

# 輪島地区における GIS・マルチエージェントシステムを用いた 津波避難所に関する基礎的研究

小坂 陽介<sup>1</sup>・野村 尚樹<sup>2</sup>・宮島 昌克<sup>3</sup>

<sup>1</sup>金沢大学大学院 自然科学研究科環境デザイン学専攻 博士前期課程

E-mail:sp10atletico@yahoo.co.jp

<sup>2</sup>(株)日本海コンサルタント

E-mail:y-norito@yahoo.co.

<sup>3</sup>金沢大学教授 理工研究域環境デザイン学系

E-mail:miyajima@se.kanazawa-u.ac.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」<sup>1)</sup>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」<sup>2)</sup>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レーションモデル、2011」<sup>3)</sup>では、大都市を対象として、火災延焼時の避難シミュレーションについてマルチエージェントモデルを用いて広域避難行動におけるリスク評価について研究がなされている。

しかし、既往の研究は、研究のために構築したGISを用いて避難シミュレーションなどを行っており、この手法を多くの地方自治体に適用するには、多大な費用と時間が必要になってしまう問題点が残る。また、避難速度などは既往の研究にて求められた数値を用いており、検証が行われていない点では若干の疑問が残る。

## 2. 輪島市臨港地域概要

能登半島の北西にある輪島市は、総人口30,136人（平成24年8月1日現在）、世帯数12,913件の町である。今回の研究対象とした輪島市臨港地域（以下、輪島地区）を図-1の黒点線枠として示すが、人口12,338人、世帯数3,776件を有する輪島市の約半数が対象となるメイン地区である。

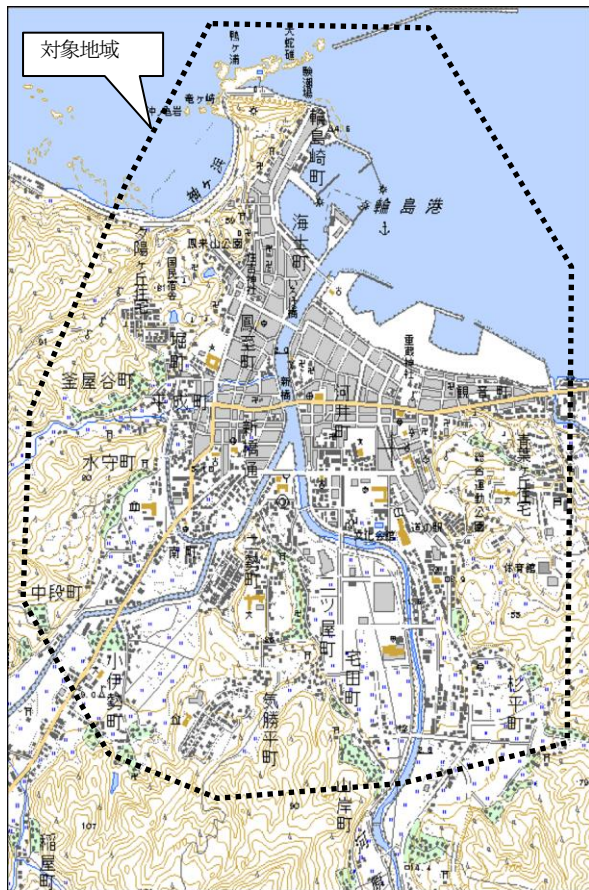


図-1 輪島市臨港地域（輪島地区）の概要図

輪島地区の特徴は、海沿いの町会では60%程度以上が写真-1に示すような細街路であり、車が通行できる市道は少ない。海沿いの住民が高台にある避難所に移動するためには、写真-2に示すような急な階段を上る必要があるが、階段ステップの材質が天然石等なため、滑りやすい構造となっている。また、写真-3に示すよう

に、輪島地区は違法駐車が多いため、この町の特徴である。これは車社会となる前に集落が形成されたことから駐車場が不足していることが要因と考える。



写真-1 細街路の現状（幅員1~1.5m）



写真-2 階段の現状（この上に高台がある）



写真-3 市道の現状（幅員5m、但し違法駐車が多い）



### 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。

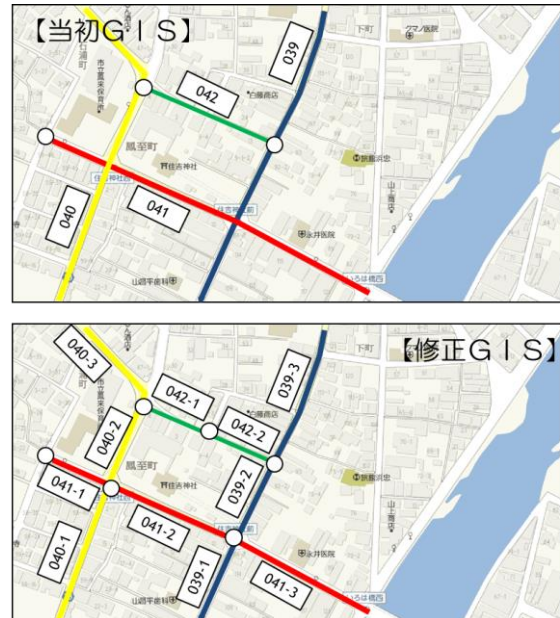


図-2 交差点の結合

### 4. 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 artisc3.5 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

$$V_1 = V_{s1} \times C_1 \times C_2 = 1.14 \sim 1.47 \text{m/s}$$

- ・ 冬季避難速度

$$V_2 = V_{s1} \times C_1 \times C_2 \times C_3 = 0.95 \sim 1.22 \text{m/s}$$

- ・ 冬季以外階段部避難速度

$$V_3 = V_{s2} \times C_1 \times C_2 = 0.36 \text{m/s}$$

- ・ 冬季階段部避難速度

$$V_4 = V_{2} \times C_1 \times C_2 \times C_3 = 0.30 \text{ m/s}$$

以下に設定根拠を示す。

a) 避難歩行速度基本値： $V_{sl}$

避難歩行速度基本値は図-3や図-4に示す実験結果<sup>4)</sup>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。

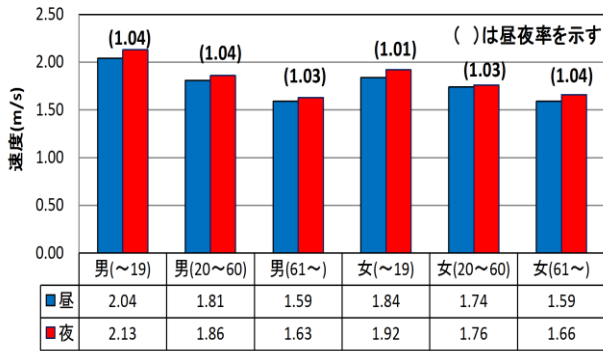


図-3 年代別避難基本速度

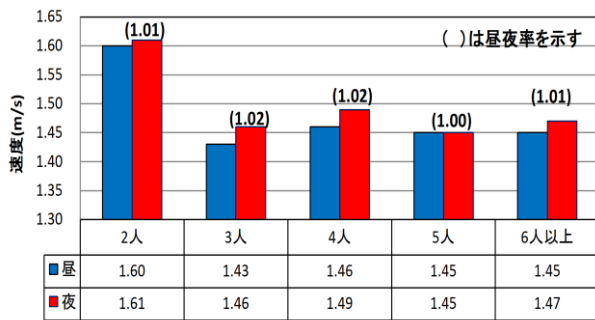


図-4 グループ別避難基本速度

b) 階段部避難歩行速度基本値： $V_{2}$

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」<sup>5)</sup>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356m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」<sup>6)</sup>より、低減率を乘じることとした。また、石川県輪島市は降雪地域であることを勘案し、「センターレポート通巻第166秋号」<sup>7)</sup>より冬季における歩行速度の低減率も乘じることとする。

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、 $C_1=0.9$ 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、 $C_2=0.8$ 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、 $C_3=0.833$ 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。

・平日日間観光客数

$$N_h = \sum N / D_1 + D_2 \times k = 2,063 \text{ 人}$$

・土日祝日観光客数

$$N_d = N_h \times 2 = 4,126 \text{ 人}$$

・平日宿泊者数

$$N_{hs} = \sum N_s / D_1 + D_2 \times k = 349 \text{ 人}$$

・土日祝日宿泊者数

$$N_{ds} = N_{hs} \times 2 = 698 \text{ 人}$$

ここに、

$\sum N_k$ : 年間観光客数(986,000人)

$\sum N_s$ : 年間宿泊者数(167,000人)

$D_1$ : 年間の平日数(252日)

$D_2$ : 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。

d) 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、避難場所の容量が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。

e) 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-1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。

表-1 避難時のエージェント配置

	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%

f) 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」<sup>8)</sup>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。

g) 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」<sup>9)</sup>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。

$$\text{瓦礫幅} = a = 2.32 X_1^{0.379} + 0.189 X_2^{2.23} + 4.41 X_3^{1.20}$$

ここに、

$X_1$ : 建物全壊率

$X_2$ : 平均階層（延床面積/建築面積）

$X_3$ : 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場所と収容人数を図-5、表-2に示す。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港公民館、鳳至小学校、河井小学校、ふれあい健康センターが避難場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、2013年度の野村の研究では使用不可として設定した。

今回の研究では、2006年に建設されたルートイン輪島を一時避難場所として追加する。理由としては、海岸沿いに立地してはいるが7階建てであり避難者を収容できると予測できるためである。そして、津波想定浸水エリア内もしくは近接している鳳至小学校、河井小学校、

ふれあい健康センター(表-2にて灰色で着色)については、前回のシミュレーション以降に新たにルールが作成され、その避難所の鍵を公的な住民に預け、いつでも使用できるようになったこと、津波浸水区域に近接していることを考慮すると一定期間生活することを目的とした避難場所として利用するのは安全性に欠けるが一時的に身を置くだけの一時避難場所(屋内)としては利用可能であるのではないかということの二つの点を考え使用可能にし、屋外については使用不可とした。また、港公民館については、海岸に近接しており危険と判断したので、前回と同様に使用不可のままとした。さらに、鳳至小学校、河井小学校、ふれあい健康センター、鳳至公民館の収容人数を増加させた。理由は、避難生活を想定した場合の収容人数に設定されていたが、助かることが最優先であるので一時的に留まるだけの一時避難場所の場合の収容人数に設定したためである。

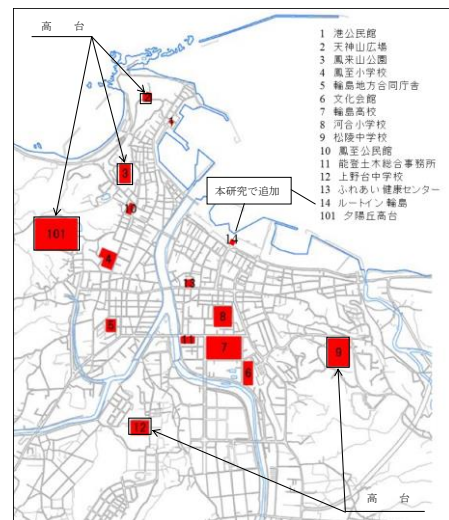


図-5 輪島地区避難場所一覧

表-2 避難所緒元

番号	避難所	収容人数 (輪島市設定値)		使用可否 (輪島市設定値)	
		屋内	屋外	昼	夜
1	港公民館	94	0	不可	不可
2	天神山広場(高台)	0	2,094	可	可
3	鳳来山公園(高台)	0	10,123	可	可
4	鳳至小学校	1213 (433)	12,017	可(不可)	可(不可)
5	輪島地方合同庁舎	803	0	可	可
6	文化会館	2,342	0	可	可
7	輪島高校	1,587	8,694	可	可
8	河井小学校	2518 (583)	8,390	可(不可)	可(不可)
9	松陵中学校(高台)	568	13,203	可	可
10	鳳至公民館	778 (562)	0	可	可
11	奥能登土木総合事務所	550	0	可	可
12	上野台中学校(高台)	0	8,078	可	可
13	ふれあい健康センター	390 (32)	0	可(不可)	可(不可)
14 (新規)	ルートイン輪島	301	0	可	可
101	夕陽ヶ丘高台	0	30,000	可	可



#### (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」<sup>10)</sup>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。

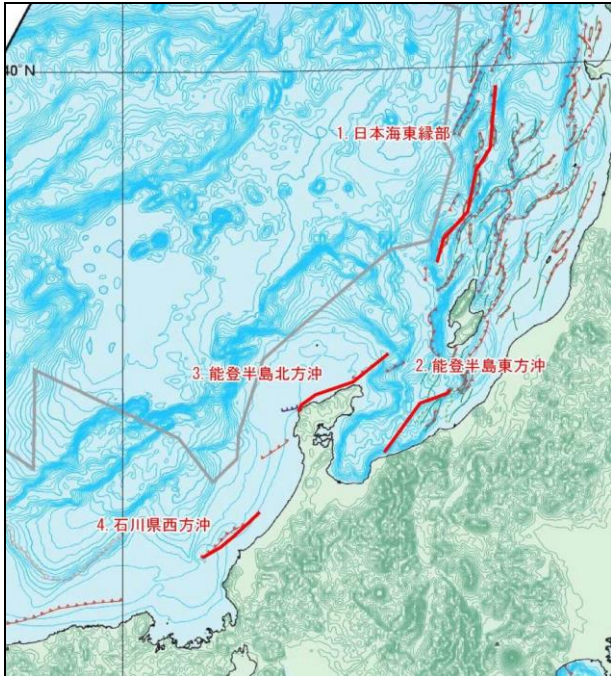


図-6 日本海側で想定する想定波源図

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-3 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。

表-3 輪島地区における波源緒元と結果概要

想定波源	1	2	3	4
	東縁部	東方沖	北方沖	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

#### 5. 地震津波避難シミュレーション

2013年に野村らが行った地震津波避難シミュレーションの設定条件としては平日と週末, 冬と冬以外に区分し, 全5ケースについて行った。その結果を表-4 に示す。表-4を見ると, ケース5(週末, 昼間, 冬)の避難できなかった人が2143人と最も多いということがわかった, このケースを本研究での基本ケースとした。

表-4 野村の地震津波避難シミュレーション結果

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)	10412	2063	12475	10646	491   447	938
ケース2(平日・昼間・冬)	10412	2063	12475	10442	485   599	1084
ケース3(週末・夜間・冬以外)	12338	698	13036	10442	605   977	1582
ケース4(週末・夜間・冬)	12338	698	13036	9757	615   1093	1708
ケース5(週末・昼間・冬)	12338	4126	16464	12986	608   1535	2143

本研究ではこのケースに, 条件を追加したケース 6, 7 についてシミュレーションを行った。ケース 6 は, ケース 5 に図-5 の 14 の位置のホテルを避難場所として追加したケースである。ケース 7 は, ケース 5 において使用不可になっていた鳳至小学校, 河井小学校, ふれあい健康センターを使用可にし, さらに, 鳳至小学校, 河井小学校, ふれあい健康センター, 鳳至公民館の収容人数を増加させたケースである。

#### 1) ケース5のシミュレーション結果

ケース 5 の避難所緒元, 避難所別収容割合, 50 分後の避難状況を表-5, 図-7, 表-6 に示す。

表-5 ケース5の避難所緒元

ID	指定避難所・ 指定緊急避難場所	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(高台)	0	2,094	可	可
3	鳳来山公園(高台)	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	可
6	文化会館	2,342	0	可	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(高台)	568	13,203	可	可
10	鳳至公民館	562	0	可	可
11	奥能登土木総合事務所	550	0	可	可
12	上野台中学校 (高台)	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
合計		6,412	72,192		

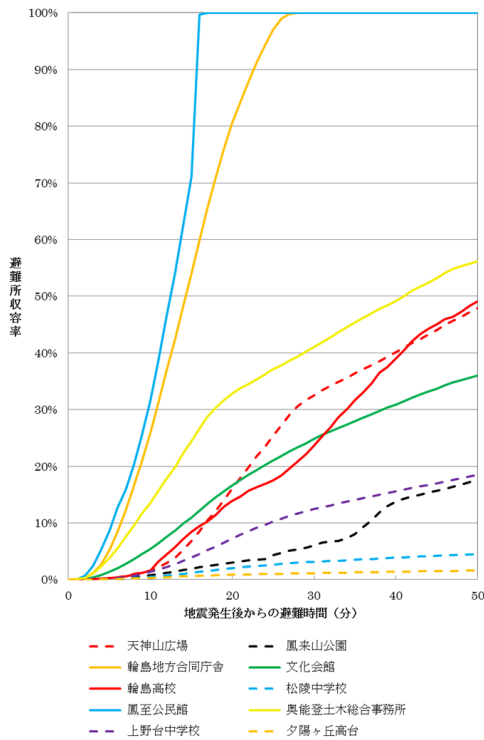


図-7 ケース5の避難所別収容割合

表-6 50分後の避難状況(ケース5)

避難済	50分後の避難状況(人)		
	浸水域内に存在		
	避難前	避難中	合計
12952	598	1558	2156

図-7を見ると、地震発生から17分で鳳至公民館が、29分で輪島地方合同庁舎が容量を超えた。天神山広場の収容率が途中で鈍化している理由として、港公民館が最も近い避難者は一度そこへ避難してしまい、再避難する際に港公民館から天神山広場が渋滞することが考えられる。鳳来山公園の収容率が途中で鈍化している理由として、最初に鳳至公民館あるいは輪島地方合同庁舎に避難してきた人がその避難所に入らず、次の避難場所へ再避難するため、渋滞が発生しその影響を受けたことが考えられる。輪島高校の収容率も鈍化しているが、その理由としては、河井町周辺の小さい観光エリアに4,126人という観光客を配置したため、人口密度が上昇し、多くの観光客と地域住民が輪島高校へ避難し渋滞が発生することが考えられる。

また、表-6より、浸水エリア内に存在している避難前の人と避難中の人合計、つまり50分までに避難できなかった人の合計は2156人であり、この数値を基準とする。

## 2) ケース6のシミュレーション結果

ケース6の避難所緒元、避難所別収容割合、50分後の避難状況を表-7、図-8、表-8に示す。また、ケース6の地震津波避難シミュレーションの5分経過時と30

分経過時の様子、シミュレーション上の点の説明を図-9、10、表-9に示す。

表-7 ケース6の避難所緒元

ID	指定避難所・指定緊急避難場所	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(高台)	0	2,094	可	可
3	鳳来山公園(高台)	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	可
6	文化会館	2,342	0	可	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(高台)	568	13,203	可	可
10	鳳至公民館	562	0	可	可
11	奥能登土木総合事務所	550	0	可	可
12	上野台中学校(高台)	0	8,078	可	可
13	ふれあい健康センター	32	0	不可	不可
14	ルートイン輪島	301	0	可	可
101	夕陽ヶ丘高台	0	30,000	可	可
計		6412	72192		

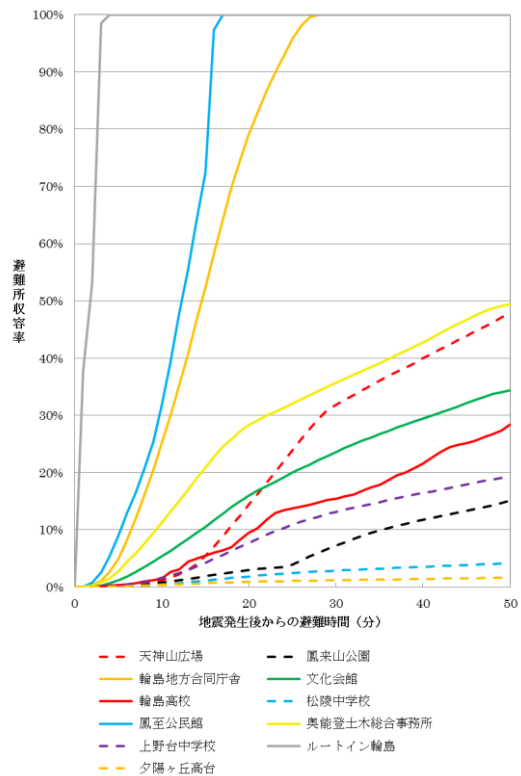


図-8 ケース6の避難所別収容割合

表-8 50分後の避難状況(ケース6)

避難済	50分後の避難状況(人)		
	浸水域内に存在		
	避難前	避難中	合計
10794	612	3271	3883

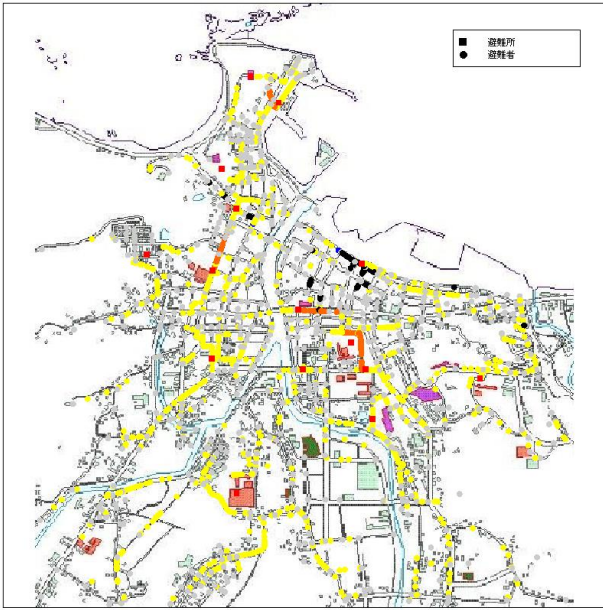


図-9 地震津波避難シミュレーション5分経過 (ケース6)

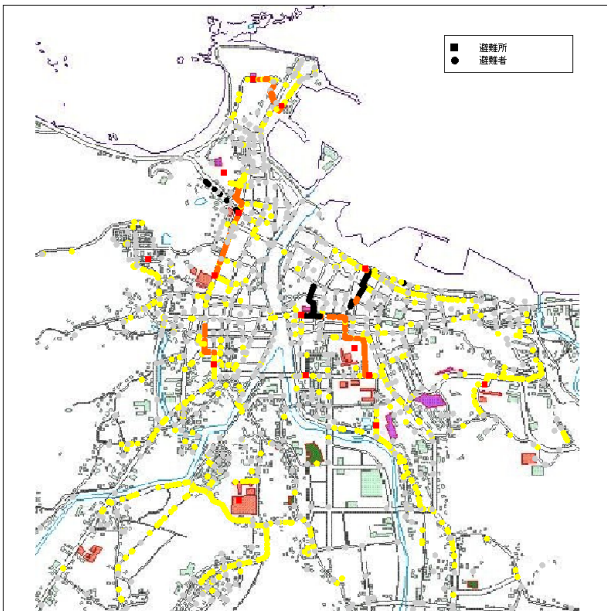


図-10 地震津波避難シミュレーション30分経過 (ケース6)

表-9 点の意味の説明

色	点の意味
灰色	ノード
赤	避難場所
黄	避難者
オレンジ	再避難者 (1回目の避難場所が満杯で避難完了できず次に近い避難場所に移動している避難者)
黒	避難速度が50%まで低減した避難者 (渋滞している避難者)
青	観光客

ケース5にルートイン輪島を追加したケース6では、図-8を見ると、地震発生から17分で鳳至公民館が、29分で輪島地方合同庁舎が容量を超えたことに加え、ルー

トイン輪島では4分で容量を超えた。そしてその避難所を追加したことにより、避難者数が輪島高校では約2000人減少している。またケース2と比べ、地震発生から50分後に逃げ切れなかった人が約1700人増加した。

ルートイン輪島を追加したことにより50分で逃げ切れなかった人の数は、単純にルートイン輪島の収容人数分だけ減少すると考えていたが、逆に増加するという結果になった。図-9を見ると、地震発生5分後にはすでにルートイン輪島は容量を超えていてその周りが渋滞しているのがわかる。それは地震発生時に海岸付近にいた避難者はその周辺で最も近い避難場所であるルートイン輪島へ避難しようとするが、収容人数が301人と少ない、また避難者は一度避難所に行かないと容量を超えたかどうか知ることができないので、地震発生時に海岸付近にいた人たちは皆一度ルートイン輪島に向かってしまい渋滞が起きてしまうためである。さらに、図-10を見ると、ルートイン輪島がすでに容量を超えていることがわかり、一度に多くの避難者が輪島高校へ向けて再避難を開始し、ルートイン輪島から輪島高校へつながる最短距離の道が渋滞を起こしていることがわかる。その2点が理由で、地震発生から50分で逃げ切れなかった人がケース1に比べて大幅に増えてしまったと考える。

### 3) ケース7のシミュレーション結果

ケース7の避難所緒元、避難所別収容割合を表-10、図-11、表-11に示す。また、ケース5とケース7の地震津波避難シミュレーションの50分経過時の様子を図-12、13に示す。

表-10 ケース7の避難所緒元

ID	指定避難所・指定緊急避難場所	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(高台)	0	2,094	可	可
3	鳳来山公園(高台)	0	10,123	可	可
4	鳳至小学校	1,213	12,617	可	可
5	輪島地方合同庁舎	803	0	可	可
6	文化会館	2,342	0	可	可
7	輪島高校	1,587	8,694	可	可
8	河井小学校	2,518	8,390	可	可
9	松陵中学校(高台)	568	13,203	可	可
10	鳳至公民館	778	0	可	可
11	奥能登土木総合事務所	550	0	可	可
12	上野台中学校(高台)	0	8,078	可	可
13	ふれあい健康センター	390	0	可	可
101	夕陽ヶ丘高台	0	30,000	可	可
計		10749	72192		



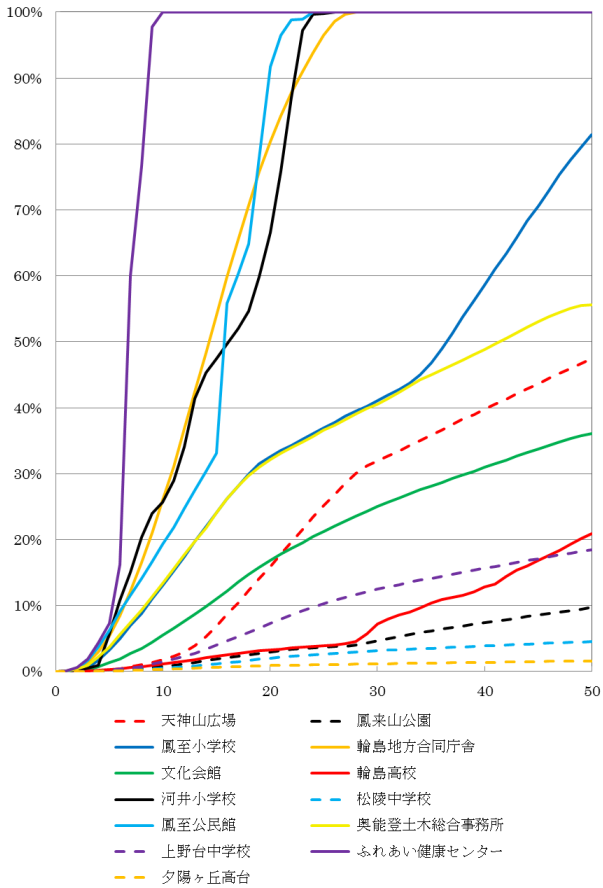


図-11 ケース7の避難所別収容割合

表-11 50分後の避難状況 (ケース7)

避難済	50分後の避難状況(人)		
	浸水域内に存在		
	避難前	避難中	合計
13353	602	1411	2013

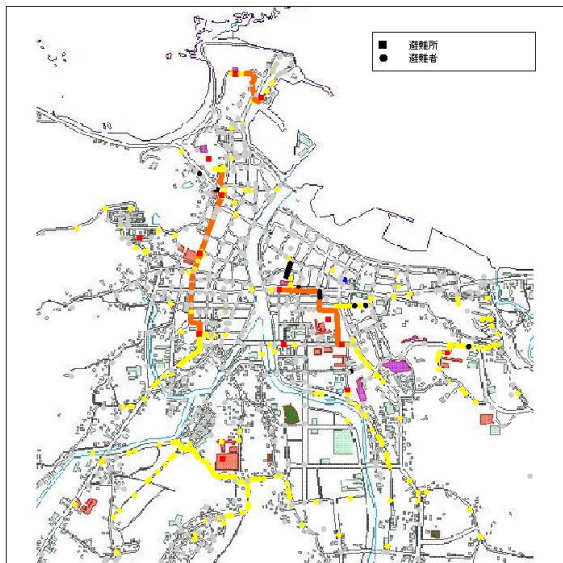


図-12 地震津波避難シミュレーション50分経過(ケース5)

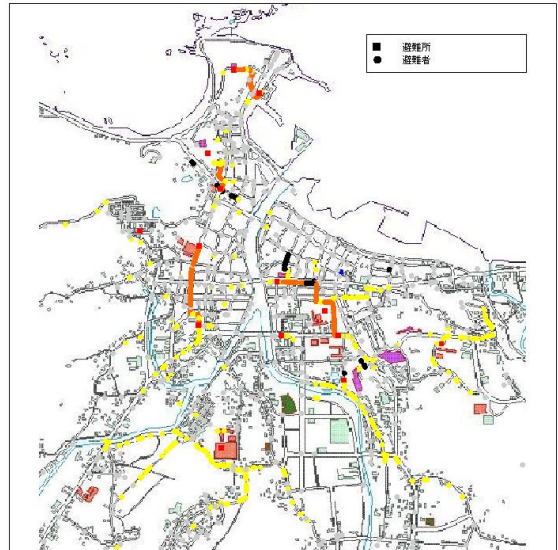


図-13 地震津波避難シミュレーション50分経過(ケース7)

ケース5に避難場所の収容人数と使用可否を変更したものを追加したケース7では、図-11を見ると、地震発生から10分でふれあい健康センターが、24分で鳳至公民館、26分で河井小学校、29分で輪島地方合同庁舎が容量を超えた。そして、新しい避難場所の設定を追加したことにより、避難者の人数が鳳来山公園が約800人、輪島高校が約3000人減少した。またケース5と比べ、地震発生から50分後に逃げ切れなかった人が約100人減少した。鳳来山公園の収容割合が減少した原因は、その付近に使用可能にした鳳至小学校と収容人数を増やした鳳至公民館があることが考えられる。輪島高校の収容割合が減少した原因は、その付近に使用可能にした河井小学校、ふれあい健康センターがあり、観光客の位置的にその二つの避難所の方が近く、避難者が移動したことが考えられる。また、それらの理由により地震発生から50分後に逃げ切れなかった人が減少したと考えられる。しかし、収容人数が4337人分増えたので地震発生から50分後に逃げ切れなかった人がかなり減少すると予想していたので、あまり効果が得られなかった理由について考察する。

文化会館と輪島高校、河井小学校、能登土木総合事務所、ふれあい健康センターはひとつの場所に密集している。そこでケース5とケース7でのこれら5つの避難場所の地震津波避難シミュレーションの50分後の避難した人数の合計を計算してみると、誤差の範囲内での違いは少なく、その区域だけで見ると、河井小学校とふれあい健康センターを使用可にしても効果はないことがわかった。次に、天神山広場と鳳来山公園、鳳至小学校、輪島地方合同庁舎、鳳至公民館、夕陽ヶ丘高台のエリアについて考える。このエリアの合計をケース5とケース7で計算してみると398人ケース7のほうが多いことがわかった。そして浸水域外で避難場所に入っていない避難者はケース

7の方が255人少ないことがわかった。また、避難者は避難場所の位置関係的に、輪島合同庁舎から鳳至小学校、鳳至公民館、鳳来山公園に向かっていくのだが、そのうち輪島同庁舎、鳳至小学校、鳳至公民館は浸水域内に位置していて、最小に輪島合同庁舎に向かってそこですでに容量を超えていた場合、どんどん浸水域内に避難してしまうことがわかった。そのことが理由で50分後に逃げ切れなかった人の数は、あまり減少しなかったと考える。また、図-12と図-13を見比べてみると、ケース7では鳳至小学校と鳳至公民館の間の道では渋滞が無くなっているが、輪島地方合同庁舎と鳳至小学校の間の道では若干ではあるが避難者の数が多くなっているのがわかる。

## 6. まとめ

本研究では、輪島市臨港地域を対象にして、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上の指定された避難場所の追加や使用可否、収容人数の変更を行い、その前後での変化を考察した。その結果得られた主な結論は以下の通りである。

1点目は、新しく避難所として指定する場合、今回のルートイン輪島のように、収容人数が少ない且つ他の避難場所から遠い場所に位置する避難場所では、すぐに収容人数が容量を超え、次の避難所へ向かう道が渋滞を起こし時間がかかるので、結果的に逆効果であるということが分かった。

2点目は、現在指定されている避難場所の収容人数を単純に増やすことができれば、限界はあるが助かる人も増加するということが分かった。

1点目の問題の原因は先ほども述べたように2つあり、その2つのうちの一つでも解決することができれば、避難しきれなかった人の数を減らすことができると考える。対策としては、現在指定されている避難場所は室内のみだったので屋上も利用できるようにすることや、現在指定されている避難場所の近くに避難場所を新しく指定することなどが考えられる。また、その避難所に向かった避難者全員を収容できるほどの収容人数があれば他の避難場所から遠い場所にある避難場所でも問題ないと考えられる。

別の方法として、避難者が最も近い避難場所へ向かうという設定では、皆同じ避難場所へ向かうことになり、

渋滞を発生させてしまうので、避難者が避難する避難場所やその際に向かうルートを地区ごとで変えることができれば、避難者を分散することができるので、避難しきれなかった人の数を減少させることができると考える。それを実際に実現させるためには、地区ごとでワークショップや避難訓練を行い、避難者が避難場所に向かうルートを地区ごとであらかじめ決めておくことが必要であると考えられる。

実際に地震が起きた時に、観光客はどこに逃げていいのかわからない人がほとんどであるので、地域住民が声をかけて一緒に避難することも重要である。

## 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) 野村尚樹: 地震津波に関するリスクコミュニケーションと避難シミュレーションに関する研究～輪島市輪島地区の事例を通して～(博士論文), 金沢大学, pp80-85, 2014
- 5) 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.
- 6) 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.
- 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.