GPS データを用いた東日本大震災における 人々の経路選択行動分析

若生 凌¹・関本 義秀²・金杉 洋³・柴崎 亮介⁴

¹非会員 東京大学 工学系研究科 社会基盤学専攻 (〒 153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

E-mail: rwako@iis.u-tokyo.ac.jp

²正会員 東京大学准教授 生産技術研究所 (〒 153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

E-mail: sekimoto@iis.u-tokyo.ac.jp

³非会員 東京大学特任研究員 地球観測データ統合連携研究機構 (〒 153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

E-mail: yok@iis.u-tokyo.ac.jp

⁴正会員 東京大学教授 空間情報科学研究センター (〒 153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

E-mail: shiba@csis.u-tokyo.ac.jp

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災は、首都圏において様々な交通障害を引き起こし、多くの帰宅困難者を生んだ。自然災害に対する防災、減災計画を考える上で、人々の災害時の避難行動を分析し、その特徴を知ることは大きな意義がある。本研究では、3 月 11 日を含む長期間の東京都市圏における人々の GPS データを用いて、震災時の経路選択行動分析を、平常時の行動と比較しながら行った。震災時は通信の輻輳等によりスパースな GPS データが多かった中で、震災後に人々が利用した帰宅経路を 7 割程度推定することが出来た。また、利用した交通手段の分析も併せて行った。今後は精度の向上を図ると共に、目的地選択等、他の側面での行動分析を深めていきたい。

Key Words: *evacuation behavior analysis, disaster management, GPS data handling, route choice behavior*

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災の直後、首都圏における多くの公共交通機関が運行停止したために、500 万人以上が駅で足止めされ、帰宅困難者となった。このように、震災当日は、交通機関の障害のため、日常とは異なる行動を取ることを余儀なくされた。帰宅困難者の発生は、二次災害発生のリスクを上昇させる。例えば、大量の歩行者や滞留者による、公共施設の混雑は、余震発生時の危険度が増大する一因や、また、救助活動や緊急輸送の障害となり得る。更に、余震や火災などの二次災害によって更なる被害が生じた場合、情報の収集ができず、適切な支援物資の分配供給が実現不可能となってしまう。以上の理由により、防災の観点から、大規模地震発生後の帰宅困難者を含めた被災者がとる行動を予め想定しておく事が不可欠である。この事は、最適な備蓄食料の分配や、最適な人々の誘導方法の検討を可能にする。

人々の災害時の行動予測を行った研究としては、物的被害の状況や人々の属性を組み込んだ避難行動シミュレーションモデルの開発を行った大佛・守澤 (2011)¹や、大規模地震発生後の帰宅困難者の行動シミュレーションを行った内閣府 (2008)²、大規模地震発生後の人々の通勤可能性を推定する事で「帰宅困難率」に関する考

察を行った大佛・玉野 (2013)³が挙げられる。これらの研究では、大規模地震発生時の行動に関する意識調査を基にモデルが推定されているが、意識調査の結果と、実際の大規模地震発生時の行動の間には乖離が生じ得る。従って、より適切な行動予測を実現するためには、実際の震災発生時の大規模な行動データを詳細に分析することが必要である。

一方で、東日本大震災時の人々の行動に関する実態調査としては廣井ら (2011)⁴の研究があり、アンケート調査結果の分析から帰宅困難者の行動原理に関する示唆が得られている。また、関本ら (2013)⁵が構築した東日本大震災復興支援調査アーカイブの中では、被災した各自治体の生存者個々人、数百人に対する避難経路についてのアンケート調査を基に、津波から避難する人々の状況を視覚化した。更に、近年では、情報通信技術の発達により、携帯電話の GPS を用いた人々の位置情報データの取得が可能となっており、東日本大震災直後の首都圏における人々の行動分析を行った関本ら (2012)⁶や、東北地方における震災から原発事故の深刻化にかけての長期的な避難行動をマルコフ決定過程によりモデル化した Song et al. (2013)⁷がある。また、Lu et al. (2012)⁸は、ハイチ地震の後の人々の行動変化を、行動範囲の広さや行動の規則性という観点から分析した。

しかし、震災直後の人々の行動した経路がどのように変化したのかは、災害直後の実態データは一般にも得られにくい上に、同一人物の平常時との比較が難しいため一定規模以上の分析を行うためには携帯電話のデータを利用することが唯一の手段だと考えられる。実際の震災直後も通信の輻輳等によって、得られる GPS データがスパースであるという難しさがあるが、GPS データは過去の履歴も存在しており、平常時の行動との比較が可能であることや、実際の行動の観測に基づいていること、といった利点を有しているため、スパースなデータであっても、そこから人々の経路選択といった詳細な行動を分析する手法の確立が重要に思われる。

そこで本研究では、東日本大震災以前震災までの半年以上に渡る GPS データを用いて、震災時における人々の行動を、移動経路選択に焦点を当てて分析し、GPS データによる行動調査の有効性を明らかにする事を目的とする。具体的には、長期の GPS データから、家や職場の位置を推定し、道路ネットワークデータを用いて、平常時の職場から家への帰宅経路の選択状況を推定する。同時に、震災時に帰宅した人々が利用した経路の推定を行う。推定された経路から、震災時に利用された帰宅経路の特性に関して分析を行う。帰宅経路に焦点を絞ったのは、帰宅困難者の発生に見られるように、東日本大震災は人々の帰宅行動に大きな影響を及ぼしており、また、平常時の行動との比較がしやすいと考えたからである。

2. 利用した GPS データ

(1) データの概要

本研究では、ゼンリンデータコム社の協力の下、利用者の許諾を得た上で蓄積された GPS データ（「混雑統計データ」）を基に、個人が特定されないように秘匿処理された非集計データを用いた。経路の分析という本研究の特性上、GPS データのような、人々の詳細な行動を記述するデータが必要不可欠である。なお、関本ら (2012)⁶⁾においても同一のデータが用いられている。

(2) 震災時の通信状況

震災当日は、周知のように、通信の輻輳が激しく、思うように GPS データが送信されないことに加え、その場から動くことができなかった人も多かったため、GPS データ量は極端に少なく、1~3 時間に 1 回程度の断片的な位置データしか知ることではできなかった、**図-1a)**は震災当日と前日に首都圏に GPS データが存在した約 24.1 万人を対象に、GPS データ数の時間変化を比較したものであるが、例えば 15 時台では平常時は 1 人あたり約 2 データであるものの、震災当日は 0.41 と 1/5 程

a) 震災前日と当日の GPS データの時間帯別取得状況

b) 発災時から翌朝 6 時までの間の各人の GPS データ数の分布

図-1

度となっている。また、実際に震災直後から翌朝 6 時までの 15 時間の 1 人あたりのデータ数の頻度分布（1 つ以上ある人を対象）をまとめたものが**図-1b)**であるが、95%程度の人が 20 点以下しか得られていない。

(3) データの処理

そこで、今回の分析においては、1 都 3 県（神奈川・埼玉・千葉）の約 50 万人分についての、2010 年 8 月 1 日~2011 年 3 月 11 日の約 7 か月間に渡る GPS データを利用した。分析の準備として、座標と時刻の羅列である GPS データから、Apichon (2013)⁹⁾の手法を用いて、トリップの抽出を行った。具体的な手法は以下の通りである。まず、概ね一定の間隔（約 5 分）に、50 m 以上移動した場合にのみ記録されるという GPS データの持つ特性を利用し、1 年間に渡る全 GPS データの時間帯別のデータ取得状況から、通勤時間、帰宅時間によって人々の生活パターンを類型化した。次に、時空間的に近接するデータ集合の中心を滞在地点とし、滞在地点間の移動をサブトリップとして分割した。具体的には、14 分以上の間 196 m 以内に存在した場合、その地点を滞在エリアとし、年 5 回以上滞在した訪問頻度の高い滞在エリアの中心から 30 m の範囲を滞在地点として抽出した。最後に、滞在地点と生活パターンから、就寝時間帯に頻繁に滞在していた地点を home、home から頻繁に向かう目的地であり、かつ、頻繁に home に向かって出発する滞在地点を office として推定した。

3. 帰宅経路の推定手法

(1) 推定手法の概要

本研究では、帰宅時に観測された GPS データを用いて、平常時・震災時における帰宅経路を求めた。まず、平常時 (2010 年 8 月 1 日～2011 年 3 月 10 日) の GPS データから、職場から自宅へ向かう GPS データ (帰宅トリップ) を全て抽出した。その GPS データに基づいて、道路と鉄道のネットワークデータを用いて、Penalty 法¹⁰⁾により尤もらしい経路を生成し、平常時最も頻繁に利用する帰宅経路 (Normal Route : NR) とした。一方、2011 年 3 月 11 日 15 時頃 (震災直後) から 3 月 12 日 6 時までの GPS データから、帰宅トリップを抽出し、同様にして震災時に利用した帰宅経路 (Emergency Route : ER) を求めた。図-2 に手法の概要を示す。

(2) 帰宅トリップの抽出

震災直後に得られた GPS データが少ないことから、平常時と震災時について、異なる方法で帰宅トリップの抽出を行った。

a) 平常時の帰宅トリップ抽出

office を起点とするサブトリップから、home を終点とするサブトリップまでの連続するサブトリップを結合することで帰宅トリップを得た。

b) 震災時の帰宅トリップ抽出

Apichon (2013)⁹⁾におけるサブトリップ分割に基づく a) の手法では十分な数の帰宅トリップを得られなかった。そこで、帰宅トリップは、office 付近から home 付近への連続する GPS データ集合として抽出した。この際、home/office 付近とみなす GPS データを、home/office から一定の距離内に存在する点とした。この閾値は、Apichon (2013)⁹⁾で 300 m としていたが、震災時ではデータ数の減少を考慮し、1 000 m とした。

(3) 帰宅経路の推定

抽出した全帰宅トリップについて、各人毎に、帰宅経路として最も尤もらしい経路を、道路利用経路と鉄

道利用経路の集合から選択することで、帰宅経路を推定した。Nakamura et al. (2012)¹¹⁾のような、観測データを基に経路を生成する手法も開発されている。しかしながら、災害時の行動調査を行うという目的の下、平常時との行動の比較を行う事を念頭に置いているため、日毎の利用経路ではなく、平常時に代表される帰宅経路を求める必要があった。そこで、本研究では、同一の経路選択肢集合から一つを選ぶという手法を用いた。また、この方法では、災害時と平常時における経路の比較が容易に行えるという利点がある。GPS データに基づく経路生成に比べて精度が下がる部分は、選択肢集合を工夫することや、数を増やすことで、補えると考えた。

a) Penalty 法を用いた道路利用経路候補の生成

複数の異なる道路利用経路を生成する方法については、Dial et al. (1979)¹²⁾の手法と併せて検討した結果、生成される経路がバリエーションに富み、かつ計算時間が短い Penalty 法を用いた。

Penalty 法では、まず、ユーザーの office から home に向かう最短経路を、最短経路探索アルゴリズムの一つである Dijkstra 法によって求める。その後、求めた経路が含む全てのリンクについて、リンクコストに一定の重みを乗算する。この状態で再度 Dijkstra 法を用いると、先程とは異なる経路が最短経路として出力される。この操作を繰り返すことで、複数の異なる経路が生成される (図-3 a)。本研究では、推定精度と計算時間の観点から、重みを 0.5 とし、10 通りの経路候補を生成した。尚、経路候補の組は、起点と終点の位置にのみ依存するので、同じユーザーであれば常に同じ経路候補の組が生成される。

b) 鉄道利用経路の生成

鉄道利用経路は、鉄道ネットワークは道路ネットワークに比べ疎である事から、1 通りのみ生成した。計算時間短縮のため、出発駅、到着駅はそれぞれ、office、home の最寄り駅とした。駅間の路線情報や所要時間などのデータから、所要時間が最短となる鉄道経路を探索し、鉄道利用の場合の帰宅経路とした¹³⁾。

c) 経路候補の選択

a) で生成した道路利用経路と、b) で生成した鉄道利用経路を合わせた 11 通りの帰宅経路候補の中から、帰宅トリップに最も合致する経路を選択した。合致の度合いを測る指標としては、ハウスドルフ距離¹⁴⁾や、ベクトル間の類似度を表すコサイン類似度も考えられるが、経路に焦点を当てた本研究では、全体的な類似性よりも局所的な一致を重要視し、新たに一致率という値を定義した (図-3 b)。ある帰宅トリップについて、経路候補のうち、一致率が最も高いものを帰宅経路とした。ここで、観測点 i と $i+1$ の間の距離を $d_{i,i+1}$ とする。

図-2 推定手法の概要

- 10本の道路利用経路と1本の鉄道利用経路（紫色）が生成される。経路候補が収束する上下の点の内、上が office、下が home の位置を表す。赤色の点は震災時、水色の点は平常時における帰宅トリップの GPS データを表す。
- a) の点線枠内の部分について、一致距離を計算した例を示す。赤色の経路について、点 A, B, D は 300m 以内、点 C は 1000m 以内に存在するので、一致距離は、 $\overline{AB}/2 + (\overline{AB}/2 + \overline{BC}/2) + (\overline{BC}/4 + \overline{CD}/4) + \overline{CD}/2$ で表される。紫色の経路については、点 A は 300m 以内、点 C D は 1000m 以内に存在するので、一致距離は、 $\overline{AB}/2 + 0 + (\overline{BC}/4 + \overline{CD}/4) + \overline{CD}/4$ で表される。
- 平常時は帰宅トリップにより経路選択結果が異なる状況を示している。赤色の経路を選んだ帰宅トリップは1つであるのに対し、紫色の経路を選んだ帰宅トリップは2つ以上存在した。
- 推定結果である Normal Route, Emergency Route がそれぞれ紫色・赤色の線として推定された結果を表す。

図-3 平常時・震災時における帰宅経路の推定手法

トリップ長 L は、帰宅トリップを構成する、連続する GPS 観測点間の距離の総和であり、

$$L = \sum_i d_{i,i+1}$$

で表される。一致距離は、経路候補の内、観測点と合致する部分の距離として、以下のように定義する。観測点 i と経路候補の最小距離を m_i とし、観測点の集合 K_1, K_2 を、パラメータ a, b を用いて以下のように表す。

$$K_1 = \{i | m_i < a\}$$

$$K_2 = \{i | m_i \geq a \text{ and } m_i < b\}$$

これらを用いて、一致距離 L_c は、

$$L_c = \sum_{i \in K_1} \frac{d_{i,i-1} + d_{i,i+1}}{2} + \sum_{i \in K_2} \frac{d_{i,i-1} + d_{i,i+1}}{4}$$

と表され、一致率は L_c/L で求められる。尚、2つのパラメータは、観測点と経路候補の一致を認める最大距離を表しており、値を小さくする程厳しい評価となる。

推定の際には、一致率のパラメータを $a = 300, b = 1000$ とした。パラメータ a を 300m としたのは、観測データの精度が 300m である事に由来する。第一項のみで一致距離を定義した際に、一致率が複数の経路で

等しい値になってしまったため、第二項とパラメータ b を上記のように設定し、加えることで、一致率が等しい経路同士の比較を行った。それでも一致率最大の経路候補が複数存在する場合は、それらの経路候補について、帰宅トリップの各観測点との最小距離の和が最も小さい経路を選んだ。

d) Normal Route, Emergency Route の推定

平常時は帰宅トリップが複数存在し、各帰宅トリップについて別の経路候補が選択される場合がある。そこで、選択回数が最も大きい経路を NR とした (図-3 c)。選択回数最大の経路が複数存在する場合は、その中からランダムに選んだ経路を NR とした。以上の手法により、NR と ER を得た (図-3 d)。

4. 推定結果

(1) 推定結果の分析

GPS データが存在する約 50 万人の内、home/office の推定及びサブトリップ分割が出来たのが約 20 万人であり、更にその内、GPS データが 3 点以上で構成される

a), b), d) NR は鉄道利用経路, ER は道路利用経路である。震災時は鉄道での帰宅を諦め、徒歩もしくは車などを用いたことが伺える。c) NR, ER 共に道路利用である。普段から自動車またはバスなどを利用しており、震災による交通機関の麻痺の影響を受けていないことがわかる。

図-4 平常時帰宅経路 (NR)/震災時帰宅経路 (ER) の推定結果

図-5 適切な経路候補が存在しない例

帰宅トリップが平常時と震災時に存在した 6745 人を対象に推定を行った。平均して一人につき約 36 日分の平常時帰宅トリップが得られた。結果の一部を図-4 に示す。

(2) 推定精度の考察

推定精度を、 $a = b = 300$ とした一致率を用いて検証した。このパラメータの値は、帰宅経路から 300m 以内に観測点があれば合致するとみなす、ということを表す。尚、ER の精度は、震災時の帰宅トリップと、ER の一致率の全人平均で表し、NR の精度は、平常時の帰宅トリップの内、NR を帰宅経路として選択したトリップについて、一致率の平均をとったものとする。

それぞれの精度は、NR が 0.71, ER が 0.67 であった。

即ち、GPS データの誤差の範囲で、概ね尤もらしい経路を推定することができたと考えられる。

一方で、推定精度悪化の要因について考察する。精度が悪い結果について視覚化した所、(1) 適切な経路候補が生成されていない、(2) GPS データの精度が悪く、観測点が散在している状態であり、視覚化しても経路をうかがい知る事ができない、という 2 つのパターンに大別されることがわかった。(2) については、個々の推定精度を上げるのは困難であり、対策としては推定対象データの抽出方法の改善が考えられる。

次に、(1) について、極端な例を図-5 に示す。帰宅トリップから、平常時は鉄道を利用し、震災時は鉄道付近の道路を通って帰宅したことが容易に見て取れる。しかし、Penalty 法により生成された経路候補は最短経路を中心に存在しており、実際に利用したと思われる経路とは全く異なっている。経路候補から選択するという手法を用いる場合、対策の方向性としては、A 案：経路候補のバリエーションの増加、B 案：観測点の分布に応じた経路候補の生成の 2 通りがある。A 案について、単純に経路候補数を 10 以上に増やすのではなく、鉄道経路を複数種用意する、道路種別を限定した経路候補を生成する、といった経路のバリエーションを増やすことが必要である。なぜなら、図-5 の例では、震災時は国道を利用しており、このように国道や都道府県道を優先的に用いることは十分に考えられるからである。次に、B 案について、観測点付近のノードを経由する経路候補の生成を行うことで、適切な経路候補が生成されやすくなると考えられる。

a), b) はそれぞれ平常時・震災時の帰宅経路を示したものであり, c), d) はそれぞれの図中における点線枠内のエリアを拡大したものである。c), d) 中の楕円で囲った領域は、概ね JR 山手線の内側部分を表している。

図-6 首都圏内における平常時・震災時の帰宅経路

(3) 交通手段と経路の選択状況に関する分析

全データの内、NR/ER 両方の精度が 0.7 以上だったデータ 2231 人分について、詳細な分析を行う。

まず、NR・ER の両方について、経路が鉄道利用か、道路利用かの判別を行った。また、平常時・震災時共に道路利用の場合、NR と ER の異同判別を行った。集計結果を表-1 に示す。平常時の鉄道利用者が 1017 人と全体の 46% となり、第 5 回パーソントリップ調査¹⁵⁾において、首都圏における通勤先への代表交通手段の構成比に鉄道が占める割合が 53% であったことに比べ、やや少ない結果となった。震災時の鉄道利用者については、全体の約 10% であり、廣井ら (2011)⁴⁾が実施した、当日の帰宅状況に関するアンケート調査結果で鉄道利用者が 14% とされていた事に比べてやや少ない結果となった。ここで、平常時に鉄道を利用していた人々に限定すると、震災時に鉄道を利用して帰宅したのは約 18% であり、多くの人が鉄道での帰宅を諦め徒歩や車を利用して帰宅した状況が伺えた。鉄道利用者が他の調査結果より少ない理由は、前節に述べた通り、鉄道経

路候補が 1 通りしかないため選ばれにくいことと、鉄道経路候補は、最寄り駅間を結ぶ経路であり、厳密に office と home を結んでいないため、鉄道沿いを走る道路を利用した場合に、道路経路が選ばれやすくなっていることが考えられる。

道路利用者に着目すると、ほとんどの人が震災時にも道路を利用して帰宅している。しかし、平常時と震災時に道路を利用した人のうち、6 割の人が平常時頻繁に利用する経路とは異なる経路を震災時に利用していたことがわかる。この人々は、震災時という状況を考えると、道路を利用して帰宅する人々による混雑を避けて迂回する、送迎や職務上の目的で、他の場所に寄り道をする、といった行動をとっていた事が推察される。

(4) 首都圏全体の帰宅経路

最後に、精度の良かった 2231 人分の帰宅経路を全て表示した (図-6)。色の濃さは交通量の多さを表す。図-6a), 図-6c) は平常時, 図-6b), 図-6d) は震災時を表している。平常時は、鉄道経路が多いためか、震災

表-1 2231 人の平常時・震災時における交通手段と経路選択状況

平常時 \ 震災時	鉄道利用	道路利用	合計
平常時			
鉄道利用	186	831	1017
道路利用	41	1173 (400)	1214
合計	227	2004	2231

NR・ER が鉄道経路の場合，平常時・震災時は鉄道利用とした．平常時・震災時共に道路利用の場合，NR と ER の経路の異同判別を行った．() 内は NR と ER が一致した人数を表す．

時に比べて一部の経路に交通量が集中しているのに対し，震災時の経路は，交通量が多い道路を中心に分散していることがわかる．このことは，鉄道による帰宅を諦めた人々が，混雑を避ける，送迎などの理由で寄り道をするといった目的で，異なる経路を利用したことが考えられる．この，震災時に経路が分散する傾向は，図-6d) の西側に見られるように，環状線の付近において特に顕著になっている．また，この西側部分（小金井市周辺）に関しては，平常時に比べ多くの人が通過していることもわかり，人々の集積状況にも平常時と異なる点が見られる．このように，推定された経路を集めることで，全体的な人の移動傾向を捉えることが可能である．

5. 結論

本研究では，東京都市圏における通勤・通学者 6745 人の，2010 年 8 月 1 日～2011 年 3 月 11 日の GPS データを用いて，平常時最も頻繁に利用する帰宅経路と，震災後に利用した帰宅経路の推定を行った．結果，平均して帰宅経路の約 7 割を再現することができた．その後，結果の検証を行い，精度悪化の原因を考察した．既存のアンケートによる行動調査との比較から，GPS データによる災害時の行動調査の有効性が部分的に示された．推定精度が高かった 2231 人に関して，平常時と震災時の経路選択状況の比較を行った．帰宅経路の推定に関して，今後の課題としては，精度の向上と，交通モードの推定が挙げられる．精度向上のための方策としては，(1) 所要時間を最短にする経路や，GPS データの分布を考慮した経路，最寄り駅以外を利用した場合の鉄道経路などを選択肢集合に含めること，また，(2) 経路候補の評価手法の改善が挙げられる．更に，帰宅経路に留まらず，目的地選択行動や，自宅以外への移動に関する行動の詳細を GPS データから明らかにしていきたい．もう一つの課題として，災害時において取得可能な GPS データの少なさが挙げられる．冒頭で述

べた避難誘導や備蓄食料の配置計画のためには，このような GPS データから得られた行動分析の結果を，モデルの検証や，パラメータの推定の部分において，シミュレーションモデルと組み合わせて利用することが望まれる．

謝辞： 株式会社ゼンリンデータコムの皆様には分析用データを提供等，多大なる支援を頂いた．ここに深謝の意を表します．

参考文献

- 1) 大佛俊泰，守澤貴幸：都市内滞留者・移動者の多様な状態と属性を考慮した大地震時における広域避難行動シミュレーションモデル，日本建築学会計画系論文集，Vol. 76，No. 660，pp. 389-396，2011.
- 2) 内閣府：帰宅行動シミュレーション結果について，2008.
- 3) 大佛俊泰，玉野沙織：大地震発生後における通勤困難者について，日本建築学会計画系論文集，Vol. 78，No. 683，pp. 107-114，2013.
- 4) 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，Issue 15，pp. 343-353，2012.
- 5) 関本義秀，西澤明，山田晴利，柴崎亮介，熊谷潤，榎山武浩，相良毅，嘉山陽一，大伴真吾：東日本大震災復興支援調査アーカイブ構築によるデータ流通促進，GIS-理論と応用，Vol. 21，No.2，pp. 1-9，2013.
- 6) 関本義秀，中村敏和，増田祐介，金杉洋：大規模な GPS 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，RONBUNNO 249，2012.
- 7) Song, X., Zhang, Q., Sekimoto, Y., Horanont, T., Ueyama, S. and Shibasaki, R. : Modeling and probabilistic reasoning of population evacuation during large-scale disaster, *Proc. of the 19th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pp. 1231-1239, 2013.
- 8) Lu, X., Bengtsson, L. and Holme, P. : Predictability of population displacement after the 2010 Haiti earthquake, *Proc. of the National Academy of Sciences*, Vol. 109, No. 29, pp. 11576-11581, 2012.
- 9) Apichon, W. : A Study on Human Activity Analysis with Large Scale GPS Data of Mobile Phone Using Cloud Computing Platform, 東京大学博士論文，2013.
- 10) De la Barra, T., Perez, B. and Anez, J. : Multidimensional Path Search and Assignment, *Proc. of the 21st PTRC Summer Meeting*, pp. 307-319, 1993.
- 11) Nakamura, T., Sekimoto, Y., Usui, T. and Shibasaki, R. : Data-Oriented Algorithm for Route Choice Set Generation in a Metropolitan Area with Mobile Phone GPS Data, *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, Vol. I-2, pp. 111-116, 2012.
- 12) Dial, R., Glover, F., Karney, D. and Klingman, D. : A computational analysis of alternative algorithms and labeling techniques for finding shortest path trees, *Networks*, Vol. 9, No. 3, pp. 215-248, 1979.
- 13) 東京大学空間情報科学研究センター：動線解析プラットフォーム web API 仕様書 Ver. 2.60, 2013.
- 14) Hausdorff, F. : *Grundzüge der Mengenlehre*, 1914.
- 15) 東京都市圏交通計画協議会，第 5 回東京都市圏パーソントリップ調査結果，2008.

(2014. 2. 28 受付)

ANALYSIS OF PEOPLE'S ROUTE AND DESTINATION CHOICE IN EVACUATION USING GPS LOG DATA

Ryo WAKO, Yoshihide SEKIMOTO, Hiroshi KANASUGI and Ryosuke SHIBASAKI

Tohoku Earthquake, which occurred on March 11th 2011, resulted in the failure of public transportation system affecting approximately 5,150,000 commuters. They were forced to choose their destinations and routes abnormally. The situation in which roads and public transportations are flooded with commuters not only increases the risk of secondary disaster but is also an obstacle for relief activities, rescue operations, and emergency transportation. Therefore, clarifying the properties of evacuation behaviors after the disaster is important for the prevention, mitigation, and response of natural disaster. Previous researches of evacuation behaviors mainly used the data of behavioral patterns acquired by conducting various questionnaire surveys regarding disaster experiences or attitudes against disaster. However, the data from questionnaires tend to be subjective and the amount of available data is limited. Today, due to the development of sensor and information technology such as positioning systems and mobile devices, movements of large number of population are easily monitored and enormous and objective data about people's evacuation behaviors can be automatically obtained.

In this research, GPS records from mobile devices of large number of people for one year, including the day of Tohoku Earthquake, are used as the data for the analysis of evacuation behaviors, such as route choice and transportation mode choice in the situation of a disaster.

We estimated the daily commuting route using road and railway networks. Besides, we estimated the routes people went through after Tohoku Earthquake on 3.11. Then we have found that, on the day of earthquake, about only 10% percent of people who commute by train on the other days return home by train. Hereafter, we continue the analysis in order to contribute the clarification of evacuation behavior. For further research, we improve the method of route estimation, and analyze the detail behavior, such as destination choice behavior.