

研究報告

ハザードマップを用いた災害時避難に関する研究

工学院大学 情報学部 コンピュータ科学科
先進ソフトウェア研究室

浦 邊 麻 衣 子

指導教員：田 中 輝 雄

要旨

日本は地震大国と呼ばれ地震がとても多く、今までにも様々な対策が取られてきた。しかし、東北地方太平洋沖地震による想定以上の津波の被害により、日本全体で津波対策の見直しが求められている。津波対策には主にハードの対策とソフトの対策がある。ハードの対策とはお金と時間をかけた構造物による対策である。こちらは資金面の問題からすぐの対応が難しいとされる。そこで注目を集めているのがソフトの対策である。ソフトの対策は情報による対策であり、お金や時間がかかるだけでなく、非寿時にも対応できる対策だと期待されている。本研究ではソフトの対策に着目して、災害時避難における避難誘導の影響をマルチエージェントシミュレーションを用いて評価する。マルチエージェントシミュレーションとは、シミュレーション全体がひとつの秩序(社会)を形成している。その空間にエージェントとよばれる自律的に行動する主体が存在し、それらが相互的に作用する様子をコンピュータ上で再現できる。対象地域は千葉県鴨川市を用いた。実際の地図をもとに道をノードとリンクで表現し、エージェントは一般人と避難熟知者を用意した。一般人は避難場所を知らないものとし、一方で避難熟知者は避難場所とそこまでの安全な経路を知っている者とした。評価項目は熟知者の割合による影響と避難熟知者の誘導レベルによる影響を取り入れる。誘導レベルとは速度を落としての避難優先(以下 優先度)と一般人からの認識の大きさ(以下 認識率)がある。避難熟知者の割合による変化について、人数が変化するにつれて避難人数も増加した。そのなかでも、避難レベルが高い方が増加率が 18%大きくなる結果となった。誘導レベルによる変化について、優先度と認識率ともに向上させると避難人数の増加が確認できた。優先度と認識率では認識率の向上のほうが影響が大きく、平均して 10% 差がでた。結果から、避難熟知者の育成は災害時避難の対策として有効であることがいえる。また、一般人が避難熟知者の存在を認識していることが避難人数の増加に大きく影響してくることが判明した。今後の課題として、今回は避難誘導にのみ焦点をあて研究を行った。そのため実際の災害で想定されるような被害は取り入れていない。非常時に対応できるのがソフトの対策の強みであるため、その点を明らかにしていく必要がある。

目次

第1章 はじめに	2
1.1 背景	2
1.2 マルチエージェントシステムを用いた関連研究	3
1.3 研究目的	4
第2章 マルチエージェントシステム(MAS)	5
2.1 複雑系のアプローチ	6
2.2 マルチエージェント・シミュレータ “atrisoc”	6
第3章 対象地域	7
3.1 住民と観光客	7
3.2 津波対策	8
第4章 モデル化	9
4.1 シミュレーション内容	9
4.2 一般人の行動	9
4.3 避難熟知者の行動	10
4.4 モデル	10
4.5 評価項目	11
第5章 実験結果	12
5.1 避難熟知者の割合による影響	12
5.2 避難熟知者の誘導レベルによる影響	14
5.3 全体を通しての結果	15
第6章 おわりに	16
6.1 まとめ	16
6.2 今後の課題	16
謝辞	17
参考文献	18

第1章 はじめに

1.1 背景

日本は地震大国といわれ、今までに多くの地震が発生している(表1)。2015年における地震の観測回数は1,498回であり、そのうち震度3以上の地震は161回観測されている[1]。これは、約3日に1回の割合で地震が発生していることを表している。明治以降の死者・行方不明者1,000名以上の被害を出した震災を表1に示す。

表1 日本における大きな被害を生んだ地震

災害名	発生年	死者・行方不明者数
濃尾地震	1891(明治24)年	7,273名
明治三陸地震津波	1896(明治29)年	約22,000名
関東大震災	1923(大正12)年	約105,000名
北丹後地震	1927(昭和2)年	2,925名
昭和三陸地震津波	1993(昭和8)年	3,064名
鳥取地震	1943(昭和18)年	1,083名
東南海地震	1944(昭和19)年	1,251名
三河地震	1945(昭和20)年	2,306名
南海地震	1946(昭和21)年	1,443名
福井地震	1948(昭和23)年	3,769年
兵庫県南部地震	1995(平成7)年	6,437年
東北地方太平洋沖	2011(平成23)年	死者 15,270名 行方不明者 8,499名

その中でも人々の記憶に新しいのは、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震だろう。この震災での被害は、死者15,270名、行方不明者8,499名という関東大震災に次ぐ極めて深刻な被害であった。犠牲者のうち、津波に巻き込まれたことによる水死の割合は、全体の約92.4パーセントにも上る[2]。そのため、津波対策の見直しが求められている。

津波対策は大きく分けて、ハードの対策とソフトの対策がある。ハードの対策は津波防波堤や護岸などの構造物による対策のことである。ハードの対策は資金と時間がかかり早急な対応は現実的ではない。一方でソフトの対策は情報による対策である。例をあげれば、地域防災計画やハザードマップがある。この対策は、時間や資金がかからず、また非常につきものである災害時に対応できる対策だと注目されている。

人の動きなどを評価、分析する手法として、マルチエージェントシミュレーションがある。マルチエージェントシミュレーションとは、人間の意思決定をモデル化し、仮想的な社会の中で行動させることにより、個々人の相互作用により生じる様々な状況を分析することができる。現在、災害時避難の研究に、このマルチエージェントシミュレーションが多く取り入れられている。

1.2 マルチエージェントシステムを用いた関連研究.

ここでは、マルチエージェントシミュレーションを用いた従来研究について説明する。

エージェントモデルによる災害時避難のシミュレーション[3]

石橋らは避難者同士の情報伝達をモデルに組み込むことで、効率的な避難方法を模索し、今後の津波対策に 1 つの指針を与えることを目的とした。エージェントは歩行速度、情報受信能力、情報発信能力、行動決定能力、自立性、依存性、を持つものとした。あるノードが安全だとして、ノードから直接情報を受け取れないエージェント(避難者)でも、周囲のエージェントがそのエージェントの情報を持っていた場合、通信によってそのノードの情報を受け取りそのノードへの移動を行う。その結果、情報伝達により、避難場所を知らなかったエージェントもそこへ移動することができるが、集中的にエージェントがあつまり混雑がおきた。

避難者による避難補助について[4]

高橋ら(2009)は、上記の石橋の研究をもとに災害時の情報伝達に焦点をあて、情報伝達を追従のみの要請とし、単純化することで、実現可能な状態にしてシミュレーションの精度の向上を試みた。避難場所や経路を把握している避難者が他の避難者を誘導によって追従させるものとする。結果として、誘導者の人数と誘導者に関するパラメータが大きな影響を与えていたことがわかった。しかし、誘導者を多くしすぎると、集団が大きくなり、集団のなかで進行方向の決定ができなくなり、避難人数が減少してしまう結果が得られた。この研究では移動する経路の範囲が狭いこと、誘導者が誤誘導者に引っ張られてしまうことなど、現実性にかける部分があり、その点を追求する必要がある。

1.3 研究目的

本研究では、ソフトの対策に着目して、住民から避難誘導をおこなう避難熟知者を育成し災害時避難の向上させる対策を提案し、評価する。高橋らの研究を参考にし、避難誘導の重要性を提示する。本研究では千葉県鴨川市を対象地域として選び、実際の地図にそって経路を作成し、より広範囲で行う。また、混雑や誤誘導などの障害を無くし、避難誘導の有用性のみに焦点を当てる。評価項目として、避難熟知者の割合と避難熟知者の誘導レベルを用いる。

まず、避難熟知者の割合による避難人数の影響をみる。これは単純に避難熟知者が災害時避難として有効であることを確認するためである。また、誘導のレベルは、避難優先度と一般人からの認識率がある。避難熟知者と一般人の避難に対する姿勢の向上が避難人数に与える影響を分析する。

実験にはマルチエージェントシミュレータ(artisoc)[5]を用いる。

第2章 マルチエージェントシステム(MAS)

マルチエージェントシステムは、複数の自律的に行動する主体(エージェント)から構成される。エージェント各々が周囲の状況を認識し、自身の持つパラメータに基づいて自律的に行動する。そして、個々のエージェントの内部属性などがエージェント間で相互に関係し合い、システム全体がひとつの秩序を形成する。したがって、マルチエージェントシステムにより、コンピュータのなかの人工社会が仮説検証型の新しいタイプの意思決定の支援を実現する。

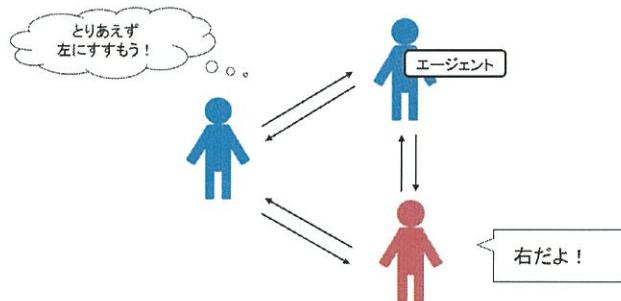


図1 エージェントの相互関係1

図1は避難のシミュレーションを元に作成したエージェントの関係図である。青のエージェントは避難場所を知らずとりあえず左に進もうとしている。一方、赤のエージェントは正しい避難場所とそこまでの経路を知っているものとする。

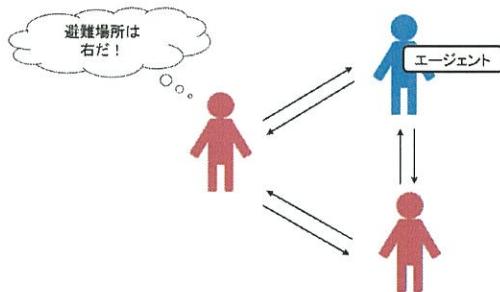


図2 エージェントの相互関係2

青に赤のエージェントが作用することにより、本来は左へ進もうとしていた青のエージェントの行動が変わってくる。このような人間同士の相互関係や社会現象をコンピュータ上で再現することをマルチエージェントシミュレーションは可能にする。

2.1 複雑系のアプローチ[6]

自然現象を解析・予測するとき、これまで還元主義に基づくトップダウン的な手法が多く用いられてきた。他方で、社会現象や人間の経験に基づいた意思決定を扱うとき、このような既存の手法では充分に分析できないことが知られている。これを解決する手法として、複雑系のアプローチが注目されている。

複雑系をコンピュータ上で分析する手法の1つとして、マルチエージェント・シミュレーションがある。この手法は、個々のエージェントが独自のルールを持って行動し、相互作用した結果を分析するというボトムアップのアプローチである。

人間の意思決定をモデル化し、仮想的な秩序社会の中で行動させることにより、個々の相互作用により生じる様々な状況を分析することができる。コンピュータのなかの人工社会が仮説検証型の新しいタイプの意思決定の支援を実現する。

2.2 マルチエージェント・シミュレータ “artisoc”[6]

“artisoc”は、プログラミング初心者でも簡単に扱えるマルチエージェント・シミュレーションプラットフォームである。社会現象などの人間の意思決定に基づいたシステムを分析するアプローチである「マルチエージェントシミュレーション」を構築するプラットフォームであり、様々な研究分野において意思決定支援・分析ツールとして有効である。

“artisoc”的特徴として以下のものが挙げられる。

- ・ GUIによるモデル定義
- ・ GUIによるマップ（2D, 3D）やグラフなどの出力設定
- ・ ルール記述を支援するデバッグ機能
- ・ 変数や関数名に日本語を利用可能
- ・ VisualBasicライクな分かりやすい行動ルールの記述
- ・ 便利な組み込み関数を多数用意
- ・ ネットワーク図や関係図を簡単に出力可能
- ・ 複数回実行、レポート出力などの行動制御が可能
- ・ Windows, MacOSの両方で動作
- ・ 外部のDB, XML, テキストファイルの読み書きが可能
- ・ 作成したモデルファイルを自由に配布可能

第3章 対象地域

3.1 住民と観光客

本研究では、千葉県鴨川市横渚地区(図 3)を用いてシミュレーションを行う。千葉県鴨川市は人口 33,772 人の小さな港町である。鴨川シーワールドを中心とする観光地が多くあり、海水浴場も有名である。それゆえ平成 26 年度の観光客数は 3,257,000 人ととても多い。また、そのうち海水浴場への入込客は 117,000 人であった。そこで、安房鴨川駅を中心とした鴨川市の一部の地域である横渚地区を用いる。横渚地区は鴨川市の中でも海に面しており、かつスーパーやコンビニなどが多数存在する津波が発生したときに一番被害の懸念される地域である。

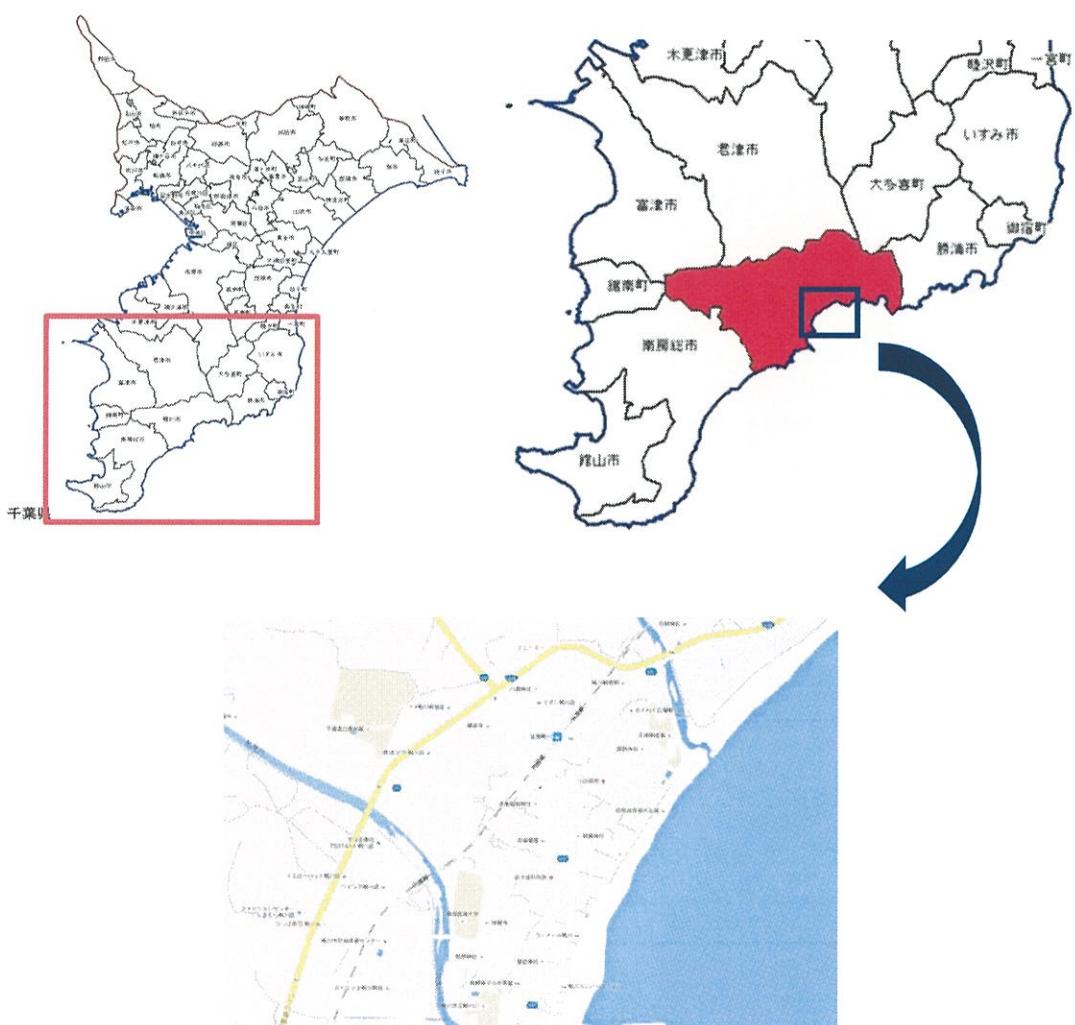


図 3 千葉県鴨川市と対象とする横渚地区

3.2 津波対策

鴨川市防災計画より対象地域が取り組んでいる津波対策を以下に示す[7].

- ① 津波浸水予想図の作成、周知
- ② 津波避難ビル等の指定
平成 26 年 3 月現在、指定 45 カ所
- ③ 津波防波堤の検討
- ④ 防災施設の点検、診断および改修、補強
- ⑤ 護岸等の避難階段、避難口の設置

①は通称ハザードマップと呼ばれる。ハザードマップとは、自然災害による被害を予測し、その被害範囲を地図化したものである。予測される災害の発生地点、被害の拡大範囲および被害程度、さらには避難経路、避難場所などの情報が図示されている。今回は津波発生時の研究であるため、津波対策のハザードマップしか扱っていないが、洪水や土砂災害、火山防災などあらゆる自然災害を想定したものがある。現在、国土交通省に登録されているハザードマップの数は全国で 1086 にも上る[8]。図 4 は対象地域のハザードマップの一部である[7]。

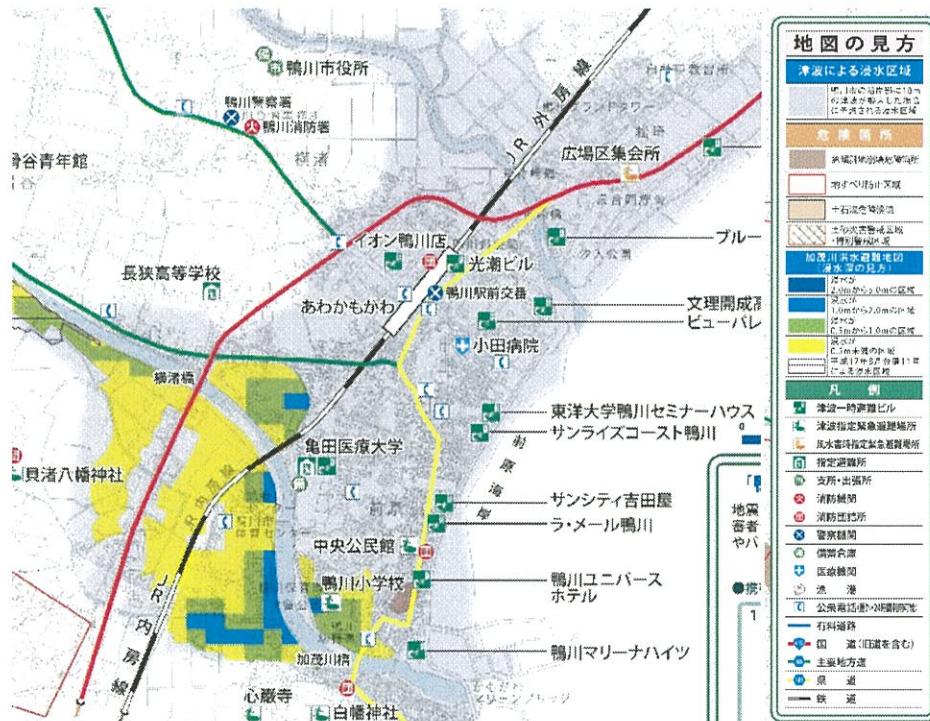


図 4 千葉県鴨川市のハザードマップの一部

第4章 モデル化

4.1 シミュレーション内容

住民・観光客のうち対象地域の災害時避難に精通していない者(以下一般人)と、災害時避難の教育を受け避難誘導を行う者(以下避難熟知者)の2種類のエージェントを用意する。それぞれの行動については次節以降に述べる。

設定時間以内に避難場所に到達できた者を避難完了人数としてカウントする。設定時間については以下の東北地方太平洋沖地震における人々の避難に関する統計[9]をもとに決定する。

- ⑥ 地震発生から津波到着までの時間 40分
- ⑦ 生存者の避難準備時間 19分
- ⑧ 犠牲者の避難準備時間 21分

ここでいう避難準備時間とは、地震が発生してから人々が避難し始めるまでの時間である。以上を参考に生存できる可能性の限度であると思われる19分を避難時間として用いる。

その他のシミュレーションの条件設定については表2に記す。シミュレーションは各10回実施する。

表2 シミュレーション条件

人エージェントの総数	500人
避難場所の数	2箇所
避難時間	19分
シミュレーション回数	10回

4.2 一般人の行動

移動速度は人間の通常の歩行速度である1.3m/sとする[10]。道はランダムで選択して移動する。この場合地震発生時に海の方面へ移動する者も現れるが、人々がパニックに陥ることと、観光客が多く土地を理解していない者が多いことを想定している。避難熟知者が指定の視野の中に存在した場合、避難熟知者の誘導により避難場所に到着するまで避難熟知者を追従する。

4.3 避難熟知者の行動

避難熟知者は、最短経路で避難場所まで移動する。本研究ではダイクストラ法を用いる。避難熟知者の移動速度は誘導レベルによって変化する。誘導レベルの指標として、誘導優先度と一般人からの認識率をと取り入れる。

誘導優先度に関して、移動速度を落として一般人に避難を促しながら自身も避難する。その場合、通常速度の8割で移動する場合も仮定した。一般人からの認識率に関して、一般人がどれほど避難熟知者の存在を認識しているか、認識できる範囲の大きさを表す。認識度が高い場合、一般人が避難熟知者を追従する視野の広さは通常の10mの倍である20mとした。

4.4 モデル

以下の図が実際のシミュレーションの空間の図である。Googleマップの地図をもとにしノードとリンクで表現した。



図5 シミュレーションの空間図

4.5 評価項目

シミュレーションでは避難熟知者の割合による影響と、避難熟知者の誘導レベルによる影響を分析する。

避難熟知者の割合は 1%から 10%まで変化させる。誘導レベルに関して、避難熟知者の速度を落としての誘導優先度と一般人が誘導者を認識できる視野の範囲(以下 認識率)の観点から評価する。

誘導優先度を向上させた場合は通常の歩行速度である 1.3m/s の 8 割の速度である 1.04m/s で誘導を優先して移動する。また、認識率を向上させた場合、一般人が誘導者を発見できる視野の範囲が通常の 10m の倍である 20m とする。

以下の表 2 をもとに評価を行う。

表 2 優先度と認識率の評価図

		誘導優先度	
		通常	向上
認識率	通常	A	B'
	向上	B	C

第5章 実験結果

この章では実験結果をグラフとともにみていく。また、実際のシミュレーション画面の比較は付録として載せる。

5.1 避難熟知者の割合による影響

誘導優先度と認識率の評価図の4パターンそれぞれで、避難熟知者の人数を0%から10%まで変化させてその影響をみた。図6は誘導優先度と認識率ともに通常のAと向上のCを比較したグラフとそのシミュレーションの初期画面と終了画面の比較である。

避難熟知者の割合による避難完了者の割合

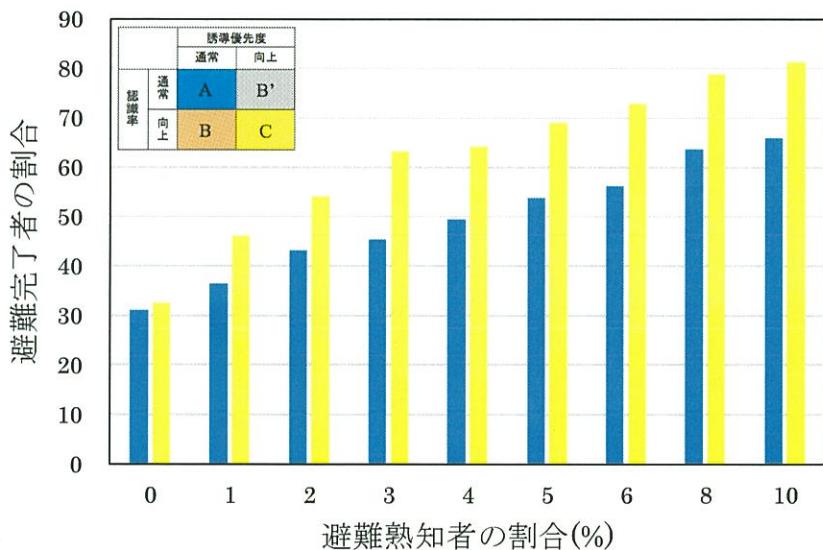


図6 避難熟知者の割合を変化させたときの避難誘導者の割合

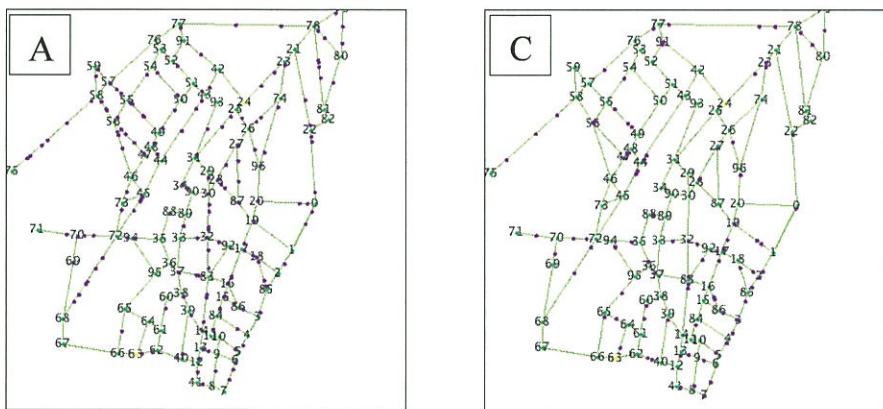


図7 AとCのシミュレーション終了画面

A も C も全体の傾向として避難熟知者の人数を増やすごとに避難完了者数も増加している。誘導優先度および認識率の両方を向上させた場合(C)について、考察する。避難熟知者の割合が 0%から 10%に向上させると、両方通常の A は避難完了者数が 35%増加したのに対して、両方向上の C は 48%増加し、増加率に 18%の差が出た。つまり誘導レベルが高いほうが避難熟知者を育成したときの効果が大きくなることがいえる。また、避難熟知者の誘導レベルの効果は避難熟知者の割合が少なすぎると効果が安定して得られず、3%を超えたあたりから影響が出ることがグラフから確認できる。3%以降の避難完了者数の割合の差は平均で 15%となった。

5.2 避難熟知者の誘導レベルによる影響

評価項目別の避難完了者の割合

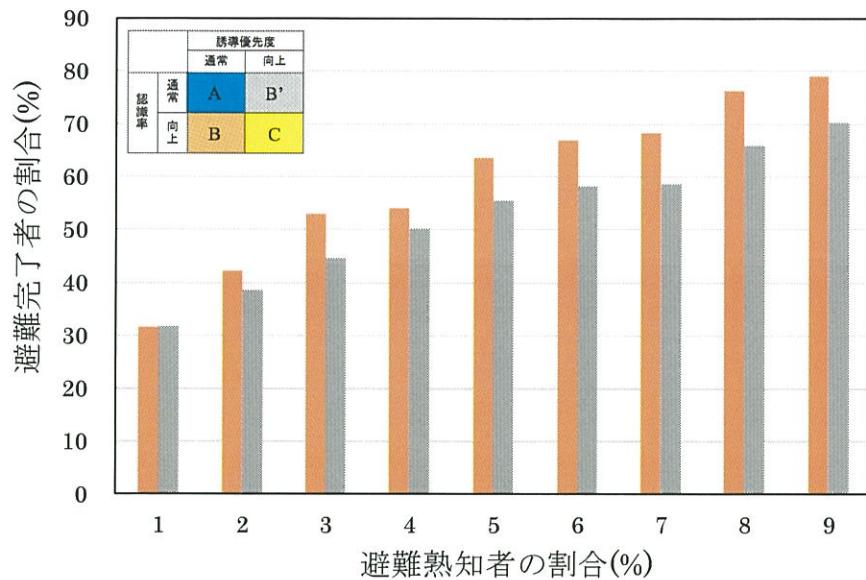


図 8 誘導レベルの比較

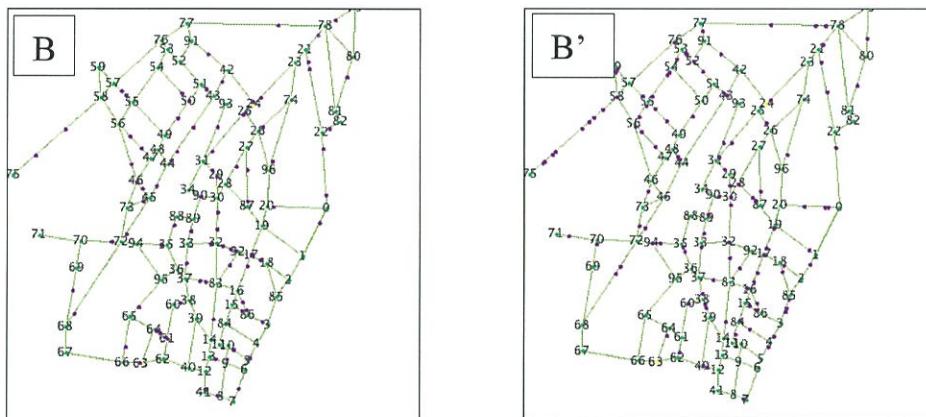


図 9 B と B' のシミュレーション終了画面

図 8 は誘導レベルの比較グラフである。誘導優先度のみを向上するよりも、認識率のみを向上させたほうが避難完了者数增加への影響が大きいのがわかる。数値でみると、効果が安定して現れた避難熟知者の割合が 5%から 10%において、平均 10%の避難完了者数の差が確認できた。避難熟知者の割合が少ないと効果にはらつきができ、安定した効果を得られなかった。

5.3 全体を通しての結果

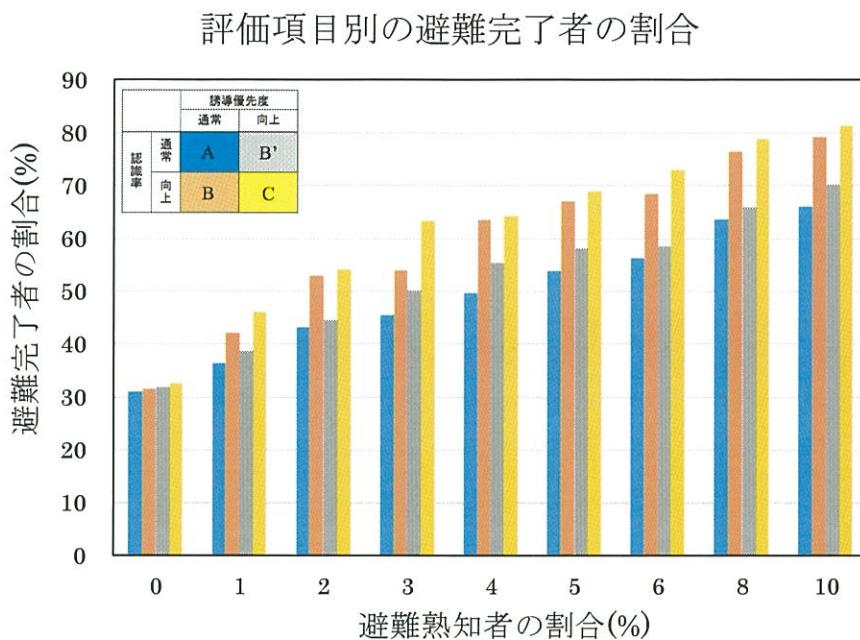


図 9 4 パターンすべての比較

図 9 は 4 パターンすべてのグラフである。避難熟知者を増やすと、どのパターンでも避難完了者数の増加が確認できた。特に、誘導優先度と認識率ともに向上の C の場合では、避難熟知者の割合が 10%のとき避難完了者は 81%である 407 人の人が避難できた。また避難完了者の増加が著しい B と C のグラフに着目して全体的にみると、避難熟知者が 4%のときに 6 割の人が避難でき、10%では 8 割のひとが避難可能となった。

第6章 おわりに

6.1 まとめ

今回は実際の土地を参考にし、その地域の地図を用いて避難のシミュレーションを行った。ソフトの対策に着目し、避難熟知者の避難誘導の影響を割合と誘導レベルの観点から分析した。誘導レベルには、避難熟知者の速度を落として避難誘導を優先させ誘導優先度と、一般人が避難熟知者を認識しているかを表す認識率を取り入れた。実験にはマルチエージェントシミュレータ”artisoc”を用いた。

実験結果から以下のことがいえる。

1. 避難熟知者を増加させると4パターンすべてで避難人数は増加する。
2. 増加率について、誘導レベルを向上させたほうが増加率は大きくなる。
3. 誘導優先度と一般人からの認識率では認識率のほうが避難完了者数の増加への影響は大きい。
4. 誘導レベルを向上させたとき、避難熟知者の割合が小さすぎると効果が安定せず、5%を超えると安定して効果が得られる。

このことから、災害時の対策は地域で公式に行うだけでなく、一般の人がそれに参加することが避難人数の増加につながるといえる。自分の地域の災害対策やハザードマップの存在を知っている人は少ない。対策を求めるだけでなく、自分から積極的に災害対策に取り組み、参加すべきである。

6.2 今後の課題

今回は避難誘導のみに焦点を当てて研究を行った。そのため実際の災害で予想される被害は取り入れていない。実際の災害では、道路の崩壊や火災などで通行できなくなることが考えられる。このような非常な事態に対応できるのがソフトの対策の強みである。今後はそのような自体で避難誘導が与える影響を明らかにしていきたい。

謝辞

マルチエージェントシミュレーションを用いて研究するにあたり、artisoc3.5を無償で提供して頂いただけでなく、ご指導頂きました株式会社構造計画研究様には、感謝の念に堪えません。御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 震度データベース検索, 気象庁,
<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/>
(参照 2016-01-21)
- [2] 平成 23 年版防災白書, 内閣府,
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/h23/bousai2011/html/zu/zu004.htm>
(参照 2016-01-23)
- [3] 石橋健一, 正樹, 藤岡. エージェントモデルによる災害時避難行動シミュレーションの試み-湘南海岸における事例-. オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学 pp.447-452, 2002.
- [4] 高橋秀人, 相場亮. 避難者による避難補助について. MAS コミュニティ研究報告. 2010.
- [5] 山影進, 人口社会構築指南 artisoc によるマルチエージェントシミュレーション, 書籍工房早山(2013 年).
- [6] 構造計画研究所,
<http://www.kke.co.jp/>
(引用, 参考 2016-02-03)
- [7] 地域防災計画, 鴨川市ホームページ,
http://www.city.kamogawa.lg.jp/kurashi_tetsuduki/moshimonisonaete/bosai/1413951936423.html
(参考 2015-12-28)
- [8] ハザードマップポータルサイト, 国土交通省,
<http://disaportal.gsi.go.jp/index.html>
(参考 2015-02-10)
- [9] 東日本大震災 津波調査, ウェザーニュース,
http://weathernews.com/ja/nc/press/2011/pdf/20110908_1.pdf
(参考 2015-10-27)
- [10] 兼田敏之代表編集, 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(2010 年).
- [11] MAS コミュニティ,
<http://mas.kke.co.jp/>
(参考 2015-02-13)