

災害直後の都市機能麻痺時における職場待機促進の 効果に関する検討

小林拓真¹

¹ 東京都市大学 工学部都市工学科 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1-28-1)
E-mail:g0818041@tcu.ac.jp

災害発生後に交通機関が利用不能になった首都圏では、人々が帰宅のための有力な情報や交通手段を求めて主要な駅へと向かう様子が確認されている。大勢の帰宅困難者が一挙に道路へ出てターミナル駅へと滞留するとなると、予想もしない混雑が広がり、事故へと繋がる可能性がある。本研究ではこうした帰宅困難者による混雑を抑制するため、マルチエージェントシステムを用いて職場での待機による混雑緩和に関する研究を行う。

Key Words : *disaster, victims unable to return home, multi agent, simulation, waiting in the workplace*

1. はじめに

(1) 研究背景

我が国は古来より台風や水害、そして巨大地震等さまざまな自然災害を被ってきた。それらに対し、科学技術の発達が生んだ災害予知・予測や国民がいち早く警戒することのできる速報等の防災策がとられてきた。世界的にも最先端の技術と謳われている現在の我が国の防災技術は、今後も一定の役割を果たしていくものと推測できる。しかし2011年3月に発生した東日本大震災を機に、ハードウェアとソフトウェアを結合した減災の必要性が再認識されているものの、災害に直面した人々が危機的場面で災害情報を入手した直後の行動に関しては把握されていない。

突然発生した災害に対応し、やるべきことを列挙しておくことは容易だが、いざという場面でそれができかどうかは別の問題である。そしてそれは個人ではなく、個人の集合体としての群集が災害に効果的に対応できるかということに結びつく。人々は周囲を見回し、事態の確認を試みることによって安定を回復しようとする。外にとび出す人は、我が身の位置の確認、外界の状況の確認のため等、心理的な動きが現れてし

まう。そして都市部において地震が発生すると、公共交通機関が麻痺する事態が想定され、ターミナル駅には情報や帰宅の足を求めて多くの人が集まる。ターミナルに集まる不特定多数の人間は、その不特定性故予想もしないような二次災害へと繋がること多くの事例で明らかとなっている。東日本大震災の時では首都圏にて500万人以上の人々が帰宅困難者となり、あらゆる場所において危険と隣りあわせとなったのも事実である。災害時の人の流れの集中と拡散は、物の集中拡散とは似て非なる全く異質な問題なのである。

本研究で用いるマルチエージェント・シミュレーション(以下、MASとする)手法とは、エージェントと呼ばれる”状況を認識し自身の持つパラメータに基づいて自律的に行動する代行者”を複数用いてコンピュータ上に現実世界に近い環境を構築し、エージェントたちの行動、相互作用、環境の変化などを分析することによって現実では難しい研究をコンピュータ上で行う手法である¹⁾。

北見工業大学大学院見工業大学大学院の「広域交通流動に対する津波の被害リスクに関する研究」では、道路ネットワークや各防災施設をシミュレーションに反映させ、道路標示版やパトロール車による被害リス

クの軽減を明らかにしている²⁾。

以上より、災害時の防災策としてハード面での対策だけではなく、住民避難を第一に考慮するソフト面での対策を提示・強化する必要性が高まっていることを踏まえ、本研究ではマルチエージェントを災害時の避難シミュレーションに用いることでソフト面での防災性の強化を考えることとした。

(2) 研究目的

災害直後、首都圏にて交通機関が全面的にストップし、帰宅困難者が多く発生する状況を想定する。情報及び交通手段を求めて人々はターミナル駅へ向かって歩き出し、時間経過と共に帰宅困難者は増加・滞留していく。そこで本研究では職場待機を混雑抑制の解決策として挙げ、MASにより表現する。我が国では災害時の帰宅困難者による混雑抑制の対策として職場待機が謳われているが、実際の状況として見られたのは帰宅のために職場を出た人々で溢れ返った道路である。都内の道路では1平方メートル当たり6人以上という満員電車並みの混雑となり、転倒事故や火災などに巻き込まれる恐れがあるほか、救助・救急や緊急輸送活動の妨げになるのは明らかである。この様な被災者・帰宅困難者の滞留問題を考えると、災害時における人々の混雑抑制に関する検討は重要であることがわかる。本研究では図1に示すように、マップ上に帰宅困難者となるエージェントを複数配置し、それらのターミナル駅を目指す移動あるいは企業ごとの職場待機を考える。災害時にそれぞれの企業が職場待機を徹底できれば混雑は抑制できるものと考えられているのだが、帰宅のため職場を離れる個人の意思が強く、その結果人々の滞留が露呈することが多い。これらの諸問題を改善すべく、MASを用いることで行動中のエージェントの動きや時系列で見たシミュレーションの状態、滞留人数等を視覚的に捉えて観察することから、職場待機による混雑緩和に関する検討を行うことを目的とする。

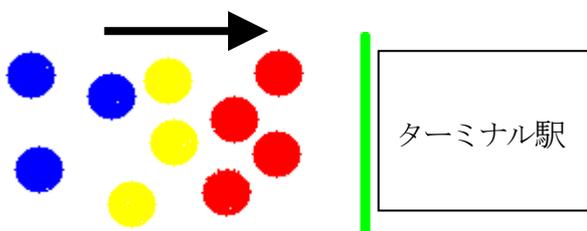


図-1 避難マップと被災者エージェント

2. MASモデルの概要

(1) エージェントとは

ここでエージェントとは、図2に示すように周りの環境から、または自身の意思決定によって行動し、周

囲の影響を与えられるものをいう。更に影響を受けたその環境と相互作用を行って知覚し、再び意思決定による行動をとるといった動作を、半永久的に繰り返すものをいう。

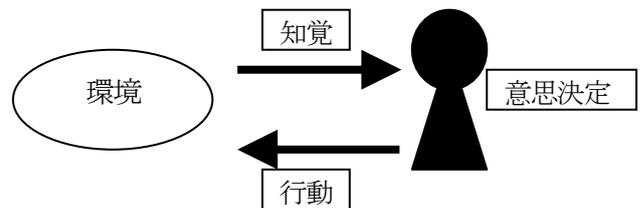


図-2 エージェントの意思決定方法

(2) エージェントモデルの構成

エージェントルールとは、空間上に配置された各エージェントを動かす為に必要な定義のことを指す。MASモデルは「全体」－「空間」－「エージェント種」で構成され、「全体」にあたるものをUniverseと表記し、これに従うように「空間」や「エージェント種」を順次作成していく。前述の環境にあたるものが「空間」であり、エージェントはそれぞれ「空間」で定められたルールに依存する。また、「エージェント種」は複数のエージェントでも同じタイプならば単一のエージェント種としてまとめて、同じルールを指定することができるというものである。また、artisoocでの座標系は通常の数学での用法と同じになっている。左下が原点(0, 0)で、右上方に進むほど、X座標もY座標も大きくなる。角度に関しては基準点から右水平方向を0度とし、左回り(反時計回り)に角度が増えていく。よって真上が90度である。

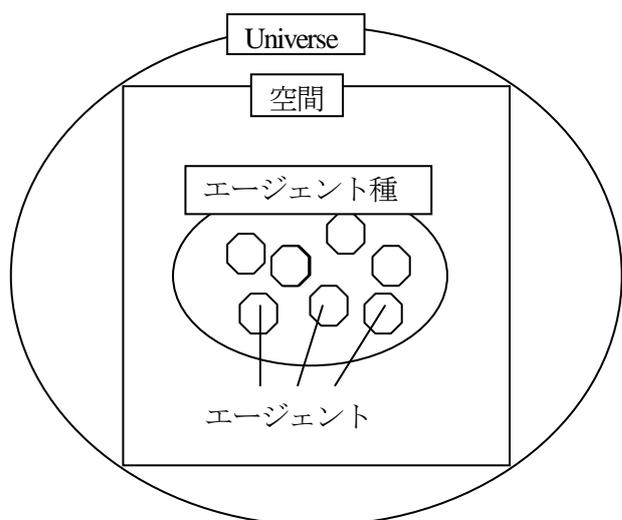


図-3 MASモデルの構成図

(3) ルール表現の例

ここで1つシミュレーションモデルに関して歩行者エージェントの回避行動モデル³⁾を例に挙げる。画面上から青色のエージェントが発生し、画面下から赤色のエージェントが発生するというものである。それぞれ直進し、ぶつかりそうになると互いに回避行動をして進む。「全体」、「空間」、「エージェント種」には各々にルール・エディタと呼ばれる設定画面があり、ここに必要なルールを書き込んでいくことでモデルが機能する。更に、各ルールに用いる変数等も「全体」あるいは「空間」や「エージェント種」の下に作成もしくはルール内に定義させる。MASを動かす際に用いる記号や細かなルールは5章のシミュレーションにて記載する。この移動モデル例では「エージェント種」のルール・エディタにのみ必要なルールを書き込むことで動き出す。記載するルールの内容は以下の通り。

- ・半径1セル以内にいる他者を探す
- ・前方に他者がいない場合、直進する
- ・前方に他者がいる場合、両側が空いているなら左側もしくは右側に移動する
- ・右側が空いているなら左側に移動する
- ・左側が空いているなら右側に移動する

これらは全てエージェントが毎ステップ実行するものなので、ルール・エディタ内の毎ステップを意味する項目の後にルールを書き込む形となる。ステップとは現実で言う時間、セルは距離を意味する。図-4にエージェントモデルの作成画面、図-5に実行画面の例を載せる。

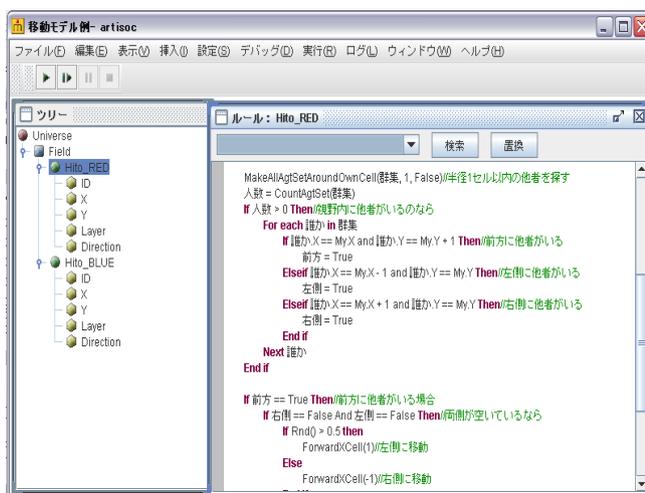


図-4 移動モデル例ルール作成画面

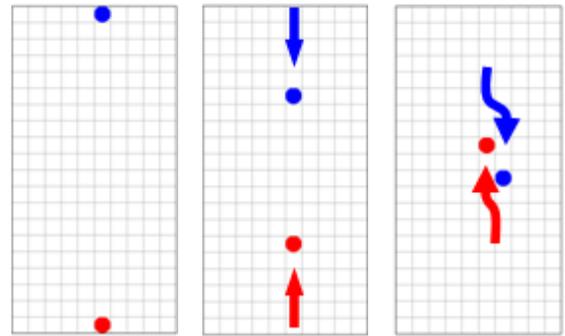


図-5 移動モデル例実行画面

3. 状況の想定と基礎データの作成

(1) 対象とする問題

前述のように、大震災の発災直後は人々が帰宅や状況把握のために主要な駅へと滞留していく様子が確認されている。その際の需要に相反し、鉄道・バス等の交通網は全面的に麻痺し、情報を得るための方法も極端に少なくなる。災害時にそれぞれの企業が職場待機を徹底できれば混雑は抑制できるものと考えられているのだが、帰宅のため職場を離れる個人の意思が強く、その結果人々の滞留や物資不足の避難所が露呈している。そこで、いくつもの路線の終点を担い、広場が比較的大きく人口も多い首都圏有数のターミナル駅である渋谷駅を題材に、災害時直後の職場待機を推し進めることを目的に設定することでその効果を検討する。

(2) データ収集

a) パーソントリップデータの分析

本研究にて定めたエリアは図-6で示した範囲であり、本モデル作成にあたって災害直後に渋谷駅周辺で滞留すると想定される人数を定める。

ある地域に常住する人口にその地域へ通勤または通学として流入する人口を加え、更にその地域から通勤または通学として流出する人口を差し引いたものを昼間人口といい、渋谷駅での値を調べた結果、平成17年のものが最新であった。より正確な数値を用いるため、パーソントリップデータにて最も人の多い時間帯の人口を昼間人口の代わりとして採用することとした。

渋谷区のパーソントリップデータは4つのゾーンに分かれており、ゾーンコード別に示すと、千駄ヶ谷・代々木・代々木神園町の0240ゾーン、渋谷・道玄坂・桜丘町の0241ゾーン、恵比寿・広尾・東の0242ゾーン、松濤・笹塚・本町の0243ゾーンである。本研究で定めたエリアを考慮すると、指定範囲をほぼ満足している0241ゾーンが最も適していると判断した。よって、今回作成するエージェントモデルでは、この0241ゾーンの

範囲で行うこととする。

まずどの時間帯で一番人口が多いのかを把握するため、時間別発生集中量を図-7に示した。縦軸にトリップ数、横軸に3時台、4時台という単位を用いた1時間毎の発生集中量を表す。発生集中量とは発生量（あるゾーンを起点とするトリップの合計量）と集中量（あるゾーンへ終点するトリップの合計量）の総和である。トリップ数とは、人が目的を持って起点から終点へ移動する場合に、その一方向の移動を表す概念であり、同時にその移動を定量的に表現する際の単位である。すなわち、パーソントリップは空間的な人の移動を表す概念であり、またその計測単位である。この図を見ればわかるように、18時台でのトリップ数が最大であるので、モデルに反映させる帰宅困難者人数は18時台での数値83942を用いることとする。

また、0241ゾーンの目的種類別発生集中量を表-1に示す。0241ゾーンの交通手段別発生集中量を表-2に示す。これらは渋谷周辺にて人々が利用する交通手段や目的をそれぞれ分けて表しているものである。

表-1の数値はいずれも自宅-勤務、自宅-通学、自宅-業務、自宅-私事、帰宅、勤務・業務、私事、不明の合計値である。自宅-勤務は自宅から勤務先へ移動するものを指し、自宅-通学は自宅から通学先へ移動するものを指す。業務は販売、配達、会議、作業等を表す。私事は買い物、食事、レクリエーション等、生活関連の目的を表す。表-2の数値は表-1で挙げられた各トリップの際に利用する交通手段の合計値である。

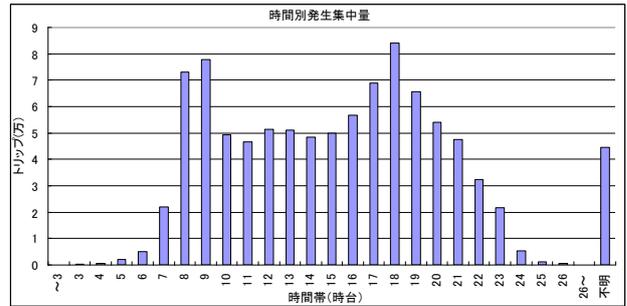


図-7 時間別発生集中量

表-1 目的種類別発生集中量 (トリップ数)

自宅-勤務	496
自宅-通学	153
自宅-業務	611
自宅-私事	3526
帰宅	36037
勤務・業務	6956
私事	35167
不明	996
計	83942



図-6 渋谷モデル対象エリア

表-2 交通手段別発生集中量 (トリップ数)

鉄道・地下鉄	60039
路線バス・都電	3694
自動車	4478
2輪車	684
自転車	1727
徒歩	13009
その他	85
不明	226
計	83942

b) 距離の計算と歩行速度の換算

まず、適用するマップにあたるエリアの実際の距離を計算により求める。対象となるエリアの寸法とモデルに組み込んだマップの比を算出し、歩行者エージェントが実際の人の歩行速度に近い速度を持つように設定する。距離の分かる渋谷駅周辺地図を開き、定められた寸法を考慮して実際の距離を計算すると横の長さは2678.6m、縦の長さは2160.2mとなる。次にMASに組み込んだマップのサイズを見ると縦が482ピクセル、横が689ピクセルであるので、実際の距離との比を計算すると3.89m/ピクセルとなる。

ところで、人の歩行速度を時速4kmとした場合、秒速に換算して単位変換した値は1.11m/secである。3.89m/ピクセルとの比を計算すると0.29ピクセル/secとなり、これを本研究での基本速度とする。この値に関しては、後述する混雑度にて改めて触れる。

4. 歩行行動のモデル化

(1) 発生

a) 歩行者エージェント

パーソントリップで指定された範囲のほぼ全てのブロックに歩行者エージェント（モデルではhitoと表記する）の発生点（モデルではhasseitemと表記する）を設ける。その際、モデルに組み込んだマップからでは座標を認知することはできないため、空間の初期値設定にて発生点となる部分を1つずつを調べ、座標を決定していく。座標はそれぞれ後述のWayPoint設定で用いるためのIDを持つ。

b) 待機エージェント

職場待機を表現するために用いるエージェント種。待機エージェント（モデルではtaikiと表記する）は歩行者エージェントと全く同じ発生点を持ち、マップ上に発生直後、道路には一切進出せず速度0を維持する。こちらも歩行者エージェントと同様に、モデルに組み込んだマップからでは座標を認知することはできないため空間の初期値設定にて発生点となる部分を1つずつを調べて座標を決定していく。次頁の図-9に渋谷のマップと発生点を示す。

(2) WayPoint

ウェイポイントと称し（以下WPと記述する）、発生点と渋谷駅を結ぶ全ての道に複数配置する中継点である。背景画像として対象マップを組み込んでも、自動で道という概念を認識することはないので、モデルを作成する際にはWPを複数配置していく必要がある。従ってシミュレーションにおける人の移動を設定する上では重要な役割を担うもので、歩行者エージェントは

指定された順序に次々とWPを目指すように設定する。

基本的な動作として例を挙げる。図-8ではまず最初にWP1を目指してエージェント進み、WP1に到着するとエージェント自身が進路の角度を変更し、WP2を目指し始める。その後は同様にWP2からWP3へ進んで行く。WayPointも歩行者エージェントや待機エージェントの発生点と同様に、空間の初期値設定にて対象となる地点を1つずつを調べ、座標を決定していく。次頁の図-10に渋谷のマップとWayPointを示す。

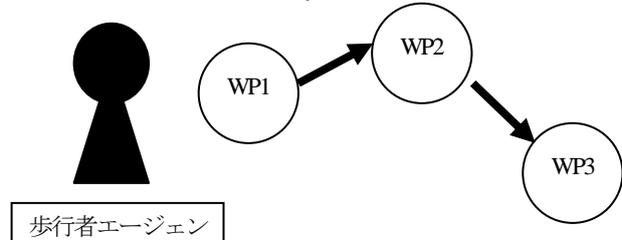


図-8 WayPointの動作例

(3) 歩行経路

エージェントモデル開始時、歩行者エージェントは渋谷駅を目指して動き出す。歩行者エージェントの基本的な行動の規則として、より広い幅員を持つ道路への進出を優先的にすること、渋谷駅への距離が最も短い道を選択することを定義する。発生点から出現した歩行者エージェントは、後述するWayPoint設定にて定められた経路に沿って渋谷駅へ向かう。それぞれの経路の決定は、歩行者エージェントのルール・エディタに、発生したエージェントが持つ番号により行動を分けるためのルールを書き込むことで反映される。

(4) 歩行速度

a) 混雑度

前述したように、本モデルでの歩行者の基本速度は0.29ピクセル/secである。帰宅困難者が道路上に溢れた状況を想定するにあたり、混雑が発生していくに従って歩行速度を減少させるという条件をこれに加える。渋谷駅へ向かう道で、歩行者エージェントによる混雑が発生した場合、その度合いを混雑度と称し、次頁の表-3で定められた歩行速度に随時変化させるよう設定する。

b) 歩行者エージェントの色

歩行速度に従って歩行者エージェント自身の色も変え、より多くの情報を把握することができるよう組み合わせる。変化させる色は混雑度の高い順に、黒色、赤色、黄色、緑色、青色、水色である。

(5) 滞留

渋谷駅に到着したら歩行者エージェントの速度を0にし、徐々に滞留させていく。ここまでの行動フローチャートを次頁の図-11に示す。



図-9 歩行エージェント発生点



図-10 WayPoint

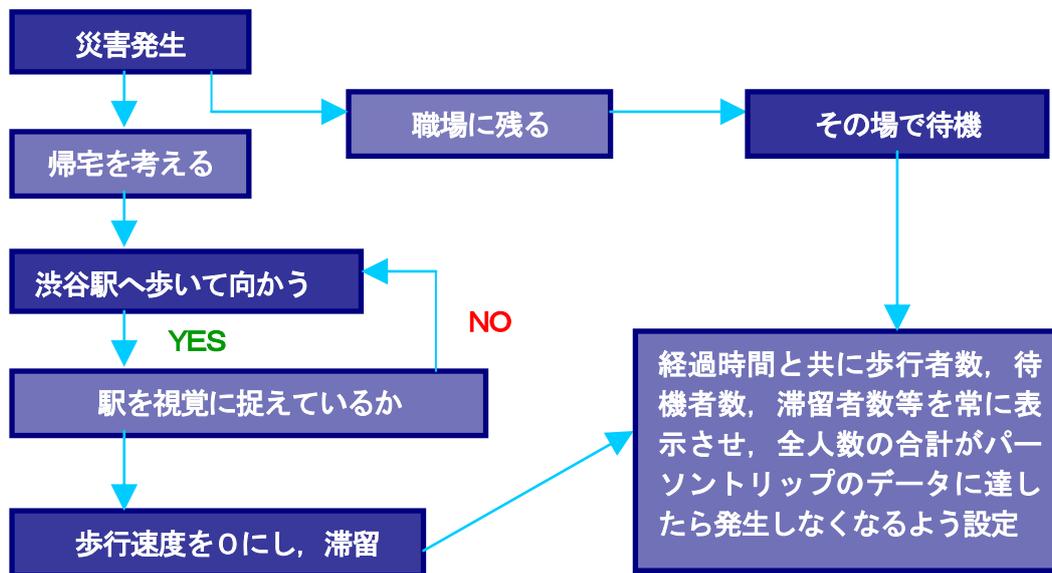


図-11 行動フローチャート

表-3 混雑度

混雑度 ランク	混雑状況 [()内は混雑度(人/m ²)]	混雑度(人/m ²)	歩行速度(km/h)
A	群集なだれが引き起こされる(7.2)	~6	~0.4
	ラッシュアワーの満員電車の状態(6.0-6.5)		
	ラッシュアワーの駅の改札口付近(6.0-6.5)		
B	ラッシュアワーの駅の階段周辺(5.5-6.0)	5~6	0.4~1
	危険性を伴う圧力等が大きくなり始める(5.4)		
C	駅の連絡路のラッシュ時で極めて混雑(4.5-5.0)	4~5	1~2
	エレベータ内の満員状態(4.0-4.5)		
D	劇場での満員状態(3.5-4.0)	3~4	2~3
	ラッシュ時のオフィス街路(2.5-3.0)		
E	街路等で普通の歩行ができる(1.5-2.0)	2~3	3~4
F	街路で前の人を追い越せる状態(1.0-1.5)	1~2	4
	街路で普通に混みずに歩ける(0.5-1.0)		

5. シミュレーション

前述した通り、MASでは「全体」、「空間」、「エージェント種」にの各々にルール・エディタと呼ばれる設定画面があり、ここに必要なルールを書き込んでいくことでモデルが機能する。指定された項目の記号の後に、それぞれ使用する行動のルールを記載していく。

- Univ_Init ⇒最初に一度実行.
- Univ_Step_Begin ⇒毎ステップの最初に実行.
- Univ_Step_End ⇒毎ステップの最後に実行.
- Univ_Finish ⇒最後に一度実行.
- Agt_Init ⇒最初にエージェントが一度実行.
- Agt_Step ⇒毎ステップエージェントが実行.

(1) 歩行エージェントの行動ルール

WayPoint設定で定めた行動を反映させるためのルールと、混雑時の色の設定等をルール・エディタに書き込む。ルール内の番号（モデルではbangouと表記する）は発生点のルール内で定められたものであり、後述するWayPoint設定にて改めて触れる。歩行エージェントの基本行動は以下の通り。

a) 各ブロックから発生する

発生点の座標に番号をそれぞれ設定し、その番号毎に行動を決定させていく。詳細はエージェント発生に関するルールにて定義する。

b) 指定された道路へ進出する

まずは各ブロックの発生点より道に出ることから行動が始まる。詳細はWayPoint設定にて定義する。

c) 指定された経路に沿って進む

道に出た歩行者エージェントは、その後指定された経路に沿って渋谷駅を目指していく。詳細はWayPoint設定にて定義する。

d) 渋谷駅に到着した後の行動

避難所へ向かうルールを適用させる場合、flagを用いる。flagとはルール上で特定の条件を満たした場合に行動ルールを変化させる際に用いるルールである。歩行者エージェントが発生後に移動して駅を視野に捉えたらflag1をtrueにし、滞留させる。その後、指定した視野の範囲に一定の人数以上でflag2をtrueにする。flag2がtrueになったら歩行者エージェントは消滅し、代わりに避難エージェントを発生させる。避難エージェントは駅を出発点とし、避難所へ向かう。避難が完了すると消滅する。

避難所へ向かうルールを適用させない場合、上記のflagルールは全て削除し、歩行者エージェントが指定した視野の範囲に駅を捉えた場合、歩行者エージェントを削除し、入れ替わるように滞留者エージェントをその場で発生させる。滞留者エージェントは発生後、速度0を維持する。

e) 混雑度に関するルール

混雑度によりエージェントの色を変えるルールについて記述する。前述した計算より、本モデルでの人の時速4kmに対応する基本速度は0.29ピクセル/secとなるので混雑度（人/m²）が2以下の場合の速度は0.29ピクセル/secとする。同様に、歩行速度が時速3kmに対応するモデルでの速度は0.2175ピクセル/secとなる。歩行速度が時速2kmに対応するモデルでの速度は0.145ピクセル/secとなる。歩行速度が1kmに対応するモデルでの速度は0.0725ピクセル/secとなる。歩行速度が0.4kmに対応するモデルでの速度は0.029ピクセル/secとなる。変化させる色は前述の通り、混雑度の高い順に、黒色、赤色、黄色、緑色、青色、水色である。更に、これに加えて渋谷駅に到着して滞留者エージェントとなった際には紫色に変化させる。

(2) 待機エージェントの行動ルール

WayPoint設定で定めた行動を反映させるためのルールと、発生直後から速度0を維持する設定等をルール・エディタに書き込む。ルール内の番号は歩行エージェントと同様に発生点のルール内で定められたものであり、後述するWayPoint設定にて改めて触れる。

(3) エージェント発生に関するルール

発生点の座標で定義された番号に従ってルールをそれぞれ設定していき、空間上に表示させるよう書き込む。また、歩行者エージェント、待機エージェント、滞留者エージェントの合計がパーソントリップデータでの数値83,942に達すると、歩行エージェント及び待機エージェントが一切発生しなくなるよう設定する。尚、ここで指定した番号が歩行者エージェントや待機エージェントの行動ルールに反映される。

(4) 発生率と待機率

a) 発生率

歩行者エージェントの発生率（モデルではhasseirituと表記する）は実数型の変数で設定する。コントロールパネルのスライドバーによって発生率を0から1に随時変更可能にする。発生率が1だと毎ステップに必ず各発生点からエージェントが生まれることを意味し、発生率が0だと全く発生しない。

b) 待機率

待機エージェントの待機率（モデルではtaikirituと表記する）は実数型の変数で設定する。コントロールパネルのスライドバーによって待機率を0から1に随時変更可能にする。発生率と同様に、待機率が1だと毎ステップに必ず各発生点からエージェントが生まれることを意味し、待機率が0だと全く発生しない。

本研究のシミュレーションでは、上記のスライドバーによる発生率と待機率の合計が必ず1になるように調整して実行するものとする。

(5) WayPoint設定

歩行者エージェントが移動するためのWPを、辿る順序ごとに設定する作業がWP設定（モデルではwpsetteiと表記する）であり、変数として扱う。変数はデータを入れる箱のようなものだが、原則として1つの変数には1つのデータしか入らない。新規作成時の変数は0次元になっており、データを1つ格納することになる。しかしそれでは本研究のWayPointのような同じ種類のたくさんのデータを扱う際に不便である。そこで、プロパティの次元数を増やすことで格納できるデータの数を増やす。本モデルで示されているDim1とDim2は次元数を表し、配列数は使用するWP設定の最大値である12とする。一番右の欄はWayPointであり、全てのルートで渋谷駅を表すID9を最終地点に設定する。番号が0だった場合、WayPoint設定の行動ルール(0,0)に従うように、番号が1だった場合、WayPoint設定の行動ルール(0,0)に従うようにプログラムする。

(6) 結果と考察

a) 結果

発生率を10,0.7,0.5及び待機率を0, 0.3, 0.5と変化させた時の渋谷駅の滞留者の時刻歴を図-12に示す。図-13は図-12の一部を拡大したもので、シミュレーション開始直後から経過時間300秒までを横軸にとって表している。また、縦軸に滞留者数、横軸に待機率をとり、シミュレーション開始から3分、5分、7分、9分経過した時の待機率別滞留者数のグラフを図-14に示す。更に、シミュレーション終了時の最終的な滞留者数を待機率別に表したものを表-4に示す。

次に、渋谷駅と他2箇所の合流地点を図-15のように定め、シミュレーション開始から60秒間における群集密度の時刻歴を待機率別に示した。図-16が待機率0の群集密度、図-17が待機率0.3の群集密度、図-18が待機率0.5の群集密度であり、横軸に時間、縦軸に密度をとっている。

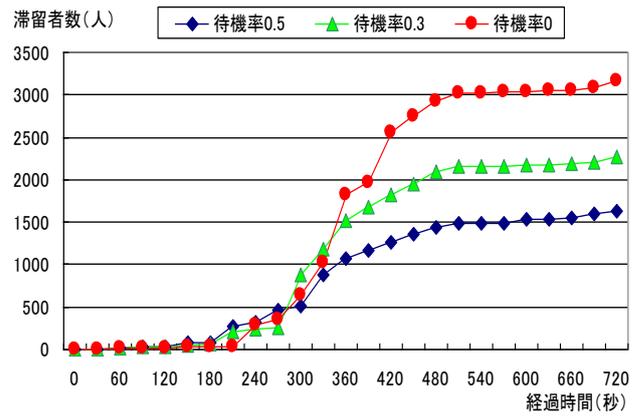


図-12 滞留者の時刻歴

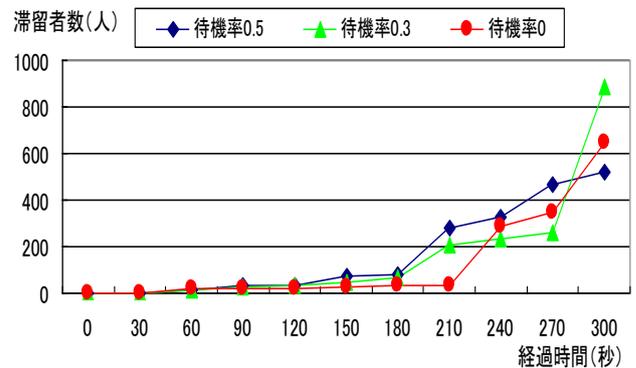


図-13 滞留者の時刻歴(300秒までの拡大図)

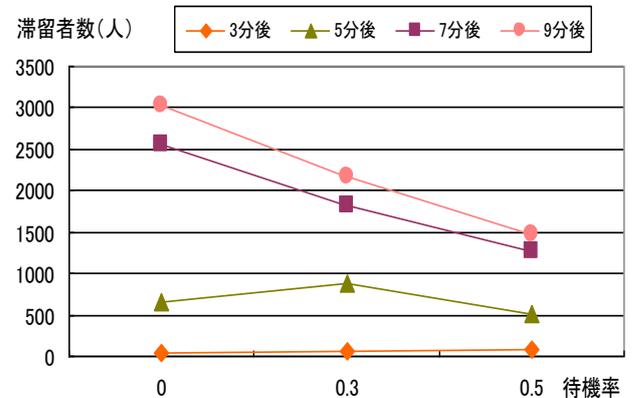


図-14 待機率別滞留者数

表-4 待機率別最終滞留者数

待機率	0	0.3	0.5
最終滞留者数	83979	58938	41996

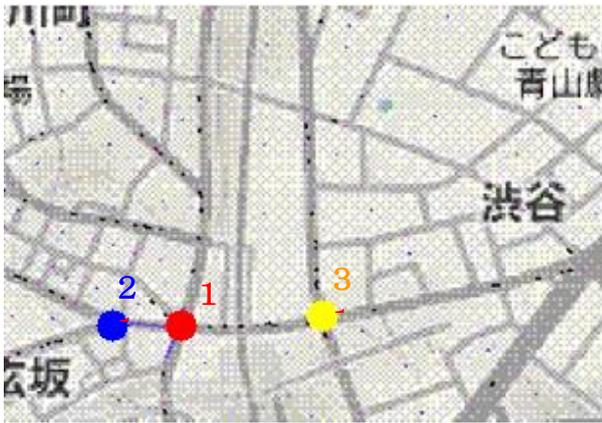


図-15 領域の指定

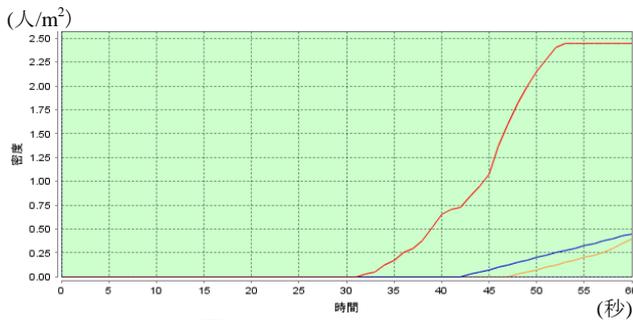


図-16 待機率0の群集密度

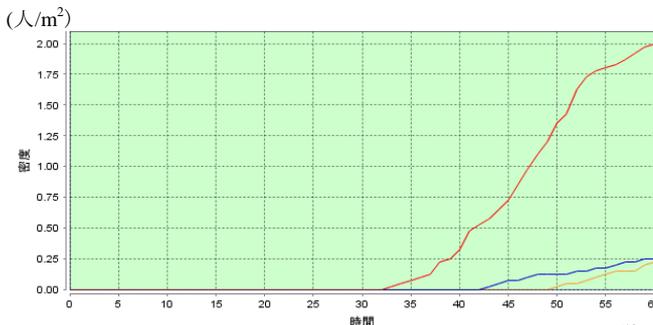


図-17 待機率0.3の群集密度

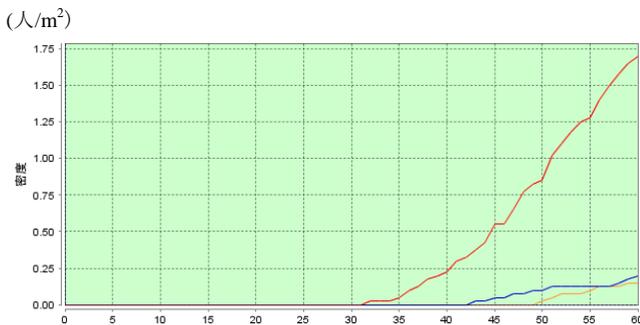


図-18 待機率0.5の群集密度

b) 考察

図-12を見ると、シミュレーション開始直後から300秒経過するまでの間、滞留者数の増加率は細かく変化していることが判る。この部分を拡大した図-13を見ると、どの待機率の場合も凡そ120秒を過ぎた

頃に滞留者数が増加し始め、150秒からその増え方に違いが表れている。270秒経過するまで、待機率が最も高いパターンでの滞留者数が多く、待機率0のパターンがそれに順ずる形となった。300秒経過時点では待機率0.3の滞留者数が最も多くなり、360秒経過以降では待機率0のパターンでの滞留者数が最も多く、図-12のグラフ後半のような全体的に安定したものとなった。待機率を横軸にした図-14を見ても、5分後、即ち300秒のところ待機率0.3の滞留者数が最も多くなり、7分以降はほぼ同じ傾きを持つグラフとなった。これらの変化は待機率と混雑が関係していると考えられる。シミュレーション開始直後、待機率が高ければ道路に進出する歩行エージェントの人数が少ないために道路上の混雑が軽減し、渋谷駅への到着が比較的早く完了するが、待機率が低い場合には歩行者エージェントの道路への進出が多いために混雑による滞留が発生し、その結果渋谷駅に到着するまでに要する時間が増した。そのため駅の滞留者数の増え方に影響を及ぼしたのだろう。シミュレーション開始後7分以降では待機率が高い場合でも待機しない場合と同等の混雑が徐々に発生し始め、グラフの勾配を見れば判るようなどの待機率でも同じように増加していく結果となった。シミュレーションを最後まで行った場合の滞留者数は、表-4を見ると待機率0が83,979と最も多く、待機率41,996と最も少ない結果となった。この数値と先述したパーソントリップデータの数値83,942を比較すると歩行者数の設定よりも若干上回る形となっているが、これは各発生地点から平等に歩行者エージェントが発生しているために起きた現象だと推測される。滞留者の人数を見れば、職場待機の有効性は高いという結果となった。また、発生率が1の場合、1ステップに1人ずつ各発生点から歩行エージェント及び待機エージェントが生まれるのだが、これは例えば比較的多い収容人数を抱える建物と比較的少ない収容人数を抱える建物との区別をつけていない。即ちどの建物からも平等にエージェントが発生し、パーソントリップデータに達した瞬間ほぼ同時に発生しなくなることを意味する。道路の混雑や歩行速度の減少を考慮するならば、この発生に関するルール作りも必須となるので、今後の課題として挙げられる点である。更に、発生率と待機率に関して、今回のシミュレーションではいずれのパターンも実行中は変化させず、率を固定させていた。実際の帰宅困難者の行動を考えれば、時間の経過と共に発生率や待機率が変化することも想定される。結果の出力量が膨大となるため今回の研究では控えたが、より現実的なものとするためには必要となる操作であるだろう。

シミュレーションの対象人数に関して触れる。今回のシミュレーションモデルではパーソントリップデータを元にした、より正確な数値を求めるために0241ゾーンにてモデル作成を行ったが、渋谷駅に向かうであろう帰宅困難者の人数に関して、他のゾーンの人々の行動も考慮すれば、現実に災害が起きた

後の状況としてより現実に近い結果を得ることができる。

次に領域別の群集密度に関して考察する。図-16、図-17、図-18を見ると、定めた領域ではどの地点でもシミュレーション開始後30秒で歩行者エージェントが計測され始め、領域1である渋谷駅の滞留者の増加率が最も高い結果となった。60秒経過時では、待機率0の群集密度が2.5(人/m²)、待機率0.3の群集密度が2.0(人/m²)、待機率0.5の群集密度が1.75(人/m²)となった。待機率が高い場合には群集密度が緩和されることが明らかとなり、これは帰宅困難者による混雑を軽減させることができると判断して良いだろう。但し、今回のシミュレーションでは経路点によって歩行者の行動に一貫性を生み出してしまっているため、歩行と滞留に関する行動ルールを加えてより正確な密度を求める必要があることを課題として挙げる。尚、渋谷駅付近を指定した領域1でのみ、歩行者の数ではなく滞留者の数で密度を計算している。この際、滞留者エージェントは速度0を保ち、次々と集まる歩行者エージェントも滞留者の数に応じて速度0を維持するようプログラムしているので、一定の時間が過ぎれば領域1の範囲内での人の移動が皆無となる。よって群集密度に変化が起きなくなってしまう。領域2と領域3では歩行者の数で密度を計算しているが、こちらは渋谷駅へと続く通過点であるため、ここまで滞留が及ばない限りは群集密度は変化し続けることがわかった。いずれにしても、WayPointから次のWayPointまでは同一線上を動いてしまうために、歩行者エージェントや滞留者エージェントが一列になってしまうのは問題だった。本研究におけるエージェントモデルは範囲が広域のため用いなかったが、改善するためにはASPF歩行行動モデルのような移動中の行動ルールを定める必要がある。

最後に、今回のエージェントモデルで用いた混雑度について触れる。災害直後、ターミナル駅へと向かう道路上で滞留が発生させると仮定した場合には混雑度の反映は有効だが、滞留は渋谷駅でのみ発生するという条件とした場合では、混雑度の反映は必要ないと考えられる。今後の課題として、WPの混雑度をルールに書き入れ、どの道で滞留が発生するかをシミュレーション実行中に把握できるようにすれば、より有用な活用ができるだろう。

6. おわりに

都市における災害では、高密化した現代都市の構造が抱えるあらゆる危険性を知ることになる。都市災害は災害に対する組織対応の問題点を明らかにし、人間行動や集団活動の弱点を浮き彫りにする。今回研究の焦点として取り上げた帰宅困難者による混雑抑制は、まさに都市災害対策として重要な位置づけとなっている。593の企業に対して東京都庁が実施したアンケートによれば、3.11の発生時、帰宅に関する規則を設けていなかったという企業が443社と、実に7割を超えていることが明らかにな

った。発災直後の企業対応が職場待機が条例として定められる等して統一されれば、混雑による被害を大いに縮減することができる。

【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) 北見工業大学大学院：広域交通流動に対する津波の被害リスクに関する研究，平成23年度，土木学会第66回年次学術講演会
- 3) 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，
- 4) 安倍北夫：自然災害の行動科学，福村出版，1988
- 5) 渋谷区ホームページ/国勢調査
<http://www.city.shibuya.tokyo.jp>
- 6) マピオンナビ歩行ルート
<http://navi.mapion.co.jp>
- 7) 東京都市圏交通計画協議会
<http://www.tokyo-pt.jp>

