

# 呉市における 津波発生時の住民避難

海上保安大学校 本科第4学年

藤井亜弥

## 1. はじめに

### 1.1 背景

2011年3月11日、日本は未曾有の大震災に見舞われ、多くの尊い命が奪われた。この東日本震災の被害拡大の最大の原因は津波であり、20mを超える津波を観測した地域もある。揺れがおさまってから津波到達までに避難することができず、この巨大な津波に飲まれ、命を落とした人も多い。東日本大震災では逃げ遅れによる犠牲者も多い。当時の私は、被害の様子をテレビや新聞などのメディアを通じて知り、いてもたってもいられない気持ちになった。2011年4月末には大学校からの学生ボランティア活動に参加し、想像を絶する現地の被害の様子を目の当たりにした。そこでは津波の破壊力と恐ろしさと、人間の小ささを感じた。しかし、ボランティアとして復興作業に関わる中で、地元の漁師さんたちの明るい姿や、自らも被災し肉親を亡くしたにも関わらず、以前の町に戻そうとされる必死な姿に感動した。

津波のような大規模な自然災害に立ち向かうことは困難かもしれない。しかし、津波到達までに避難することにより守れる命は沢山あるはずである。将来懸念されている南海トラフ地震での津波対策等に少しでも役に立ちたい。という思いが本研究の背景である。

### 1.2 研究の対象と目的

東日本大震災では、津波発生時の逃げ遅れによる被害の拡大があったとして、最近では避難に関する研究や、災害心理に関する研究が、盛んになってきている。地震後の津波到達までの間、人々は何をしていたのかということを検証するために、NHKでは宮城県名取市閑上地区をモデルに、震災当時の様子を再現するドキュメンタリー<sup>[1]</sup>を作成している。

これは震災発生当時の住民の行動を、アンケートや聞き取り調査をもとに作成されたものである。ドキュメンタリーの一部を図1に示す。閑上地区の地図上に、丸い点(オレンジ)が住民として再現されている。点が密集しているのが、小学校、中学校、公民館といった避難施設であり、避難してきた住民が多い状況がよくわかる。ドキュメンタリーでは地震発生から津波到達までの、およそ1時間10分に渡る時間を再現している。ここでは逃げ遅れている住民がいることが、良く分かる。そしてこの逃げ遅れる住民には、災害時独特の心理が働いていることが明らかになった。その心理とは、災害心理学者広瀬<sup>[6]</sup>が述べる「正常性バイアス」、「同調行動」、「愛他行動」3つの心理である。

またこの研究を進めるにあたり、災害時の住民避難をシミュレーションした先行研究があった。それが大畑らのモデル<sup>[2]</sup>である。彼らは2003年の十勝沖地震の住民アンケートをもとに、釧路市をモデルにシミュレーションを行っている。本研究ではこの大畑らのモデルに、先に述べた災害心理を取り入れ、私に身近な呉市を舞台にシミュレーションを行う。そして得られた結果を比較・分析し、災害発生時に心がけることを確認する。またそこから、呉市の問題点を抽出し解決策を見いだすことを目的とする。



図1 NHKのドキュメンタリー番組「その時ひとはどう動いたか」より

## 2. 先行研究

### 2.1 大畑らの研究

大畑らの研究<sup>[2]</sup>では、ハザードマップや、住民台帳をもとに、釧路市での住民の避難をKK-MAS[(株)構造計画研究所]を用いてシミュレーションしている。地震による津波襲来時、釧路市中心市街地の住民が最寄りの津波避難施設へ向かう避難の様子を知覚的に捉え、住民が避難開始から、最寄りの津波避難施設に到着して避難完了するまでに要した時間や、時間毎の避難率等を算出している。

避難開始から避難完了までの、住民エージェントの行動ルールを図2のフローチャートに示す。フローチャートによると、住民エージェントは地震発生後、住民基本台帳をもとに、ランダムにノード(交差点)に配置される。次に避難開始時刻になれば、今いるノードから一番近い避難施設を決定する。そこから、最短距離で移動するために、次に行くノードを決定する。ノードが決まればリンク(道路)上を徒歩で次のノードへと移動する。同様にして次のノードを決定し移動する。その繰り返しの後、目標避難施設に到達した時点で避難完了となる。また、最短距離での移動を実装するために用いられた、目標ノードを決定するルールを図3に示す。図3の概要としては、現在のノードと目標避難施設を結ぶ一直線を基準とし、現在のノードと他のノードを結ぶ直線とのなす角を比較する。そして一番小さい角をなす直線が存在するノードを、目標ノードとして決定する。

ここで用いる避難開始時刻の設定は、吉井<sup>[8]</sup>による2003年十勝沖地震に関する緊急調査アンケート調査結果を参考にしている。移動速度にあっては、性別と年齢階層を釧路市の年齢階級別人口統計資料をもとに構成比を算出し、年齢と自由歩行速度の関係の資料をもとに、設定している。また個人差を考慮し、移動速度の値に $\pm 0.3\text{m/sec}$ が含まれるように乱数を発生させている。

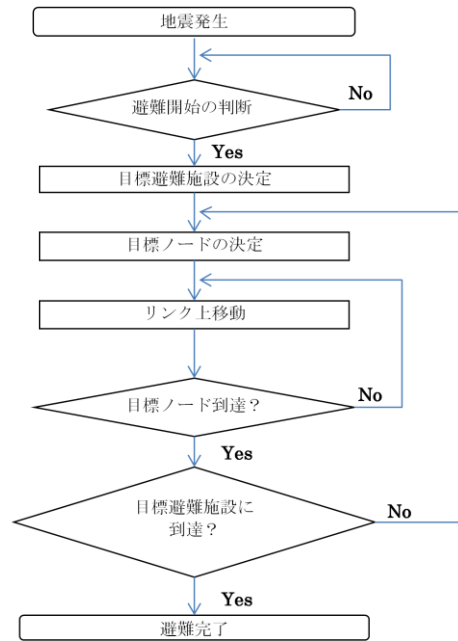


図2 住民エージェントの避難開始から避難完了までの行動ルール

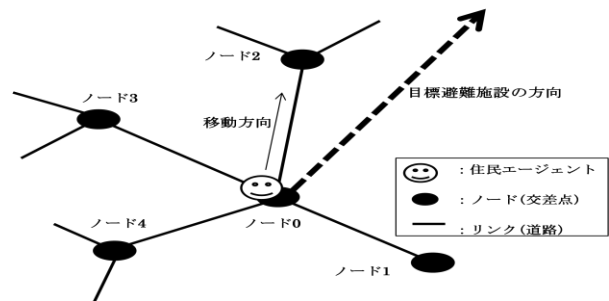


図3 住民エージェントが目標ノードを決定するルール

### 2.2 災害心理の研究

東日本大震災を機に、再び災害心理学や避難に関する研究が注目されている。広瀬<sup>[6]</sup>によると避難行動とは、危険から物理的に遠ざかることであり、災害を回避するための、最も古くからある、素朴でかつ有効な防災行動である。逃げるべき時に逃げ、避ける時に避けることが、身の安全を確かにする最上の策である。またこの考え方は自然災害だけでなく、全ての災いに通用する原則であるとしている。この避難行動はまず、危険を知らせる情報が伝えられるところから始まる。その方法はマスメディアであったり、町内放送であったりと様々であるが、いずれにしても避難

行動を開始するためには、わが身に降りかかる危険が現実にあることを実感しなければならない。この避難行動に対する科学的な研究は、第二次世界大戦下において空襲にさらされる住民を、スムーズに疎開させるにはどのような方策を取るべきかについての研究が始まりである。

異常事態が発生すると、一般には「パニック」が起こると考えられている。これは各個人が自分自身の身の安全を脅かす事態を避けようとして、他者の安全を無視して行動することで発生するものである。しかし、災害時には災害時独自の心理状態が発生することが、広瀬により述べられている。その3つの心理について、例を交えて列挙する。

まず1つ目が「正常性バイアス」である。これは災害等異常事態が発生した際に、今は危険な状況ではない、特別何もしなくても大丈夫だと思いこんでしまう心理のことである。もともとこの心理は、人間が過度に恐れったり、不安になったりしないために働いているはずであるが、時にこの心理は、私達人間をリスクに対して鈍感にするというマイナスの役割を果たしてしまう。東日本大震災では、揺れがおさまった後、津波に備えて避難するでもなく、割れてしまった窓ガラスの片づけをしたり、壊れた台を直したりといった、なんら日常と変わらない生活をする中で、安心しようとするこれらの行動にこの心理が現われていた。

2つ目は「同調行動」である。この心理は、模倣性、感染性ともいわれ、自身の判断や行動を周りの人合わせることで、安心しようとする心理のことである。自身の判断で行動を決めかねる場合には、他人の行動が、災害についての状況判断や、避難行動に踏み出すか否かを決める際の鍵となることが多い。特に災害に対する正確な認識がもてないために、「身におよぶ危険がある」という実感がもてず被避難行動を開始するに至らない場合も

生じる。東日本大震災では、避難施設へ向かう自動車の大渋滞に、いつまでも並び続ける人々の姿にこの心理が働いていた。動かない渋滞の中で、津波に関する嘘か本当か定かではない情報に危険の存在を実感することなく、いくつもの自動車の人達が車内で渋滞を待ち続けているのを見て、車内でずっと待ち続けた多く人がいたのである。

3つ目は「愛他行動」である。これは自分の命が亡くなるとはあまり考えないで、危険な状況にある人を助けようとする心理のことである。全ての人に働く心理ではないが、人間誰しも持ちえる道徳心に影響を受けているものだと考えられる。東日本大震災では、自力で避難することが困難な人の所を訪ねて周っていた人や、水門を閉めに河口に降りてきた人に、こういった心理が働いていた。

これらの3つの心理が災害時に働くと、広瀬は述べている。この心理が何歳ぐらいの、何パーセントの人にとどの程度の割合で働くのかは不明確であるが、東日本大震災の人々の行動を見る限り、これら3つの心理については多くの人が陥っている心理と言える。

### 3. 本研究での取り組み

本研究では arisoc[(株)構造計画研究所]を使用する。

作成したモデルは、先行研究で述べた、大畑らによる釧路市でのシミュレーションをもとに、災害心理学者広瀬が述べる心理を実装し、呉市にてシミュレーションを行っている。ここで、災害心理については3つ挙げたが、本研究では住民全員の避難完了を終着点とする点を重視し、「愛他行動」については取り入れていない。他の2つの「正常性バイアス」、「同調行動」を実装し、「愛他行動」の実装については今後の課題とした。本研究での特徴として、人間の心理状態をシミュレーションに取り入れたことは、今までにない新しい点である。

#### 4. シミュレーション設定

##### 4.1 呉市の設定

本研究のモデルでは呉市の情報<sup>[3]</sup>を参考にして、図4に示す4.3km×2.1kmの呉市を用意し、そこへ避難場所を23カ所配置した。実際の主要交差点をノードとし、道路をリンクとして設置した。また、呉市内の実際の地区や河川などの地形をもとに、市内を5つの地区に分け、住民の人口は呉市町別人口<sup>[4]</sup>をもとに、0地区：吉浦地区1万人、1地区：大宇治・瀬戸見町地区1千人、2地区：川原石地区1万人、3地区：三条地区1万人、4地区：西中央より東側一帯：3万人とし、エージェントである住民を配置した。



図4 設定した呉市と避難場所と地区別人口

##### 4.2 住民エージェント

住民エージェントの行動は、先行研究の大畑らのモデルと同様に動くルールを基本としている。その中で、住民エージェントは表3のようなパラメータを持つ。

また、本研究に用いた、住民エージェント個々に与えられるパラメータ値と、その割合は大畑らのモデルをもとに使用している。その値は表1、表2に示す。

表1 避難開始時刻の設定割合

避難開始時刻(分後)	割合 (%)
0-2.5	10
2.5-5.0	15
5.0-7.5	20
7.5-10.0	30
10.0-12.5	15
12.5-15.0	10

表2 年齢階層別男女割合の構成比と移動速度

年齢層 (代)	人口構成比 (%)			移動速度 (m/sec)	
	全体	男性	女性	男性	女性
10	11	52	48	13.2	1.27
20	13	50	50	1.43	1.25
30	14	49	51	1.5	1.18
40	14	49	51	1.38	1.24
50	19	48	52	1.26	1.11
60	15	47	53	1.13	1
70	14	45	55	0.69	0.87

表3 パラメータの表記と内容

表記	内容
ID	エージェント個々に与えられた番号
X	現在の空間上の位置における X 軸の値
Y	現在の空間上の位置における Y 軸の値
Direction	避難場所の方向を示す値
状態	動いているのかどうかを表わす値
年齢階層	移動速度に関する住民 Agent の年齢
移動速度	1STEP あたりの移動距離
避難開始時刻	予め決められた割合の住民にランダムに設定される、避難を開始する時刻
現在ノード	現在住民 Agent が存在しているノードの値
目標避難場所	住民 Agent が発生した位置から最短避難場所の値
目標ノード	目標避難場所に行くために、現在存在するノードから向かうノードの値

### 4.3 心理の実装

#### (1) 正常性バイアス

まずは「正常性バイアス」を実装する。これは、災害等異常事態発生時に日常生活と変わらない行動をすることで、今は危険な状況ではないとして、特別何もしないという心理である。この心理は、避難開始時刻が極端に遅い人を設けることにより実装する。本モデルにおいては、地震発生後してしばらく時間が経過した15分から45分後に避難を開始する人を、全体の3%設けることで実装した。他の避難開始時刻を持つエージェントとの割合は表4に示す。

表4 正常性バイアスが働く場合と働かない場合の住民割合

避難開始時刻 (分後)	正常性バイアス	
	なし(%)	あり(%)
0-2.5	10	10
2.5-5.0	15	15
5.0-7.5	20	20
7.5-10.0	30	30
10.0-12.5	15	15
12.5-15.0	10	7
15.0-45.0	0	3

#### (2) 同調行動

次に「同調行動」を実装する。これは自分の判断や行動を、周りの人に合わせることで安心しようとする心理のことで、避難中に前方に自分よりも移動速度の遅いエージェントが歩いていた場合に、そのエージェントに自分の移動速度を合わせることで実装した。つまりはついて行くことで、同じ行動をして安心しようとする行動に見えるということである。エージェントの行動ルールは大畑らのモデルと同様であるが、この心理を実装するにあたり、新たに取り入れた部分を図5のフローチャートに示す。

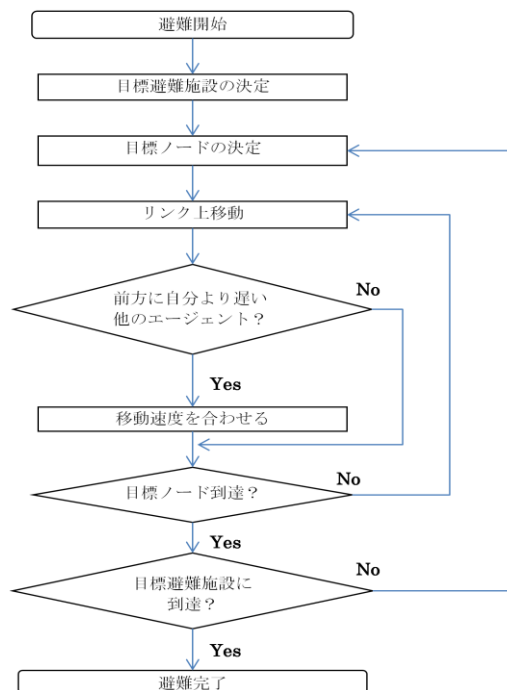


図5 同調行動を取り入れたルール

## 5. シミュレーション実行

### 5.1 評価基準

本モデルの評価基準として、2つの基準を用意した。1つ目は避難完了時間である。本モデルにて実装した「正常性バイアス」と「同調行動」の心理が働く場合と、働かない場合の組み合わせにより4つのパターンをシミュレーションする。このパターンを表5のように、パターン1を「正常性バイアス」なし「同調行動」なし、パターン2を「正常性バイアス」あり「同調行動」なし、パターン3を「正常性バイアス」なし「同調行動」あり、パターン4を「正常性バイアス」あり「同調行動」ありとする。そして避難完了に要する時間を求め、それらを実評価基準とする。そして2つ目は避難場所ごとの避難数である。IVシミュレーション設定の(1)呉市の設定で行った23カ所の避難場所に関して、シミュレーション終了時に、何人の住民が避難してきたのかを避難場所ごとに求め、得られる結果を避難数として分析する。以上の2つの評価基準でシミュレーションを評価するものとする。

表 5 実装心理の有無によるパターン分け

		正常性バイアス	
		なし	あり
同調行動	なし	パターン 1	パターン 2
	あり	パターン 3	パターン 4

## 5.2 結果

本研究で作成したモデルでシミュレーションを行った結果を述べる。まず 1 つ目の評価基準であった避難完了時間の結果であるが、実装した心理が働く場合と働かない場合とのシミュレーションを、各々 10 回ずつ行い平均の値を結果とした。パターン 1 では 1 時間 0 分、パターン 2 では 1 時間 20 分、パターン 3 では 1 時間 3 分、パターン 4 では 1 時間 21 分という結果が得られた。ここで、「正常性バイアス」が働く場合は、働かない場合よりも、避難完了に要する時間がおおよそ 20 分長くなっている。また「同調行動」が働く場合は、働かない場合よりも、避難完了に要する時間が 1~3 分程度長くなっている。これらより、「同調行動」よりも「正常性バイアス」の方が、避難完了時間に与える影響が大きいと言える。これらの結果をまとめたものを表 6 として示す。

次に避難場所ごとの避難数であるが、これは心理の有無には関係なく、一貫して同じ様な結果が得られた。結果としては 10 回のシミュレーションで得られた値の平均値とする。これらをグラフにしたものを図 6 に、結果をまとめたものを表 6 に示す。

表 6 心理状態の有無別避難完了時間の平均

		正常性バイアス	
		なし	あり
同調行動	なし	1 時間 0 分	1 時間 20 分
	あり	1 時間 3 分	1 時間 21 分

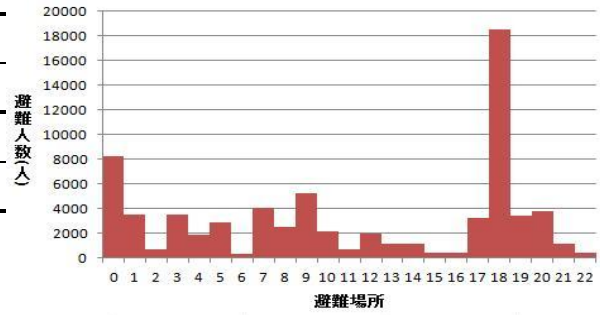


図 6 避難場所ごとの避難数

表 6 避難場所ごとの収容人数と避難人数

番号	収容数(人)	避難数(人)
0	300	8211
1	100	3497
2	40	679
3	700	3535
4	33	1830
5	200	2912
6	800	336
7	100	4032
8	900	2474
9	30	5222
10	50	2156
11	61	672
12	1500	1977
13	40	1106
14	50	1130
15	広域避難場所	420
16	1000	378
17	1300	3202
18	100	18571
19	1000	3402
20	広域避難場所 3000 300	3822
21	1000	1190
22	本モデルで設定	406

### 5.3 考察

評価基準の1つ目であった、避難完了時間をもとに言えることは、災害時独自の「正常性バイアス」と「同調行動」という心理が働くことにより、避難完了に要する時間は長くなるということである。また、災害時の心理が全く働かない場合に比べると、これら2つの心理が働くことで、避難完了に33%長く時間を要することがわかった。本研究において「正常性バイアス」の実装として、避難開始時刻が12分30秒～15分の住民を7%、15分～45分の住民を3%設けたが、これらの平均の避難開始時刻は13.75分と30分である。つまり、心理が働く場合と働かない場合の避難開始の遅れは16.25分であるのに対し、避難完了に要する時間は心理が働く場合には20分も多く時間を要していることもわかる。つまり、避難する際は周囲の状況や周りの人にとらわれず、危険が存在することを認識し、安全に避難を開始することが必要と言える。また、こういった心理が災害時には働くことを各個人が認識しておくことも、早期避難のきっかけになると考える。「同調行動」にあっては、自身の移動速度を移動速度が遅い住民に合わせたが、周囲の住民が急いでいるから急いで避難しよう、といったプラスの効果をもたらす「同調行動」も存在すると考えられる。そこで、自ら率先して避難を促すような住民がいれば、可能なかぎりでの早期避難完了を実現できると考える。本研究では大畑らのモデルをもとに、新たに心理を取り入れモデルを作成した。その点で用いたデータは大畑らのモデル内の数値であり、2003年の十勝沖地震のデータである。正常性バイアスを実装する上での避難開始時刻であっても、あくまでも津波に慣れている地域の人たちのデータである。つまり、実際の呉市の住民を

考えると、今回設定した15分～45分の間に避難を開始する住民が3%以上いる可能性もある。また、45分以上経過してやっと避難を開始する住民もいる可能性もある。地域の特性を考慮して、このあたりの数値を設定する必要もある。

最後に2つ目の評価基準であった、避難場所ごとの避難数をもとに言えることは、地区ごとに現に存在する避難施設には、住んでいる住民数との間に偏りがあるということである。本モデルでの結果より、他の避難場所よりも極めて多くの住民が避難してきているのが避難場所18である。ここは中央図書館であり、実際の収容人数は300人であるところ、18000人も住民が避難している。地区の人口に適した収容数の避難場所が必要だと言える。また、住民一人一人に予め、避難する避難場所を指定しておけば、こういった事態は防げるとも考えられる。今回のシミュレーションでは、現段階で呉市が指定する避難場所を参考に23カ所の避難場所を設定し、津波発生時の住民の避難をシミュレーションしたが、今後起こると予想されている南海トラフ地震における浸水予想からすると、水に浸かってしまい避難場所として機能しなくなるおそれのある避難場所が存在する。浸水予想図<sup>[5]</sup>からすると、避難場所5の二川公民館、避難場所10の明正寺が該当する。避難場所の所在地については、図7に示す。こういった面からも、現に存在する避難場所も災害時に機能するか疑問なところもある。今一度、呉市の避難場所配置を再検討するもの、災害に備える上で有効な手段だと考える。



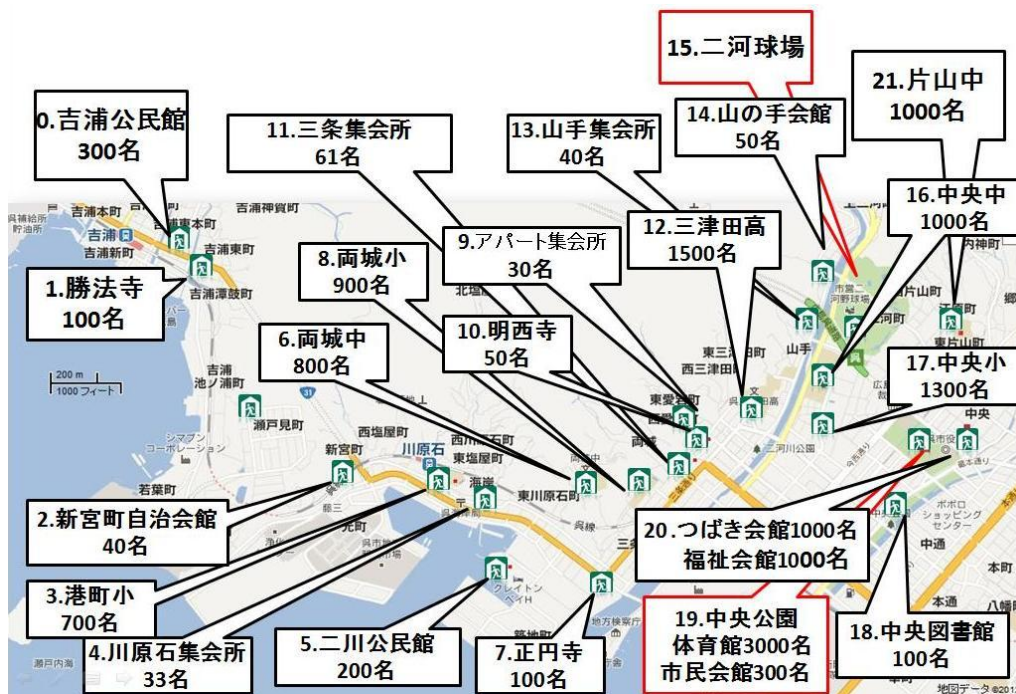


図 7 避難場所の所在地と収容人数

## 6. まとめ

本研究では大畑らのモデルをもとに広瀬の述べる災害心理学を取り入れ、呉市内での避難状況をシミュレーションした。そして、「正常性バイアス」と「同調行動」によって避難に要する時間が長くなることを確認した。特に正常性バイアスの方が、避難完了時間に及ぼす影響が大きく、この心理の働きが逃げ遅れを発生させる原因となりうる。つまり避難に関しては、周りの人の避難状況にとらわれず、危険が迫っていることを認識し、まずは安全に早く逃げるのが大切である。

一方、ある特定の避難場所では避難人数がとて多くなった。これは、その地区の人口が多い点と、避難場所数が少ない点が原因と考えられる。つまり、避難所として機能するにはその地区に適した数と大きさの避難場所が必要である。また、前もって住民個人に指定避難場所を決め、そこに避難するようにすれば、現状の避難場所でも均等な避難者数になると考えられる。さらに、海に近く津波発生時には使用できない避難場所もあることも判明したので改善する必要がある。

## 7. おわりに

### 7.1 今後の課題

本研究においては、大畑らのモデルをもとに災害時独自の心理を実装していった。そこから生じた本モデルでの問題点や改良点を箇条書きで示す。

- 年齢別の人口比や性別比について、呉市のデータを利用すること
- 実際の土地の高低差や傾斜を考慮し、移動速度に変化を持たせること
- 「同調行動」が働く住民の割合を変化させて得られるデータを分析すること
- 収容人数を超えて避難場所に住民が避難した場合、他の避難場所へ移動するプログラムを盛り込むこと
- 「愛他行動」を実装すること
- 天気により変変化のある行動を取り入れること
- 日中の人口配置を考慮し実装すること
- 避難場所を知らない旅行者等を設けて実装すること

本研究で実装できていない部分を、現実社会に即して実装することにより、今後一層有用なシミュレーションモデルになることが期待できる。

## 7.2 シミュレーションの可能性

本モデルで考えただけでも、シミュレーション内に実装できることは多くある。このMASの特徴は、自律したエージェント同士の相互作用により生み出される現象を見ることができる点である。本研究においては「正常性バイアス」と「同調行動」の心理状態は、そういった意味でエージェント同士の作用による避難完了時間の増大がみられたので、MASの特徴を生かせたと思う。

MASで1つ1つの条件での現象を確かめ、更に複数の条件を設定しシミュレーションすることで社会科学でのMASの可能性は無限大に広がっていくと思う。

## 7.3 失敗および隘路となったこと

本研究では大畑らのモデルをもとに研究を行った。呉市での実装では、地図上の情報をもとに、交差点であるノードと道路であるリンクを設定したが、地形の特徴上、海を挟んで対岸に避難場所があるケースが発生し、いつまでたっても避難が完了しない住民エージェントが発生した。これは、目標ノードを決める際に陸側と海側のどちらのノードか、といった判断をしないために発生してしまったバグであった。これらの対処として、実際の道路に沿ったリンクではなく、少し角度を変えた形でリンクを設定したり、もとのノードやリンクの数を減らしたり、避難場所の位置を少し動かしたりすることにより、エージェントが目標避難場所に行くための目標ノードを決定できるようになり解決した。

また海上に住民エージェントが発生したり、リンクの無い山中を移動する住民エージェントが発生したりした。これはプログラム

の設定の変更を、ソフトが上手く読み取り、受け付けていなかったために発生したバグであった。これらの対策として、発生したエージェントを適切な場所に移動させるプログラムを書いたがうまくいかず、ソフト内のプログラムを一旦 excel に出力し編集し直した後に、excel ファイルを取り込み読ませることで解決した。

## 8. 参考文献 (論文・WEB ページ)

- [1] NHK、その時ひとはどう動いたか、  
<http://www.nhk.or.jp/special/onair/111002.html>、2011
- [2] 大畑大志郎、高井伸雄、鏡味洋史、「釧路市中心街地における津波施設配置の評価(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 その2)」、  
日本建築学会計画系論文集、第61号  
2007年2月、pp.87-91
- [3] 呉市、避難場所案内地図  
[http://www.city.kure.lg.jp/maps/shelter1\\_map.html](http://www.city.kure.lg.jp/maps/shelter1_map.html)
- [4] 呉市、町丁別人口・平成24年9月末日  
<http://www.city.kure.lg.jp/~statics/people.html>
- [5] 広島県高潮・津波浸水想定  
<http://www.takashio.pref.hiroshima.lg.jp/portal/default.aspx>
- [6] 広瀬弘忠、「人はなぜ逃げおくれるのか」、  
集英社、2004年1月21日
- [8] 吉井博明、「2003年十勝沖地震における津波危険地区住民の避難行動実態、2003年十勝沖地震に関する緊急調査、津波に対する避難行動調査グループ調査報告集」、2004年