

# 大規模位置情報を用いた震災時のモビリティ低下の分析

Analysis on human mobility decline after the Great East Japan Earthquake using large-scale positioning data

ブンポン 健人\*

Kento BUNPHONG

\*地域計画科学研究室（指導教員：奥村 誠 教授）

The Great East Japan Earthquake caused long-term human mobility decline in north-eastern Japan including Sendai city, and people who lived in a suburb of Sendai had difficulty in coming to the downtown. In this study, we assume that mobility decline affects the change of population distribution. The relationship of population distribution before and after the earthquake is clarified using aggregated large-scale positioning data from mobile phone. Consequently the restoration process from mobility decline is understood quantitatively

**Key Words :** *mobility decline, GPS, positioning data, population distribution*

## 1. はじめに

### 1.1. 東日本大震災時のモビリティ低下の影響

都市は、夜間にある程度の広がりをもって居住する人々が仕事・学業・その他の用務のために、昼間に限られた都心部に集中して活動するという特性を持つ。このように、昼間に人々が集中することで、行政・商業・教育・娯楽等の様々なサービスを効率よく提供できる。その前提になるのは、人々がサービスを受けるために都心部まで移動できるだけの十分なモビリティを有することである。東日本大震災直後の宮城県仙台市では、物流の途絶によるガソリン不足や、鉄道・バスの運休等により数日から数週間にわたって人々のモビリティは低下したため、上述のような都市活動ができなくなった。

震災直後のモビリティ低下の影響として、仙台市において、ある避難所では仙台駅東口近辺の会社やホテルに滞在していた帰宅困難者が多く集まったことが報告されており<sup>1)</sup>、このような帰宅困難者のために災害時に仙台駅を開放する協定を仙台市が JR 東日本と結ぶなどの対策が進められている<sup>2)</sup>。

一方で、モビリティ低下の中長期的な影響として、都市で生活する人々の活動状態がどの程度悪化し、どのように回復したのかについては、詳しい実態は明らかになっていない。幸い、東日本大震災は長周期波が卓越した影響で構造物への直接被害は少なかったため、地下鉄南北線や仙台市営バスは比較的早期から運行を再開できたように、ネットワークの寸断は最小限にとどめられたものの、東北本線の

復旧が 4 月の始めまでかかった他、ガソリン不足の影響で自家用車の利便性も大きく低下していた。今後発生が懸念される首都直下型地震等ではより甚大な構造物被害が発生し、モビリティ低下の影響が大きく顕在化することが懸念される。

### 1.2. 本研究の目的とメッシュ人口データ

都市行政の震災時の対応として、例えば救援物資や必要な情報を市民全体に行き渡らせるためには、発災後に時々刻々と変化する人口分布を正しく把握することが望まれる。更に震災が起こる前に平常時の人口分布を用いて、発災後の人口分布を把握できれば、事前準備の立案に生かすこともできる。

発災後の人々の人口分布はモビリティ低下の影響で発災前とは異なるものになるとはいえ、全く想定がつかないのではなく、例えば「モビリティ低下の影響で平常時の 2 時の人口分布に近くなる」といった形で、ある程度想定できると考える。そこで本研究では、東日本大震災における発災前後の人口分布の関連付けを行う。つまりモビリティ低下の実態を定量的に評価すると共に、モビリティ低下の影響がいつまで続くのか、その時点の人口分布はおよそどのようなものかを想定する可能性を示す。

本研究では、人口分布として携帯電話から採取される大規模な位置情報から作成されたメッシュ人口データを用いる。このデータは携帯電話の GPS から自動採取される位置情報を用いており、従来は調査が困難であった震災時の人々の人口分布を、発災前

と併せて長期で把握できる可能性がある。

## 2. 平常時の人口比率分布の理解

### 2.1 メッシュ人口データの定義

NTT ドコモ社は GPS 付き携帯電話向けにナビゲーション機能を備えた地図サービスを提供しており、この運用業務をゼンリンデータコム社（以下「ZDC 社」）に委託している。ZDC 社は運用過程で蓄積される利用者の位置情報を、個人が特定できない形で集計・統計処理して、1 時間毎のメッシュ人口データに加工している。本研究ではこのデータを用いるが、契約条件により本稿では具体的な空間分布のデータは掲載しない。

以下、対象メッシュ数を  $M$  とし、日付  $d$  の時間帯  $t$  におけるメッシュ  $m$  の人口を  $n_{d,t}^m$ 、全メッシュ人口に対する人口比率を  $p_{d,t}^m = n_{d,t}^m / \sum_{k \in [1, M]} n_{d,t}^k$  とし、人口比率分布を  $P_{d,t} = \{p_{d,t}^1, \dots, p_{d,t}^M\}$  と定義する。

地域メッシュ統計の 4 分の 1 地域メッシュ（1 辺の長さ=約 250m）に準ずるメッシュを使用し、対象地域である宮城県仙台市内の該当メッシュ数は  $M=12904$  である。分析対象期間は 2011 年 3 月 11 日~2011 年 4 月 30 日の 61 日間とした。

### 2.2 時間帯毎の平常時の人口比率分布の特徴

まず平常時の人口比率分布の特徴を理解するために、発災前（2011/3/4（金）~2011/3/10 日（木））の各時刻の人口比率分布  $P_{d,t}$  を少数のクラスターに分類する。具体的には人口比率分布の組  $P_i$  と  $P_j$  の間で相関係数  $r_{i,j}$  を算出し、 $(1-r_{i,j})$  を距離行列とした階層的クラスター分析により分類分けをした。なおクラスターの形成手法としては、2 つのクラスターからそれぞれ 1 つずつ要素を選んで個体間の距離を求め、それらの距離の平均値をクラスター間の距離とする「群平均法」を採用し、発災前の人口比率分布を 4 つのクラスターに分類した。以下の時間帯では、当該時間帯の平日の人口分布は全て同一のクラスター

に分類された。

**分類 A** : 2, 3, 4, 5, 6, 7 時

**分類 B** : 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 時

**分類 C** : 18, 19, 20, 21 時

**分類 D** : 該当時間帯なし

曜日によって別のクラスターに分類された 22~1 時の分布は今後扱わない。それぞれの時間帯で平日の人口比率分布を平均したものを平常時の分布として  $Q_t = \{q_t^1, \dots, q_t^M\}$ （【平常時  $t$  時】）と呼ぶ。特徴的な時間帯の人口分布の空間的特徴を以下に示す。

**【平常時 2 時】** :  $Q_{t=2}$

住宅の多い郊外地域に分散している。歓楽街である国分町では人口集中が見られる。

**【平常時 9 時】の人口分布** :  $Q_{t=9}$

仙台駅周辺や、業務の中心である東二番丁通沿い、官庁街を中心に人口が集中している。

**【平常時 14 時】の人口分布** :  $Q_{t=14}$

仕事・学業以外で買い物等の用務の人々も都心部に集まるため、更に都心部への人口集中が進む。

**【平常時 18 時】の人口分布** :  $Q_{t=18}$

帰宅途中の人々が買い物等に立ち寄ることで、仙台駅前の商業ビルや、一番町のアーケードを含む商業施設付近に人口が集中する。

## 3. モビリティの回復過程の分析

### 3.1 発災直後のデータ欠損期間の把握

東日本大震災の発災直後は、安否確認のための通信トラフィックの急増による輻輳や、停電により充電手段がなくなり携帯電話の電源が切れたこと、携帯電話基地局が使用不可能になったことにより、データの採取状況が悪化していた。関本ら<sup>3)</sup>は、発災翌日の東京都市圏ではオート GPS データの採取数が発災前日と比べ減少していたことを指摘している。そのため詳細な分析を行う前に、本研究が対象とする宮城県仙台市でのデータ欠損の影響を評価しておく必要がある。

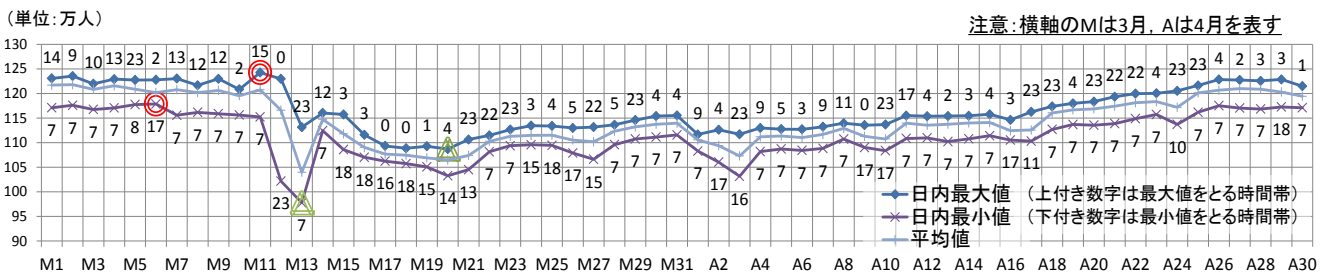


図 1. メッシュ人口の総和の日推移

図 1 はメッシュ人口データから計算される宮城県仙台市での 1 時間毎の人口総和について、1 日内の最大値・最小値・平均値の日推移を示したものである。日内最小値の推移を見ると、3 月 12 日、13 日は前後と比較して人口が 10 万人以上少ない。実際に数日の内に 10 万人単位で人口の流出入が起きたとは考えにくく、データの採取状況の悪化の影響と見られるため今後の分析では 3 月 12 日、13 日は除外する。またその後も人口総和は時系列で不安定であることから、以後の分析は人口の絶対値ではなく、2.1 で定義した人口比率分布を用いる。

3. 2. 発災直後の人口比率分布の関連

2. 2 で見たように時間帯  $t$  の平常時の人口比率分布を  $Q_t$  とする。発災後の日付  $d$ 、時間帯  $t$  の人口比率分布  $P_{d,t}$  はモビリティ低下の影響を受けて  $Q_t$  とは異なる分布になっていたと考えられるが、日付  $d$  の経過で復旧が進みモビリティが回復すれば、再び  $Q_t$  の分布に近づくと考えられる。この過程を「モビリティ回復過程」と呼び以下で分析する。

◆時間帯  $t$  のモビリティ回復過程

(a)重回帰分析の定式化

平常時の人口比率分布  $Q_T = \{q_T^1, \dots, q_T^M\}$  から 3 つを選択して説明変数とし、発災後の人口比率分布  $P_{d,t}$  を説明する重回帰分析として(1)式の残差平方和を最小化する係数  $\alpha_{a,(d,t)}, \alpha_{b,(d,t)}, \alpha_{c,(d,t)}$  を求める。

$$RSS = \sum_{m \in [1, M]} \left\{ p_{d,t}^m - \left( \alpha_{a,(d,t)} q_{T \in A}^m + \alpha_{b,(d,t)} q_{T \in B}^m + \alpha_{c,(d,t)} q_{T \in C}^m \right) \right\}^2 \quad (1)$$

$$st \quad \alpha_{a,(d,t)}, \alpha_{b,(d,t)}, \alpha_{c,(d,t)} \geq 0$$

$$\alpha_{a,(d,t)} + \alpha_{b,(d,t)} + \alpha_{c,(d,t)} = 1$$

係数の制約条件により係数  $\alpha_{a,(d,t)}, \alpha_{b,(d,t)}, \alpha_{c,(d,t)}$  は、発災後の人口比率分布  $P_{d,t}$  に対する各説明変数の寄与率と解釈できる。

(b)説明変数の選択基準

使用する説明変数は以下の 3 つの条件を満たすようにする。第一に、多重共線性を避けるために説明変数は分類 A~C の時間帯から 1 つずつ選ぶとする。第二に、モビリティ回復程度を把握するために、目的変数の時間帯  $t$  に相当する平常時分布  $Q_t$  は説明変数に必ず含める。第三に、同じ時間帯の重回帰分析には日付に依らず同一の 3 つの説明変数を使用する。

上述の条件を満たしつつ、発災後である 3 月 14 日~4 月 30 日の平日 33 日分の決定係数の平均値を最大にする説明変数の組を時間帯  $t$  毎に推定した。そ

表 1. 目的変数時間帯毎の説明変数時間帯一覧

目的\説明	分類A	分類B	分類C
2時	【平常時 2時】	【平常時 8時】	【平常時 21時】
3時	【平常時 3時】	【平常時 8時】	【平常時 21時】
4時	【平常時 4時】	【平常時 9時】	【平常時 21時】
5時	【平常時 5時】	【平常時 9時】	【平常時 21時】
6時	【平常時 6時】	【平常時 9時】	【平常時 18時】
7時	【平常時 7時】	【平常時 9時】	【平常時 18時】
8時	【平常時 2時】	【平常時 8時】	【平常時 18時】
9時	【平常時 2時】	【平常時 9時】	【平常時 18時】
10時	【平常時 2時】	【平常時 10時】	【平常時 18時】
11時	【平常時 2時】	【平常時 11時】	【平常時 18時】
12時	【平常時 2時】	【平常時 12時】	【平常時 18時】
13時	【平常時 2時】	【平常時 13時】	【平常時 18時】
14時	【平常時 2時】	【平常時 14時】	【平常時 18時】
15時	【平常時 2時】	【平常時 15時】	【平常時 18時】
16時	【平常時 3時】	【平常時 16時】	【平常時 18時】
17時	【平常時 5時】	【平常時 17時】	【平常時 19時】
18時	【平常時 2時】	【平常時 9時】	【平常時 18時】
19時	【平常時 2時】	【平常時 9時】	【平常時 19時】
20時	【平常時 2時】	【平常時 9時】	【平常時 20時】
21時	【平常時 2時】	【平常時 9時】	【平常時 21時】

の結果を表 1 に示す。表 1 からモビリティ回復後の分布として用いるものを除き、ほぼ同じ説明変数が選ばれていることがわかる。

推定した時間帯  $t$  の回帰係数  $\alpha_{a,(d,t)}, \alpha_{b,(d,t)}, \alpha_{c,(d,t)}$  の日推移を見ることで、時間帯  $t$  のモビリティ回復過程を平常時の分布  $Q_T$  と関連付けて理解できる。

3. 3. 結果の考察

以下ではモビリティ低下の影響が顕著だと考えられる昼間の 14 時と、昼夜の中間的な時間である 18 時について係数値の日推移を示す。なおここでは、比較対象のために、発災前の 3 月 1 日~3 月 10 日の平日についても、表 1 中の説明変数を用いて重回帰分析した結果の係数値を併せて示す。

14 時を目的変数としたケース (図 2)

発災翌週の平日 (3 月 14 日~3 月 18 日) では【平常時\_2時】の係数値が 0.5 前後であり、約 50% の人々が平常時通りの行動がとれず、自宅に留まっていたことがわかる。経時と共に、【平常時\_14時】の係数値が回復し、3 月 24 日以降では 80% 程度の人々が平常時の行動がとれるようになった。4 月以降は【平常時\_18時】の係数値が上昇し 0.1~0.2 程度で推移し、さらに 4 月 7 日深夜の余震の影響も観察される。

このことからモビリティを失ったことで自宅付近に滞在していた人々が、都心まで外出できるようになったが、その外出先として平常時の行先ではなく、平常時の【平常時\_18時】に訪問される駅前やアーケードの商業施設等に訪問している人々が一定数いることがわかる。

**18時を目的変数としたケース (図3)**

発災翌週 (3月14日~3月18日) ではほぼ100%の人が平常時通りの行動がとれず、約60%が【平常時\_2時】(自宅付近に留まる)の分布、約40%が【平常時\_9時】(勤務・通学先に滞在)の分布をとっている。その後、平常時通りの行動をとれる人の割合が徐々に回復し、その割合は4月28日では90%強まで回復している。

**4. おわりに**

**4.1. 本研究の成果**

本研究では、携帯電話の位置情報に基づく発災前後の人口比率分布を用いて発災前後の時間帯毎の人口比率分布と関連付けることで、従来わかっていたなかったモビリティ低下の回復過程を定量的に把握した。今後の震災の中で発災後のある時期での人口比率分布を把握できれば、それを平常時の人口比率分布と関連付けることで「東日本大震災時の〇〇日後の状態に相当する」のかを把握することができ、その後の回復過程の想定に用いることができる。

**4.2. 今後の課題**

本分析を細かく地域毎に行えば、地域毎にモビリティ回復の速度を比較することができ、震災の影響

を受けやすい地域を抽出できる。これを避難所の有無や公共交通機関の有無等と照らして考えることで、震災への備えとして重点的に整備すべき地域の特徴を把握できると考えられる。

また本研究では、モビリティ低下からの回復過程を定量的に把握したが、その回復の要因(例. 鉄道復旧, ガソリン不足の解消)が何だったのかについては把握できていない。

また重回帰分析で説明されなかった残差の地理的分布を詳しく見ることで、震災時特有の人口集積パターンを抽出し、対応拠点を置くべき場所が明らかにできる可能性もあり、今後の課題としたい。

**参考文献**

- 1) 佐藤健, 恋水康俊, 昆野辰樹: 東日本大震災における仙台市内の避難者発生地域特性. 日本地震工学会論文集, 第12巻, pp278-287, 2012
- 2) 河北新報: 災害時, 仙台駅解放へ 帰宅困難, 市と協定. 2013年3月8日
- 3) 関本義秀, 中村敏和, 増田祐介, 金杉洋: 大規模なGPS位置情報をもとにした東京都市圏における震災時の行動分析. 土木計画学研究・講演集, Vol.45, 2012

(2014年2月5日提出)

注) 横軸のMは3月, Aは4月を表す

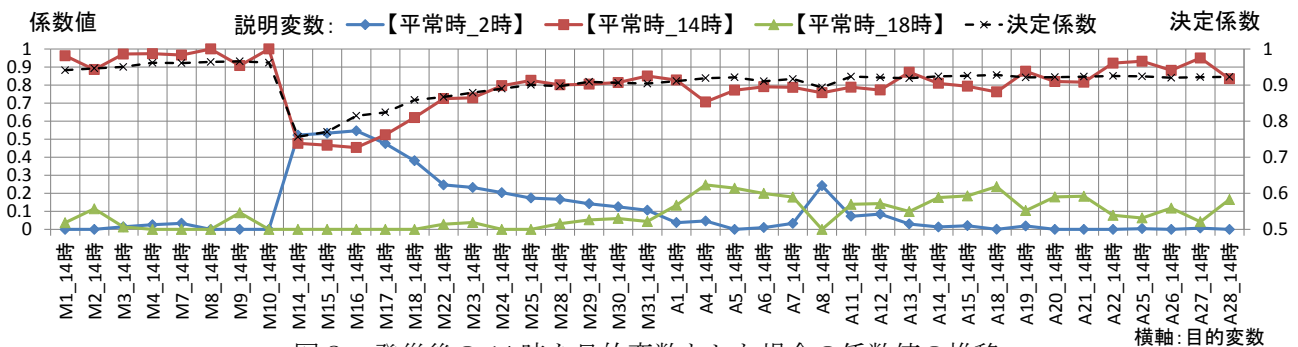


図2. 発災後の14時を目的変数とした場合の係数値の推移

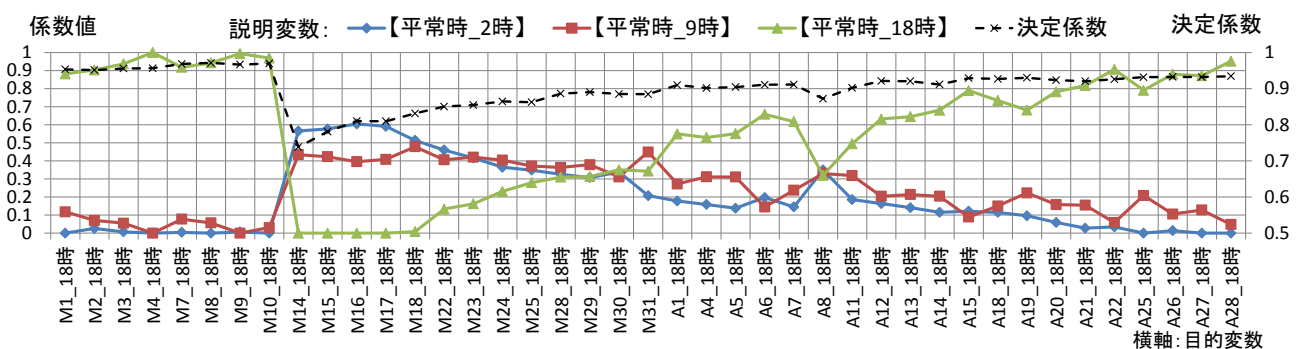


図3. 発災後の18時を目的変数とした場合の係数値の推移