

# 地震時のターミナル駅における避難行動シミュレーション

計画マネジメント皆川研究室 清水俊幸

## 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。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。そこで、本研究では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では、マルチエージェントシステムを用いる。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。マルチエージェントシステムでは図-1に示すように、個々のエージェントは周囲のエージェントと協調するなど、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する。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、全体として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<sup>1)</sup>。

### (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。さらにその場の環境により意思決定を行い、行動する。

さらに図-1のように、エージェントは3つの特性を持っている<sup>1)</sup>。

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。

### (3) ASPF歩行行動ルールについて

ASPFモデルは空間上を歩行行動ルールを用いて歩行者の行動を表現する。

歩行者の位置と進行方向、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、歩行行動ルールと言う。ASPF歩行行動ルールには4パターン計21個のルールから構成される<sup>2)</sup>。

- 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(8個)する。
- 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。

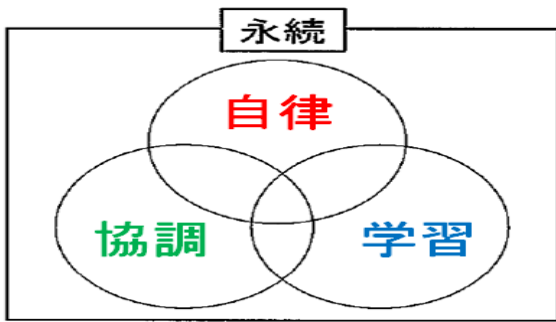


図 - 1 エージェントの特性

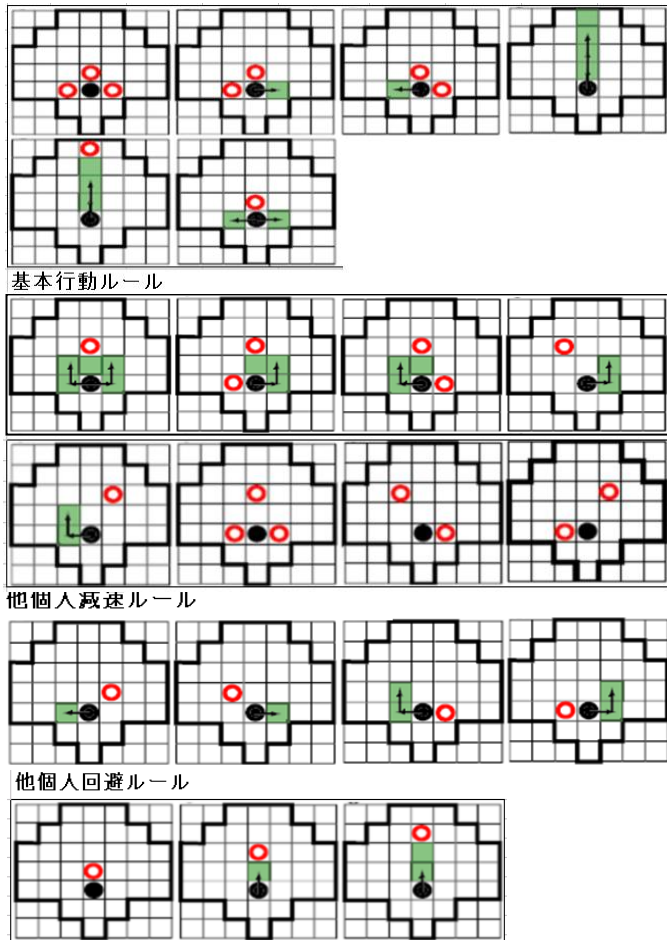


図 - 2 基本行動ルール

### 3. シミュレーション概要

#### (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、図 - 4<sup>3)</sup>に示す。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と判断した。

##### b) 人数

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のデータ<sup>4)</sup>によれば、最も人数が多いのは18時台であった。そこで本研究では、18時台を想定した人数である3万人を対象にシミュレーションを行った。

##### 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<sup>5)</sup>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<sup>5)</sup>

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。

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 - 3に表した。

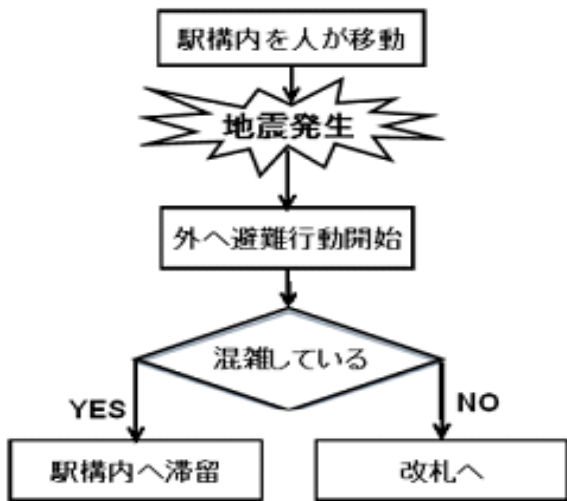


図 - 3 行動フロー

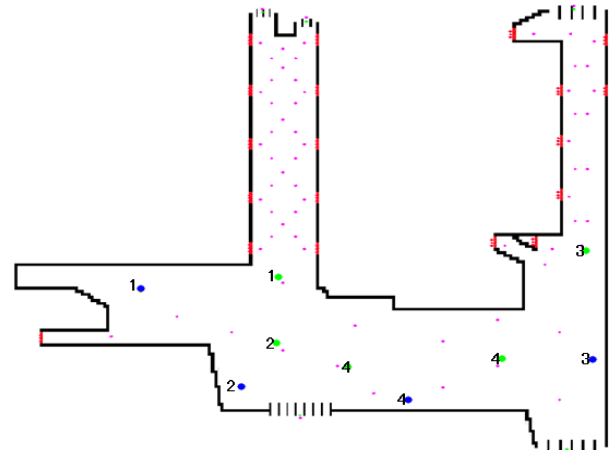


図 - 4 新宿駅構内図 (発生点, 経路点エージェント, 滞留点, 分岐点)

## (2) シミュレーション概要

### a) 歩行者エージェント

図 - 4 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. 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 - 4 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) 歩行経路と滞留

歩行者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 - 4 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.

また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 4 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 - 4 の緑色の点に分岐点であり, 計 5 つある. 分岐点に一定以上の密度の人がいた場合,

## 5. 結果と考察

### (1) 結果

本研究では駅構内を図 - 5 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. この結果の変化を調べるため, 39 ヶ所で測定を行った結果を 6 ヶ所に分け, 図 - 5 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.

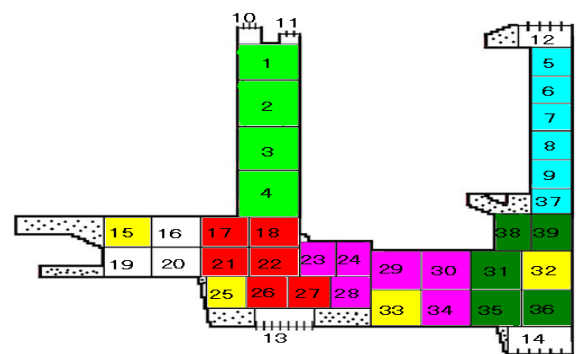


図 - 5 測定場所

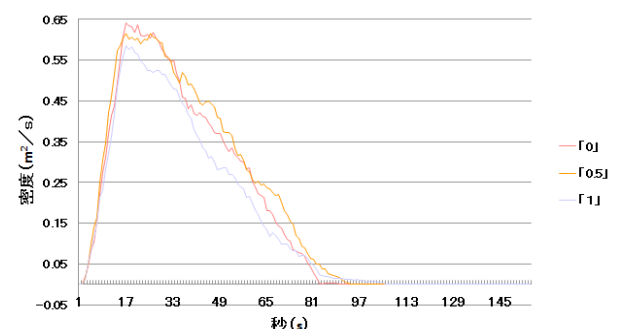


図 - 6 群集密度の推移 (1~4)

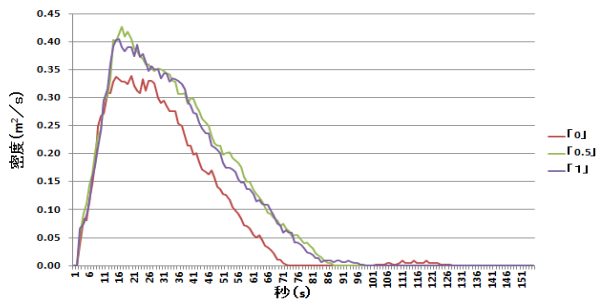


図 - 7 群集密度の推移 (5~9・37)

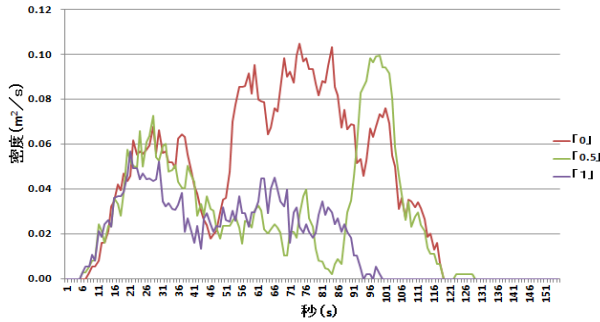


図 - 8 群集密度の推移 (17・18・21・22・26・27)

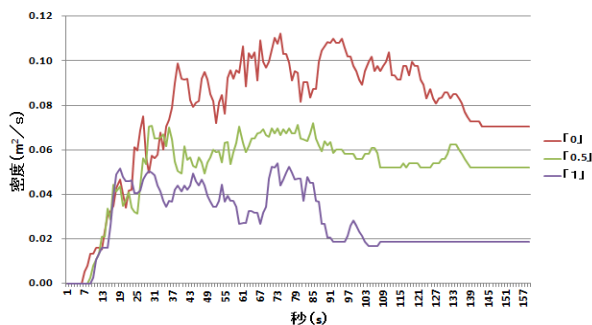


図 - 9 群集密度の推移 (23・24・29・30・34)

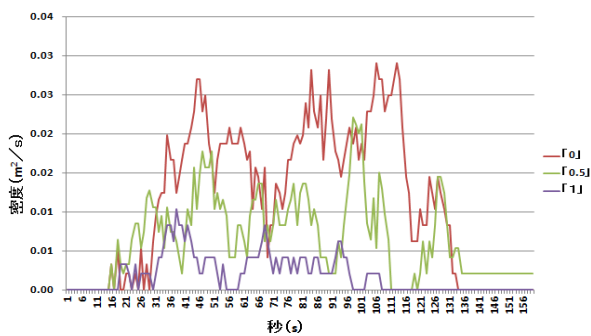


図 - 10 群集密度の推移 (31・35・36・38・39)

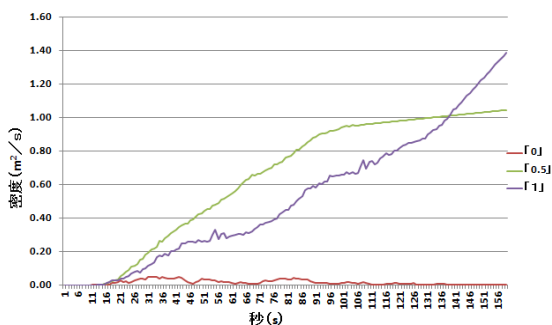


図 - 11 群集密度の推移 (15・25・32・33)

## (2) 考察

図 - 6, 図 - 7 より, 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 - 8, 図 - 9, 図 - 10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.

## 6. 結論

本シミュレーションで, 滞留率により群衆密度が平均的に少なかったのが0.8であり, それ以上の割合での滞留で大きく変化が起きなかった.

場所ごとの場合, 1~4, 5~9・37の場所は, 他の場所より細くなっている. さらに歩行者が多く発生することから非常に危険な場所である.

他の地点に関しては, 1~4, 5~9・37の場所と比べ, 広いスペースであるため, 滞留率を大きくするにつれて, 全体的に群衆密度が小さくなるという結果となった.

## [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/>