

平成23年度修士論文

震災後早期における混雑情報の提供が  
帰宅行動に及ぼす効果

工藤 知徳

東京都市大学大学院 工学研究科 都市基盤工学  
専攻  
計画マネジメント・皆川研究室

# 目次

第1章	序論	1
	研究背景と目的	2
第2章	位置情報を含む情報活用の現状と課題	5
2.1	災害直後の情報ソースとしてのICT	6
2.2	災害後の情報利用の課題	8
第3章	災害発生時の情報活用システムの構想	10
3.1	被害状況の被災前後の比較と可視化	11
3.2	情報共有システム	12
3.3	最短経路ナビゲーション	13
第4章	マルチエージェントシステムを用いた 帰宅行動シミュレーション	14
4.1	シミュレーションによる効果検証	15
4.2	既往の研究	15
4.3	経路選択モデル	16
4.4	シミュレーションの概要	17
4.5	シミュレーション結果の評価方法	21
第5章	首都圏を対象とした適用事例	22
5.1	シミュレーション概要	23
5.2	道路ネットワーク	25
5.3	シミュレーション結果と考察	26
第6章	結論	40
	謝辞	42
	参考文献	43
付録1	シミュレーション精度について	44
付録2	歩行者エージェントのルール	45
付録3	経路点エージェントのルール	49
付録4	各区別の帰宅完了者数の時刻歴	53
付録5	修士論文発表会の概要	61

# 第 1 章

## 序論

## 研究背景と目的

近年 ICT 技術の進歩は目覚ましく、また、図-1 に示すように携帯電話の所持率は高く<sup>1)</sup>、多くの携帯電話がインターネットによる相互データ通信と GPS 機能を有し利用環境が整備されどこでもいつでも誰でも ICT を利用出来るようになってきた。携帯端末は、その情報取得の利便性や可搬性から、災害発生時にも利用が想定され、地震速報を携帯端末に送信して注意を促すサービスや<sup>2)</sup>、交通情報提供、災害情報掲示板等の運用実績がある<sup>3)</sup>。特に、GPS による位置把握機能を有する携帯端末は、多くの人々の移動行動を図るツールとして期待されている<sup>4)</sup>。

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災時には、被害の復旧時に環境が整備されて試行された「通れたみちマップ」と呼ばれる車両通行実績の共有システムが、車両で被災地を移動する人々に有用な情報を提供した<sup>5)</sup>。このシステムは車両の位置情報を効果的に活用した事例である。また、東京などの都心部では、公共交通機関が停止したために 500 万人を超す帰宅困難者を出す結果となった<sup>1)</sup>が、知人同士が互いの現在位置を相互に把握するシステムが活用されるなど<sup>6)</sup>、歩行者の位置情報の活用の例も見られるようになっている。

しかし、これらの一部の情報利用サービスが運用されたとはいえ、首都圏での交通網の麻痺や、帰宅困難者・滞留者の支援のための情報提供は充実しているとは言えない。また、最も被害の大きかった福島周辺でも情報提供が上手く行われず、情報提供サービスの運用の仕方や緊急避難速報の信頼性・実行環境の問題や環境整備について、多くの議論がなされている。これらをうけて政府の震災復興会議による提言では、今回初めて「減災」という言葉が公式に用いられ、ハード面だけではなく災害時の情報利用・運用等の「ソフト面の強化」を推進することになった<sup>1)</sup>。位置情報を活用した歩行者向けの情報提供についてはこれから大いに期待される施策である。

以上の背景を踏まえ、位置情報機能を有する携帯端末向けの ICT の効果的な運用方法に関して検討する。特に災害時に大量に発生すると想定されている帰宅困難者や滞留者などの歩行者を支援する対象として、災害発生時にこれを支援するシステムのあるべき姿を考察する。

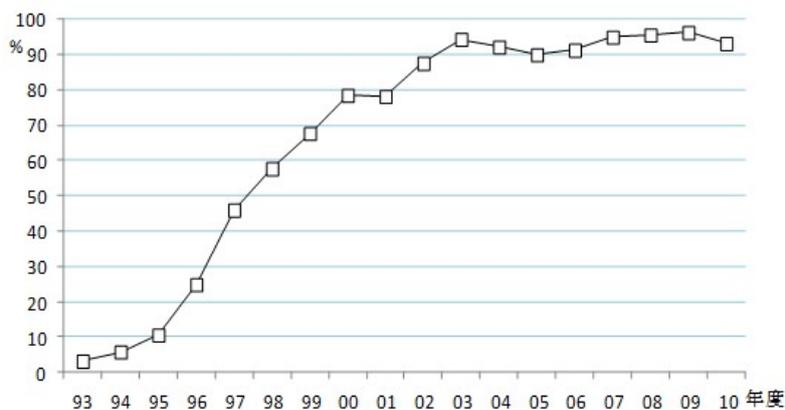


図-1 単身世帯を含む世帯別携帯電話所持率の推移<sup>1)</sup>

図-1 に示したように、95%の世帯が携帯電話を所持しており、幼児や一部の高齢者の方々を除いて、単独歩行する者は携帯電話を保持すると仮定することに無理はない。また、東日本大震災時には殆どの方が携帯電話の通話は出来なかったが、インターネットはほぼ問題なく利用することができ<sup>7)</sup>、今後予想される震災時にも利用できると思われる。

そこで、発災した場合に、携帯電話で把握される位置情報が提供されることを想定し、それを利用した支援システムを構想する。

また、震災後早期における混雑情報の提供が歩行による帰宅行動に及ぼす効果を検証するために、マルチエージェントシミュレーション (Multi-agent simulation. 以後 MAS と呼ぶ.) を用いて混雑回避行動シミュレータを作成する。これにより、歩行者の位置情報から把握される混雑情報を歩行者が利用することから、帰宅行動に及ぼす効果を検証する。

以下に本研究の構成とその流れを説明する．

第2章では過去の災害発生時の携帯端末やICTの活用状況について触れ、携帯端末による情報提供を想定する根拠を示す．

第3章では携帯端末を用いた情報利用の方法について、有効と思われる方法を提案するとともに、帰宅困難者への情報提供の効果の検証の為にシミュレーションについて説明する．

第4章では作成したマルチエージェントシミュレーション（MAS）を用いた帰宅行動シミュレーションについて説明する．

第5章では、首都圏を対象としたシミュレーションを行い、結果を示す．

第6章では本研究で得られた知見及び解析結果をまとめるとともに、今後の課題を述べ、本研究のまとめとする．

## 第 2 章

### 位置情報を含む情報活用の現状と課題

## 2. 1 携帯端末を想定する根拠

東日本大震災後首都圏の人々に帰宅状況のアンケートを行った結果を図-2～図-5に示す<sup>4)</sup>。図-2を見ると、災害発生後情報を得るのに役立ったものは主にテレビであり、図-3の帰宅状況別に見ても、自宅に帰ろうとしたが途中で諦めた人には携帯電話のワンセグ機能が役立ったものの、全体でもテレビの方が役立ったことが分かる。しかし図-4にある、「今後どのような情報提供を望むのか」という設問では、テレビやラジオに次いで携帯電話による情報提供の需要が70%を超えた。図-5にある、帰宅状況別で抜粋したものでは特に自宅に帰ろうとしたが諦めた人については携帯電話による情報提供の需要が最も高い値となっている。

このように東日本大震災時にはテレビより携帯電話が役に立った状況は多いとは言えないものの、今後の情報提供手段として携帯端末には大きなニーズがあることがアンケートより明らかになった。特に帰宅意思がある人はほぼ全ての人が携帯電話による情報提供を望んでおり、今後予想される大地震までにこれらの環境を整備することが急務である。

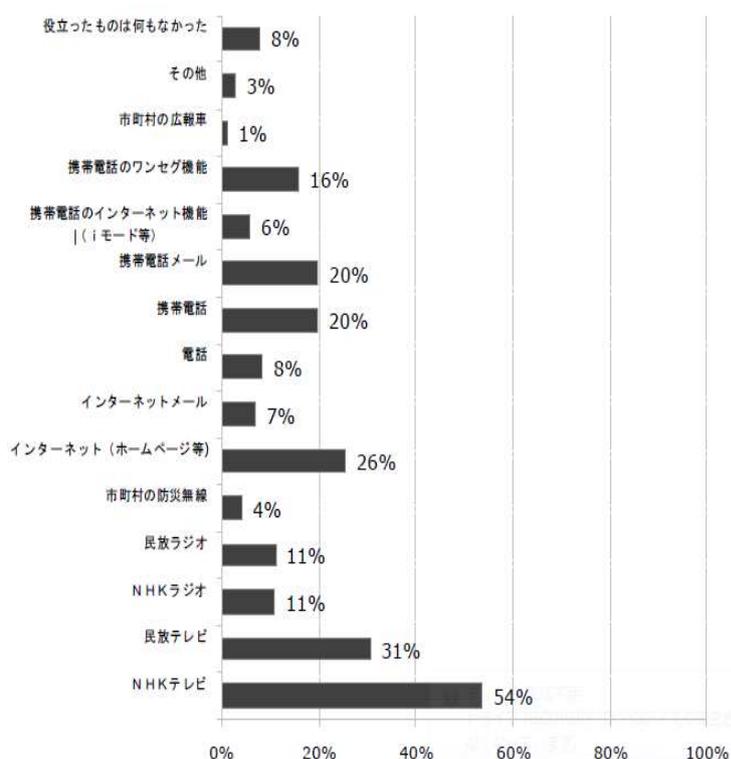


図-2 震災発生時役に立った情報元<sup>4)</sup>

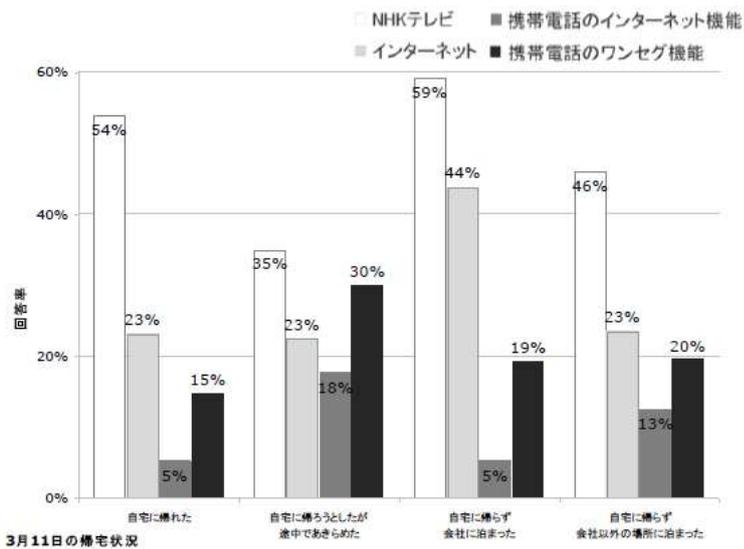


図-3 震災発生時役に立った情報元<sup>4)</sup> (帰宅状況別, 抜粋)

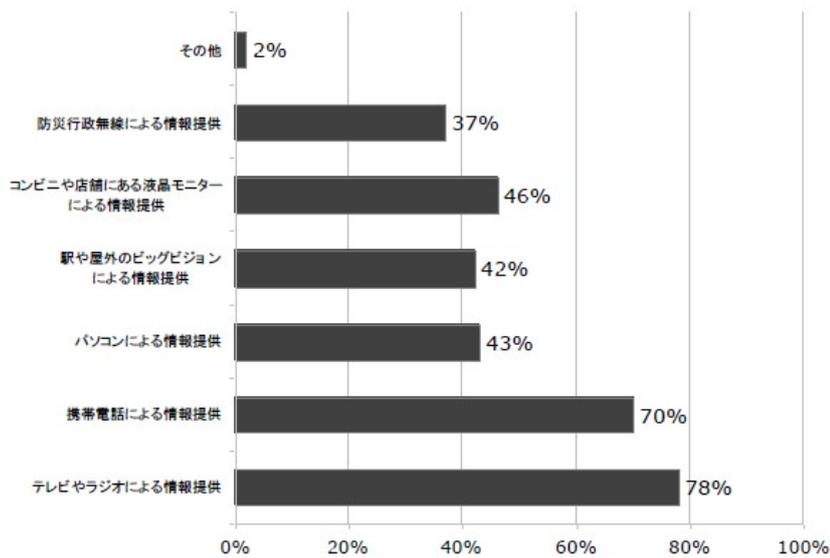


図-4 今後どのような情報提供を望むか<sup>4)</sup>

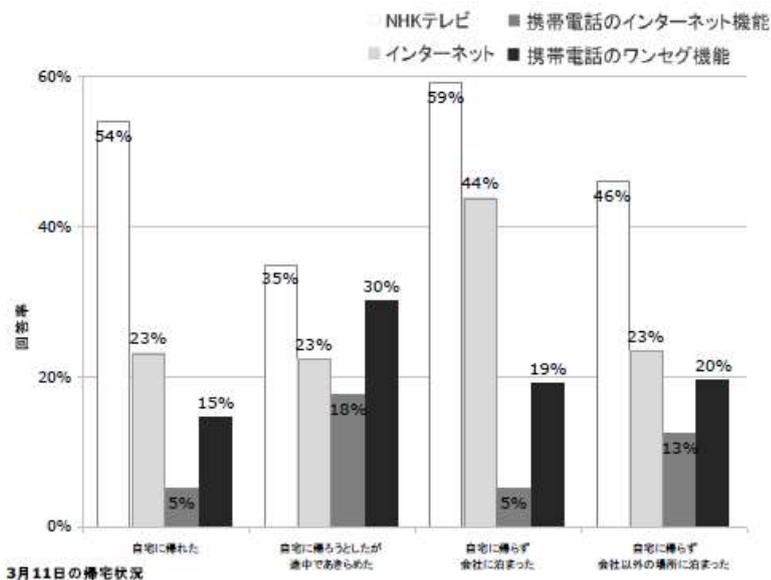


図-5 今後どのような情報提供を望むか<sup>4)</sup> (帰宅状況別, 抜粋)

## 2.2 災害後の情報利用の課題

災害発生後のICT利用として、各自治体からのWeb上での発信やメールの速報、避難所や補給施設のWebGISへの取りまとめが行われているが、速報メール以外には災害発生後暫く経過した後で発信され、その間は有用な情報が手に入らない状況となることが多い。その原因としては、精確な情報とされる警察・消防や各自治体による情報収集や情報処理のマンパワー不足が挙げられている<sup>1), 8)</sup>。

これに対応して、東日本大震災時には防災推進機構<sup>5)</sup>が車メーカーと連携して「通れた道マップ（とおれたみちマップ）」（大規模地震などの災害発生に伴う通行可能道路を実際の車両走行実績データを元に地図上に示したもの）を公開し、自動車から得られる情報の非常時の連携が進められ、道路情報の共有を実用化している。図-6は通れた道マップの実際の画面である。



図-6 通れた道マップ<sup>5)</sup>

一方、災害後には SNS による情報のやり取りが広く行われた。しかし、これ

らはあくまで個人によって収集された第三者による検証の無い、信頼性の低い情報（曖昧情報）の集合であり、情報間での関連性が少ないことから有用性は低いのが現状である。また曖昧情報は災害発生時に自治体等に大量に寄せられるが、処理する人手が足りないことや防災の知識のない人からの情報は扱いが難しいことから、そのまま公開されないことが多い<sup>8)</sup>。

これらのことから、災害後早期における情報利用を行うには、情報を扱うマンパワー不足の解消と曖昧情報の有効活用が課題であると考えられる。

## 第 3 章

### 災害発生時の情報活用システムの構想

災害発生時の歩行者向けの ICT 利用の方法として、経路上の危険区域や混雑情報を文章や画像・動画で共有する情報共有システムと、帰宅（避難）が最短時間で行える経路を誘導する歩行者用ナビゲーションは歩行者支援に有効である。

### 3.1 被害状況の被災前後の比較と可視化

集められた被災状況などの画像情報について、被害発生位置の平常時と被災後の画像を比較して編集する方法を想定する。比較する平常時の情報は、Google Map ストリートビュー<sup>9)</sup>や道路面確認の為のシステム<sup>10)</sup>のように、GIS 上に位置情報とその位置の画像が関連付けられたものを考える。図-6 は実際に撮影した道路写真と Google Map ストリートビュー画面の同位置における GIS 上での画像比較のイメージで、図-7 は道路動画とその動画内の地点の情報をリンクさせた舗装管理システムである。集められた画像情報は GPS である程度の位置情報が判るが、これらのように基本となる地理情報と比較することでより正確に位置や状況を把握できるようになる。また、現地の地理に明るくない人でも情報編集が可能になり、GIS 編集において情報ボランティアを受け入れる際に役立つと考えられる。

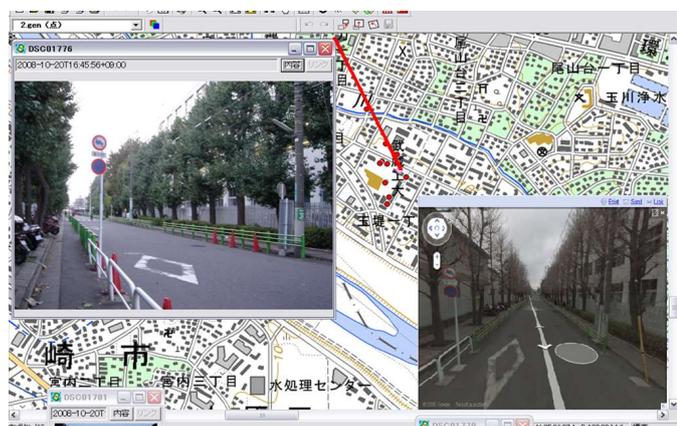


図-6 道路画像情報比較の例<sup>9)</sup>



図-7 道路面確認の為のシステム<sup>10)</sup>

### 3.2 情報共有システム

情報共有システムの利点は多くの利用者が各形式の情報を共有することで災害・被害規模を早期に把握し，未知の事象に対する心理的な不安を無くし，早期の対応する行動を誘発することである．特に災害直後は情報が停滞し，伝達の遅れや遮断による情報不足で対応が遅れ，行動出来なくなることが過去の事例から明らかになっている．災害発生後の早期の情報収集・状況把握による情報不足の解消が二次災害の防止・精神的不安による滞留者の増加防止に繋がると思われる．そこで，GPS機能付の携帯電話を用いることを前提として，以下の i)~iii)の流れの情報収集・共有システムを提唱する．

i)被災地で活動する人々や被災者が携帯電話で各地の被害状況を撮影し，写真情報に文章や位置情報を付加させ，NPO等の第三者機関が運営するデータセンターに送信する．

ii)データセンターでは，自治体の職員やあらかじめ登録された情報ボランティアの人々が送られてきた画像を整理・編集し，建設物・道路の被害状況を Web GIS 上で公開する．この際，情報にあいまいさがあることに配慮した提供とする．

iii)上記の情報を携帯電話等から Web で利用できるようにする．

### 3.3 最短経路ナビゲーション

災害発生後大量に発生すると想定される長距離移動者・帰宅困難者を対象に，得られる混雑情報や道路閉塞状況等を基に，帰宅（避難）までの最短時間経路を誘導するナビゲーションは有効であると考えられる．これは現在広く使われているカーナビゲーションシステムの人への応用であり，最短距離経路だけではなく最短時間経路をナビゲーションすることで，混雑を回避し避難を円滑にすることができる．

ナビゲーションの利点として帰宅行動の円滑化，渋滞の緩和がある．人の経路選択時の行動特性として，幅員の広い経路・既知の経路を主に選択する，といったものがあるが，これによる同経路への集中が過去の歩行者渋滞の原因となっていると考えられ，これらを適切に誘導することが帰宅行動の円滑化，二次災害の防止に繋がる．

このシステムが実現するためには，歩行者の位置情報が提供されることが必要であり，特に災害時に限り，位置情報取得を許可する仕組みが必要である．

## 第 4 章

### マルチエージェントシステムを用いた 帰宅行動シミュレーション

#### 4.1 シミュレーションによる効果検証

歩行者向け情報共有システムについては過去に実際に運用された事例は無い。そこで、最短経路ナビゲーションのシミュレーションを行い混雑軽減や移動の円滑化効果があるかを確かめることで、帰宅困難者向けの情報利用の有効性を実証する。また検証は多くの帰宅困難者の発生が予想される首都圏を対象に、誘導ナビゲーションの動きをモデル化してシミュレーションを行い、誘導の有無で結果の比較を行う。

#### 4.2 既往の研究

広域範囲における歩行者シミュレーションはこれまでに数多く行われているが、歩行者を誘導するモデルを採用したシミュレーションは少なく、看板・掲示板等の固定標識や誘導員による避難誘導効果の研究が主であった<sup>11),12), 13),14)15)</sup>。表-1はMASを用いた混雑情報を共有したシミュレーションの研究であり、本研究ではこれらを参考にモデル作成やモデル動作の検証を行った。最短経路検索手法は主に車の経路選択や交通シミュレーションに用いられていたため、ダイクストラ法の計算手法を参考に<sup>11)</sup>、歩行者の経路選択モデルを作成した。

表-1 MASを用いた避難時情報利用の既往の研究

著者	年	タイトル	成果
笹岡ら <sup>11)</sup>	2011	災害現場における最短経路検索の構築	ランダム配置された経路における効率的な救助ロボットの動きを検証するシステムを構築した。
宮崎ら <sup>12)</sup>	2008	多様な群集の雑然とした状況を想定した地震時避難行動シミュレーション	地下鉄駅を対象に避難行動シミュレーションを行い、避難行動の差を定量的に分析した。
永井ら <sup>13)</sup>	2008	テーマパークにおける混雑情報共有と混雑緩和に関するシミュレーション研究	遊園地を対象に混雑情報の共有が行列人数や満足度に及ぼす影響を示した。
野澤ら <sup>14)</sup>	2005	マルチエージェントシステムを用いた歴史的市外地における津波避難シミュレーションモデルの構築	津波来襲時の避難行動をモデル化し道路閉塞モデル、避難行動モデルを開発し、DIGの現場での活用実験でその有用性を検証した。
村木ら <sup>15)</sup>	2004	マルチエージェントモデルを用いた広域災害避難シミュレーションにおける情報伝達の有効性	広域災害避難シミュレーションを行う為のマルチエージェントモデルを構築した。

### 4.3 経路選択モデル

本研究では通常の避難行動を想定した「最短経路選択モデル」と、各経路の混雑情報を随時取得して混雑を回避して移動することを想定した「混雑回避経路選択モデル」を作成した。

歩行者の持つ携帯電話のGPS機能を用いて、各歩行者の位置情報が逐次データセンター等に蓄積され、歩行者の道路上での密度が把握されるものとし、この情報は各自の持つ携帯電話等を用いて把握することが可能である状況を想定する。ただし、混雑情報はあくまで現状把握であり将来予測ではない。

この状況における、「最短経路選択モデル」とは、混雑状況を見せず、経路毎の帰宅までの距離をダイクストラ法で算出して算出される最短経路を辿るモデルである。一方の「混雑回避経路選択モデル」では、経路毎の帰宅までの距離をダイクストラ法で算出し、さらに周囲の混雑状況の影響を反映させた上で最短移動経路を選択する動的環境を組み込んだモデルである。

#### 4.4 シミュレーションの概要

##### a) ダイクストラ法を用いた最短経路選択

歩行者エージェントがマップ上に設定した経路点エージェント（図-8の青円）を通して目的地へ向かう，ダイクストラ法の計算を随時行う最短経路選択モデルを作成した．図-8は経路選択の例で，作成したシステムの流れを図-9に示す．歩行者エージェントは発生地点から目的地に向かって，対象とする道路ネットワーク上に密に配置された経路点エージェントを通して移動する．経路点エージェントは自分の位置から目的地までの最小距離を常に計算し，歩行者エージェントは視野の中にある経路点エージェントで最も小さい数値を持つものを順に辿って移動する．

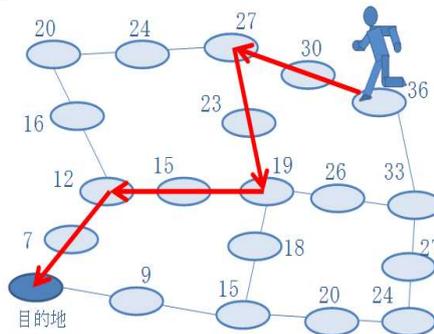


図-8 ダイクストラ法の計算手法による経路選択例

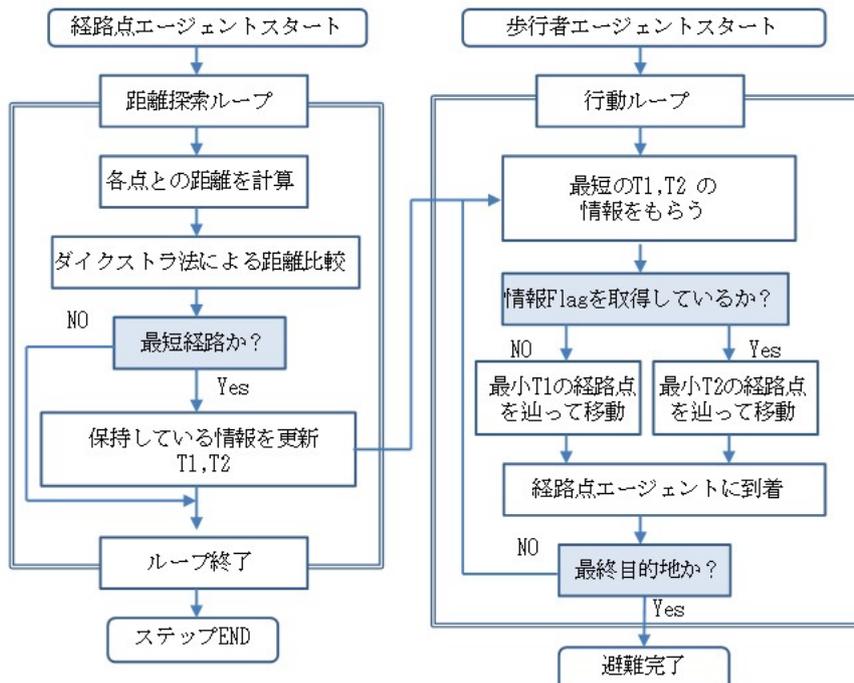


図-9 作成したシステムの流れ

## b)混雑回避経路選択

目的地までの距離を時間に換算し、さらに混雑状況による時間の増加を反映させることで、混雑度による通過時間への影響や経路の閉塞状況を反映させるモデルを作成した。混雑情報の有無を表すために、円滑移動時間  $T_1$  及び混雑度を反映させた混雑移動時間  $T_2$  を各経路点エージェントに設定した。各経路点から目的地に混雑の無い時の歩行速度 (4km/h) で歩行した時に要する時間を  $T_1$ 、混雑度に応じた歩行速度で歩行した時に要する時間を  $T_2$  とする。表-2 は  $T_2$  の計算時に利用した、内閣府の定める混雑度ランク別歩行速度である<sup>1)</sup>。経路への混雑度の影響として、混雑度ランク別歩行速度より最も混雑した場合のランク A の移動速度が円滑時の 10 分の 1 であることから、移動にかかる時間を最大 10 倍として  $T_2$  に反映させた。これにより、経路選択時に混雑した経路を回避して進むものと最短距離を進むものの 2 つの行動を表現した。

表-2 混雑度ランク別移動速度<sup>1)</sup>

混雑度 ランク	混雑状況[( )内は混雑度(人/m <sup>2</sup> )]	混雑度 (人/m <sup>2</sup> )	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)	5.25~6	0.4~1
	危険性を伴う群集の圧力と心理的ストレス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した状態(4.0-4.5)	4~5.25	1~2
	エレベーター内の満員状態(4.0-4.5)		
D	劇場での満員状態(3.5-4.0)	2.75~4	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)	1.5~2.75	3~4
F	街路で前の人を追い越せる状態	~1.5	4
	街路で普通に混まずに歩ける(0.5-1)		

また、「混雑移動時間」に混雑を反映させる際に 経路点エージェントを密に配置することで、一つの点における混雑度の影響を小さくして「混雑移動時間」の急激な変動を抑えた。また、これにより、経路上の局所的な混雑と、範囲の広い慢性的な混雑を再現した。ただし、この計算手法は局所最適解に陥る可能性がある為、局所最適解に陥ったことを判別し、次の i)~iii)の順に動いて離脱するモデルを作成した。図-10 は分岐点における局所最適解の判別方法である。

i) 向かう経路点エージェント  $ID_i$  と一つ前の経路点エージェント  $ID_{i-1}$ 、二つ前の経路点エージェント  $ID_{i-2}$  までを記憶し、 $ID_i \neq ID_{i-1}$  且つ  $ID_i = ID_{i-2}$  の時の振動の動きを局所最適解に陥っていると判断し、離脱 Flag を立てる。

ii) 離脱 Flag が立っている場合、 $x$  時間の間 に沿って移動させる。

( $x$  : 離脱時間, シミュレーションの規模で設定)

iii)  $x$  時間後、50%の確率で離脱 Flag を無くして 移動に戻る。戻らない時は ii) に戻る。

この動きにより、局所最適解に陥りやすい場所から強制的に離脱させることができた。しかし、この動きは経路選択時に大きな影響を与えるので、より洗練された解決方法が今後の課題である。

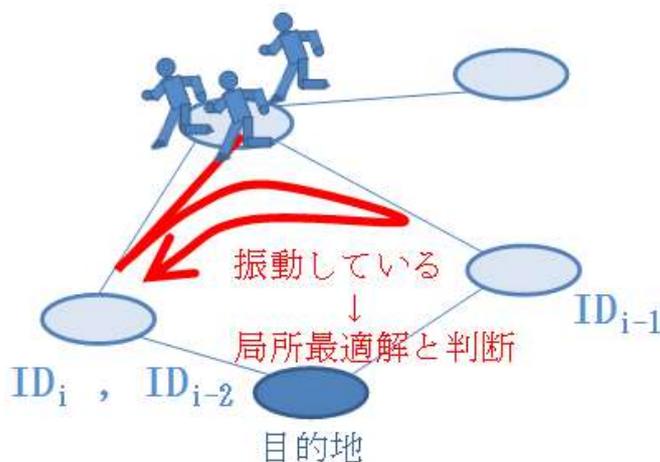


図-10 分岐点における局所最適解の判別

c) 歩行者エージェントの歩行速度

歩行速度については、周囲の人数と道路幅員から、中央防災会議が定めた混雑度ランクの計算によって決定する。表-2の混雑度ランク別歩行速度を基に、式(1)の混雑度と式(2)の歩行速度を定めた。

$$C_{ij} = m_{ij} / A_{ij} \quad (1)$$

( $C_{ij}$  : 混雑度ランク,  $m_{ij}$  : 範囲内の人数,  $A_{ij}$  : 視野面積,

$i$ :各WP,  $j$  : 各エージェントを表す。)

$$v = \begin{pmatrix} 4 \text{ km/h} : C \leq 1 \\ 4 \sim 3 \text{ km/h} : 1 < C \leq 2 \\ 3 \sim 2 \text{ km/h} : 2 < C \leq 4 \\ 2 \sim 1 \text{ km/h} : 4 < C \leq 5 \\ 1 \sim 0.4 \text{ km/h} : 5 < C \leq 6 \\ 0.4 \text{ km/h} : 6 < C \end{pmatrix} \quad (2)$$

#### 4.5 シミュレーション結果の評価方法

シミュレーション上の個々の歩行者エージェントについて，移動速度  $v_j$ ，移動距離： $d_j$ ，移動時間  $t_j$ ，目的地到達数  $n_j$  を計算し，最終目的地到着時にそれぞれ出力する．移動速度は平均移動速度を算出して出力される．

また，経路点エージェントの混雑度を表-2のランク別に色分けすることで経路の混雑状況を把握し，これを用いて時刻別，情報所持率別の経路混雑度の推移を調べる．

## 第 5 章

### 首都圏を対象とした適用事例

## 5.1 シミュレーション概要

我が国の人口の10%が集中する首都圏で、昼間時間帯で災害発生後の公共交通機関がマヒした状態を想定する。横浜市は市外への昼間流出人口が多く特に東京への割合が大きい事と、移動距離が長く、移動に多摩川を挟む為に橋を利用するというクリティカルパスがあるので交通情報の重要度が高く、効果の検証がし易いということが挙げられる。そこで、本シミュレーションの対象とする歩行者は、横浜市から東京都特別区部へ通勤・通学している者とした。シミュレーションの条件を以下に示す。

- ・ 歩行者発生対象地域：東京都特別区部  
約 25,000(m) × 約 35,000(m)
- ・ 帰宅の目的地：横浜市北東部
- ・ 避難行動エージェント数： 36,770
- ・ 1ステップ：1分
- ・ シミュレーション時間：12時間（720ステップ）
- ・ 情報所持率：0%，20%，40%，60%，80%，100%  
（混雑情報を活用する歩行者の比率）
- ・ 道路幅員：3m（比較的広い歩道を想定）
- ・ 歩行者エージェントの行動完了の条件：  
最終目的地（横浜市）への到達

表-3 にパーソントリップ調査<sup>16)</sup>から抜粋した横浜市の東京都特別区への昼間流出人口数と、実際に発生させたエージェント数を示す。歩行者エージェント数はシミュレータの負荷軽減の為、10分の1とし、各計算時にも反映させた。

表-3 横浜市の東京都特別区への昼間流出人口と発生エージェント数<sup>16)</sup>

	実際の人数	エージェント数
千代田区	61569	6157
中央区	41995	4200
港区	82240	8224
新宿区	23783	2378
文京区	6849	685
台東区	7276	728
墨田区	4066	407
江東区	10921	1092
品川区	38659	3866
目黒区	10052	1005
大田区	32767	3277
世田谷区	9020	902
渋谷区	23848	2385
中野区	1458	146
杉並区	1798	180
豊島区	4715	472
北区	2337	234
荒川区	955	96
板橋区	921	92
練馬区	405	41
足立区	699	70
葛飾区	224	22
江戸川区	1112	111
合計	367669	36770

## 5.2 道路ネットワーク

首都圏内の避難を行う帰宅支援道路<sup>17)</sup>上に経路点エージェントを配置し、シミュレーションに使用する道路ネットワークを再現した。図-11に作成した道路ネットワークを示す。図の赤線が経路点エージェントによる道路ネットワークで、青円は各区のエージェント発生点の範囲、黒円は目的地(横浜市)である。帰宅支援道路とは、東京都が指定している、帰宅を支援する施設の整備が進められている幹線道路(第一京浜, 第二京浜, 中原街道, 玉川通り, 甲州街道, 青梅街道, 新青梅街道, 川越街道, 中山道, 北本通り, 日光街道, 水戸街道, 蔵前橋通り, 井の頭通り, 五日市街道, 環状7号線, 環状8号線)<sup>17)</sup>である。歩行者エージェントは各区の主要な駅を中心に半径1km(青円)内にランダムに発生させた。

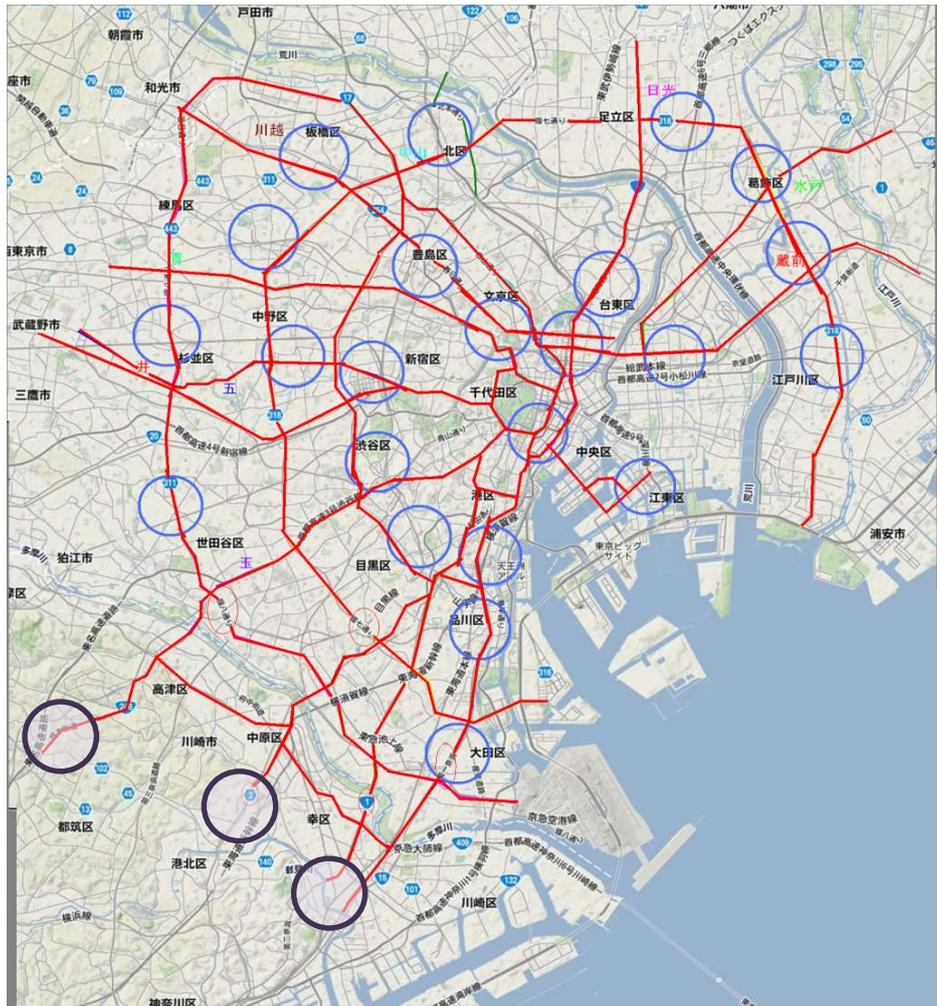


図-11 作成した道路ネットワーク図

### 5.3 シミュレーション結果と考察

歩行エージェントの情報所持率を 0%，20%，40%，60%，80%，100%と変化させてシミュレーションを行った。

シミュレーションで得られた結果から， a)情報所持率と帰宅完了者数の関係， b)各区別の目的地到着者数の変化， c)情報所持率と混雑状況の関係， d)情報を所持する場合の速度と時間の変化率， e)各区別平均移動速度， f)移動距離変動と移動時間の関係， について変化を読み取り考察する。

#### a)情報所持率と帰宅完了者数の関係

図-12 は情報所持率別の目的地到着者数の時刻歴で， 図-13 は情報

所持率別目的地到着者数である。これを見ると、情報所持率が0%～60%まで目的地に到着できたエージェントが増加し、60%～100%の間は横ばいになっている。目的地到達者数が情報所持率0%時に比べて20%時でも3割、最も多い80%時には8割も増加していることから、今回の適用事例では、混雑情報の提供が帰宅困難者への支援として効果があったと言える。

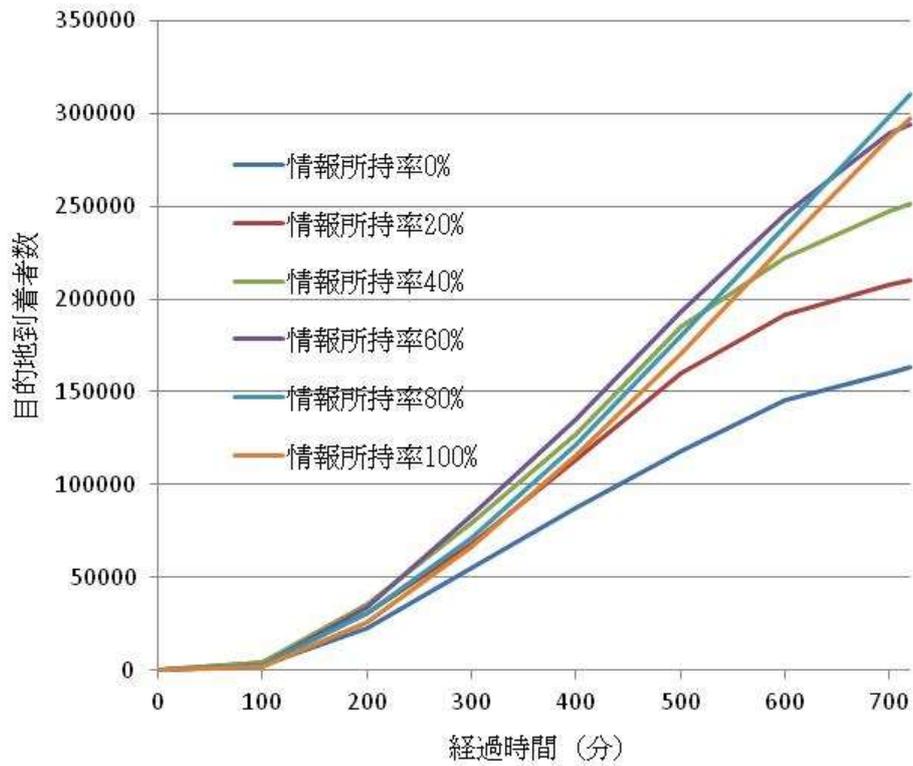


図-12 情報所持率別帰宅完了者数の時刻歴

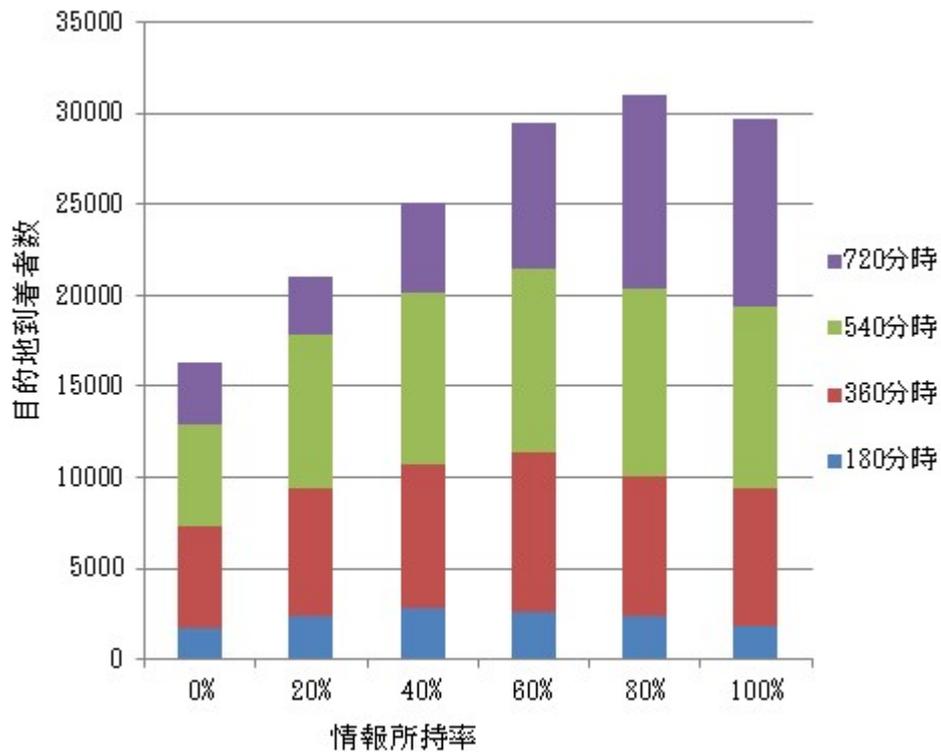


図-13 情報所持率と最終帰宅完了者数の関係

b)各区別の目的地到着者数の変化

表-4 は各区の発生エージェント数と、情報所持率別の目的地到着者数の変化をまとめたものである。情報所持率が0%時において、発生エージェント数が多く本適用事例で最も混雑する経路を通る千代田区や中央区は目的地到着者数が1割を下回り、文京区、台東区、墨田区、江東区、荒川区、足立区といった横浜市から遠方にある区も到着者数が0となっている。しかしこれらは情報所持率が大きくなるにつれ到着者数が増加し、千代田区においては最も多い80%時には発生エージェントの半分以上が目的地に辿りつけていることから、混雑回避の効果が表れているといえる。また、情報所持率が100%時に必ずしも目的地到着者数が最大になる訳ではなく、全ての人が混雑を回避することで移動の効率が悪くなる場合があることが分かった。

表-4 各区の発生エージェント数と情報所持率別目的地到着者数

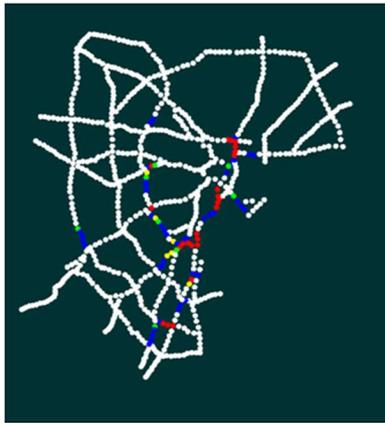
区別エージェント発生数	情報所持率別帰宅者数						
	0%	20%	40%	60%	80%	100%	
千代田区	6157	0	1210	2094	3288	3753	3370
中央区	4200	396	1113	1668	2367	2887	2868
港区	8224	3431	4759	6046	7349	7393	6786
新宿区	2378	477	1001	1758	2378	2378	2339
文京区	685	0	133	225	364	521	494
台東区	728	0	106	242	344	374	357
墨田区	407	0	72	124	173	200	217
江東区	1092	0	194	284	429	758	775
品川区	3866	3866	3865	3866	3866	3866	3866
目黒区	1005	1005	1005	1005	1005	1005	995
大田区	3277	3277	3277	3277	3277	3277	3277
世田谷区	902	902	902	902	902	902	902
渋谷区	2385	1843	2239	2383	2385	2362	2171
中野区	146	146	146	146	146	146	146
杉並区	180	180	180	180	180	180	180
豊島区	472	412	414	439	446	455	469
北区	234	233	234	234	234	234	234
荒川区	96	0	20	33	59	53	34
板橋区	92	92	92	92	92	92	92
練馬区	41	41	41	41	41	41	41
足立区	70	0	12	26	32	42	39
葛飾区	22	0	5	5	14	9	8
江戸川区	111	0	20	27	58	59	32
合計	36770	16301	21040	25097	29429	30987	29692

c)情報所持率と混雑状況の関係

図-14 に情報所持率別のシミュレーション開始後 1 時間経過毎の経路混雑の様子を，表-2 の混雑度ランク別に色分けして示す．図を見ると，情報を所持することで混雑が他の経路に分散され，軽減されていることが分かった．各条件の 6 時間経過後を比較すると，本事例で最も混雑が集中している経路の混雑が緩和されていることが確認でき，特に情報所持率が 60% の時から混雑が軽減されている．また，情報所持率が高くなると，遠回りの経路を進む場合が多くなっていることが分かった．

表-2 混雑度ランク別歩行速度<sup>1)</sup>

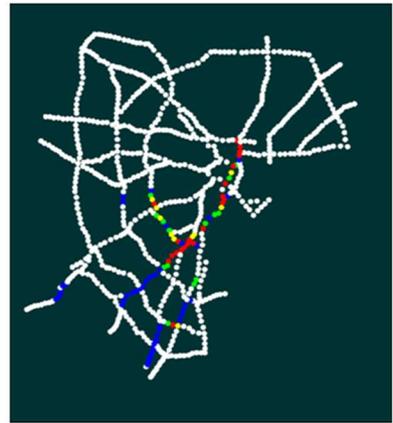
混雑度 ランク	混雑状況[()内は混雑度(人/m <sup>2</sup> )]	混雑度 (人/m <sup>2</sup> )	歩行速度 (km/h)
A	群集なだれが引き起こされる(7.2)	6~	~0.4
	ラッシュアワーの満員電車の状態(6.0-6.5)		
	ラッシュアワーの駅の改札口付近(6.0-6.5)		
B	ラッシュアワーの駅の階段周辺(5.5-6.0)	5.25~6	0.4~1
	危険性を伴う群集の圧力と心理的ストレスが大きくなり始める(5.4)		
C	駅の連絡路のラッシュ時で極めて混雑した状態(4.0-4.5)	4~5.25	1~2
	エレベータ内の満員状態(4.0-4.5)		
D	劇場での満員状態(3.5-4.0)	2.75~4	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)	1.5~2.75	3~4
F	街路で前の人を追い越せる状態	~1.5	4
	街路で普通に混まずに歩ける(0.5-1)		



1 時間経過



2 時間経過



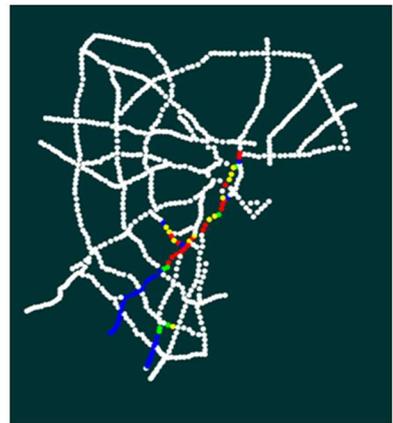
3 時間経過



4 時間経過



5 時間経過



6 時間経過



7 時間経過



8 時間経過



9 時間経過



10 時間経過

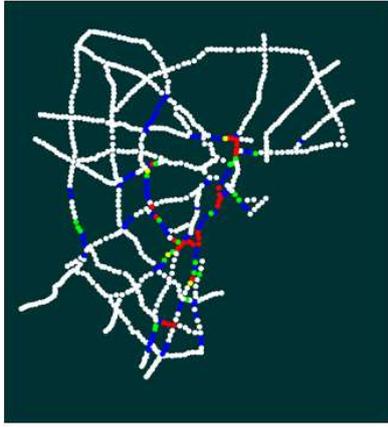


11 時間経過

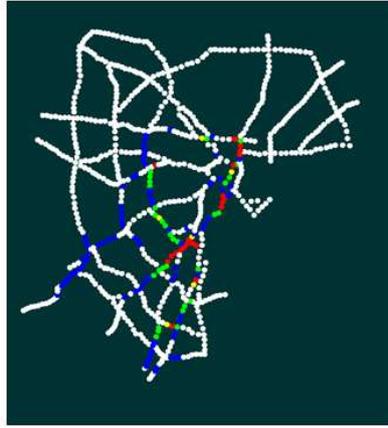


12 時間経過

情報所持率 0%時の 1 時間毎の経路混雑状況



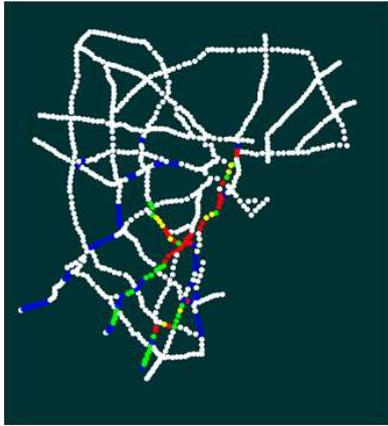
1 時間経過



2 時間経過



3 時間経過



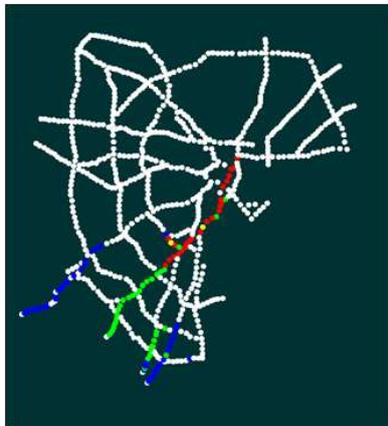
4 時間経過



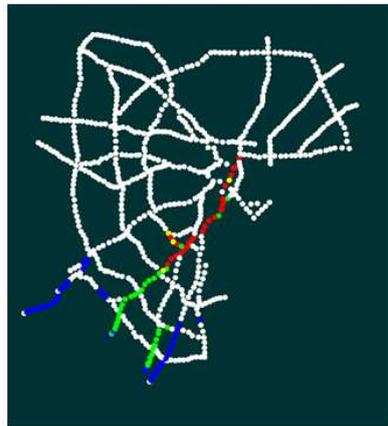
5 時間経過



6 時間経過



7 時間経過



8 時間経過



9 時間経過



10 時間経過



11 時間経過



12 時間経過

情報所持率 20%時の 1 時間毎の経路混雑状況



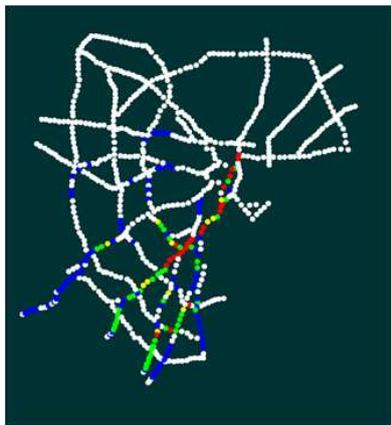
1 時間経過



2 時間経過



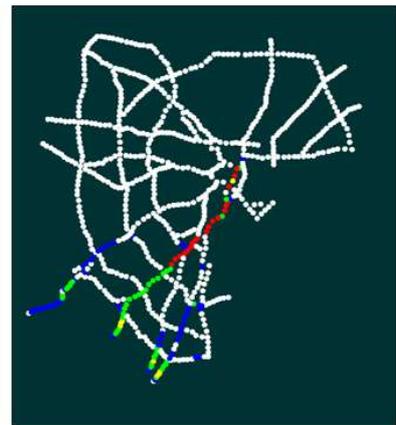
3 時間経過



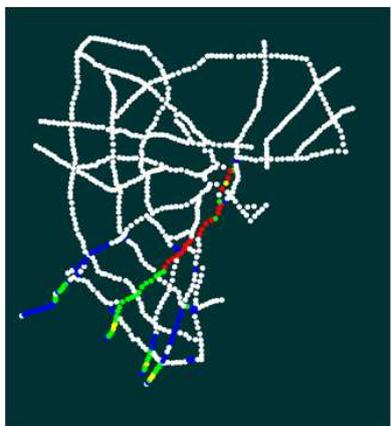
4 時間経過



5 時間経過



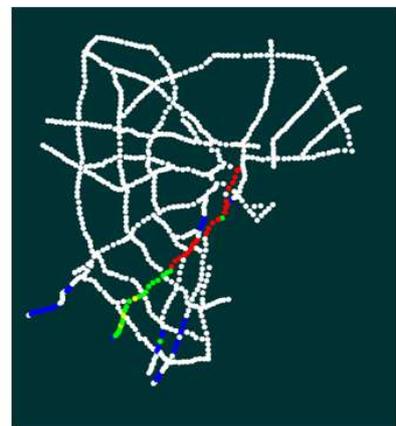
6 時間経過



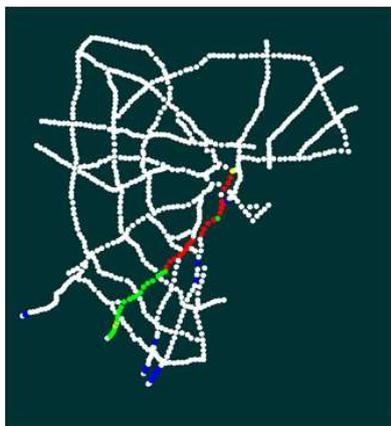
7 時間経過



8 時間経過



9 時間経過



10 時間経過



11 時間経過



12 時間経過

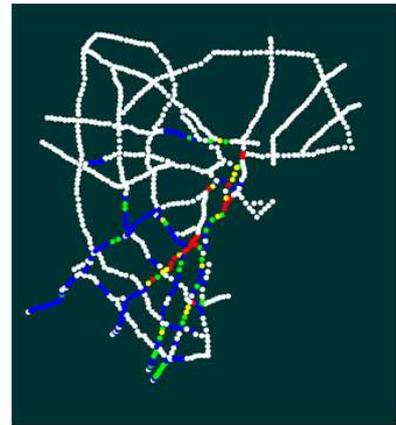
情報所持率 40%時の 1 時間毎の経路混雑状況



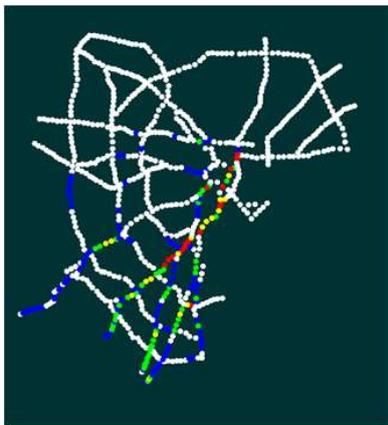
1 時間経過



2 時間経過



3 時間経過



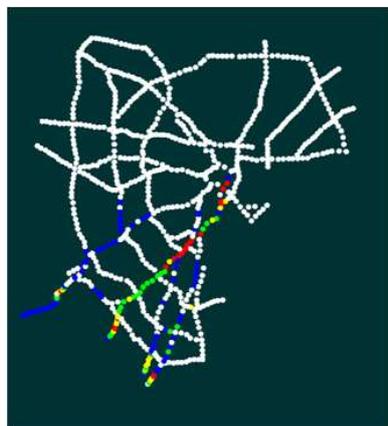
4 時間経過



5 時間経過



6 時間経過



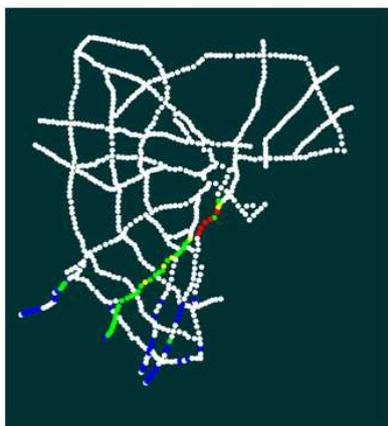
7 時間経過



8 時間経過



9 時間経過



10 時間経過



11 時間経過

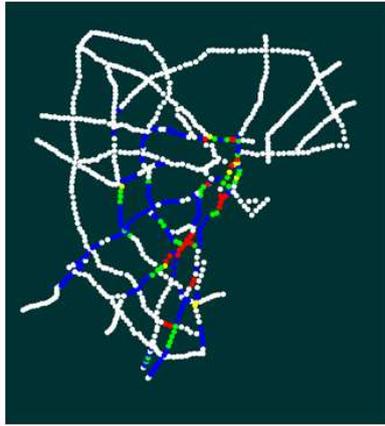


12 時間経過

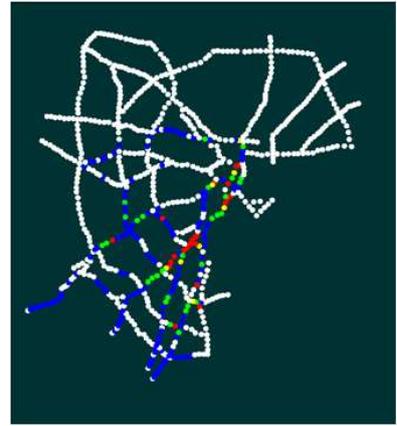
情報所持率 60%時の 1 時間毎の経路混雑状況



1 時間経過



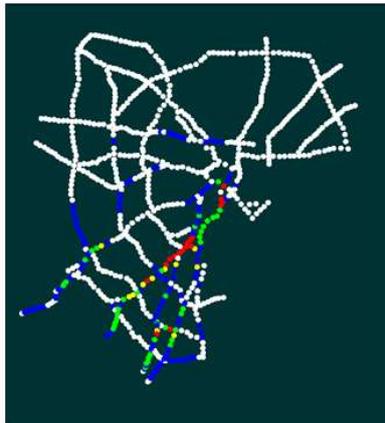
2 時間経過



3 時間経過



4 時間経過



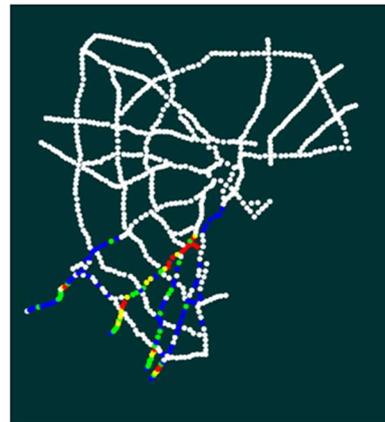
5 時間経過



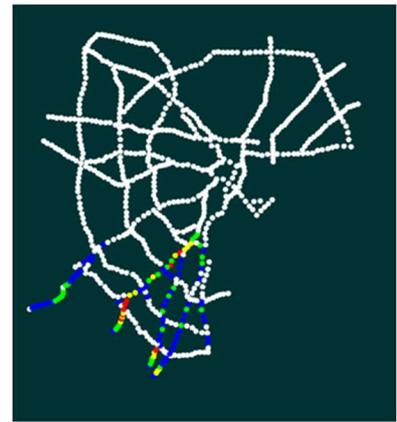
6 時間経過



7 時間経過



8 時間経過



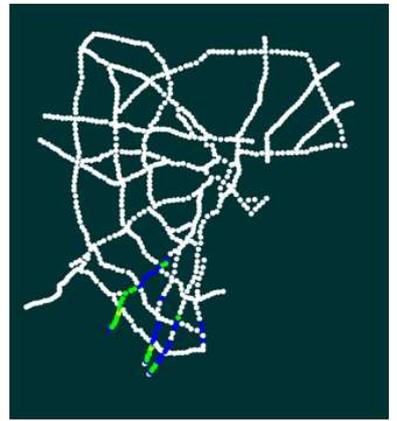
9 時間経過



10 時間経過

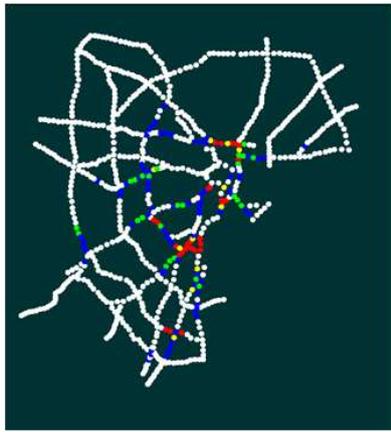


11 時間経過

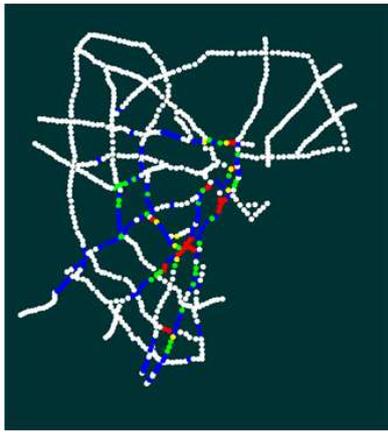


12 時間経過

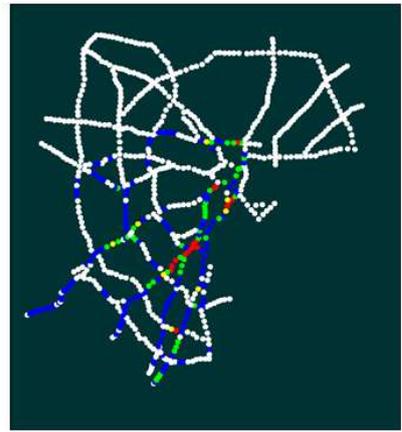
情報所持率 80%時の 1 時間毎の経路混雑状況



1 時間経過



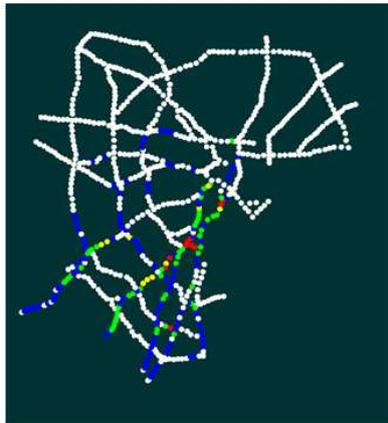
2 時間経過



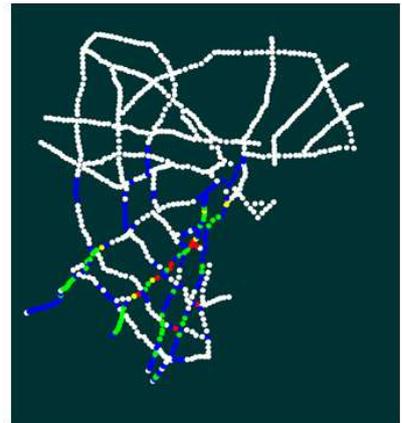
3 時間経過



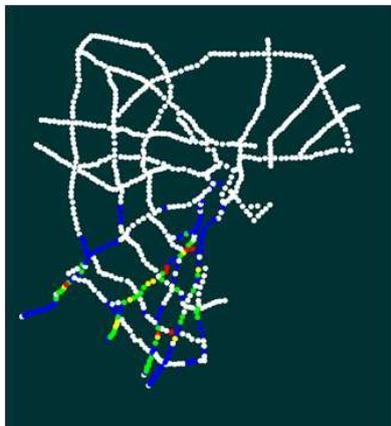
4 時間経過



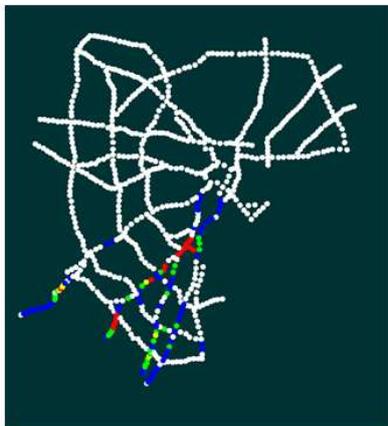
5 時間経過



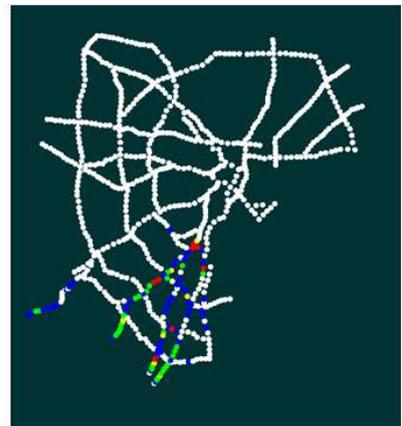
6 時間経過



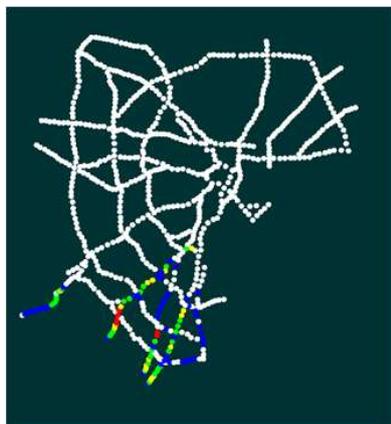
7 時間経過



8 時間経過



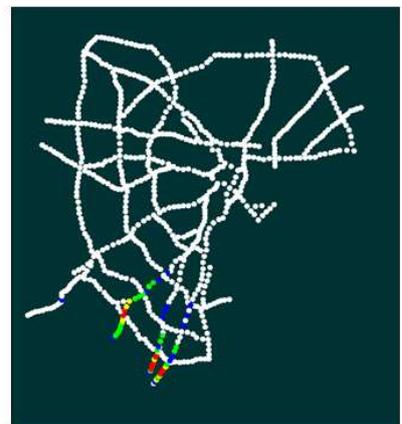
9 時間経過



10 時間経過



11 時間経過



12 時間経過

図-14 情報所持率 100%時の 1 時間毎の経路混雑状況

d)情報を所持する場合の速度と時間の変化率

図-15は情報所持率0%時の数値を1とした、各情報所持率別の移動距離と目的地到着までの時間の変化率である。d/d<sub>0</sub>が1より低い値の点が無いことから、情報所持率0%時が最短経路を移動していることが分かった。

図中の45度線より左の点は情報所持率0%時より移動速度が速くなり、線より右に位置する点は移動速度が遅くなっていることを表している。これより、混雑を回避する経路を移動することで移動速度に増減がみられた。また、大田区と品川区、板橋区と練馬区の最短経路が同じことから、作成したシミュレーションの初期配置に移動速度が速くなり易い所・遅くなり易い所があることがわかった。

また、図中の矢印の向きに沿って情報所持率が高くなっている。これを見ると、大田区と品川区、板橋区と練馬区が比較的近くにあることから、矢印の動きに同じ傾向が見られた。大田区と品川区は60%から80%で矢印の向きが変わり移動速度が減少している。

これらのことから、歩行者エージェントの初期配置が移動時間や速度の増減に影響を与えていることがわかった。

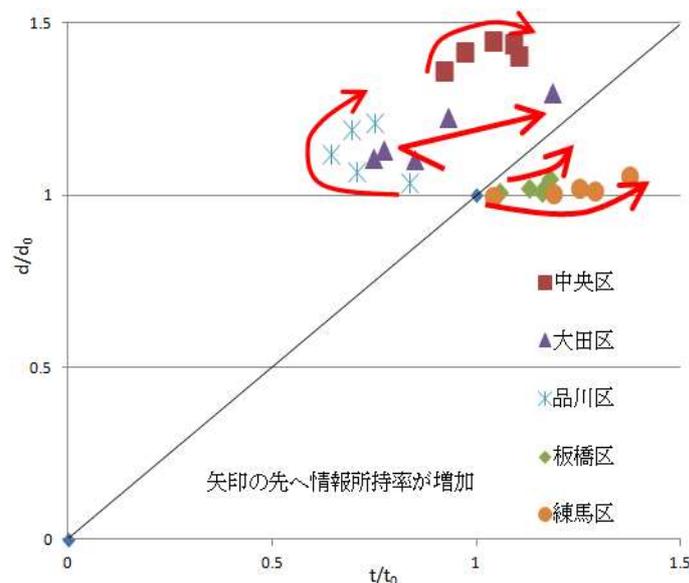


図-15 情報所持による速度変化率と時間変化率の関係（抜粋）

e)各区別平均移動速度

表-5にシミュレーションで得られた各エージェントの平均移動速度(シミュレーション内12時間経過時の値)をまとめたものを示す。記載が無い所は歩行者エージェントが時間内に目的地に着かなかった為、値が得られなかった為である。表の値について、発生数の少ない区は情報所持率が0%時でも移動速度が高く、情報所持率が高くなるにつれ平均移動速度が下がるものが多い。また、発生量が多く、初期から混雑に巻き込まれる可能性が高い千代田区等では情報所持率が20%時に最大値を取り、情報所持率が高くなると速度が下がっている。これは、情報を得ることで混雑を回避できた歩行者エージェントが20%時に多く、所持率が増え、目的地に到着する歩行者エージェントが増えることで平均値が下がっていると考えられる。

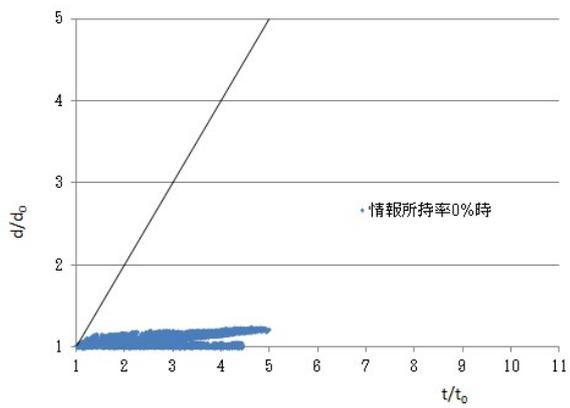
表-5 各区別移動速度平均

情報所持率	移動速度平均(km/h)					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
千代田区	-	3.34	3.08	2.85	2.76	2.68
中央区	1.80	2.68	2.59	2.46	2.33	2.25
港区	1.64	1.87	1.94	1.94	1.85	1.97
新宿区	1.73	2.51	2.42	2.44	2.63	2.74
文京区	-	3.55	3.40	3.11	3.09	2.98
台東区	-	3.15	3.13	2.89	2.77	2.63
墨田区	-	3.27	3.10	2.91	2.64	2.56
江東区	-	2.86	2.72	2.54	2.45	2.46
品川区	1.41	1.82	2.21	2.44	2.44	2.37
目黒区	2.51	2.56	2.64	2.69	2.63	2.58
大田区	1.75	2.22	2.41	2.35	2.28	2.07
世田谷区	3.10	3.13	3.19	3.19	3.20	3.22
渋谷区	1.68	2.06	2.31	2.52	2.71	2.61
中野区	3.61	3.76	3.77	3.75	3.81	3.70
杉並区	3.43	3.57	3.65	3.58	3.53	3.39
豊島区	3.78	3.57	3.32	3.31	3.26	3.37
北区	3.65	3.56	3.36	3.30	3.24	3.42
荒川区	-	3.46	3.45	3.35	3.26	3.11
板橋区	3.94	3.76	3.43	3.57	3.48	3.50
練馬区	4.00	3.85	3.39	3.27	3.16	3.08
足立区	-	3.33	3.08	2.91	2.65	2.60
葛飾区	-	3.57	3.35	3.21	3.30	3.20
江戸川区	-	3.52	3.37	3.26	3.20	3.02

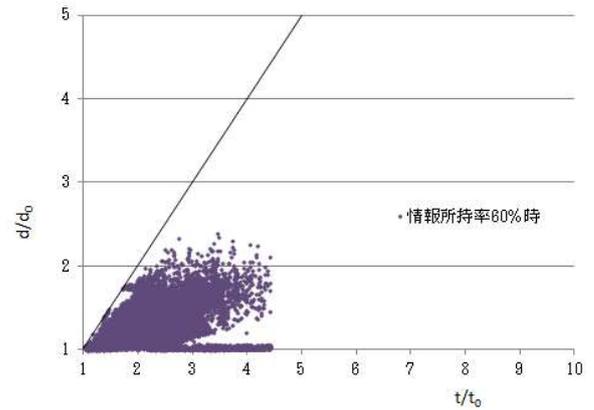
## f) 移動距離変動と移動時間の関係

情報所持率別の、円滑移動時の移動距離と平均移動速度を1とした、各歩行者エージェントの移動距離と平均移動時間の関係を図-16に示す。

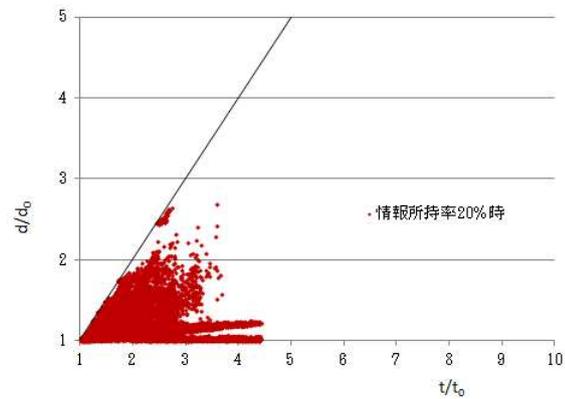
(1)の0%時を見ると、 $d/d_0$ の1周辺で $t/t_0$ が1~5の間に分布している。これは、全てのエージェントが最短距離を移動する為、移動距離に変化が現れない為で、本来であれば誤差無く $d/d_0$ が1になるはずである。しかし、今回の計算では各エージェントの初期値としての目的地までの距離を発生点の中心に設定しており、最大1kmの誤差が生じている為である。また、 $t/t_0$ の値が二層に分布しているのも、この初期設定の誤差によるものである。数値を見ると、情報所持率0%時は目的地に辿り着くまでに円滑移動時の最大5倍の時間がかかったことがわかる。また(2)(3)はほぼ同じ形をとっており、混雑を避けて移動する歩行者エージェントの動きが元の距離の約2倍までの経路を移動しているのが分かる。また、 $d/d_0$ が高い位置に分布が集中していることから、発生点の一つからの移動が集中したことが予想される。(4)の場合は更に分布が広がっている。(5)と(6)については、分布が4.5~5.5の間で不自然に減っており、その後(1)~(4)には見られなかった大きな時間変動が分散しているのが見られる。この点は全て大田区が発生点の歩行者エージェントであり、混雑を避けて移動するエージェントが増えることで局所最適解が経路上に発生し、それを回避する動きが原因と考えられる。今回作成した回避モデルは局所最適解が確認出来次第、その場から暫くの間最短経路を進むことになる為、局所最適解が発生し易い経路を進む際に移動が限定され、このような分散が生じたと考えられる。



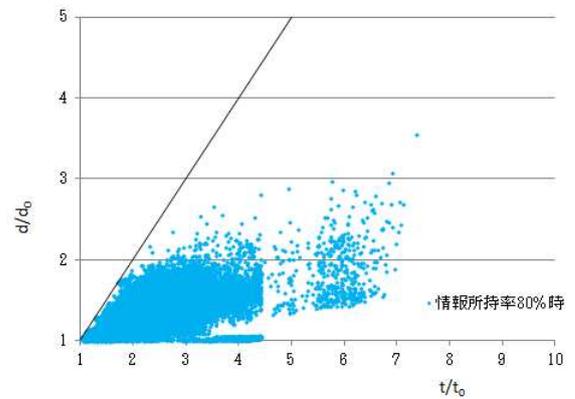
(1)情報所持率 0%の場合



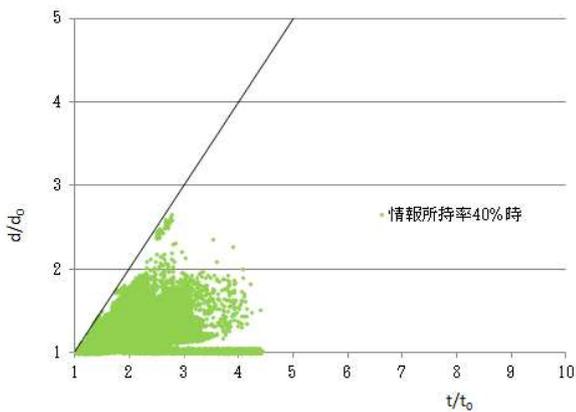
(4)情報所持率 60%の場合



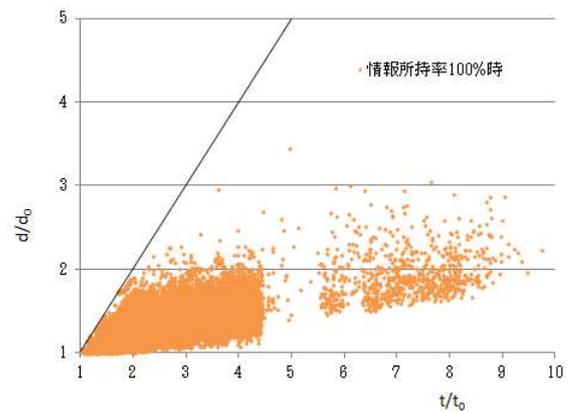
(2)情報所持率 20%の場合



(5)情報所持率 80%の場合



(3)情報所持率 40%の場合



(6)情報所持率100%の場合

図-16 情報所持率別の移動距離と移動時間の関係

## 第 6 章

### 結論

## 6. 結論

本研究では災害時における長距離移動者への移動経路の混雑状況伝達の効果を検証する為に、マルチエージェントシミュレータを用いたシミュレーションモデルを作成した。ダイクストラ法の計算手法によって経路を選択する基本的なエージェントモデルを作成し、さらに周囲の混雑度で経路の持つ要素を増減させる動的環境を反映させることで、最短経路選択行動と混雑回避経路選択の2つ動きを再現した。

この混雑回避経路選択がエージェントの移動時に発生する混雑状況に及ぼす効果を確認する為、横浜市民の東京都への昼間流出人口を対象に、東京都から横浜市への移動を想定したモデルに適用し、シミュレーションを行った。得られた出力結果より、混雑回避経路選択行動を取ったシミュレーション結果として目的地到達数の増加や移動経路の混雑緩和が見られたことから、混雑緩和への有効性を確認できた。これらのことから、帰宅行動時に帰宅経路の混雑情報を提供することで、混雑の軽減と移動の効率化が期待できるといえる。

今後の課題として、誤差の修正と使用したモデルの改善が挙げられる。今回の適用事例では情報所持率 80%時に最も目的地到達数が多かったが、これは情報所持率が高くなるにつれ局所最適解に影響される歩行者エージェントが多くなった事が原因と考えられる。本シミュレーションでは4.4にある通り、局所最適解離脱時に最短経路を辿って回避する、という動きを取っているが、この動きが一部のエージェントの動きに誤差を与えており、モデルの改善が必要である。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、皆川勝教授、佐藤安雄技師には多数の御助言、御指導を頂きました。皆川教授には日常生活でもお世話になり、御蔭様で充実した大学生活を過ごすことができました。また、佐藤技師には研究内容についての様々な御指摘や御意見を頂きました。修士2年の渡邊裕介氏、児玉恭子氏には研究、生活面や趣味等様々な面で大変お世話になりました。皆様の絶大なご支援、ご協力がなければ本研究はここまで成り立ちませんでした。ここに深く感謝の意を表します。

さらに、計画マネジメント研究室皆川班で一年を過ごした、修士1年の草柳満氏、阿部哲氏、4年生の皆さまにも様々な場面でお世話になり、深く感謝します。

最後に、精神的な支えであり、いろいろな面でバックアップしてくれた家族に心から感謝します。

## 付録 1. シミュレーション精度について

災害時の行動特性は、以下のものであるといわれている (1),8).

- ・大規模災害時には、大量の避難者が発生し、群集避難となる。
- ・災害時における避難は、家族を単位として行われる場合が圧倒的に多い。
- ・地域の間人間関係が緊密な地域では、近隣集団でまとまって避難する場合もある。
- ・歩行速度に影響を及ぼす要因として、避難者の群集密度、歩行目的、グループの人数、年齢などがある。
- ・他者の行動が避難行動に影響を与える。

これらの行動特性は歩行者を対象としたシミュレーションを作成する上で重要な要素であるが、今回行ったシミュレーションはエージェント総数が約36万と多く、モデルの動作へ反映させる為の個々の計算がシミュレーション実行時間に大きく影響を与えた。付表-1 に作成したモデルの動作速度を示す。実際に個別速度や周囲のエージェントへの追従の動きをエージェントに反映させた結果、計算時間が約50倍と大幅に増加したことから、採用したモデルは混雑回避に必要な最低限の基本的な動きに限定し、歩行エージェントの個々の要素は反映させていない。

付表-1 作成したモデルの動作速度について

	動作
採用モデル	約12時間で終了 (シミュレーション内の12時間, 720ステップ)
個別要素反映モデル	約24時間で20~30ステップ (シミュレーション内の20分~30分)

## 付録 2 ロボット(歩行者エージェント)のルール

Agt\_Init{

```
my.Direction = 270
my.speed = 0
my.speedave = 0
my.shiya = Universe.shiya
my.targetID = 9999
my.targetX = 9999
my.targetY = 9999
my.targetID2 = 9999
my.targetX2 = 9999
my.targetY2 = 9999
my.targetID2m2 = 0
my.targetID2m1 = 0
my.count20 = 0
my.fukki = false
my.sokudo = 0
```

Agt\_Step{

```
Dim one As Agt
Dim one2 as Agt
Dim markbox As Agtset
Dim markbox2 as Agtset
Dim exitbox As Agtset
Dim exitbox2 As Agtset
Dim targetID As Integer
Dim targetID2 As Integer
Dim targetX As Integer
Dim targetX2 As Integer
Dim targetX3 As Integer
Dim targetX4 As Integer
Dim targetY As Integer
Dim targetY2 As Integer
Dim hokousyasuu As integer
Dim hokousya As Agtset
```

```
my.suteppusuu = my.suteppusuu + 1
```

```
MakeOneAgtsetAroundOwn(markbox, my.shiya, Universe.二次元空間.マーカー, False)
//視野範囲にいるマーカーをmarkboxに格納する
MakeOneAgtsetAroundOwn(markbox2, my.shiya, Universe.二次元空間.マーカー, False)
//視野範囲にいるマーカーをmarkbox2に格納する
MakeOneAgtsetAroundOwn(exitbox, 3, Universe.二次元空間.本部, False)
//視野範囲にいる本部をexitboxに格納する
MakeOneAgtsetAroundOwn(exitbox2, 3, Universe.二次元空間.本部2, False)
//視野範囲にいる本部2をexitbox2に格納する
forward(1)
MakeOneAgtSetAroundOwn(hokousya, 1, Universe.二次元空間.ロボット, False)
//前方にいるロボットをhokousyaに格納する
forward(-1)
hokousyasuu = CountAgtSet(hokousya) //周囲の歩行者をカウント
my.color = color_red
```

```
if my.mokutekiti == 1 then
  for each one in markbox
    if one.color == Color_Red then
      my.targetID = one.MinID //目的マーカーのID, X, Yを保存
      my.targetX = one.MinX
      my.targetY = one.MinY
      my.shiya = Universe.shiya
    else
      one.color = Color_Red
    end if
  next one
end if
if my.mokutekiti == 2 then
  for each one2 in markbox2
    if one2.color == Color_Red then
```

```

        my.targetID2 = one2.MinID2          //目的マーカーの ID, X, Y を保存
        my.targetX2 = one2.MinX2
        my.targetY2 = one2.MinY2
        my.shiya = Universe.shiya
    else
        one2.color = Color_Red
    end if
next one2
end if

if my.mokutekiti == 1 then
for each one in markbox
    if (my.targetID == one.ID) then
        my.targetID = one.MinID          //ID 他を更新
        my.targetX = one.MinX
        my.targetY = one.MinY
    else
        my.Direction = GetDirection(my.X, my.Y, my.targetX, my.targetY, Universe.二次元空間) // 目的のマーカーへ向かう
    end if
next one
end if
if my.mokutekiti == 2 then
for each one2 in markbox2
    if (my.targetID2 == one2.ID) then
        my.targetID2m2 =my.targetID2m1   //////////// ■■■■■2 前まで ID 記憶
        my.targetID2m1 = my.targetID2
        my.targetID2 = one2.MinID2       //ID 他を更新
        my.targetX2 = one2.MinX2
        my.targetY2 = one2.MinY2
    else
        my.Direction = GetDirection(my.X, my.Y, my.targetX2, my.targetY2, Universe.二次元空間) // 目的のマーカーへ向かう
    end if
next one2
end if

Dim kakuritu as double
kakuritu = rnd()
    ///■■■■■復帰ポイント■■■■■
if my.targetID2 != my.targetID2m1 then
    if my.targetID2 == my.targetID2m2 then
        my.fukki = true
    end if
end if

if my.fukki == true then
    my.count20 =my.count20 + 1
    my.mokutekiti = 1
    if my.count20 == 20 then
        if kakuritu > 0.5 then
            my.mokutekiti = 2
            my.count20 = 0
            my.fukki = false
        else
            my.count20 = 0
        end if
    end if
end if

forward(my.sokudo)
my.speed = my.speed + my.sokudo
my.sokudo = 1 - 0.9*((hokousyasuu+1)/90)
if my.sokudo <= 0.1 then
    my.sokudo = 0.1
end if

dim hinannkannryousyaA as object

```



### 付録3 マーカー(経路点エージェント)のルール

```
Agt_Init{
    My.color = Color_Yellow
    My.Value = 9999
    My.Value2 = 9999
    my.shiya = 12
    my.shiya2 = 12
    my.red = False
    my.konnzatu = 0
}

Agt_Step{
    Dim one As Agt
    Dim temp As Double
    Dim temp2 As Double
    Dim length As Double
    Dim length2 As Double
    Dim markbox As Agtset
    Dim markbox2 As agtset
    Dim peopbox As Agtset
    Dim exitbox As Agtset
    Dim exitbox2 As agtset
    Dim robox As Agtset

    MakeOneAgtsetAroundOwn(markbox, my.shiya ,Universe.二次元空間.マーカー, False)
    //視野範囲に置いてあるマーカーを markbox に格納する
    MakeOneAgtsetAroundOwn(markbox2, my.shiya ,Universe.二次元空間.マーカー, False)
    //視野範囲に置いてあるマーカーを markbox2 に格納する
    MakeOneAgtsetAroundOwn(exitbox, 7 ,Universe.二次元空間.本部, False)
    //視野範囲に置いてある本部を exitbox に格納する
    MakeOneAgtsetAroundOwn(exitbox2,7,universe.二次元空間.本部2, False)
    //視野範囲に置いてある本部2 を exitbox2 に格納する
    MakeOneAgtsetAroundOwn(robox, 4,Universe.二次元空間.ロボット, False)
    //視野範囲にいるロボットを robox に格納する
    If CountAgtSet(robox)>=1 Then
        My.Color = Color_Red //被災者を見つけたら赤くなる
        my.red = True
    Else My.Color = Color_green
    End If

    if (my.Value >=900) and (my.Value!=9999) then //距離計算のループに入ったら
        ClearAgtSet(markbox)
        my.shiya =my.shiya + 1
    end if
    if (my.Value2 >=900) and (my.Value2!=9999) then //距離計算のループに入ったら
        ClearAgtSet(markbox2)
        my.shiya =my.shiya + 1
    end if
    if my.shiya >= 20 then
        my.shiya = 20
    end if
    My.Value = 9999 //自分の値をリセット
    My.Value2 = 9999 //自分の値をリセット

    if CountAgtSet(robox) >= 235 then
        my.konnzatu = 0.1
        my.color2 = color_red
    else if CountAgtSet(robox) >= 186 then
        my.konnzatu = 0.25
        my.color2 = color_yellow
    else if CountAgtSet(robox) >= 112 then
        my.konnzatu = 0.45
        my.color2 = color_green
    else if CountAgtSet(robox) >= 39 then
        my.konnzatu = 0.6
        my.color2 = color_blue
    else if CountAgtSet(robox) >= 0 then
        my.konnzatu = 1
        my.color2 = color_white
    end if
end if
end if
```

```

end if
end if

For each one in markbox //markboxに格納されているマーカーに対して繰り返し計算
if CountAgtSet(markbox)>=1 Then
    My.BMinID = My.MinID
    length = Round(sqr((My.X - one.X)*(My.X - one.X) + (My.Y - one.Y)*(My.Y - one.Y))) //距離計算
    temp = one.Value + length //ノード更新
    if (My.Value > temp) Then //最短経路選択
        My.Value = temp //My.Valueにtempの値を更新
        My.tMinID = one.ID //最短経路として選択した経路のマーカーのIDをtMinIDに一時保管
        My.tMinX = one.X //最短経路として選択した経路のマーカーのX座標をtMinXに一時保管
        My.tMinY = one.Y //最短経路として選択した経路のマーカーのY座標をtMinYに一時保管
    end if
end if
next one
For each one2 in markbox2 //markbox2に格納されているマーカーに対して繰り返し計算
if CountAgtSet(markbox2)>=1 Then
    My.BMinID2 = My.MinID2
    length2 = Round(sqr((My.X - one2.X)*(My.X - one2.X) + (My.Y - one2.Y)*(My.Y - one2.Y)))
//距離計算
temp2 = one2.Value2 + length2 / my.konnzatu //ノード更新
if (My.Value2 > temp2) Then //最短経路選択
    My.Value2 = temp2 //My.Valueにtempの値を更新
    My.tMinID2 = one2.ID //最短経路として選択した経路のマーカーのIDをtMinIDに一時保管
    My.tMinX2 = one2.X //最短経路として選択した経路のマーカーのX座標をtMinXに一時保管
    My.tMinY2 = one2.Y //最短経路として選択した経路のマーカーのY座標をtMinYに一時保管
end if
end if
next one2
My.MinID = My.tMinID //最短経路として選択した経路のマーカーのIDをMinIDに更新
My.MinX = My.tMinX //最短経路として選択した経路のマーカーのX座標をMinXに更新
My.MinY = My.tMinY //最短経路として選択した経路のマーカーのY座標をMinYに更新
My.MinID2 = My.tMinID2 //最短経路として選択した経路のマーカーのIDをMinID2に更新
My.MinX2 = My.tMinX2 //最短経路として選択した経路のマーカーのX座標をMinX2に更新
My.MinY2 = My.tMinY2 //最短経路として選択した経路のマーカーのY座標をMinY2に更新

For each one in exitbox //exitboxに格納されている本部に対して繰り返し計算
if CountAgtSet(exitbox)>=1 Then
    My.BMinID = My.MinID
    length = Round(sqr((My.X - one.X)*(My.X - one.X) + (My.Y - one.Y)*(My.Y - one.Y)))
//距離計算
temp = one.Value + length //ノード更新
if (My.Value > temp) Then //最短経路選択
    My.Value = temp //My.Valueにtempの値を更新
    My.tMinID = one.ID
//最短経路として選択した経路のマーカーのIDをtMinIDに一時保管
    My.tMinX = one.X //最短経路として選択した経路のマーカーのX座標をtMinXに一時保管
    My.tMinY = one.Y //最短経路として選択した経路のマーカーのY座標をtMinYに一時保管
end if
end if
next one
For each one2 in exitbox2 //exitbox2に格納されている本部に対して繰り返し計算
if CountAgtSet(exitbox2)>=1 Then
    My.BMinID2 = My.MinID2
    length2 = Round(sqr((My.X - one2.X)*(My.X - one2.X) + (My.Y - one2.Y)*(My.Y - one2.Y))) //距離計算
temp2 = one2.Value2 + length2 //ノード更新
if (my.Value2 > temp2) Then //最短経路選択
    My.Value2 = temp2 //My.Valueにtempの値を更新
    My.tMinID2 = one2.ID
//最短経路として選択した経路のマーカーのIDをtMinIDに一時保管
    My.tMinX2 = one2.X
//最短経路として選択した経路のマーカーのX座標をtMinXに一時保管
    My.tMinY2 = one2.Y
//最短経路として選択した経路のマーカーのY座標をtMinYに一時保管
end if
end if
next one2

My.MinID = My.tMinID //最短経路として選択した経路のマーカーのIDをMinIDに更新

```

```

My.MinX = My.tMinX           //最短経路として選択した経路のマーカーのX座標をMinXに更新
My.MinY = My.tMinY           //最短経路として選択した経路のマーカーのY座標をMinYに更新
My.MinID2 = My.tMinID2       //最短経路として選択した経路のマーカーのIDをMinIDに更新
My.MinX2 = My.tMinX2         //最短経路として選択した経路のマーカーのX座標をMinXに更新
My.MinY2 = My.tMinY2         //最短経路として選択した経路のマーカーのY座標をMinYに更新

```

```

For each one in markbox
  if (One.ID == My.MinID) Then //最短経路選択
    If My.Color == Color_Red Then //最短経路表示
      one.color = Color_Red
      AddAgt(My.リンク赤, one)
      RemoveAgt(My.リンク, one)
    else
      AddAgt(My.リンク, one)
    End if
  else
    RemoveAgt(My.リンク, one)
    RemoveAgt(My.リンク赤, one)
  end If

```

```

Next one
For each one2 in markbox2
  if (One2.ID == My.MinID2) Then //最短経路選択
    If My.Color == Color_Red Then //最短経路表示
      one2.color = Color_Red
      AddAgt(My.リンク赤2, one2)
      RemoveAgt(My.リンク2, one2)
    else
      AddAgt(My.リンク2, one2)
    End if
  else
    RemoveAgt(My.リンク2, one2)
    RemoveAgt(My.リンク赤2, one2)
  end If

```

```

Next one2
For each one in exitbox
  if (One.ID == My.MinID) Then //最短経路選択
    If My.Color == Color_Red Then //最短経路表示
      AddAgt(My.リンク赤, one)
      RemoveAgt(My.リンク, one)
    else
      AddAgt(My.リンク, one)
    End if
  else
    RemoveAgt(My.リンク, one)
    RemoveAgt(My.リンク赤, one)
  end If

```

```

Next one
For each one2 in exitbox2
  if (One2.ID == My.MinID2) Then //最短経路選択
    If My.Color == Color_Red Then //最短経路表示
      AddAgt(My.リンク赤2, one2)
      RemoveAgt(My.リンク2, one2)
    else
      AddAgt(My.リンク2, one2)
    End if
  else
    RemoveAgt(My.リンク2, one2)
    RemoveAgt(My.リンク赤2, one2)
  end If

```

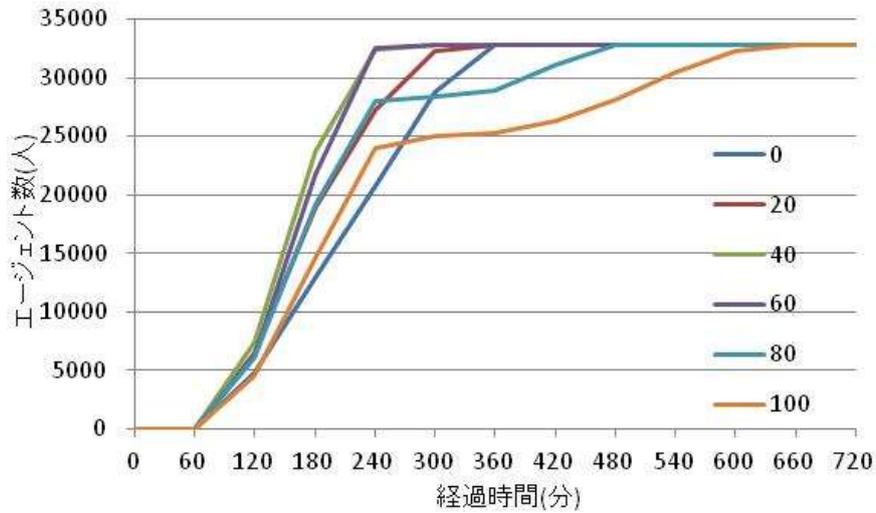
```

Next one2

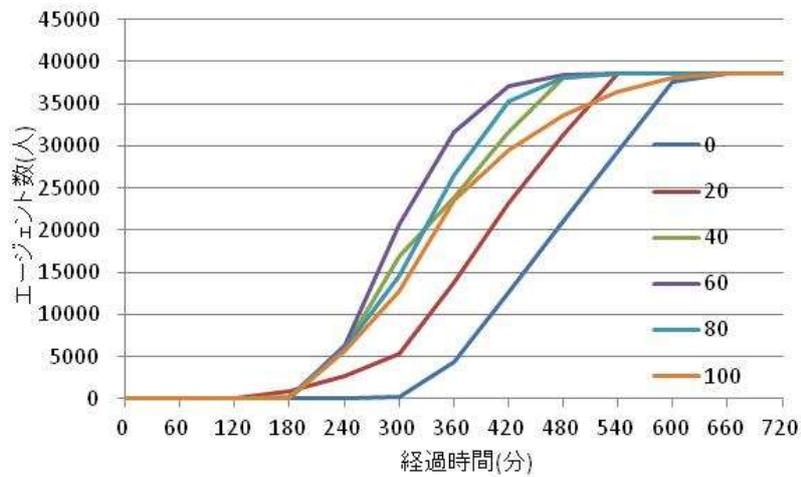
```

付録 4. 各区別の帰宅完了者数の時刻歴

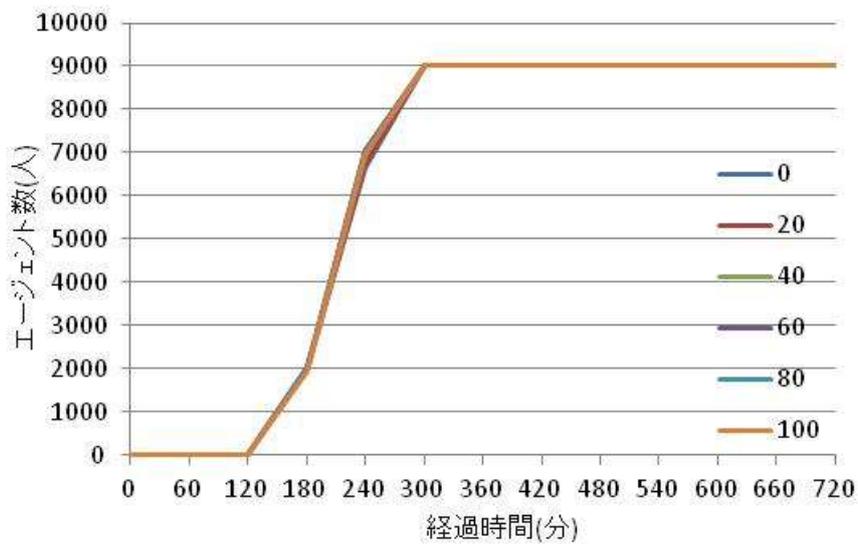
・大田区



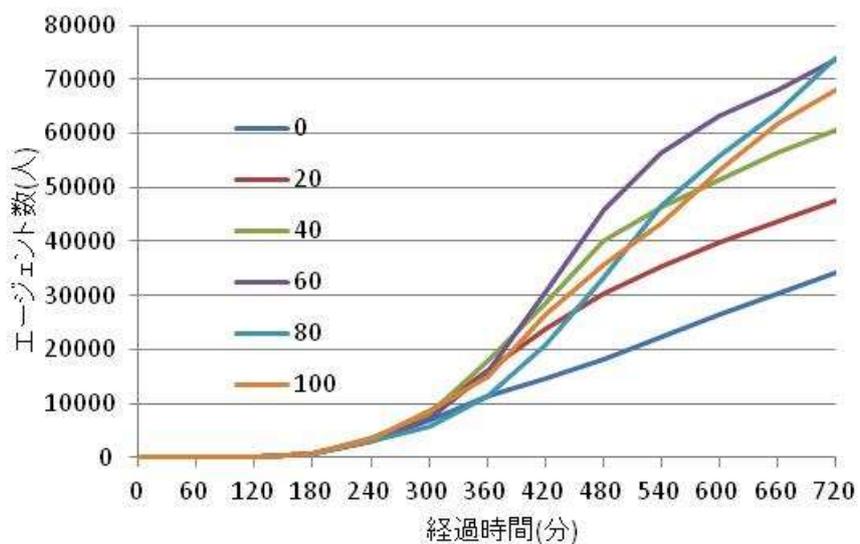
・品川区



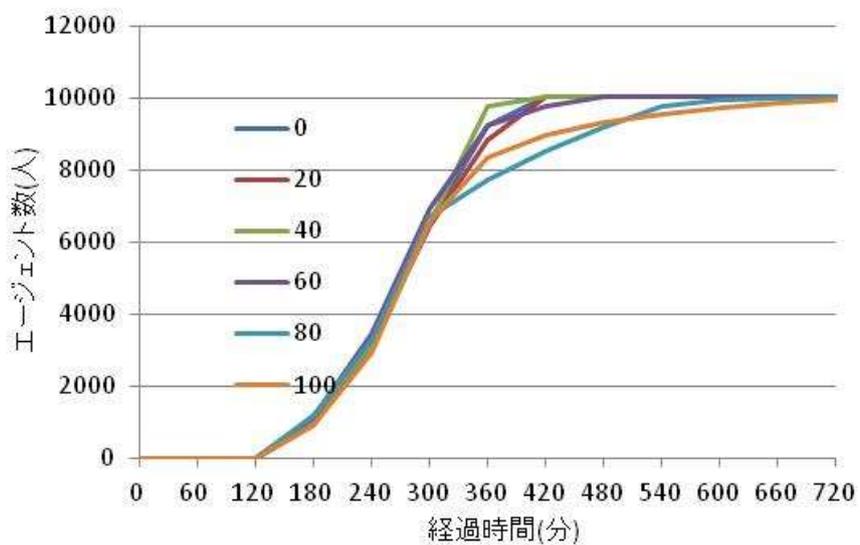
・世田谷区



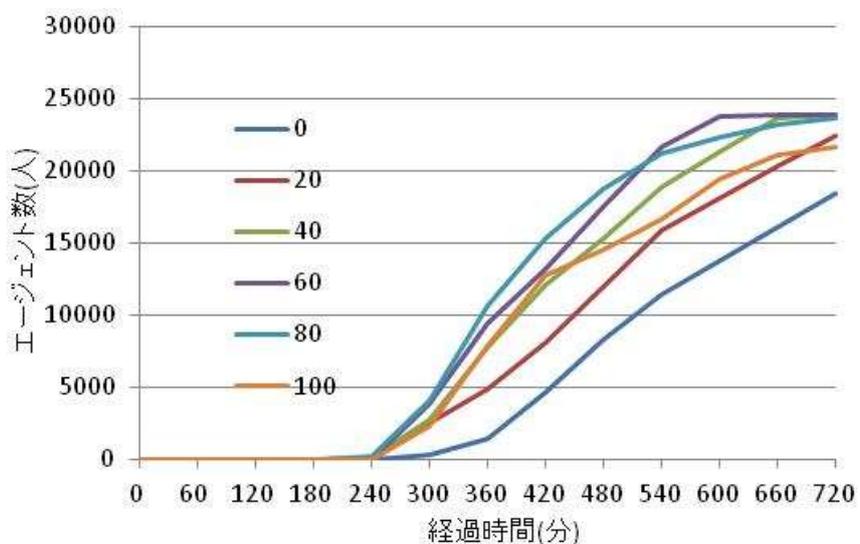
・港区



・目黒区

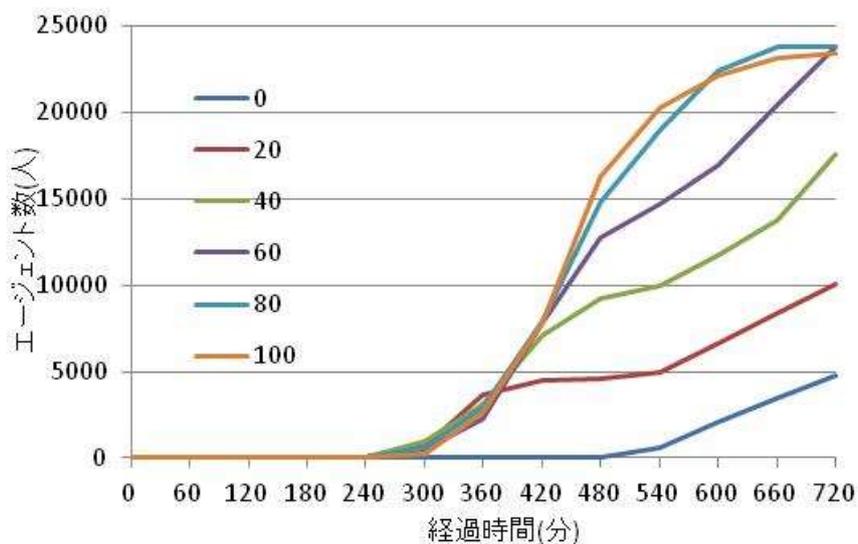


・渋谷区

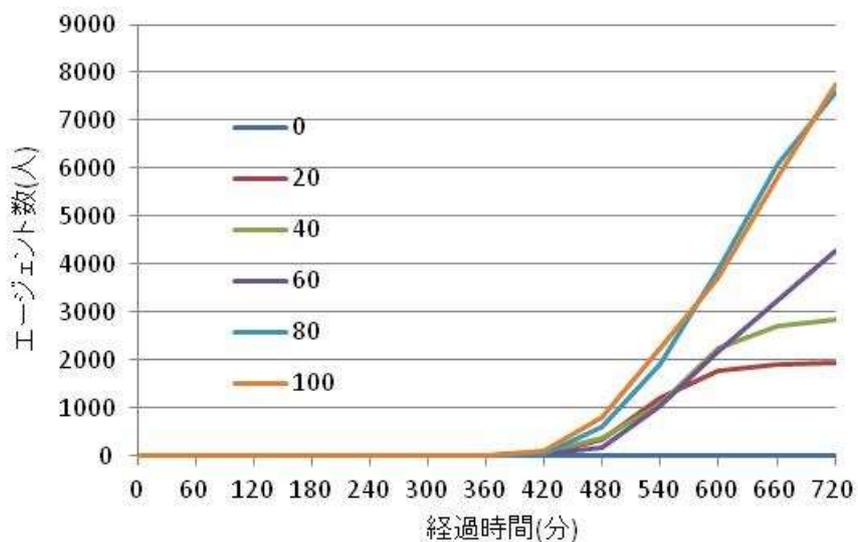




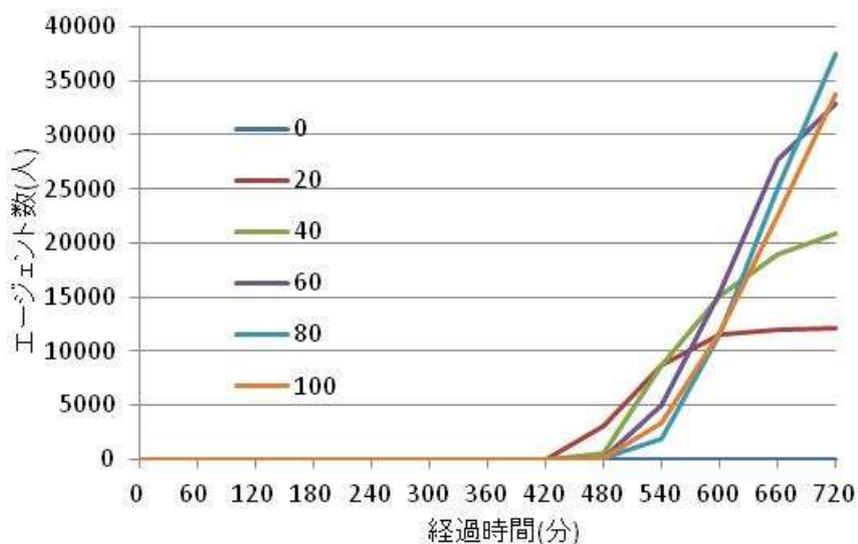
・新宿区



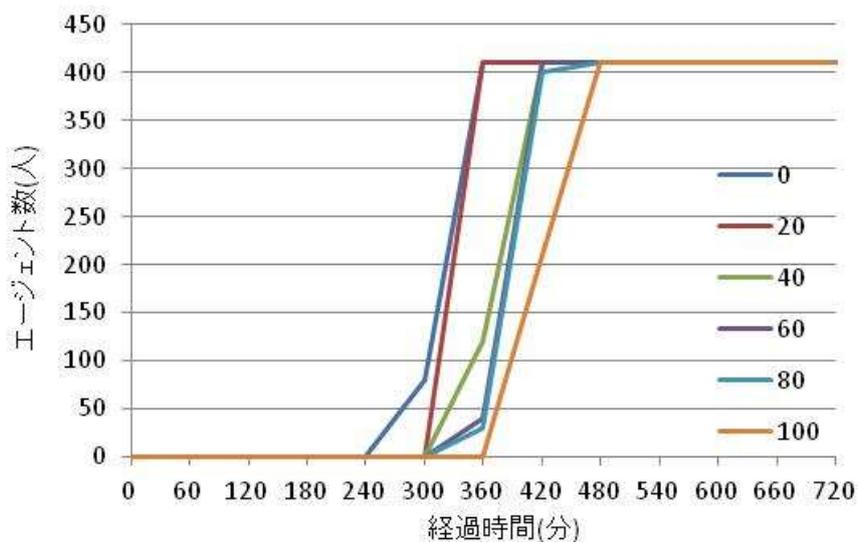
・江東区



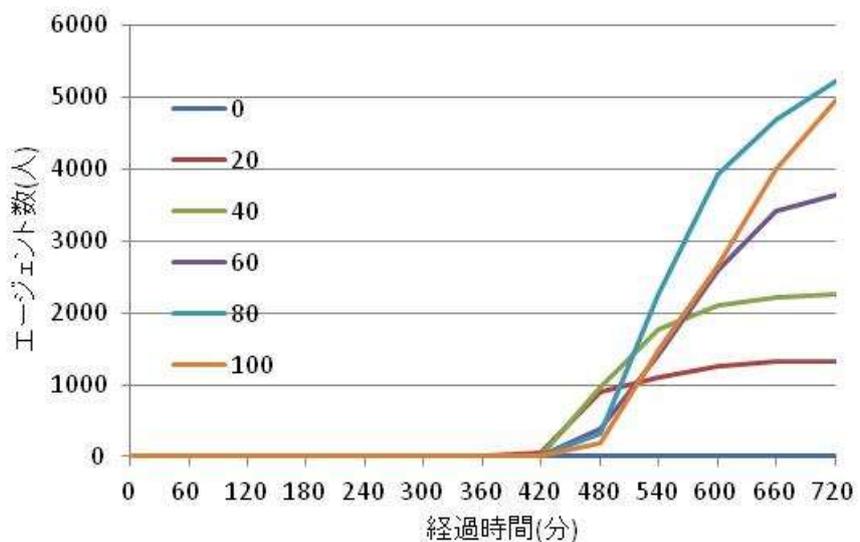
・千代田区



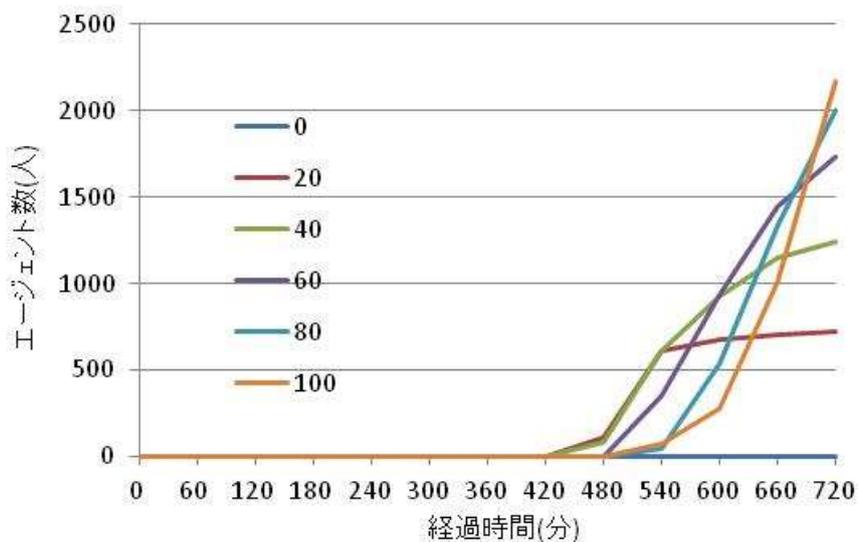
・練馬区



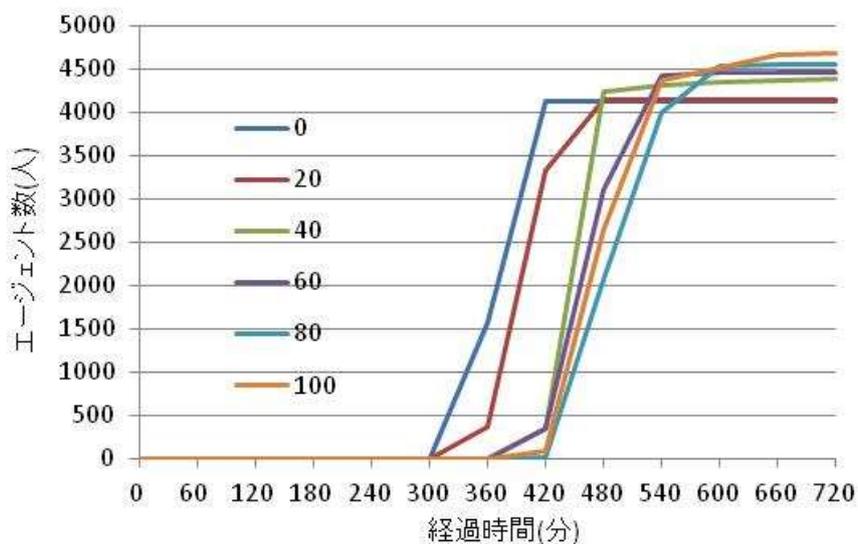
・文京区



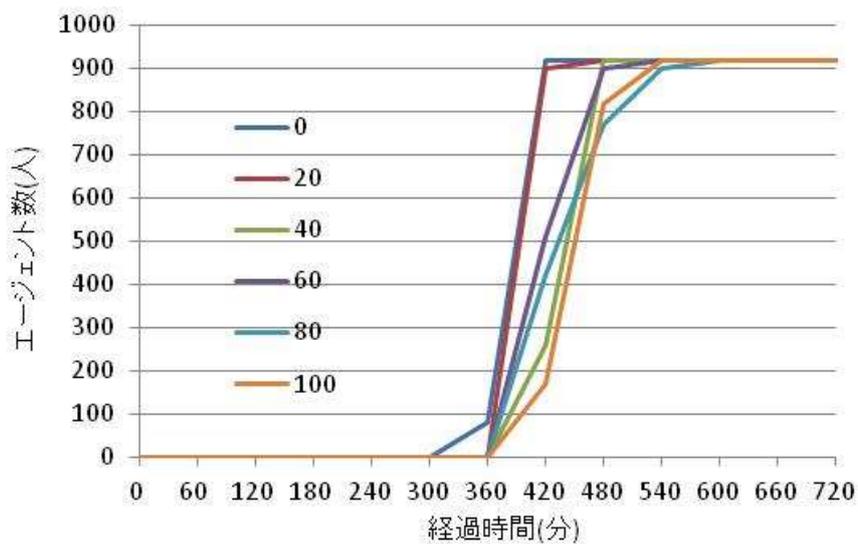
・墨田区



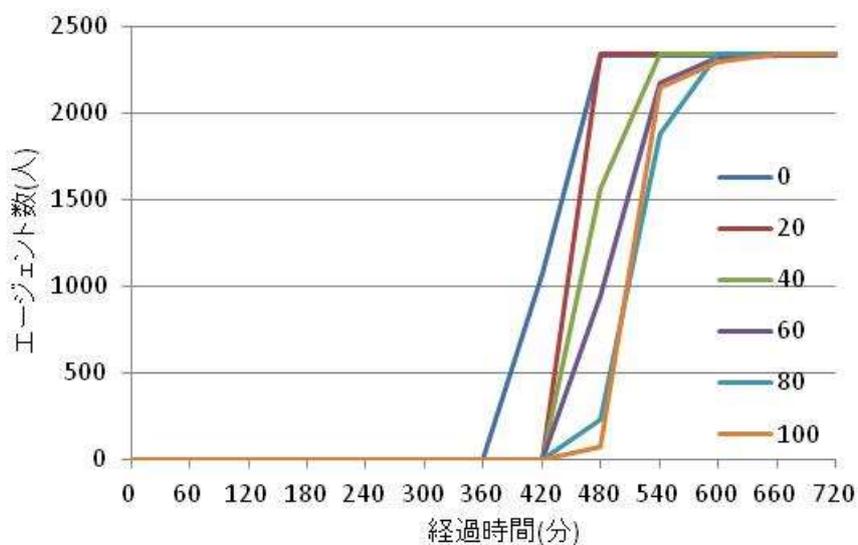
・豊島区



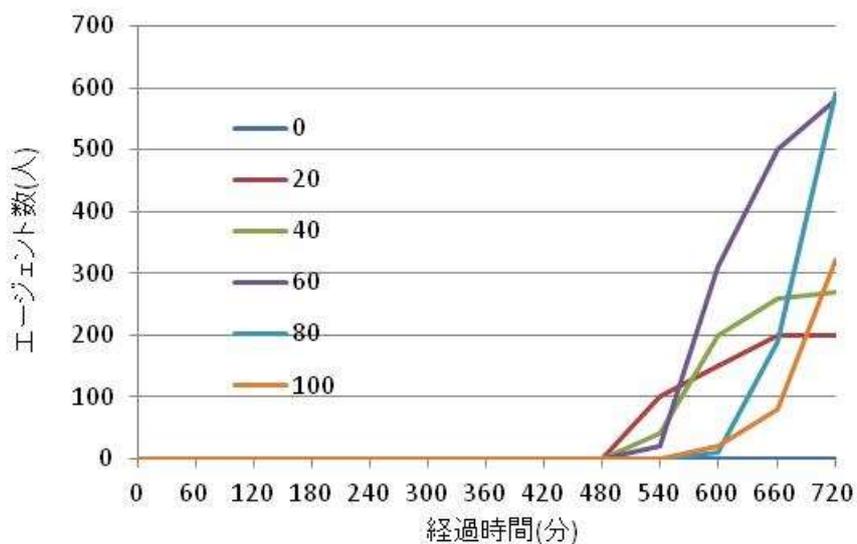
・板橋区



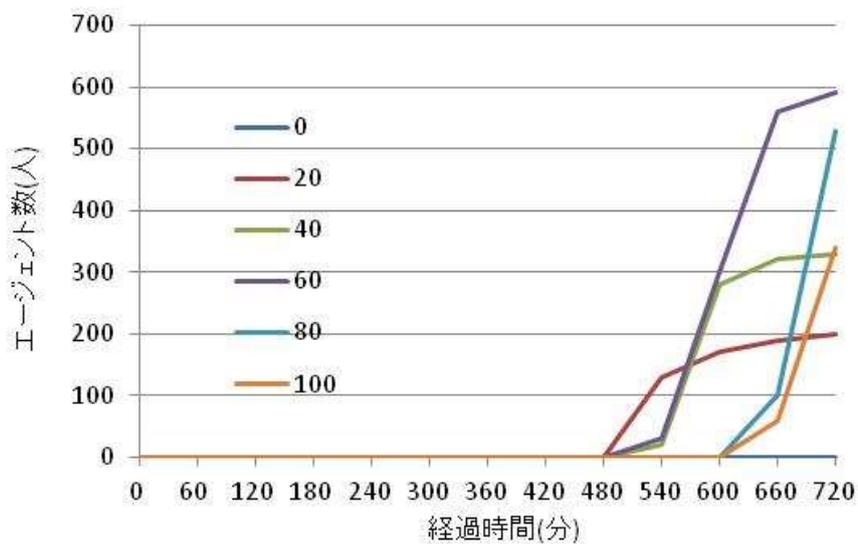
・北区



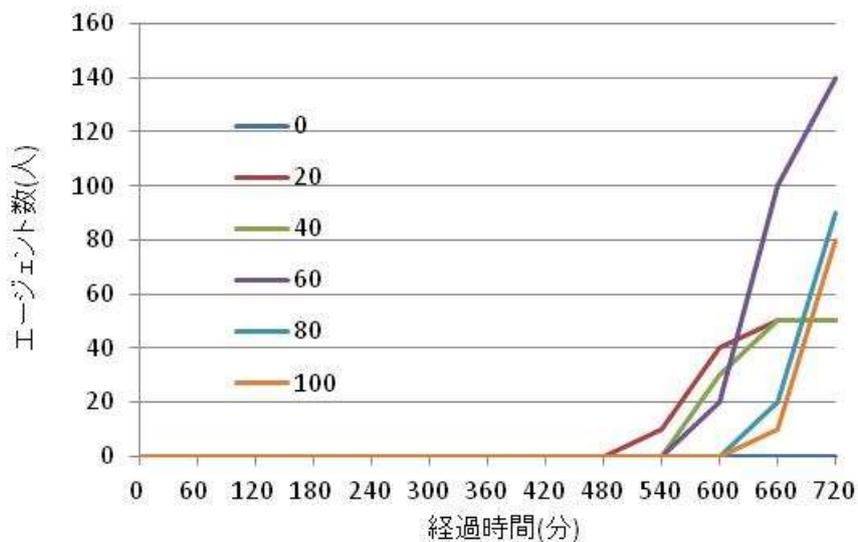
・江戸川区



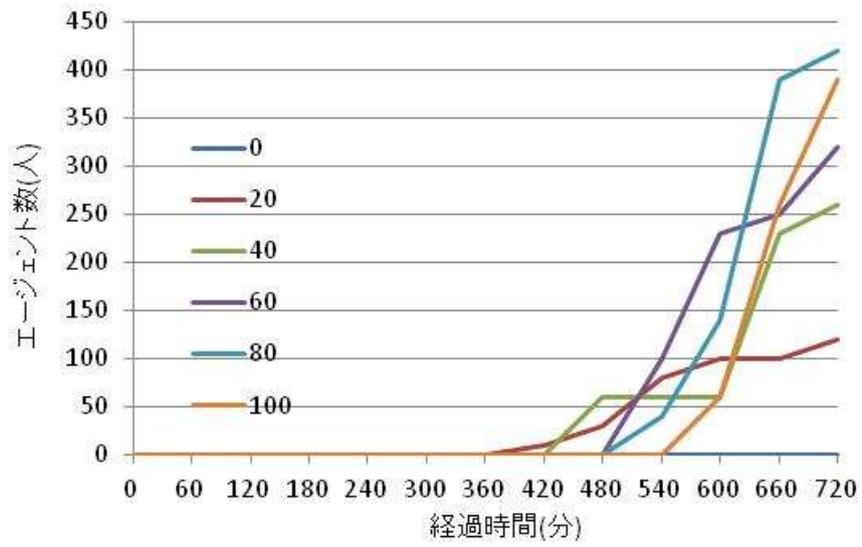
・荒川区



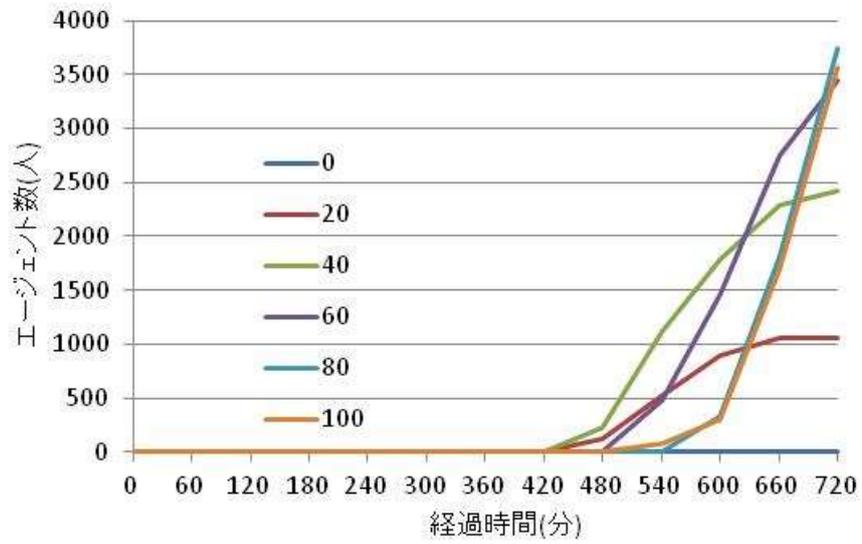
・葛飾区



・足立区



・台東区



# 震災後早期における混雑情報の提供が 帰宅行動に及ぼす効果

学生氏名 工藤 知徳  
指導教授 皆川 勝

近年普及の著しいICT技術の減災への活用を目的に、携帯端末を用いた災害時の歩行者向けに経路上の危険区域や情報を文章や画像・動画で共有できる情報共有システムとその運用方法、帰宅（避難）が最短時間で行える経路を誘導するナビゲーションを構想し、過去の事例や技術面への対応性で効果・実現可能性を考察した。基本的な帰宅行動の支援システムが歩行者に道路の混雑情報を提供する状況を想定し、マルチエージェントシミュレーション（MAS）を用いて混雑回避行動シミュレータを作成し、混雑情報の有無が避難行動に及ぼす効果を検証した。その結果、広域における帰宅困難者（長距離移動者）について情報利用によって経路混雑度の緩和と避難行動の効率化がみられた。

*Key Words : going-home action, multi agent simulation ,Information and  
Communication Technology,  
Congestion information,disaster prevention measures,*

## 1. 序論

### (1) 背景

近年ICT技術の進歩は目覚ましく、また、図-1に示すように携帯電話の所持率は高く<sup>1)</sup>、多くの携帯電話がインターネットによる相互データ通信とGPS機能を有し利用環境が整備されどこでもいつでも誰でもICTを利用出来るようになってきた。携帯端末は、その情報取得の利便性や可搬性から、災害発生時にも利用が想定され、地震速報を携帯端末に送信して注意を促すサービスや<sup>2)</sup>、交通情報提供、災害情報掲示板等の運用実績がある<sup>3)</sup>。特に、GPSによる位置把握機能を有する携帯端末は、多くの人々の移動行動を図るツールとして期待されている<sup>4)</sup>。

2011年3月11日に発生した東日本大震災時には、被害の復旧時に環境が整備されて試行された「通れたみちマップ」と呼ばれる車両通行実績の共有システムが、車両で被災地を移動する人々に有用

な情報を提供した<sup>5)</sup>。このシステムは車両の位置情報を効果的に活用した事例である。また、東京などの都心部では、公共交通機関が停止したために500万人を越す帰宅困難者を出す結果となった<sup>1)</sup>が、知人同士が互いの現在位置を相互に把握するシステムが活用されるなど<sup>6)</sup>、歩行者の位置情報の活用の例も見られるようになっている。

しかし、これらの一部の情報利用サービスが運用されたとはいえ、首都圏での交通網の麻痺や、帰宅困難者・滞留者の支援のための情報提供は充実しているとは言えない。また、最も被害の大きかった福島周辺でも情報提供が上手く行われず、情報提供サービスの運用の仕方や緊急避難速報の信頼性・実行環境の問題や環境整備について、多くの議論がなされている。これらを受けて政府の震災復興会議による提言では、今回初めて「減災」という言葉が公式に用いられ、ハード面だけではなく災害時の情報利用・運用等の「ソフト面の強化」を推進することになった<sup>1)</sup>。位置情報を活

用した歩行者向けの情報提供についてはこれから大いに期待される施策である。

## (2) 研究目的

以上の背景を踏まえ、位置情報機能を有する携帯端末向けの ICT の効果的な運用方法に関して検討する。特に災害時に大量に発生すると想定されている帰宅困難者や滞留者などの歩行者を支援する対象として、災害発生時にこれを支援するシステムのあるべき姿を考察する。

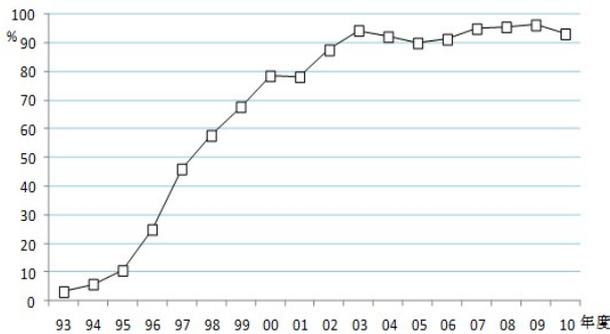


図-1 単身世帯を含む世帯別携帯電話所持率の推移<sup>1)</sup>

図-1 に示したように、95%の世帯が携帯電話を所持しており、幼児や一部の高齢者の方々を除いて、単独歩行する者は携帯電話を保持すると仮定することに無理はない。また、東日本大震災時には殆どの方が携帯電話の通話は出来なかったが、データ通信はほぼ問題なく利用することができ、今後予想される震災時にも利用できると思われる。

そこで、発災した場合に、携帯電話で把握される位置情報が提供されることを想定し、それを利用した支援システムを構想する。

また、震災後早期における混雑情報の提供が歩行による帰宅行動に及ぼす効果を検証するために、マルチエージェントシミュレーション (Multi-agent simulation. 以後 MAS と呼ぶ。) を用いて混雑回避行動シミュレータを作成する。これにより、歩行者の位置情報から把握される混雑情報を歩行者が利用することから、帰宅行動に及ぼす効果を検証する。

## (3) 既往の研究

広域範囲における歩行者シミュレーションはこれまでに数多く行われているが、歩行者を誘導するモデルを採用したシミュレーションは少なく、看板・掲示板等の固定標識や誘導員による避難誘導効果の研究が主であった<sup>8),9),10),11),12)</sup>。表-1はMASを用いた混雑情報を共有したシミュレーションの研究であり、本研究ではこれらを参考にモデル作成やモデル動作の検証を行った。最短経路検索手法は主に車の経路選択や交

通シミュレーションに用いられていたため、ダイクストラ法の計算手法を参考に<sup>8)</sup>、歩行者の経路選択モデルを作成した。

## 2. 位置情報を含む情報活用の現状と課題

### (1) 災害直後の情報ソースとしてのICT

東日本大震災後首都圏の人々に帰宅状況のアンケートを行った結果では、災害発生後情報を得るのに役立ったものは主にテレビであり、帰宅状況別に見ても、自宅に帰ろうとしたが途中で諦めた人には携帯電話のワンセグ機能が役立ったものの、全体でもテレビの方が役立ったことが分かる。しかし「今後どのような情報提供を望むのか」、という設問では、テレビやラジオに次いで携帯電話による情報提供の

表-1 MASを利用した避難行動

著者	年	タイトル	
笹岡ら <sup>8)</sup>	2011	災害現場における最短経路検索の構築	ラ
宮崎ら <sup>9)</sup>	2008	多様な群集の雑然とした状況を想定した地震時避難行動シミュレーション	地
永井ら <sup>10)</sup>	2008	テーマパークにおける混雑情報共有と混雑緩和に関するシミュレーション研究	遊
野澤ら <sup>11)</sup>	2005	マルチエージェントシステムを用いた歴史的市外地における津波避難シミュレーションモデルの構築	津
村木ら <sup>12)</sup>	2004	マルチエージェントモデルを用いた広域災害避難シミュレーションにおける情報伝達の有効性	広

需要が70%を超えた東日本大震災時にはテレビより携帯電話が役に立った状況は多いとは言えないものの、今後の情報提供手段として携帯端末には大きなニーズがあることがアンケートより明らかになった。特に帰宅意思がある人はほぼ全ての方が携帯電話による情報提供を望んでおり、今後予想される大地震までにこれらの環境を整備することが急務である。

### (2) 最短経路ナビゲーションについて

災害発生後大量に発生すると想定される長距離移動者・帰宅困難者を対象に、得られる混雑情報や道路閉塞状況等を基に、帰宅(避難)までの最短時間経路を誘導するナビゲーションは有効であると考えられる。これは現在広く使われているカーナビゲーションシステムの人への応用であり、最短距離経路だけではなく最短時間経路をナビゲーションすることで、混雑を回避し避難を円滑にすることができる。

ナビゲーションの利点として帰宅行動の円滑化、渋滞の緩和がある。人の経路選択時の行動特性として、幅員の広い経路・既知の経路を主に選択する、といったものがあるが、これによる同経

路への集中が過去の歩行者渋滞の原因となっていると考えられ、これらを適切に誘導することが帰宅行動の円滑化、二次災害の防止に繋がる。

このシステムが実現するためには、歩行者の位置情報が提供されることが必要であり、特に災害時に限り、位置情報取得を許可する仕組みが必要である。

### 3. マルチエージェントシステムを用いた帰宅行動シミュレーション

#### (1) シミュレーションによる効果検証

歩行者向け情報共有システムについては過去に実際に運用された事例は無い。そこで、最短経路ナビゲーションのシミュレーションを行い混雑軽減や移動の円滑化効果があるかを確かめることで、帰宅困難者向けの情報利用の有効性を実証する。また検証は多くの帰宅困難者の発生が予想される首都圏を対象に、誘導ナビゲーションの動きをモデル化してシミュレーションを行い、誘導の有無で結果の比較を行う。

#### (3) 経路選択モデル

本研究では通常の避難行動を想定した「最短経路選択モデル」と、各経路の混雑情報を随時取得して混雑を回避して移動することを想定した「混雑回避経路選択モデル」を作成した。

歩行者の持つ携帯電話のGPS機能を用いて、各歩行者の位置情報が逐次データセンター等に蓄積され、歩行者の道路上での密度が把握されるものとし、この情報は各自の持つ携帯電話等を用いて把握することが可能である状況を想定する。ただし、混雑情報はあくまで現状把握であり将来予測ではない。

この状況における、「最短経路選択モデル」とは、混雑状況を見せず、経路毎の帰宅までの距離をダイクストラ法で算出して算出される最短経路を辿るモデルである。一方の「混雑回避経路選択モ

デル」では、経路毎の帰宅までの距離をダイクストラ法で算出し、さらに周囲の混雑状況の影響を反映させた上で最短移動経路を選択する動的環境を組み込んだモデルである。

#### (4) シミュレーションの概要

##### a)ダイクストラ法を用いた最短経路選択

図-2 に歩行者エージェントの動きのイメージ図を、図-3 にシミュレーションの概要を流れ図で示す。

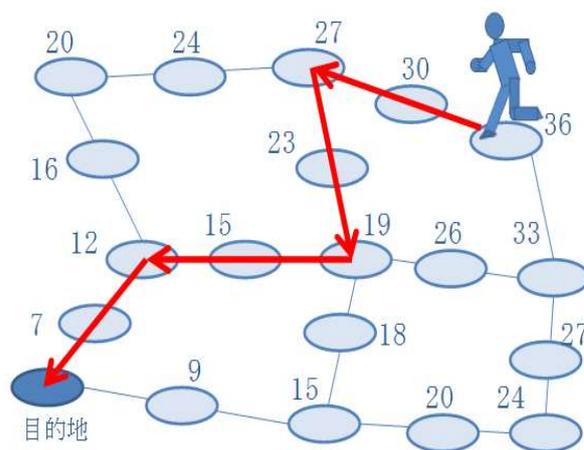


図-2 ダイクストラ法を用いた経路選択イメージ図

表-2 混雑度ランク別移動速度<sup>1)</sup>

混雑度 ランク	混雑状況〔0内は混雑度(人/m <sup>2</sup> )〕	混雑度 (人/m <sup>2</sup> )	歩行速度 (km/h)
A	群集なだれが引き起こされる(7.2) 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)	6~	~0.4
B	ラッシュアワーの駅の階段周辺(5.5-6.0) 危険性を伴う群集の圧力と心理的ストレス が大きくなり始める(5.4)	5.25~6	0.4~1
C	駅の連絡路のラッシュ時で極めて混雑した 状態(4.0-4.5) エレベータ内の満員状態(4.0-4.5)	4~5.25	1~2
D	劇場での満員状態(3.5-4.0) ラッシュ時のオフィス街路(2.5-3.0)	2.75~4	2~3
E	街路等で普通の歩行ができる(1.5-2.0)	1.5~2.75	3~4
F	街路で前の人を追い越せる状態 街路で普通に混雑せずに歩ける(0.5-1)	~1.5	4

歩行者エージェントは発生地点から目的地に向かって、対象とする道路ネットワーク上に密に配置された経路点エージェントを通して移動する。経路点エージェントは自分の位置から目的地までの最小距離を常に計算し、歩行者エージェントは視野の中にある経路点エージェントで最も小さい数値を持つものを順に辿って移動する。

##### b)混雑回避経路選択

目的地までの距離を時間に換算し、さらに混雑状況による時間の増加を反映させることで、混雑度による通過時間への影響や経路の閉塞状況を反映させるモデルを作成した。混雑情報の有無を表

すために、円滑移動時間 $T_1$ 及び混雑度を反映させた混雑移動時間 $T_2$ を各経路点エージェントに設定した。各経路点から目的地に混雑の無い時の歩行速度(4km/h)で歩行した時に要する時間を $T_1$ 、混雑度に応じた歩行速度で歩行した時に要する時間を $T_2$ とする。表-2は $T_2$ の計算時に利用した、内閣府の定める混雑度ランク別歩行速度である<sup>1)</sup>。経路への混雑度の影響として、混雑度ランク別歩行速度より、最も混雑した場合のランクAの移動速度が円滑時の10分の1であることから、移動にかかる時間を最大10倍として $T_2$ に反映させた。これにより、経路選択時に混雑した経路を回避して進むものと最短距離を進むものの2つの行動を表現した。

また、「混雑移動時間」に混雑を反映させる際に経路点エージェントを密に配置することで、一つの点における混雑度の影響を小さくして「混雑移動時間」の急激な変動を抑えた。また、これにより、

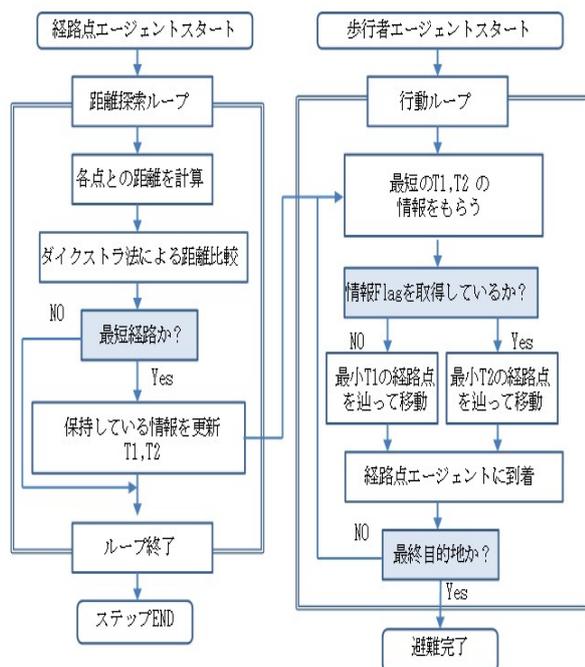


図-3 シミュレーションの概要

経路上の局所的な混雑と、範囲の広い慢性的な混雑を再現した。ただし、この計算手法は局所最適解に陥る可能性がある為、局所最適解に陥ったことを判

別し、次の i)~iii)の順に動いて離脱するモデルを作成した。図-4は分岐点における局所最適解の判別方法である。

i) 向かう経路点エージェント  $ID_i$  と一つ前の経路点エージェント  $ID_{i-1}$ 、二つ前の経路点エー

ジェント  $ID_{i-2}$  までを記憶し、 $ID_i \neq ID_{i-1}$  且つ  $ID_i = ID_{i-2}$  の時の振動の動きを局所最適解に陥っていると判断し、離脱 Flag を立てる。

ii) 離脱 Flag が立っている場合、 $x$  時間の間  $T_1$  に沿って移動させる。

( $x$ : 離脱時間, シミュレーションの規模で設定)

iii)  $x$  時間後、50%の確率で離脱 Flag を無くして  $T_2$  移動に戻る。戻らない時は ii) に戻る。

この動きにより、局所最適解に陥りやすい場所から強制的に離脱させることができた。しかし、この動きは経路選択時に大きな影響を与えるので、より洗練された解決方法が今後の課題である。

### c) 歩行者エージェントの歩行速度

歩行速度については、周囲の人数と道路幅員から、中央防災会議が定めた混雑度ランクの計算によって決定する。表-2の混雑度ランク別歩行速度を基に、式(1)の混雑度と式(2)の歩行速度を定めた。

$$C_{ij} = m_{ij} / A_{ij} \quad (1)$$

( $C_{ij}$ : 混雑度ランク,  $m_{ij}$ : 範囲内の人数,  $A_{ij}$ : 視野面積,  $i$ : 各WP,  $j$ : 各エージェントを表す。)

$$v = \begin{cases} 4 \text{ km/h} : C \leq 1 \\ 4 \sim 3 \text{ km/h} : 1 < C \leq 2 \\ 3 \sim 2 \text{ km/h} : 2 < C \leq 4 \\ 2 \sim 1 \text{ km/h} : 4 < C \leq 5 \\ 1 \sim 0.4 \text{ km/h} : 5 < C \leq 6 \\ 0.4 \text{ km/h} : 6 < C \end{cases} \quad (2)$$

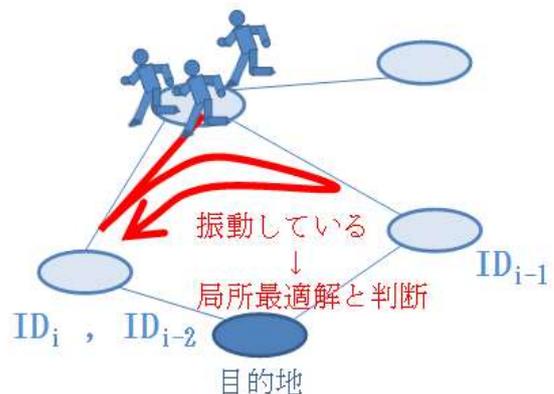


図-4 分岐点における局所最適解の判別

### (5) シミュレーション結果の評価方法

シミュレーション上の個々の歩行者エージェントについて、移動速度 $v_j$ 、移動距離: $d_j$ 、移動時間 $t_j$ 、目的地到達数 $n_j$ を計算し、最終目的地到着時にそれぞれ出力する。移動速度は平均移動速度を算出して出力される。

また、経路点エージェントの混雑度を表-2の

ランク別に色分けすることで経路の混雑状況を把握し、これを用いて時刻別、情報所持率別の経路混雑度の推移を調べる。

#### 4. 首都圏を対象とした適用事例

##### (1) シミュレーションの概要

我が国の人口の10%が集中する首都圏で、昼間時間帯で災害発生後の公共交通機関がマヒした状態を想定する。横浜市は市外への昼間流出人口が多く特に東京への割合が大きい事と、移動距離が長く、移動に多摩川を挟む為に橋を利用するというクリティカルパスがあるので交通情報の重要度が高く、効果の検証がし易いということが挙げられる。そこで、本シミュレーションの対象とする歩行者は、横浜市から東京都特別区部へ通勤・通学している者とした。シミュレーションの条件を以下に示す。

- ・歩行者発生対象地域：東京都特別区部 約 25,000(m) × 約 35,000(m)
- ・帰宅の目的地：横浜市北東部
- ・避難行動エージェント数：36,770
- ・1ステップ：1分
- ・シミュレーション時間：12時間(720ステップ)
- ・情報所持率：0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% (混雑情報を活用する歩行者の比率)
- ・道路幅員：3m (比較的広い歩道を想定)
- ・歩行者エージェントの行動完了の条件：最終目的地(横浜市)への到達

表-3 にパーソントリップ調査<sup>13)</sup>から抜粋した横浜市の東京都特別区への昼間流出人口数と、実際に発生させたエージェント数を示す。歩行者エージェント数はシミュレータの負荷軽減の為、10分の1とし、各計算時にも反映させた。

##### (2) 道路ネットワーク

首都圏内の避難を行う帰宅支援道路<sup>14)</sup>上に経路点エージェントを配置し、シミュレーションに使用する道路ネットワークを再現した。図-5に作成した道路ネットワークを示す。図の赤線が経路点エージェントによる道路ネットワークで、青円は各区のエージェント発生点の範囲である。帰宅支援道路とは、東京都が指定している、帰宅を支援する施設の整備が進められている幹線道路(第一京浜, 第二京浜, 中原街道, 玉川通り, 甲州街道, 青梅街道, 新青梅街道, 川越街道, 中山道, 北本通り, 日光街道, 水戸街道, 蔵前橋通り, 井の頭通り, 五日市街道, 環状7号線, 環状8号線)<sup>14)</sup>である。歩行者エージェントは各区の主要な駅を中心に半径1km(青円)内にランダムに発生させた。

### (3) 結果と考察

#### a) 情報所持率と帰宅完了者数の関係

図-6は情報所持率別の目的地到着者数の時刻歴で、図-7は情報所持率別目的地到着者数である。これを見ると、情報所持率が0%~60%まで目的地に到着できたエージェントが増加し、60%~100%の間は横ばいになっている。目的地到達者数が情報所持率0%時に比べて20%時でも3割、最も多い80%時には9割も増加していることから、今回の適用事例では、混雑情報の提供が帰宅困難者への支援として効果があったと言える。

表-3 横浜市の東京都特別区への昼間流出人口<sup>13)</sup>と発生エージェント数

	実際の人数	エージェント数
千代田区	61569	6157
中央区	41995	4200
港区	82240	8224
新宿区	23783	2378
文京区	8849	885
台東区	7276	728
墨田区	4066	407
江東区	10921	1092
品川区	38659	3866
目黒区	10052	1005
大田区	32767	3277
世田谷区	9020	902
渋谷区	23848	2385
中野区	1458	146
杉並区	1798	180
豊島区	4715	472
北区	2337	234
荒川区	955	96
板橋区	921	92
練馬区	405	41
足立区	699	70
葛飾区	224	22
江戸川区	1112	111
合計	367669	36770

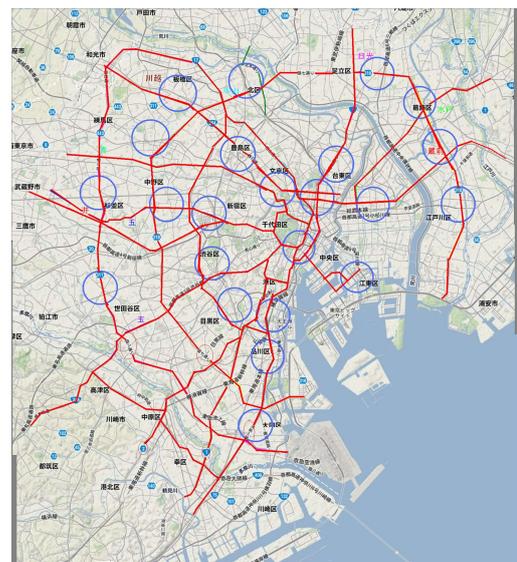


図-5 道路ネットワークと各発生点  
b) 各区別の目的地到着者数の変化

表-4は各区の発生エージェント数と、情報所持率別の目的地到着者数の変化をまとめたものである。情報所持率が0%時において、発生エージェント数が多く本適用事例で最も混雑する経路を通る千代田区や中央区は目的地到着者数が1割を下回り、文京区、台東区、墨田区、江東区、荒川区、足立区といった横浜市から遠方にある区も到着者数が0となっている。しかしこれらは情報所持率が大きくなるにつれ到着者数が増加し、千代田区においては最も多い80%時には発生エージェントの半分以上が目的地に辿りつけていることから、混雑回避の効果が表れているといえる。また、情報所持率が100%時に必ずしも目的地到着者数が最大になる訳ではなく、全ての人が混雑を回避することで移動の効率が悪くなる場合があることが分かった。

### c)情報所持率と混雑状況の関係

図-8に情報所持率が0%時、20%時、40%時、60%時のシミュレーション開始3, 6, 9時間経過後の経路混雑の様子を、表-2の混雑度ランク別に色分けして示す。図を見ると、開始3時間後はどの条件でも経路の混雑が一部に集中しているが、情報を所持することで混雑が他の経路に分散され、混雑が軽減されていることが分かる。また、情報所持率が60%の時から、本事例で最も混雑が集中している経路の混雑が緩和されていることが確認できた。

また、情報所持率が高くなると、遠回りの経路を進む場合が多くなっている。

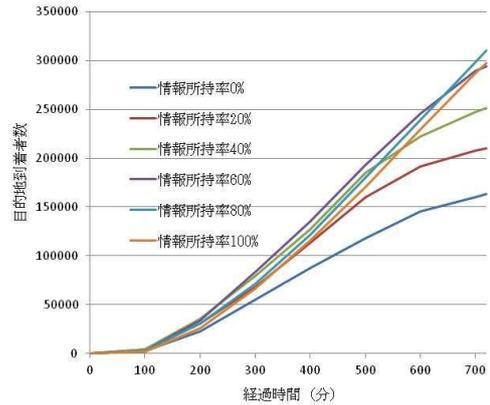


図-6 情報所持率別目的地到着者数の時刻歴

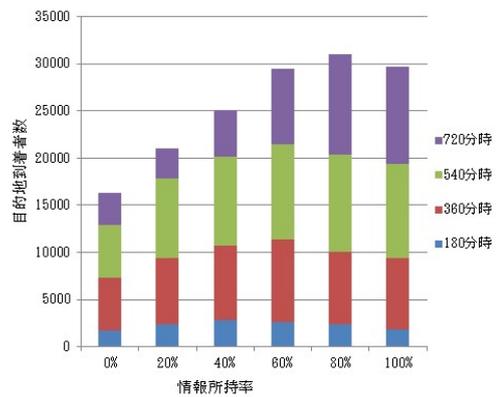
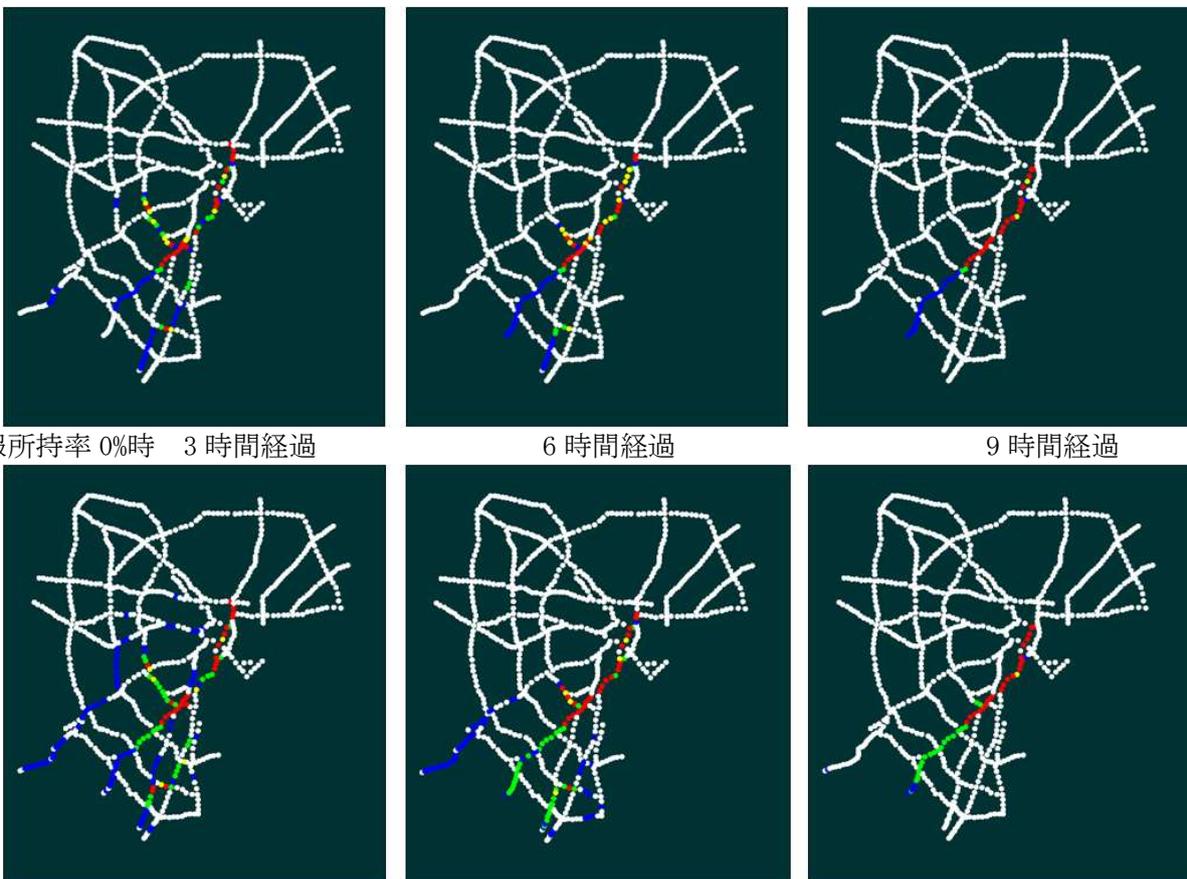


図-7 情報所持率別帰宅完了者数



情報所持率 20%時 3 時間経過



6 時間経過



9 時間経過



情報所持率 40%時 3 時間経過



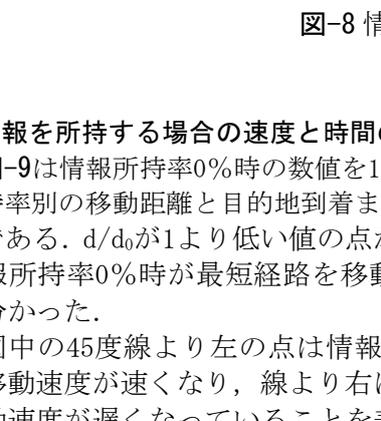
6 時間経過



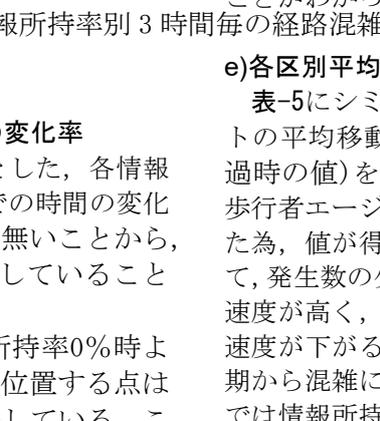
9 時間経過



情報所持率 60%時 3 時間経過



6 時間経過



9 時間経過

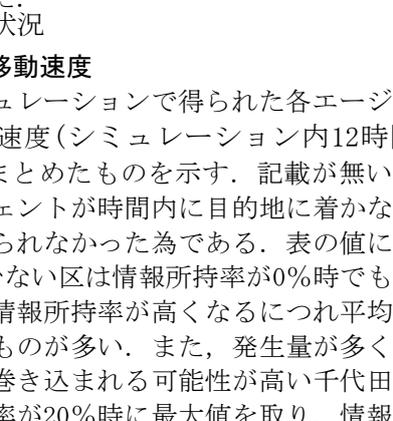


図-8 情報所持率別 3 時間毎の経路混雑状況

d) 情報を所持する場合の速度と時間の変化率

図-9は情報所持率0%時の数値を1とした、各情報所持率別の移動距離と目的地到着までの時間の変化率である。d/d<sub>0</sub>が1より低い値の点が無いことから、情報所持率0%時が最短経路を移動していることが分かった。

図中の45度線より左の点は情報所持率0%時より移動速度が速くなり、線より右に位置する点は移動速度が遅くなっていることを表している。これより、混雑を回避する経路を移動することで移動速度に増減がみられた。また、大田区と品川区、板橋区と練馬区の最短経路が同じことから、作成したシミュレーションの初期配置に移動速度が速くなり易い所・遅くなり易い所があることがわかった。

また、図中の矢印の向きに沿って情報所持率が高くなっている。これを見ると、大田区と品川区、板橋区と練馬区が比較的近くにあることから、矢印の動きに同じ傾向が見られた。大田区と品川区は60%から80%で矢印の向きが変わり移動速度が減少している。

これらのことから、歩行者エージェントの初期配置が移動時間や速度の増減に影響を与えている

e) 各區別平均移動速度

表-5にシミュレーションで得られた各エージェントの平均移動速度(シミュレーション内12時間経過時の値)をまとめたものを示す。記載が無い所は歩行者エージェントが時間内に目的地に着かなかった為、値が得られなかった為である。表の値について、発生数の少ない区は情報所持率が0%時でも移動速度が高く、情報所持率が高くなるにつれ平均移動速度が下がるものが多い。また、発生量が多く、初期から混雑に巻き込まれる可能性が高い千代田区等では情報所持率が20%時に最大値を取り、情報所持率が高くなると速度が下がっている。これは、情報を得ることで混雑を回避できた歩行者エージェントが20%時に多く、所持率が増え、目的地に到着する歩行者エージェントが増えることで平均値が下がっていると考えられる。

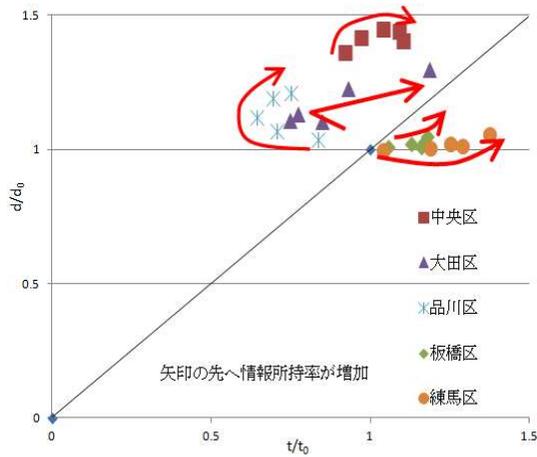


図-9 情報所持による速度変化率と時間変化率の関係 (抜粋)

f) 移動距離変動と移動時間の関係

情報所持率別の、円滑移動時の移動距離と平均移動速度を1とした、各歩行者エージェントの移動距離と平均移動時間の関係を図-10に示す。

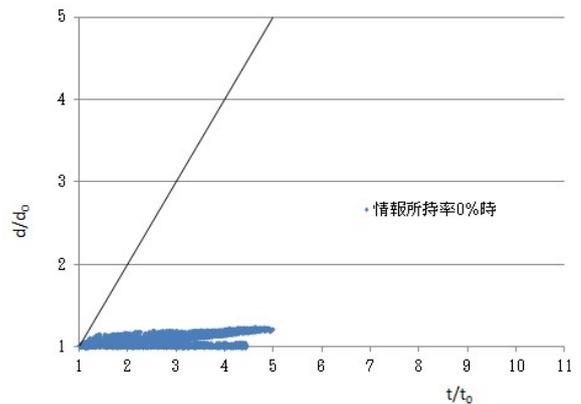
(1)の0%時を見ると、 $d/d_0$ の1周辺で $t/t_0$ が1~5の間に分布している。これは、全てのエージェントが最短距離を移動する為、移動距離に変化が現れない為で、本来であれば誤差無く $d/d_0$ が1になるはず

表-4 各区の発生エージェント数と情報所持率別目的地到着者数

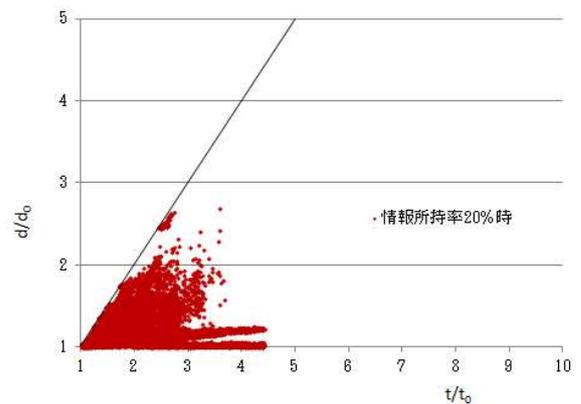
区別エージェント発生数	情報所持率別帰宅者数						
	0%	20%	40%	60%	80%	100%	
千代田区	6157	0	1210	2094	3288	3753	3370
中央区	4200	396	1113	1668	2367	2887	2868
港区	8224	3431	4759	6046	7349	7393	6786
新宿区	2378	477	1001	1758	2378	2378	2339
文京区	685	0	133	225	364	521	494
台東区	728	0	106	242	344	374	357
墨田区	407	0	72	124	173	200	217
江東区	1092	0	194	284	429	758	775
品川区	3866	3866	3866	3866	3866	3866	3866
目黒区	1005	1005	1005	1005	1005	1005	995
大田区	3277	3277	3277	3277	3277	3277	3277
世田谷区	902	902	902	902	902	902	902
渋谷区	2385	1843	2239	2383	2385	2362	2171
中野区	146	146	146	146	146	146	146
杉並区	180	180	180	180	180	180	180
豊島区	472	412	414	439	446	455	469
北区	234	233	234	234	234	234	234
荒川区	96	0	20	33	59	53	34
板橋区	92	92	92	92	92	92	92
練馬区	41	41	41	41	41	41	41
足立区	70	0	12	26	32	42	39
葛飾区	22	0	5	5	14	9	8
江戸川区	111	0	20	27	58	59	32
合計	36770	16301	21040	25097	29429	30987	29692

表-5 各別移動速度平均

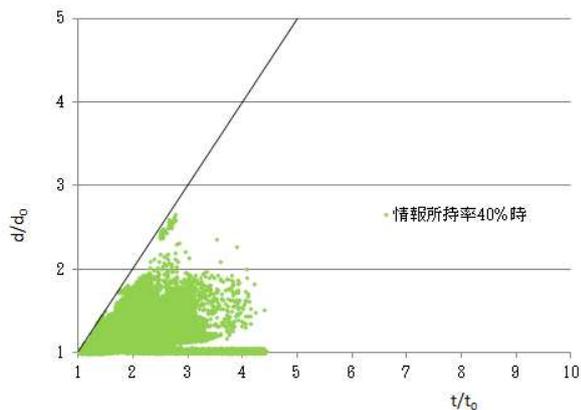
情報所持率	移動速度平均(km/h)					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
千代田区	-	3.34	3.08	2.85	2.76	2.68
中央区	1.80	2.68	2.59	2.46	2.33	2.25
港区	1.64	1.87	1.94	1.94	1.85	1.97
新宿区	1.73	2.51	2.42	2.44	2.63	2.74
文京区	-	3.55	3.40	3.11	3.09	2.98
台東区	-	3.15	3.13	2.89	2.77	2.63
墨田区	-	3.27	3.10	2.91	2.64	2.56
江東区	-	2.86	2.72	2.54	2.45	2.46
品川区	1.41	1.82	2.21	2.44	2.44	2.37
目黒区	2.51	2.56	2.64	2.69	2.63	2.58
大田区	1.75	2.22	2.41	2.35	2.28	2.07
世田谷区	3.10	3.13	3.19	3.19	3.20	3.22
渋谷区	1.68	2.06	2.31	2.52	2.71	2.61
中野区	3.61	3.76	3.77	3.75	3.81	3.70
杉並区	3.43	3.57	3.65	3.58	3.53	3.39
豊島区	3.78	3.57	3.32	3.31	3.26	3.37
北区	3.65	3.56	3.36	3.30	3.24	3.42
荒川区	-	3.46	3.45	3.35	3.26	3.11
板橋区	3.94	3.76	3.43	3.57	3.48	3.50
練馬区	4.00	3.85	3.39	3.27	3.16	3.08
足立区	-	3.33	3.08	2.91	2.65	2.60
葛飾区	-	3.57	3.35	3.21	3.30	3.20
江戸川区	-	3.52	3.37	3.26	3.20	3.02



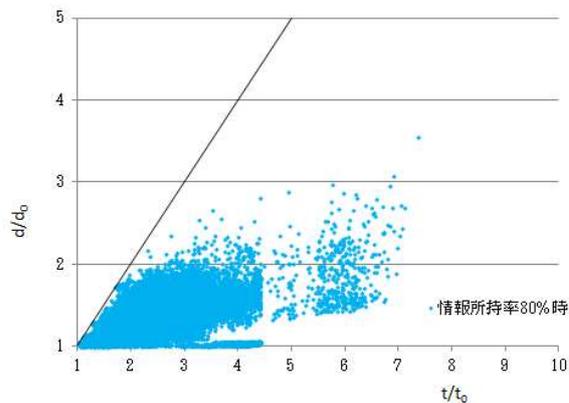
(1)情報所持率 0%の場合



(2)情報所持率 20%の場合



(3)情報所持率 40%の場合

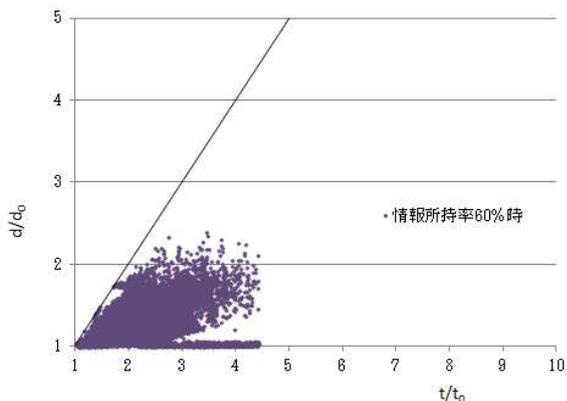


(5)情報所持率 80%の場合

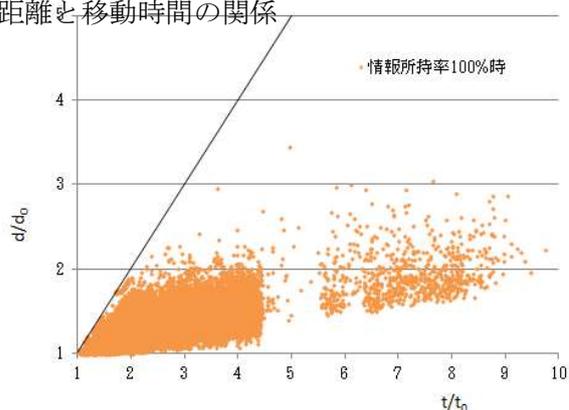
図-10 情報所持率別の移動距離と移動時間の関係

である。しかし、今回の計算では各エージェントの初期値としての目的地までの距離を発生点の中心に設定しており、最大 1km の誤差が生じている為である。また、 $t/t_0$  の値が二層に分布しているのも、この初期設定の誤差によるものである。

数値を見ると、情報所持率 0%時は目的地に辿り着くまでに円滑移動時の最大 5 倍の時間がかかったことがわかる。また(2)(3)はほぼ同じ形をとっており、混雑を避けて移動する歩行者エージェントの動きが元の距離の約 2 倍までの経路を移動しているのが分かる。また、 $d/d_0$  が高い位置に分布が集中していることから、発生点の一つからの移動が集中した



(4)情報所持率 60%の場合



(6)情報所持率100%の場合

ことが予想される。(4)の場合は更に分布が広がっている。(5)と(6)については、分布が 4.5~5.5 の間で不自然に減っており、その後(1)~(4)には見られなかった大きな時間変動が分散しているのが見られる。この点は全て大田区が発生点の歩行者エージェントであり、混雑を避けて移動するエージェントが増えることで局所最適解が経路上に発生し、それを回避する動きが原因と考えられる。今回作成した回避モデルは局所最適解が確認出来次第、その場から暫くの間最短経路を進むことになる為、局所最適解が発生し易い経路を進む際に移動が限定され、このような分散が生じたと考えられる。

## 5. 結論

本研究では災害時における長距離移動者への移動経路の混雑状況伝達の効果を検証する為に、マルチエージェントシミュレータを用いたシミュレーションモデルを作成した。ダイクストラ法の計算手法によって経路を選択する基本的なエージェントモデルを作成し、さらに周囲の混雑度で経路の持つ要素を増減させる動的環境を反映させることで、最短経路選択行動と混雑回避経路選択の2つ動きを再現した。

この混雑回避経路選択がエージェントの移動

時に発生する混雑状況に及ぼす効果を確認する為、横浜市民の東京都への昼間流出人口を対象に、東京都から横浜市への移動を想定したモデルに適用し、シミュレーションを行った。得られた出力結果より、混雑回避経路選択行動を取ったシミュレーション結果として目的地到達数の増加や移動経路の混雑緩和が見られたことから、混雑緩和への有効性を確認できた。これらのことから、帰宅行動時に帰宅経路の混雑情報を提供することで、混雑の軽減と移動の効率化が期待できるといえる。

今後の課題として、誤差の修正と使用したモデルの改善が挙げられる。今回の適用事例では情報所持率80%時に最も目的地到達数が多かったが、これは情報所持率が高くなるにつれ局所最適解に影響される歩行者エージェントが多くなった事が原因と考えられる。本シミュレーションでは4. (4)にある通り、局所最適解離脱時に最短経路を辿って回避する、という動きを取っているが、この動きが一部のエージェントの動きに誤差を与えており、モデルの改善が必要である。

**謝辞：**本研究を行うにあたり、都市工学専攻の皆川勝教授にはご多忙な中、ご指導を頂き本当に感謝しております。また、副査をしていただく高松亨教授、片田敏行教授、白旗弘実准教授に心から感謝の意を表します。

#### 〔付録〕

##### シミュレーション精度について

災害時の行動特性は、以下のようであるといわれている<sup>1)</sup>。

- ・大規模災害時には、大量の避難者が発生し、群集避難となる。
- ・災害時における避難は、家族を単位として行われる場合が圧倒的に多い。
- ・地域の間関係が緊密な地域では、近隣集団でまとまって避難する場合もある。
- ・歩行速度に影響を及ぼす要因として、避難者の群集密度、歩行目的、グループの人数、年齢等がある。
- ・他者の行動が避難行動に影響を与える。

これらの行動特性は歩行者を対象としたシミュレーションを作成する上で重要な要素であるが、今回行ったシミュレーションは当初エージェント総数が約 36 万と多く、モデルの動作へ反映させる為の個々の計算がシミュレーション実行時間に大きく影響を与えた為、シミュレータへの負荷を軽減する為、総数を 10 分の 1 に減らした。

付表-1 に作成したモデルの動作速度を示す。実際に個別の要素をエージェントに反映させた結果、計算時間が約 50 倍と大幅に増加したことから、採用したモデルは混雑回避に必要な最低限の基本的な動きに限定し、歩行エージェントの個々の要素は反映させていない。

付表-1 作成したモデルの動作速度について

	動作
採用モデル	約12時間で終了 (シミュレーション内の12時間、720ステップ)
個別要素反映モデル	約24時間で20~30ステップ (シミュレーション内の20分~30分)

#### 参考文献

- 1) 内閣府：中央防災会議、<http://www.bousai.go.jp/chubou/chubou.html>, 2012.1.
- 2) 緊急地震速報：<http://www.nttdocomo.co.jp/service/safety/areamail/>, 2012.1.
- 3) YAHOO!JAPAN 震災情報東日本大震災：<http://info.shinsai.yahoo.co.jp/index.html>, 2012.1.
- 4) 廣井悠：東日本大震災における首都圏の帰宅困難者について、東京大学, 2011.
- 5) G-BOOK「通れた道マップ」：<http://map.g-book.com/>, 2012.1.
- 6) Google latitude：<http://www.google.co.jp/mobile/latitude/>, 2012.1.
- 7) 日本化学未来館 Case#3.11：<http://case311.miraikan.jst.go.jp/>, 2012.1.
- 8) 笹岡早姫：災害現場における最短経路探索システムの構築、第 11 回 MAS コンペティションアブストラクト, pp1-2, 2011.
- 9) 宮嶋宙, 堀宗朗, 小国健二：多様な群集の雑然とした状況を想定した地震時避難行動シミュレーション, 地震工学論文集, pp765-772, 2007.
- 10) 永井聖也, 尾田剛, 佐藤彰真：テーマパークにおける混雑情報共有と混雑緩和に関するシミュレーション研究, MAS コミュニティ, <http://mas.kke.co.jp/>, 2012.1.
- 11) 野澤征司, 渡辺公次郎, 近藤光男：マルチエージェントシステムを用いた歴史的市街地における津波避難シミュレーションモデルの構築, 土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, pp.230-231, 2005.
- 12) 村木雄二：マルチエージェントモデルを用いた広域災害避難シミュレーションにおける情報伝達の有効性, 情報処理学会研究報告 2004 号, pp69-72, 2004.永井聖也, 尾田剛, 佐藤彰真：テーマパークにおける混雑情報共有と混雑緩和に関するシミュレーション研究, MAS コミュニティ, <http://mas.kke.co.jp/>, 2012.1.
- 13) 東京都防災ホームページ：<http://www.bousai.metro.tokyo.jp/index.html>, 2012.1.
- 14) 東京都市圏交通計画協議会：<http://www.tokyo-pt.jp/index.html>, 2012.1.

EFFECTIVENESS OF CONGESTION INFORMATION ON GOING-HOME  
ACTION IN SERVICE DISRUPTION OF PUBLIC TRANSPORTATION

Tomonori KUDO, supervised by Masaru MINAGAWA

These days, the diffusion rate of the mobile phone is over 95%, and the position information detection function by the Global Positioning System is equipped in many mobile phones. When public transportation facilities stop in the metropolitan area by an earthquake, many victims unable to return home have forced going home on foot, and it becomes a situation where a pedestrian overflows on a road. In this situation, Pedestrians' confusion information is effective in order to make going-home altitudes more smooth.

In this study, I suppose the situation that all the pedestrians' position information is automatically detected and accumulated, and then pedestrians can use the confusion information which changes time to time. Then, by using a multi agent system, I examined how going-home actions would be affected by offering confusion information for those who go home in the direction of Yokohama from Tokyo.

## 参考文献

- 1) 内閣府：中央防災会議，<http://www.bousai.go.jp/chubou/chubou.html>，2012.1.
- 2) 緊急地震速報：<http://www.nttdocomo.co.jp/service/safety/areamail/>，2012.1.
- 3) YAHOO!JAPAN 震災情報東日本大震災：  
<http://info.shinsai.yahoo.co.jp/index.html>，2012.1.
- 4) 廣井悠：東日本大震災における首都圏の帰宅困難者について，東京大学，2011.
- 5) G-BOOK「通れた道マップ」：<http://map.g-book.com/>，2012.1.
- 6) Google latitude：<http://www.google.co.jp/mobile/latitude/>，2012.1.
- 7) 日本化学未来館 Case#3.11：<http://case311.miraikan.jst.go.jp/>，2012.1.
- 8) 土木学会：阪神・淡路大震災調査報告，1998.2.
- 9) Google：Google street view，<http://maps.google.co.jp/>，2012.1.
- 10) ニチレキ株式会社：舗装管理システム，<http://www.nichireki.co.jp/index.html>，2012.1.
- 11) 笹岡早姫：災害現場における最短経路探索システムの構築，第11回 MAS コンペティションアブストラクト，pp1-2.2011.
- 12) 宮嶋宙，堀宗朗，小国健二：多様な群集の雑然とした状況を想定した地震時避難行動シミュレーション，地震工学論文集，pp765-772，2007.
- 13) 永井聖也，尾田剛，佐藤彰真：テーマパークにおける混雑情報共有と混雑緩和に関するシミュレーション研究，MAS コミュニティ，<http://mas.kke.co.jp/>，2012.1.
- 14) 野澤征司，渡辺公次郎，近藤光男：マルチエージェントシステムを用いた歴史的市街地における津波避難シミュレーションモデルの構築，土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集，pp.230-231，2005.
- 15) 村木雄二：マルチエージェントモデルを用いた広域災害避難シミュレーションにおける情報伝達の有効性，情報処理学会研究報告 2004 号，pp69-72，2004.
- 16) 東京都市圏交通計画協議会：<http://www.tokyo-pt.jp/index.html>，2012.1.
- 17) 東京都防災ホームページ：<http://www.bousai.metro.tokyo.jp/index.html>，2012.1.