

2010 年度
芝浦工業大学 システム工学部
電子情報システム学科

総合研究論文

スタミナを考慮した避難シミュレーション
Evacuation simulation considering stamina

P07100

まる い よしあき

丸井 義章

指導教員：相場亮教授

2010 年度
芝浦工業大学 システム工学部
電子情報システム学科

総合研究論文

スタミナを考慮した避難シミュレーション
Evacuation simulation considering stamina

P07100

まる い よしあき

丸井 義章

指導教員：相場亮教授

概要

日本は、火山噴火や地震、それに伴い発生する津波など、様々な自然災害の影響を受けている。それに伴い、シミュレーションを用いて被害予測や、それに対する対処など、様々な研究が行われている。

そのシミュレーションを行うにおいて、マルチエージェントを用いることが注目されており、とくに避難シミュレーションを行う際に多く取り入れられている。しかし、シミュレーションは、被災者や状況に関するパラメータの値によって、大きく結果が変わってきてしまうという特徴がある。このため、より現実に近いように、設定を慎重に行わなければならない。

本研究では、スタミナによる移動速度の低下に着目したシミュレーションを行い、避難シミュレーションを行う際に、スタミナによる速度低下を考慮すべきであるか、また、どのパラメータが結果に大きな影響を与えるかを検証した。

実験の結果、スタミナによる移動速度低下から、避難成功人数の割合の最終的に収束する値はあまり違いがなかったが、増加の仕方が速度低下の考慮なしの場合に比べて緩やかであるという違いが生じた。また、そのばらつきに大きな影響を与えていたのは、速度維持時間であり、この値が小さい時、増加の仕方に大きな差異が生じた。このことから、避難シミュレーションにスタミナによる移動速度低下を考慮すべきであることがわかり、さらに今後、スタミナを考慮した避難シミュレーションを行う際の基礎となるデータを得ることができた。

目次

1 はじめに.....	1
2 自然災害に対する研究・取り組み.....	3
2.1 大規模災害に対する減災情報システム.....	3
2.2 地震災害の統合的被害予測手法の開発に向けた検討.....	4
2.3 余震を考慮した確率論的建物被害評価.....	4
2.4 ロボットと人の共同救助の取り組み.....	5
3 マルチエージェント.....	
3.1 エージェントとは.....	6
3.2 マルチエージェントシステムとは.....	7
3.3 マルチエージェントの例（鬼ごっこ）.....	8
3.4 マルチエージェントシミュレーションの利用例.....	9
3.5 マルチエージェントを用いた避難シミュレーションについて.....	11
4 既存研究.....	
4.1 エージェントモデルによる災害時避難シミュレーションの試み -湘南海岸における事例-.....	12
4.1.1 概要・目的.....	12
4.1.2 行動モデルの特徴.....	12
4.1.3 シミュレーション詳細.....	13
4.1.4 結果・結論.....	13
4.2 避難者による避難補助について.....	14
4.2.1 概要・目的.....	14
4.2.2 マルチエージェント・シミュレータ「artisoc」.....	14
4.2.3 行動モデルの特徴.....	14
4.2.4 シミュレーション内容.....	15
4.2.5 結果・結論.....	16
5 研究内容.....	
5.1 問題点・研究目的.....	17
5.1.1 既存研究の問題点.....	17
5.1.2 考えられる事象.....	17
5.1.3 研究目的.....	17
5.2 実験環境.....	18
5.2.1 シミュレーションマップ.....	18
5.2.2 エージェントモデル.....	19
5.2.3 目的地に向かう方法.....	22
5.2.4 スタミナによる速度低下を考慮した速度設定方法.....	23
5.3 実験内容.....	24
6 シミュレーションの結果・考察.....	
6.1 スタミナ考慮有となしの場合について.....	26
6.2 速度低下パターン間について.....	27
6.3 各エージェントの割合の違い（スタミナ考慮有無での共通結果を含む）.....	29
7 結論.....	31
謝辞.....	33
文献目録.....	34
付録.....	35

1 はじめに

日本列島はプレートとプレートの境目に位置している。そのため、噴火や地震、それに伴い発生する津波など自然災害が非常に多い。気象庁の調査によると図 1.1 のように、日本列島を識別できないほどたくさんの地震が発生していることが確認できる。さらに、過去に発生した地震のなかで大規模なものを表 1.1 に示す。

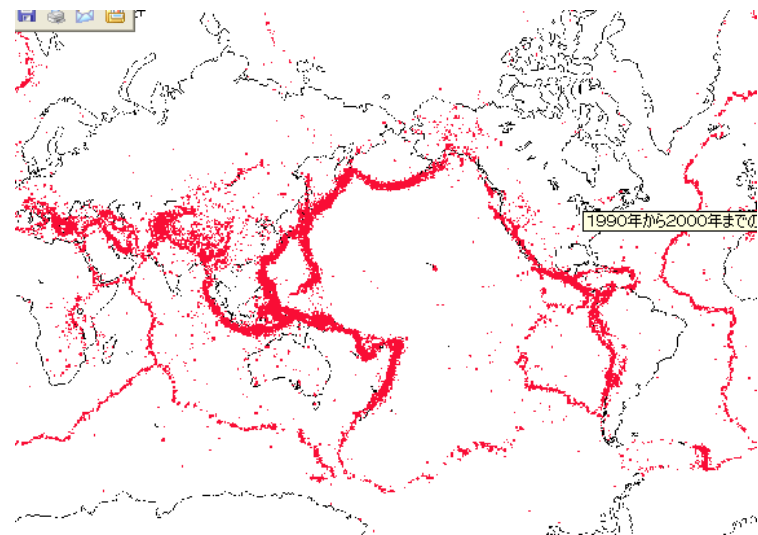


図 1.1 1990 年から 2000 年までの世界の地震の震央分布，マグニチュード 4.0 以上，深さ 50 k m より浅い地震

表 1.1 過去の自然災害

発生年月日	マグニチュード	地震名	死者 行方不明者	津波	最大震度	最大震度を観測した地方
明治5年3月14日	7.1	浜田地震	死者 約550	○	不明	
明治24年10月28日	8.0	濃尾地震	死者 7,273		6	岐阜、愛知、滋賀、三重県の一部
明治27年10月22日	7	庄内地震	死者 726		5	山形県の西部
明治29年6月15日	8.2	明治三陸地震	死者 21,959	○	2～3	岩手県を中心に北海道、東北地方
明治29年8月31日	7.2	陸羽地震	死者 209		5	秋田、岩手、山形県の一部
大正12年9月1日	7.9	関東地震 (関東大震災)	死・不明 10万5千余	○	6	東京都 東京 など6点
大正14年5月23日	6.8	北但馬地震	死者 428		6	兵庫県 豊岡
昭和2年3月7日	7.3	北丹後地震	死者 2,925	○	6	京都府 宮津測候所 など2点
昭和5年11月26日	7.3	北伊豆地震	死者 272		6	静岡県 三島市東本町
昭和8年3月3日	8.1	昭和三陸地震	死・不明 3,064	○	5	岩手県 宮古市鉾ヶ崎 など6点
昭和18年9月10日	7.2	鳥取地震	死者 1,083		6	三重県 津市島崎町 など2点
昭和19年12月7日	7.9	東南海地震	死・不明 1,223	○	6	三重県 津市島崎町 など2点
昭和20年1月13日	6.8	三河地震	死者 2,306	○	5	三重県 津市島崎町
昭和21年12月21日	8.0	南海地震	死者 1,330	○	5	和歌山県 串本町潮岬 など17点
昭和23年6月28日	7.1	福井地震	死者 3,769		6	福井県 福井市豊島
昭和35年5月23日	9.5*	チリ地震津波	死・不明 142	○		震度1以上を観測した地点なし
昭和58年5月26日	7.7	日本海中部地震	死者 104	○	5	秋田県 秋田市山王 など3点
平成5年7月12日	7.8	北海道南西沖地震	死者 202 不明28	○	5	北海道 寿都町新栄 など4点
平成7年1月17日	7.3	兵庫県南部地震 (阪神・淡路大震災)	死者 6,434 不明 3	○	7	神戸市等阪神淡路地域

表 1.1 から、日本では非常に多くの自然災害の影響を受けていることや、地震の 2 次災害のひとつである津波のみが発生した場合でも、100 人以上の死者・行方不明者を出していることがわかる。さらに、地震や噴火には発生周期が存在しているので、これからも定期的に自然災害が発生するとされ、長期間にわたり、災害がおこると予測されている。

このことから、災害に対する研究や取り組みが行われてきた。例えば、地震が発生した際のリスクの計算方法[4]、ロボットと人が共同で災害救助作業を行おうという取り組み[5]など、さまざまである。

これらの試みでは、建物がどのように倒壊、また、被災者はどのように避難行動をとるのかなど、災害時の状況をシミュレーションすることが参考資料として、また研究結果を示す方法としてとても重要となる。しかし、対象範囲が広い、対象人数が多い、実際に建物に火を付けるわけにはいかない、地震の余震や津波など 2 次災害がおきた場合、状況を予想しにくいなどの問題があり、このような理由から実際に人や建物を使ってシミュレーションを行うことはとても難しい。そこで、コンピュータ上でシミュレーションを行うことが注目されている。

しかし、コンピュータ上でシミュレーションを行う際、各人間の動き、避難空間などの設定の仕方で結果に大きな違いが発生してしまう。そこで、シミュレーションの表現方法を現実近づけることが重要となる。

本研究では、地震後に津波が発生し、建物から避難することを想定してシミュレーションを行う。その際に、スタミナにより移動速度が低下することを考慮にいれて、より現実に近づけることを目的として行う。

2 自然災害に対する研究・取り組み

本章では、1章であげた自然災害に関する既存研究等について、いくつか紹介する。

2.1 大規模災害に対する減災情報システム

日本では、近年東海・東南海地震が発生する可能性があるとして発表されたことに基づき、減災情報システムにおける様々な取り組み[2]が行われてきた。減災とは、災害を起こさない対策が重要であることは当然として、それでも発生する場合を想定し、具体的被害を予想し、被害回避や被害低減のための手段を計画実施し、被災した場合の被害を最小限に抑制し、受けた被害からの復興を早めることを重視する考え方である。そして、減災情報システムとはこの減災のための情報の収集、管理、運用、提供を担う一群のシステムを呼ぶ。減災情報システムには、災害監視、災害対策支援、教育訓練支援があり、いくつか例を紹介する。

災害監視は、発生している災害を監視して、情報を取得する対策である。例をあげると、地震のP波（初期微動）を監視して、震源や震度の判断を行うリアルタイム地震情報システム、国、自治体、警察が監視カメラを整備しており、その映像をリアルタイムに監視センタに伝送しているカメラ映像伝送システムなどがある。

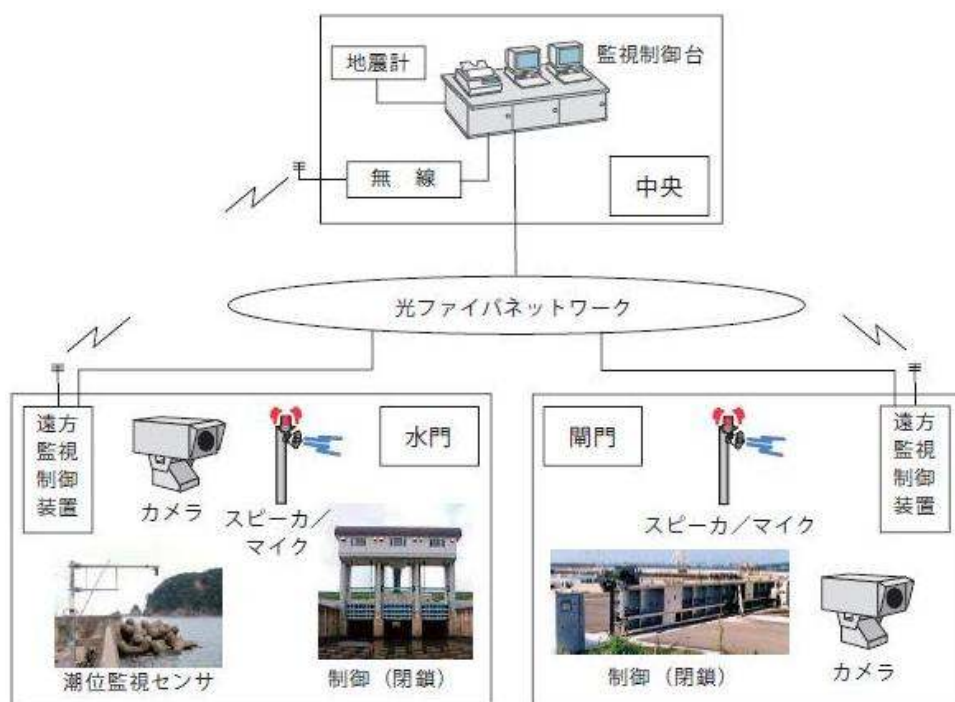


図2.1 津波防災ステーションの基本構造

災害対策支援は、災害発生に対して、被害を小さくする事前対策である。例をあげると、海洋性大規模地震による津波から港湾施設やその後背地を守ることを目的にしたシステムで、水門や樋門を監視制御室から遠隔監視制御にて閉鎖する津波防災ステーション、災害時の避難勧告や避難方法などの情報を災害対策室などから音声情報を、無線によって街灯に設置したスピーカに送り、広域に住む多数の住民に迅速かつ正確に情報を伝達する避難誘導支援システムなどがある。

教育訓練支援は、被災者に災害に関する知識や、災害時にどのような行動をとればいいのかなど、訓練、情報提供する対策である。例をあげると、災害発生前に具体的な被害の予想を住民に提供する災害シミュレーション、消防職員の教育訓練、来館者への啓蒙、活動、資材備蓄、災害バックアップ用の情報通信機器の管理を行っている防災センタで各種シミュレータや教育ソフトを用いる試みなどがある。



図 2.2 土石流 3D 体験シアター

2.2 地震災害の統合的被害予測手法の開発に向けた検討

地震災害の総合的被害想定手法を開発することを目的とした研究[3]である。地震災害は、地盤崩壊、建物やライフラインの損壊、火災延焼などといった性質の異なる様々な被害が輻輳する複合災害であり、これら個別の減少に着目した研究は、被害の発生メカニズムを明らかにし、その軽減策を講じる上で重要であるが、一方で、地震災害の様な複合災害は、被害の全体像を把握する必要もある。そこで、この研究では、包括的な被害推定を目的とした、被害推定手法作成を行っている。

2.3 余震を考慮した確率論的建物被害評価

地震が起きた時、本震と余震が重合した場合において、余震をも考慮した地震リスク評価方法の構築を目的とした研究[4]である。

自然災害によっては、複数の災害が重合して起きる場合があり、例をあげると、新潟中越沖地震がある。この地震では、10月23日18時03分に起きた本震（M6.0，最大震度6強）の他にも、同日18時11分（M6.0，最大震度6強），同日18時34分（M6.5，最大震度6強）というようにM6.0以上の地震が発生した。さらに、地震が起きた時は、積雪が始まる時期で、実際に積雪が発生すると地震災害と積雪の重合による被害が見受けられた。このように複数の災害が重合して起きる場合の中で、この研究では、本震と余震の重合した場合を対象に、両方の地震を考慮した地震リスク評価方法の構築を行っている。

2.4 ロボットと人の共同救助の取り組み

RobCup-Rescue というロボットと人が互いに情報を共有し、互いに補完的に救助作業を行うことを目的とした試み[5]が行われている。この研究はプログラムを用いてロボットにサッカーを行わせ、勝敗を競う RoboCup の技術を災害救助に応用しようという考えから行われている。

3 マルチエージェント

本章では，本研究で用いるマルチエージェントシステム，そのシステムを構成する上で必要となるエージェントについて例を用いて説明する．

3.1 エージェントとは

エージェントとは，図3.1に示すように周りの環境から，また自身の意思決定によって行動を起こし，環境に影響を与えられるものをいう．そして，さらに影響を受けた環境を再び知覚し，意思決定によって行動する，ということを繰り返し，環境と相互作用を行っている．この環境とは，エージェントの外部にあって，エージェントの意思によって，変更できない者すべてをさす．

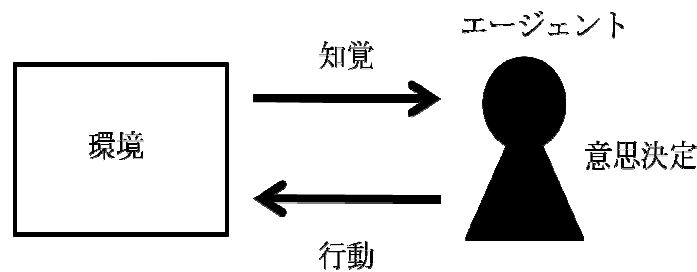


図3.1 エージェントとは

エージェントの特性には次のようなものがあり，これらの特性から行動を選択し，実行する．

自律性	自身で意思決定をして，行動をする（自律的行動）
反応性	周りの状態から，選択する行動を変化させる（学習的行動）
社会性	互いに依存し，相互作用を及ぼす（協調的行動）

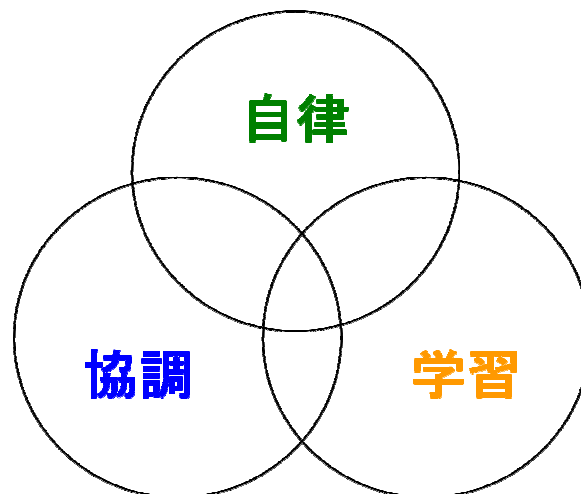


図 3.2 エージェントの行動

そして、図 2.2 のように、これら 3 つの特徴から行動を選択し、動作する。これにより、自分の目的、周りの状態から行動することができ、あたかもエージェントが人間のように自身で考え行動しているように表現できる。さらに、上記の 3 つの特性から行動をした結果、エージェントは次のような特徴を持つ[6]。

即応性

エージェントは、環境の変化に対して即座に反応した行動をとる性質をもつ。例えをあげると、移動中に前方に障害物が存在したら避けるように行動する、壁が存在したら壁にそって移動を行う、また引き返すなどがある。

目的志向性

エージェントがもつ目的に向かった積極的な行動をとることができ、エージェントの最終目的がこれにあたることが多い。例えをあげると、災害が発生した場合避難場所まで最短距離を通して移動する、オークションを行う場合できるだけ少ない金額で落札するなどがある。

社交性

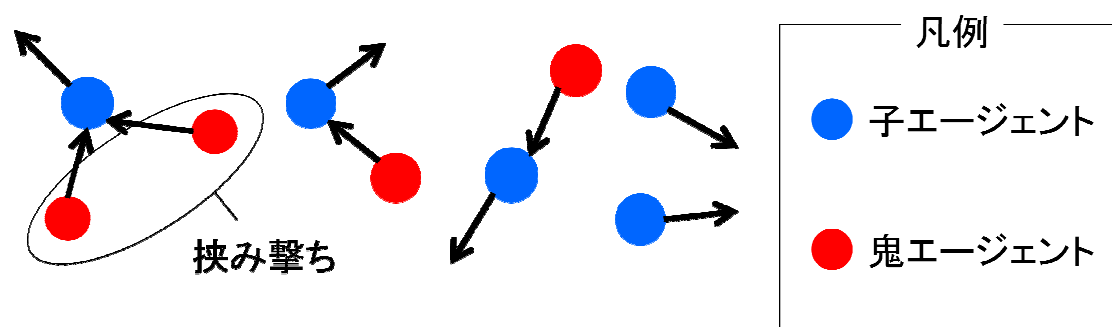
エージェントはほかのエージェントとの通信を行うことができ、複数のエージェントが協力し何かを行うことも可能になり、逆にエージェント同士がつながることで行動が制限されてしまうこともある。例えをあげると、重い荷物を運ぶ時、複数人が協力して運ぶ、子供や高齢者とともに行動することにより移動速度や、移動するときに持てる荷物の量に制限ができる、などがある。

3.2 マルチエージェントシステムとは

マルチエージェントシステムとは、まさに日本語役のとおり「代理人の集まり」という意味であり、2.1で述べた特徴をもつ複数のエージェントが同じ空間に存在しているシステムをいう。この考え方は、1959年に心理学者Selfridgeが、特徴分析を用いてパターンを認知する脳の働きを「パンディモニアム」というモデルで説明した時に用いられた[7]。

2.1で述べたように、個々のエージェントは周囲のエージェントと協調するなど、周囲の環境に合わせて自分の目標達成のために自律的に行動し、問題解決を行う。マルチエージェントシステムとは、この問題解決するために、複数のエージェントに異なった目標や考慮を与えた上で、知的な集団行動を生み出すシステムであり、個々エージェントの能力、性質、機能が重視され、自律的なエージェント間の相互作用に着眼している。

3.3 マルチエージェントの例（鬼ごっこ）



鬼ごっこでは、鬼エージェントと子エージェントの 2 種類が存在する。鬼エージェントは子エージェントを追いかけて、子エージェントを全員捕獲する、子エージェントは鬼エージェントに捕獲されないように、逃げ続けるという各エージェントが目的を持って行動する。

さらに、図 3.3 のように、一人の子エージェントに対して、鬼エージェントが両側から挟んで、逃げ道をなくしたり、鬼エージェントが子エージェントを捕獲することで、ゲームから削除したりという、各エージェントが各自で目的を行うだけでなく、他のエージェントが互いに影響し合う。

各行動についての例を次に示す。

自律的行動

鬼側：子エージェントを捕まえる行動

子側：鬼エージェントからできるだけ長く逃げる行動

学習的行動

周りに、壁や、物があったら、それを避けて行動する

協調的行動

鬼側：鬼同士が、協力し合って子を挟み撃ちする

子側：子同士が、できるだけ同じ方向に移動しないで、ばらばらに逃げる

このように、各エージェントが存在し、互いに影響しあう状態をマルチエージェントという。

マルチエージェントシステムは、様々な分野に用いられている。本節ではその中からいくつかの利用例を紹介する。

人や車の動きというものは，ともに人の思考や意思が働いている．近年では，マルチエージェントを用いることにより，この状況判断を取り入れたモデルが実用化されてきている．

[illegible]

教育分野

教育分野では、生徒に対する指導方法，教育機関での生活でおきる問題など，さまざまな研究が行われている。

そのなかでも、近年問題のひとつが、教育機関における人間関係の問題であり、先生や生徒、さらには保護者というように、教育機関には様々な考えや立場をもった人がいる。そして、この問題について、マルチエージェントシステムを利用したシミュレーションが現状把握に利用されている。

具体的な利用例として, 「マルチエージェントシステムを用いて学校いじめ問題の形式構造を探る」[9]という研究がある. この研究の目的は, 世界各国において観察される人間関係のあり方のひとつで, 学校の子供集団に限らず, 職場や地域コミュニティ等の大人たちの集団においてさえ観察されるいじめの創発構造を推定することである. マルチエージェ

ントシステムは、創発構造をシミュレーションするために利用している。

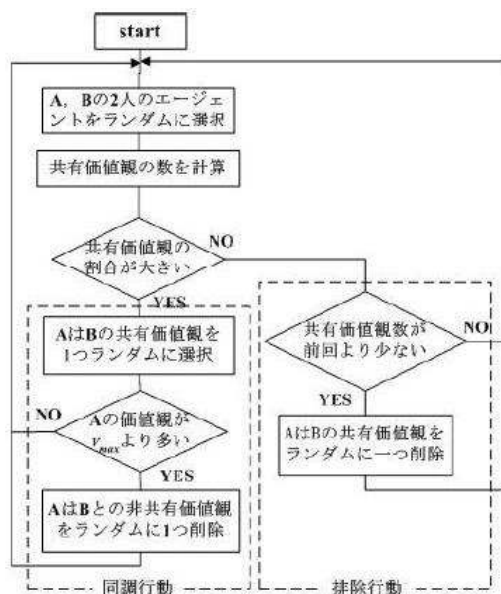


図3.5 フローチャート

経済分野

様々な商品の市場価格は刻々と変動していき、これらの価格は市場参加者の取引の結果である。つまり、市場参加者の取引における戦略や、傾向によって市場価格は大きく変動する。このような価格変動の激しい市場をシミュレーションするために、仮想的に市場をコンピュータ上に表現する人工市場の研究が進められてきた。

具体的な利用例として、「人工市場による取引アルゴリズムの評価」[10]という研究がある。この研究の目的は、人工市場シミュレーションを用いることで、取引アルゴリズムの事前評価を行うことである。マルチエージェントシステムは、人工市場シミュレーションを行う際に用いて、様々な市場利用者をエージェントとすることで、市場価格の変動を表現している。

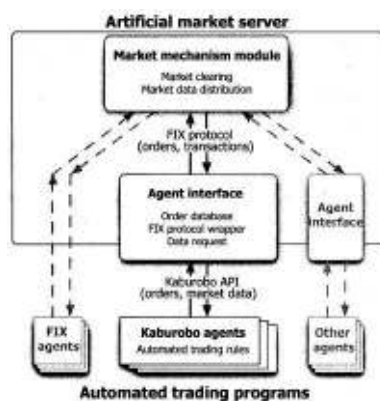


図 3.6 人工市場シミュレーションの枠組み

3.5 マルチエージェントを用いた避難シミュレーションについて

本研究ではマルチエージェントを，災害時の避難シミュレーションに用いる．

マルチエージェントを用いた避難シミュレーションとは，避難マップに被災者となるエージェントを複数配置し，彼らが避難場所に移動するまでをシミュレーションするものである．そして，マルチエージェント避難シミュレーションを用いることで，避難行動中のエージェントの動きや，シミュレーション終了時の状態，避難成功人数などを観察することから，誘導方法の検討や，非常通路の閉鎖のタイミングの検討など，様々な研究が行われてきた．

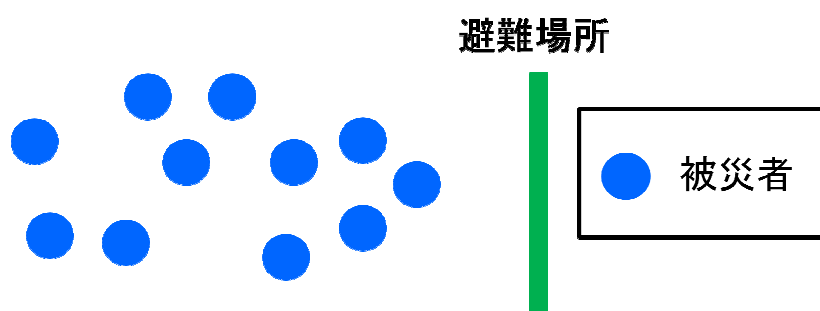


図 3.7 避難モデル

避難シミュレーションは，対象人数が多い，対象範囲が広いなど，様々な理由で実際に人を使ってシミュレーションを行うことが難しいがゆえに行われている．さらにロボットと人が共同で救助活動を行う場合では，災害場所や人数などの情報のみから即座にシミュレーションを行い，状況を把握する必要があるため，シミュレーション結果から，シミュレーション自体の精度を評価することが難しい．このことから，シミュレーションの精度となるのは，各エージェント，マップが現実にとれほど近いからであるため，各エージェントの行動や情報の共有など，エージェント間の関係，各エージェントの行動をより人間に近づける研究が行われている．

4 既存研究

本章では、今までに行われたマルチエージェント避難シミュレーションの研究事例を説明する。

4.1 エージェントモデルによる災害時避難シミュレーションの試み

-湘南海岸における事例-

4.1.1 概要・目的

この研究のシミュレーションモデルでは、避難場所までの情報を持っている誘導者と持っていない避難者とでは、避難場所までの経路情報を共有することができたが、避難者同士の情報交換を行えないという問題を迫及し、新しく避難者同士の情報伝達を可能にしたモデルを作成している[11]。

そして、作成したモデルを用いて津波被害を想定した時の、避難場所解放時間による、避難成功人数の変化についてシミュレーションを行っている。

4.1.2 行動モデルの特徴

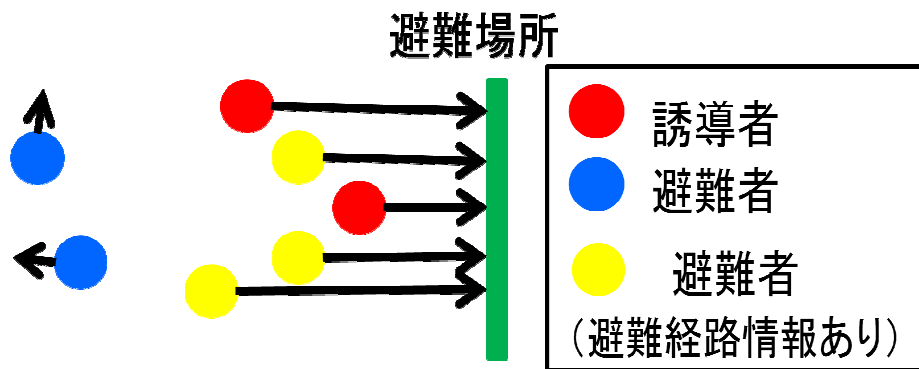


図 4.1 行動モデル

この研究ではエージェントである被災者を、誘導者と避難者の 2 種類に分けてシミュレーションを行っている。誘導者は避難場所までの経路情報を持っているエージェントで、避難場所に向かって移動する。避難者エージェントは情報を持っていないエージェントで、各自徘徊するが、誘導者、避難場所までの経路情報をもった避難者に接近した場合、相手エージェントから避難場所までの経路情報を共有することができる。つまり、情報共有後は各エージェントが自律的に避難場所に向かうことになる。

さらに、移動能力の高いエージェントと低いエージェントにわけてシミュレーションを行っている。

4.1.3 シミュレーション詳細

この研究のシミュレーションは、神奈川県藤沢市鵠沼海岸 1～2 丁目，片瀬海岸にいたる地域を対象にしている．その地図を図 4.2 に示す．この地域は細い道が迷路のように張り巡らされている．そのため，適切な避難場所までの誘導標識の設定や，避難経路の設定，誘導法が必要である．

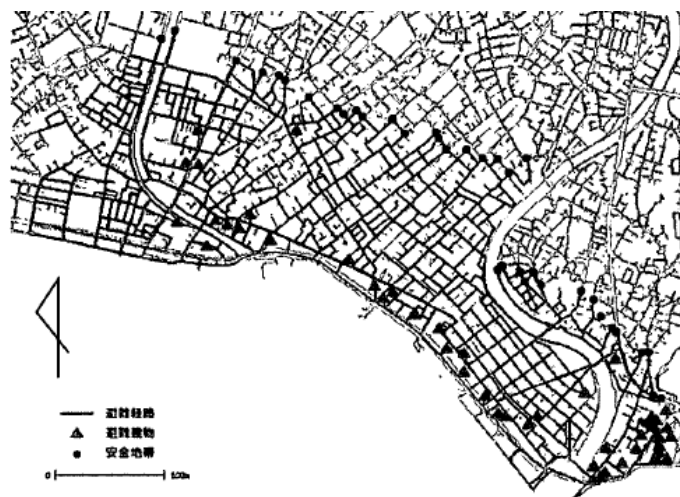


図 4.2 藤沢市湘南海岸地図

そしてシミュレーションケースは，津波発生後避難場所を解放する時間を場合分けしておこない，表 4.1 のように 2 ケース行った．

表 4.1 シミュレーションケース設定

	ケース 1	ケース 2
警報発令後避難建物開放時間	0	300

単位：秒

4.1.4 結果・結論

表 4.2 シミュレーション結果比較

	ケース 1	ケース 2
経過時間	累積避難完了者数	累積避難完了者数
150	1,771	18
300	3,905	918
450	4,990	3,974
600	5,699	5,306
750	6,256	6,179
900	6,613	6,729
1,050	6,907	7,140
1,200	7,145	7,453
1,350	7,343	7,688
1,500	7,519	7,886
1,650	7,664	8,049
1,800	7,804	8,194

各ケースの避難完了者数を表 4.2 に示す。経過時間が 750 秒まではケース 2 よりもケース 1 の方が避難完了人数は多いが、900 秒以降は逆転し、1800 秒後にはケース 2 の方が、約 400 人も高くなっている。この結果より、津波発生後の避難完了者数を増加させるには、一定時間、避難場所への避難を制限することも有効であることがわかる。

この結果から、災害の犠牲者を減少させるためには、様々な津波対策の効果を事前に予測し、可能な限り被災者を減らす必要があるといえる。

4.2 避難者による避難補助について

4.2.1 概要・目的

4.1 の研究では、避難者同士のすべての情報を一瞬で共有出来てしまうことや、流通する情報がすべて正しいものであるとは限らないという問題点がある。そこで（話し言葉かな）、複雑な情報伝達を追従の要請のみにする、さらに、誘導者と避難者だけでなく、誤誘導者という新しいエージェントを加えることで、シミュレーションをより現実に近づけられることを狙っている[12]。

4.2.2 マルチエージェント・シミュレータ「artisoc」

artisoc[13]は構造計画研究所が製作したマルチエージェントシミュレータツールである。artisoc は KK-MAS という、同じくマルチエージェントシミュレータツールの改良版であり、KK-MAS の、日本語環境のパソコンでプログラミング言語やプログラミング技法を学ばないでも利用できる、という特徴を引き継いでいる。

空間、各エージェントに動作内容をプログラムにより記述することで、エージェントを配置し、動きや色の変化から、エージェントが空間全体に与える影響を知ることができる。

4.2.3 行動モデルの特徴

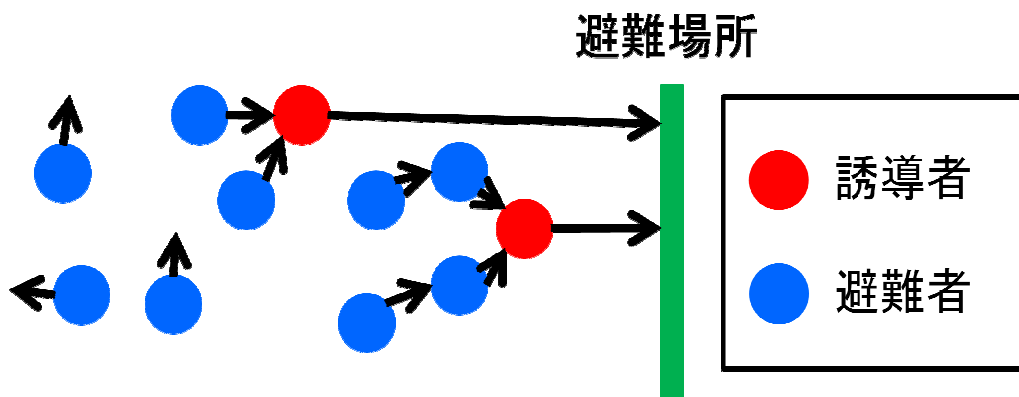


図 4.3 行動モデル

誘導者は、避難者に対して自身に追従するように要請しながら、避難場所まで移動を行い、避難者は、避難場所までの経路情報を取得はしないが、誘導者に追従することにより、避難場所まで移動することができる。さらに、誘導者に追従している避難者が、他の避難者にも追従するように知らせる。これにより、図 4.3 のように、誘導者を先頭として、その後ろに多数の避難者エージェントがついてきている状態で、避難場所に移動する。

さらに、新しいエージェント「誤誘導者」を新しく定義している。このエージェントは災害発生後、実際には避難できない場所を目標として移動する被災者を表したもので、誘導者と同様に、避難者に対して自身に追従するように要請しながら、誤った避難場所まで移動する。

4.2.4 シミュレーション内容

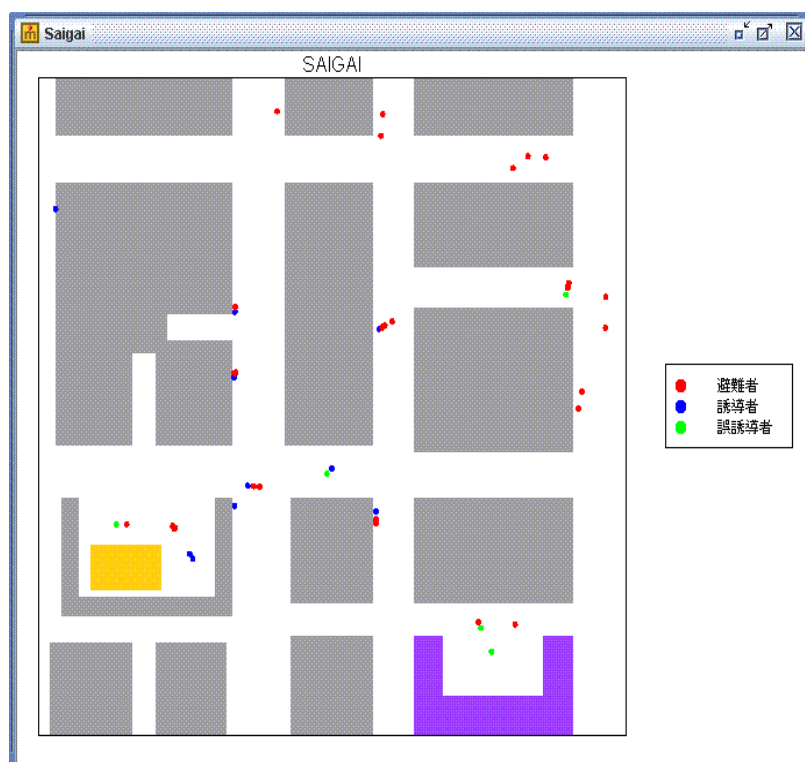


図 4.4 シミュレーション画面

被災者数、被災者の中の各エージェントの割合、視野、誘導範囲（誘導者や誤誘導者の追従を促す範囲）という避難シミュレーションの場所や状況において、変化するパラメータをいくつかに分けた。そして、すべてのパターンを各 100 回ずつシミュレーションして、避難成功人数の割合を求める。

4.2.5 結果・結論

各エージェントの割合による違いを図 4.5 に示す。この結果から、誘導者の人数が多いと避難成功者割合が高く、少ないと避難成功者割合が非常に低いというように、避難者の人数が結果に大きく影響を与えていることが分かる。

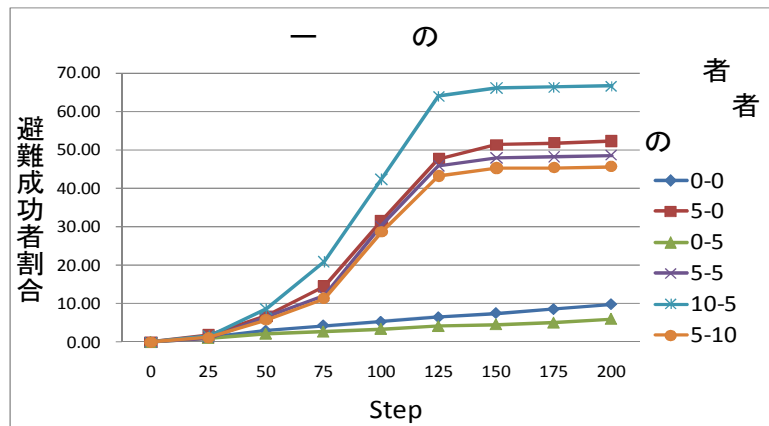


図 4.5 各エージェントの人数比率による変化

さらに、表 4.3 と図 4.6 より、誘導者の人数だけでなく、誘導範囲を 1 大きくすると避難成功者割合が 10%前後増加することから、誘導範囲も結果に影響を与えていることがわかる。

表 4.3 CaseA~F の組み合わせ

Case	誘導者の人数	視野・誘導範囲
A	5	2-1
B	10	2-1
C	5	3-2
D	10	3-2
E	5	5-3
F	10	5-3

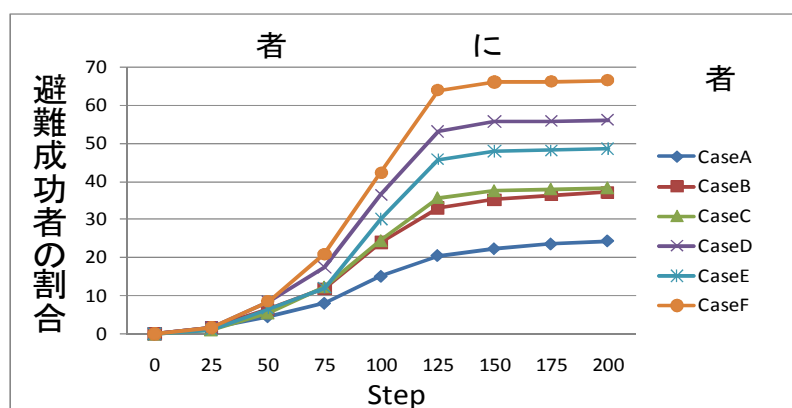


図 4.6 誘導者数と誘導範囲による変化

このことから、シミュレーションを行う際、誘導者に関するパラメータを慎重に設定する必要があることが分かる。

5 研究内容

5.1 問題点・研究目的

5.1.1 既存研究の問題点

本研究で既存研究に用いられたシミュレーションモデルからあげる問題は，既存研究では速度を 2 種類と設定していたが，実際にはこれ以上に様々な種類の速度が存在するという点であり，その理由としては次のようなものがあげられる．

- ①命の危機に直面するため，皆気が動転していて，早く避難したいと考える
- ②避難者は災害発生場所についての情報が少なく，避難場所までの経路情報を持っていないため，何場所までの距離を知らない

これらの理由から，被災者は自身のスタミナを考慮して移動しているとは考えにくく，速度は次第に低下すると考えられる．

5.1.2 考えられる事象

5.1.1 で述べた速度の低下を考慮したうえで発生すると考えられる事象は次のようなことが考えられる．

- ①同じ距離を移動するのに，移動時間が余分にかかる
- ②図 5.1 のように，誰かを追従していた被災者が，移動速度の低下から，追従相手を見失ってしまい，誰かを追従していた被災者本人だけでなく，その人に追従してきた人全員がついじゅう目標を見失ってしまう

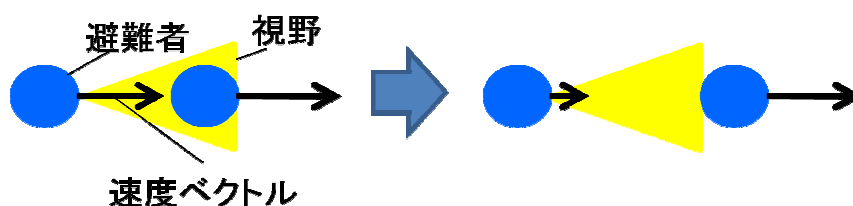


図 5.1 追従相手を見失う例

①②から，シミュレーションの結果に影響が発生すると予測することができる．

5.1.3 研究目的

マルチエージェントシミュレーションとは、各エージェントの行動パターンをプログラミングし、それらをマップに配置し動きをみるので、1step ごとにエージェント分のプログラムが実行されることになる。つまり、エージェント数が増えるほど、複雑な情報を持ったエージェントが処理時間に与える影響が大きくなる。このことから、マルチエージェントシミュレーションは、シミュレーションに無益な情報はなるべく考慮しないで行う必要がある。本研究では、この移動速度の低下が、シミュレーション結果にどのような影響を与えるのかということを調べ、今後より現実に近い避難シミュレーションを行うにあたってこの速度低下を考慮すべきかどうかを考察することを目的とする。

5.2 実験環境

本研究では、4.2の研究で利用されたものと同じ構造計画研究所製作のマルチエージェントシミュレータツール「artisoc」[13]を用いて、避難シミュレーションを行う。本節では、本研究でシミュレーション作成時に設定した内容を説明する。

5.2.1 シミュレーションマップ

本研究では、スタミナ考慮ということであり、特定の場所のみをシミュレーションしても、他の場所やシチュエーションでは、まったく別の結果が出ないとも限らない。このことから今回は既存研究と比較することを考え、4.2の研究で用いられたシミュレーションマップ参考に図 5.2 を作成し、実験を行う。

黄色の部分を目避難場所、水色の部分を避難場所、グレーの部分障害物とし、各エージェントは、白い部分を移動し、避難する。

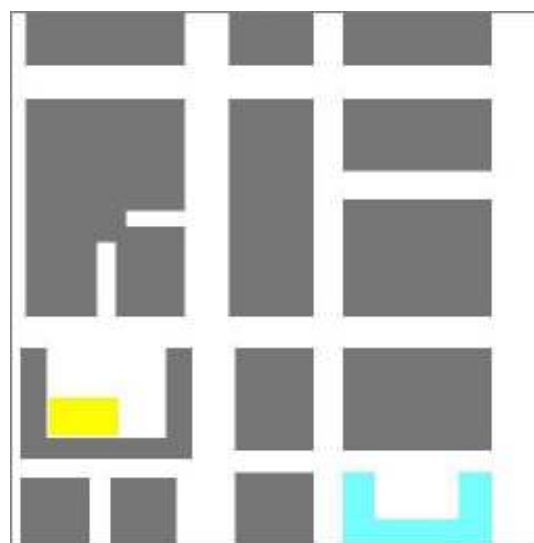


図 5.2 シミュレーションマップ

5.2.2 エージェントモデル

本研究では、次の誘導者、避難者、誤誘導者の 3 種類のエージェントを使ってシミュレーションを行う。本項ではこれらのエージェントの行動について説明する。

- ・誘導者エージェント（避難場所までの経路情報を所持している者）

誘導者エージェントとは、土地勘があり、避難場所までの経路情報を持っている人のことを指し、警備員や店員、社員を対象としている。そして、他のエージェントを避難場所まで誘導し、避難させるエージェントであるので、たくさんの人を避難させるのに、もっとも重要なエージェントである。

また、本研究では、誘導者エージェントの誘導方法として、吸着誘導法を用いる。吸着誘導法とは、災害発生後、自身付近の被災者に対して追従するよう促す。そして、避難場所まで移動し、そのまま自身も避難する誘導方法である。この誘導方法のほかにも、代表的な方法としては、指差誘導法がある。これは、誘導者が避難場所までの道のりに誘導者同士が間隔をあけて立ち、被災者に避難場所の方向を示して誘導する方法である。しかし、文献[14]では、吸着誘導法の方が、指差誘導法よりも避難成功人数が多いことが示され、吸着誘導法が現在最適とされているため、本研究でも吸着誘導法を用いる。

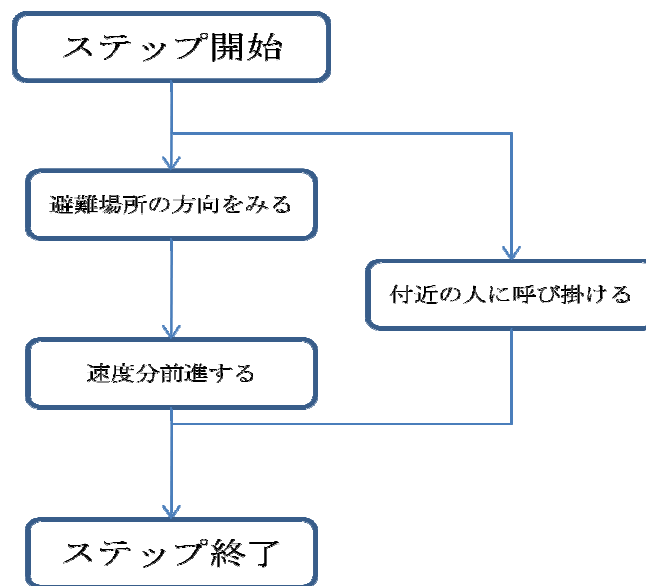


図 5.3 誘導者の動き

図 5.3 は誘導者エージェントの行動選択の方法を示したものである。誘導者は、他のエージェントが自分に追従することはあるが、他のエージェントによって移動方向を左右されることはないので、3つのエージェントでもっとも自律的な行動を行えるエージェントであるといえる。

- ・避難者エージェント（避難場所までの経路情報を所持していない者）

避難者エージェントとは，土地勘がなく，避難場所までの経路情報を持っていない人のことを指し，顧客を対象としている．そのため，自分自身が避難場所に移動するという目的のみを持って行動する．

避難者は，避難場所までの経路情報を持っていないことから，基本的にはマップ内を縦横無尽に歩き回るといふ行動をとる．しかし，何か避難場所までの情報を持っているエージェント，つまり，誘導者，誤誘導者，誰かを追従している被災者を視界にとらえたら，そのエージェントに追従する．

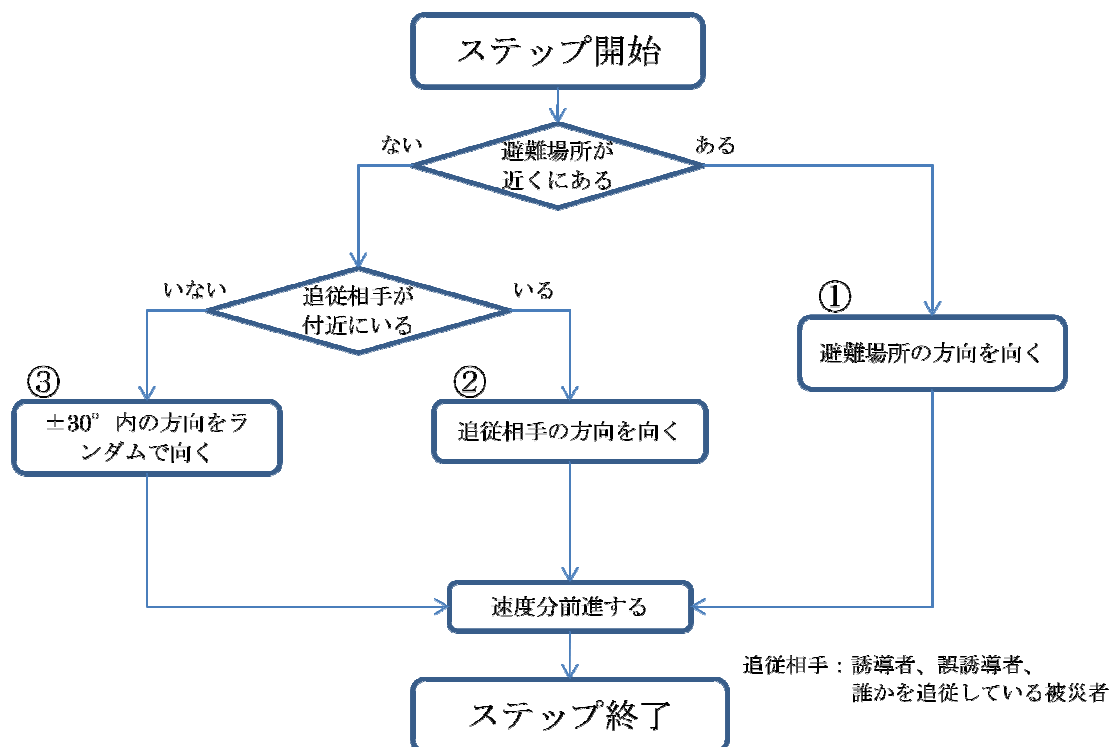


図 5.4 避難者エージェントの動き

図 5.4 は避難者エージェントの行動選択の方法を示したものである．図の①を通る行動は，避難場所付近であるため，そのまま避難場所に移動し避難する行動を示している．また，②を通る行動は，自身付近に追従相手を発見したら，そのエージェントについていく行動，③を通る行動は，①②いずれの場合にもあてはまらず，避難場所までの経路情報が何もないため，マップ内を徘徊する行動である．

- ・誤誘導者エージェント（間違った避難場所までの経路情報を所持している者）

誤誘導者エージェントとは，土地勘があるかないかは定かではないが，避難場所までの

避難経路情報は持っていないが、普段では出口までつながる場所までの避難経路情報を持っている人のことを指し、少数派の顧客を対象としている。そのため、自分自身が避難場所へ移動するという目的が最優先ではあるが、誘導者と同様に目的地に向かって移動するので、たくさんの人を引き連れて移動する。

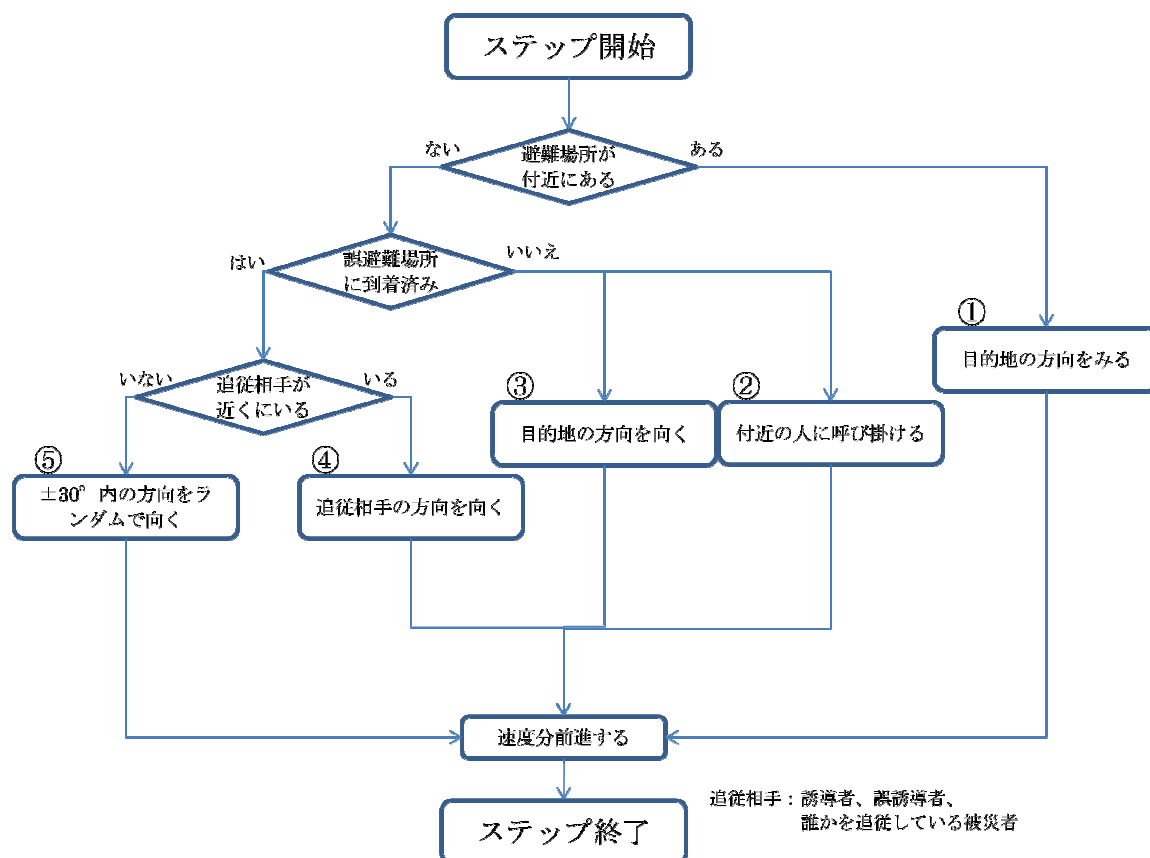


図 5.5 誤誘導者の動き

図 5.5 は避難者エージェントの行動選択の方法を示したものである。誤誘導者の行動は、主に誤避難場所へ移動するまでは誘導者と同様の行動、その後は、目的地を見失うため、避難者と同様の行動をとる。図 5.5 の②③が誘導者、①④⑤が避難者と同様の行動である。

5.2.3 目的地に向かう方法

5.2.2 の誘導者と誤誘導者は目的地に向かう方法として、目的地（避難場所、誤避難場所）の方向を向いて、前進と記している。しかし、実際には、正面に壁があった場合、壁で囲まれている場合には、常に壁にぶつかり続けたり、同じ場所を行き来し続けたりしてしまうという問題が発生する。しかし、この問題を完全に解決するアルゴリズムが確立されていないため、本研究では独自の方法で目的地に移動させている。本項ではその方法を説明する。

移動方法を考えた場合、3種類の行動パターンがあると考えられる。それは、①目的地方向に移動するパターン、②道なりに進むパターン、③引き返すパターンである。③は前方が壁でふさがっていて、①、②のパターンのどれにも当てはまらない場合に行う動作として設定する。①、②に関しては、次のようなパラメータを用いて、移動方向を決定する。

- ・特別可視距離

各エージェントが持つ視野とは別に設定するもので、特別可視距離分前進するまでに壁が存在しない場合、移動可能とする。また特別可視距離は避難経路情報を持つエージェントが持つものなので、視野より大きな値に設定するが多い。

- ・視野角度

エージェントの前方を中心とした角度である。シミュレーションでは、エージェントが移動してきた方向から視野角度の中でのみ移動できるように設定する。

- ・後方角度

エージェントが歩いてきた方向を中心とした角度である。シミュレーションでは、エージェントが移動してきた方向から後方角度の中は移動できないように設定する。これにより、極力引き返すことを禁止することができる。

これら3つのパラメータの条件が満たされたときのみ、移動する。

また、これら3つのパラメータの条件の縛りを始めは強くして、徐々に緩くしていくように設定する。そして、どれにも当てはまらなかった場合は、引き返させる。このアルゴリズムよりエージェントを壁に引っかからないように目的地まで向かわせる。

しかし、今回の実験で用いるマップではあまり行き止まりはなく、避難場所付近で行き止まりが見られないが、避難場所付近で行き止まりになっている場合には、行き止まりに一度たどり着かないと経路が間違っていることに気づかず、時間を使ってしまうため適切ではないので、どのマップでも利用できるとは言えない。

5.2.4 スタミナによる速度低下を考慮した速度設定方法

スタミナを考慮する上で次のような問題がある．

- ①スタミナと速度の関係性が明確化されていない
- ②マルチエージェントにスタミナを考慮させる試みが初めて
- ③スタミナの量，スタミナの減少率など，一人ひとり異なる

これらの問題は，本研究では改善することはせず，その代わりに条件を設けて複数パターンの速度低下を設けて，すべてをシミュレーションすることによって，総合的に考察する．

- ①誰かを追従している時に全力疾走，追従していないときは歩きとする
- ②歩きの速度を最低速度とする
- ③スタミナの回復は考慮しない
- ④スタミナの減少の仕方は図 5.6 のように複数パターン行う

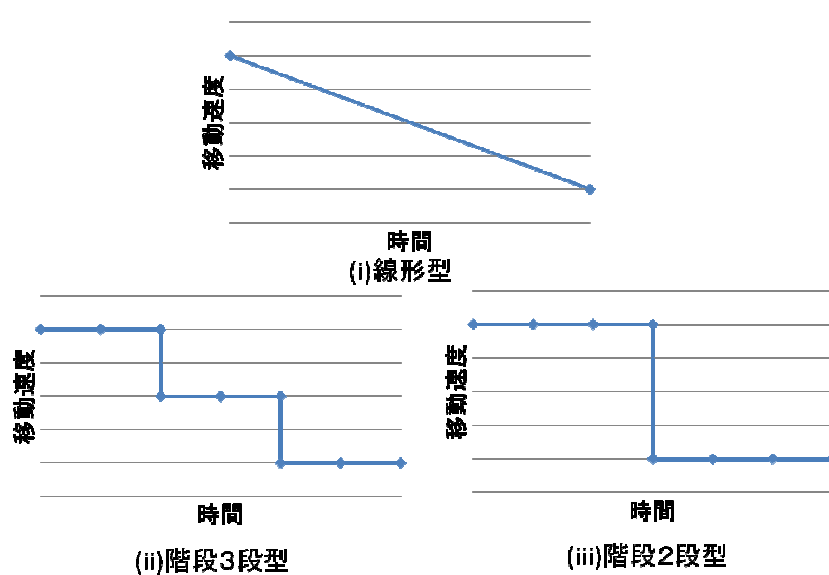


図 5.6 速度低下の仕方

(以後(i)を速度低下パターンⅠ，(ii)を速度低下パターンⅡ，(iii)を速度低下パターンⅢとする)

また，最大速度は文献[15]より 6.9m/s，歩行速度は文献[16]より 1.3m/s であることから，
(最大速度)：(最小速度) = 5.3:1 を維持した状態でシミュレーションを行う．

5.3 実験内容

スタミナ考慮有無，速度維持時間，エージェントの数，各エージェントの割合のパラメータを 1CASE ずつ変化させていった 147 パターンについて 200step を 100 回ずつシミュレーションする。

変動するパラメータ

- ① 速度低下の仕方 : CASE1 速度低下パターン I
CASE2 速度低下パターン II
CASE3 速度低下パターン III
- ② 速度維持時間 : CASE1 30(step)
CASE2 70(step)
CASE3 110(step)
- ③ 被災者人数 : CASE1 30(人)
CASE2 40(人)
CASE3 50(人)
- ④ 各エージェントの割合 : CASE1 誘導者 5 人，その他避難者
CASE2 誘導者 0 人，誤誘導者 5 人，その他避難者
CASE3 誘導者 5 人，誤誘導者 5 人避難者，その他避難者
CASE4 誘導者 10 人，誤誘導者 5 人，その他避難者
CASE5 誘導者 5 人，誤誘導者 10 人，その他避難者

(さらに，速度低下なしの場合 9 パターン，誘導者，誤誘導者がいない 3 パターンを加える)

また，速度維持時間に関しては，実験を行う前に，誘導者のみ 10 人を配置して，避難シミュレーションを行った結果，70step にすべての被災者が避難を完了しているので，これを中心に設定している。

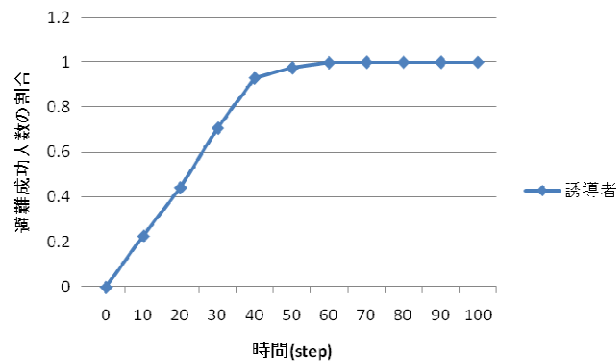


図 5.7 誘導者のみ配置の場合

そして、次の式でそれらの避難成功人数の割合の平均を求める．

$$P(n) = \frac{n}{n1 + n2 + n3}$$

P(n):避難成功人数割合

n:避難場所到達人数

n1:誘導者人数

n2:避難者人数

n3:誤誘導者人数

これによって得られた結果から、スタミナ考慮の有無による避難シミュレーションの結果に差異が生じているのかを検証する．もし、差異がない場合は、その原因を考察する．

6 シミュレーションの結果・考察

6.1 スタミナ考慮有となしの場合について

スタミナによる速度低下を考慮した場合と、していない場合の避難成功人数の割合の違いを表 6.1, 図 6.1 に示す。これらの結果から、2 つの特徴があることがわかる。

1 つ目は、150step の避難成功割合までの上昇の仕方にばらつきがあることである。速度維持時間が短いほど避難成功人数の割合の増加が緩やかであり、速度低下なしの場合と大きな差が生まれている。これは、唯一避難場所までの経路情報を所持している誘導者の移動速度が低下していくため、誘導者やそれに追従してきた被災者全員が避難場所まで移動するのにかかる時間が増加したためであると考えられる。

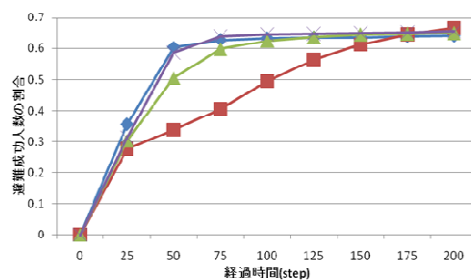
2 つ目の特徴は、175step をこえると、速度低下有りの避難成功人数の割合が、微量ではあるが速度低下なしの割合を上回っているということである。これは、誘導者の速度が小さくなり、誘導者を追従している被災者が、置いていかれることなく確実に避難場所まで移動できることが原因だと考えられる。

表 6.1 スタミナ考慮有無による避難効率の変化
(誘導者10人, 誤誘導者5人, 避難者15人)

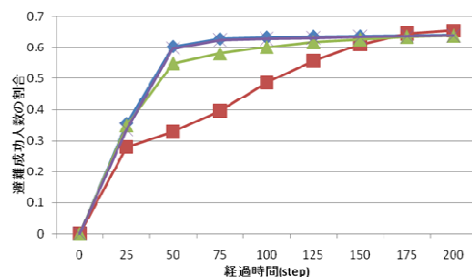
度 方 度	0	25	50	75	100	125	150	175	200
なし	0	0.3558	0.6036	0.628	0.6326	0.6352	0.6362	0.6386	0.6408
— 30	0	0.2764	0.3378	0.4054	0.4954	0.5644	0.6124	0.645	0.6662
— 70	0	0.3034	0.5058	0.5986	0.6248	0.637	0.646	0.6484	0.6506
— 110	0	0.3136	0.5864	0.6396	0.6452	0.6476	0.6498	0.6518	0.6548
— 30	0	0.2798	0.328	0.3964	0.4884	0.5576	0.6106	0.6454	0.6548
— 70	0	0.3488	0.549	0.5808	0.601	0.618	0.6268	0.6348	0.6384
— 110	0	0.3368	0.5976	0.6236	0.6284	0.6312	0.6336	0.6368	0.6392
— 30	0	0.2078	0.2508	0.312	0.3706	0.4402	0.54	0.6152	0.6492
— 70	0	0.2488	0.3154	0.3728	0.4512	0.5502	0.6056	0.6526	0.6748
— 110	0	0.257	0.3816	0.4522	0.5438	0.6012	0.6286	0.6564	0.6622

誘導者10人, 誤誘導者5人, 避難者35人

速度低下パターン I



速度低下パターン II



速度低下パターン III

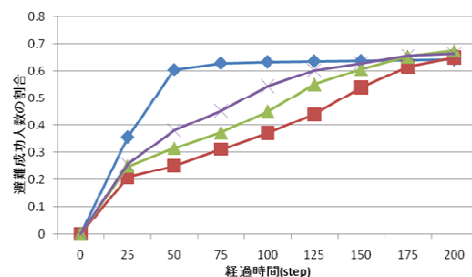


図 6.1 スタミナ考慮有無による避難効率の変化

6.2 速度低下パターン間について

この節では、速度低下パターンⅠ～Ⅲで得られた避難成功人数の割合の違いについて、考察する。

・速度低下パターンⅠとⅡの違い

速度低下パターンⅠとⅡの避難成功人数の割合を表6.2、図6.2に示す。この結果から、2つのパターンではあまり結果に大きな違いがないことが分かり、速度維持時間が30stepの場合は、速度低下パターンⅠとⅡのパターンで結果がほぼ同じになっている。速度維持時間が70step、110stepの場合では、50stepから75stepにかけて割合が逆転しているという違いや、200stepでの避難成功人数の割合が微量であるがパターンⅠの方が高くなっているという多少の違いはあるが、大きな違いは見られない。

表6.2 速度低下パターンⅠとⅡの避難成功人数の割合
(誘導者10人、誤誘導者5人、避難者35人)

度 方	度	0	25	50	75	100	125	150	175	200
—	30	0	0.2764	0.3378	0.4054	0.4954	0.5644	0.6124	0.645	0.6662
—	70	0	0.3034	0.5058	0.5986	0.6248	0.637	0.646	0.6484	0.6506
—	110	0	0.3136	0.5864	0.6396	0.6452	0.6476	0.6498	0.6518	0.6548
—	30	0	0.2798	0.328	0.3964	0.4884	0.5576	0.6106	0.6454	0.6548
—	70	0	0.3488	0.549	0.5808	0.601	0.618	0.6268	0.6348	0.6384
—	110	0	0.3368	0.5976	0.6236	0.6284	0.6312	0.6336	0.6368	0.6392

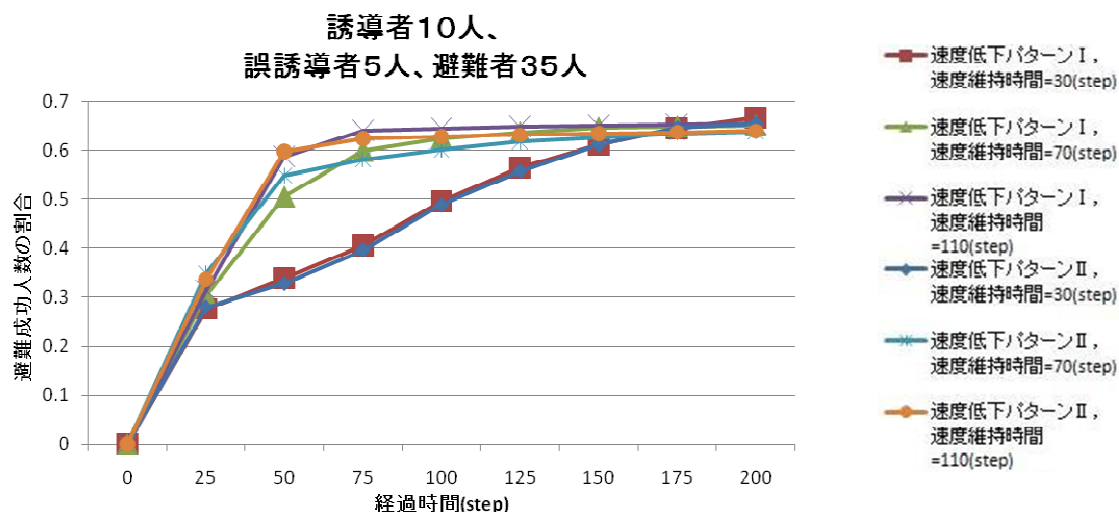


図 6.2 速度低下パターンⅠとⅡの避難成功人数の割合

この結果、もし速度低下パターンを用いる場合は、パターンⅡを優先的に使えばいいことが分かる。その理由は、パターンⅡの方が処理時間の方が短いと考えられるからです。パターンⅡは条件分岐を通過するだけなのに対し、パターンⅠは毎stepに全力疾走開始からの時間と速度維持時間の割合を求めて速度を導かなければならない。また、段数を増やすことで、より速度の低下の仕方がパターンⅠに近づくことが考えられるので、大規模な

シミュレーションを行う時は極力パターンⅡや、さらに段数を増やした場合の速度低下を用いた方がよいと言える。

・速度低下パターンⅠ、ⅡとⅢの違い

速度低下パターンⅠとⅢの避難成功人数の割合を表6.3、図6.3に示す。これら結果から、避難成功人数の割合の増加の仕方に違いがあることがわかる。パターンⅠの避難成功人数の割合は速度維持時間=30stepの時の避難開始直後の増加量は大きく、75stepを過ぎると、増加量が急激に落ちてしまっている。これに対し、パターンⅢはパターンⅠと比べてすべてのグラフの増加が緩やかで、その増加量があまり変わらないまま175step付近まで増加し続け、速度維持時間=30stepの場合では、125step付近で増加量が大きくなる。

また、パターンⅠとⅡの違いが小さかったことも含めて考えると、速度低下パターンが階段型はパターンⅠの線形型と類似した結果を出すことができるが、パターンⅢのように段数が少なすぎると、避難成功人数の割合の増加の仕方に大きな差異が生じることがわかる。

表 6.3 速度低下パターンⅠとⅢの避難成功人数の割合
(誘導者10人、誤誘導者5人、避難者15人)

度 方	度	0	25	50	75	100	125	150	175	200
—	30	0	0.302	0.366333	0.427667	0.522333	0.604333	0.651	0.678333	0.688333
—	70	0	0.339667	0.569	0.636	0.656667	0.670667	0.674333	0.675333	0.676333
—	110	0	0.350333	0.619	0.664333	0.672667	0.676	0.678	0.681333	0.682333
—	30	0	0.213667	0.274	0.333333	0.393333	0.469	0.572	0.640667	0.677333
—	70	0	0.283667	0.339333	0.405	0.480333	0.564	0.636333	0.672667	0.699
—	110	0	0.272333	0.397	0.492333	0.588333	0.651	0.672667	0.694333	0.696667

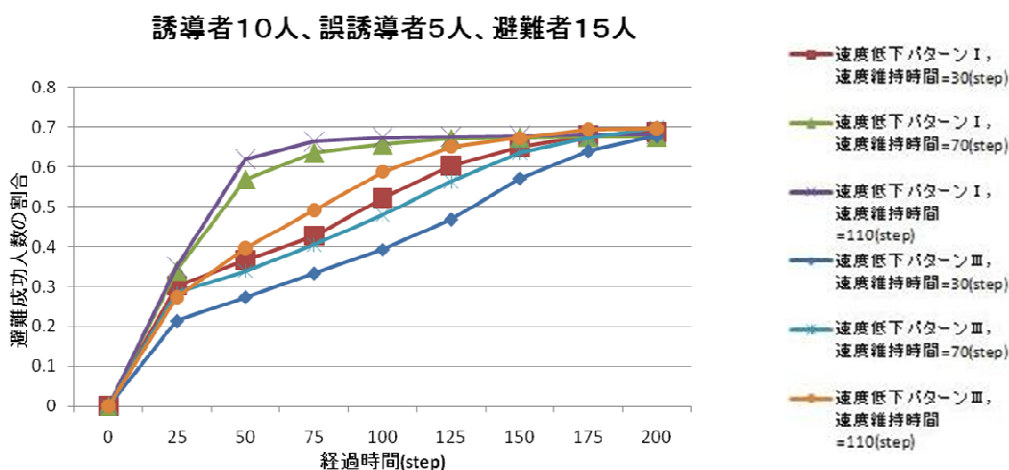


図 6.3 速度低下パターンⅠとⅢの避難成功人数の割合

①②から、速度低下の仕方によっても、結果に影響を与えることがわかり、速度低下の仕方の設定も慎重に行う必要があることがいえる。

6.3 各エージェントの割合の違い（スタミナ考慮有無での共通結果を含む）

各エージェントの割合ごとの避難成功人数の割合を表6.4、図6.4に示す。これらの結果から、スタミナ考慮3パターンとスタミナ考慮なしのすべての場合で、誘導者の人数が結果に大きな影響を与えていることがわかる。この原因は、誘導者が避難場所までの道のりを知っている上に、他のエージェントも避難場所まで連れて行くため、避難成功人数の割合に直接影響を与える存在であるからであると考えられる。

これに対し、誘導者以外のエージェントは、避難者、誤誘導者の割合にかかわらず同じような結果になり、エージェントの中に誘導者がいない場合に関しては、スタミナ考慮3パターンとスタミナ考慮なしのグラフに差異がみられない。この原因は、避難者も誤誘導者も避難場所までの避難場所までの経路情報を持っていないため、誤誘導者により避難場所から遠ざかることがあるなしにかかわらず、自力で避難場所までたどり着くのは難しいからであると考えられる。

表6.4 各エージェントの割合による避難成功人数の割合
(速度維持時間=110step, 被災者数50人)

度 方	—									
		0	25	50	75	100	125	150	175	200
なし	者の	0	0.1932	0.2056	0.2156	0.2272	0.2354	0.2442	0.2522	0.2608
なし	5 45	0	0.2942	0.4848	0.5042	0.5106	0.5152	0.5192	0.5242	0.5286
なし	5 45	0	0.2032	0.2132	0.2212	0.2276	0.2314	0.235	0.239	0.243
なし	5 5 40	0	0.2808	0.4524	0.475	0.4808	0.4856	0.4894	0.4938	0.4964
なし	10 5 35	0	0.3558	0.6036	0.628	0.6326	0.6352	0.6362	0.6386	0.6408
なし	5 10 30	0	0.2846	0.437	0.4558	0.46	0.4624	0.4654	0.4682	0.4714
—	5 45	0	0.2676	0.4666	0.4914	0.4992	0.5056	0.5102	0.5158	0.5202
—	5 45	0	0.1954	0.2042	0.2104	0.2156	0.221	0.2254	0.232	0.238
—	5 5 40	0	0.2738	0.4374	0.4798	0.4892	0.4916	0.4958	0.4988	0.5016
—	10 5 35	0	0.3136	0.5864	0.6396	0.6452	0.6476	0.6498	0.6518	0.6548
—	5 10 30	0	0.267	0.4364	0.4762	0.4822	0.4848	0.4868	0.4888	0.4906
—	5 45	0	0.2938	0.46	0.4798	0.4854	0.4904	0.4974	0.502	0.5092
—	5 45	0	0.1968	0.2062	0.212	0.2182	0.223	0.2286	0.236	0.2396
—	5 5 40	0	0.277	0.4594	0.486	0.4928	0.4968	0.5002	0.503	0.5068
—	10 5 35	0	0.3368	0.5976	0.6236	0.6284	0.6312	0.6336	0.6368	0.6392
—	5 10 30	0	0.2854	0.452	0.4738	0.4796	0.4816	0.4844	0.4872	0.4904
—	5 45	0	0.2226	0.3114	0.3882	0.4714	0.5084	0.5264	0.5416	0.5496
—	5 45	0	0.1928	0.2014	0.2096	0.2166	0.2224	0.2278	0.2318	0.2354
—	5 5 40	0	0.2384	0.3226	0.3792	0.4548	0.4824	0.4978	0.5104	0.516
—	10 5 35	0	0.257	0.3816	0.4522	0.5438	0.6012	0.6286	0.6564	0.6622
—	5 10 30	0	0.23	0.3014	0.352	0.416	0.465	0.489	0.5018	0.5124

速度維持時間=110step, 被災者数50人

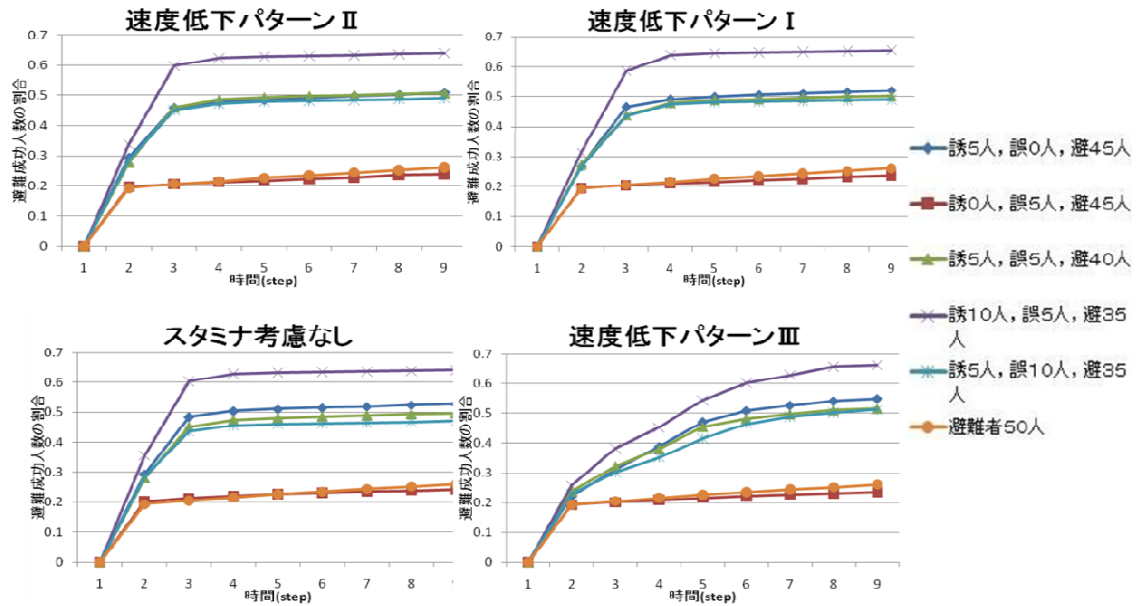


図6.4 各エージェントの割合による避難成功人数の割合

このことから、避難場所の経路情報を持っているエージェントの人数は結果に大きな影響を与えるが、それ以外のエージェントは、例え誤った避難場所の経路情報を持っているエージェントがいる場合でも、結果にあまり影響を与えない。さらに、誘導者が存在しない場合はスタミナ考慮有り無しで結果に差異が生じないことから、スタミナ考慮有り無しの違いにかかわらず、誤誘導者の存在は避難成功人数には影響を与えないことがわかる。

7 結論

本研究では、スタミナによる速度低下の仕方をいくつか仮定し実験を行い、図 7.1 のように、スタミナ考慮による速度低下の有無により避難成功人数の割合の増加の仕方に大きな差異がみられたことから、スタミナ考慮による速度低下が避難シミュレーションを行う際に、考慮すべきであることを示した。

また、各パラメータが結果にどのような影響を与えるかを確認することで、今後のスタミナを考慮した避難シミュレーションを考える上で必要な基礎データを得ることができた。

図 7.1 よりもっとも大きな影響を与えたのは速度維持時間であり、速度維持時間の値が小さいと、避難成功人数の割合の増加の仕方に大きな差異がみられ、速度維持時間の値は慎重に設定する必要があることが分かる。

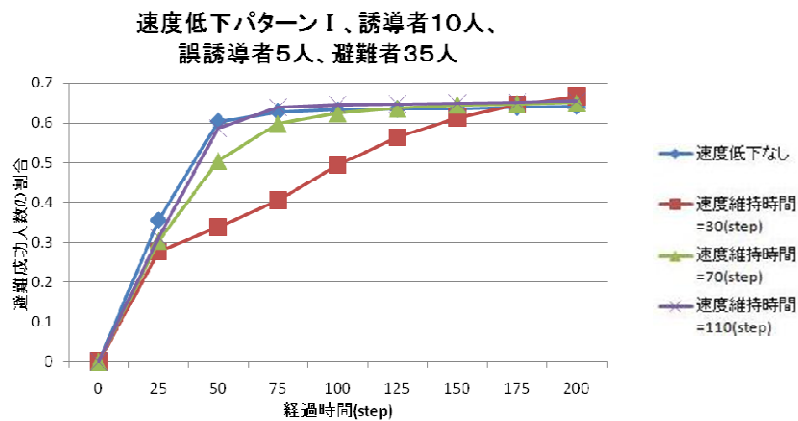


図 7.1 速度低下パターン I と II の避難成功人数の割合

さらに、速度低下の仕方の違いでは、避難成功人数の割合の増加の仕方に違いがみられるものと、あまり差異がみられないものがあつた。図 7.2 より速度低下パターン I と II の結果にはあまり差異がみられなく、速度低下パターン I の方が II より計算量が多いことから、速度低下パターン II の方が実用的だということがいえ、図 7.3 より I、II と III では避難成功人数の割合の増加の仕方に大きな違いがみられた。このことから、速度低下パターンの設定も慎重に行う必要があることがわかる。

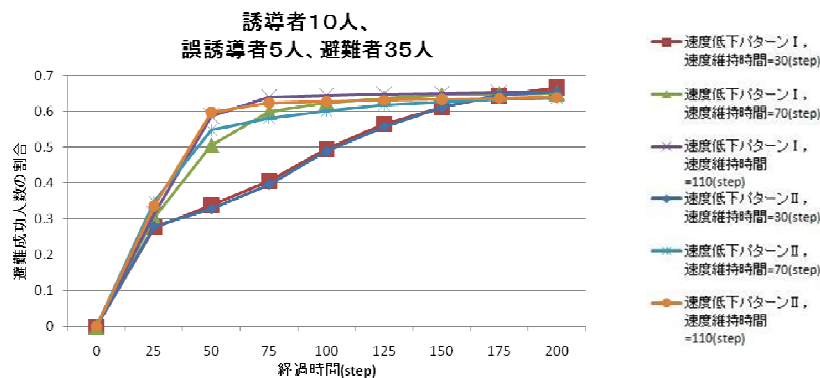


図 7.2 速度低下パターン I と II の避難成功人数の割合

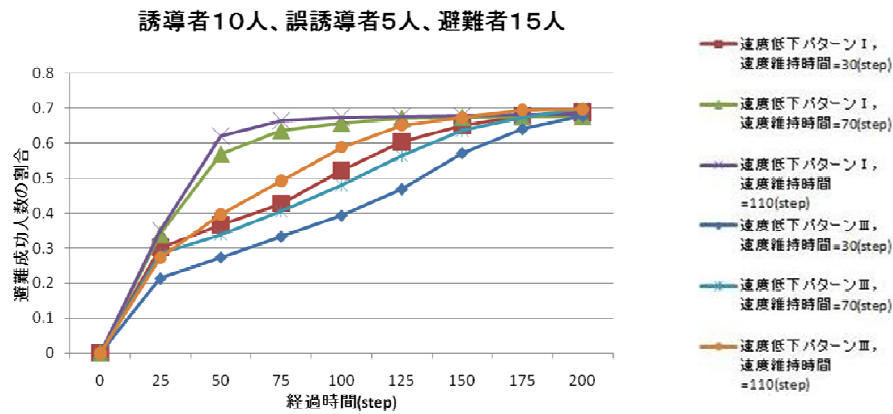


図 7.3 速度低下パターン I と III の避難成功人数の割合

上記から、本研究ではいくつかのパターンのスタミナによる速度低下についてシミュレーションを行い、スタミナ考慮による速度低下が避難シミュレーションするにあたり、必要であることを示すことができたが、影響の仕方を明確に示すには、解決すべきさまざまな問題がある。例をあげると、スタミナと速度の関係が明確でない、エージェントの年齢や状態による速度やスタミナの違いが考慮されていないなどである。

今後は上で述べたような今回のモデルで再現できなかった現実性をさらに追及していき、新たな避難法が提案された際にその有効性を検証できるようモデルを改良していく必要がある。

謝辞

担当教員である相場先生には、大学 4 年生の 1 年間、研究に関することで手厚くご指導いただいたことをとても感謝しています。

同研究室の大学院生である、鈴木さん、砂田さん、宇佐美さん、府川さんには、研究やゼミに関するアドバイス、気が抜けている時には叱っていただき、そのおかげで最後まで挫折せずに本研究に取り組み、感謝しています。

同研究室で同じ学年の、大貫さん、佐藤さん、原田さん、矢山さんとは、同じ学年ということから、互いの気持ちを打ち明け、悩みや喜びを共有することができたおかげで、この 1 年間とても楽しく過ごすことができました。

最後に、学費の高い私立大学に入学させてくれ、大学在学中も常に私のことを気遣ってくれた両親の支え、子供のころからいろいろなことを教えてくれた兄など、多くの方々と接し、協力してくれたおかげで本研究を完成させることができました。本当にありがとうございました。

文献目録

- [1] 気象庁. 気象庁. (オンライン) (引用日 : 2011 年 1 月 24 日.)
<http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- [2] 仲谷善雄. 大規模災害に対する減災情報システム・・・前編. 立命館大学情報理工学部情報コミュニケーション学科. 情報処理 45 巻 11 号 pp1164-1174, 2004 年 11 月.
- [3] 樋本 圭佑, 向坊 恭介, 山田 真澄. 地震災害の統合的被害予測手法の開発に向けた検討. 京都大学防災研究所年報 第 53 号 B 平成 22 年 6 月.
- [4] 組谷 彰太郎, 高田 毅士. 余震を考慮した確率論的建物被害評価. 日本建築学会構造系論文集 第74巻 第637号, 459-465, 2008.
- [5] 田所 諭, 北野 宏明. ロボカップレスキュー-緊急大規模災害救助への挑戦-. 共立出版. 2000. ISBN4-320-02975-5.
- [6] 大内東 雅人, 川村 秀憲. マルチエージェントシステムの基礎と応用. コロナ社. 2002. ISBN4-339-02388-4.
- [7] 沼岡 千里, 大沢 英一, 長尾 確. マルチエージェントシステム. 共立出版. 1997. ISBN4-320-02772-8.
- [8] 赤嶺 有平, 富間 愛晃, 遠藤 聡志. マルチエージェントによる局所通信型渋滞緩和モデルの評価. 第六回情報科学技術フォーラム, M-027.
- [9] 姉崎 和也, 前田 義信. マルチエージェントシステムを用いて学校いじめ問題の形式構造を探る. 新潟大学工学部福祉人間工学科.
- [10] 和泉 潔, 鳥海 不二夫, 松井 宏樹. 人工市場による取引アルゴリズムの評価. 社会法人 情報処理学会 研究報告, 2008-ICS-151.
- [11] 石橋 健一, 藤岡 正樹. エージェントモデルによる災害時避難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.
- [12] 高橋 秀斗. 避難者による避難補助について. 芝浦工業大学卒業論文, 2009.
- [13] 日本構造計画研究所. MAS コミュニティホームページ. (オンライン) (引用日 : 2011 年 1 月 31 日.) <http://mas.kke.co.jp/>
- [14] 岡田 祐作, 竹内 則雄. 避難時における指差誘導法及び吸着誘導法に対するシミュレーション.
- [15] 宮下 充正, 小林 寛道, 山下 文治. 走る科学. 大修館書店. 1990 年.
- [16] 武田 功, 他 8 人. ペリー歩行分析-正常歩行と異常歩行-. 医科薬出版株式会社. 2007.

付録

以下に実験で行ったシミュレーションの全結果を示す．表中の数値は避難成功率をあらわしている．

度	方	度	災者	一	0	25	50	75	100	125	150	175	200
なし			1	者の	0	0.198	0.210667	0.210667	0.217667	0.217667	0.226333	0.226333	0.236667
なし			2	者の	0	0.1865	0.199	0.20925	0.21975	0.22525	0.23675	0.2455	0.252
なし			3	者の	0	0.1932	0.2056	0.2156	0.2272	0.2354	0.2442	0.2522	0.2608
なし		1	1		0	0.311667	0.508667	0.526667	0.530667	0.535333	0.539667	0.543	0.548333
なし		1	2		0	0.193667	0.202667	0.211	0.217667	0.222333	0.226667	0.231667	0.235
なし		1	3		0	0.31	0.497667	0.516	0.521	0.525333	0.527333	0.53	0.533667
なし		1	4		0	0.391333	0.645	0.662667	0.666	0.666667	0.669	0.670333	0.672333
なし		1	5		0	0.304	0.459667	0.479	0.482667	0.484667	0.487	0.49	0.491667
なし		2	1		0	0.307	0.479	0.5015	0.51025	0.514	0.5205	0.52625	0.53075
なし		2	2		0	0.208	0.21675	0.2195	0.225	0.23	0.2355	0.23975	0.244
なし		2	3		0	0.3015	0.4775	0.48975	0.49225	0.49725	0.5	0.50325	0.50475
なし		2	4		0	0.36125	0.606	0.63275	0.63625	0.638	0.64	0.64225	0.644
なし		2	5		0	0.28775	0.439	0.465	0.46875	0.47275	0.475	0.477	0.48
なし		3	1		0	0.2942	0.4848	0.5042	0.5106	0.5152	0.5192	0.5242	0.5286
なし		3	2		0	0.2032	0.2132	0.2212	0.2276	0.2314	0.235	0.239	0.243
なし		3	3		0	0.2808	0.4524	0.475	0.4808	0.4856	0.4894	0.4938	0.4964
なし		3	4		0	0.3558	0.6036	0.628	0.6326	0.6352	0.6362	0.6386	0.6408
なし		3	5		0	0.2846	0.437	0.4558	0.46	0.4624	0.4654	0.4682	0.4714
1	1	1	1	1	0	0.24	0.294667	0.353333	0.432333	0.510333	0.537667	0.559	0.570667
1	1	1	1	2	0	0.178	0.19	0.197333	0.201667	0.205333	0.209	0.214	0.216
1	1	1	1	3	0	0.27	0.320333	0.370333	0.422	0.473667	0.51	0.528	0.542667
1	1	1	1	4	0	0.302	0.366333	0.427667	0.522333	0.604333	0.651	0.678333	0.688333
1	1	1	1	5	0	0.256667	0.297333	0.334333	0.392	0.448333	0.475333	0.493333	0.507333
1	1	1	2	1	0	0.2435	0.29375	0.35375	0.43525	0.498	0.528	0.55125	0.56025
1	1	1	2	2	0	0.207	0.2195	0.22575	0.2325	0.23775	0.24	0.2445	0.24875
1	1	1	2	3	0	0.2555	0.307	0.358	0.41425	0.46425	0.495	0.511	0.526
1	1	1	2	4	0	0.28125	0.358	0.42125	0.50875	0.59	0.6415	0.65875	0.67275
1	1	1	2	5	0	0.24325	0.2975	0.346	0.4015	0.45075	0.47825	0.497	0.50525
1	1	1	3	1	0	0.2434	0.2956	0.3534	0.4212	0.4748	0.5146	0.5338	0.5508
1	1	1	3	2	0	0.1984	0.2082	0.213	0.217	0.2224	0.2278	0.2324	0.2368
1	1	1	3	3	0	0.247	0.291	0.3388	0.3958	0.4502	0.4914	0.5114	0.5282
1	1	1	3	4	0	0.2764	0.3378	0.4054	0.4954	0.5644	0.6124	0.645	0.6662
1	1	1	3	5	0	0.2308	0.2716	0.3082	0.368	0.4274	0.4576	0.4714	0.4874
1	1	2	1	1	0	0.287333	0.465333	0.521667	0.541667	0.552333	0.556667	0.559667	0.561667
1	1	2	1	2	0	0.202667	0.207	0.214667	0.221333	0.229333	0.232	0.234667	0.240333
1	1	2	1	3	0	0.289667	0.454	0.506333	0.525333	0.532333	0.535	0.537	0.540333
1	1	2	1	4	0	0.339667	0.569	0.636	0.656667	0.670667	0.674333	0.675333	0.676333
1	1	2	1	5	0	0.272	0.415667	0.478667	0.493667	0.496333	0.499333	0.499667	0.500333
1	1	2	2	1	0	0.27125	0.4575	0.50525	0.52875	0.541	0.547	0.54975	0.5535
1	1	2	2	2	0	0.20675	0.2155	0.22225	0.22525	0.22975	0.23325	0.23725	0.24225
1	1	2	2	3	0	0.27125	0.43575	0.4925	0.5125	0.51925	0.527	0.5285	0.5315
1	1	2	2	4	0	0.3195	0.545	0.6115	0.64325	0.65175	0.658	0.66	0.662
1	1	2	2	5	0	0.26675	0.41325	0.467	0.492	0.50125	0.50675	0.509	0.511
1	1	2	3	1	0	0.274	0.4438	0.4812	0.4922	0.5032	0.5118	0.5168	0.5208
1	1	2	3	2	0	0.2018	0.2146	0.2222	0.231	0.2354	0.2394	0.2452	0.249
1	1	2	3	3	0	0.291	0.4394	0.49	0.5044	0.5088	0.5144	0.5184	0.5216
1	1	2	3	4	0	0.3034	0.5058	0.5986	0.6248	0.637	0.646	0.6484	0.6506
1	1	2	3	5	0	0.2646	0.4102	0.4562	0.4758	0.4862	0.492	0.4944	0.4966
1	1	3	1	1	0	0.277667	0.495	0.544333	0.553	0.557	0.564333	0.569667	0.573667
1	1	3	1	2	0	0.186333	0.194333	0.201667	0.207	0.210667	0.213667	0.218667	0.221
1	1	3	1	3	0	0.292333	0.469	0.499333	0.505333	0.507	0.509333	0.511667	0.515333
1	1	3	1	4	0	0.350333	0.619	0.664333	0.672667	0.676	0.678	0.681333	0.682333
1	1	3	1	5	0	0.273	0.427	0.459667	0.473	0.474333	0.476667	0.477	0.478333
1	1	3	2	1	0	0.26325	0.47425	0.50775	0.5165	0.5215	0.52725	0.53325	0.5375
1	1	3	2	2	0	0.207	0.21375	0.2185	0.2225	0.22825	0.23325	0.238	0.2435
1	1	3	2	3	0	0.28425	0.46875	0.50125	0.508	0.513	0.5155	0.51925	0.52225
1	1	3	2	4	0	0.33425	0.602	0.652	0.66025	0.66325	0.66425	0.66625	0.667
1	1	3	2	5	0	0.27975	0.45175	0.4915	0.49625	0.49875	0.5015	0.50475	0.506
1	1	3	3	1	0	0.2676	0.4666	0.4914	0.4992	0.5056	0.5102	0.5158	0.5202
1	1	3	3	2	0	0.1954	0.2042	0.2104	0.2156	0.221	0.2254	0.232	0.238
1	1	3	3	3	0	0.2738	0.4374	0.4798	0.4892	0.4916	0.4958	0.4988	0.5016
1	1	3	3	4	0	0.3136	0.5864	0.6396	0.6452	0.6476	0.6498	0.6518	0.6548
1	1	3	3	5	0	0.267	0.4364	0.4762	0.4822	0.4848	0.4868	0.4888	0.4906
2	1	1	1	1	0	0.249	0.298667	0.368	0.446	0.485667	0.518	0.533333	0.545333
2	1	1	1	2	0	0.197	0.207667	0.214	0.219333	0.224667	0.229333	0.234	0.237
2	1	1	1	3	0	0.271667	0.309	0.36	0.431667	0.473333	0.51	0.528	0.535333
2	1	1	1	4	0	0.312	0.360333	0.433	0.524333	0.586333	0.624333	0.654667	0.669333
2	1	1	1	5	0	0.234333	0.267333	0.303667	0.365333	0.397667	0.434333	0.46	0.469333

度	方	度	灾者	一									
					0	25	50	75	100	125	150	175	200
2	1	2	2	1	0	0.26	0.294	0.35575	0.4255	0.47275	0.50475	0.51925	0.527
2	1	2	2	2	0	0.204	0.21325	0.22125	0.22775	0.232	0.236	0.24125	0.2455
2	1	2	2	3	0	0.263	0.2945	0.3455	0.408	0.45325	0.489	0.513	0.52175
2	1	2	2	4	0	0.29625	0.349	0.41075	0.50525	0.55925	0.59975	0.639	0.66
2	1	2	2	5	0	0.2665	0.3	0.339	0.40875	0.448	0.479	0.49425	0.502
2	1	3	1	0	0.2606	0.3042	0.3578	0.4274	0.4726	0.5018	0.5214	0.5298	
2	1	3	2	0	0.2016	0.2114	0.2186	0.224	0.2286	0.2314	0.236	0.2412	
2	1	3	3	0	0.2398	0.2698	0.3138	0.378	0.4256	0.458	0.4858	0.498	
2	1	3	4	0	0.2798	0.328	0.3964	0.4884	0.5576	0.6106	0.6454	0.6548	
2	1	3	5	0	0.2594	0.2864	0.3254	0.3814	0.4224	0.4526	0.4758	0.4868	
2	2	1	1	0	0.301667	0.481667	0.504667	0.518	0.53	0.541667	0.546333	0.549333	
2	2	1	2	0	0.199	0.207333	0.213333	0.220667	0.227333	0.233667	0.238	0.243667	
2	2	1	3	0	0.322667	0.472333	0.497	0.515333	0.524667	0.537333	0.543333	0.546667	
2	2	1	4	0	0.399333	0.594333	0.622667	0.649667	0.659333	0.665	0.668667	0.672	
2	2	1	5	0	0.309667	0.44	0.457333	0.472667	0.482	0.488667	0.491	0.494	
2	2	2	1	0	0.3095	0.473	0.49775	0.51525	0.52625	0.53475	0.539	0.5445	
2	2	2	2	0	0.1815	0.1905	0.19625	0.2015	0.208	0.21525	0.218	0.223	
2	2	2	3	0	0.28325	0.43725	0.4495	0.47	0.47725	0.48275	0.4875	0.4905	
2	2	2	4	0	0.337	0.569	0.6	0.623	0.633	0.63925	0.64175	0.64325	
2	2	2	5	0	0.28375	0.415	0.432	0.4525	0.469	0.47775	0.48025	0.483	
2	2	3	1	0	0.2722	0.4412	0.4606	0.4784	0.4878	0.4944	0.4976	0.503	
2	2	3	2	0	0.1884	0.1986	0.2056	0.2108	0.2162	0.2222	0.2256	0.2298	
2	2	3	3	0	0.2766	0.4326	0.4604	0.4804	0.4904	0.4964	0.5	0.505	
2	2	3	4	0	0.3488	0.549	0.5808	0.601	0.618	0.6268	0.6348	0.6384	
2	2	3	5	0	0.2804	0.4206	0.4454	0.4632	0.4816	0.4918	0.4966	0.4992	
2	3	1	1	0	0.311	0.502	0.519	0.527	0.531667	0.536	0.539333	0.540333	
2	3	1	2	0	0.199667	0.208667	0.214333	0.219667	0.226	0.230667	0.239	0.244667	
2	3	1	3	0	0.309333	0.485	0.504	0.508	0.510333	0.512333	0.516	0.518667	
2	3	1	4	0	0.372333	0.616667	0.644667	0.651333	0.654667	0.657333	0.659333	0.662667	
2	3	1	5	0	0.291667	0.470333	0.490333	0.492667	0.494667	0.497667	0.498333	0.498667	
2	3	2	1	0	0.294	0.478	0.4975	0.502	0.50675	0.51375	0.517	0.5205	
2	3	2	2	0	0.19425	0.20375	0.21025	0.21725	0.22225	0.226	0.2305	0.2355	
2	3	2	3	0	0.28825	0.47275	0.4915	0.49775	0.502	0.50575	0.5095	0.512	
2	3	2	4	0	0.35875	0.63375	0.65025	0.654	0.6555	0.657	0.659	0.661	
2	3	2	5	0	0.30325	0.467	0.4905	0.49325	0.49675	0.49875	0.50125	0.5035	
2	3	3	1	0	0.2938	0.46	0.4798	0.4854	0.4904	0.4974	0.502	0.5092	
2	3	3	2	0	0.1968	0.2062	0.212	0.2182	0.223	0.2286	0.236	0.2396	
2	3	3	3	0	0.277	0.4594	0.486	0.4928	0.4968	0.5002	0.503	0.5068	
2	3	3	4	0	0.3368	0.5976	0.6236	0.6284	0.6312	0.6336	0.6368	0.6392	
2	3	3	5	0	0.2854	0.452	0.4738	0.4796	0.4816	0.4844	0.4872	0.4904	
3	1	1	1	0	0.205667	0.252333	0.294333	0.339667	0.395333	0.482	0.546333	0.570333	
3	1	1	2	0	0.186333	0.2	0.205667	0.211667	0.217	0.22	0.225	0.228333	
3	1	1	3	0	0.203333	0.244333	0.287667	0.326667	0.379333	0.450333	0.500333	0.524	
3	1	1	4	0	0.213667	0.274	0.333333	0.393333	0.469	0.572	0.640667	0.677333	
3	1	1	5	0	0.218333	0.244333	0.281667	0.317667	0.363	0.433	0.472667	0.501333	
3	1	2	1	0	0.19225	0.23825	0.28625	0.3375	0.39575	0.4795	0.5255	0.55575	
3	1	2	2	0	0.19425	0.20375	0.2115	0.21725	0.22125	0.2255	0.23025	0.23525	
3	1	2	3	0	0.20675	0.238	0.27325	0.3095	0.363	0.44125	0.505	0.5385	
3	1	2	4	0	0.207	0.2515	0.30975	0.37075	0.4475	0.5465	0.61425	0.65475	
3	1	2	5	0	0.2075	0.24225	0.271	0.29925	0.3375	0.4105	0.46175	0.47975	
3	1	3	1	0	0.204	0.2358	0.2778	0.3244	0.382	0.4654	0.5148	0.5364	
3	1	3	2	0	0.2048	0.217	0.2242	0.2294	0.235	0.239	0.2422	0.2464	
3	1	3	3	0	0.2144	0.2484	0.2864	0.3228	0.3664	0.4354	0.4758	0.5016	
3	1	3	4	0	0.2078	0.2508	0.312	0.3706	0.4402	0.54	0.6152	0.6492	
3	1	3	5	0	0.2052	0.2352	0.2642	0.3012	0.3472	0.4194	0.4658	0.491	
3	2	1	1	0	0.235	0.289667	0.341667	0.412667	0.497667	0.548333	0.563667	0.579	
3	2	1	2	0	0.208333	0.217667	0.224333	0.231333	0.234667	0.237667	0.240667	0.243667	
3	2	1	3	0	0.236667	0.277333	0.326333	0.388	0.461	0.509	0.530333	0.545333	
3	2	1	4	0	0.283667	0.339333	0.405	0.480333	0.564	0.636333	0.672667	0.699	
3	2	1	5	0	0.232	0.267	0.311	0.363333	0.419333	0.449667	0.469333	0.481667	
3	2	2	1	0	0.23225	0.29	0.3425	0.4105	0.4805	0.51875	0.54075	0.558	
3	2	2	2	0	0.2075	0.21525	0.22375	0.22825	0.2345	0.23925	0.2435	0.2455	
3	2	2	3	0	0.2285	0.26025	0.303	0.35525	0.43225	0.475	0.503	0.51925	
3	2	2	4	0	0.2585	0.31325	0.376	0.4505	0.547	0.619	0.65425	0.67775	
3	2	2	5	0	0.2315	0.26825	0.29575	0.3485	0.41275	0.45325	0.49	0.5055	
3	2	3	1	0	0.2224	0.2616	0.3128	0.383	0.4558	0.4976	0.52	0.5376	
3	2	3	2	0	0.2008	0.212	0.2178	0.223	0.2272	0.2318	0.2366	0.242	
3	2	3	3	0	0.235	0.2832	0.325	0.3784	0.439	0.4788	0.4988	0.5172	
3	2	3	4	0	0.2488	0.3154	0.3728	0.4512	0.5502	0.6056	0.6526	0.6748	
3	2	3	5	0	0.2284	0.2672	0.3096	0.3596	0.4196	0.4592	0.4804	0.4996	
3	3	1	1	0	0.247	0.336333	0.396667	0.485	0.517	0.537333	0.564333	0.570667	
3	3	1	2	0	0.215333	0.222333	0.228667	0.232667	0.237	0.239667	0.243667	0.247667	
3	3	1	3	0	0.229	0.323	0.391667	0.476667	0.505	0.518333	0.535667	0.544333	
3	3	1	4	0	0.272333	0.397	0.492333	0.588333	0.651	0.672667	0.694333	0.696667	
3	3	1	5	0	0.256333	0.322667	0.375667	0.437667	0.489333	0.507	0.518	0.521	
3	3	2	1	0	0.23875	0.338	0.4165	0.48525	0.536	0.5575	0.571	0.576	
3	3	2	2	0	0.19175	0.20025	0.2095	0.216	0.2185	0.22275	0.22875	0.233	
3	3	2	3	0	0.24425	0.3315	0.393	0.45725	0.4865	0.51	0.525	0.5355	
3	3	2	4	0	0.266	0.3865	0.464	0.56825	0.62675	0.6555	0.6725	0.67875	
3	3	2	5	0	0.2295	0.29525	0.3535	0.419	0.4605	0.48975	0.50075	0.50625	

度 方	度	災者	一									
				0	25	50	75	100	125	150	175	200
3	3	3	1	0	0.2226	0.3114	0.3882	0.4714	0.5084	0.5264	0.5416	0.5496
3	3	3	2	0	0.1928	0.2014	0.2096	0.2166	0.2224	0.2278	0.2318	0.2354
3	3	3	3	0	0.2384	0.3226	0.3792	0.4548	0.4824	0.4978	0.5104	0.516
3	3	3	4	0	0.257	0.3816	0.4522	0.5438	0.6012	0.6286	0.6564	0.6622
3	3	3	5	0	0.23	0.3014	0.352	0.416	0.465	0.489	0.5018	0.5124