講演集，Vol.52，pp903-906，2015。
- 7) 穴口智也，北川剛弘，平本健二，田口勝則，森田紘圭：パーソントリップ調査を活用した帰宅困難人口の推定—静岡中部都市圏を例として—，土木計画学研究発表会・講演集，Vol.52，pp2222-2227，2015。
- 8) 石川瞬，山本俊行，金森亮：大規模災害時における自動車の利用可能性を考慮した帰宅断念者数の推計，土木学会論文集 D3，Vol. 68，No. 5，pp. 1_903-1_908，2012。
- 9) 後岡寿成，櫻庭雅明，伊勢正，高橋拓也：避難所単位での避難者・帰宅困難者推定アルゴリズムの構築，土木計画学研究発表会・講演集，Vol.53，pp2182-2188，2016。
- 10) 村上正浩，他 3 名：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便概集，pp.893-894，2011。
- 11) 川岸裕，瀧澤重志：大地震時を想定した大阪市からの一斉徒歩帰宅シミュレーション，日本建築学会大会学術講演便概集，pp.27-28，2017。
- 12) 秋山祐樹，金杉洋，関本義秀，柴崎亮介：住宅地図データを用いた人々の時刻別空間位置の精細化，第32回交通工学研究発表会，2012。
- 13) Sekimoto, Y., Shibasaki, R., Kanasugi, H., Usui, T. and Shimazaki, Y.: PFLOW: Reconstruction of people flow by recycling large-scale fragmentary social survey data, IEEE Pervasive Computing, Vol.10, No.4, 2011. .

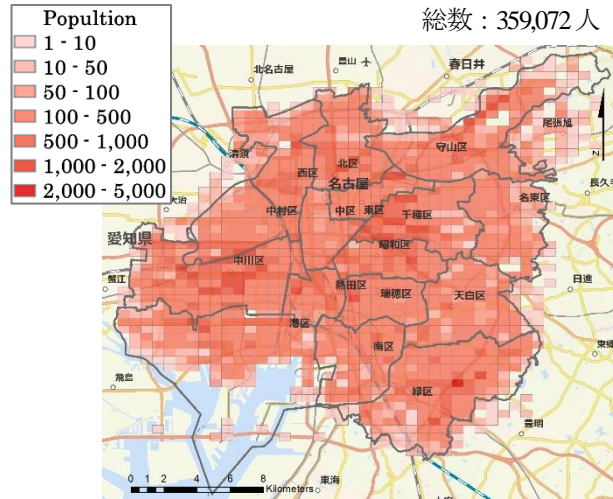


図-14 13時における帰宅可能者人口分布の推定結果 (500mメッシュ・帰宅可能判別有)



図-15 14時における帰宅可能者人口分布の推定結果 (500mメッシュ・帰宅可能判別有)

(2018. 4. 27受付)

Estimation of the Number of People unable to Go Home at Disaster using Aggregated Mobile Phone Location Data

Shinya YOSHIDA, Tomokata USUI, Toshiyuki YAMAMOTO, Takayuki MORIKAWA