

呉市の津波避難シミュレーション

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2023-05-29 キーワード (Ja): キーワード (En): Tsunami, Escape, Multi-agent simulation, Normalcy bias, Kure city 作成者: 岩永, 佐織, 藤井, 亜弥, 松浦, 義則, FUJII, Aya メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.15053/0000000182

【論文】

呉市の津波避難シミュレーション

岩永 佐織¹ 藤井 亜弥² 松浦 義則³

Multi-Agent Simulation of Escape from Tsunami in Kure City

Saori Iwanaga¹, Aya Fujii², and Yoshinori Matsuura³

Abstract

The Great East Japan Earthquake occurred at 14:46 JST (05:46 UTC) on Friday, March 11, 2011. It was the most powerful known earthquake ever to have hit Japan, and one of the five most powerful earthquakes in the world since modern recordkeeping began in 1900. The earthquake triggered extremely destructive tsunami waves up to 40.5 meters in height.

In this paper, in preparation for a Nankai Trough earthquake, we described multi-agent simulation of escape from tsunami in Kure city and attempted to analyze the behavior of agents. Especially, we focused on the mentality of the people in disaster. In case of emergency, it is said that people are in a panic. But, practically, they are not. People are in a particular state of mind and they tend to fail to escape. From simulation results, we confirmed that when people are in a particular state of mind, it takes more time to escape to shelter than when people are in a normal state of mind. So, people have to know that unique psychological conditions occur in human mind at the time of disaster. Especially, people should not fall into normalcy bias for safe escape.

Keywords: Tsunami, Escape, Multi-agent simulation, Normalcy bias, Kure city.

1 はじめに

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震 (Mw 9.0) は巨大津波を引き起こし、巨大津波の高さは最大で40.5 m、海岸からの津波の到達距離は最大で6 kmであった。地震と津波に伴う大規模地震災害 (東日本大震災) は、死者・行方不明者約二万人の被害をもたらした。東日本大震災では、効果的な避難ができなかった人が多く被害が拡大したと見られている^{1,2)}。このような甚大な被害をもたらした東日本大震災であったが、明治29年の明治三陸大津波と比べ犠牲者の割合は低く、防潮堤などの様々な防災対策の効果と考えられている³⁾。

地震直後から津波到達までの間、人々は何をしていたのかを検証するために、NHKでは震災当時の様子を再現するドキュメンタリー番組⁴⁾を作成している。番組では、震災発生当時の宮城県名取市閑上地区を対象として、アンケートや聞き取り調査によって住民の行動を分析している。ドキュメンタリー番組で再現された様子の一部を図1⁵⁾に示す。閑上地区の地図上に、白く丸い点が住民と

して再現されている。白い点が密集している所が小学校、中学校、公民館などの避難施設であり、避難してきた住民が多い状況がよく分かる。地震発生から津波到達までの約1時間10分の人々の行動から、逃げ遅れている住民がいることも分かる。



図1 東日本大震災時の住民の行動 (NHKスペシャル「巨大地震—その時ひとはどう動いたか⁴⁾」より)

この逃げ遅れる住民には、災害時独特の心理状態が働いていることを災害心理学者広瀬⁶⁾は述べている。その

Received November 15, 2013

¹ 海上保安大学校 s-iwanaga@jcga.ac.jp

² 海上保安大学校本科 59 期卒業生

³ 海上保安大学校 matsuura@jcga.ac.jp

心理状態とは、「正常性バイアス」、「同調行動」、「愛他行動」の3つである。

本研究では、災害時の心理状態を考慮して、津波発生時における住民の避難行動をシミュレートすることによって分析する。そこから災害発生時に心がけることを確認する。特に、呉市の避難場所情報を用いてシミュレーションを行い、呉市の問題点を抽出し解決案を提案することを目的とする。

2 先行研究

津波に関する研究は多く、内閣府に設置された南海トラフの巨大地震モデル検討会や海上保安庁海洋情報部などは、津波の侵入を流体力学的にシミュレートしている。人々が避難する様子を再現した津波避難シミュレーションとしては、大畑⁵⁾、鎌倉市⁶⁾、渡辺⁷⁾の他、今村⁸⁾、堀⁹⁾による統合シミュレーションがある。これらは具体的な地形で津波の侵入速度と混雑度、浸水深さ、流速による歩行速度などの変化による避難の時間的余裕を評価している。

災害時には災害時特有の心理状態が表れる⁴⁾が、心理モデルを避難シミュレーションに取り入れた研究は少なく、また、避難時の人々の行動や経路選択については着目されていない。東日本大震災では、津波から避難する人々は海岸から逃げるだけでなく、一人で逃げられない老人を救出に向かうという災害時特有の愛他行動が見られた¹⁾。また、沿岸部に残る家族を迎えに戻る行動も見られ、石巻市では、その数は避難した人の1.6倍であった。そして、ほとんど動かないグリッドロックと呼ばれる交通渋滞が発生したことをカーナビや携帯電話による人の流れの解析が明らかにしている²⁾。

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⁴⁾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言っている。特に、津波被害の場合には、いかにして迅速に津波の到達範囲外に避難するかが生死を分ける。津波の襲来前に避難する人々が多ければ、犠牲者は少なく、逆に、避難する人々が少なければ、犠牲者は多い。避難行動は、個人や集団や家族が脅威や破壊にさらされた時に、その事態を回避するための移動行動であるが、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ぬ。こ

の避難行動に対する研究は、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。

3 災害時の心理状態

3.1 災害時独自の心理

異常事態が発生すると、一般には「パニック」が起こればと考えられている。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によって発生するものである。しかし、パニックが起こることは少なく、災害時には災害時独自の3つの心理状態が発生していると広瀬⁴⁾は述べている。東日本大震災でも、多くの人がこの3つの心理に陥っている。本研究では、この内の「正常性バイアス」、「同調行動」の2つの心理が人々に働くとして、シミュレーションを行った。

3.2 正常性バイアス

正常性バイアスとは、災害など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⁴⁾のことである。元々この心理は、人間が過度に恐れたり、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、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、壊れたステレオ台の脚を直したり¹⁾といった、なんら日常と変わらない生活をすることによって、安心しようとする行動に正常性バイアスが働いていた。

3.3 同調行動

同調行動とは、模倣性、感染性ともいわれ、自身の判断や行動を周りの人に合わせることによって、安心しようとする心理⁴⁾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¹⁾。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の人がいたのである。

3.4 愛他行動

愛他行動とは、自分の命が亡くなるとは考えず、危険な状況にある人を助けようとする心理⁹⁾のことである。全ての人に働くわけではないが、人間誰しもが持つ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老人を連れ出しに行った人などに愛他行動が働いていた¹⁾。

4 モデル

4.1 概要

本研究では、まず、大畑⁹⁾が(株)構造計画研究所のマルチエージェントシミュレータKK-MAS¹⁰⁾上に作成したモデルをその後継のソフトウェアであるartisoc¹¹⁾上に再現した。

KK-MASは、ユーザフレンドリーなマルチエージェントシミュレータであり、パソコンで使える、日本語が使える、簡単かつ複雑なモデルが作成できるなどの特徴を持っている。また、後継のartisocは、KK-MASに加えて、デバッグ機能、データベースと連携する、複数モデルを分散実行できるなどの特徴を持っている。また、モデルをネットワークとして設定するのが容易である。マルチエージェントシミュレータartisocによって、社会現象など人間同士の相互作用をコンピュータ上で再現することができ、ダイナミックに変化する社会現象を分析することができる。

大畑のモデル⁹⁾では、地震による津波襲来時、釧路市中心市街地の住民が指定された最寄りの津波避難施設へ向かう避難行動の様子を視覚的に捉え、住民が避難開始から最寄りの津波避難施設へ到着して避難完了するまでに要した時間や時間ごとの避難率等を算出している。住民を1人のエージェントとして定義して、初期位置、避難開始時刻、移動速度の情報等を変数として与え、最寄りの津波避難施設に移動するルールを設定している。地震発生直後からの避難経路については、ネットワーク型(道路をリンク、道路網の交差点などをノードで表現)を用いている。住民エージェントの他にはノードをノードエージェントとして定義している。ノードエージェントは、道路網の交差点と避難施設を表している。

4.2 呉市の設定

大畑のモデル⁹⁾では、釧路市を扱っているが、本研究では呉市を扱う。南海トラフ地震発生による想定では、呉市の被害は最大震度が6弱、津波到達までの最短時間が161分、最高津波水位が4mである¹²⁾。本研究では、図2に示す津波による浸水予想地域¹³⁾を対象とし、日曜日の昼間で住民が在宅している時間帯に地震が発生して、住民が徒歩で避難するものとした(海上保安大学校及び海上自衛隊地区は除いた)。



図2 呉市の津波浸水予想図(抜粋)³⁾

浸水予想地区などのハザードマップでは被害イメージが固定されやすく、想定外の津波が発生した時の危険性が指摘¹⁴⁾されているため、本研究では要避難区域を拡大して検討する。すなわち、10m以下の低標高地域である光町、海岸、三条、築地町、宝町、西中央、中央、中通り、本通り、本町の10地区を対象地区とした。各地区に地区番号を付与して表1の1、2列目に示

す。また、呉市住民基本台帳¹⁰⁾を基に表1の3列目に地区別住民数を設定した。地区7は呉市最大の商店街であり、隣接する地区番号5～8は住民が多い地域である。

住民は世帯単位で避難するものとする。対象とする地域では、平成25年3月31日現在の1世帯あたりの住民は1,937人¹⁵⁾であったため、住民2人を1人の住民エージェントとした。大畑⁹⁾や多くのモデルでは一人ひと

りが避難するとして住民1人を1人のエージェントとして扱っている。しかし、アンケートから多くの人々は

家族単位で避難していることが分かっている¹⁶⁾。各地区の住民エージェント数を表1の4列目に示す。

表1 地区と避難場所

地区番号	地区名	地区別住民数人	住民エージェント数人	避難場所			地区別収容人数人	地区別収容エージェント数人
				識別番号	避難場所名	収容人数		
0	光町	67	33	0	藤三光町ショッピングセンター	300	300	150
1	海岸	2,292	1,146	1	港町小学校	610	680	340
				2	川原石集会所	40		
				3	正円寺	30		
2	築地町	64	32	4	スーパーOZ	664	854	427
				5	二川公民館	190		
3	三条	2,430	1,215	6	両城小学校	908	1,748	874
				7	三条集会所	50		
				8	明西寺	40		
				9	呉三津田高等学校	750		
4	宝町	987	493	10	呉駅西共同ビル	6,412	18,012	9,006
				11	ゆめタウン呉	5,300		
				12	呉中央棧橋ターミナル	2,615		
				13	折本マリンビル3号館	3,685		
5	西中央	2,960	1,480	14	呉中央小学校	3,390	5,890	2,945
				15	二河公園多目的グラウンド	2500		
6	中央	4,375	2,187	16	広島ガス不動産呉ビル	6,024	13,750	6,875
				17	消防局	230		
				18	中央図書館	80		
				19	蔵本駐車場	2,736		
				20	中央公園	2500		
				21	福社会館	170		
				22	つばき会館	250		
7	中通	1,506	753	24	シティパーク呉	300	600	300
				25	ポポロショッピングセンター呉館	300		
8	本通	4,323	2,161	26	太陽家具百貨店呉店	300	600	300
				27	家具のF・デポ呉店	300		
9	本町	1,173	586	28	和庄中学校	710	1,370	685
				29	本通小学校	660		

各地区には呉市の情報¹⁷⁾を基に表1の5、6列目に30か所の避難場所の識別番号と避難場所名を設定した。基本的には、各地区に属する避難場所を設定しているが、一部では隣接する地区に属する避難場所も設定した。また、呉市によって避難場所が設定されていない

地区もあるため、独自に、表1の下線を引いた避難場所に該当する5か所の避難場所を設定した。もちろん、津波からの避難場所として、高台も候補となる。しかし、平成13年の芸予地震の調査によると、建物被害は両城、東愛宕、西愛宕、山手、江原、宮原などの傾斜

地に集中していた¹⁸⁾。地震後の建物倒壊などによる危険なども考慮して、本研究では高台ではなく、避難ビルを避難場所とした。また、避難場所には小中学校など校庭なども含まれているが、津波から逃げるには高い場所でなければならないことを考慮して、校庭でなく建物の収容人数としている。中央公園と二河公園多目的グラウンドは比較的内陸にあるため、グラウンドの収容人数とした。表1には、各避難場所の収容人数

を7列目に示している。独自に設けた避難ビルについては、収容人数を300人とした。地区別の収容人数と収容エージェント数を8、9列目に示している。

図3には、30か所の避難場所と10か所の地区、道路網を示す。交差点であるノードを213個、道路であるリンクを384個設置している。住民エージェントは、交差点と道路で構成された道路網上を移動しながら避難場所へ向かう。

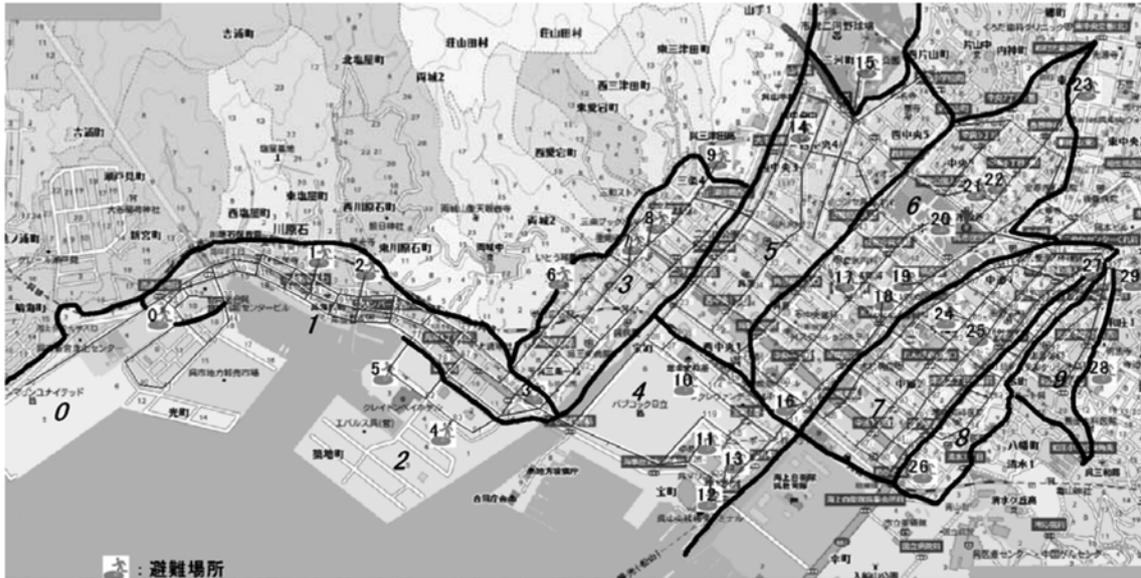


図3 呉市の地区と避難場所

4.3 住民エージェント

住民エージェントには次のパラメータを付与した。

- ・ ID：住民エージェントの識別番号
- ・ X：X座標
- ・ Y：Y座標
- ・ 方向：進行方向
- ・ 状態：ノード上、リンク上の別
- ・ 移動速度：1ステップあたりの移動距離
- ・ 年齢階層：一般、老人の別
- ・ 避難開始時刻：避難を開始する時刻ステップ
- ・ 目標避難場所：目指す避難場所
- ・ 現在のノード：現在位置しているノード
- ・ 目標ノード：次に向かうノード

4.4 初期値

住民エージェントは、地震発生時に固有のIDを付与され、住民基本台帳¹⁵⁾の住民数を基に、ランダムにノード(交差点)上に配置される。このため、最初、状態はノード上であり、現在のノードは配置された交差点である。住民エージェントが避難する移動速度は、グループ速度として定義した。グループで歩行する際には、単独で歩行数する場合よりも遅くなり、ループの中で最も遅い者に速度を合わせることで、そして、一般

と老人の歩行速度が異なることが示されている¹⁹⁾。表2に示すように、1人の住民エージェント(一般)の歩行平均速度を0.98 m/s(標準偏差0.20 m/s)、住民エージェント(老人)の平均歩行速度を0.84 m/s(標準偏差0.13 m/s)と設定した。また、住民基本台帳¹⁵⁾から、対象地区では65歳以上の老人は34%、65歳未満の一般は66%であった。尚、住民には子供も含まれる。子連れのグループの歩行速度については、ベビーカーを押すグループで平均値1.07 m/s(標準偏差0.23 m/s)、抱く・おぶる・肩車グループで1.03 m/s(標準偏差0.20 m/s)である¹⁹⁾。そのため、子連れのグループも一般のグループとして扱った。

表2 歩行速度と構成比

年齢	人口構成 比 %	グループ速度 m/s	
		平均	標準偏差
65 歳未満	66	0.98	0.20
65 歳以上	34	0.84	0.13

避難開始時刻は、大畑⁹⁾のモデルと同じく十勝沖地震における避難行動調査報告²⁰⁾を参照し表3のように設定した。ばらつきは一樣乱数で与えた。ところで、アンケートやインタビューによると避難行動は必ず起

こるものではなく、日本では約四割⁹⁾と言われている。東日本大震災でも全員が避難していないことが確認されている²¹⁾。しかし、ここでは、まず全員が避難するものとして扱う。

目標避難場所には、30か所の避難場所のいずれかを設定する。設定方法としては、4.7節に示す最寄りの避難場所か地区に指定された避難場所とした。初期状態では、目標ノードは空であり、その方向も空である。

表3 避難開始時刻と割合

避難開始時刻 s	割合 %
0-150	10
150-300	15
300-450	20
450-600	30
600-750	15
750-900	10

4.5 行動ルール

住民エージェントはステップ毎にそれぞれ行動する。本シミュレーションでは、1ステップを1sと設定した。その行動ルールを図4のフローチャートに示す。

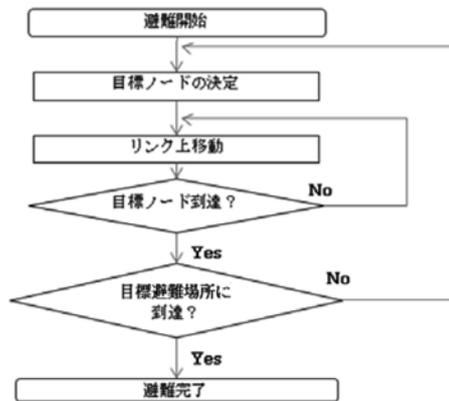


図4 住民エージェントの行動ルール

住民エージェントはそれぞれの避難開始時刻になったら、避難を開始する。そのために、目標ノードを決定する。目標ノードの決定方法については、現在のノードから目標避難場所に対する方向に最も近い方向の隣接ノードを選択するという大畑のモデル³⁾と同じアルゴリズムを採用した。図5を使って説明する。現在のノードと目標避難施設を結ぶ直線を基準とし、現在のノードと隣接する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ノードを目標ノードとする。図5の例では、ノード0に位置する住民エージェントは、隣接するノード1、2、3、4の中で、最も小さい角度をなすノード2を目標ノードとする。ノード

2への向きが住民エージェントの方向となる。そして、リンク上を目標ノードに向かって移動し始める。

リンク上を移動して目標ノードに到着したら、再び次の目標ノードを決定する。この行動ルールを繰り返して目標避難場所に到達した時点で避難完了となる。

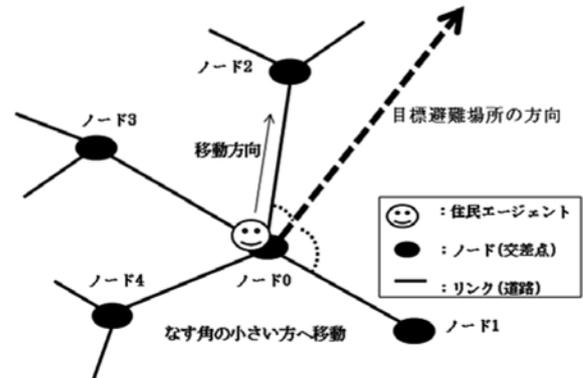


図5 目標ノードの決定

4.6 災害時の心理状態

先述の災害時の心理状態を実装し、呉市におけるシミュレーションモデルを作成した。災害時の心理状態の内、本研究では2つを扱う。すなわち、「正常性バイアス」、「同調行動」を採用し、「愛他行動」の実装については今後の課題とした。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新しい点である。

・正常性バイアス

正常性バイアスとは、災害など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によって、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。この心理を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、表4のように地震発生後、しばらく時間が経過した900 sから2,700 sの間に避難を開始する人を全体の3%設けて、正常性バイアスが働いている人とした。ばらつきは一様乱数で与えた。

表4 正常性バイアスと避難開始時刻

避難開始時刻 s	割合 %	
	正常性バイアスなし	正常性バイアスあり
0-150	10	10
150-300	15	15
300-450	20	20
450-600	30	30
600-750	15	15
750-900	10	7
900-2,700	0	3

・ 同調行動

同調行動とは、自分の判断や行動を周りの人に合わせることによって安心しようとする心理のことであり、避難中に前方に住民エージェントが何人か歩いていた場合に、その中のランダムな一人を取り上げ、その人が自分より速度が遅ければ、自分の移動速度を同じにすることにより実装した。同じ速度で歩くことによって安心しようとする行動を再現している。これを追加した行動ルールのフローチャートを図6に示す。

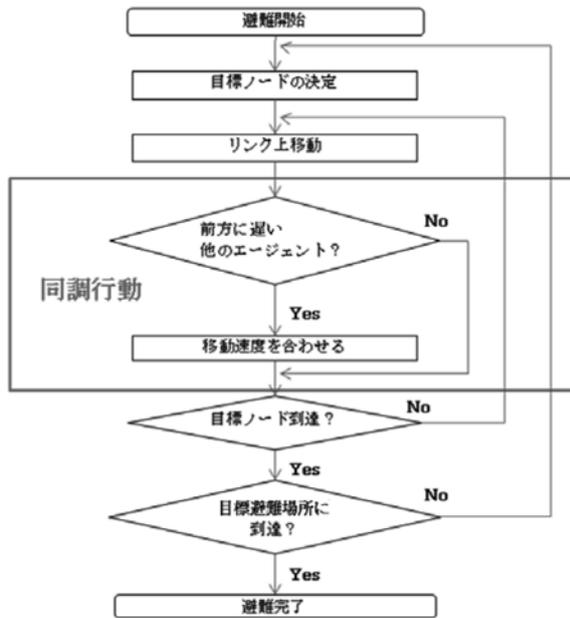


図6 住民エージェントの行動ルール (同調行動)

4.7 シミュレーションのケース

住民エージェントが向かう目標避難場所について、最寄りの避難場所へ向かう場合と地区に指定された避難場所へ向かう場合の2つのケースを想定しシミュレーションを行い比較する。ケースの設定については次のとおりである。

最寄りの避難場所: 住民エージェントの最初の位置から全ての避難場所までの距離を測定し、最も近い避難場所を選ぶ。

地区に指定された避難場所: 同じ地区にある避難場

所の内で、住民エージェントの最初の位置から最も近い避難場所を選ぶ。

次に、「正常性バイアス」と「同調行動」の2つの心理が働く場合と働かない場合の組み合わせによって4つのパターンを比較する。

4.8 評価基準

避難完了時間と避難場所ごとの避難者数という2つの評価基準を用いて評価する。

・ 避難完了時間

全住民エージェントが避難完了するのに要する時間を測定する。避難完了時間が短い方が良い。

・ 避難場所ごとの避難者数

30か所の避難場所について、それぞれの避難場所へ避難してきた住民エージェント数を測定する。多くの避難場所に避難者が分散した方が良い。

5 シミュレーション結果

5.1 収容人数と避難者数

シミュレーションの前に、地区ごとの住民数と収容人数について確認をし、図7に示す。横軸は地区の識別番号、縦軸にはそれぞれの地区の住民エージェント数を示している。

住民エージェント数は住民数の二分の一である。地区番号6の中央地区では、住民エージェント数が2,187人で最大である。地区番号1、3、7、8の海岸、中央、中通、本通では、住民エージェント数が避難場所の収容人数を上回っており、避難できない者がいる。特に、7、8地区は避難場所の収容人数よりも住民エージェント数の方が多い。呉市の情報によると、この地区では、避難場所が特に指定されていない。そのため、地区をまたいで中央公園に多くが避難することが予想されるが、その間には川が流れており危険である。また、地区番号7、8には、商店が多く比較的高い建物もあるため、自分の建物に留まるということも想定される。しかし、本研究では、簡単化のため、全員が避難場所に避難するものとする。

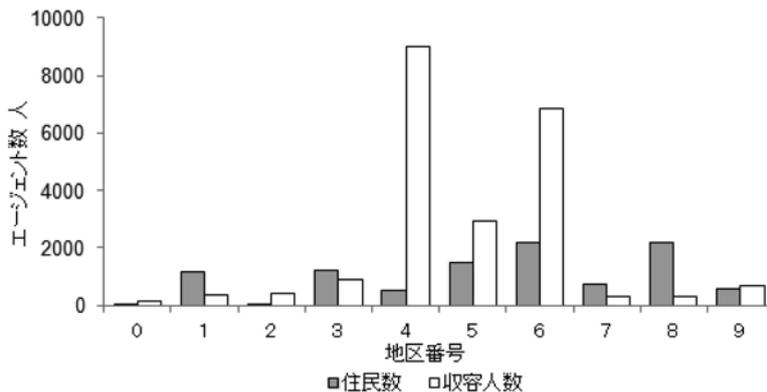


図7 住民数と収容人数

5.2 最寄りの避難場所と地区に指定された避難場所

最寄りの避難場所と地区に指定された避難場所へ避難する場合に分け、それぞれ100回ずつシミュレーションを行った。避難完了時間の平均と標準偏差を表5に示す。最寄りの避難場所よりも地区に指定された避難場所へ避難した方が約6%早く避難できることが分かる。また、地区の避難場所へ避難する場合の方が、避難完了時間のばらつきは大きい。地区に指定された避難場所へ避難する場合には、遠い避難場所へ避難することがあるために、避難開始時刻のばらつきの影響を受けやすいことが分かる。

表5 避難完了時間の比較

避難完了時間 s	最寄り	地区に指定
平均	2,064.24	1,944.59
標準偏差	265.18	388.30

図8には避難場所への避難した住民エージェント数を示している。横軸が避難場所の識別番号である。括弧書きされた避難場所は偶数番号の地区に属している

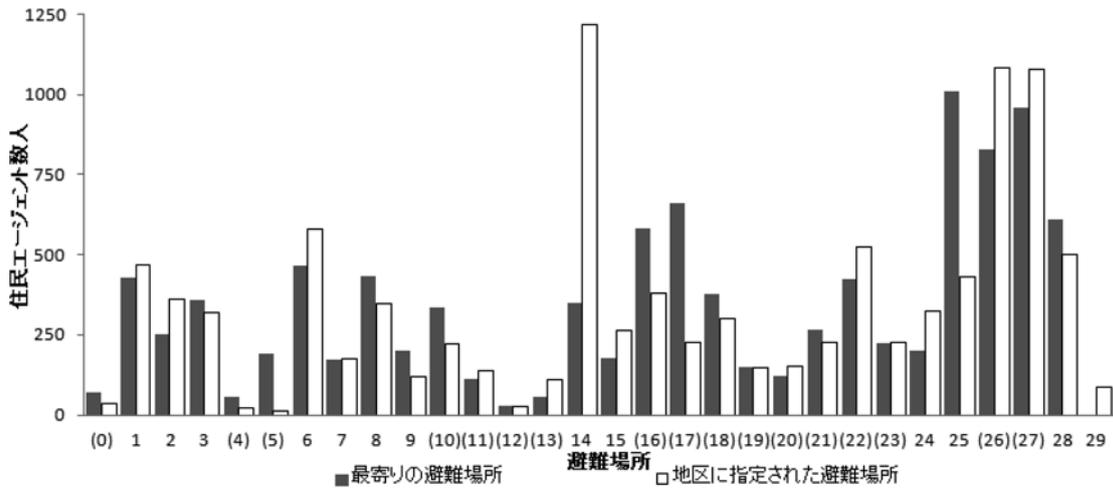


図8 避難した住民エージェント数の比較

アンケートや調査などからも指定された避難場所へ避難することが多いことが分かっている²¹⁾。多くの住民が無意識に判断している地区に指定された避難場所へ避難することによって、多くの避難場所へ分散して避難できることを確認することができた。

5.3 心理状態による比較（地区に指定された避難場所）

正常性バイアスと同調行動の有無による4パターンの比較を行った。それぞれ100回のシミュレーションを行い、避難完了時間の平均と標準偏差を表6及び表7に示す。正常性バイアスと同調行動が働かない場合の結果は、

ことを表している。括弧の有無により、それぞれの避難場所が属する地区が異なることを示している。地区に指定された避難場所への避難では識別番号14の呉中央小学校に避難する住民エージェントが多いことが分かる。呉中央小学校は地区番号5の住民数の多い西中央地区に位置している。この地区にはもう一つの避難場所である二河公園多目的グラウンドがある。しかし、二河公園多目的グラウンドは内陸であり遠いため沿岸からの住民は近い方の呉中央小学校に集中することが分かる。一方で、最寄りの避難場所へ避難する場合には、この西中央地区の避難場所へ避難する住民エージェントの総数は525人である。西中央地区には5,890人の住民エージェントが住んでいるが、多くの住民エージェントは隣接する中央地区の避難場所へ避難したことが分かる。

また、最寄りの避難場所へ避難する場合には、避難場所29の本通小学校には誰も避難していない。このように、全体として、地区に指定された避難場所へ避難する場合の方が、住民エージェントは多くの避難場所へ分散することが分かる。

先述の地区に指定された避難場所へ避難する場合の結果と同じである。同調行動によって平均避難完了時間が約6%長く、正常性バイアスにより平均避難完了時間が約68%長くなっている。特に、同調行動よりも正常性バイアスによる平均避難完了時間への影響が大きいことが分かる。標準偏差を見ると、同調行動や正常性バイアスによって避難完了時間のばらつきが少なくなっている。避難場所ごとの避難人数は、前節の結果（地区に指定された避難場所）と同じである。

表6 避難完了時間の平均 (地区に指定された避難場所)

平均 s		正常性バイアス	
		なし	あり
同調行動	なし	1,944.59	3,266.23
	あり	2,065.18	3,243.99

表7 標準偏差 (地区に指定された避難場所)

標準偏差 s		正常性バイアス	
		なし	あり
同調行動	なし	388.30	262.97
	あり	255.16	128.69

5.4 考察

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ことを確認することができた。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によって、避難完了に最大で68%長く時間を要することがわかった。

ここで、ある1回のシミュレーション結果において、それぞれ一番早い人と一番遅い人の避難開始時刻を表8に示す。正常性バイアスが働かない場合と働く場合に分けて表示している。災害時特有の心理状態、特に、正常性バイアスが働くことによって、一番遅く避難を開始する住民エージェントの避難開始時刻(最大値)が1,799s遅くなっていることが分かる。このため、全体としての避難完了時間が長くなっている。

したがって、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人が認識しておくことも、早期避難を促すと考えられる。

シミュレーションでは、いずれの場合にも津波の襲来前に避難を完了することを確認できた。ところが、東日本大震災におけるアンケートでは、最大津波の到達前にほとんどの者が帰宅している²¹⁾。このため、避難完了後に避難所にとどまらせることについても検討する必要がある。

表8 避難開始時刻

		避難開始時刻 s	
		一番早い人	一番遅い人
正常性バイアス	なし	0	899
	あり	0	2,698

6 おわりに

本研究では、災害時の心理を取り入れモデルを作成した。そして、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

間が長くなることを確認することができた。

避難開始時刻として用いたのは、平成15年十勝沖地震の釧路市のデータである。釧路市は津波に比較的慣れている地域である。しかし、呉市では、これまで津波の危険を感じるような地震は起こっていない。そのため、避難を開始する時間が釧路市の住民よりも遅い可能性が高い。今後は、地域の特性を考慮して、この数値を設定する必要がある。さらに、シミュレーション結果から、避難場所によっては、避難者が集中する所もあった。これは、特に、海に近い地域であり、早めに避難できた人には内陸の避難場所への避難を促すなどして、避難者の集中を緩和する必要がある。また、海に近いため津波発生時には実際には使用できない避難場所もあるので改善の必要がある。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 24510265 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) NHK, NHK スペシャル 巨大地震—その時ひとはどう動いたか, 2011/10/02 21:00~21:49 放送, <http://www.nhk.or.jp/special/detail/2011/1002/>, 2013/10/04 参照.
- 2) NHK, NHK スペシャル "いのちの記録"を未来へ—震災ビッグデータ, 2013/03/03 21:00~21:58 放送, <http://www.nhk.or.jp/special/detail/2013/0303/>, 2013/10/04 参照.
- 3) 牛山素行, 横幕早季, 特集 東日本大震災と災害情報—人的被害の特徴, 災害情報, 10 (2012), 7.
- 4) 広瀬弘忠, 「人はなぜ逃げおくれるのか」, 集英社, 2004.
- 5) 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, 612 (2007), 87.
- 6) 鎌倉市, 津波シミュレーション動画, <http://www.city.kamakura.kanagawa.jp/>, 2013/10/04 参照.
- 7) 渡辺公次郎, 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, 74(637) (2009), 627.
- 8) 今村文彦, 藤原誠, 進藤一弥, 市村強, 臨海都市域に襲来する津波の統合シミュレーション開発, 海岸工学論文集, 51 (2004), 291.
- 9) 堀宗朗, 地震災害予測のためのシミュレーション小特集 大規模災害のシミュレーション, シミュ

- レーション, 31(4) (2012), 198.
- 10) 構造計画研究所, KK-MAS, <http://mas.kke.co.jp/modules/tinyd0/index.php?id=2>, 2013/10/4 参照.
 - 11) 山影進, 「人工社会構築指南—Artisoc によるマルチエージェントシミュレーション入門」, 書籍工房早山, 2007.
 - 12) 内閣府, 南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等 (第二次報告) 及び被害想定 (第一次報告) について (平成 24 年 8 月 29 日発表), http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html, 2013/07/10 参照.
 - 13) 広島県, 広島県高潮・津波浸水想定, <http://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/4/tsunamisinsuisouteizu.html>, 2013/07/10 参照.
 - 14) 片田敏孝, 児玉真, 桑沢敬行, 越村俊一, 住民の避難行動にみる津波防災の現状と課題:2003年宮城県沖の地震・気仙沼市民意識調査から, 土木学会論文集, 789 (2005), 93.
 - 15) 呉市, 人口データ (住民基本台帳), <http://www.city.kure.lg.jp/~statics/people.html>, 2013/07/10 参照.
 - 16) 東京大学社会情報研究所「災害と情報」研究会, 1993年北海道南西沖地震における住民の対応と災害情報の伝達—巨大津波と避難行動, 東京大学社会情報研究所, 1994, 11.
 - 17) 呉市, 災害時の避難場所・避難場所, http://www.city.kure.lg.jp/kureinfo/info_hinan.pdf, 2013/07/10 参照.
 - 18) 正野崎昭二, 福原安洋, 松野一成, 西村光正, 門前勝明, 砂本文彦, 芸予地震における呉市の被害について: その 2.木造住宅および宅地, 日本建築学会中国支部研究報告集, 25 (2002), 5.
 - 19) 岡田光, 吉田勝行, 柏原士郎, 辻正矩, 「建築と都市の人間工学—空間と行動のしくみ」, 鹿島出版会, 1977.
 - 20) 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 津波被害に対する避難行動調査グループ調査報告書, 東京経済大学, 2003.
 - 21) 石井康大, 草苺敏夫, 南慎一, 竹内慎一, 高橋章弘, 戸松誠, 平成 23 年東北地方太平洋沖地震における住民の避難に関するアンケート: その 1.釧路市を対象として (計画 3, 講演研究論文, 計画・技術報告), 日本建築学会北海道支部研究報告集, 85 (2012), 435.