

## 被災者の心理に基づく津波避難シミュレーション

近田洋輔<sup>†1</sup> 原山美知子<sup>†2</sup>

津波災害では被災者の迅速な避難行動が重要となる。しかし、実際には被災時に陥る心理状態の影響により避難が妨げられる傾向がある。本論文では東日本大震災で大きな被害を受けた宮城県名取市閑上（ゆりあげ）地区の事例を参考に、心理要因を考慮したエージェントベースの避難シミュレーションシステムを構築した。被災者の心理要因として正常性、同調性、愛他性、家族性の4種類を導入したところ、適切な避難が阻害される状態が再現された。さらに、避難ナビゲーションシステムを導入した場合のシミュレーションでは避難完了率の上昇などが確認され、避難ナビゲーションシステム導入の効果が示された。

## A Simulation of Victims' Evacuation in Tsunami Based on The Behavioristic Psychological Model

YOUSUKE CHIKADA<sup>†1</sup> MICHIKO HARAYAMA<sup>†2</sup>

In Tsunami, the most urgent and important action for all the inhabitants is their safe quick evacuation. In the case of Great East Japan Earthquake and Tsunami in March 11, 2011, for the people in Yuriage district, Natori City in Miyagi, the news, however, reported that some could not take any action to evacuate, followed the others without consideration, searched their family and also helped the elderly neighbors. The results suggest that the victims often tend to fall into the psychological states that hinder their quick evacuating action, and behavioristic psychological factors have large influence on the victims' evacuation. Despite this important fact in disaster, we can see few studies that have examined such factors in the evacuation action of people yet. The purpose of our present study, therefore, is to present an multi-agent-based simulation system with a new behavioristic psychological model including four psychological factors; the normalcy bias, the bias to follow to the others, the kindness to others, and the affection for one's family. Our simulation system showed the inhabitants' behavior reported and the fatal delay of the evacuation of the inhabitants in Yuriage. The psychological model in our present study showed also the effect of the introduction of evacuation navigation system on the more quick and safe evacuation of inhabitants.

### 1. はじめに

日本はこれまで地震とそれに伴う津波によって多くの被害を受けてきた。中でも津波による人的被害は計り知れない。人的被害を抑えるには津波が到達する前に安全な場所に避難することが必要であるが、実際には避難が間に合わずに命を落とす人々が少なくない[1,2]。

2011年の東日本大震災では津波によって甚大な人的被害が発生した。この震災では、地震発生後から津波が到達するまでに十分な時間があつたため、迅速に行動すれば安全な場所に避難することができたと考えられる。しかし、図1に示すように、地震発生後10分以内に避難行動を始められた人は、約11%にすぎないことが報告されている[3]。さらに、避難可能であったにもかかわらず、心理的な要因で避難が遅れたと考えられる証言が多く報道されている。

したがって、津波災害の人的被害を軽減するためには、ハード面での対策だけでなく、被災者の心理状態に着目したソフト面での対策が必要である。

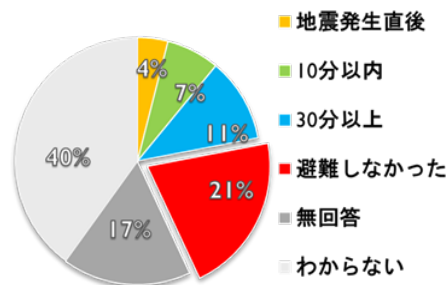


図1 東日本大震災で亡くなった人の避難開始時間  
Figure 1 Time before the killed began evacuation at the Great East Japan Earthquake.

人的被害への対策を模索するための研究手法としては、シミュレーションによって災害時の被災者の行動を再現し、その特徴を分析する避難行動シミュレーションが広く用いられている。避難行動シミュレーションシステムはマルチエージェントシステムとして構築される場合が多い。マルチエージェントシステムとは、自立した行動主体である「エージェント」を多数共存させ、エージェント間の相互作用によってシステム全体の目的を達成しようとする分散システムである[4]。避難行動も、行動の主体は個々に異なる身体機能や判断基準をもつ人間であるため、避難シミュレー

<sup>†1</sup> 岐阜大学大学院工学研究科  
Graduate school of Engineering, Gifu University  
<sup>†2</sup> 岐阜大学工学部電気電子・情報工学科  
Faculty of Engineering, Gifu University

ションはマルチエージェントシステムが適していると考えられる。

避難行動シミュレーションにマルチエージェントシステムを応用した例では、橋浦ら[5]が群衆シミュレータ Massive を用いた避難シミュレーションで、各エージェントに視覚、聴覚などの特徴を設定し、エージェント間の行動特性を制御している。瓜井ら[6]は階段の下降動作を表現できる3次元空間での避難動作のシミュレーションを行っている。津波災害に対する被災者の避難シミュレーションでは、渡辺ら[7]が仮想の市街地に対してマルチエージェントシステムを用いたモデルを適用し、建物の耐震化などのハード的施策に加えて、防災訓練で防災意識を上げるなどのソフト的施策を導入した場合の効果をシミュレーションしている。さらに地理情報システムを導入したモデルも構築している[8]。以上の研究はマルチエージェントシステムを用いているが、被災者の心理状態までは踏み込んではいない。

避難者の心理状態を考慮した避難シミュレーション研究では、大佛ら[9]が待機・帰宅・避難行動を導入したモデルを構築し、外出者・帰宅者の行動が避難者数に大きく影響を与えることを確認している。帰宅行動のような避難とは逆の方向への移動の現象は、認知的不協和（正常性バイアス）によるものと考えられる。佐藤ら[10]は、住民の合理的意思決定メカニズムと正常性バイアスに着目した意思決定モデルを構築し、正常性バイアスの作用を数理的に説明している。また、岡谷ら[11]は行動決定モデルとして BID モデルを導入し、避難者の親子間の関係が避難行動に大きな影響を及ぼすことを明らかにしている。

このように、避難状況を再現する上で心理状態を組み込んだ意思決定モデルを構築することが必要である。

以上の研究では、正常性バイアス、親子関係が取り上げられているが、避難行動に影響を及ぼす心理的な要因はこれだけではなく、他者の行動への同調や、家族や周囲の人を助けようとする心理が考えられる。

そこで、本研究では東日本大震災の被災地である宮城県名取市閑上（ゆりあげ）地区の行動事例を分析し、より詳細な被災者の心理モデルを構築する。心理モデルを意思決定モデルに組み込み、マルチエージェントによるシミュレーションによって被災者の行動を再現することを目的とする。さらに、避難を誘導する避難ナビゲーションシステムの導入効果を検証する。

## 2. 東日本大震災と被災者の行動

### 2.1 東日本大震災の被害事例

2011年3月11日、宮城県の南東部に位置する名取市は最も津波による被害の大きかった場所の1つである。特に、太平洋沿岸部に属し地形のほとんどが平野である閑上地区は深刻な被害を受けている。この閑上地区は2~3m程度の

標高しかなく、付近には丘陵地はおろか、日和山以外小高い丘程度のものもない地形である。また、津波に耐えられる3階建以上の鉄筋コンクリート造りの建造物が避難場所として重要であるが、震災発生当時は高校や小・中学校、仙台空港ビルなどの4~5か所しか住民が避難可能な建物がなかった。

実際の被害としては、総人口5600人に対し、一割以上の人数である約700人もの死者・行方不明者を出した。これらは全て津波によるものである。また、海から1km以内の木造住宅はほぼ全て流失し、津波到達時には各地で火災も発生していた。沿岸部の地形や環境と巨大な津波により、大きな被害が生じたと考えられる。しかし、この人的被害の原因は閑上地区の住民の行動にもあると考えられる。以下に閑上地区被災者の当時の行動事例[1,2]を記述する。

1. 地震発生直後、直ぐには避難せず、その場に留まる。
2. 海の様子を見に行く。避難場所に向かわず帰宅しようとする。
3. 家族を心配して自宅に迎えに行く。
4. 取り残されたお年寄り住民を救助しようとする。
5. 周囲の人々に対して避難の呼びかけをする。
6. 周囲の人々の動きに追随しようとする。
7. 車で避難しようとして渋滞に巻き込まれる。渋滞中も車から降りようとしなない。
8. 不適切な情報の影響により、一度避難した避難所から別の避難所に移ろうとする。

津波災害の調査結果や閑上地区の事例より、人的被害拡大に影響したと考えられる特徴は、主に4つある。

### 2.2 正常性バイアス

事例1や2の行動は、人間心理の1つである「正常性バイアス」の働きによるものである。正常性バイアスとは、災害発生時などの緊急事態においても、事態を楽観視し、精神的安定を求めようとする意識である。これは、「前は津波が小さくて大丈夫だった」などの過去の経験によって補強される場合がある。

### 2.3 避難行動と同調・追従

事例6, 7, 8は、緊急事態時に人々が他者への同調・追従行動を起こしやすいために生じたと考えられる。特に閑上地区の事例では、地区が停電状態となり防災無線も使用不可の状態であった。現状の理解への手がかりが少なく、行動の判断が困難であるような状態では、他者の行動が人々の判断のよりどころとなる。

### 2.4 災害時の援助行動

事例4や5は、他者の緊急事態を目撃すると、援助行動をすることへの情動喚起が発生するためである。ここで、

援助行動をしない場合、実行した場合の自身の責任やコストを考慮して、被災者は援助行動をするかを決定する。関東地区の事例の場合は、地域内の住民間における連帯性や協調関係が、援助行動への情動喚起を強めたと考えられる。その結果、生存者が増加した事例もあったが、援助行動を優先して避難が間に合わなかった被災者も多く存在した。

## 2.5 家族の災害対応

事例3のように、災害発生時には、家族の安否を確認する、家族を捜すなど、家族に関連した行動が起きやすい。これは、緊急事態時には、他人より結びつきが強い、家族に対する情動喚起が活発になるためであると考えられる。関東地区の事例においても、津波が迫っている中で、家族を捜すために危険な地域に向かった人が確認されている。

## 3. 被災者の心理モデル

### 3.1 心理モデル

東日本大震災での被災者の行動を調査すると、被災者の避難行動を妨げる要因として、心理状態の働きへの考慮が必要であることがわかる。しかし、人間の心理は複雑なものであり、その再現は非常に困難である。

そこで、本研究では津波災害の避難行動時の心理状態のみに着目した。その際にみられた行動を誘起する心理状態を設定し、さらにその心理状態を引き起こす要素を、心理要因として定義することで図2に示すような単純な心理モデルを構築した。

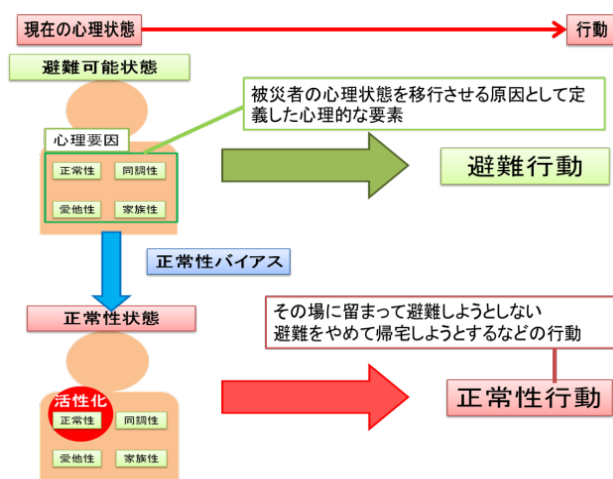


図2 被災者の心理モデル

Figure 2 Psychological model for victims.

正常性バイアスを働かせる正常性心理要因が、周囲の状態などにより活性化すると、被災者の心理状態は正常性状態へと移行する。この状態では、地震発生後でも避難を開始しない、避難行動中であっても、もう安全だと思込み

自宅へ帰るなどの正常性行動を起こす。

同様に同調性心理要因が活性化すると、他者の行動へ同調・追従をする同調性行動を起こす同調性心理状態へ、愛他性心理要因が活性化すると、他者へ援助をしようとする愛他性行動を起こす愛他性心理状態へ、家族性心理要因が活性化すると、家族を捜しにしようとする家族性行動を起こす家族性心理状態へと被災者の心理状態は移行する。これら4つの心理要因が1つも活性化していない場合のみ、被災者の心理状態は避難可能状態に移行し、避難行動ができると考える。

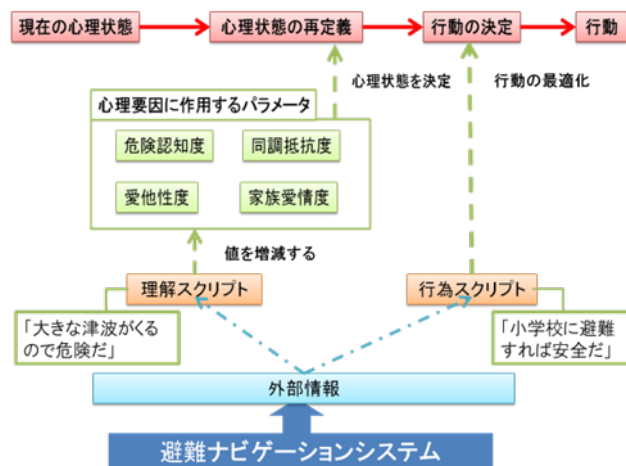


図3 被災者の避難行動のプロセスモデル

Figure 3 Process model for victims' evacuation behaviors.

次に、図3に示すような避難行動のプロセスモデルを構築した。この避難行動のプロセスモデルでは、被災者の心理状態が心理要因の活性化の有無により変化し、その心理状態に対応する行動が決定された後、実際の行動に移行すると考えた。また、モデル構築のための参考として「池田の意思決定のプロセス・モデル」[12]を使用する。

このモデルでは、心理状態の再定義、すなわち各心理要因の活性化の有無を決定するために、心理要因それぞれに対応したパラメータを定義する。正常性心理要因に対応したパラメータ、危険認知度は危険を正しく認識している度合いを表し、この値が高いほど正常性心理状態に移行する確率が減少する。また、他の心理状態から避難可能状態に移行する確率が増加する。同調性心理要因に対応したパラメータ同調抵抗度は、その値が高いほど同調性状態に移行する確率が減少する。愛他性心理要因、家族性心理要因にそれぞれ対応したパラメータである愛他性度、家族愛情度は、その値が高いほど愛他性状態、家族性状態に移行する確率が増加する。

これらのパラメータの値は、被災者がもっている、現在の状況や、その危険性を理解することを手助けする知識、すなわち理解スクリプトによって増減する。これは、理解スクリプトの種類や所持数によって、現在の状況の理解が

変化するからである。

心理状態が決定すると、次にその状態に対応した行動が決定される。行動内容は予め用意した行動パターンから選択することで決定されるが、選択時には現在の状況に適切で、実行可能なシーケンスの知識である行為スクリプトが作用する。被災者が状況に対応した行為スクリプトを所持している場合、各行動の中でも最も事態に適した内容の行動をとることが可能になる。例えば、同じ津波災害時の避難行動である場合では最寄りの避難場所に向かうよりも、より安全性の高い、高台にある避難場所を選択することが可能となる。

前述した理解スクリプト、行為スクリプトは被災者の避難行動に大きな影響を与える。ここで、コミュニケーションなどの外部情報を用いることで被災者に対して、新たな理解スクリプトや行為スクリプトを提供することができる。これを利用して、被災者の避難行動誘導の効果を狙ったものが、提案する避難ナビゲーションシステムである。

### 3.2 避難ナビゲーションシステム

3.1 の心理モデルでは、理解スクリプトと行為スクリプトが提供されると、避難行動を妨げる心理は抑制され避難行動が促進される。そこで、本研究では、避難ナビゲーションシステムを避難に向けた理解スクリプトと行為スクリプトを与えるものと位置付ける。仮定する避難ナビゲーションシステムは次のようなものである。

避難ナビゲーションシステムは、個人が所持する携帯端末と自治体などが運用するサーバーで構成されている。サーバーは、津波警報、津波の到達予想時間、地図、避難場所、避難指示をブロードキャストし、携帯端末が受信して所持者に情報提供する。これらは理解スクリプトである。これらが正確に被災者に与えられると、正常性バイアスを抑制し速やかな避難行動が可能となる。また、携帯端末には所持者の歩行速度などの身体情報などを予め入力しておき、携帯端末は、津波警報が発令されると、サーバーからの情報、身体情報、GPS で取得した現在地をもとに最適な避難経路と予想される避難完了予想時刻を提示する。これは行為スクリプトである。これらのスクリプトは、被災者の心理状態に作用し、避難を喚起する。

また、家族を予め登録することにより、サーバーを介して家族の現在位置、向かっている場所、行動状態を家族間で情報共有することができるものとする。共通して避難できる避難所を検索して避難経路とともに提示する。この機能により、被災者が家族を捜しにいく行動を抑え、家族の各自が適切な避難行動を継続しやすくなる。すなわち家族性心理要因による避難の遅れを解消できると考えられる。さらに、アドホックネットワークを利用して周囲の人について、家族と同様な情報を得ることができるものとする。これによって、周囲への呼びかけなど適切な愛他行動が喚

起され、避難行動が促進されると考えられる。

本研究では、このような避難ナビゲーションシステムを仮定し、シミュレーションによって、ナビゲーションシステムの導入の影響を調べた。

## 4. 実験

### 4.1 実験環境、実験条件

津波災害時の被災者の避難行動をシミュレーションするために、本研究では避難シミュレーションシステムを作成した。プログラム言語はC++を使用し、またシミュレーション画像を表示するためにDxライブラリを用いている。



図 4 避難シミュレーション画面

Figure 4 Display image of our evacuation simulation.

本シミュレーションシステムでは、ビットマップによる2次元グリッドマップとして作成した被災地の地図をシミュレーションマップ、被災した住民を避難者エージェントとする。シミュレーションマップは、図4に示すように、宮城県名取市閑上地区の街路図を模し、1セル8\*8ピクセルとした、縦60\*横76の2次元グリッドマップを使用する。これは1セルの一辺の長さを約30mとしたスケールである。また、図5に本シミュレーションシステムのクラス図を示す

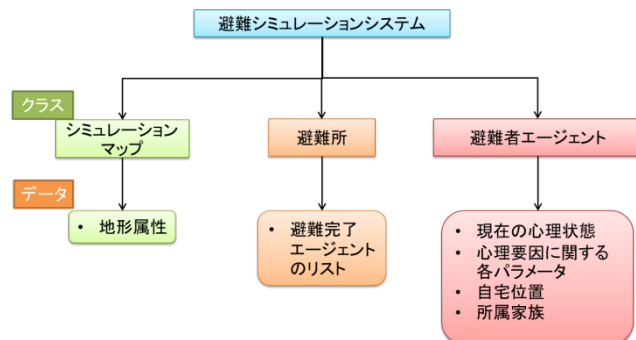


図 5 避難シミュレーションシステムのクラス図

Figure 5 Class diagram of our simulation system.



各エージェントは1人ずつ順番に行動し、全てのエージェントが待機を含む1つの行動を終了するまでを1ターンとする。この1ターンを実際の時間で約0.5分として換算する。地震発生直後から津波が到達するまでの時間をシミュレーション時間120ターン（60分）とする。

今回の避難シミュレーションでは、配置する避難者エージェントの総数を100人とする。これらのエージェントには表1に示すような家族構成が設定される。

表1 避難者エージェントの家族構成

Table 1 Family structure of agents assumed in the simulation.

家族の種類	構成エージェント	配置世帯数
核家族	夫婦(男性+女性)、子ども1人	15
大家族	夫婦(男性+女性)、子ども1人 お年寄り1人	10
一人暮らしA	男性または女性1人	10
一人暮らしB	お年寄り1人	5

シミュレーション開始時、お年寄りを除く避難者エージェントは、50%の確率で自宅に、残りの50%で道路上に配置される。一方、お年寄りのエージェントは必ず自宅に配置される。また、お年寄りのエージェントは、他のエージェントに同行することによってのみ移動が可能であるとする。

また、エージェントの移動速度は男性が最も速く7.2km/時、女性と子どもが3.6km/時。お年寄り一人では移動できないが、他種のエージェントと同行した場合、同行している全てのエージェントの移動速度は最も遅く1.8km/時となる。

各避難者エージェントは、自身の心理状態を周囲の状況によって変化させながら意思決定をすることで毎ターンの行動を決定する。ただし、シミュレーション開始時では全エージェントは正常性心理状態にあり、その場に留まる行動を選択していることとする。制限時間内にマップ上に設置された避難所に到着した避難者エージェントは、無事に避難を完了できたとし、津波災害から生存することとする。一方、避難所に到達できなかったエージェントは、避難を完了できず、到達した津波に流され犠牲者となることとする。ただし、避難者エージェントの移動手段は徒歩のみとし、道路上での物理的接触や混雑、建物の倒壊などによる道路閉塞は考慮しないものとする。

今回設定する避難所は、沿岸部より離れた方から、小学校、中学校、公民館を用意し、この順番で安全性が高いとする。

ここで、図6に各エージェントの1ターンにおける処理の流れを示す。

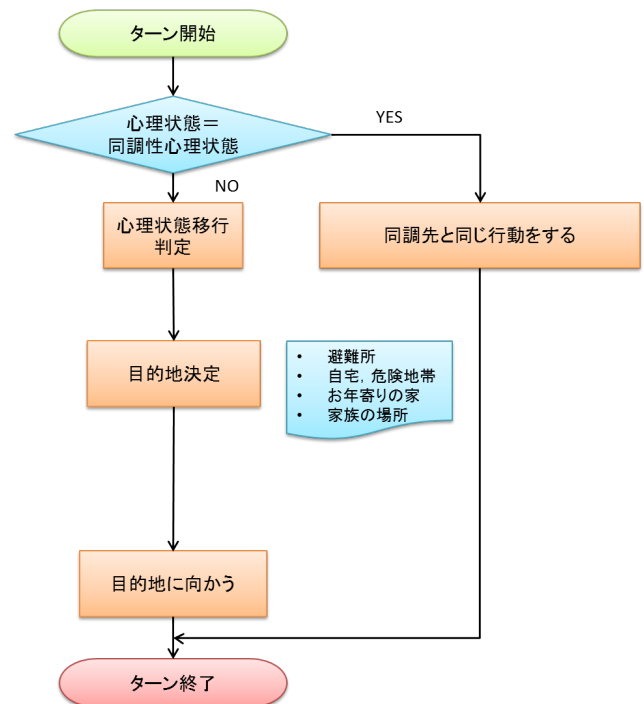


図6 エージェントの避難行動のプロセスフロー

Figure 6 Process flow of agents' evacuation.

心理状態移行判定では、エージェントの状況に応じて、各心理要因に対応したパラメータと乱数との比較が行われる。基本的には乱数がパラメータを上回るとパラメータに対応した心理状態に移行し、パラメータを下回った場合は避難可能状態に移行する。また、状況に応じて、各エージェントのパラメータに調整値を加えて判定することにより、判定の難易度を調整している。

判定は、その場に留まる、危険地帯に向かう、自宅に帰るなどの正常性状態についての判定から始まる。続いて、自身の家族を捜索するかどうかの家族性状態の判定があり、次に自身の周囲エージェントの位置・種類などの情報を取得する。その後、周囲エージェントに応じて、家族と合流しようとする家族性状態、周囲の行動に同調しようとする同調性状態、お年寄りを救助しようとする愛他性状態の判定が発生する。ここで、現在の心理状態が別の状態に移行した場合、エージェントデータ内のカウンターに記録される。

また、避難ナビゲーションシステムが有効な場合には、各判定の際、避難可能状態を維持できるように心理パラメータに調整値を加える。更に、避難者本人の現在地、家族の現在地、歩行速度を考慮して、最寄の避難所に避難可能であると推測した場合、家族やお年寄り救助を承認する。

心理状態の移行判定が終了すると、次にこのターンで向かう目的地を決定する。心理状態が避難可能状態ならば、エージェントの現在地から一番移動距離、すなわち移動マスが小さい避難所を目的地とする。正常性心理状態で移動する場合は自宅、危険地帯を目的地とする。家族性心理状態では見つけた家族の現在地、または自宅を、愛他性心理

状態では見つけたお年寄りの位置を目的地とする。

目的地決定での避難ナビゲーションシステムの効果は、避難場所の選択に現れる。制限時間内に避難可能であると推測される避難所のうち、

1. 家族の向かっている避難所
2. 最も海から遠い（安全性が最も高い避難所）

の順で優先的に避難する避難所を目的地として決定する。また、家族の現在地を端末から把握できることから、家族性心理状態の場合に、把握した現在地を目的地とする場合がある。

最後に目的地に向けてエージェントは移動するが、避難ナビゲーションシステムが有効でない場合は、大通りを優先し、有効である場合は小さな道も可能な限り利用して目的地までの最短経路を進む。

危険認知度など、各エージェントの心理要因に関するパラメータは三角分布を用いて確率的に値を与える。ただし、このとき各パラメータの平均値、平均危険認知度  $A^*edu$ 、平均同調抵抗度  $A^*pow$ 、平均愛他性度  $A^*kind$ 、平均家族愛情度  $A^*aff$  を設定する。

#### 4.2 正常性と同調性に注目した避難シミュレーション

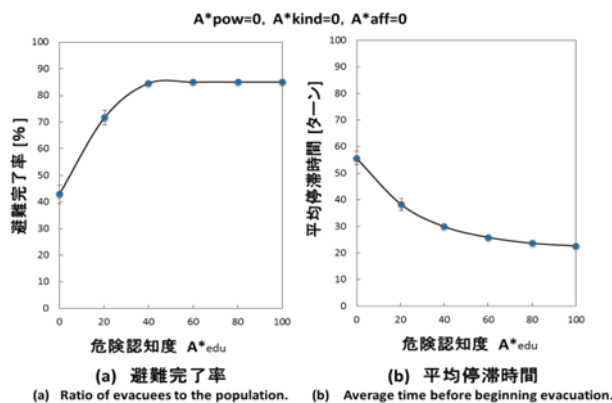


図 7 避難行動に及ぼす危険認知度の影響

Figure 7 Effect of hazard recognition level on the evacuation.

心理状態として、正常性のみを導入した場合をシミュレーションする。

図 7 に避難行動に及ぼす危険認知度の影響を示す。「避難完了率」とは、避難シミュレーション内にいずれかの避難所に到達できたエージェント数の割合である。また、「平均停滞時間」とは、避難を開始するまでの時間を意味している。これらの結果より、危険認知度が高いほど正常性心理状態に移行する確率が減少し、避難行動に移りやすくなっていると考えられる。

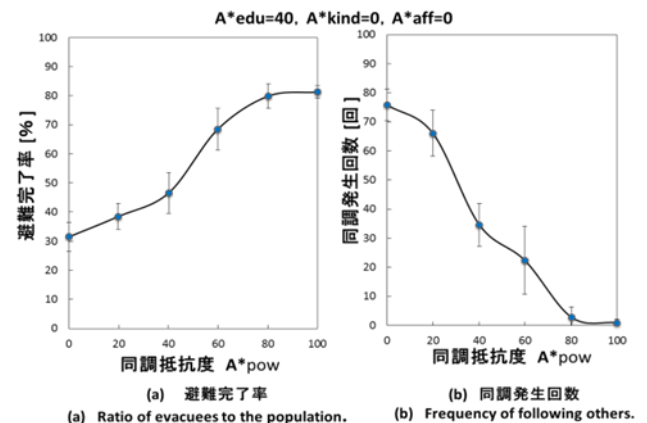


図 8 避難行動に及ぼす同調抵抗度の影響

Figure 8 Effect of resistance level against following others on the evacuation.

次に、心理状態として、正常性と同調性を導入した場合をシミュレーションする。

図 8 に避難行動に及ぼす同調抵抗度の影響を示す。「同調発生回数」とは同調性心理状態に移行した回数の合計である。結果より、同調抵抗度が増加すると、避難完了率は増加し、同調発生回数は減少することがわかる。

#### 4.3 愛他性と家族性に注目した避難シミュレーション

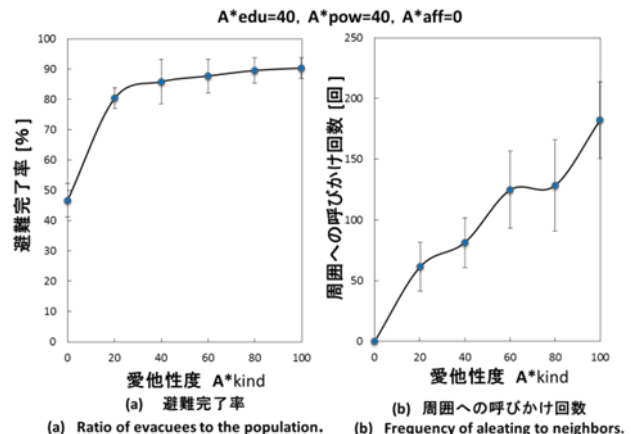


図 9 避難行動に及ぼす愛他性度の影響

Figure 9 Effect of kindness level on the evacuation.

心理状態として、正常性、同調性、愛他性を導入した場合をシミュレーションする。

図 9 に避難行動に及ぼす愛他性度の影響を示す。「周囲への呼びかけ回数」とは、避難者エージェントが周囲の避難を開始していないエージェントに対して、避難を呼びかけた回数の合計である。

愛他性度が増加すると、周囲の避難行動をしていないエージェントに避難を呼びかける確率が増加する。これにより、正常性状態に移行している時間が減り、平均停滞時間

の短縮とともに、避難完了率の増加に影響を与えたと考えられる。

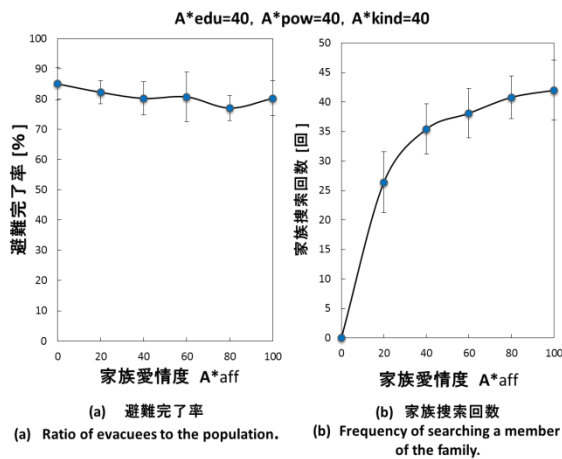


図 10 避難行動に及ぼす家族愛情度の影響

Figure 10 Effect of family affection level on the evacuation.

次に心理状態として、正常性、同調性、愛他性、家族性を導入した場合をシミュレーションする。

図 10 に避難行動に及ぼす家族愛情度の影響を示す。「家族探索回数」とは、避難者エージェントは自分の家族を捜しに自宅や家族の現在地に向かった回数の合計である。

避難者エージェントの家族愛情度が増加すると、避難完了率は減少し、家族探索回数が増加することがわかる。避難完了率は家族愛情度の増加後では、約 80% であり、閑上地区の事例である約 87% よりも低い値となった。

#### 4.4 避難ナビゲーションシステムを導入した避難シミュレーション

4 つ全ての心理状態と避難ナビゲーションシステムを導入した場合をシミュレーションする。そして、避難ナビゲーションシステム導入前の各結果と比較する。

表 2 避難ナビゲーションシステム導入の効果

Table 2 Effect of introduction to evacuation Navi.

	システム導入前	システム導入後
避難完了率	80%	93%
避難開始までの時間	18	14
危険地帯に向かう回数	12	0
帰宅に向かう回数	19	4
同調回数	28	4
家族を探索する回数	35	5.8
家族の避難先一致率	61%	84%

表 2 に避難ナビゲーションシステム導入前と導入後にお

ける結果の違いを示す。

システム導入により、避難完了率は約 93% にまで増加することが確認できた。これはシステムによる補正により、心理状態が避難可能状態に移行しやすくなったためである。また、愛他性を活性化させ、周囲への避難の呼びかけを促進していることも要因の 1 つであると考えられる。

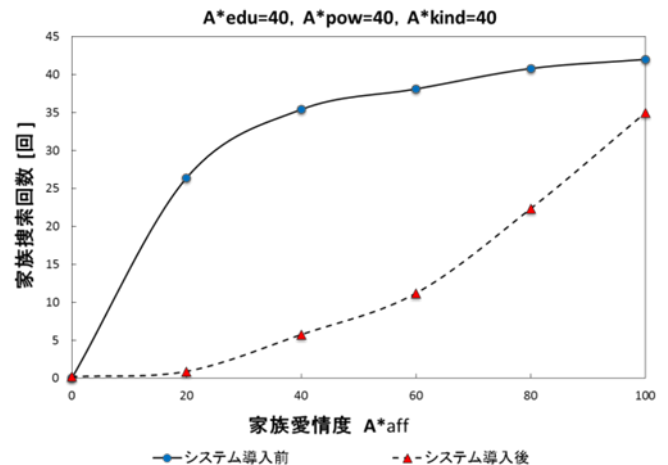


図 11 避難ナビゲーションシステム導入前後の家族探索回数

Figure 11 Frequency of searching a member of the family with and without evacuation Navi.

次に家族性状態については、図 11 に示すように、家族愛情度の増加にともなう家族探索回数の増加を抑制していることが確認できる。

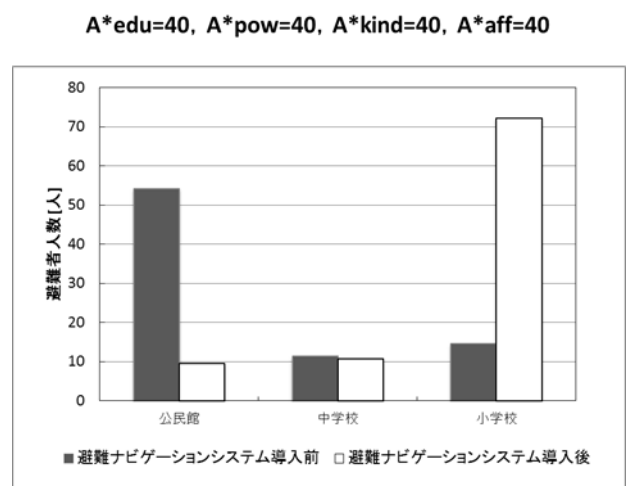


図 12 避難場所の比較

Figure 12 Comparison of refugees between with and without evacuation Navi.

また、避難場所についても、図 12 に示すように、最も安全であると指定した小学校への避難者数が大幅に増加し

ているため、システムによる誘導は適切であると考えられる。

## 5. 考察

本研究の避難シミュレーションでは、避難開始に時間がかかる、他者の危険行動に同調するなどの行動のほかに、他者により影響を与える行動として、お年寄りや避難しない人への援助、家族の搜索など実際に顕著にみられた行動も再現した。

シミュレーションした閑上地区の実際の避難完了率は約 87%であり、シミュレーション結果の約 80%とは差がある。この差はシミュレーションにおける確率的な分散のみが要因であるとはいえない。シミュレーションと事例における相違点を考えると、大きな要因として、シミュレーションでは被災者の車での行動を考慮していないことが挙げられる。車で移動することにより、被災者の避難時間が短縮され、徒歩では避難できなかった避難所に到達することが可能となる。一方、実際にあったように車の渋滞による道路閉塞が発生し、避難が妨げられる可能性も高くなる。このように避難行動に大きな影響を与える要素であるため、シミュレーションで考慮する必要がある。

避難シミュレーションの精度を実際に検証するために、被災地におけるより詳細なデータが必要となる。現在、携帯電話やカーナビなどによる、被災時の膨大な情報の動きを蓄えたビッグデータの活用が注目されている。このビッグデータを解析することにより、被災者の実際の行動をより正確に調査可能となる。これらと避難シミュレーションの結果を比較し、避難シミュレーションシステムの精度や心理モデルの妥当性を計ることが必要である。

シミュレーション結果では、避難ナビゲーションシステムの導入により、被災者は安全性が高く、家族間で共通した避難所に迅速に避難することが可能になった。したがって、避難ナビゲーションシステムには被災者の避難行動を促進する効果があり、被災時に有効的に働くと考えられる。

今回のシミュレーションは、避難ナビゲーションシステムの通信機能が完全に動作する前提で実行した。より実際の被災状況に即した状態を考慮するために、通信インフラなどの状態を組み込んだ避難シミュレーションの構築が重要となる。

また、実際に避難ナビゲーションシステムを構築し、その実用性や有効性について改めて検証を進める必要がある。

## 6. むすび

本研究では、宮城県名取市閑上地区における津波災害の事例を参考とし、住民の避難行動をシミュレーションした。

各避難者エージェントには、正常性、同調性、愛他性、家族性の 4 種類の心理要因の作用を表わした心理モデルを組み込んだ。その結果、避難を開始しない状態や、家族を捜しに行くなどの行動により、避難者エージェントの避難が阻害される状況を再現することができた。

また、避難ナビゲーションシステムの有効性をシミュレーション結果より示した。

今後の課題としては、避難シミュレーションに被災者の車移動を導入する、シミュレーション結果を被災時のビッグデータと比較し検証する、避難ナビゲーションを実際に構築するなどが必要となる。

## 参考文献

- 1) NHK スペシャル取材班: 巨大津波——その時ひとはどう動いたか, 岩波書店 (2013).
- 2) 証言/避難者大混乱、名取・閑上公民館/誘導あだ 多数の犠牲者, 河北新報, 2011 年 8 月 3 日掲載記事 (2011).
- 3) 株式会社ウェザーニューズ: 東日本大震災 津波調査, [http://weathernews.com/ja/nc/press/2011/pdf/20110908\\_1.pdf](http://weathernews.com/ja/nc/press/2011/pdf/20110908_1.pdf) (2011).
- 4) 山影 進ら: コンピュータのなかの人工社会 マルチエージェントシミュレーションモデルと複雑系, 共立出版 (2002).
- 5) 橋浦 悠二ら: 災害時における避難者の特徴を考慮した避難行動モデルの構築, 情報処理学会研究報告, vol.2011-ICS-164, no.7, pp. 1-5 (2011).
- 6) 瓜井 治郎ら: 精密人間モデルの導入による 3 次元集団避難シミュレーションの高精度化: 学校における集団避難訓練への適用, 日本機械学会論文集.C 編, vol.76, no.769, pp. 2176-2185 (2010).
- 7) 渡辺 広次郎ら: マルチエージェントシステムを用いた津波避難シミュレーションモデルの開発, 日本建築学会四国支部研究報告集, no.6, pp. 97-98 (2006).
- 8) 渡辺 広次郎, 近藤 光男: 津波防災まちづくり計画支援のための津波避難シミュレーションモデルの開発, 日本建築学会計画系論文集, vol.74, no.637, pp. 627-634 (2009).
- 9) 大佛 俊泰, 大地震時における人間行動のモデル化について: 大地震時の広域避難行動シミュレーションに関する研究 その 2, 学術講演梗概集.F-1, 都市計画, 建築経済・住宅問題 2010, pp. 895-896 (2010).
- 10) 佐藤 太一ら: 認知的不協和を考慮した津波避難行動モデルの開発: 避難シミュレーションへの心理的要素の導入, 地域安全学会論文集, no.10, pp. 393-400 (2008).
- 11) 岡谷 賢, 友. 高橋: 人間関係を考慮したエージェントベースのシミュレーションフレームワーク, 電子情報通信学会論文誌, vol.J94-D, no.11, pp. 1855-1865 (2011).
- 12) 安部 北夫ら: 自然災害の行動科学, 福村出版 (1988).