MAS による防災意識を考慮した避難行動シミュレーション
―津久見市保戸島を対象として―

〇池部　仁哉[*1]　池田　聡志[*1]
富田　羊亮[*1]　小林　祐司[*2]

キーワード：防災　地震　津波　MAS　避難シミュレーション

1．研究の概要

1－1．研究の背景と目的

1995 年の阪神・淡路大震災や 2011 年の東日本大震災に代表される地震災害は，大規模な被害をもたらした。これらの災害による人的被害を最小限にとどめるためには，地震災害に対応した設備の設置・整備等のハード面での対策と防災意識の向上に代表されるソフト面での対策を両立させる必要性があると考えられている。大分県では，平成 25 年 2 月に津波浸水予測調査 [1)]の結果（以下，県予測と称する）を公表し，大分県南部の津久見市では最大で 4.9m の津波が到達することが示されており，人的被害を少なくするためにはハード面とソフト面双方からの早急な対策が必要であると考えられる。

そこで本研究では，津久見市の中でも予想される津波高が最も高い保戸島地区において，ソフト面での対策に関わる防災意識を反映したシミュレーションを実施し，防災意識の程度が避難行動に及ぼす影響を調べるものとする。具体的には，南海トラフ巨大地震およびそれによる津波からの避難を想定して，住民の防災意識をヒアリングによって調査し，これをシミュレーションに反映して，パラメータの変化によって生じる避難可能人数の差の傾向を調べることを主な目的とする。

1－2．既往研究との関連について

本研究では津波避難のシミュレーションを，複数の情報を登録し運用することのできる MAS（マルチエージェントシステム）を用いて行う[注 1)]。既往の研究では，MAS を用いた避難シミュレーションの事例として，エージェントモデルを使用した避難シミュレーションを行い，津波防災対策の評価を行った藤岡ら [2)]の研究や，避難シミュレーションを北海道奥尻島で行い，避難問題における重要な要素を発見することを目標とした齋藤ら [3)]の研究などがある。一方で，防災意識のようなソフト面における対策を避難シミュレーションに反映した事例としては，ソフト的対策の効果を避難者数で評価する津波避難シミュレーションモデルの開発を行った渡辺ら [4)]の例などが存在する。

本研究では住民の防災意識を反映し，意識の変化が避難可能人数に与える影響を調べることを重点に置いて，研究を行うものとする。

2．研究対象地の調査

2－1．研究対象地の概要

本研究では，南海トラフの巨大地震において大きな被害が予想される大分県南部の津久見市を研究対象地とした。その中でも，「全人口に対する高齢者の割合が高い」「建物が密集しており街路が狭い」「坂や階段が多数存在する」等の，災害発生時の避難に際し危険となりうる要素を多数有する保戸島を分析の対象地とした。保戸島の位置を図 1 に示す。保戸島は津久見湾の沖合に位置する周囲 4km 程度の離島で，人口は平成 22 年度の時点で 974 人である。

2－2．研究対象地の調査

研究対象地におけるシミュレーションを実行するため，保戸島において現地調査を実施した。調査の内容は避難路の幅や避難時に障害となりうる老朽化したブロック塀等の，避難行動に関連した内容が主となっている。この調査の結果の一例を図 2 に示す。次に，GIS を用いて，対象地区の住居等が存在する地区を中心に，調査によって得られた情報を 50m のメッシュで集計した。

図 1　大分県津久見市保戸島の位置

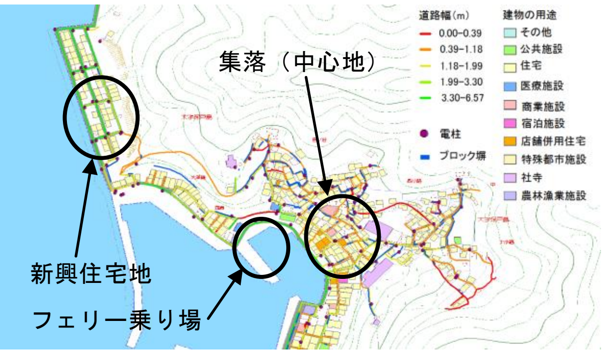


図 2　現地調査の結果の一例

２－３．建物戸数と道路閉塞率による対象地の評価

前項で集計したデータを用いて,「建物戸数」と「道路閉塞率」の二つの評価指標を用いて対象地における避難時の危険性の把握を行った。ここでは，建物及び地図のデータとして,「ゼンリン電子住宅地図　デジタウン（大分県津久見市，2012/6)」を用いて集計等を行った。

図 3 に｢建物戸数｣の値を集計した結果を示す。この指標ではおおむね集落の住宅密集地を中心に高い値が出ており，建物が密集していることがわかった。以上より，この地区は地震等の災害発生時には建物の損壊等により道路の閉塞が発生する危険性が高いと考えられる。

図 4 に｢道路閉塞率｣の値を集計した結果を示す｡｢道路閉塞率」は，当該地区の道路ネットワーク寸断の危険性の分布の傾向を調べるため，上ら [5]の既往研究を参考に設定した。これは，メッシュ内の障害物によって閉塞される可能性のある道路の面積のメッシュ内の全道路面積に対する比である。道路閉塞率の概要を図 5 に示す。この指標では集落と山間部の間に高い値が多くみられた。これはこの地区の街路は狭小であり，道路総面積の値が小さくなったためと考えられる。以上より，この地区では老朽化したブロック塀の倒壊等により道路の閉塞が発生する危険性が高いものと考えられる。

調査の結果，集落及びその周辺で街路閉塞の危険性が高くなっており，高台への避難が困難になる恐れがあることが明らかとなった。この内容はシミュレーションに反映し，検討を行う必要がある。

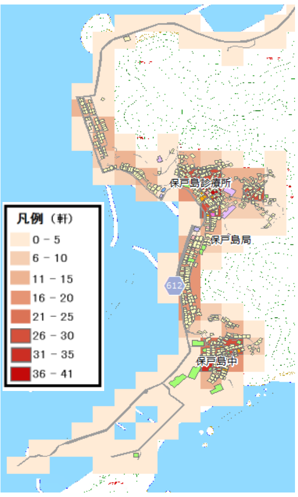


図 3 建物戸数の集計結果

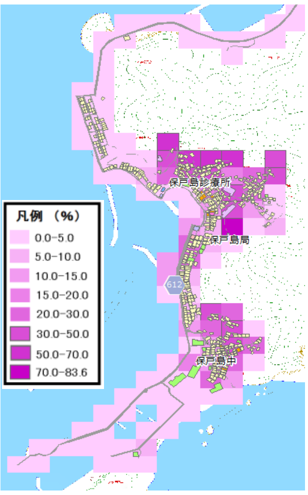


図 4 道路閉塞率の集計結果

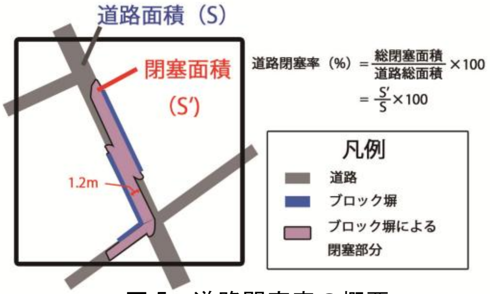


図 5　道路閉塞率の概要

３．ヒアリング調査

３－１．ヒアリングの概要

本項では，シミュレーションに反映するための住民の防災意識をヒアリングにより調査した。ヒアリングは保戸島に定住する住民 54 名に対し,聞き取りと項目選択による調査を併用して行った。調査の内容を表 1 に示す。

表 1　調査内容の一覧

回答者属性	年齢
	性別
	同居の家族構成
	日中いつも行く場所はあるか
災害情報伝達	情報を何から得るか
	ほかの人に避難の呼びかけをするか(およびその範囲)
避難行動	避難場所
	避難経路
	避難経路上の不安なもの、こと
	避難経路が危険な場合でも通行するか
	避難開始時間(地震発生時を基準として)
	災害が発生した時の不安
要望	行政等に対する要望

３－２．ヒアリング調査の結果

本稿では，調査内容のうち，シミュレーションに反映した項目についてのみ記述するものとする。

（１）避難を開始するのはいつか

津波発生時にいつ避難行動を始めるかという質問に対する回答を図 6 に示す。最も多かったのは「地震後すぐ」で 35.8%（19 名）を占めており，避難に関する防災意識は高いものといえる。次に多かったのは｢呼びかけがあったら｣で 18.9%（10 名）であった。「避難をしない」については 9.4%（5 名）となっている。このことから，保戸島においては，防災面における住民間のつながりがあるものと考えられ，地震時の早期な避難行動が期待できるが，意識改善の余地はあると考えられる。

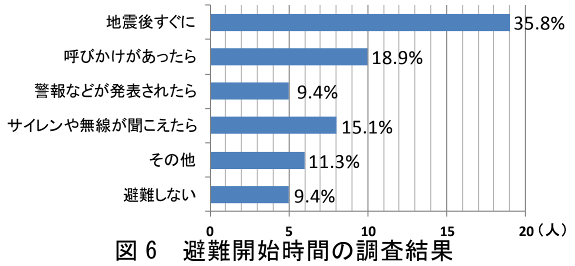


図 6　避難開始時間の調査結果

（２）他の人に避難時に逃げるように声をかけるか

自身が避難する際に逃げるよう呼びかけをするかという質問に対する回答を図 7 に示す。全体の 88.9%（48 名）が「はい」と回答しており，住民の災害時の呼びかけの意識が高いことがわかる。

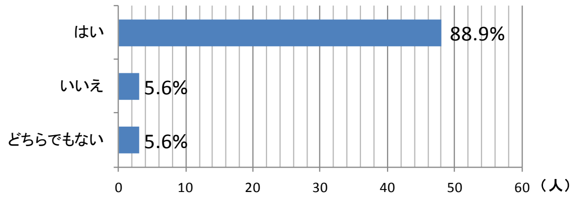


図 7　呼びかけの有無の調査結果

４．ＭＡＳを用いた避難シミュレーション

４－１．シミュレーションの概要

本研究では, MAS を利用した南海トラフ巨大地震を想定した，津波からの避難シミュレーションを行った。MAS は, エージェントと呼ばれる固有の情報をもつプログラムに複数の動作を個別に行わせることによって，固体ごとに異なる動きを行わせることができるシミュレーションシステムである。個別のエージェントにヒアリングによって得られた情報を導入することで，ヒアリング結果の反映を可能としている。シミュレーションの全体の流れを図 8 に示す。

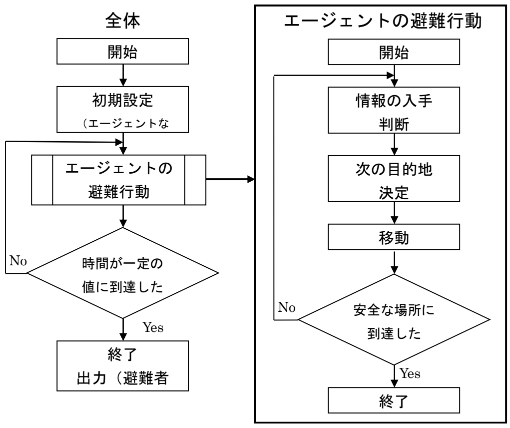


図 8　シミュレーションの流れ

４－２．シミュレーションの設定

（１）シミュレーションの全体設定

本研究では，標高に応じて「避難完了地点」を設定し，その地点に到達したエージェントを「避難成功者」として定義する。また，全エージェントに対する「避難成功者」数の比を「避難成功率」と定義する。本研究では，平日昼間に地震が発生したと想定し，大分県離島振興計画 [6)]における保戸島の第一次及び第三次産業の就業人口から，全エージェント数を 600 名と設定[注2)]して, 島内にランダムに配置した。避難開始時に避難完了地点より高い標高の地点にいるエージェントは，シミュレーション開始時から避難を完了しているものとして扱い，これを「開始時避難完了者」として定義する。「開始時避難完了者」は「避難完了者」に含まれるものとする。

シミュレーションの実行画面を図 9 に示す。エージェントは避難行動を開始後，設定された経路を移動し避難を行う。エージェントは避難完了後，その地点にとどまるものとする。対象地域では，県予測 [1)]から地震発生後高さ 1m の津波が 46 分後に到達すると予測されており，これに基づいて避難に使用できる時間を 46 分とした。シミュレーション終了後は，結果を集計し，他の組み合わせと比較して差異を確認するものとする。

（２）エージェントの設定

本研究では，エージェントの行動を変化させるパラメータとして「避難完了地点」「避難速度」「避難開始時間」「街路閉塞の有無」「呼びかけの有無」の 5 項目を設定し，このパラメータの変化による「避難成功率」の増減をみることで，防災性能の評価を行う。

「避難完了地点」は，対象地においては最大で 4.86m の津波が観測されることが県予測で報告されているため，安全を考慮して，津波からの避難完了地点を約 2 倍の高さである海抜 10m，10m 以上の津波を想定し，約 4 倍である海抜 20m の 2 通りを設ける。

「避難速度」は，参考文献 2)で使用された 75m/分と，大分県地震津波被害想定調査報告 [7)]のシミュレーション（以下，調査報告と称する）で使用された東日本大震災時の平均避難速度である 44m/分の 2 通りを用い，エージェントごとの速度の差を±18m/分の範囲で設定した。

「避難開始時間」は，シミュレーション開始後すぐに移動できると想定したケース 1 と，調査報告で用いられた値を基準として，地震発生後すぐには移動せず，発生から 300 秒後に移動を開始する[注3)]ケース 2 の 2 通りを設定した。各ケースには避難開始時間を 4 つずつ設定し，それぞれにヒアリングの避難開始時間の回答項目として使用した項目を割り当てている（表 2)。ヒアリングの回答結果に応じて，回答項目別に避難を開始するエージェントの数を決定し，それぞれのケースで対応する避難開始時間を割り当てている。設定された避難開始時間となると，エージェントは避難行動を開始する。

「呼びかけの有無」については，呼びかけを行うエージェントを設定し，このエージェントには自身が発する呼びかけが届く範囲を設定する。また，呼びかけにより避難行動を開始するエージェントを，表 2 においてヒアリングの回答が「上記以外」となっているエージェントの一部から無作為に抽出し設定する。このエージェントは，呼びかけを行うエージェントの呼びかけの届く範囲に自らが入った時点で避難行動を開始する。本研究では，参考文献 2)より，呼びかけの到達距離を最大で半径 24m と

表 2　避難開始時間の設定

避難開始時間（秒）		ヒアリングの回答	設定エージェント数（人）	割合（%）
ケース1	ケース2			
0	300	地震後すぐ	215	35.9
60	420	警報が発令されたら	56	9.4
120	600	サイレン等が聞こえたら	91	15.1
180	900	上記以外	238	39.6

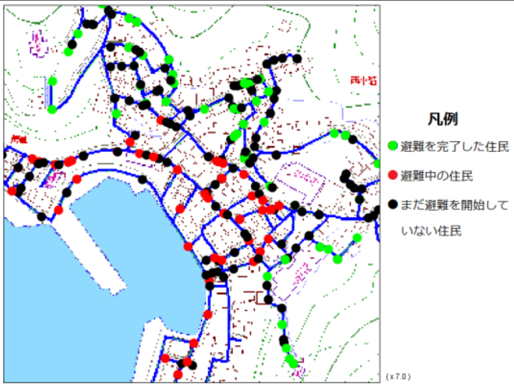


図 9　シミュレーションの実行画面

した。ヒアリングの結果から，呼びかけを行うエージェントは全体の 88.9%（533 名）とし，呼びかけに応じて避難を行うエージェントは全体の 18.9%（113 名）とした。呼びかけは，呼びかけをするエージェントが避難完了地点に到達するまで行われるものとする。

「街路閉塞の有無」は，道路閉塞率が 30%以上となる地区において，一部街路を閉塞状態とした「街路閉塞あり」の形態と，それを行わない「街路閉塞なし」の形態を設定する。閉塞状態の街路では，避難速度が通常時の 2 分の 1 となるように想定した。なお，試行回数は各パターンで 10 回実施し，その平均値を算出して，評価に使用した。

４－３．シミュレーションの結果

シミュレーションの結果を表 3 に，結果の一例として避難開始時間別の各パターンの結果を集計したものを図表 1 として示す。ここでは，表 3 をもとにして，パラメータごとに避難成功率の増減について分析を行う。

（１）避難完了地点（10m・20m）別の評価

標高を 10m に設定したシミュレーションの避難成功率が，標高を 20m に設定したシミュレーションの避難成功率を完全に上回っている。このことから，避難完了地点の標高の高さは避難成功率に大きく影響していることが確認できた。一方で，避難完了地点を低い地点に設定すると，津波の被害を受ける危険性が高まるため，このことを想定した防災計画を立てる必要があるといえる。

（２）避難開始時間（ケース 1・ケース 2）別の評価

図表 1 に避難開始時間のパラメータによる避難成功率の比較を示す。移動開始の時刻が早いケース 1 に設定したシミュレーションの避難開始時間が，移動開始の時刻が遅いケース 2 に設定したシミュレーションの避難開始時間を上回ったパターンが，全部で 16 パターン中 9 パターンにとどまっている。このことから，避難開始時刻の早期化は避難成功率に影響すると考えられるが，その程度は小さいものであった。この原因としては，エージェントの初期配置や試行回数が影響しているものと考えられる。

（３）避難速度（75m/分・44m/分）別の評価

避難速度を 75m/分としたシミュレーションの避難成功率が，避難速度を 44m/分としたシミュレーションの避難成功率を上回っている。このことから，避難速度の増加は避難成功率に対し大きな影響を持っているものと推測される。一方で，避難速度の向上は地形や高齢者の割合を鑑みると困難である。

（４）呼びかけの有無による評価

呼びかけを実施したシミュレーションの避難成功率が，呼びかけを実施しなかったシミュレーションの避難成功率を上回っているパターンが，全 16 パターン中 6 パターンにとどまっている。このことから，今回のシミュレーションでは呼びかけの有無が避難成功率に与える影響はそれほど大きいものではなかった。この要因としては，エージェントの初期配置が影響しているものと考えられる。

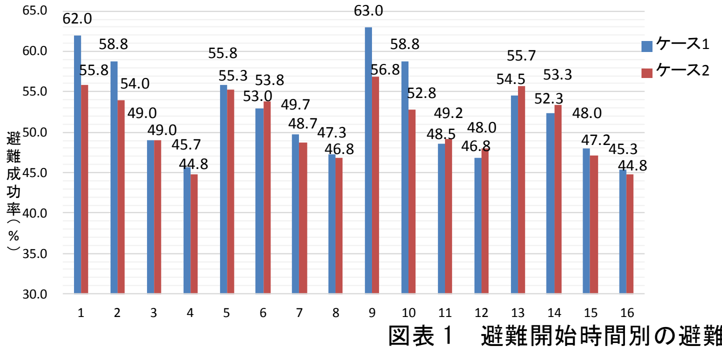
（５）街路閉塞の有無による評価

街路閉塞を行ったシミュレーションの避難成功率が，街路閉塞を行っていないシミュレーションの避難成功率を下回っているパターンは全 16 パターン中 12 パターンであった。このことから，街路閉塞の有無は避難成功率に影響を与えていると考えられる。一方で，すべてのパターンで一方の条件が他方の条件を上回っている避難完了地点や避難速度等に比べると，避難成功率への影響の度合いは少ないものと考えられる。これについても，エージェントの初期配置や試行回数が影響しているものと考えられる。

（６）開始時避難完了者を除く避難成功者数

すべてのパターンにおいて避難成功率の値が約 15～30%となっており，開始時避難完了者を含めた避難成功率と比較すると大きく下回っている。この理由としては，保戸島は平地に多くの建物が密集しているため，避難完了地点よりも低い標高に多くの住宅が存在していることから，多くのエージェントが逃げきれなかったということが確認できた。

以上より，「避難完了地点」「避難速度」「街路閉塞の有無」の 3 点では，全般的に避難成功率の変化に傾向がみられ，一方の条件が他方の条件を上回っている。いずれも，他のパラメータの組み合わせに関わらず避難成功率がおおむね上昇しており，避難成功率の上昇に影響をもたらしているものと考えられる。一方で，「避難開始時間」及び「呼びかけの有無」については，「呼びかけの有無」については，避難成功率の変化の傾向がほとんどみられなかった。その理由として，「呼びかけの有無」については，



パターン	呼びかけ	街路閉塞	避難完了地点	避難速度
1	なし	なし	10m	75m/分
2				44m/分
3			20m	75m/分
4				44m/分
5		あり	10m	75m/分
6				44m/分
7			20m	75m/分
8				44m/分
9	あり	なし	10m	75m/分
10				44m/分
11			20m	75m/分
12				44m/分
13		あり	10m	75m/分
14				44m/分
15			20m	75m/分
16				44m/分

図表１　避難開始時間別の避難成功率

今回は呼びかけにより避難するエージェントの割合が18.9%（113 名）で一定としたため，呼びかけによって避難するエージェントの絶対数が少なく，避難成功率に与える影響が少なかったものと推察される。「避難開始時間」については，ケース 1 とケース 2 の間で避難開始時間の差が明確にあるにも関わらず避難成功率に差がほとんどみられないケースが存在した。この原因としては，エージェントの初期配置により影響を受けているためと考えられる。

表 3　シミュレーション結果

呼びかけ	街路閉塞	避難開始時間	避難完了地点（m）	避難速度（m/分）	避難者（人）	避難完了者数（人）	避難成功率	開始時避難完了者数（人）	開始時避難完了者を除く避難者割合
なし	なし	ケース1	10	75	600	372	62.0%	272	30.5%
			10	44	600	353	58.8%	270	25.2%
			20	75	600	294	49.0%	216	20.3%
			20	44	600	274	45.7%	206	17.3%
なし	なし	ケース2	10	75	600	335	55.8%	266	20.7%
			10	44	600	324	54.0%	264	17.9%
			20	75	600	294	49.0%	210	21.5%
			20	44	600	269	44.8%	209	15.3%
なし	あり	ケース1	10	75	600	335	55.8%	268	20.2%
			10	44	600	318	53.0%	268	15.1%
			20	75	600	298	49.7%	218	20.9%
			20	44	600	284	47.3%	213	18.3%
なし	あり	ケース2	10	75	600	332	55.3%	270	18.8%
			10	44	600	323	53.8%	268	16.6%
			20	75	600	292	48.7%	209	21.2%
			20	44	600	281	46.8%	209	18.4%
あり	なし	ケース1	10	75	600	378	63.0%	271	32.5%
			10	44	600	353	58.8%	276	23.8%
			20	75	600	291	48.5%	208	21.2%
			20	44	600	281	46.8%	212	17.8%
あり	なし	ケース2	10	75	600	341	56.8%	269	21.8%
			10	44	600	317	52.8%	264	15.8%
			20	75	600	295	49.2%	209	22.0%
			20	44	600	288	48.0%	205	21.0%
あり	あり	ケース1	10	75	600	327	54.5%	273	16.5%
			10	44	600	314	52.3%	269	13.6%
			20	75	600	288	48.0%	211	19.8%
			20	44	600	272	45.3%	210	15.9%
あり	あり	ケース2	10	75	600	334	55.7%	263	21.1%
			10	44	600	320	53.3%	268	15.7%
			20	75	600	283	47.2%	202	20.4%
			20	44	600	269	44.8%	209	15.3%

５．総括

本稿では，南海トラフ巨大地震で被害が想定される津久見市保戸島において，住民の防災意識を基にした避難行動のシミュレーションを行った。

今回のシミュレーションでは,「避難完了地点」「避難速度」「街路閉塞の有無」といった, 主にハード面での避難成功率の向上は確認できた。一方で,「避難開始時間」「呼びかけの有無」などのソフト面での対策は, 避難成功率への影響があまりみられなかった。この結果から，ハード面での対策は有効であると考えられるが，避難速度の向上など実現は困難なものが多い。そのため，実際の避難行動では，避難成功率が少しでも向上するソフト面での対策を含めた複合的な対策を行うことが求められる。

今後の課題として，今回は反映できなかった他の防災意識の反映や，地形などの条件による避難成功率の変化を調べる必要がある。また, エージェントの初期配置や,試行回数についても検討が必要である。

［謝辞］

本研究は，科学研究費補助金（基盤研究 C・課題番号 25420638）および公益財団法人高橋産業経済研究財団（平成 25 年度）による研究助成のもと実施した。

［補注］

注 1)　MAS は，（株）構造計画研究所と東京大学大学院総合文化研究科・山影研究室の共同で開発され，構造計画研究所が有償で提供する Artisoc 3.0 を使用した。

注 2)　大分県離島振興計画（平成 25 年度～34 年度）によれば，平成 22 年度における保戸島の人口 974 名のうち, 第一次産業の就労者が 202 名，第三次産業の就労者が 215 名となっている。本研究では，土地利用状況から第一次産業の就労者 202 名は大多数が漁業に従事しているものと仮定した。第三次産業の就労者は，島内に店舗・事業所等が少ないことから，8 割（172 名）が島外にて従事しているものと仮定した。以上より，日中はこの 374 名が不在であると仮定してエージェントを 600 名に設定した。

注 3)　この値は，参考文献 6（大分県：大分県地震津波被害想定調査報告について)「第 9 編　人的被害の想定」において，避難者の避難開始時間として用いられた値を使用した。

［参考文献］

1)　大分県：大分県津波浸水予測調査結果（確定値）について，http://www.pref.oita.jp/soshiki/13550/shinsuiyosokukakuteiti.html, 2013.2.8 公表（2013.6.16 閲覧）

2)　藤岡正樹，石橋健一，梶秀樹，塚越功：津波避難対策のマルチエージェントによる評価，日本建築学会計画系論文集，第 562 号，pp.231-236, 2002.12

3)　齋藤崇，鏡味洋史：マルチエージェントシステムを用いた津波からのシミュレーション―奥尻島青苗地区を例として―，日本建築学会計画系論文集，第 597 号，pp.229-234, 2005.11

4)　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，第 637 号，pp.627-634, 2005.11

5)　上慶至，池田聡志，富田羊亮，小林祐司，佐藤誠治：南海トラフ巨大地震を想定した沿岸部集落の地域防災に関する研究（その 2）：佐伯市蒲江地区における空間的特性と避難経路に着目して，日本建築学会九州支部研究報告，計画系，pp.377-380, 2013.03

6)　大分県離島振興計画【平成 25 年度～34 年度】，http://www.pref.oita.jp/uploaded/attachment/173803.pdf, 2013.6 公表(2014.10.7 閲覧)

7)　大分県：大分県地震津波被害想定調査報告について，http://www.pref.oita.jp/soshiki/13550/jishintsunamihigaisoutei.html, 2013.3.26 公表（2013.6.16 閲覧）

＊1　大分大学大学院工学研究科博士前期課程　大学院生

＊2　大分大学工学部福祉環境工学科　准教授・博士（工学）

Prevention Simulation Considering Residents Consciousness by Multi Agent System

- A Case Study of Hotojima Area, Tsukumi City -

○Masaya IKEBE＊1 Satoshi IKEDA＊1
Yousuke TOMITA＊1 Yuji KOBAYASHI*2

Keywords: Disaster Prevention, Earthquake, Tsunami, MAS, Evacuation Simulation

1. Introduction

Because of 2011 Tohoku earthquake and tsunami, doing non-physical measures and physical measures are very important to decrease earthquake and tsunami's damage. This research tries prevention simulation considering residents consciousness, and makes clear things which people's disaster prevention consciousness influence survival rates from earthquake and tsunami.

2. Research of Subject Area

Subject area is Hotojima, it is an island in Tsukumi City, Oita Prefecture. This island has many slopes, and about 40 percent people's age are over 65 years. On this research, we researched Hotojima's wide of road, and sought items which will make escaping harder. After research of Hotojima, we add up these data on 50m mesh using GIS, and estimate danger of this area using two estimate indexes, "number of buildings" and "road blockade probability". Therefore, Hotojima has many points which pass difficult to escape for higher place after earthquake because of buildings and blocks clash.

3. Hearing Survey

To use people consciousness as a data for stimulations, we enforced hearing investigation for people who lives in Hotojima. This investigation searched people's disaster prevention consciousness, such as the time which they start escaping, or number of peoples who call out to someone to escape from tsunami. According to this investigation, Hotojima's people have higher consciousness for disaster prevention, but some point still need improvement.

4. Stimulation using Disaster Prevention Consciousness

After finish subject area research and Hearing survey, we started stimulations which use these for stimulations' data. We used Multi Agent System (MAS) for stimulations, and set up stimulations' environment using research's data. We established five parameters, "finish escaping point", "start escaping time", "escaping speed", "compellation" and "road blocks" for estimation of disaster prevention. We practiced stimulations making many combinations of parameters. As a result of stimulations, "finish escaping point", "escaping speed" and "road blocks" can see improvement of survival rates clearly. "Start escaping time" and "compellation" were seen improvement of survival rates, but their rate seemed they are too small.

5. Conclusion

As a result of this research, it made clear that physical measures have great effect for survival rates, but they are hard to do. Also, it becomes clearly that non-physical measures have only small effect for survival rates, but they are easy to do. So, it is important to do physical measures and non-physical measures together. From now on, we must practice stimulations using other resident's consciousness which didn't use this research to know effects of resident's consciousness more.

＊1 Graduate Student, Graduate School of Oita Univ.
＊2 Associate Professor, Dept. of Architecture, Faculty of Eng, Oita Univ., Dr. Eng.