

地震津波避難シミュレーションを用いた 最適避難経路に関する研究 -輪島市臨港地域を対象とした事例研究-

小坂 陽介¹・野村 尚樹²・大藤 愛子³・宮島 昌克⁴

¹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:sp10atletico@yahoo.co.jp

²正会員 (株) 日本海コンサルタント 技術事業本部 (〒921-8042 石川県金沢市泉本町2-126)

E-mail:n-nomura@nihonkai.co.jp

³オリエンタルコンサルタンツ 河川港湾部 (〒151-0071 東京都渋谷区本町3-12-1)

E-mail: popdod722@gmail.com

⁴正会員 金沢大学教授 理工研究域 環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:miyajima@se.kanazawa-u.ac.jp

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、輪島市が保有するGISデータを活用して、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を利用し、津波発生時刻、季節、避難場所、避難誘導に着目したシミュレーションを行った。本研究では、津波発生時刻、季節の状況、避難場所、避難誘導に着目した避難シミュレーションを行うことによって、最適避難経路について検討することを目的とする。

Key Words : *evacuation simulation , multiagent system , GIS , tsunami , Wajima city*

1. はじめに

2011年3月に発生した東日本大震災は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た。その中でも特に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、地方自治体では財政状況が厳しいことや防災の専門家がいないことから、防災教育や地域防災力向上が思うように進んでいないのが現状である。また、地域におけるリスク認知度に大きな個人差があり、防災協働社会構築の弊害になっていることも事実である。

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を対象としている。対象地域のような地方都市における防災教育や地域防災力向上のツールとして、市が保有するGISデータを活用してマルチエージェントシステム(MAS)を用いた地震津波避難シミュレーションを作成した。その中で様々なケースについてのシミュレーションを行うことで、最適避難経路について検討することを目的とする。

2. 輪島市臨港地域概要

石川県の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に示すが、人口12,338人、世帯数3,776戸を有し、輪島市の約半数が対象となる中心地区である。輪島地区の特徴としては、近年に大きな地震を経験していることが挙げられる。2007年にはM6.9、最大震度6強の能登半島沖地震を経験しており、さらに前にも、1993年の能登半島沖地震など、M6.0以上の地震を頻繁に観測している。また、日本海に面していることから、輪島地区は地震津波の災害リスクが高い地域と言える。

3. 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自立したエージェントが多数共存する環境を



図-1 輪島市臨港地域（輪島地区）の概要図

いう。システム構成としては、交差点（ノード）と道路や階段等（ライン）によって構成され、ノード起終点間の複数ラインの総称をリンクと言い、ノード、ライン、リンクの複合体としてネットワークを構成し、このノードやライン上をエージェントが移動するシステムである。そこで本研究では、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。なお、マルチエージェントシステムは、(株)構造計画研究所のartisoc3.5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。本研究では、全員が徒歩で避難することとする。

- ・ 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： $V_4 = V_{s2} \times C_1 \times C_2 \times C_3 = 0.30 \text{ m/s}$

以下に各変数の説明と設定根拠を示す。

a) 避難歩行速度基本値： V_{s1}

避難歩行速度基本値は 2012 年に輪島地区で行った実験結果¹⁾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： V_{s2}

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」²⁾より、基本速度を 0.5m/s

として設定する。

c) 速度基本値に乗じる係数

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」³⁾より、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） $C_1=0.9$ を考慮し、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） $C_2=0.8$ を考慮する。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」⁴⁾より冬季における歩行速度の低減率として、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） $C_3=0.833$ を考慮する。

(2) エージェントの設定

輪島地区の総人口と 1 日の観光客数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。但し、平日の昼間人口は明確になっていないことから、表-1 に示すように、男性(20～60 才)の 50%かつ、女性(20～60 才)の 10%は地区外に勤務している想定とし、総勢 10,412 人とした。

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明確になっていないことから、今回は以下に示すように設定した。

$$\text{・ 平日昼間観光客数：} N_h = \frac{\sum N_k}{D_1 + D_2 \times k} = 2,063 \text{ 人}$$

$$\text{・ 土日祝日観光客数：} N_d = N_h \times 2 = 4,126 \text{ 人}$$

$$\text{・ 平日宿泊者数：} N_{hs} = \frac{\sum N_s}{D_1 + D_2 \times k} = 349 \text{ 人}$$

$$\text{・ 土日祝日宿泊者数：} N_{ds} = N_{hs} \times 2 = 349 \times 2 = 698 \text{ 人}$$

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。

c) エージェントの行動設定

エージェントとなる地域住民の避難行動は多種多様かつ複雑であるが、本研究では基礎的研究という観点から避難時の渋滞状況や避難所配置混雑度等を把握するために、避難行動をできる限り単純化した。すなわちエージェントとなる地域住民は、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、最短避難ルートを避難する設定とした。また、観光客の行動設定を地域住民と同じ設定とすることは、

現実との乖離が大きいことから、観光客は地震後の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、地域住民避難者と一緒に避難する行動条件とした。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。

最短避難ルートの設定は、GIS 情報から取得した道路情報（ノード情報やリンク情報）を基に 3 次元的な距離を算出するダイクストラ法を用いた。また、避難者は最も近い避難場所に避難するが、避難場所の収容量を超えた場合や避難所が使用不可の場合は、現地点の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-1 に示すとおりとする。平日や週末の昼間人口に関しては今後、アンケート調査等を行い更なる精度向上が必要であるが、現時点では平日や週末の昼間人口は把握されていないことから、平日の昼間人口は 19 歳以下は全て学校に配置し、20-60 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地内のノード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 避難開始時のエージェントの自宅にいる割合

	男 性			女 性		
	～19才	20～60才	61才～	～19才	20～60才	61才～
平日昼	学校	50%	100%	学校	90%	100%
平日夜	100%	100%	100%	100%	100%	100%
週末昼	100%	100%	100%	100%	100%	100%
週末夜	100%	100%	100%	100%	100%	100%

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」⁵⁾より、東日本大震災の実績を参考にして、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%、90 分で 100%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) 避難路閉塞の設定

地震時に沿道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幅は、「STA テクノロジー・ショーケース 2013」⁶⁾より、以下に示す算式を用いて閉塞幅を算出した。

$$\text{瓦礫幅 } a = 2.32 X_1^{0.379} + 0.189 X_2^{2.23} + 4.41 X_3^{12.0}$$

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）

まず、道路リンクに面している家屋 1 軒ごとの瓦礫幅(a_n)と道路リンクに面している家屋 1 軒ごとの

幅(b_n)を算出し、以下の式にてノード間の道路リンク単位で平均瓦礫幅を求め、ノード間の既往道路幅(W)から平均瓦礫幅(A)を差し引くこととした。

$$\text{道路リンク単位の平均瓦礫幅} : A = \frac{\sum(a_n \times b_n)}{\sum b_n}$$

ここに、

a_n : 道路リンクに面している家屋 1 軒ごとの瓦礫幅(m)

b_n : 道路リンクに面している家屋 1 軒ごとの幅(m)

$\sum b_n$: 道路リンクに面している家屋の総幅(m)

(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-2、表-2 に示す。高台に位置する避難所は、No.2, 3, 9, 12, 101 の 5 箇所であり、No.9 と 12 は市街地から離れている。また地域住民にアンケート調査⁷⁾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 No.1, 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、津波想定浸水エリア内もしくは近接している避難場所 No.1, 4, 8, 13 は使用不可として設定した(表-2 にて灰色で着色)。

(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」⁸⁾より、以下の図-3 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。

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。

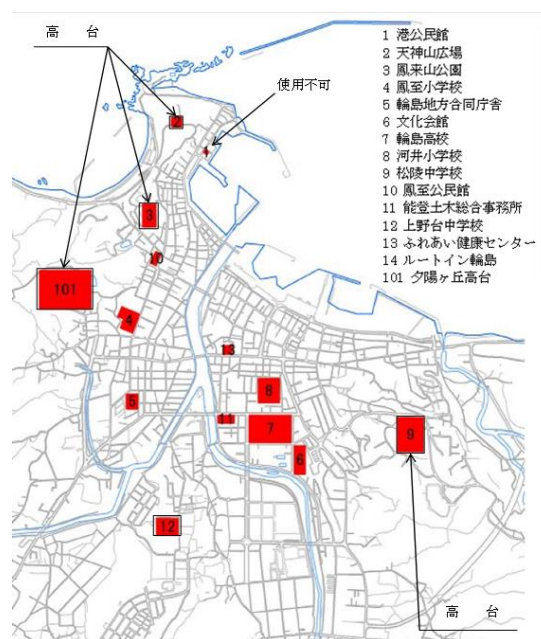
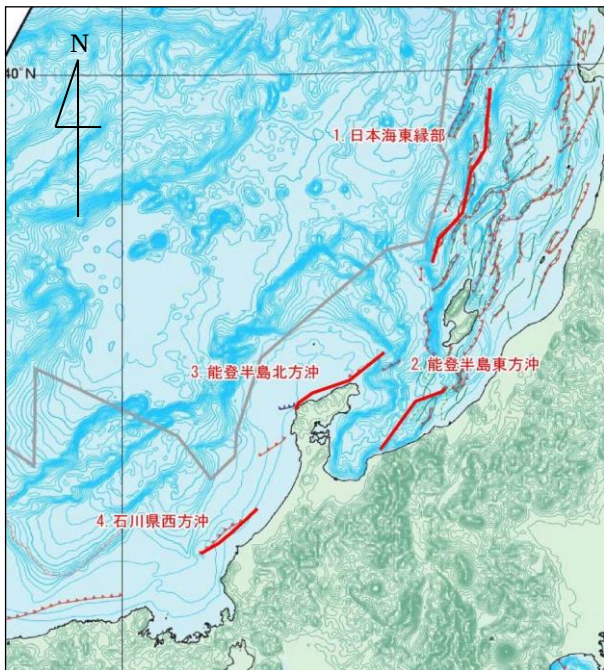


図-2 輪島地区避難所一覧

表-2 避難所緒元

No	指定避難所・指定緊急避難場所	収容人数(人)		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		6412	72192		

図-3 日本海側で想定する想定波源図⁹⁾表-3 輪島地区における波源緒元と結果概要⁹⁾

想定波限	1	2	3	4
	東縁部	東方沖	北方沖	四方沖
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
想定モーメント 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)	1.22 E+21	2.95 E+20	3.89 E+20	1.82 E+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

4. 津波発生時刻、季節に着目した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の条件として、平日と週末、昼と夜、冬と冬以外に区分し、表-5 に示す全5 ケースにてシミュレーションを行った。

表-5 個人避難検討ケース

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

津波到達時間の50分で最も避難できなかった人が多かったケースはケース5（週末・昼間・冬）となり、避難できなかった人は2,143人（13%）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。詳しい結果はすでに2014年に野村が発表¹⁾しているので省略する。

5. 避難場所に着目した地震津波避難シミュレーション

避難発生時刻、季節に着目した地震津波避難シミュレーションにおいて、最も避難状況が悪かったケース 5（週末、昼間、冬）を基本ケースとし、避難できなかった人を少なくするために、新たに避難場所に着目して3つのケースを考えた。新たなケース 6, 7, 8 の概要を表-6 に、ケース 8 の避難場所の収容人数を表-7 に示す。

表-6 ケース 6～8 の概要

	ケース5+
ケース6	避難場所の追加(避難場所14)
ケース7	避難場所の収容人数の再設定(避難場所4, 8, 10, 13)
ケース8	避難場所の追加+避難場所の収容人数の再設定

表-7 ケース 8 の避難所緒元

No	指定避難所・ 指定緊急避難場所	収容人数(人)		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	0	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	0	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
14	ルートイン輪島	301	0	可	可
101	夕陽ヶ丘高台	0	30,000	可	可
合計		11050	72,192		

ケース 6 では、2007 年能登半島地震以降に建設されたホテル(ルートイン輪島)を一時避難場所として追加した。理由としては、海岸沿い立地してはいるが 7 階建てであり多くの避難者を収容できると予測できるためである。

ケース 7 では、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、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、想定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この 2 点を考え使用可能にし、屋外については使用不可とした。さらに、鳳至小学校、河井小学校、鳳至公民館、ふれあい健康センターの屋内については、一時避難場所として利用することとし、一人あたりの占有面積を見直し、収容人数を増加した。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。

ケース 8 では、ケース 6 とケース 7 で追加した条件を両方とも追加したケースである。

シミュレーションの結果を表-8 に示す。

表-8 ケース 5-8 の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
ケース5	12338	4126	16464	12986	608	1535
ケース6	12338	4126	16464	10794	612	3271
ケース7	12338	4126	16464	13353	602	1411
ケース8	12338	4126	16464	11723	614	3161

ケース 6 では、50 分後の避難済みの人数がケース 5 に比べて約 2000 人減少するという結果になり、最も避難状況が悪いということがわかった。その原因として、地震発生時に図-4 に示した観光エリアに存在する約 4000 人の観光客と地域住民がその周辺で最も近い新たに設定したホテル(No. 14)の避難場所へ避難を開始するが、収容人数が 301 人と少なく、すぐに収容量が超過してしまうこと、そして、次に最も近い避難場所へ再避難を開始するが、再避難者が幅員に関わらず同じ道を通ってしまうため、渋滞が発生していることが挙げられる。

ケース 7 では、50 分後の避難済みの人数はあまり増加しなかった。理由としては、避難場所の収容人数を増加させても、ケース 5 での収容量超過人数を補うことはできず、さらに再避難路も幅員に関わらず最短経路で向かってしまい渋滞が発生してしまうためであると考えられる。

ケース 8 では、50 分後の避難済み人数は、ケース 5 と比較してケース 6 で減少した人数とケース 7 で増加した人数分を足し合わせたような結果となり、2 つの条件の相乗効果は起きなかったといえる。

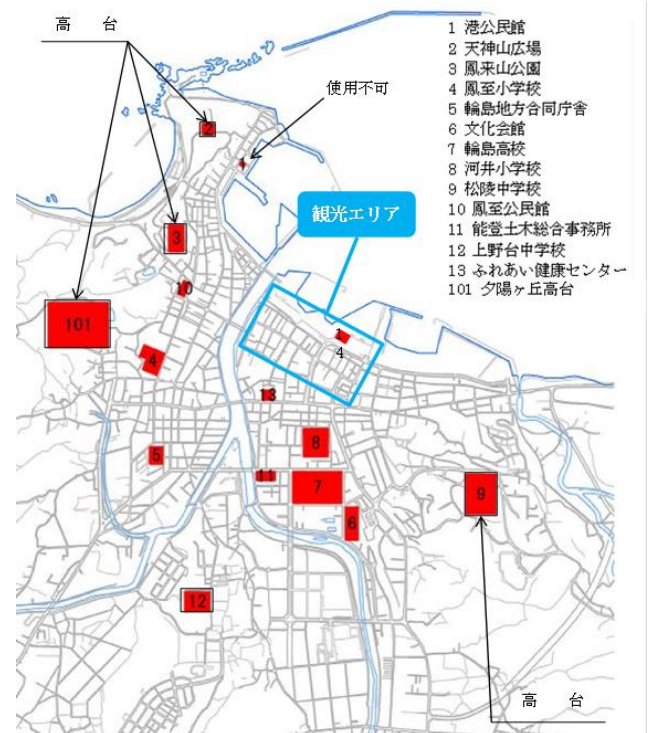


図-4 輪島地区避難場所一覧

6. 避難誘導に着目した地震津波避難シミュレーション

避難場所に着目した地震津波避難シミュレーションでは、収容人数を増加させたにもかかわらず、避難状況はあまり変化がなかったため、避難場所の追加と避難場所の収容人数の再設定を行ったケース8を基本ケースとし、新たにケースを作成する。ケース8の渋滞エリアを図-5に示す。

鳳至エリア、河井エリアに渋滞が発生してしまった大きな原因として以下の点が考えられる。

- ・最短経路を通るという条件によりエージェントが幅員 1m 以下の道を通ってしまうことで、避難速度が低減してしまった。
- ・収容量がオーバーした場合、次に最も近い避難所へ移動するという条件により、すでに収容量がオーバーしている避難所へ再避難してしまった。

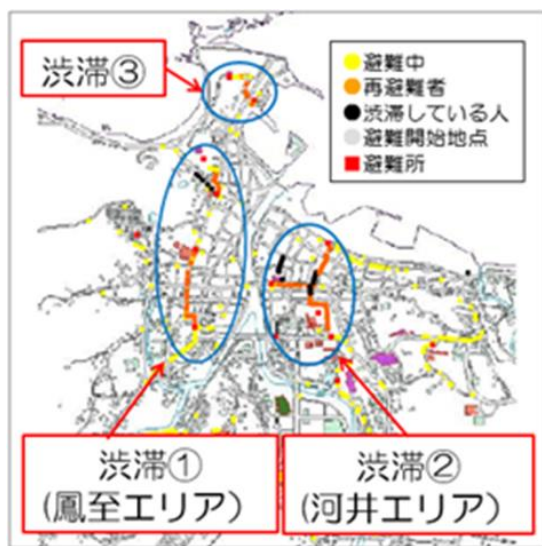


図-5 ケース8の渋滞エリア

このような結果を踏まえ、大藤の研究では、以下の点に着目し、3つのケースを設定した。

- ・最短経路よりも 3m 以上の幅員を選択することを優先し、狭い道避け渋滞を緩和させる。
- ・収容量が多い高台へ再避難を行うことで、さらなる再避難者が生じることを避け、かつ高台に向かわせることで浸水域内からの早期避難を図る。
- ・新たに設定したホテル付近で大規模な渋滞が発生していたことから、新たに設定したホテル付近での避難誘導を行うこととし、無駄な再避難時間の短縮、収容量が多い避難所への誘導を図る。

設定した3つのケースを表-9に示す。また、ケース9, 10, 11での指定避難経路を図-6, 7, 8に示す。

表-9 ケース9-11の概要

	ケース8+
ケース9	避難経路を指定（ルートイン輪島付近での避難誘導なし）
ケース10	避難経路を指定（ルートイン輪島付近での避難誘導あり）
ケース11	避難経路の途中で分散（ルートイン輪島付近での避難誘導あり）

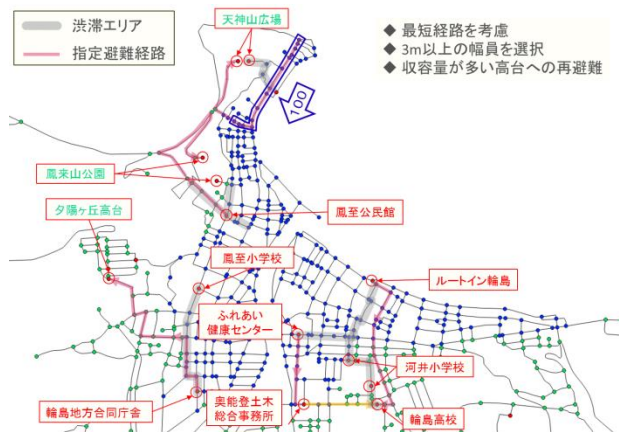


図-6 ケース9の指定避難経路

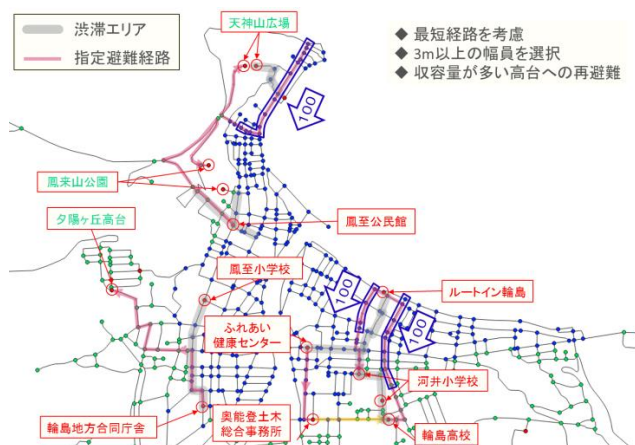


図-7 ケース10の指定避難経路

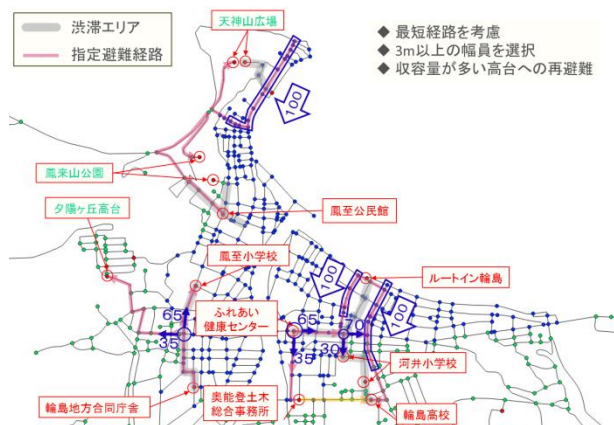


図-8 ケース10の指定避難経路

ケース8において鳳至エリアで輪島地方合同庁舎の収容量が超過したので、次の最寄り避難所の鳳至小学校へ再避難を行っていたが、ケース9では渋滞解消のため勾配の高い夕陽ヶ丘高台へ再避難者を誘導する。また、最短経路を考慮し、幅員 3m 以上の経路を選択している。河井エリアでは新たに設定したホテルとふれあい健康センターからの再避難者をそれぞれ誘導する。ケース8では再避難者が河井小学校へ押し寄せたため、河井小学校付近の手前で大規模な渋滞が発生していた。よって、ふれあい健

康センターからの再避難者を奥能登土木総合事務所に、ルートイン輪島から輪島高校へ誘導を行う。ルートイン輪島から輪島高校への経路は鳳至エリアと同様に、幅員 3m 以上の経路を選択した。他ケースにおいてもケース 9 と同様の考え方で経路を想定する。

ケース 10 では、鳳至エリアではケース 9 と同様に誘導を行う。河井エリアではふれあい健康センターからの再避難者に関してはケース 9 と同様であるが、ケース 8 においてルートイン輪島からの再避難者が 3000 人を超えていたことから、観光客や地域住民をルートイン輪島に一次避難をさせず、避難経路に到達した避難者を河井小学校と輪島高校へ二手に分けそれぞれ誘導する。

ケース 11 では、鳳至エリアでは合同庁舎から夕陽ヶ丘高台への誘導を行うが、鳳至小学校と夕陽ヶ丘高台との分岐点で、幅員比を用いて経路の分散を行う。河井エリアでは、避難経路はケース 10 と同様とする。ただし、ふれあい健康センターからの再避難者を、幅員比を用いて分散する。また、ふれあい健康センターからの再避難者とルートイン輪島から河井小学校への再避難者の合流地点で渋滞が予想されるため、幅員比を用いて分散する。

シミュレーションの結果を表-10 を、ケース 9, 10, 11 の 50 分後のシミュレーションの様子を図-9, 10, 11 に示す。

表-10 ケース 8-11 の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8	12338	4126	16464	11723	614	3161	3775
ケース9	12338	4126	16464	11488	626	187	813
ケース10	12338	4126	16464	13927	625	183	808
ケース11	12338	4126	16464	13688	616	221	837

ケース 9 では、ケース 8 で発生した渋滞地点は緩和されたが、新たな場所で渋滞や再避難者が発生していることがわかる。しかし表-10 に示すように、50 分後に浸水域内に存在した人数は 813 人となり、ケース 8 と比べて 2963 人減少した。だが、避難済みの人数つまり避難所に収容された人数はケース 8 と比べて 235 人減少した。避難済みの人数が減少してしまった理由としては、高台へ避難誘導したことによって、避難距離が延び、避難場所にたどり着くのに時間がかかったためであると考えられる。

ケース 10 では、ケース 9 と同様に、ケース 8 で発生した渋滞地点は緩和されたが、別の場所で渋滞や再避難者が発生した。しかし、ルートイン輪島付近の渋滞は解消された。ケース 10 ではケース 9 の条件に加えてルートイン輪島付近の避難誘導に関する変更を行ったが、表-10 をみると、避難中の人数がケース 9 では 187 人、ケース 10 では 183 人となり、ほとんど変わらないという結果となった。しかし、避難済みの人数つまり避難所に収容された人数がケース 9 では 11488 人、ケース 10 では 13927 人と、ケース 9 に比べて 2441 人増加した。浸水域内

に存在した人数はほとんど変わらなかったが、避難済みの人数が増加した理由として、ルートイン輪島付近で行った避難誘導が考えられる。

ケース 11 では、表-10 より避難開始から 50 分後に浸水域内に存在した人数は、ケース 8 に比べて 2939 人減少し、ケース 10 に比べ 28 人増加する結果となった。この原因として、次のことが考えられる。まず鳳至エリアでは、ケース 10 では鳳至小学校手前の道路は避難経路ではなかったが、ケース 11 では避難経路上で分散を行っており、図-11 をみると、浸水域内である鳳至小学校手前に再避難者が存在してしまっていることから、避難開始から 50 分後に浸水域内に存在した人数が増加したと考えられる。また、河井エリアでは、ふれあい健康センターからの再避難者を河井小学校方面と奥能登土木総合事務所方面に分散したため、ふれあい健康センターから河井小学校、さらに輪島高校へと向かう途中の浸水域内で避難開始 50 分後に達してしまったと考えられる。

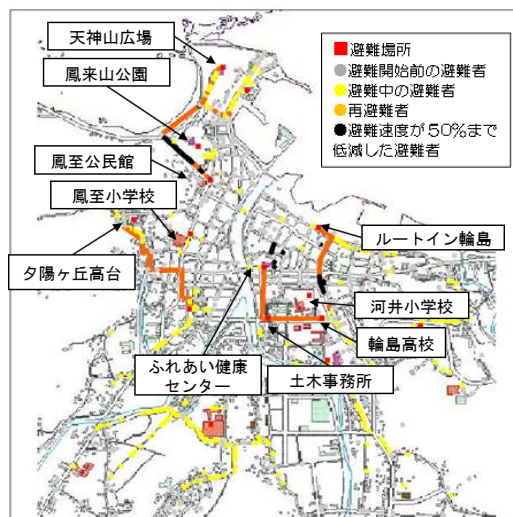


図-9 ケース 9 の 50 分後のシミュレーションの様子

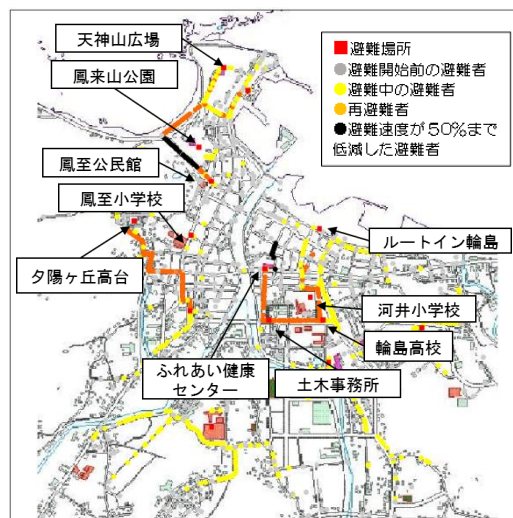


図-10 ケース 10 の 50 分後のシミュレーションの様子

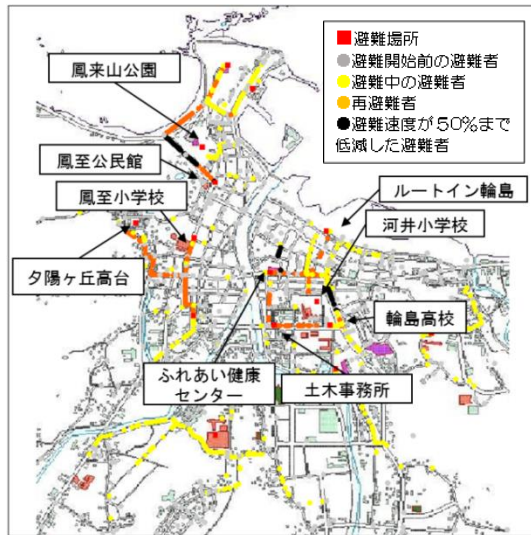


図-11 ケース 11 の 50 分後のシミュレーションの様子

7. 結論

これまで行ってきたシミュレーションの中で、避難誘導を行ったケースが最も効果的であるということがわかった。特に、観光客を誘導することによって効率よく避難させることができることが明らかになった。ただし、避難誘導時に避難距離が延びた場合、避難済みの人数が少なくなる場合もあることもわかった。また、幅員比を用いた避難誘導は、特に避難状況に影響は与えなかった。結論としては、避難開始時点から遠くても、収容人数の多い避難場所に幅員が大きい避難路を通るように誘導することで、効率よく避難させることができ、多くの避難者が避難できることがわかった。

しかし、本研究のシミュレーションの問題点として、どのケースにおいても地震発生から 50 分が経過しても避難を開始していない避難者が 600 人程度もいるということがわかる。これは、シミュレーシ

ョン上の避難者の避難開始時間が、3 章で述べたように、東日本大震災での実績を利用しているためである。よって今後は、研究対象地域である輪島地区の住民を対象とした避難開始時間に関するアンケートを行い、輪島地区住民の避難開始時間に再設定を行う必要がある。

また、これまで検討したケース 1～11 は、研究対象地域の輪島地区住民の意見が反映されていない。今後、輪島地区住民向けのワークショップを行い、避難経路や危険な場所など、地域住民ならではの情報を得て、シミュレーションに反映させる必要がある。

参考文献

- 1) 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，平成 25 年度金沢大学博士論文，p.80-85，2013.
- 2) 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，p.38，2002.
- 3) 高知県海洋局漁港課：漁村における津波対策基本方針，pp.5-23，2005.
- 4) 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，pp.2-5，2008.
- 5) 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），pp.3-10-3-12，2012.
- 6) 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，p.61，2013.
- 7) 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.
- 8) 石川県：平成 23 年度石川県津波浸水想定調査概要版，pp.13-24，2011.

A STUDY ON THE MOST SUITABLE EVACUATION ROUTE USING THE EARTHQUAKE TSUNAMI EVACUATION SIMULATION ～CASE STUDY OF WAJIMA DISTRICT IN WAJIMA CITY～

Yosuke KOSAKA, Naoki NOMURA, Aiko OTO and Masakatsu MIYAJIMA

In this study, the surrounding of the Wajima City harbor area where the Noto Hanto Earthquake was experienced in 2007 is targeted. The most suitable evacuation route in the region is discussed by simulating the cases that tsunami outbreak time, a season, a place of refuge and a refuge instruction are parameters, Earthquake tsunami evacuation simulation using the GIS data which Wajima City held and multi agent system is conducted.