

027

スマートフォンの位置情報データとパーソントリップ調査を用いた滞留人口の時間変動の推定

ESTIMATION OF THE NUMBER OF FLOATING POPULATION
USING THE LOCATION DATA COLLECTED FROM SMARTPHONES AND THE PERSON TRIP SURVEY16TM0327 一ノ瀬 良奈
Rana Ichinose

指導教員 丸山 喜久

SYNOPSIS

This study estimates the number of floating population using the GPS data collected by smartphones. Because the frequency of data acquisition by mobile apps varies from several tens of seconds to an hour, it was difficult to estimate the number of population only from the recorded locations. Hence, the individual's pathway was obtained based on the function of GIS to find the shortest route following the GPS logging data. This study also considers the relationship between the number of the GPS data obtained by smartphones and that of pedestrians, and a series of regression analyses is performed to develop a numerical model for the estimation of the number of floating population. This study evaluates the number of affected people the difference of the time of earthquake. The results of this study are helpful to consider the countermeasures of a large earthquake in Tokyo Metropolitan area.

1. はじめに

2011年3月11日に起きた東日本大震災がもたらした都市機能へ与えた影響は多大なものであった。首都圏では、鉄道機関の運行停止や道路の渋滞によって発生する帰宅困難者の問題が多く取り上げられた。帰宅困難者によって歩道が混雑すると、建物倒壊や火災からの逃げ遅れ、集団転倒などの地震による二次被害が懸念され、東京都など各自治体が対策を立てている¹⁾。しかし、帰宅困難者の数は災害発生時の状況により大きく異なるため²⁾、発災が平日であるか休日であるかに加えて、災害の発生時間帯などを考慮し、様々な状況に応じた被災人数を推定する必要がある。帰宅困難者については今までに多くの研究がなされているが³⁾⁻⁵⁾、帰宅困難者の時空間的分布を扱う研究はあまり多くない。

そこで本研究では時間帯別の滞留人口の予測を目的とし、ミクロな範囲とマクロな範囲の二つの面からアプローチする。ミクロな範囲の予測手段として、スマートフォンのアプリによって取得された位置情報データを用いて時間帯別の流動人口を推定する。またマクロな範囲の滞留人口予測の前段階として、パーソントリップ調査の調査結果を用いて災害発生時刻別の地震による影響評価を行う。

2. 本研究で使ったデータ

今回使用した位置情報データは、(株)Agoopが同社のスマートフォンのアプリのユーザーからGPS位置情報を取得したものである。データ項目は、デイリーID、年、月、日、曜日、時間、緯度、経度、GPS精度(m)、移動速度(m/s)、移動方向、位置補正フラグなどである。本研究では、JR浜松町駅周辺で2014年に取得された位置情報データを使用した(図-1)。

同一人物のデータには一日を通じて同じ番号(デイリー

ID)が振り分けられている。そのため同一のデイリーIDのデータを集めると、ある人物の一日の位置情報がまとめて得られる。しかしデータ取得の時間間隔は30分から1時間となることが多く、特定の個人の移動経路を位置情報データのみで推定することは難しい。

3. 交通量調査

本研究で集計したデータと比較する交通量調査は、2013年に株式会社交通総合研究所が作成した竹芝交通量調査報告書⁶⁾を使用する。

スマートフォンの位置情報と交通量調査の結果を比較するために、スマートフォンの位置情報をメッシュ単位で集計した。5次メッシュ(約250m四方)を16分割したメッシュを作成し、GISで交通量の調査地点が含まれるメッシュを選び出し、比較対象メッシュとした。つまり、図-2に



図-1 スマートフォンの情報取得範囲と2014/5/16にアプリから取得された1日のデータ

示す 10 地点で結果を比較する。

4. 移動経路の推定

情報取得頻度の低いスマートフォンの位置情報では、詳細な人の動きを再現できないため、個人の移動経路を推定することを試みる。本研究では GIS のルート検索機能を用いて、各個人の位置を時系列で通る最短経路を計算した。

ルート検索機能とは、ある地点から別の地点まで移動する際に、地図上に表示された道路の中で最短のルートを検索する機能である。

具体的には、まず、同一のデイリーID を持つポイントデータを時間帯ごとに抽出する。次に、抽出したポイントデータと歩道の GIS データを用いて、ルート検索機能を使用して移動経路を推定する。この計算をデイリーID ごとに繰り返し行い、時間帯別に調査地点を含むメッシュを通過した人数を集計する。最後に、図-2 に示す調査地点メッシュを通過する移動経路の数とポイントデータを集計し、その合計をスマートフォンの位置情報から得られるデータ数とした。本研究では 2014 年 5 月 16 日の 24 時間分のデータを収集し、図-2 に示した 10 地点で交通量調査の平日の結果と比較した。結果の一部を図-3 に示す。調査地点メッシュに存在するポイントデータの数は非常に少なく、ポイントデータのみではデータ数が 0 となる時間帯も存在する。個人の移動経路を推定したことによって流動人口の時間変動の特徴が現れるようになった。本研究の解析結果と交通量調査結果を比較すると、交通量がピークとなる時間帯や、交通量の系時的な分布が似ていることが見て取れる。例えば、地点 1 では本研究から得られたデータ数が 8 時台に最大となり、続いて 12 時、18 時に緩やかなピークがみられる。地点 1 の実際の交通量も 8 時台が最も多く、12 時、18 時前後にも交通量が多くなっている。しかし、実際の交通量は 21 時台に再び増加するが、この点に関しては本研究のデータ数と異なっている。

5. 回帰分析の基づく流動人口の推定式

竹芝交通量調査報告書⁶⁾の交通量調査結果と前章のように集計した計10地点の24時間分のスマートフォンの位置情報データを使用し、流動人口の推定式を構築する。本研究では、重回帰分析に基づく推定式を検討した。重回帰分析の説明変数には、メッシュ内のスマートフォンの位置情報データ数、隣接するメッシュ内のデータ数、メッシュ内の歩道延長 (m)、JR浜松町駅からの距離 (m) の4つを説明変数とした。

重回帰分析の式を(1)に示す。

$$y = -282.14 + 2.49x_1 - 0.16x_2 + 5.35x_3 + 2.50x_4 \quad (1)$$

ここで、 x_1 はメッシュ内のスマートフォンの位置情報から得られるデータ数、 x_2 は JR 浜松町駅からの距離 (m)、 x_3 は隣接するメッシュの位置情報データ数、 x_4 はメッシュ内の歩道延長 (m) である。また、 y は交通量調査による時間帯別の流動人口 (人) である。ここで条件によっては式(1)による推定結果が負となることがあるが、そのときの推定流動人口は 0 人とした。

表は式(1)の説明変数と p 値を示している。式(1)の x_1 と x_2 の p 値が 0.78、0.57 と大きいため、説明変数として有意



図-2 交通量調査地点と流動人口を集計するメッシュ



図-3 地点 1 で集計したデータ数と実際の交通量の比較

ではないものと考えた。そこで、説明変数を x_3 、 x_4 の 2 つにして回帰分析を行った (式(2))。

$$y = -412.20 + 5.23x_3 + 3.28x_4 \quad (2)$$

式(1)、式(2)の p 値と重相関係数を表-1、表-2 に示す。 p 値、重相関係数の値から、説明変数を 2 つとした式(2)が、流動人口を求めるのに適当であると考えられる。

式(2)を用いて JR 浜松町駅周辺の流動人口をメッシュごとに推定した。流動人口を求める際、メッシュ内の位置情報データと隣接するメッシュ内のデータがともに 0 であれば、メッシュの流動人口は 0 人とした。さらに式を用いて求めた流動人口が負になった場合も流動人口は 0 人とした。

結果を図-4 に示す。JR 浜松町駅付近の流動人口が大きく、駅から離れていくにつれて小さくなる。旧芝離宮恩寵庭園や建物の敷地がメッシュの大半を占めるところは、道路延長が存在せず移動経路が取得できないため、流動人口が 0 人と推定されている。図-4 では、最も多いメッシュの流動人口が 8 時台の JR 浜松町駅周辺で約 9,000 人と推定された。また、JR 浜松町駅周辺では 12 時台は約 3,000 人、18 時台は約 4,000 人の流動人口が推定された。

6. 推定された流動人口に関する考察

浜松町駅周辺の流動人口は主に通勤・通学者が多いと考え、通勤・通学者の時間帯変動の傾向と、流動人口の時間帯推移を比較することにした。通勤・通学者のデータには、平成 23 年社会生活基本調査⁷⁾による結果を用いた。この調査では、1 日の行動を 20 種類に分類した時間帯別の行動状況がまとめられており、通勤・通学に該当した人の割合を集計した結果を用いた。

本研究の流動人口の推定範囲を図-5 のようにエリア分けし、平成23年社会生活基本調査による通勤・通学者の割合との相関係数を算出した。0.79 と最も高い相関係数を示したエリアはJR浜松町駅周辺 (C3) であり、そのほか竹芝駅やモノレール浜松町駅などスマートフォンの位置情報デー

表-1 式(1), 式(2)の説明変数と p 値

定数項		式(2)	式(3)
x_1	メッシュに存在するデータ数(件)	0.78	-
x_2	駅からの距離(m)	0.57	-
x_3	隣接するメッシュに存在するデータ数(件)	2.0×10^{-9}	6.9×10^{-16}
x_4	メッシュ内の総道路延長(m)	4.5×10^{-5}	1.0×10^{-5}

表-2 式(1), 式(2)の重相関係数

式	重相関係数
(2)	0.62
(3)	0.61

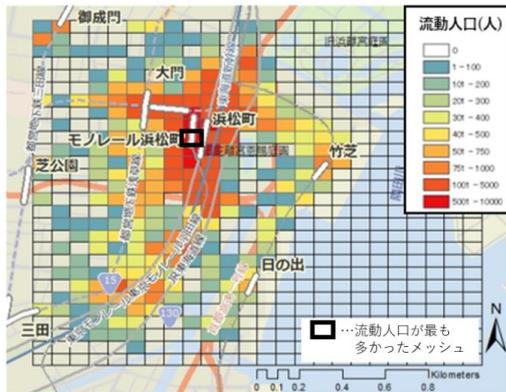


図-4 JR浜松町駅周辺の推定された8時台の流動人口

タ数が多かったC2, C4エリアで0.76, 0.70と相関係数が高かった. 逆にA4, E1エリアは, 0.38, 0.29と相関係数の値が低く, 取得した位置情報データ数も非常に少ないエリアであった.

そこで, ポイントの位置情報データ数と各エリアの相関係数の値を比較した. 図-6 から, 位置情報データ数(ポイントデータの数)が多いほど相関係数の値も高い値になる傾向が見られる. また極端に相関係数の値が低いエリアは, 位置情報データ数も少ない. このことから, 極端にGPSのデータ数が少ないエリアでは, 精度の高い流動人口の推定を行うことが難しいものと考えられる. 本研究の結果からは, 400程度のデータ数の蓄積があれば, 0.6以上の相関係数を得られている.

8. 災害発生時刻別の地震による影響評価

本研究では東京湾北部地震を想定し, 図-7に示す東京を中心とする半径約80km圏域で地震の影響評価を行う. 地震発生時刻は8時, 12時, 18時の3パターンを設定し, 地震発生から3日間の影響を比較する. 評価指標は鉄道利用者の影響人数とする. 鉄道利用者の影響人数 L_r は, 鉄道の運休割合を $R(I)$, 鉄道利用者数を U とすると, 式(3)となる.

$$L_r = R(I) \times U \quad (3)$$



図-5 相関係数を算出する際のエリア分け

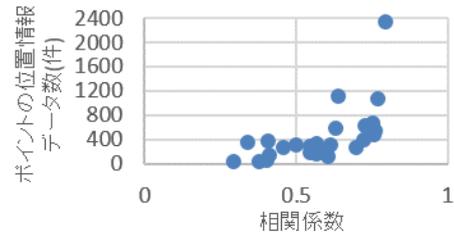


図-6 位置情報データ数と相関係数の関係

影響人数は第5回東京都市圏パーソントリップ調査で定められた計画基本ゾーンごとに計算・集計する.

鉄道の運休割合の計算には, 他谷らの「地震による鉄道の運休機関の推計手法⁸⁾」による運休期間推計モデルを適用する. 運休割合を表-3にまとめる. 鉄道の中でも地下鉄とその他路線によって被害程度に違いが現れるため, 地下鉄とその他路線で運休割合を区別している.

時刻別鉄道利用者数については, 第5回東京都市圏パーソントリップ調査⁹⁾における目的別鉄道発生集中トリップ数と, 第12回大都市交通センサス調査¹⁰⁾結果の目的別乗車降車時刻分布を用いて, 計画基本ゾーン毎の時間別鉄道利用者数を求めた(表-4). ここでいう鉄道利用者数とは, 鉄道で移動中の人数ではなく, 鉄道によって移動を終えた人数の累積値を指す. 表-4の $B_1 \sim B_4$ はある計画基本ゾーンに訪れた鉄道利用者数を表し, A_5 はある計画基本ゾーンから帰る鉄道利用者数を表す. よって時刻 h にある計画基本ゾーンへ訪れた鉄道利用者数 $U_{in,h}$ は式(4)となり, 時刻 h にある計画基本ゾーンから帰宅する鉄道利用者数 $U_{out,h}$ は式(5)で表せる.

$$U_{in,h} = \sum_{i=1}^4 B_i \times D_{i,h} \quad (4)$$

$$U_{out,h} = A_5 \times C_{5,h} \quad (5)$$

よって時刻 h にある計画基本ゾーンに存在する鉄道利用者数 U_h は式(6)となる.

$$U_h = U_{h-1} + U_{in,h} - U_{out,h} \quad (6)$$

以上のようにして求めた時刻別鉄道利用者数と鉄道運休割合から, 鉄道利用者の影響人数を推定した結果を図-8に示す. 3日間全てで地震発生時刻12時, 18時, 8時の順で鉄道利用者の影響人数が多い. 地震発生から1日後の影響人数は, 地震発生時刻が8時で約650万人, 12時で約1000万人となり, 350万人もの差が生じた. これは12時の鉄道利用者は8時に比べ, 東京駅周辺の震度6強に曝される計画基本ゾーンに集中していたことが原因と推察できる. し

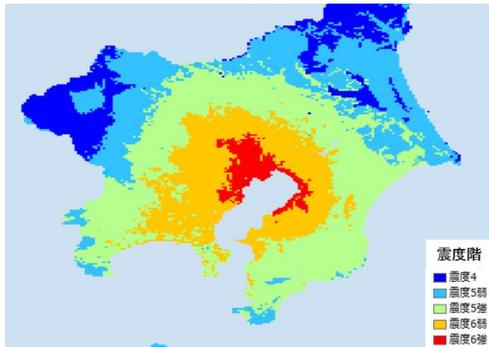


図-7 東京湾北部地震の震度分布マップ

表-3 鉄道の運休割合

	地下鉄			その他路線		
	1日後	2日後	3日後	1日後	2日後	3日後
5弱	0.40	0.35	0.30	0.40	0.35	0.30
5強	0.40	0.35	0.30	0.40	0.35	0.30
6弱	0.92	0.85	0.82	1.00	1.00	1.00
6強	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

表-4 使用するデータ概要

	目的別鉄道トリップ数		目的別時刻分布	
	発生トリップ数	集中トリップ数	乗車(%)	降車(%)
出勤	A ₁	B ₁	C _{1,h}	D _{1,h}
登校	A ₂	B ₂	C _{2,h}	D _{2,h}
自由	A ₃	B ₃	C _{3,h}	D _{3,h}
業務	A ₄	B ₄	C _{4,h}	D _{4,h}
帰宅	A ₅	B ₅	C _{5,h}	D _{5,h}

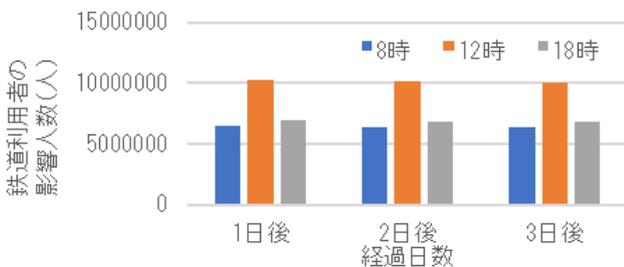


図-8 全震度階の影響人数

たがって時間帯による滞留人口の分布が地震の被害に与える影響は、非常に大きいことが分かる。また鉄道の運休割合の変化はゆるやかなため、どの地震発生時刻においても、影響人数は1日後から3日後であり変化はなかった。

7. まとめ

本研究は、時間帯別の滞留人口の予測を目的とし、ミクロな範囲とマクロな範囲の二つの面からアプローチを行った。ミクロな範囲の予測手段の試みとしては、既存の交通量調査結果とスマートフォンの位置情報データを比較し、流動人口を推定する回帰式を構築することを目指した。しかし、スマートフォンの位置情報データは取得頻度が低く、データ数と交通量を直接比較することが困難であったため、GISの最短経路検索機能により個人の移動経路を推定し、

交通量との比較を行った。その結果、交通量の時間変動をスマートフォンの位置情報データによって評価することが可能となった。

重回帰分析に基づき、スマートフォンの位置情報データから流動人口を推定する回帰式を構築した。推定結果と社会生活基本調査の通勤・通学者の間に相関が見られたことから、時間帯別の駅利用者数を推定した。一方で、推定結果と通勤・通学者の間の相関係数が低かったエリアの特徴として、スマートフォンの位置情報データ数が一日で100以下と少なかったことが挙げられる。また、理にかなった流動人口の時間変動を推定するには、通勤・通学者の割合と流動人口の相関係数と流動人口を推定する際のデータ数の関係を踏まえて、少なくとも一日400程度のデータの蓄積が必要と考えられる。

マクロな範囲の滞留人口予測の試みとして、パーソントリップ調査の調査結果を用いて災害発生時刻別の鉄道利用者数の影響人口の評価を行った。東京湾北部地震では、日中に人口が多く集まる東京駅近郊に震度6強などの強い震度分布が広がっているため、昼12時に地震が発生した場合に最も大きな被害が生じていた。地震発生時刻によって被害程度の差が生じた大きな原因として、滞留人口の分布の違いが挙げられた。したがって時間帯による滞留人口の分布が地震の被害に与える影響は、非常に大きいことを定量的に評価できた。

参考文献

- 1) 東京都防災ホームページ：帰宅困難者対策，
http://www.bousai.metro.tokyo.jp/kitaku_portal/index.html
(最終閲覧日：2017年5月10日)。
- 2) 廣井悠，関谷直也，中島良太，藁谷峻太郎，花原英徳：東日本大震災における首都圏の帰宅困難者に関する社会調査，地域安全学会論文集，No. 15, pp. 343-353, 2011.
- 3) 高田和幸，杉山茂樹，藤生慎：東北地方太平洋沖地震により生じた首都圏の帰宅困難者の行動特性分析—首都圏における鉄道通勤者を対象として—，土木学会論文集 A1, Vol. 68, No. 4, pp. I_976-I_983, 2012.
- 4) 下原祥平，渡邊泰史，島崎敏一，金子雄一郎：地震発生時における東京都内滞在者の帰宅行動モデル，社会技術研究論文集，Vol. 7, pp. 45-53, 2010.
- 5) 大佛俊泰：都市防災計画のための鉄道利用者の時空間分布推定，日本建築学会計画系論文集，Vol. 74, No. 635, pp. 137-144, 2009.
- 6) 株式会社交通総合研究所：竹芝交通量調査報告書，2013.
- 7) 総務省統計局：平成23年社会生活基本調査
<http://www.stat.go.jp/data/shakai/2011/index2.htm#gaiyou>
(最終閲覧日：2017年11月1日)。
- 8) 他谷周一，翠川三郎：地震による鉄道の運休期間の推計手法，日本地震工学会論文集，第16巻，第9号，pp. 9_67-9_85, 2016.
- 9) 東京都市圏交通計画協議会：パーソントリップ調査
<https://www.tokyo-pt.jp/person/index.html>
(最終閲覧日：2018年1月20日)。
- 10) 国土交通省：第12回大都市交通センサス調査結果集計表
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/sosei_transport_tk_000035.html
(最終閲覧日：2018年1月20日)。