マルチエージェントシステムを用いた津波からの避難シミュレーション —奥尻島青苗地区を例として—

SIMULATION OF EVACUATION BEHAVIOR FROM TSUNAMI UTILIZING MULTIAGENT SYSTEM

—A case study of Aonae, Okushiri island—

齋藤 崇*, 鏡味 洋史**

Takashi SAITO and Hiroshi KAGAMI

The simulation model of evacuation behavior from tsunami is constructed utilizing Multi-Agent-System in this study. The validity of the simulation model is verified by applying it to the case of Aonae, Okushiri Island during the 1993 Southwest-off Hokkaido Earthquake. And results of some case studies on current Aonae show that the improvement of evacuating environment affects evacuation behavior greatly, and that moving speed and earlier starting of evacuation are important parameters to minimize total mortality and missing rate.

Keywords: Multi Agent System, 1993 Southwest-off Hokkaido Earthquake, tsunami, evacuation behavior

マルチエージェントシステム, 1993年北海道南西沖地震, 津波, 避難行動

1. はじめに

津波からの避難において重要なのは、迅速かつ適切な避難行動である。1993年7月12日に発生した北海道南西沖地震では、津波によって甚大な被害が生じたが、奥尻島では1983年の日本海中部地震の際にも津波被害を受けた経験があり、津波遭難の危険から免れた住民の多くは、地震発生直後に高台へ自主避難を行っていたと言われている。

このように迅速かつ適切な避難が行われるようにするためには、災害時の避難行動を予測することは必要不可欠である。避難行動は、避難者が少数の場合もあれば大規模な群集の場合もあるが、それぞれの避難者は独立した個体であり様々な行動特性を持っている、複数の個人の様々な行動の連鎖によって全体の避難が構成されていると考えられる。ゆえに、避難行動のシミュレーションにおいては、個人の行動を考慮し、避難者の相互作用から全体の避難状況を把握できるようなモデルが必要である。そこで本研究では、個々のエージェントの相互作用からシステム全体が構成されるマルチエージェントシステムを用いて津波からの避難シミュレーションモデルを構築する。

近年、マルチエージェントシステムを用いた研究が様々な分野で行われており、防災、特に避難問題の分野においても様々な研究が試みられている。藤岡ら¹⁾は、全てのエージェントの行動は情報処理の連続過程であるという考えから、避難エージェント間の情報交換に着目したモデル構築を行い、海水浴客の津波避難をケーススタディとした

群集避難のシミュレーション特性評価を行っている。また今村ら²⁾は、マルチエージェントシステムとは異なるが、津波からの避難行動をモデル化し、避難数値シミュレーション法の開発を行い、その検証を北海道奥尻島青苗地区を対象に実施している。北海道南西沖地震発生当時の再現モデルを構築するにあたっての参考にする。

本研究では、構築したモデルを奥尻島青苗地区における1993年北海道南西沖地震の場合に適用し、当時の避難に関する実態調査結果と比較することでこのモデルの妥当性を検証する。さらにそれを踏まえた上で、現況の青苗地区におけるシミュレーションを行い、避難者全体の振る舞いを時間を追って追跡し、パラメータ分析を行うことにより避難問題における重要な要素を見出すことを本研究の目的とする。

2. 避難行動シミュレーションモデルの構築

2.1 シミュレーションモデルの概要

本研究では、開発ツールとして(株)構造計画研究所のマルチエージェントシミュレーター (KK-MAS)³⁾を用い、特に津波からの避難行動に焦点を当てシミュレーションモデルを構築する。このシミュレーションは津波からの避難ということで、住民の基本行動が「高い所に避難する」といった単純なモデルで表現できる。住民をエージェントとして定義し、初期位置や避難開始時刻、移動速度などの情報を与え、より高所へ移動するための経路選択のルールを設定する。住民エージェントが移動する道路網はネットワーク型、つまり交差点をノード、道路をリンクとして表現する。避難問題をマルチエージェン

* 北海道大学大学院工学研究科 大学院生・工修
(現在 竹中工務店)

** 北海道大学大学院工学研究科 教授・工博

Graduate Student, Graduate School of Engineering, Hokkaido Univ., M. Eng.
(Present: Takenaka Corporation)

Prof., Graduate School of Engineering, Hokkaido Univ., Dr. Eng.

トシミュレーションで取り扱う場合、避難空間をメッシュで区分し、その間の移動を考えるのが一般的である。筆者ら¹⁾が以前に取り組んでいた建物空間内など閉鎖空間での避難問題を考える場合には、空間内の自由な移動を考える上で有効である。しかし、取り扱う領域が広くなるに伴い、全領域を考えると、各種初期値データの設定や演算の負荷が大きくなる。津波からの避難のように、屋外において道路を使つての避難の場合にはノード・リンクによるネットワークシステムとして構築した方が有利である。そこで本研究では、道路網をノード・リンクのネットワークシステムで表現することとした。本モデルでは、ノードやリンクに様々な情報を持たせるために、ノードを住民エージェントとは別のエージェントとして定義する。マルチエージェントシミュレーションには、エージェントに様々な変数を持たせることができ、さらに同一空間上に性質の異なる複数のエージェントを配置できるという特徴がある。ノードエージェントには、道路の接続状況、接続している道路の幅員や長さ、標高といった情報を変数として持たせる。リンクに関しては、シミュレーション上にリンクという実体は存在しないが、ノードどうしの接続という意味で道路のことをリンクと呼ぶ。地震発生後、様々な時間差をもって避難を開始した住民エージェントは、このリンク上を移動し、経路選択を繰り返しながらより標高の高い安全なノードを目指していく。なお、本モデルでは、住民は全て徒歩で避難するものと仮定し、車での避難は考慮しない。

2.2 エージェントの定義

本モデルでは、避難者である「住民」と道路網の節である「ノード」をエージェントとして設定した。住民エージェントは、ノードとリンクにより形成される道路ネットワーク上を目標ノードの選択を繰り返しながら移動する。また、原則として道路ネットワークを離れての移動は出来ないものとする。災害発生時における住民の位置は、時間帯によっても異なるが、自宅や外出先など様々な場所が考えられ、ほとんどの人が自宅に居たとしてもそれを住宅地図から全て読み込み、忠実に再現するには相当な労力が必要である。従って、本モデルでは、市街地図から住宅の位置と人口の分布を大まかに読み取り、そこから最も近いノード上に住民エージェントを分布させることで、住民エージェントの初期位置を近似的に表現した。

各住民の避難開始時刻に関しては正確に設定することは難しいが、本モデルでは、北海道大学・東京都立大による避難行動に関するアンケート結果(1994)⁵⁾や今村ら²⁾の研究を参考に、避難開始時刻(時間区分)ごとの頻度分布を定め、それに合うように乱数を発生させ、初期情報として住民エージェントに与えた。そして、住民エージェントは頻度分布に従って与えられた避難開始時刻の時間区分の範囲内で、さらに乱数によって決まった時刻に避難を開始する。乱数を容易に発生させることができ、同一種のエージェント内に個人差を作り出すことができるというマルチエージェントシミュレーションの特徴を活かした。シミュレーション開始の時点地震発生時とし、そこから各自の避難開始時刻になったエージェントから避難を開始する。

それぞれの避難開始時刻に避難を始めた住民エージェントは、各自目標ノードを決定し、所定の速度でそこに移動する。住民エージェントの移動速度に関しては、性別と年齢階層を人口構成比などの統計を基に割合で与え、年齢と自由歩行速度の関係の資料⁶⁾を基に、年齢階

層と性別毎に標準移動速度を設定する。さらに、個人差を発生させるために、それぞれの標準移動速度の値には $\pm 0.3\text{m/sec}$ が含まれている。また、道路勾配の移動速度への影響も考慮し、上り勾配の度合いに応じて0.9から0.6の4段階の低減係数を設定する。目標ノードに到着した住民エージェントは、そのノードエージェントが持ついくつかの情報を取得し、それをもとに「より高い所へ向かう」という行動の基本ルールに従い、次の目標ノードを決定する。この一連の行動を繰り返し、避難地である高台に到着した時点で避難完了とする。図1に住民エージェントの行動フローを示す。

ノードエージェントには、初期情報としての位置(座標)、標高、リンクの接続状況、接続先のノード情報、接続しているリンクの幅員、リンクの幅員に応じたCAPACITY(一度にノードを通過できる最大人数)などの情報を設定し、シミュレーション開始と同時に接続している全てのリンクの長さや勾配を求めさせる。さらに、その結果から各リンクにおける避難者の標準移動速度にかかる低減係数を計算し、ノードエージェントはその値を各自の属性としてシミュレーション終了まで持っている。住民エージェントが、ノードエージェントの持つこれらの情報を取得し、行動することで住民エージェントとノードエージェントの間に相互作用が生まれ、道路の混雑などといった現象も含めて、避難行動全体が構成される。

3. 奥尻島育苗地区への適用

3.1 シミュレーション環境の設定

本研究では育苗1区から7区の育苗地区全体を対象としてシミュレーションを行った。今村ら²⁾の研究では育苗地区の中でも特に被害の大きかった育苗5区とその周辺地区の3, 4区をシミュレーションの対象地区としているが、シミュレーション結果と調査結果との比較・検討の容易さや育苗地区に住む住民の避難行動の全体像を把握するため、本

図1 住民エージェントの行動フロー

研究では青苗地区全体を対象地区とした。シミュレーションに用いたベースマップは、この地区の3000分の1の地図をもとに作成して、道路の交差点上にノードを配置し、さらに同地図から読み取った標高や道路幅員の値を各ノードに設定した。ノードどうしの接続に関しては、本シミュレーションにおいては避難者が全て地元住民であることから地理の認知度を100%と仮定し、一度通った道を引き返したり、行き止まりの道を選択したりすることがないということを考慮してリンクを設定した。住民エージェントの初期位置については、北海道南西沖地震は夜10時17分に発生したため、その時間にはほとんどの住民は自宅にいたことから、前述のように、人口統計と地図から読み取った住宅の位置をもとに、自宅から最も近いノード上に住民エージェントを配置した。なお、最終的な避難場所は、1区から5区の住民については高台地域であり、高台に到着した時点で避難完了とする。6区と7区の住民については、調査研究報告を基に、目指した避難場所に関するアンケートの回答数が多かった役場支所、老人ホーム付近、奥尻空港の3ヶ所を避難場所に設定した。

奥尻島の南端に位置する青苗地区は、まず西から津波に襲われた後（地震発生からおよそ5分後）、引き続き東から来襲されたという記録⁷⁾があるので、岬の端に位置する青苗5区では地震から5分後、青苗東部の1区から4区では遅くとも10分後には津波が来襲しており、シミュレーション開始後、それぞれの時間が経過してもまだその地区にいる住民は避難できなかったものとみなす。6区と7区の住民に関しては、もともと高台に住んでいるので、5分後、10分後に津波が来襲しても安全であるとみなし、避難場所に到着した時点で避難完了とする。

3.2 避難開始時刻の設定

5区では地震発生から5分後には津波が来襲しているため、避難行動を行った住民のほとんどは5分以内に避難を始めている。1～4区では5区よりも津波の来襲が遅れたため、地震発生後5分以上経過してから避難を開始した住民が15～30%程度いた。6区と7区の住民の避難行動は比較的遅く始まった比率が高いことも村上⁸⁾の調査結果よりわかった。今村ら²⁾の研究では避難率などの結果において調査結果と良い相関が示されており、避難開始時刻の設定が妥当であるといえる。以上のことを考慮し、1、2、3区のグループ、4区、5区、6、7区のグループの4つの場合に分けて、避難開始時刻及びその割合を仮定した。(表1)

表1 避難開始時刻の設定

1, 2, 3区		4区		5区		6, 7区	
開始時刻	割合	開始時刻	割合	開始時刻	割合	開始時刻	割合
0.5min	23%	0.5min	23%	0.5min	23%	0.5min	16.10%
2min	23%	2min	23%	1min	23%	2min	16.10%
3min	12%	3min	18%	1.5min	18%	4min	12.60%
4min	12%	4min	18%	2min	18%	6min	12.60%
5min	12%	5min	9%	2.5min	9%	8min	12.60%
6min	18%	6min	9%	3.5min	9%	10min	30%

3.3 移動速度の設定

住民の移動速度に関しては、地震発生当時の奥尻町全体の人口構成比に関する統計資料と、年齢と自由歩行速度の関係の資料⁹⁾をもとに年齢階層と性別毎に標準移動速度を表2のように設定した。さらに、個人差を発生させるために、設定した移動速度の値に±0.3m/secを加えた。

表2 年齢階層・性別と移動速度

年齢	人口構成比	男性比	女性比	移動速度(男性)	移動速度(女性)
10～19歳	13%	55%	45%	1.32m/s	1.27m/s
20～29歳	8%	65%	35%	1.43m/s	1.25m/s
30～39歳	26.50%	65%	35%	1.50m/s	1.18m/s
40～49歳	15.50%	50%	50%	1.38m/s	1.24m/s
50～59歳	15%	55%	45%	1.26m/s	1.11m/s
60歳～	22%	40%	60%	1.04m/s	0.94m/s

3.4 シミュレーション実行結果

図2はシミュレーションの結果の例として、シミュレーション開始から5分後の避難状況を示している。図の灰色で塗られた部分は高台地域で、白抜き丸(○)はまだ避難を開始していないエージェント、ひし形(◆)は避難中のエージェント、白抜き四角(□)は高台に達し避難を完了したエージェントをそれぞれ示している。また、図中の矢印は主要な避難経路とその進行方向を示しており、図2中の点線の楕円は5分後に津波に襲われる地域を示している。図からわかるように、住民は各区においてほぼ一つのルートを経由して避難していることがわかる。5区の住民のほとんどはルート①を経由し、4区の住民はルート②、2区と3区の住民はルート③、1区の住民はルート④をそれぞれ経由して避難している。これらのルートは各区の住民にとって高台への最短経路でもある。ルート③の部分には、1983年の日本海中部地震における津波被災の後に設けられた、高台へ通じる避難階段や斜路がある。低地に位置する2区と3区の住民の多くがこれらを利用していることがわかる。また、6区と7区の住民の多くは役場支所付近に集まっている。その他、老人ホーム付近や奥尻空港まで避難している人もいることがわかる。これらの避難経路はアンケート調査結果と概ね一致する。

図2 再現モデルにおける5分後の避難状況

また、本モデルとアンケート調査結果における要避難時間の比較を図3に、区別の死亡・行方不明率の比較を図4に示す。アンケート調査結果の要避難時間に関しては、アンケートでは災害弱者の有無別に要避難時間をみているが、本シミュレーションでは家族そろっての避難（集団避難）を考慮に入れていないため、災害弱者なしの場合のアンケート結果との比較を行うことにした。なお、青苗5区では地震発生から5分後に津波が来襲したため、5分後の死亡・行方不明率を、1区から4区については10分後の死亡・行方不明率を最終的な結果とした。6

区と7区については死者・行方不明者が発生していないので0%である。本シミュレーションでは、住民の避難開始時刻は割合をもとにしてランダムに設定していることや、移動速度の個人差をランダムに与えているため、結果はすべて10回のシミュレーション結果の平均値で算出した。

図3を見ると、本モデルでは調査結果に比べて時間区分別の要避難時間が1~3minで高く、9min以上では低くなっていることがわかる。これは、6区と7区の住民の避難場所が原因であると考えられる。要避難時間が9min以上の人のほとんどは空港を目指した人であり、実際には高台に位置する6区と7区の多くの人が、より高い場所を目指して空港付近に避難していた。本シミュレーションでは、空港に近い7区の一部に住んでいる住民のみが空港へ避難し、空港から遠いその他の7区の住民や6区の住民は、最寄りの役場支所か老人ホームに避難するという設定になっているので、1~3minで高く、9min以上で低い結果になったと理解できる。全体的に見れば、調査結果との相関は良いと言える。

図3 要避難時間の比較

図4を見ると、5区における死亡・行方不明率は調査結果では32.3%、つまり死亡・行方不明者数が70人であるのに対し、本モデルでは35.5%、つまり死亡・行方不明者数が77人であり、最も被害が大きかった青苗5区において、調査結果と非常に近い結果が得られたと言える。また、3区と4区は津波による直接的な人的被害がほとんどなかった地区であるが、同地区においても調査結果とほぼ等しい結果となっていて、地震発生から10分以内には同地区のほとんどの住民は避難を完了していたことがわかる。比較的津波による被害が大きかった1区と2区については、調査結果では1区の死亡・行方不明率が3.9% (10人)、2区が9.1% (21人) であり、本モデルでは1区の死亡・行方不明率が7.8% (20人)、2区が4.1% (10人) となっていて、多少のばらつきはあるが被害の度合いを表現できていると言える。従って、全体的に見ても調査結果との相関は良いと言える。

以上のことから、本モデル、つまり北海道南西沖地震被災当時の再現モデルにおいて、要避難時間および死亡・行方不明率が調査結果と良い相関を示したということで、本モデルの妥当性が示されたと言える。また、本モデルの避難開始時刻や移動速度の設定が適切であったことも示している。

図4 死亡・行方不明率の比較

4. 現況の青苗地区におけるシミュレーション

4.1 青苗地区の現況

北海道南西沖地震被災後の復興における避難行動の観点から見た青苗地区の改善点を以下にまとめる。

- 1) 岬地区 (旧青苗5区) を非住家地区とし高台へ集団移転したことにより、最も危険な津波危険地区がなくなった。
- 2) 1区の高台地区に宅地造成されたことにより、1区の住民がより迅速に高台へ避難できると考えられる。
- 3) 旧市街地区の区画整備と道路整備により、高台へ通じる避難階段や斜路へのアプローチがしやすくなった。

これらを踏まえ、ベースマップや各種設定の変更をし、現況におけるシミュレーションを行う。

4.2 シミュレーションの設定変更

現況の青苗地区は、区割りの変更され、1区から7区までであったのが8区までに増えている。しかし現況の青苗地区におけるシミュレーションでは、再現モデルと地図上の同じ範囲でシミュレーションを行う方が結果などの比較をし易いため、8区を除いた1区から7区までをシミュレーション対象とした。シミュレーションに読み取った住宅の位置をもとに、自宅から最も近いノード上に住民エージェントを配置した。なお、現況の青苗地区の人口は、1区から7区までで1040人 (2004年10月1日現在) である。

最終的な避難場所は、1区から3区の住民については高台地域であり、高台に到着した時点で避難完了とする。4区から7区の住民については、避難場所に指定されている総合研修センター (役場支所) と青苗新生ホールの二ヶ所を避難場所として設定した。再現モデルでは、北海道南西沖地震の際には、旧1区から4区 (現在の1区から3区にあたる) に津波が来襲したのは地震発生から少なくとも10分後であると仮定しているので、現況のシミュレーションにおいても10分後には津波が来襲すると仮定し、その時間にまだ高台へ避難できていない住民は遭難したとみなす。また、5分後に津波が来襲した場合も想定して、それぞれのシミュレーション結果についてもみていく。4区から7区の住民に関しては、もともと高台に住んでいるので、5分後、10分後に津波が来襲しても安全であるとみなし、避難場所に到着した時点で避難完了とする。避難開始時刻については、再現モデルにおける1, 2, 3区の住民の設定と同設定にした。

年齢階層別の移動速度を設定する際には、2004年10月1日を基準日とする奥尻町全地区の年齢別人口集計をもとにして、再現モデルと同様に6段階の年齢階層を定めた。シミュレーションに用いたベースマップは、現況の住宅地図(1/1500)をもとに作成した。再現モデルと同様に道路の交差点上にノードを配置し、さらに標高や道路幅員の値を各ノードに設定した。道路幅員については同住宅地図から読み取れたが、標高についての詳細なデータは読み取れなかったため、その他の地形図などを用いて設定した。各ノードどうしの接続に関しては、再現モデルと同様に住民の地理の認知度を100%と仮定し、一度通った道を引き返したり、行き止まりの道を選択したりすることがないということを考えてリンクを設定した。住民エージェントの初期位置については、シミュレーション開始時(地震発生時)には全ての住民は自宅にいと仮定し、人口統計と住宅地図から、年齢と自由歩行速度の関係の資料より得られた移動速度を年齢階層と性別毎に設定した。個人差の表現についても同様に、移動速度の値に $\pm 0.3\text{m/sec}$ を加え、その値を標準移動速度とした。

4.3 シミュレーション実行結果

図3、4より、再現モデルと比べると、現況では避難時間が0～1minで大幅に増加し、1、2、3区における死亡・行方不明率は減少していることから、全体的に住民の避難状況は改善されていると言える。

さらに詳細に再現モデルとの比較をするため、区割りや各種設定が等しい1区と2区について考察する。1区と2区の時間毎の避難率(図5)によると、1区において現況のほうが大幅に避難率が上がっていて、4.1で述べた改善点の2)が証明された結果と言える。2区においても少しではあるが現況の避難率が再現モデルを上回っていて、4.1の3)の効果であると考えられる。また、図6は現況シミュレーションにおける5分後の状況を示しているが、仮に津波が5分後に全域に襲った場合、低地部分にまだ残っている多数の住民は津波に遭難することになる。

以上のことから、4.1で述べたようなハード面の対策によって育苗地区の住民の避難状況は改善されたが、当時の育苗5区のようにあまり

図5 1区と2区における現況と再現モデルとの比較

図6 現況シミュレーションにおける5分後の避難状況

にも早く津波が来襲した場合には、そのような対策がなされた現況においても、甚大な人的被害が生じる危険性があるということがわかった。

5. 避難開始時刻と移動速度に注目したケーススタディ

5.1 ケーススタディの設定

前章の現況の育苗地区におけるシミュレーションでは、5分後に津波が来襲した場合と10分後に来襲した場合の二つのケースについて結果をみてきた。10分後では、様々な要因により被災当時よりも避難状況が改善され、死亡・行方不明率はかなり低いと予想されたが、わずかにではあるが死者・行方不明者が発生する可能性があることがわかった。5分後では、1区、2区、3区でおよそ半数の住民が津波に遭難する可能性があるという結果が得られた。これは、津波があまりにも早く来襲した場合には、新たな避難場所の設置や避難路の整備などが行われたとしても、多数の犠牲者が発生してしまうことを示唆する結果であった。

本章では、上記のような犠牲者が発生する可能性を減らすべく、その要因分析を行う。現況の育苗地区におけるシミュレーションで、仮にすべての住民がもっと早く避難行動を開始し、もっと速く避難したとしたら、より犠牲者が少なくなることは容易に予想される。つまり、避難開始時刻や移動速度は迅速な避難のための重要な要素となる。よって、構築したモデルを用いて、住民の避難開始時刻や移動速度が変化した際に全体の避難状況がどのように変わるかを調べるために、現況の育苗地区を対象としたいくつかのケーススタディを行った。その際には、現況の育苗地区におけるシミュレーションの設定を以下のように変更してケーススタディを行った。

- ・ケース①：住民の50%が走って避難した場合。50%の住民の標準移動速度を2倍にする。
- ・ケース②：住民の70%が走って避難した場合。70%の住民の標準移動速度を2倍にする。
- ・ケース③：全ての住民が走って避難した場合。全ての住民の標準移動速度を2倍にする。
- ・ケース④：全住民が地震発生から5分以内に避難を開始した場合。全住民の避難開始時刻を再現モデルにおける5区の住民の設定と同じにする。
- ・ケース⑤：全ての住民が地震発生から5分以内に避難を開始し、かつ走って避難した場合。③+④の設定。

5.2 ケーススタディの結果

ケース①からケース⑤における5分後の区別の死亡・行方不明率の結果について、前章で行った現況の青苗地区におけるシミュレーションの結果との比較を図7に示す。なお、結果については前章までと同様に、すべて10回のシミュレーション実行結果の平均値で算出した。

ケース①からケース③は移動速度に関する仮想シミュレーションである。図7を見ると、ケース①～③において、現況（5分後）の結果に比べて死亡・行方不明率が10%から15%程度低下していることがわかる。また、ケース①からケース③になるにつれて、つまり走って避難する人の割合が増加するにつれて、少しずつ死亡・行方不明率が低下しているが、それほど大きな変化は見られない。さらに1区において、ケース②とケース③で死亡・行方不明率が逆転している。これは、多数の住民の移動速度が速くなっても、結局のところ幅員の狭い避難階段やスロープのところで通行が制限され、滞留が生じることが原因であると考えられる。これらのことから、走って避難した場合は、徒歩で避難した場合と比較するとより迅速な避難が行えることは間違いなが、それと同時に、滞留も発生してしまうため、移動速度を速くすることによる効果には限界があると思われる。

ケース④は避難開始時刻に関する仮想シミュレーションである。ケース④の結果では、現況（5分後）の結果に比べてケース①～③のときよりもさらに大幅に死亡・行方不明率が低下していることがわかる。また、ケース⑤の結果によると、ケース①～④よりもさらに死亡・行方不明率が低下し、1区と2区では1.4%、3区では0.4%となり、現況（5分後）の結果に比べて大幅な改善と言える。

以上のことから、移動速度と避難開始時刻は迅速な避難行動のための重要な要素であり、特に早期の避難開始が死亡・行方不明率の低減のための大きな要因であることがわかった。

6. 結論

本研究では、マルチエージェントシステムを用いて津波からの避難行動シミュレーションモデルの構築を試みた。そして、構築したモデルを北海道奥尻島青苗地区に適用した結果、避難状況の時間経過による変遷、特に住民の避難経路選択に関して、実際のアンケート調査結果と概ね等しい状況を創り出すことができた。さらには、住民の要避

難時間や区別の死亡・行方不明率などの結果も調査結果と良い相関を示した。これらのことにより、本シミュレーションモデルの妥当性が示されたと言える。また、非常にシンプルなルールを設定しただけで、津波からの避難行動という複雑な人間行動を再現できたことから、マルチエージェントシステムを用いたシミュレーション手法の、避難問題へのアプローチに対する有効性を示している。

また、構築したモデルを用いて現況の青苗地区におけるシミュレーションを行うことで、1993年北海道南西沖地震被災後の復興の中で行われた、旧市街地の区画整備や道路整備、高台への集団移転、避難路の整備などによって住民の避難状況が改善されたことを示し、具体的な数値結果や視覚的にも表現することができた。一方で、そのシミュレーション結果において、津波があまりにも早く来襲した場合には、上記のような改善がなされていたとしても、甚大な人的被害が生じる危険性が残るという問題も提起した。

ケーススタディではその問題提起を受けて、移動速度と避難開始時刻に注目した6つの場合についての仮想シミュレーションを行い、移動速度を速くすることと早期の避難開始が津波による死亡・行方不明率の低減につながることを再確認した。津波からの避難問題において、ハード面の対策も重要であるが、それだけでなく同時に住民の津波に対する危険意識を高めるためのソフト面の対策も行うことで、より迅速かつ安全な避難行動が行えるのだということがわかった。

本研究では、津波からの避難シミュレーションモデルを奥尻島青苗地区に適用したが、今後はこのモデルをさらに発展させ、青苗地区以外の津波被害の危険にさらされている地域にも適用していくことを考えている。

謝辞 奥尻島での現況調査の際には奥尻町企画観光町民交通係主査の佐野栄一氏は避難施設の整備状況の説明、各種資料の提供をいただきました。記して謝意を表します。

なお、本研究は文部科学省RR2002「大都市大規模震災の軽減化プロジェクト」の分担課題「積雪寒冷地の震災対応マルチエージェントシステムの構築」の一環として行った。

参考文献

- 1) 藤岡正樹・石橋健一・梶秀樹・塚越功:マルチエージェント型避難モデルの特性評価、地域安全学会論文集No. 4, pp. 57-63, 2002年
- 2) 今村文彦・鈴木介・谷口将彦:津波避難数値シミュレーション法の開発と北海道奥尻島青苗地区への適用、J. JSNDS, 20-2, pp. 183-195, 2001年
- 3) 山影進・服部正太:コンピュータのなかの人工社会、259pp、共立出版、2002年
- 4) 齋藤崇・鏡味洋史:マルチエージェントシミュレーションの避難問題への適用-単純な脱出モデルの構築-、日本建築学会北海道支部研究報告集 No. 76, pp. 167-170, 2003年
- 5) 1993年北海道南西沖地震の総合調査報告、東京都立大学都市研究センター、156pp、1994年
- 6) 日本建築学会編:建築設計資料集成[人間]、p. 59、丸善、2003年
- 7) 北海道奥尻町役場監修:北海道南西沖地震奥尻町記録書、pp. 90-93、1996年
- 8) 村上ひとみ・岡田成幸・宮野道雄・望月利男:1993年北海道南西沖地震・津波による人的被害と住民避難行動に関する調査、日本建築学会北海道支部研究報告集No. 67, pp. 157-160, 1994年

(2005年5月19日原稿受理、2005年8月17日採用決定)

図7 ケーススタディにおける死亡・行方不明率