

鉄道駅周辺地域における群集流動シミュレーション

西村 光平・大佛 俊泰

Simulation of Crowd Flow in the Vicinity of Railroad Stations

Kohei NISHIMURA and Toshihiro OSARAGI

Abstract : Pedestrian agent simulation is effective for thoroughly understanding the spatio-temporal distribution of people around railroad stations, which is necessary for accurately evaluating the degree of human casualties in case of a disaster. In the previous studies, the authors proposed a model which describes pedestrian behavior by taking into account the concept of mental stress, and a model which estimates pedestrians' pathways from extensive survey data including information such as participants' sex, age, and walking speed. In this paper, we combine these models and develop a multi-agent simulation model which represents spatio-temporal distribution of pedestrians. As a numerical case study, we apply this simulation model to the vicinity of Shibuya station.

Keywords : 鉄道駅 (railroad station), 時空間分布 (spatio-temporal distribution), 群集流動 (crowd flow), MAS (multi agent system), 歩行者 (pedestrian)

1. はじめに

東京都（2006）によれば、鉄道駅周辺地域には大地震発生直後に大勢の帰宅困難者が発生することが予想されている。実際、東日本大震災（2011年3月11日）では、発災直後に多くの人々が鉄道駅周辺地域に殺到し、鉄道運転再開までに時間を要したため、結果として多くの滞留者が路上に溢れる事態を招いた。近年、ミクロな地域における滞留者・歩行者の時空間分布の把握が緊急の課題となっているが、通行量の把握は限られた地点での断面交通量調査が主であり、詳細な属性情報とともに歩行者の時空間分布を求めることが難しい。

これまで多くの研究で歩行者流のシミュレーションが行われてきた（Kaneda, T. and Okayama,

D., 2007）。しかし、歩行者の属性は考慮されず、また、対象地域を横断歩道など特定の場所に限定した事例が多く、駅周辺地域という広範な地域での群集流動を扱った研究は見られない。西村・大佛（2009）はパーソントリップ調査データ（以下、PTデータ）から得られる歩行者の属性・移動情報を利用し、利用した施設（以下、目的施設）と移動した経路（以下、歩行経路）をもとに、歩行者の時空間分布を属性別に推定する手法を構築した。また、大佛・佐藤（2003）は心理的ストレス概念に基づいて歩行者の行動を記述するモデルを構築している。本研究では、これらのモデルを組み合わせ、鉄道駅周辺地域において、連続的に回避行動を繰り返す歩行者の様子を表現できるシミュレーションモデルの提案を試みる。

2. 目的施設と歩行経路の推定モデル

2. 1 モデルの概要

モデルの概要を図1に示してある。まず、PT

西村：〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1

東京工業大学大学院 情報理工学研究科

情報環境学専攻 大佛研究室

E-mail: nishimura.k.ag@m.titech.ac.jp

データから抽出した対象者の移動情報(歩行時間・施設種類・小ゾーン)をもとに歩行者が利用した目的施設を推定した。歩行距離を求める際に必要となる歩行速度は、歩行者の属性によって異なるため、Willis et al. (2004) で計測された歩行速度を参考に、性別・年齢階層別の平均歩行速度を設定した。具体的には正規分布に従う歩行速度を各歩行者にそれぞれ与えた(表1)。次に、目的施設までの歩行経路をDijkstra法を用いて推定した。最後に、推定した歩行者の目的施設・歩行経路をもとに鉄道駅周辺地域を対象とした群集流動シミュレーションを行い、歩行者の時空間分布を推定した。

2.2 分析対象地域と対象者

分析対象地域(以下、地域)には、大規模鉄道駅の中でも利用者の属性や移動目的が多様な渋谷駅とその周辺地域を取り上げた。図2に示すように、対象者は大きく5種類に分類することができる。(1) 渋谷駅で降り立ち、地域内で用事を済ませ、そして渋谷駅から地域外へ立ち去る人、(2) 渋谷駅で乗車し、地域外で用事を済ませ、再び渋谷駅で降り立った人、(3) 渋谷駅で降り立ち、地域内で用事を済ませ、渋谷駅に戻らなかった人、(4) 出発地点から渋谷駅に向かい、地域外へ立ち去った人、(5) 渋谷駅を利用しないが、駅周辺地域を歩行した人。また、渋谷駅の出口は利用した路線によって場所が異なるため、図3に示すように歩行者ネットワークの端点である駅周辺の18箇所のノードを改札口に設定し、平成10年度の各路線の乗客数に基づいて各歩行者が利用した改札口を割り振った。

2.3 モデルの推定精度

前節で求めた各歩行者の歩行経路をもとに断面交通量を推定し、その精度検証として、東京都産業労働局(2001)で行われた通行量調査(以下、実測データ)との比較を行った。実測データの調査地点20箇所(図3の番号)の通行量を比較した結果を図4に示す。歩行経路を最短経路で推定していることや、パーソントリップ調査では把握できない滞留者も多いことなどから時間帯ごと

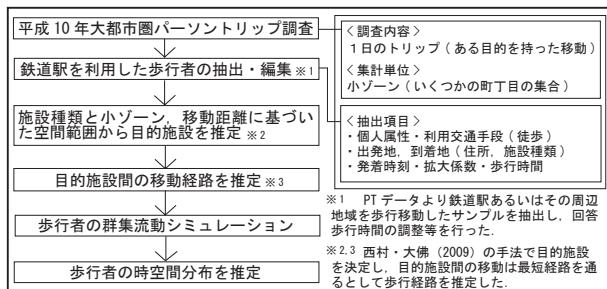


図1 本研究の概要

表1 属性による歩行速度の分布

(a) 属性別の歩行者の平均歩行速度(m/s)						
	0~15歳	16~25歳	26~50歳	51~64歳	65~歳	平均
男	1.57	1.59	1.51	1.42	1.20	1.47
女	1.48	1.50	1.43	1.34	1.13	1.38
平均	1.53	1.55	1.47	1.38	1.16	1.43

(b) 属性別の歩行者の平均歩行速度の標準偏差(m)						
	0~15歳	16~25歳	26~50歳	51~64歳	65~歳	平均
σ	0.447	0.323	0.246	0.243	0.255	0.299

歩行速度は個人によって大きく異なる。そこで、本研究ではWillis(2004)らが計測した属性別の歩行速度を参考に、属性別の歩行者の平均速度を与える。各個人の歩行速度は正規分布に基づくと仮定し、(b)の標準偏差をもとに観測された最小・最大速度の範囲内に収まるよう設定した。

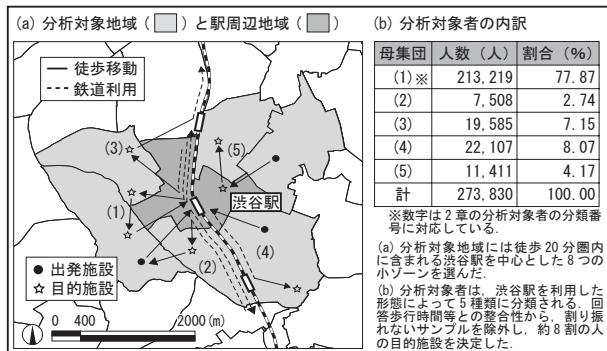
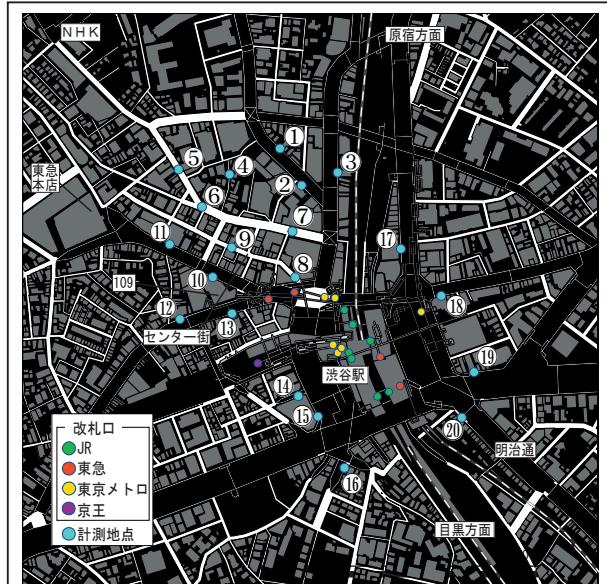


図2 分析対象地域と対象者



※渋谷駅利用者(母集団①, ②, ③, ④)に関しては利用した路線の出口(18箇所)を設定した。その際に、利用した路線に関しては東京都統計年鑑(平成10年)の各路線別の乗客数の割合に応じて乱数を用いて割り振った(表2)。

表2 平成10年度の渋谷駅の乗客数

	JR	東急	東京メトロ	京王	合計
乗車数(人)	153,444	170,635	108,241	60,738	493,058
割合(%)	31.12	34.61	21.95	12.32	100.00

図3 渋谷駅周辺地図

の総通行量については大きな乖離が見られた（図4(a)）。しかし、実測データで観測された10時から22時における通行量比（図4(b)参照）を見ると、良好な対応を示していることがわかった。実測データでは属性別の通行量が得られており、属性ごとの構成割合を知ることができる。そこでPTデータの値が整合するように性別・年齢階層別に異なる倍率を与えた（図4(c)）。その結果、両者の時刻別の通行量の相関係数は0.85となり（図4(d)）、比較的良好な対応関係が確認できた。しかし、実測データを見ると、属性によって滞留する地域に偏りがあることがわかり、目的施設と歩行経路の推定については検討の余地を残している。

3. 群集流動シミュレーションとその結果

3.1 シミュレーションの概要

群集流動シミュレーションの概要を以下に示す（図5）。まず、各歩行者は前章で推定した歩行経路を通行し、交差点到達時には、その交差点に信号が設定されており、信号が赤の時には信号が青になるまで現在の地点で待機する。ただし、信号が赤でも到達することが可能なノードが周囲にあり、そのノードからの方が次の目標地点までの距離が短くなる場合には、歩行経路を変更し、そのノードに向かって進む。以上のステップを目的施設に辿りつくまで繰り返す。

3.2 ストレス関数を用いた歩行モデル

各歩行者の進行方向は、同じ歩道上を歩いていても対向者や他の滞留者の状況によって常に変化する。大佛・佐藤（2003）はストレス関数を用いて歩行者の歩行特性をモデル化した（以下、歩行ストレスモデル）（図6）。このモデルでは、歩行者が受けるストレスは、情報空間内に他者が入ってきたときに受ける「他者ストレス」、希望到達地点から次時点の位置がずれた時に受ける「目的地ストレス」で与えられ、歩行者は移動可能領域内において、ストレスの合計が最も小さくなる地点へ移動する。また、情報空間内にいる歩行者との衝突を回避するための「先読み行動」や目の

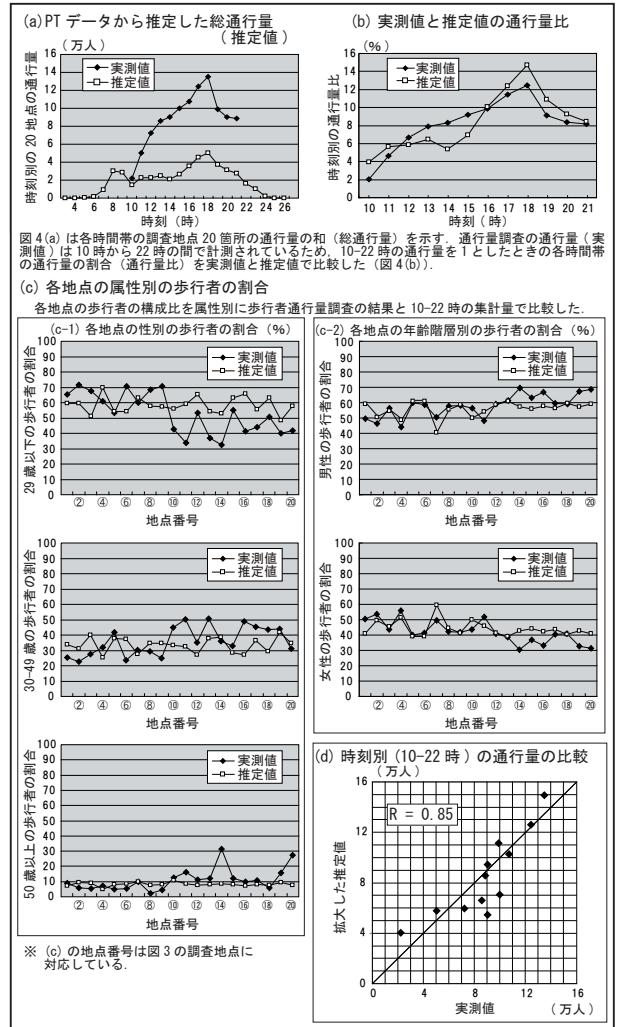


図4 歩行者通行量調査との比較

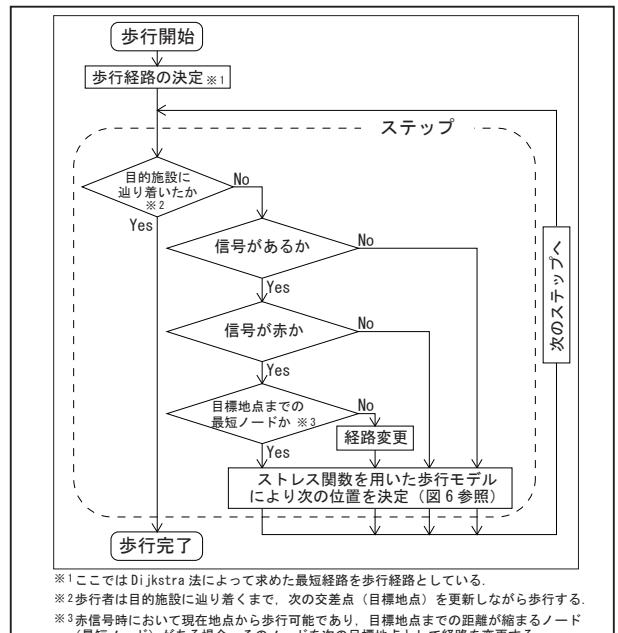


図5 群集流動シミュレーションの概要

前の歩行者が通り過ぎるのを待つ「立ち止まり行動」、同一方向に進む前方の歩行者の後を追う「後

追い行動」と「追い越し行動」などのサブモデルから構成されている。

3. 3 その他の行動特性

歩行者は限られた歩道幅員の中を自由に歩行する。そこで本研究では歩行者が歩道の外へはみ出す際に歩行者が受ける抵抗を「歩道ストレス」として歩行ストレスモデルに組み込んだ。さらに「壁面」の有無を考慮することで、物理的な歩行可能領域をモデル化した。

3. 4 シミュレーション結果

図7にスクランブル交差点周辺における青信号点灯開始後の歩行者の群集流動シミュレーションの結果を示す。交差点による赤信号による待機や最短ノードへの移動、交差点内や地下通路での追い越しを表現することができた。

4. まとめ

本研究では、鉄道駅周辺地域における群集流動シミュレーションモデルを提案した。PTデータの属性・移動情報から得られる滞留者情報と、歩行特性を実データから推定した歩行ストレスモデルを用いて、群集流動の挙動を精緻に表現した。今後は災害時における群集流動シミュレーションを行う予定である。

謝辞

本研究は平成23年度科学研究費補助金・基礎研究(B) (課題番号21310105)の助成を受けて行った研究の一部である。

参考文献

- 大佛俊泰・佐藤航(2003)：心理的ストレス概念に基づく歩行行動のモデル化、「日本建築学会計画系論文集」, 573, 41-48.
- 東京都(2006)：「首都直下地震による東京の被害想定報告書」
- 東京都産業労働局(2001)：「東京都における繁華街利用実態調査報告書」
- 西村光平・大佛俊泰(2009)：鉄道利用者のターミナル駅周辺地域における時空間分布、「地理情報システム学会研究発表大会講演論文集」, 18, 5-8.
- Kaneda, T. and Okayama, D., 2007. A Pedestrian Agent Model Using Relative Coordinate Systems, *Agent-Based Approaches in Economic and Social Complex Systems IV*, 3, 63-70.
- Willis, A., Gjersoe, N., Havard, C., Kerridge, J. and Kukla, R., 2004. Human movement behavior in urban spaces: implications for the design and modelling of effective pedestrian environments. *Environment & Planning B: Planning & Design*, 31, 805-828.

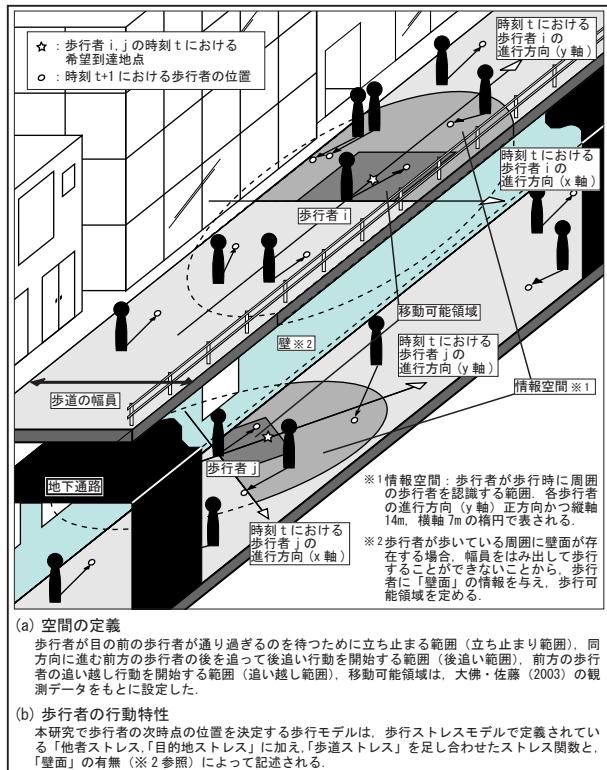


図6 歩行モデルの概要

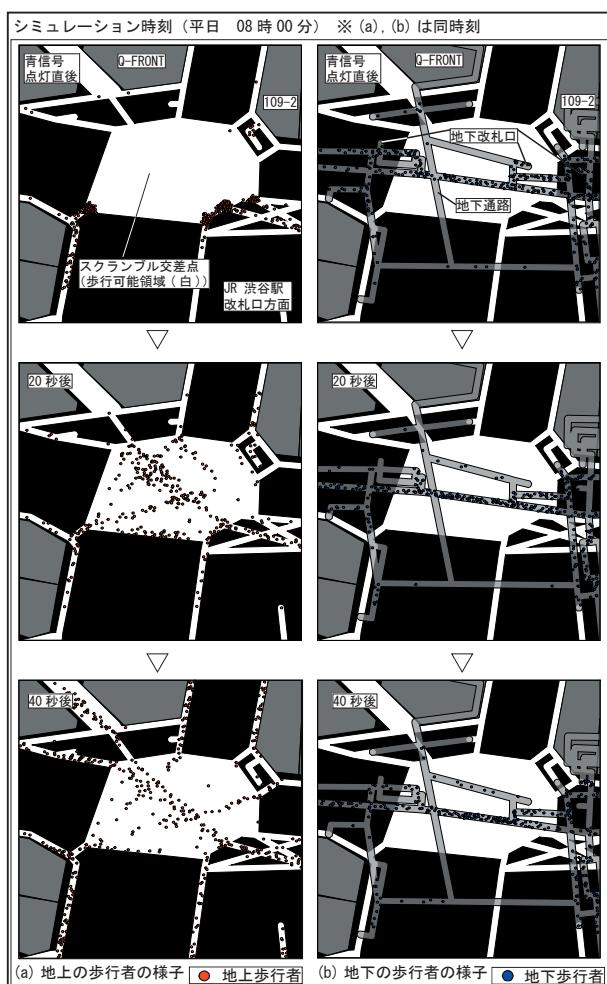


図7 スクランブル交差点周辺での歩行者の歩行の様子