

地震発生直後のターミナル駅内の行動分析

清水 俊幸

1 東京都市大学 都市工学科 (〒158-8577 東京都世田谷区玉堤1-28-1)

E-mail:0718079@tcu.ac.jp

東日本大震災直後に首都圏内では、2時災害である交通機関の麻痺が起こった。首都圏内ではほとんどの電車が運行中止となり、駅構内から安全な場所へ逃げるために一斉に外へ逃げていった。このように、非常時に人はどのような行動をとるかわからなく、人口密度が高いところでは人的被害が起きる可能性がある。よって、本研究では、駅構内を対象とした地震発生直後のターミナル駅内の行動分析についてマルチエージェントシステムを用いたシミュレーションを行い、人々の動きをシミュレーションすることで、対応及び対策の在り方について考えていく。そこで人による更なる被害をなくすために、安全で円滑、効率的に避難できるか、ターミナル駅のあり方について検討していく。

Key Words : ASPFモデル, マルチエージェントシステム, 群集密度, ターミナル駅

1. はじめに

(1)研究背景

日本は世界でも有数の地震大国と言われている。日本列島には4つのプレート重なっている。世界の地震エネルギーの10分の1が日本周辺に集中しているとも言われている。過去に起こった地震として、阪神淡路大震災や新潟県中越地震などがあり記憶に新しい。さらに、今年の3月11日に起こった東日本大震災は日本で観測史上最大のマグニチュード9.0を記録した。そして今後は東海地震、東南海地震、首都直下型地震などのさまざま巨大地震の発生が予測されており、地震の脅威は収まることを知らない。地震災害は地震被害だけにとどまらず、津波被害や火災被害、ライフラインへの影響が広範囲にわたり2次災害として起こる可能性もある。東日本大震災発生時東京では、およそ震度5~4であり、建物被害も多くなかったにも関わらず、東京の中心部では大混乱が起こった。その要因としてあげられるのが交通機関への影響である。主要ターミナル駅及び周辺の地域では、周辺に避難所がある場合でも、ターミナルへ避難・情報収集・帰宅目的など様々な目的を持った人々が多く集まり、歩行者混雑による2次災害が懸念された。さらには、人々が集中することにより避難所不足という結果にも陥り、多くの研究が行われるようになっていった。

地震の発生は決して防ぐことのできないものである。しかし、被害を軽減することはできると考える。そこで、本研究では、駅構内の地震時の避難シミュレーションを行った。

(2)研究目的

研究背景で述べたように、東日本大震災発災時、主要ターミナル駅及び周辺の地域では大混乱が起こり、駅構内及び周辺の地域ではパニックに陥ってしまった。駅構内及び周辺の地域の地震発生時の人の動きに対して危険であると指摘されており、駅構内に関する研究も行われている。東日本大震災発生にわたり、駅構内の防災力向上のための研究さらには、国や東京都は新たに防災計画を考える上で、ターミナル駅及び周辺の地域を重要視し作成している。

そこで本研究では、ターミナル駅構内に着目し、1日あたりの乗車数が国内最大である新宿駅を対象として、駅構内における人々の避難行動シミュレーションを行った。

2. 歩行行動のシミュレーション

(1) マルチエージェントシステムとは

本研究で行うシミュレーションシステムとして使用するのは、マルチエージェントシステムである。マルチエージェントシステムとは、エージェントが複数集まって構成するシステムのことを言う。個々のエージェントは周囲のエージェントと強調するなど、周囲の環境に合わせて自分の目標達成のために自律的に行動を行い、与えられた問題を解決していく。与えられた問題を解決するために、複数のエージェントに異なった目標や思考を与えた上で、知的な集団行動を生み出すシステムである。個々のエージェントの能力、性質、機能が重視され、自律的なエージェント間の相互作用に着目されたシステムである。さらに、特徴を書き込んでいく。

- ・MASのプログラム構成は、階層構造であり、最上位にはWorldエージェントが存在する。Worldの下階層に「空間」や「エージェント」、「変数」を配置し、シミュレーションを構成している。

- ・マルチエージェントシミュレーションを行うために必要な関数がいくつか用意されており、エージェントの配置や移動などを容易に行うことができる。

- ・2次元表示マップや数値出力によって、エージェントの動作を視覚的に捉えることができる。

以上のことから、複数の人々の動きをシミュレーションするには最適なシステムであることが言える。よって、本研究ではマルチエージェントシステムを採用した。

(2) エージェントとは

エージェントとは、周りの環境から、また自身の意思決定によって行動を起こし、環境に影響を与えるものをいう。さらに影響を受けた環境を選び視覚し、意思決定によって行動する。以上のことを繰り返し環境と相互作用を行っている。そして、図. 1のようにエージェントは3つの特性を持っている。

- ・自律性

エージェントは人間などの直接的介入なしに動作し、自身の行動や内部状態を制御することができる。

- ・社会性

何らかの言語を介して他のエージェントや人間と情報交換することができる。

- ・反応性

エージェント自身が自分自身の置かれた環境を認知し、その変化に対して適切に応答することができる。

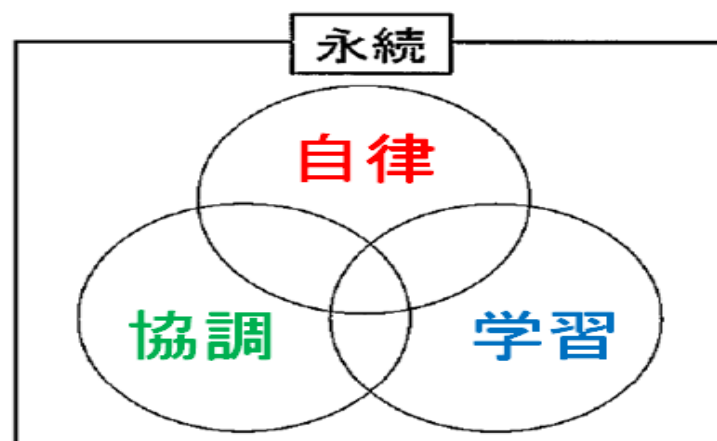


図1 - エージェントの特性

(3) ASPF 歩行行動ルールについて

本研究では、より人に近い動きにさせるためにエージェントに与えるルールとして、ASPF行動モデルを採用した。ASPFでは現在の位置と進行方向、他者との位置との関係から次ステップの自身の位置を決めることを、行動ルールと言い、行動ルールには4ターン計21個ある。

- 1) 低密度歩行時における主にエージェントの進行方向を規定する。(8個)
- 2) 低密度歩行時におもに前後のエージェントの間隔を保つため、他者を回避する。(7個)
- 3) 低密度歩行時におもに左右のエージェント間隔を保つため、他者を回避する。(4個)
- 4) 高密度歩行時に人々は左右の間隔を減らすよりも前後の間隔を減らしていく動作を表現する。(2個)

以上のことをダイアグラムにより図 - 2 に表す。黒丸が自分、白丸が他者、色付きのセルはエージェントの不在を表わすものとする。このASPF歩行行動ルールを用いることで、低密度状況から高密度状況へ変化するプロセスにおける歩行者の挙動を表現できる。

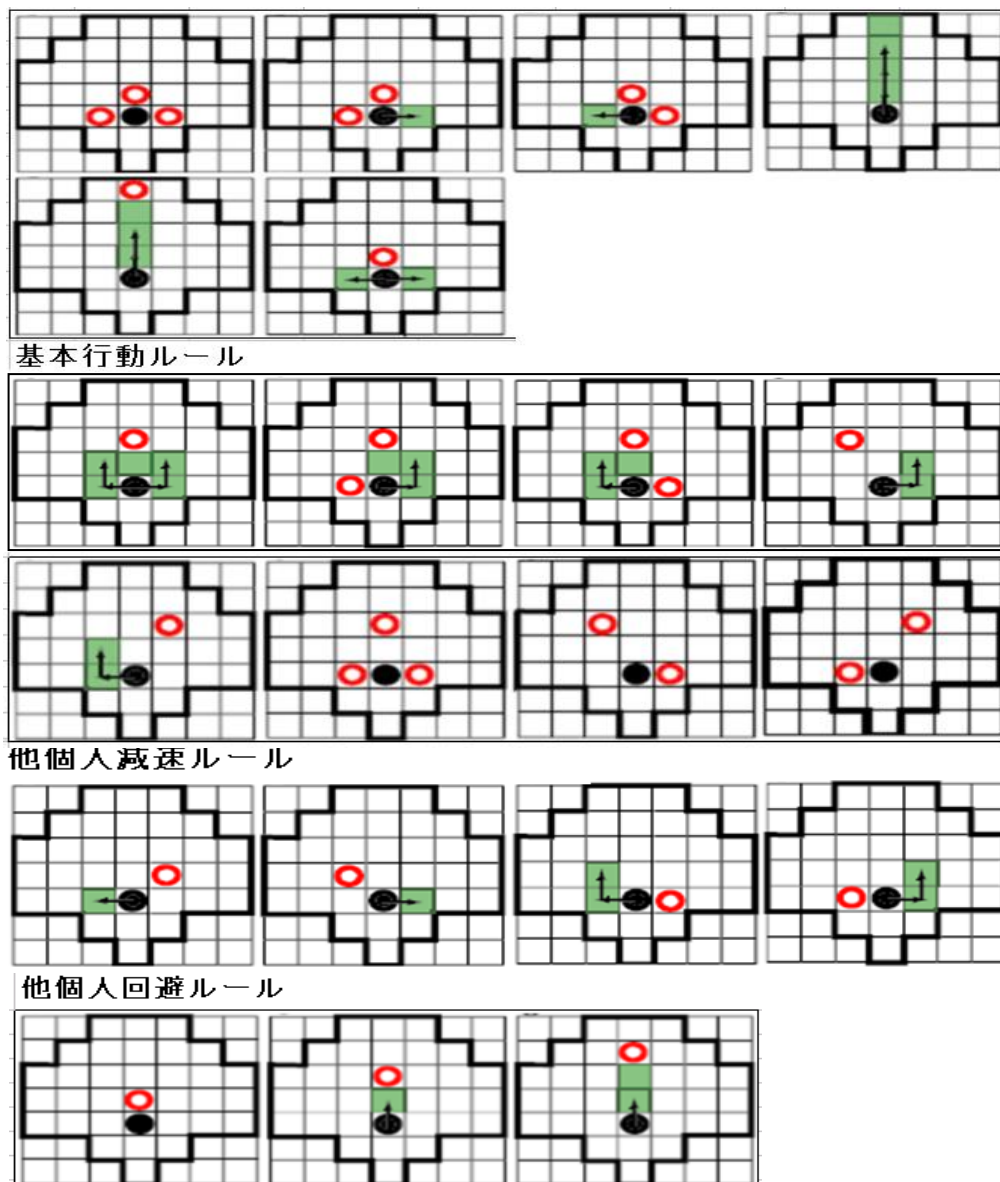


図 - 2 基本行動ルール

3. シミュレーションの概要

(1)解析対象

a)場所

本研究でシミュレーションを行う場所は、新宿駅を採用した。新宿駅の東口、中央東口、西口、中央西口で囲まれた場所である。ターミナル駅の中で新宿駅の1日あたりの乗車人数は約74万人とJRで一番多い数となっており、JR東日本・京王電鉄・小田急電鉄・東京メトロ・都営地下鉄と全部で6つもの駅が連結している。東口は大規模商業地域であり、西口には多くの超高層ビルが存在している。駅構内の中でこの場所が最も乗降客が多い、さらに多くの年齢層の人が活用していると推測した。

この場所の平面図をシミュレーションしていくのだが、JR東日本に問い合わせたところ、防犯上の問題により平面図の提供は不可能であった。よって新宿駅の3次元の新宿駅構内図をPowerPointを用いて平面図を作成した。平面図を図. 3に表した。改札は合計で5つあり、図. 3より左上の2つの改札は中央西口、右上の改札は西口、左下の改札は中央東口、右下の改札は東口となっている。赤い線の場所はそれぞれの乗車する場所へと通じており、合計19箇所ある。

平面図の大きさについてもJR東日本に問い合わせたところ防犯上の問題により提供することは不可能とのことより、Googleマップより距離を測った。方法としてGoogleマップに定規を当て、東口と中央東口との距離を測った。そのときの距離が12cmである。そのときの実際の距離が2.7cmであることから、東口と中央東口との距離は88mである。モデルで活用しているマップの東口と中央東口との距離は9cmであり、横軸の幅は17.7cmである。よって対比から横軸の幅は173mとなった。同様に縦軸の長さは15.5cmであり、横軸と同じように対比を用いて計算すると149cmとなった。

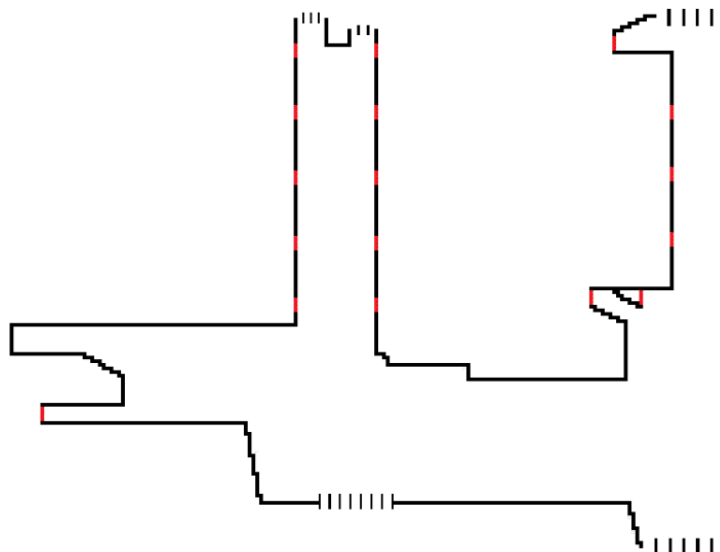


図. 3 - 平面図

b)人数

J R 東日本に時間帯別乗降者人数について、問い合わせたところ提供不可ということから、東京都圏交通計画協議会によるパーソントリップデータを採用した。パーソントリップデータの代表交通手段別・発着時間帯別発生集中量（トリップ数）を用いる。新宿のパーソントリップデータそれぞれ6つあり、本研究では新宿駅及び新宿駅周辺が含まれているゾーンコード0232を用いる。この中には、新宿1丁目、新宿2丁目、新宿3丁目、新宿4丁目、新宿5丁目、新宿6丁目、新宿7丁目、歌舞伎町1丁目、歌舞伎町2丁目、内藤町、大久保1丁目、大久保2丁目、大久保3丁目、百人町1丁目、百人町2丁目、百人町3丁目、百人町4丁目がある。18時台が最も人数が多く、多くの人が帰宅などを行っていると思われる。そのときの人数が約3万人であり、本研究のシミュレーションを行っていく。

c) 駅構内の人の流れについて

駅構内での地震発生時の人の行動に関しては、東日本大震災発生時の動画、東日本発生時の行動に関するヒアリング、及び地震時の行動に対してのネットアンケート調査の3点を参考に人の流れを調査した。

・東日本大震災発生時の動画

動画投稿サイトにより、東日本大震災発生時の駅構内での動画について調査した結果大きく分けて2パターンが存在した。1つは改札及び外に向かっていく流れであり、2つ目は駅構内の隅のほうで留まる動きである。また、中には走って改札へ向かう人やあたふたしている人も多数いた。

・東日本発生時の行動に関するヒアリング

20人に対して、「駅構内にいるときどのように行動をとりましたか」という内容でヒアリングを行った。13人は外に向かう、残り7人は隅のほうで様子を見るというものであった。外に向かうと応えた人のうち5人は、「外に向かうが混雑している場合は様子を見てその場で待機する場合もある」と答えた。

・地震時の行動に対してのネットアンケート調査⁵⁾

マーシュというネットリサーチ会社、20代から60代の男女それぞれ100人ずつ計1000人に対して、「東日本大震災発生時どのような行動をしたか」というアンケートを実施した。地震発生時の場所は自宅及び会社が約7割を占めており、駅は約1割、外にいたのは1割、その他が1割りであった。この中で駅構内の行動が含まれるものは「何もしなかった」、「建物の外に出た」、「電話をした」、「動画撮影をした」計4点である。この中で大半を占めているのが、「何もしなかった」、「外に出た」である。アンケート結果について図 - 4 に示した。

以上3点を考慮し、シミュレーションを行うための行動フローを図 - 5 に表した。

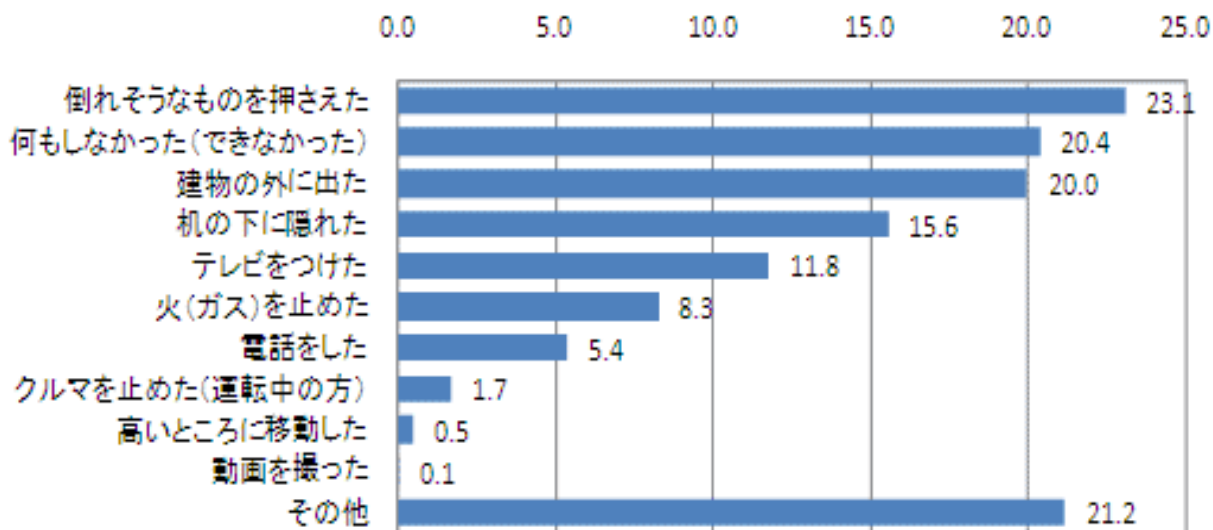


図. 4 - 東日本大震災発生時、先ずどのような行動をとりましたか

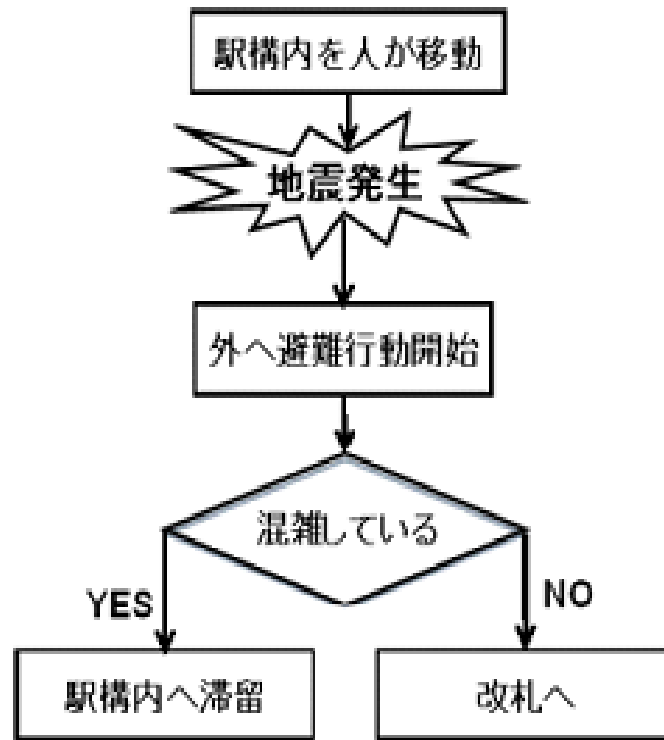


図 - 5 行動フロー

(2)シミュレーション概要

(a)歩行者エージェント

図 - 3 に、対象フロアにおける、歩行者発生位置を示す。対象フロアに接続するホームを想定して図中に、赤線で示した地点の各々から4ヶ所ずつ歩行者を発生させる。発生点は計19ヶ所である。1秒間に約68人発生し、周辺の改札へ向かって歩行する。

(b)経路点エージェント

経路点エージェントとは、発生点とそれぞれの改札を結ぶポイントである。人は自動でそれぞれの改札にはいけなく、経路点エージェントを通して進まなくてはならない。人に指定した順序に次々と経路点エージェントを通り目的の場所へ行動していく。本シミュレーションでの経路点エージェントを図 - 6 で表した。合計 72 箇所あり、ピンク色の点が経路点エージェントである。

(c)終着点

本シミュレーションでは、改札を終着点としている。改札にも経路点エージェントを作成し、同じ地点にKillエージェント（エージェントの消去点）を作成し、エージェントが外へ出ていくさまを表した。図 - 6 で示したように赤文字の1～5の地点が改札となっている。

(d)歩行経路

歩行エージェントは経路点エージェントによりあらかじめ設定された経路に沿って行動を行う。しかし、多くの歩行者エージェントがあるために互いに干渉し合い、図 - 2 に示したASPF歩行行動ルールに従って歩行経路を変えていく。経路に関して、図 - 6 で示した点1～10・19の場合、改札1～5へ向かうルート計4通りある。点11～18の場合、改札3～5へ向かうルート計3通りがある。

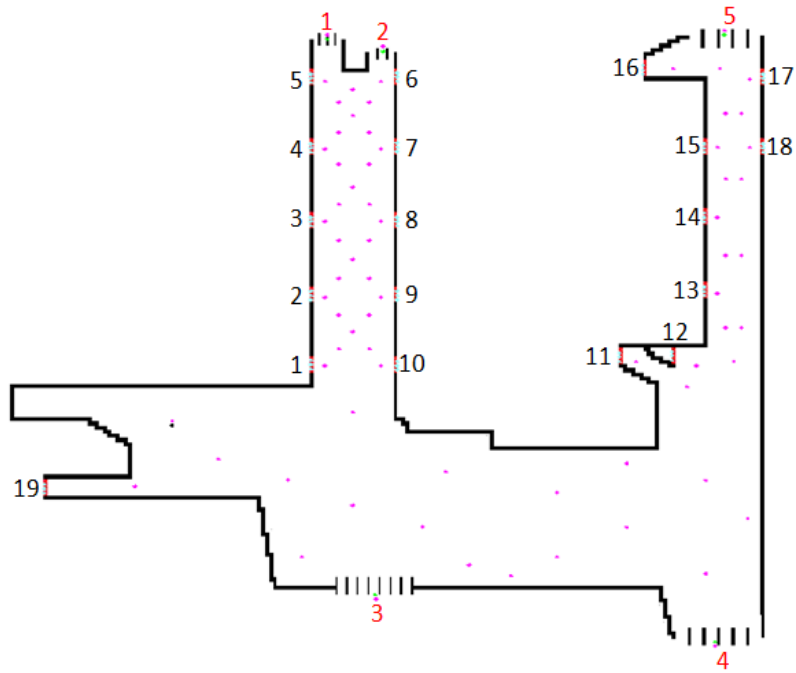


図 - 6 発生点・経路点エージェント・終着点

(e)滞留

駅構内での人の滞留を表すために滞留点、及び滞留率をパラメーターとして導入した。滞留率は0～1.0の間で変わる値である。滞留点は図 - 7の青色の点であり計4つある。そして人を滞留させるために、分岐点を作成し。図 - 7の緑色の点が分岐点であり、計5つある。分岐点に一定以上の密度の人がいた場合、それぞれの滞留点へ移動し滞留する。

分岐1では滞留1へ、分岐2では滞留2へ、分岐3では滞留3へ、分岐4では滞留4へ行くよう作成した。

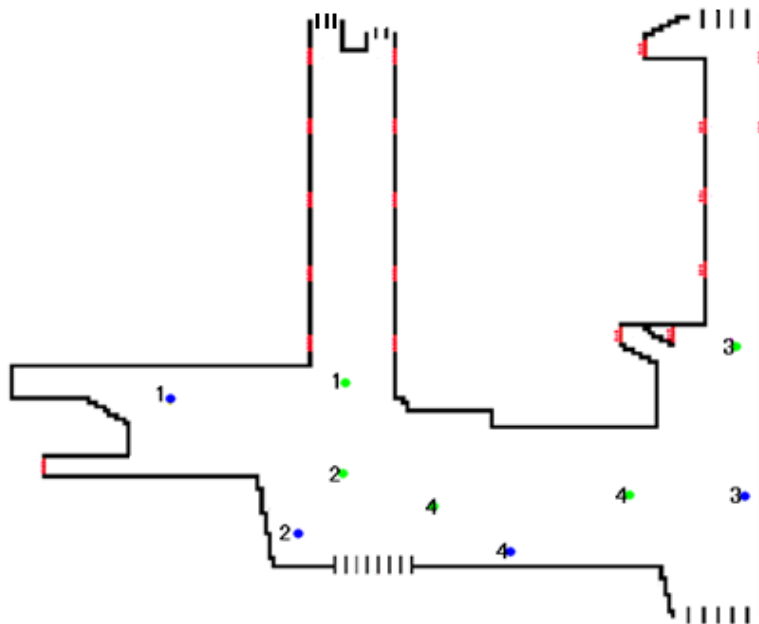


図 - 7 滞留点・分岐点

4. 結果と考察

(1)結果

本研究では駅構内を図 - 8 で示したように39カ所に分け、それぞれの場所で滞留率を0~1それぞれで10通り行い、群衆密度の測定を行った。この結果をグラフ化したもの、滞留率0を図 - 9、滞留率0.5を図 - 10、滞留率1を図 - 11に示した。これを図 - 17を用いて危険度について評価を行った。

さらに、この結果の変化をより調べるため、39ヶ所で測定を行った結果を6ヶ所に分け、図 - 8に示した。1~4を黄緑色、5~9・37を水色、17・18・21・22・26・27を赤色、23・24・29・30・34をピンク色、31・35・36・38・39を緑色、黄色である15・25・32・33は滞留地点である。その際、滞留率0, 0.5, 1の3通りで測定を行った。1~4を図 - 12, 5~9・37を図 - 13, 17・18・21・22・26・27を図 - 14, 23・24・29・30・34を図 - 15, 31・35・36・38・39を図 - 16に示した。

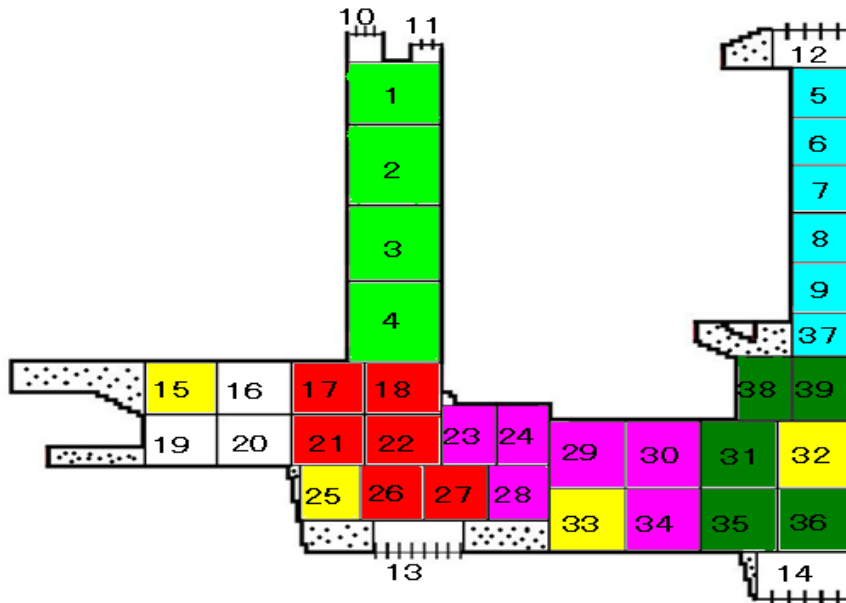


図 - 5 測定場所

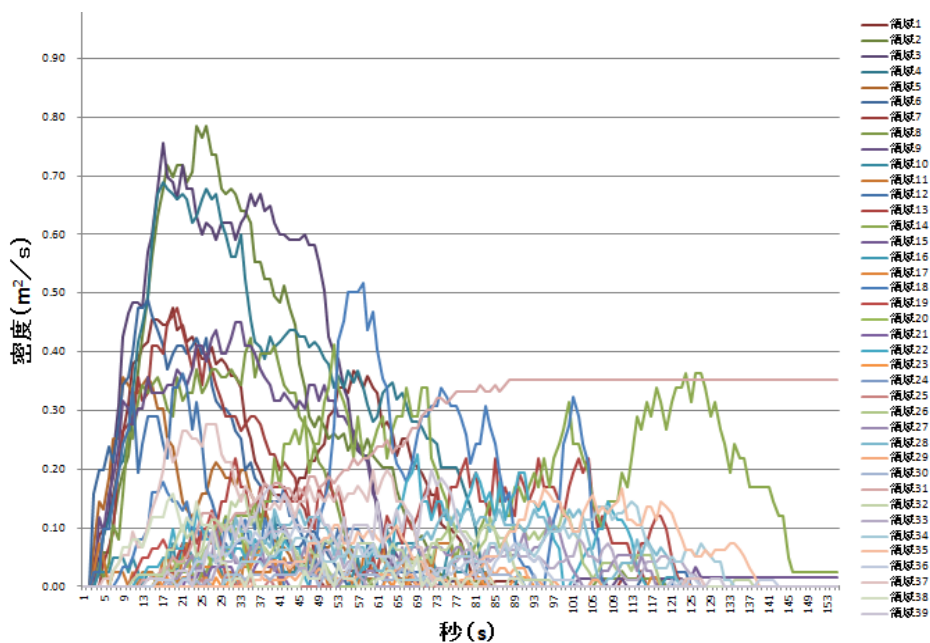


図 - 9 群衆密度の推移 (滞留率 0)

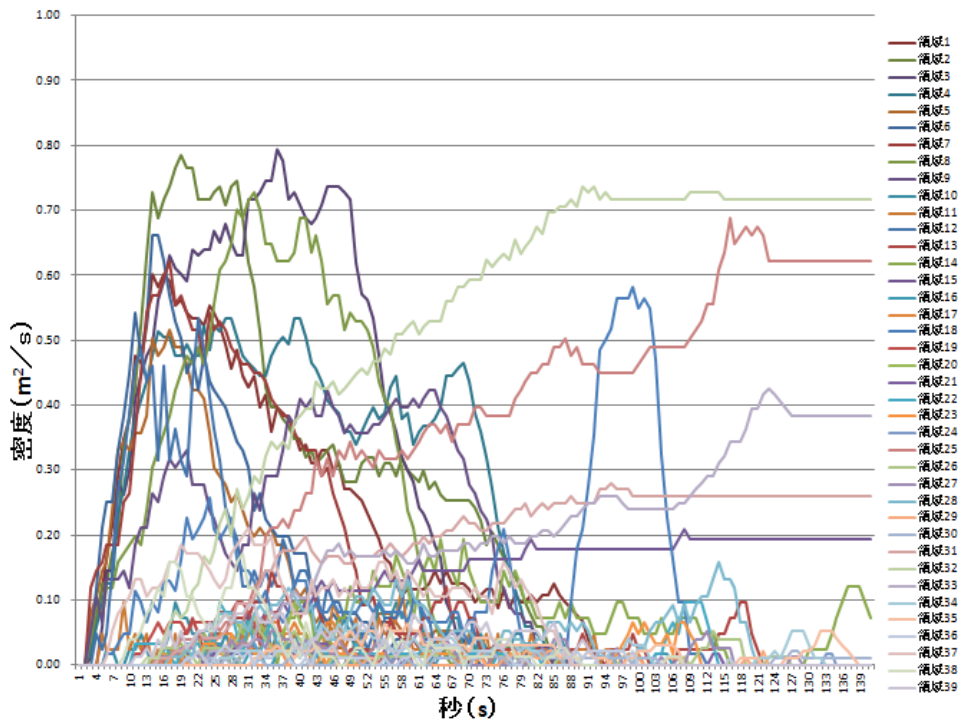


図 - 10 群衆密度の推移 (滞留率 0.5)

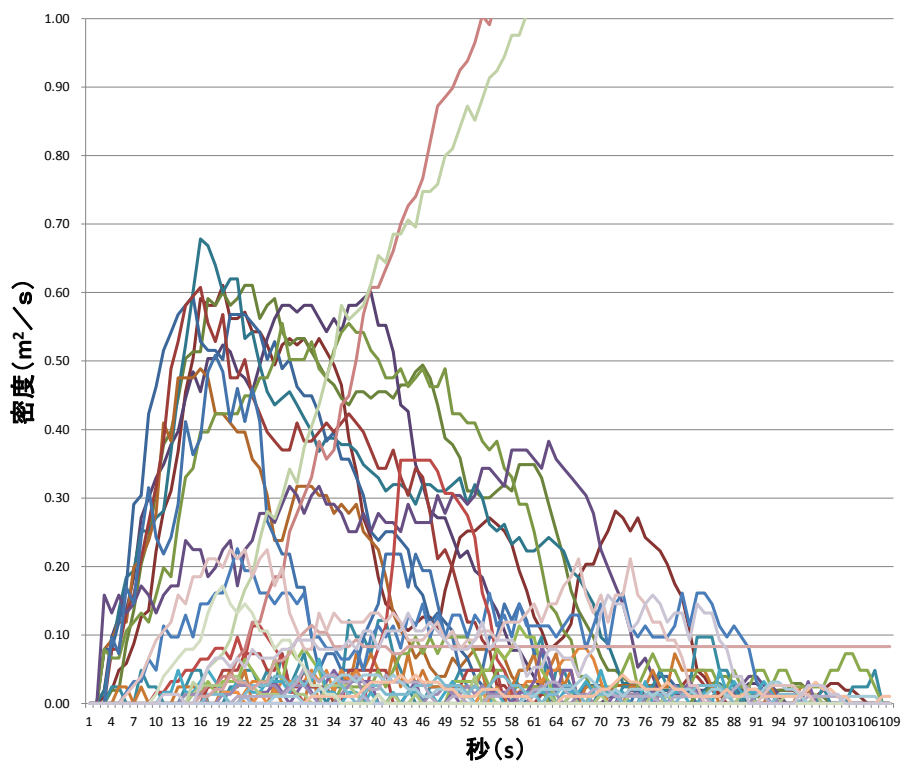


図 - 11 群衆密度の推移 (滞留率 1)

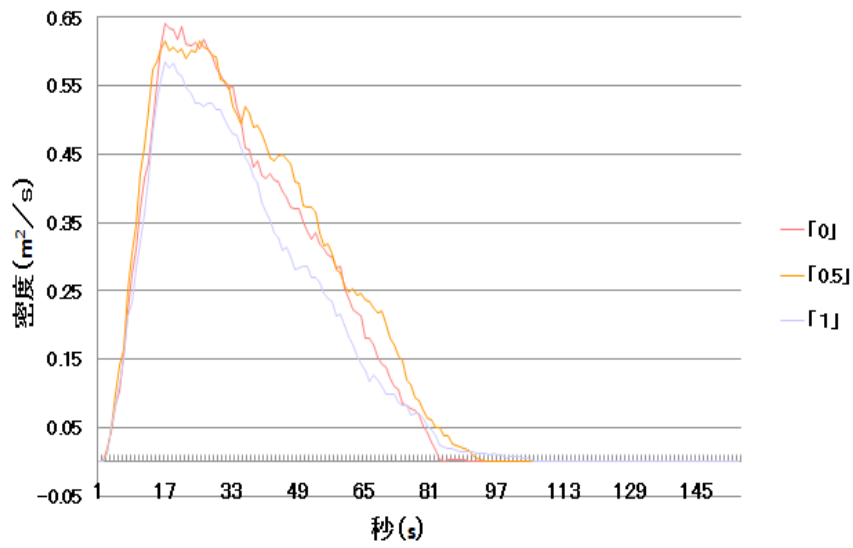


図 - 1 2 群集密度の推移 (1~4)

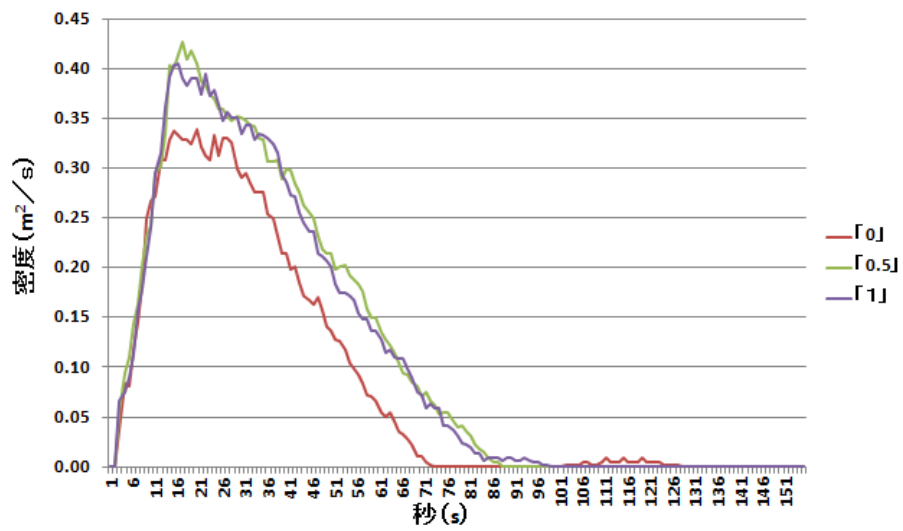


図 - 1 3 群集密度の推移
(5~9・37)

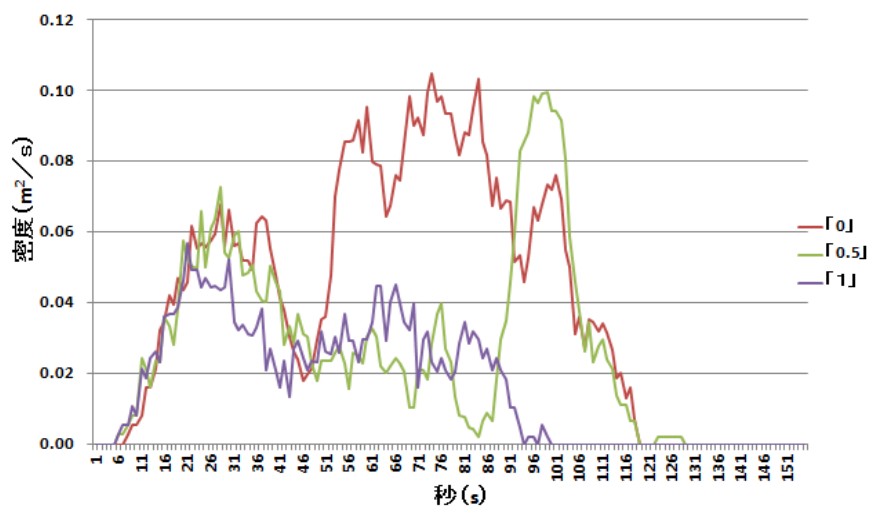


図 - 1 4 群集密度の推移
(17・18・21・22・26・27)

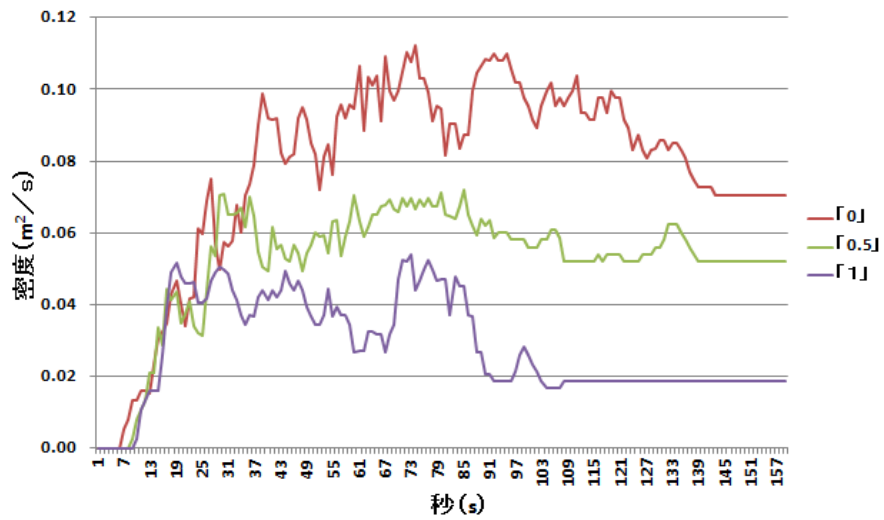


図 - 15 群集密度の推移
(23・24・29・30・34)

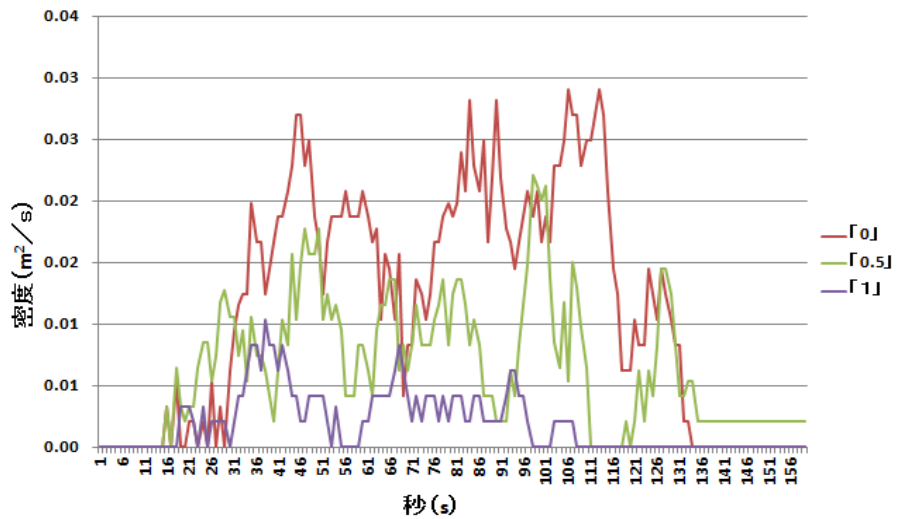


図 - 16 群集密度の推移
(31・35・36・38・39)

密度(m ² /s)	自由歩行速度の確保	追い越しの自由度	衝突の可能性
0.3未満	完全確保	自由	全くなし
0.3~0.45	ほとんどの場合に確保	一方向流なら自由	交差・対校流でわずかに生じる
0.45~0.7	ある程度制限が生じる場合がある	一方向流なら自由	交差・対校流の生じる場でかなりあ
0.7~1.1	大部分の歩行者が不可	ほとんど困難	かなりの確率で生じる
1.1~2.0	全ての人が不可	全く不可	極めて高い
2.0以上	極度の制約, 前進はすり足	全く不可	接触なしの移動は不可

図 - 17 混雑度

(2)考察

図-9の密度の最大は約 0.8m/s^2 となっている。このときの人の状態として、大部分の人が行動不可といった状態により非常に危険である。さらに人が発生点から発生しなくなるのは30秒となっているが約80秒経過しないと密度が 0.3m/s^2 とならなく、それまでは約0.4~0.5ほどの密度の地点が多いことが分かった。このときの人の状態として、一方通行ならなんとか行動できる程度であり、もし危険行動をとる人がいたなら非常に危険と言える。

図-10の密度の最大は図-9とほとんど同じの約 0.8m/s^2 となっている。このときの人の状態として、大部分の人が行動不可といった状態により非常に危険である。だが滞留者が増えるにつれ、密度が小さくなっていることが分かる。約70秒でほとんどの地点での密度は 0.3m/s^2 以下となり、図-9よりも安全であったと言える。

図-11の密度の最大は約 0.7m/s^2 であり、図-9・10と比べると低い値となっている。滞留者が増えるにつれ、密度が減少しており、約55秒でほとんどの地点での密度は 0.3m/s^2 以下となった。

図-12・13は、滞留率が変化してもほとんど変化が見られない。その要因として1~4, 5~9・37は滞留点が周辺にないからである。この場所は他の場所と異なり細くなっており、なおかつ路線からの人が多く押し寄せる。さらに他の場所よりも改札まで向かうパターンが多く人が入り組んでしまうと想定される。以上のことから、この場所は非常に危険になっている。

図-14・15、16より17・18・21・22・26・27, 23・24・29・30・34, 31・35・36・38・39の3つの場所は、図-11の滞留者が増加するにつれ、人が分散され $0.5>1$ の順で密度が大きくなっている。この場所は非常に広く滞留できる場所が多く存在している。さらに、滞留者により群衆密度が大きく変化する。以上のことから滞留する人を多くすることで群衆密度が小さくなり安全性が増すと言える。

以上のことから滞留率が大きければ大きいほど、全体的に密度が小さい値となり滞留者を増やすことで危険な場所が減少していくことが分かった。

[参考文献]

- 1) 山影進：人工社会構築指南 artisoc によるマルチエージェント・シミュレーション入門，書籍工房早山
- 2) 兼田敏之：artisoc で始める歩行者エージェントシミュレーション，書籍工房早山
- 3) JR東日本旅客鉄道株式会社ホームページ：
<http://www.jreast.co.jp/>
- 4) 東京都交通局：
<http://www.kotsu.metro.tokyo.jp/index.html>
- 5) ネットリサーチのマーシュ：
<http://www.marsh-research.co.jp/>