

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）が最短時間ででき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¹⁾、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²⁾、交通情報提供、災害情報掲示板等の運用実績がある³⁾。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⁴⁾。

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⁵⁾。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¹⁾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⁶⁾、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¹⁾。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。

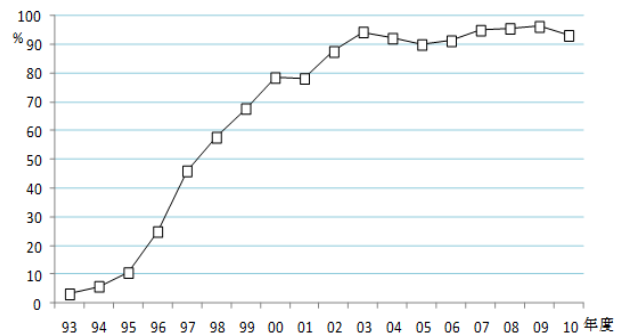


図-1 単身世帯を含む世帯別携帯電話所持率の推移¹⁾

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人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⁷⁾、今後予想される震災時にも利用できると考えられる。

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^{8),9),10),11),12)}。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⁸⁾、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

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。

(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。

表-1 MASを利用した避難行動の既往の研究

著者	年	タイトル	成果
笹岡ら ⁸⁾	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 ⁹⁾	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 ¹⁰⁾	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 ¹¹⁾	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 ¹²⁾	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。

(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。

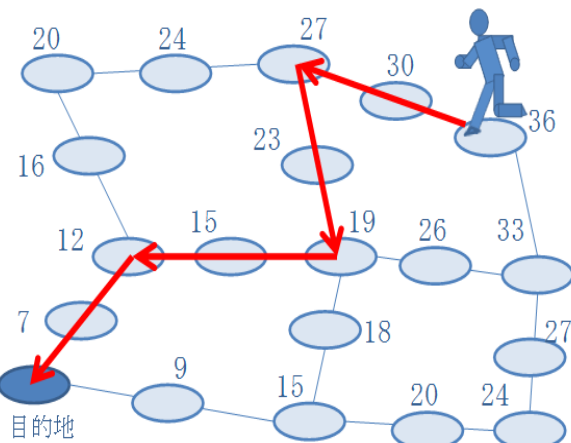


図-2 ダイクストラ法を用いた経路選択イメージ図

表-2 混雑度ランク別移動速度¹⁾

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	群集などが引き起こされる(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) エレベーター内の満員状態(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 街路で普通に混まずに歩ける(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¹⁾。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、

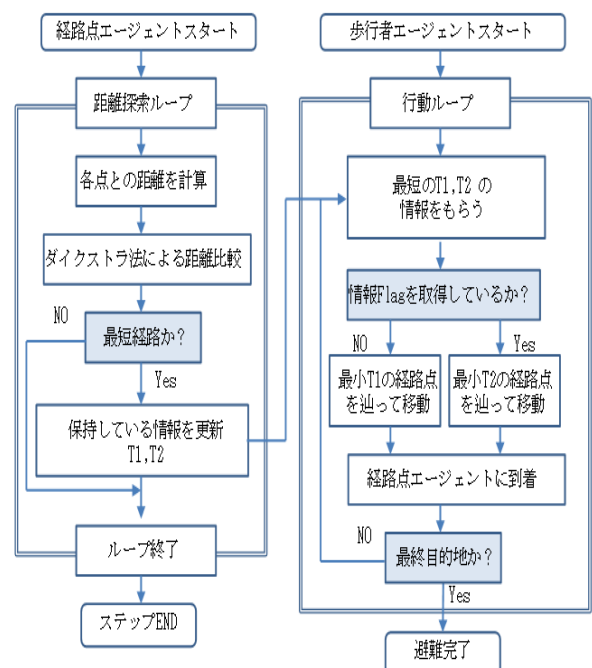


図-3 シミュレーションの概要

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。)

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

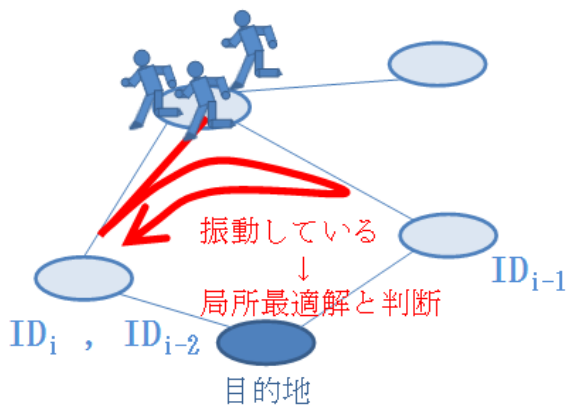


図-4 分岐点における局所最適解の判別

(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¹³⁾から抜粋した横浜市の東京都特別区部への昼間流出口数と、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¹⁴⁾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)¹⁴⁾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¹³⁾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	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

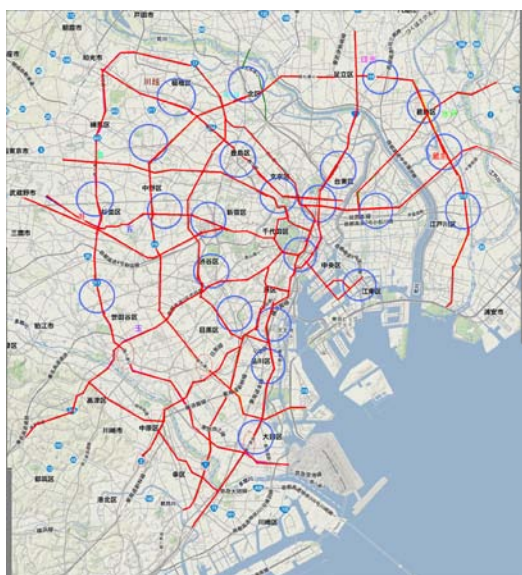


図-5 道路ネットワークと各発生点

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。

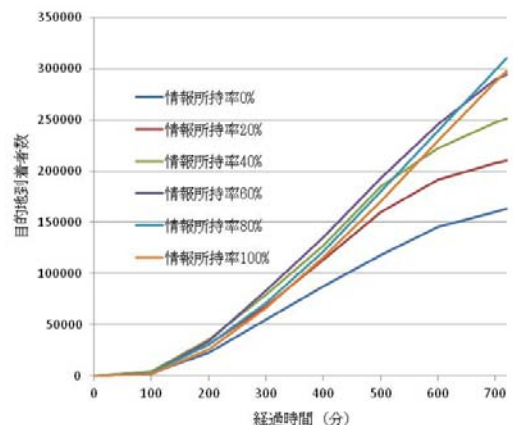


図-6 情報所持率別目的地到着者数の時刻歴

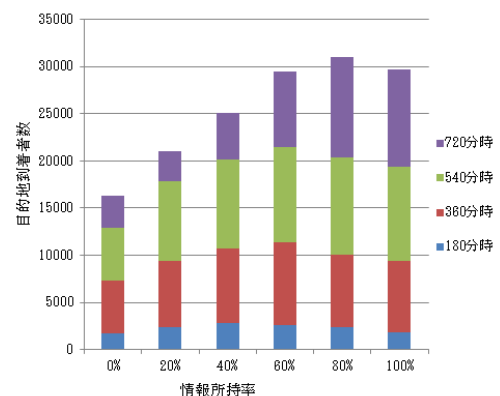


図-7 情報所持率別帰宅完了者数



情報所持率 0%時 3時間経過



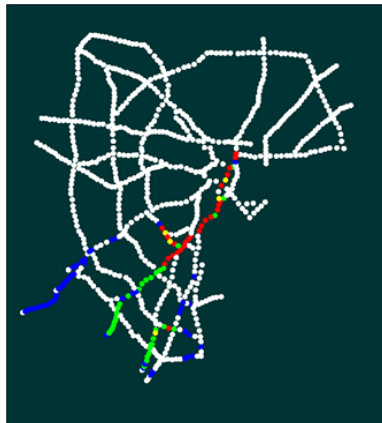
6時間経過



9時間経過



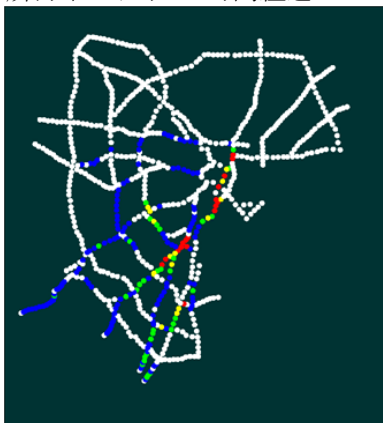
情報所持率 20%時 3時間経過



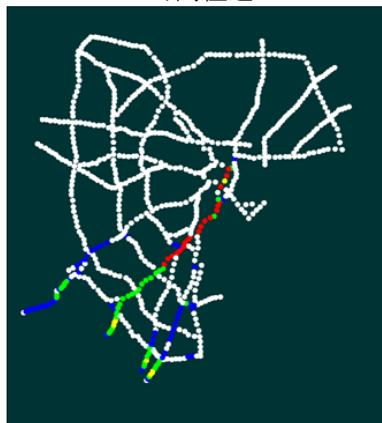
6時間経過



9時間経過



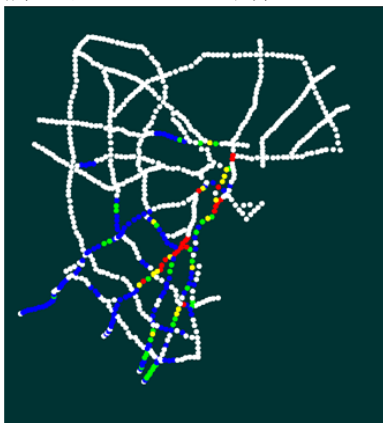
情報所持率 40%時 3時間経過



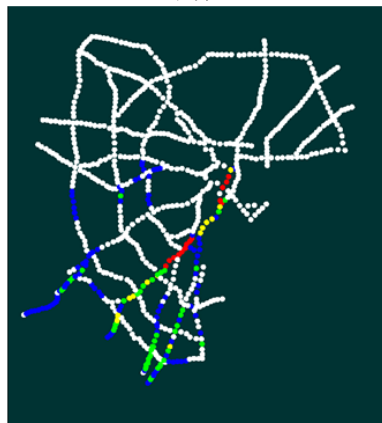
6時間経過



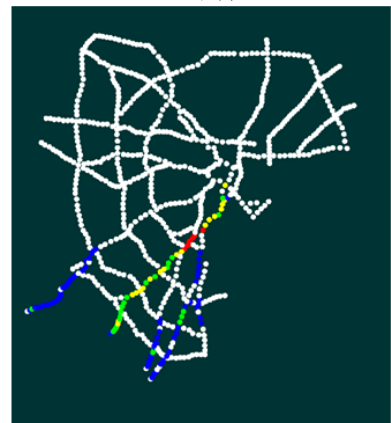
9時間経過



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/d₀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。

e) 各区分別平均移動速度

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。

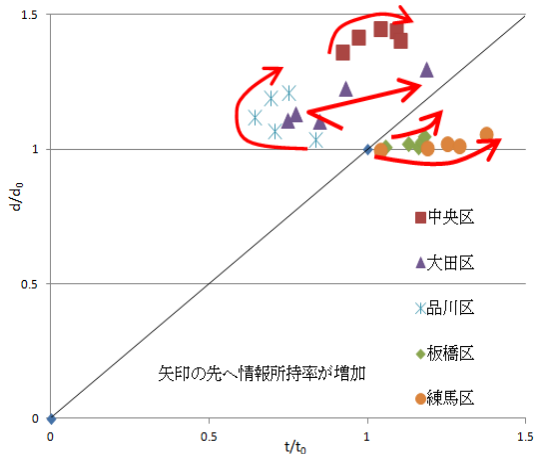


図-9 情報所持による速度変化率と時間変化率の関係 (抜粋)

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。

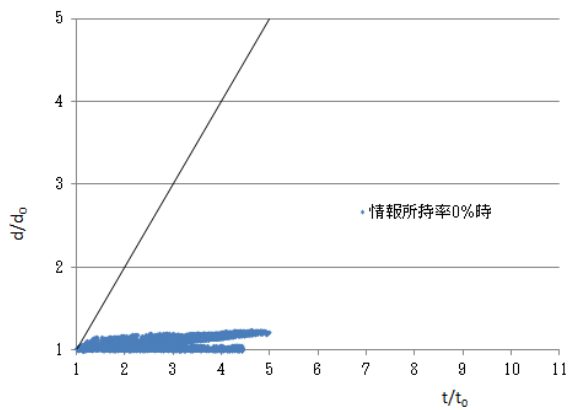
(1)の0%時を見ると、d/d₀の1周辺でt/t₀が1~5の間に分布している。これは、全てのエージェントが最短距離を移動する為、移動距離に変化が現れない為で、本来であれば誤差無くd/d₀が1になるはず

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

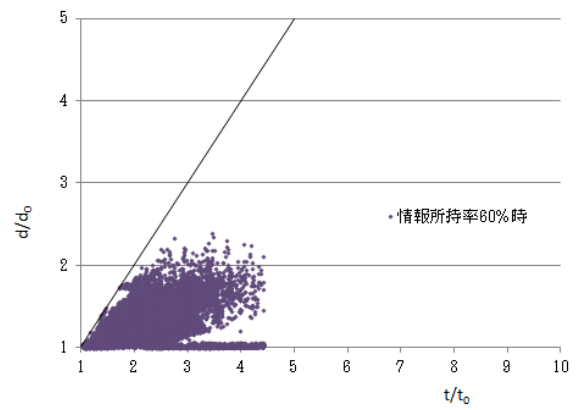
区別エージェント発生数	情報所持率別帰宅者数						
	0%	20%	40%	60%	80%	100%	
千代田区	6157	0	1210	2094	3288	3753	3370
中央区	4200	396	1113	1668	2367	2887	2868
港区	8224	3431	4759	6046	7349	7393	6786
新宿区	2378	477	1001	1758	2378	2378	2339
文京区	685	0	133	225	364	521	494
台東区	728	0	106	242	344	374	357
墨田区	407	0	72	124	173	200	217
江東区	1092	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 各区分別移動速度平均

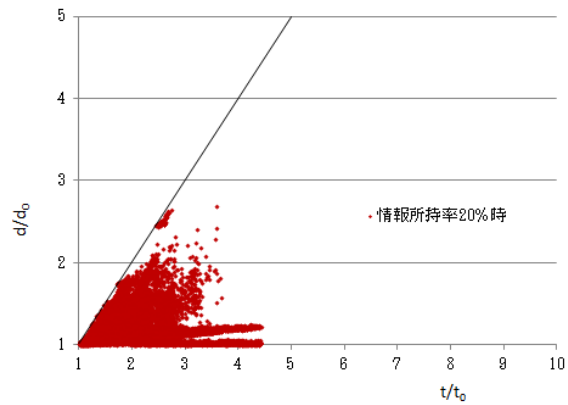
情報所持率	移動速度平均(km/h)					
	0%	20%	40%	60%	80%	100%
千代田区	-	3.34	3.08	2.85	2.76	2.68
中央区	1.80	2.68	2.59	2.46	2.33	2.25
港区	1.64	1.87	1.94	1.94	1.85	1.97
新宿区	1.73	2.51	2.42	2.44	2.63	2.74
文京区	-	3.55	3.40	3.11	3.09	2.98
台東区	-	3.15	3.13	2.89	2.77	2.63
墨田区	-	3.27	3.10	2.91	2.64	2.56
江東区	-	2.86	2.72	2.54	2.45	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



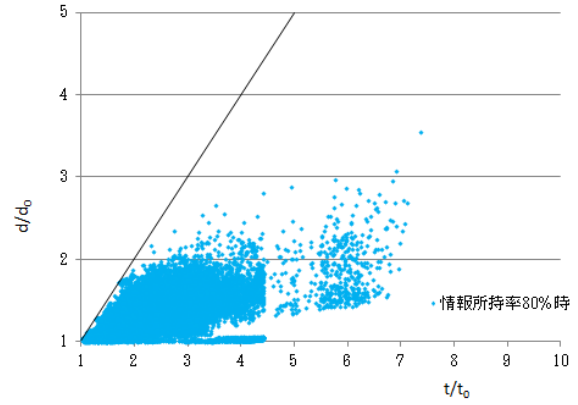
(1)情報所持率 0%の場合



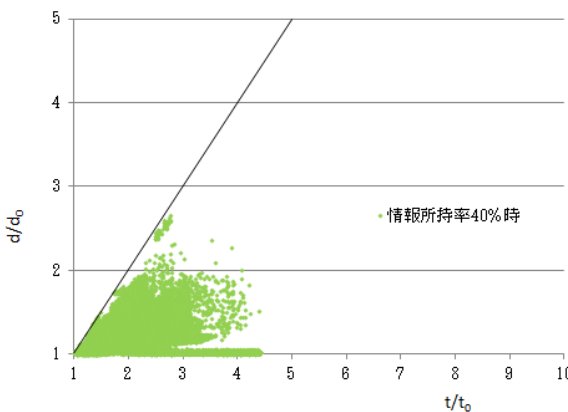
(4)情報所持率 60%の場合



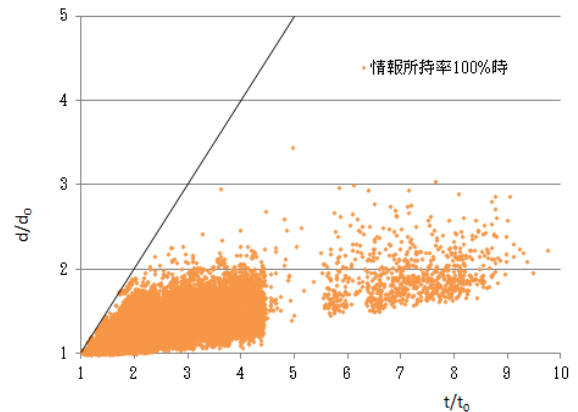
(2)情報所持率 20%の場合



(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-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のである。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。

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】

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⁾。

- ・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、歩行者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/aremail/>，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.