

マルチエージェントシステムを用いた 地震津波避難シミュレーション に関する基礎的研究 ～輪島市輪島地区の事例を通して～

野村 尚樹¹・宮島 昌克²・山岸 宣智³

¹正会員 金沢大学大学院 自然科学研究科 博士後期課程 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail:n-nomura@nihonkai.co.jp

²正会員 金沢大学教授 自然科学研究科 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail:miyajima@se.kanazawa-u.ac.jp

³非会員 金沢大学大学院 自然科学研究科 博士前期課程 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)
E-mail:y-norito@yahoo.co.jp

近年、我が国では多くの地震が発生し多くの犠牲者が発生した。その教訓を踏まえて国の防災基本計画では、最大級の地震津波に対して生命を守ることを優先した避難対策をハードとソフトの両面で検討することの重要性が示され、減災に向けた対応が地方自治体に求められている。そこで本研究では、2007年に能登半島地震を経験した輪島市臨港地域周辺を対象として、輪島市が保有するGISデータを活用しマルチエージェントシステムを用いた地震津波避難シミュレーションの適用に関する基礎的研究を行うことを目的とする。

Key Words : *Evacuation simulation , Multiagent system , Evacuation walking speed experiment , GIS*

1. はじめに

(1) 研究の背景

2011年の東日本大震災では、多くの犠牲者が発生し、未曾有の大惨事となった。その教訓を踏まえて国の防災基本計画では、最大級の地震津波に対して生命を守ることを優先した避難対策を、ハードとソフトの両面で検討することの重要性が示され、減災に向けた対応が地方自治体に求められている。しかし、地域におけるリスク認知度に大きな個人差があり、活動の弊害になっていることも事実である。

本研究では、近年に大きな地震を経験した輪島市臨港地域において、地震津波災害に対する地域防災力向上に関するリスクマネジメント研究の一環として、輪島市が保有するGISを活用し、マルチエージェントシステムを用いた地震津波避難シミュレーションの適用に関する基礎的研究を行う。

(2) 既往の研究

GISやマルチエージェントシステムなどを用いた避難シミュレーションに関する論文は、土木学会や日本建築学会などで幾つか論文として取りまとめられている。その一例を以下に示す。

源らによる「自主防災組織で活用可能な津波避難シミュレーションシステムの開発に関する基礎的研究、2007」¹⁾では、一つの町会を対象として津波避難に関するアンケートを実施し、GISとペトリネットシステムを用いて津波避難シミュレーションの適用について研究がなされている。

田村らによる「街路閉塞を考慮した津波浸水時の避難シミュレーション手法の適用、2005」²⁾では、がれきの飛散による道路閉塞率と津波浸水時の避難速度を定義した上で、モンテカルロシミュレーションを用いて津波避難シミュレーションの適用について研究がなされている。

大沸、守澤による「都市内滞留者・移動者の多様な状態と属性を考慮した大地震における広域避難行動シミュ

3. 輪島市が保有するGISデータの活用

輪島市では、様々な GIS データを管理しているが、各々が独立しており市内で統合されていない。このような状態は輪島市だけでなく、県内の市町村でも同様に GIS データの統合化は進んでいない。その原因としては、個人情報保護法の問題、部署間の壁や使用している GIS システムの違いなどが挙げられる。

(1) 輪島市 GIS データの現状

- 総務部防災対策室：揺れやすさマップ GIS データを保有し、家屋の倒壊率や液状化データがある。
- 建設部土木課：輪島市が管理する市道等を GIS データとして保有し、道路番号、道路幅員、道路延長、起終点の標高等のデータを GIS 化している。
- 総務部税務課：固定資産台帳の GIS データを保有し、家屋の建築年、構造形式、床面積等がある。

輪島市が保有する主な GIS は上記に示す 3 つとなるが、この中で最も取扱いが難しいのは c) の GIS データである。このデータの中には、個人情報が多く記載されていることから、基本的に統合することが難しいデータとして扱われている。輪島市税務課でもこのデータを閲覧することができるのは限られた職員であった。

(2) GIS データの統合

- 3 つの GIS データは、同じ座標系で管理されていないことから座標系の統合が必要となった。マルチエージェントシステム上、厳密な座標系の整合は必要ないことから、GIS 上で共通する施設等をコントロールとした二点間で座標系の統合を図った。
- 道路 GIS 上では、幅 5m 以下の細街路や階段はデータ化されていないことが確認されたが、マルチエージェント上は重要項目なため、今回は道路データとして追加登録した。但し、下水道管は全ての細街路に配置されていることから、今後、下水道 GIS 化が整備されれば、データの統合はスムーズになる。
- 固定資産台帳 GIS 内の個人情報の取扱いは、個人名や税金等に関する個人情報は、統合する前に市の担当課にて GIS データから削除して頂き、マルチエージェントシステムに必要な、家屋の住所、建築年、構造、床面積等のみの GIS データを取り扱うことで対応した。

(3) GIS データとマルチエージェントの統合

GIS 上の道路データは、図-2 に示すように路線単位で取りまとめられており、交差点で各々のデータが結線されていない。マルチエージェントシステム上、交差点単位のノードで道路を細分化する必要性が生じたことから、

交差点単位で道路を細分化し道路番号を追加した。

以上より、市内の GIS データとマルチエージェントシステムを統合することができた。今後は、市内の GIS データを統合しやすくするために、基本となるデータなどは統一したルールの下で共有するなどの対策を行うことで、GIS データの利活用の幅が広がると考える。

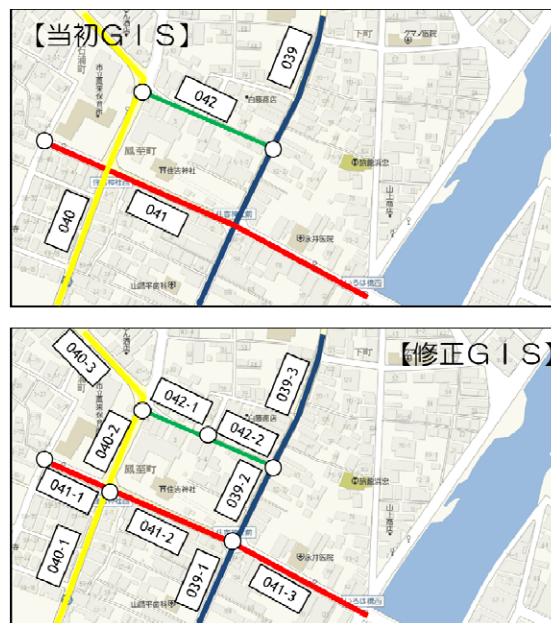


図-2 交差点の結合

4. 避難速度実験

避難歩行速度に関する調査は幾つかの論文などに取りまとめられており、高知県海洋局漁港課による「漁村における津波対策基本方針」⁴⁾、Willis らによる「Human movement behavior in urban spaces」⁵⁾では、単独歩行・グループ歩行・年齢別における避難基本速度を計測している。既往の調査⁴⁾においては、倒れたブロック塀や飛散した瓦礫の上を走行した際の速度低減率や昼夜率も算出されている。今回はこれらの論文などで計測されている避難歩行速度に関して、輪島地区住民による避難速度実験を通じ、その妥当性について取りまとめる。

(1) 基本条件

実施日時：2012年11月11日10:00～12:00

実施場所：輪島高等学校体育館

参加者：輪島地区住民 37名

年齢構成(才)	男 性	女 性
～19	3人	4人
20～60	10人	7人
61～	6人	7人
合 計	19人	18人

表-1 参加者構成

マルチエージェントシステムでは、勾配や疲労による低減率や混雑度及び道路閉塞等を反映することが可能であり、今回の実験では写真-4 に示すように障害物のない状態かつ混雑が生じない十分な幅員を確保して基本値となる避難速度の計測を行った。

(2) 実施概要

- a) 単独歩行による年代別避難基本速度の計測
- b) 家族歩行によるグループ別避難基本速度の計測

※両方とも昼、夜の2パターンで実施

(3) 計測内容

1周目 116m, 2周目 120m, 3周目 120m, 全長 356m のコース（通路幅は 5m）において、スタート～ゴールまでの経過時間を計測し、全長から除して平均速度を算出する。その後、各項目別に速度値を平均し避難基本速度とする。なお、グループ全員がゴールした時を、そのグループのゴールタイムとする。また、疲労による影響を軽減するため、セット間に十分な休憩を確保した。写真-5 に示すように、夜については体育館のカーテンを閉じて、照明を落とし歩行者が簡易サングラスを装着した状況で行った。



写真-4 避難速度計測風景（昼間）



写真-5 避難速度計測風景（夜間）

(4) 計測結果

年代別避難基本速度およびグループ別避難基本速度を図-3、4 に示す。図-3 より、男女ともに年代が上がるほど速度が減少し、若干ではあるが女性の年代間速度差は小さいことが確認できた。図-4 より、家族人数が 3～6 人以上の家族では、速度が約 1.45m/s 程度となっているが、2 人家族ではやや大きい 1.60m/s となっている。これは 2 人家族は成人 2 名に対し、3～6 人家族は成人に加えて 61 歳以上を 1 名以上配置したことが要因と考えられる。Willis らによる計測ではグループ避難速度は 1.36m/s 程度となっており概ね整合している。また、年代別、グループ別ともに昼夜率が 1 倍程度となっているが、これは計測実験後に行ったアンケート調査で以下の 2 点が要因であることを確認した。1 点目は、夜間で前方や後方が見えない状況においての避難では、昼よりも不安が大きくなり焦ってしまうということ。2 点目は、昼間計測の後に夜間計測を行ったことによる学習効果であった。

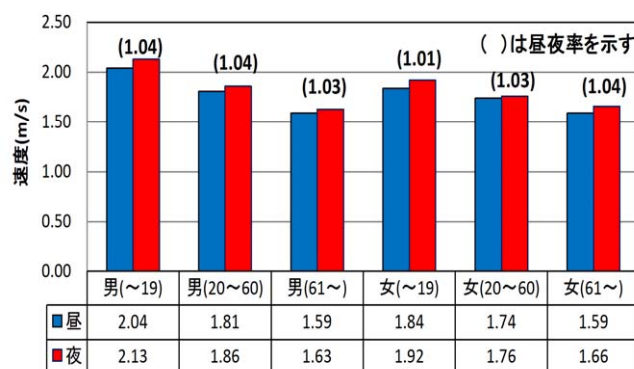


図-3 年代別避難基本速度

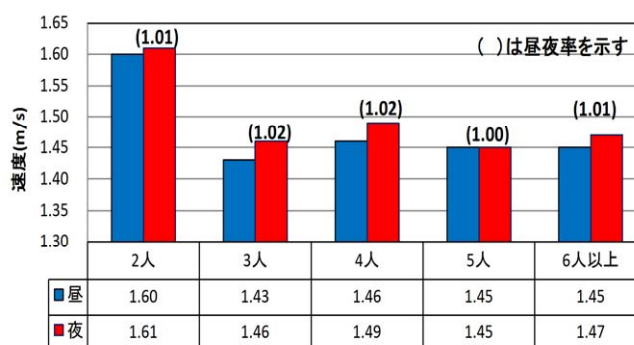


図-4 グループ別避難基本速度

(5) 避難速度実験のまとめ

今回計測値と既往計測値の対比を図-5 に示す。避難速度に若干の差はあるが、年齢の上昇とともに速度が低下する傾向は概ね整合しており、その傾きは Willis らの計測値と類似していることが確認でき、マルチエージェントシステムのエージェントに与える避難基本速度を得

ることができた。

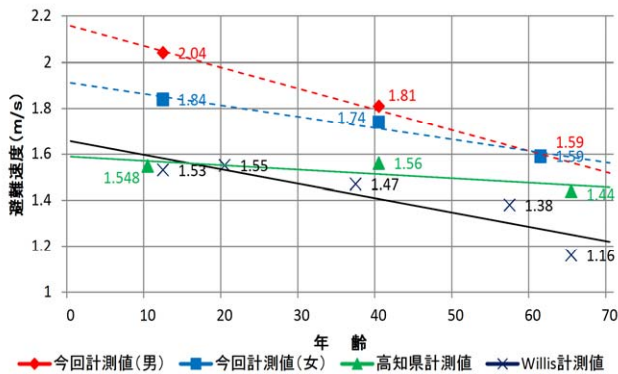


図-5 避難速度対比

5. マルチエージェント概要

マルチエージェントとは、複数のエージェント（人）から構成されるシステムであり、エージェント自らの価値基準に従って自分の行為を自由に選択できるような自立したエージェントが多数共存する環境をいう。本研究では、地震津波発生時の避難行動において避難者をエージェントとして定義し、個人（男女、年齢）や家族、観光客などの属性に行動ルールをそれぞれ与えることで、より現実に近い避難行動を再現することとした。尚、マルチエージェントシステムは、(株)構造計画研究所の artisoc3.0 を使用した。

(1) エージェントの避難速度設定

エージェントの具体的な設計項目として避難速度、避難開始時間を設定する。

・ 冬季以外避難速度

$$V1 = Vs1 \times C1 \times C2 = 1.14 \sim 1.47 \text{ m/s}$$

・ 冬季避難速度

$$V2 = Vs1 \times C1 \times C2 \times C3 = 0.95 \sim 1.22 \text{ m/s}$$

・ 冬季以外階段部避難速度

$$V3 = Vs2 \times C1 \times C2 = 0.36 \text{ m/s}$$

・ 冬季階段部避難速度

$$V4 = Vs2 \times C1 \times C2 \times C3 = 0.30 \text{ m/s}$$

以下に設定根拠を示す。

a) 避難歩行速度基本値：Vs1

避難歩行速度基本値は図-3 や図-4 に示す実験結果を基に設定した。但し、家族構成 3 人～6 人の避難速度値に大きな差がないことから、最低値の 1.43m/s を避難速度基本値とする。

b) 階段部避難歩行速度基本値：Vs2

階段部の避難歩行速度は、「津波対策推進マニュアル検討報告書、2002」⁶⁾より、基本速度を 0.5m/s として設定する。

c) 速度基本値に乘じる係数

避難速度実験では 316m という短い距離で計測実験を繰り返し行っており、ある程度の学習効果や実際の避難では長距離の避難も考えられることから、「漁村における津波対策基本方針、2005」⁴⁾より、低減率を乗じることとした。また、石川県輪島市は降雪地域であることを勘案し、「センターリポート通巻第 166 秋号」⁷⁾より冬季における歩行速度の低減率も乗じることとする。

疲労係数：体力的疲労に速度低減の割合を疲労係数として定義し、C1=0.9 とする。

現実率：学習効果による影響や実際に被災した状況による速度低減の割合として定義し、C2=0.8 とする。

冬季低減率：冬季における路面状況による速度低減の割合として定義し、C3=0.833 とする。

(2) エージェントの設定

輪島地区の総人口と観光客を足し合わせた人数をエージェント数とする。輪島市輪島地区の総人口は輪島市の平成 23 年度人口集計表より設定した。

a) 輪島市輪島地区のエージェント数の設定

輪島地区を 88 の町会に区分し、総勢 12,338 人、3,776 世帯を各町会の境界点（ノード）に均等に配置した。

b) 輪島地区の観光客数の設定

輪島市輪島地区の年間観光客数は、平成 24 年度輪島市統計書より 986,000 人、年間宿泊者数は 167,000 人と設定した。日単位の観光客数は不明なため、今回は以下に示すように設定した。

・ 平日昼間観光客数

$$Nh = \sum N / D1 + D2 \times k = 2,063 \text{ 人}$$

・ 土日祝日観光客数

$$Nd = Nh \times 2 = 4,126 \text{ 人}$$

・ 平日宿泊者数

$$Nhs = \sum Ns / D1 + D2 \times k = 349 \text{ 人}$$

・ 土日祝日宿泊者数

$$Nds = Nh \times 2 = 698 \text{ 人}$$

ここに、

$\sum Nk$ ：年間観光客数 (986,000 人)

$\sum Ns$ ：年間宿泊者数 (167,000 人)

D1：年間の平日数 (252 日)

D2：年間の土日祝日数 (113 日)

k：平日と土日祝日の比で 2 倍と仮定した。

c) エージェントの行動設定

地域住民は避難所の場所を事前に正しく認知しているという条件下で、最短避難ルートを走行する設定とした。また、最短避難ルートの設定は、GIS 情報から取得した道路情報 (Node.csv や Link.csv) を基に、3 次元的な距離を算出しダイクストラ法による最短経路計算を行う。

観光客の行動設定は、避難開始時に周辺を見渡し地域

住民の避難者を見つけ次第、地域住民避難者の誘導の下で同じ行動をとる設定とした。よって、観光客は地域住民避難者を見つけるまで行動を開始しない設定とした。

避難者は最も近い避難場所に避難するが、避難場所の容量を超えた場合や避難所が使用不可の場合は、現在いる避難所から最も近い次の避難所に移動を開始する設定とした。

d) エージェントの配置数

個人別避難と家族避難におけるエージェントの配置は以下の表4に示すとおりとする。平日の昼間は、19歳以下は全て学校に配置し、20-64歳の男性は50%を自宅に配置し、残りの50%は地区外とした。女性は90%を自宅に配置し、残りの10%は地区外とした。その他は最も危険側となるように100%が自宅に滞在している配置計画とした。また、観光客は、朝市や観光施設が多く点在している海沿いの河井町にランダム配置することとした。週末の昼間は朝食時間帯を想定し、全ての地域住民が自宅に滞在している設定とした。

	観光客	男 性			女 性		
		0-19	20-64	65-	0-19	20-64	65-
平日昼	2063 人	学校	50%	100%	学校	90%	100%
平日夜	349 人	100%	100%	100%	100%	100%	100%
週末昼	4126 人	100%	100%	100%	100%	100%	100%
週末夜	698 人	100%	100%	100%	100%	100%	100%

表-4 避難時のエージェント配置

e) 避難開始時間の設定

エージェントの避難開始時間設定は、「津波被災市街地復興手法検討調査（とりまとめ）,2012」⁹⁾より、地震発生後5分で15%の地域住民が避難開始し、15分で50%、30分で90%と設定し、各町会全て同じ配分で避難開始を始めるという設定とした。

f) 避難路閉塞率の設定

地震時に遠藤建築物等の倒壊などにより避難路上に生じた瓦礫による閉塞率は、「STA テクノロジー・ショーケース 2013」⁹⁾より、以下に示す算式を用いて閉塞率を算出した。まず、家屋単位で瓦礫幅を算出し、次にノード間の平均瓦礫幅を求め、ノード間の既往道路幅から平均瓦礫幅を減じることとした。

$$\text{瓦礫幅 } a = 2.32 \times 1^{0.379} + 0.189 \times 2^{2.23} + 4.41 \times 3^{1.20}$$

ここに、

X1：建物全壊率

X2：平均階層（延床面積/建築面積）

X3：建築密度（建築面積/宅地面積）

(3) 避難場所の設定

平成 24 年 4 月に設定された輪島地区における避難所と収容人数を図-6、表-5 に示す。また、使用の可否については、公民館や建物等は夜間は施錠されており使用不可として設定した。地域住民にアンケート調査を行い、津波想定浸水エリア内もしくは近接する避難場所 ID1, 4, 8, 13 が避難所として認知されていない傾向が強いことが確認されたことから、今回は津波想定浸水エリア内もしくは近接している避難場所 ID1, 4, 8, 13 は使用不可として設定した。

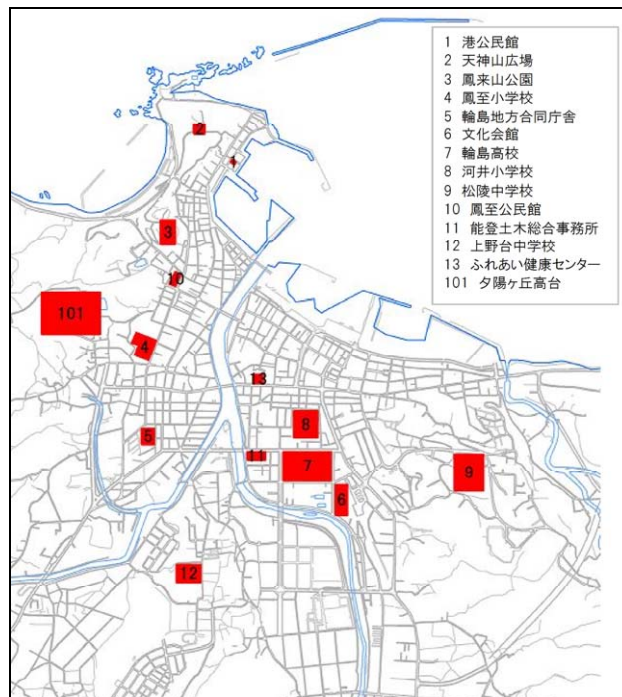


図-6 輪島地区避難所一覧

ID	避難場所	収容人数		使用可否	
		屋内	屋外	昼	夜
1	港 公 民 館	94	0	不可	不可
2	天 神 山 広 場	0	2,094	可	可
3	鳳 来 山 公 園	0	10,123	可	可
4	鳳 至 小 学 校	433	7,283	不可	不可
5	輪 島 地 方 合 同 庁 舎	803	0	可	不可
6	文 化 会 館	2,342	0	可	不可
7	輪 島 高 校	1,587	8,694	可	可
8	河 井 小 学 校	583	5,084	不可	不可
9	松 陵 中 学 校	568	13,203	可	可
10	鳳 至 公 民 館	562	0	可	不可
11	奥能登土木総合事務所	550	0	可	不可
12	上 野 台 中 学 校	0	8,078	可	可
13	ふれあい健康センター	32	0	不可	不可
101	夕 陽 ヶ 丘 高 台	0	30,000	可	可

表-5 避難所緒元

(4) 津波想定到達時間の設定

津波到達時間の設定は、「平成 23 年度石川県津波浸水想定調査, 2012」¹⁰⁾より, 以下の図-6 示す 4 つの想定波源から求められる輪島地区への津波到達時間を基に設計する。

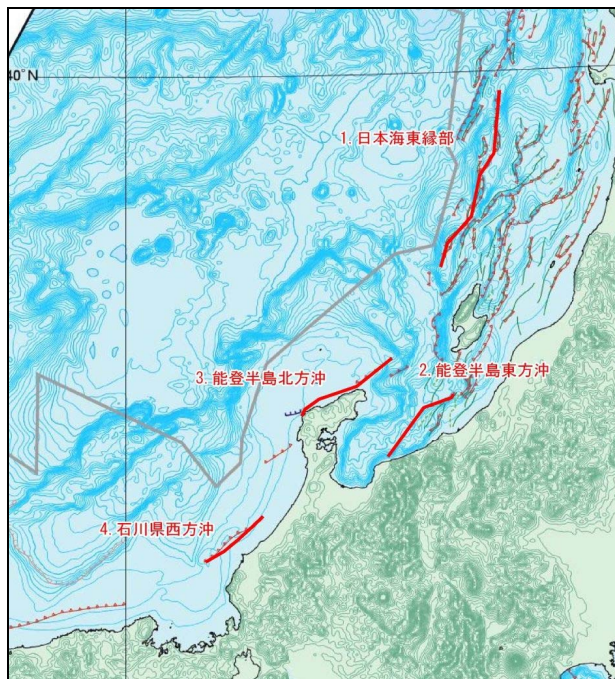


図-6 日本海側で想定する想定波源図

石川県では 4 つの想定波源を設定し津波解析を行い, 最大津波高と津波到達時間を各市町村別に算出している。輪島市輪島地区の数値を表-5 に示すが, 今回の研究に用いる津波想定到達時間は, 最大津波高となる 1. 日本海東縁部の数値を用いて 50 分とする。なお, 3. 能登半島北方沖の津波到達時間は 5 分と非常に速く到達することになることから, 今回の研究では用いない事とし今後の課題とすることにした。

想定波源	1 東縁部	2 東方沖	3 北方沖	4 西方沖
最大津波高	7.6m	4.0m	6.3m	2.3m
津波到達時間	50分	42分	5分	53分
想定マグニチュード	7.99	7.58	7.66	7.44
断層長(km)	167	82	95	65
断層幅(km)	17.32	17.32	17.32	17.32
地震モーメント(N・m)	1.22E+21	2.95E+20	3.89E+20	1.82E+20
すべり量(m)	12.01	5.94	6.76	4.62
傾斜角(度)	60	60	60	60
すべり角(度)	90	90	90	90

表-5 輪島地区における波源緒元と結果概要

5. 地震津波避難シミュレーション

地震津波避難シミュレーションは, 個人避難と家族避難に区分し, 設計条件としては平日と週末, 冬と冬以外に区分し, 表-6, 表-7 に示す全 10 ケースにてシミュレーションを行う。

検討 CASE	条 件		観光 客数	地域 住民数	合計 避難者数
CASE-1	平日昼	冬以外	2,063	10,412	12,475
CASE-2	平日昼	冬	2,063	10,412	12,475
CASE-3	週末夜	冬以外	698	12,338	13,036
CASE-4	週末夜	冬	698	12,338	13,036
CASE-5	週末昼	冬	4,126	12,338	16,464

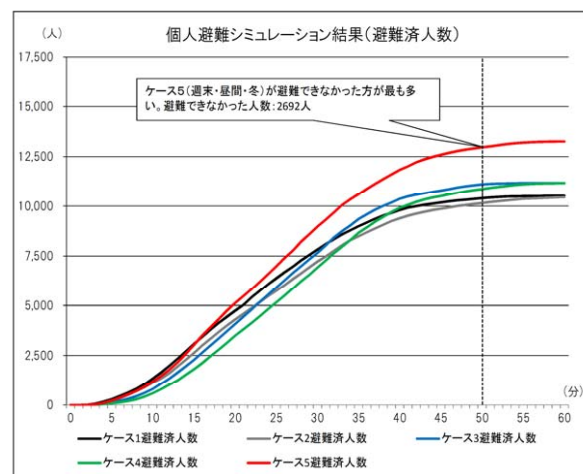
表-6 個人避難検討ケース

検討 CASE	条 件		観光 客数	地域 住民数	合計 避難者数
CASE-6	平日昼	冬以外	2,063	10,412	12,475
CASE-7	平日昼	冬	2,063	10,412	12,475
CASE-8	週末夜	冬以外	698	12,338	13,036
CASE-9	週末夜	冬	698	12,338	13,036
CASE-10	週末昼	冬	4,126	12,338	16,464

表-7 家族避難検討ケース

(1) 個人避難シミュレーション結果

個人避難シミュレーション結果を表-8, 表-9, 図-8に示すが, 津波到達時間の50分で最も避難できなかった方が多かったケースはケース5(週末・昼間・冬)となり, 避難できなかった方は2,692人(16%)となった。尚, 想定している時間帯は, 週末の朝市に多くの観光客が滞在し, かつ家族の殆どが自宅に居る朝方である。



ケース名	避難者数(人)			50分後の避難状況(人)		
	住民数	観光客	合計	避難済	浸水域内に存在	
				避難前	避難中	合計
ケース1(平日・昼間・冬以外)	10,412	2,063	12,475	10,363	768	1,503
ケース2(平日・昼間・冬)	10,412	2,063	12,475	10,154	810	1,602
ケース3(週末・夜間・冬以外)	12,338	698	13,036	11,109	802	1,370
ケース4(週末・夜間・冬)	12,338	698	13,036	10,866	771	1,379
ケース5(週末・昼間・冬)	12,338	4,126	16,464	12,967	1,160	2,692

表-8 個人避難シミュレーション結果

a) ケース 5 (週末・昼間・冬) の結果概要

地震発生後 50 分で津波が到達するという設定で地震避難シミュレーションを行い、個人避難で最も避難できなかったケース 5 の結果概要を以下に示す。

① 避難人数の内訳

- ・津波浸水エリア内に住んでいる方で、避難開始していない方は 1,160 人 (7.1%) となった。この数値は、野村らによる「輪島市臨港地域における地震津波災害に対する住民意識と地域防災力向上に関するアンケート調査, 2012」¹¹⁾ により確認されている住民意識アンケート結果の 11.1% と概ね整合していた。
- ・津波浸水エリア内における避難中の方は 1,532 人となった。

② 避難所の収容率

- ・天神山広場：59.5% (1,246 人/2,094 人)
- ・鳳来山公園：16.6% (1,678 人/10,123 人)
- ・輪島地方合同庁舎：100.0% (803 人/803 人)
- ・文化会館：28.0% (656 人/2,342 人)
- ・輪島高校：44.1% (4,536 人/10,281 人)
- ・松陵中学校：6.7% (913 人/13,771 人)
- ・鳳至公民館：100.0% (562 人/562 人)
- ・奥能登土木総合事務所：87.6% (482 人/550 人)
- ・上野台中学校：21.3% (1,717 人/8,078 人)
- ・夕陽ヶ丘高台：1.3% (374 人/30,000 人)

以上、1~100% と収容率に大きな差が生じていることが確認できた。

③ 渋滞しているエリア

- ・鳳来山公園に向かう避難路が渋滞している。
 - ・上野台中学校工に向かう避難路が渋滞している。
- 但し、津波浸水ライン外の為、特に問題はない。

b) 津波避難シミュレーション結果から見える今後の課題

① 避難しない地域住民の対策

既往のアンケート調査¹¹⁾ では、避難しない地域住民の殆どが年配者もしくは要介護者であり、個人情報保護法の壁もあることから、市と自主防災組織が一体となってサポート体制を整えることが必要だと考える。

② 避難所収容率の平準化

鳳来山公園に向かう途中で 50 分を超えた避難者の大半は、鳳至小学校→鳳至公民館→鳳来山公園の順に移動した避難者が多いことが確認できた。鳳至小学校から鳳至公民館と夕陽ヶ丘高台は、ほぼ同じ距離にあるが、若干ではあるが鳳至公民館に近い為に、このような結果になった。対策としては、鳳至小学校に避難してきた方を夕陽ヶ丘高台に誘導し、鳳至公民館に避難してきた方を鳳来山公園に誘導する等の避難者の分散化による避難所の平準化が有効と考える。

③ 渋滞エリア対策

上野台中学校周辺に発生している渋滞は、津波浸水エ

リア外であり特に対策は必要ないと思われる。鳳来山公園周辺の渋滞を緩和するには、鳳来山公園へ昇る為の階段の整備や、夕陽ヶ丘高台への分散化を促進する必要がある。また、避難路となっている細街路や急勾配の改善などのハザード整備(道路整備や家屋の耐震化等)を行うことも重要である。

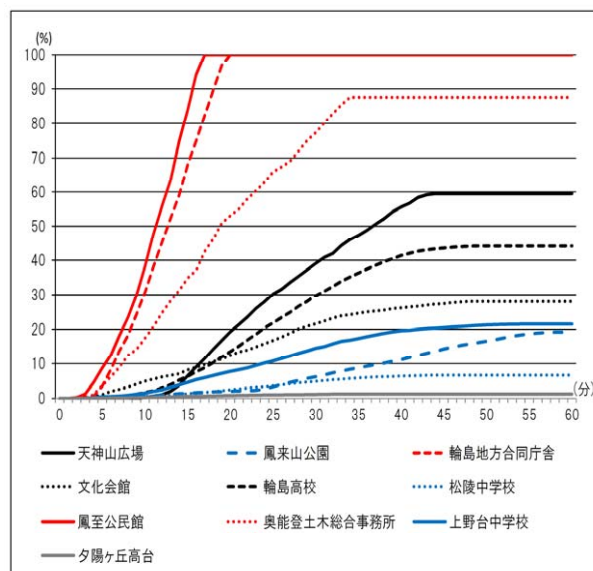


表-9 個人避難シミュレーション避難所収容割合

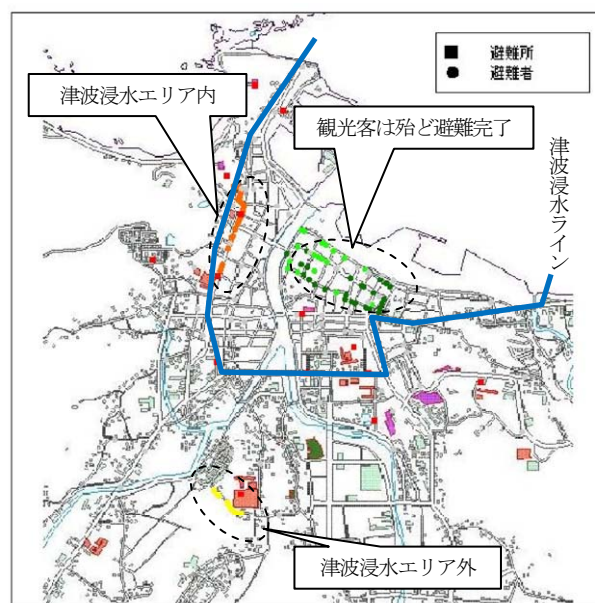
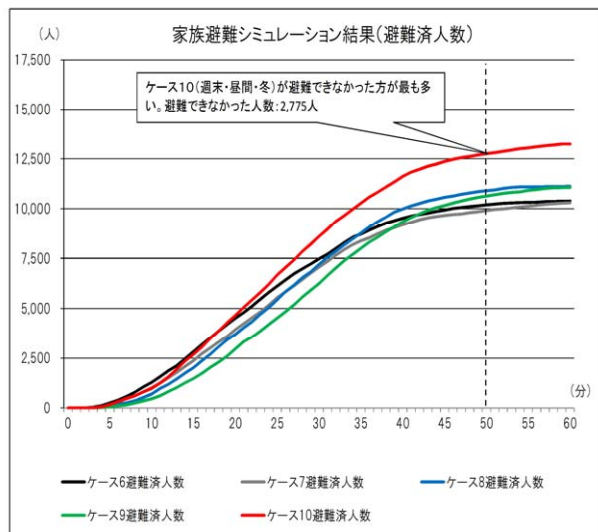


図-8 個人避難シミュレーション 50 分経過

(2) 家族避難シミュレーション結果

家族避難シミュレーション結果を表-10、表-11、図-9 に示すが、津波到達時間の 50 分で最も避難できなかった方が多かったケースは、ケース 10 (週末・昼間・冬) となり避難できなかった方は 2,775 人 (17%) となった。

避難シミュレーションの結果としては個人避難と家族避難では、若干ではあるが家族避難の方が避難できない人数は増加したが、その差は僅かであった。



ケース名	避難者数(人)			50分後の避難状況(人)		
	住民数	観光客	合計	避難済	浸水域内に存在	
ケース6(平日・昼間・冬以外)	10,412	2,063	12,475	10,197	853	815
ケース7(平日・昼間・冬)	10,412	2,063	12,475	9,907	781	953
ケース8(週末・夜間・冬以外)	12,338	698	13,036	10,913	805	610
ケース9(週末・夜間・冬)	12,338	698	13,036	10,640	802	689
ケース10(週末・昼間・冬)	12,338	4,126	16,464	12,769	1,183	1,592

表-10 家族避難シミュレーション結果

a) ケース 10 (週末・昼間・冬) の結果概要

地震発生後 50 分で津波が到達するという設定で地震避難シミュレーションを行い、家族避難で最も避難できなかったケース 10 の結果概要を以下に示す。

① 避難人数の内訳

- ・津波浸水エリア内に住んでいる方で、避難開始していない方は 1,183 人 (7.2%) となり、個人避難シミュレーション結果と同様な結果となった。
- ・津波浸水エリア内における避難中の方は 1,592 人となり、個人避難シミュレーション結果と同様な結果となった。

② 避難所の収容率

- ・天神山広場：58.7% (1,229 人/2,094 人)
- ・鳳来山公園：14.9% (1,504 人/10,123 人)
- ・輪島地方合同庁舎：100.0% (803 人/803 人)
- ・文化会館：29.0% (679 人/2,342 人)
- ・輪島高校：43.9% (4,508 人/10,281 人)
- ・松陵中学校：6.7% (910 人/13,771 人)
- ・鳳至公民館：100.0% (562 人/562 人)
- ・奥能登土木総合事務所：90.6% (498 人/550 人)
- ・上野台中学校：20.8% (1,677 人/8,078 人)
- ・夕陽ヶ丘高台：1.3% (399 人/30,000 人)

以上、1~100%と収容率に大きな差が生じていることが確認できた。また、個人避難シミュレーションとの差も 1~3%と僅かであった。

③ 渋滞しているエリア

- ・個人避難シミュレーション結果と同様に鳳来山公園に向かう避難路が渋滞していることが確認できた。

b) 津波避難シミュレーション結果から見える今後の課題

① 避難しない地域住民の対策

② 避難所収容率の平準化

③ 渋滞エリア対策

上記①~③については、個人避難シミュレーション結果と同様な結果となることが確認できた。

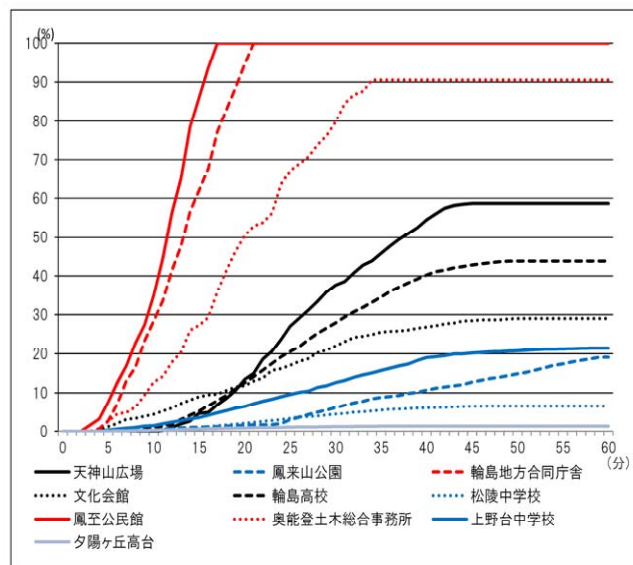


表-10 家族避難シミュレーション避難所収容割合

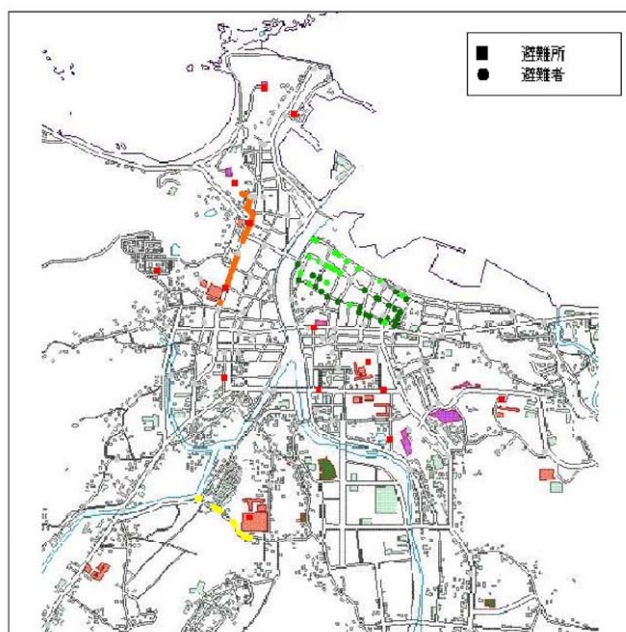


図-11 家族避難シミュレーション 50 分経過

(3) 避難シミュレーション結果

今回の地震津波避難シミュレーション結果より以下に示す3点について明らかにすることができた。

1点目は、最も多くの被災者を発生させるケースは、個人避難、家族避難共に同じケース（週末・昼間・冬）となり、被災者が2,700人程度と避難対象者の17%程度となった。しかし、その他のケースにおいても1,300～1,700人程度の被災者が発生していることも確認できたことから、今後は各ケースの更なる分析を行う必要があると考える。

2点目は、市街地に点在する避難ビル等への避難状況を把握することができた。特に輪島地方合同庁舎や鳳至公民館は市街地ということもあり、収容人数が容量を超えていることが確認できた。また、収容容量を超えた場合は、次なる避難所へ移動しなくてはならない為、避難の遅れや渋滞を発生させていることも確認できた。

3点目は、渋滞エリアと避難所のアンバランスを確認することができた。但し、今回は地域住民全員が最短避難経路と避難所を認知しているという好条件化による解析であったことを勘案すると、今後は、アンケートやワークショップを通じて地域住民の避難行動意識をシミュレーションに反映していくことが重要と考える。

6. まとめ

本研究では、2007年能登半島地震を経験した輪島市臨港地域周辺の住民を対象として、輪島市が保有するGISデータを有効に利活用して、できる限り新規データを作成しないでマルチエージェントシステムを用いた地震津波避難シミュレーションを開発する為の基礎的研究を行った。その結果、以下に示す2点の新しい点を明らかにすることができた。

1点目は、輪島市が保有するGISデータを有効に活用して、マルチエージェントシステムに取り込むことができた。輪島市が保有するデータは、全国の市町村も保有しているデータであり、特殊なデータではないことから、多くの市町村において簡易的なマルチエージェントシステムにより地震津波避難シミュレーションを行うことができるということが確認できた。しかし、統合GIS化を行うあたり、統一ルールの策定は非常に重要であることも浮き彫りになった。

2点目は、渋滞エリアと避難場所のアンバランスをシミュレーションで把握することができた。今までは、公的な施設を避難所に配置することが多く、適正な配置を確認することはできなかったが、今回のシミュレーションを行ったことで、避難所のアンバランスを明確にすることができたことから、今後は、避難所の配置計画や渋

滞エリアの解消という視点でシミュレーションを行うことで防災計画の質が向上する可能性があることを明らかにすることができた。

本研究で得られた成果について以下に示す。

本研究では、市町村が保有するGISデータを有効に活用することで、避難シミュレーションを比較的容易に作成できることを確認することができた。但し、地域住民が最短避難路や避難所を認知しているという条件下においても約2,700人も被災者が発生してしまうということも確認することができた。今後は、今までに行ってきた「輪島市臨港地域における地震津波災害に対する住民意識と地域防災力向上に関するアンケート調査」や「ワークショップ手法を用いた防災リスクコミュニケーションに関する研究」を総合的に取りまとめ、地域住民への防災教育としての避難シミュレーションの有効活用や、行政としての防災リスクガバナンスとしての避難シミュレーションのあり方について、更なる研究を進める必要があることも今回確認することができた。

謝辞：本研究を実施するにあたっては、輪島市総務課防災対策室次長・山外亮二氏の多大な御協力に感謝するとともに、避難速度実験に協力して頂いた地域住民の皆様にご礼申し上げます。また、マルチエージェントシステムの活用に関して(株)構造計画研究所の玉田正樹氏には多くの御協力・御指導に感謝致します。多田徳夫氏、吉江考司氏並びに金沢大学防災地震工学研究室の諸兄には避難速度実験の運営やマルチエージェントシステムに関して絶大な御助力を頂いた。末尾ながらここに深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 源貴志, 成行義文, 藤原康寛, 三神厚, 澤田勉: 自主防災組織で活用可能な津波避難シミュレーションシステムの開発に関する基礎的研究, 土木学会地震工学論文集, pp756-764, 2007.
- 2) 田村保, 西畑剛, 森屋陽一, 瀧本浩一, 三浦房紀: 街路閉塞を考慮した津波浸水時の避難シミュレーション手法の適用, 土木学会海岸工学論文集第 52 巻, pp1286-1290, 2005.
- 3) 大沸俊泰, 守澤貴幸: 都市内滞留者・移動者の多様な属性を考慮した大地震時における広域避難シミュレーションモデル, 日本建築学会計画系論文集第 76 巻, pp389-396, 2011.
- 4) 高知県海洋局漁港課: 漁村における津波対策基本方針, pp5-23, 2005.
- 5) Willis et al., Human movement behavior in urban spaces, Environment and Planning B, Planning and Design 31, pp805-828, 2004.

- 6) 津波対策推進マニュアル検討委員会：津波対策マニュアル検討報告書, pp38, 2002.
- 7) 北海道建築指導センター：センターレポート通巻第 166 号秋号, pp2-5, 2008.
- 8) 国土交通省都市局：津波被災市街地復興手法検討調査（とりまとめ）, pp3-10-3-12, 2012.
- 9) 国土交通省国土技術政策総合研究所, STA テクノロジー・ショーケース, pp61, 2013.
- 10) 石川県：平成 23 年度石川県津波浸水想定調査概要版, pp13-24, 2011.
- 11) 野村尚樹, 宮島昌克, 山岸宣智, 藤原朱里：アンケート調査に基づく輪島市臨港地域における地震津波災害に対する住民意識と地域防災力向上に関する基礎的研究, 土木学会論文集 A1（構造・地震工学）[特]地震工学論文集第 32 巻, Vol. 69 (2013), No.4, pp. I_1002-I_1012, 2013.

A BASIC STUDY ON EARTHQUAKE TSUNAMI EVACUATION SIMULATION USING THE MULTIAGENT SYSTEM ～CASE STUDY OF WAJIMA DISTRICT IN WAJIMA CITY～

Naoki NOMURA, Masakatsu MIYAJIMA and Noritomo YAMAGISHI

Recently, a lot of earthquakes occurred in our country and a lot of victims were generated in recent years. Master plan for disaster prevention in the country was settled on based on the lesson. The importance of the examination of evacuation measures to which it gave priority to the defense of the life for a maximum level earthquake sea wave on both sides of hardness and software was shown.

In this study, the surrounding of the Wajima City Rinko region where the Noto Hanto Earthquake was experienced in 2007 is targeted. It aims the escape route in the region and to evaluate the evacuation site by using the GIS data that Wajima City has and doing the earthquake tsunami shelter simulation that using the multiagent system.