

## 積雪期を考慮した観光客の津波避難シミュレーション ～北海道函館市重要伝統的建造物群保存地区を対象として～

A Tourists' Tsunami Evacuation Simulation in Heavy Snowfall Season: A Case Study for the Hokkaido Hakodate-shi The Important Preservation District for Groups of Historical Buildings

金度源<sup>1</sup>・與田直斗<sup>2</sup>・大窪健之<sup>3</sup>・林倫子<sup>4</sup>

Dowon Kim, Naoto Yoda, Takeyuki Okubo and Michiko Hayashi

<sup>1</sup>立命館大学准教授 衣笠総合研究機構 歴史都市防災研究所 (〒603-8341 京都市北区小松原北町58)

Associate Professor, Ritsumeikan University, Kinugasa Research Organization, Institute of Disaster Mitigation of Urban Cultural Heritage

<sup>2</sup>国土交通省 北海道開発局 (〒100-8918 東京都千代田区霞が関2-1-3)

Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

<sup>3</sup>立命館大学教授 理工学部都市システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, Ritsumeikan University, Dept. of Civil Engineering

<sup>4</sup>関西大学助教 環境都市工学部都市システム工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)

Assitant Professor, Kansai University, Dept. of Civil Engineering

After the Great East Japan Earthquake, many areas of Japan have been coming up with Regional Plan for Disaster reconsidering the evacuation for tsunami. However, not many of the plans include the effects on evacuation caused by snow in heavy snowfall areas. In Preservation Districts for Groups of Historic Buildings, many tourists come to visit for the attractive cityscape and architecture. Meanwhile, it is difficult for this area to devise a countermeasure of hardware side for disaster. Therefore this area have no choice to devise a countermeasure of software side for disaster to protect for tourists from disaster. For this reason, in this research, a tsunami evacuation simulation for the Preservation District with heavy snowfalls in Hakodate-city, Hokkaido will be performed for both snowy and non-snowy period and will extract problems to improve the evacuation.

**Keywords :** *heavy snowfall areas, tourists evacuation, evacuation-plan for tsunami, evacuation simulation*

### 1. はじめに

#### (1) 背景

四季折々の季節が楽しめる日本ではその自然の豊かさと独自の文化によって築き上げた歴史ある町並みがあり、国内だけでなく、世界からも多くの観光客が訪れる国である。一方で、日本は世界有数の地震大国であり、最近では2011年3月11日に発生した東日本大震災がマグニチュード9.0を記録し、世界でも類を見ない規模の地震災害となり、多くの死者を出した。また、その死因の92.4%は津波に巻き込まれた溺死であったことから、地震発生から津波襲来までの時間になるべく早く避難を完了することが、以降の地域防災計画において重視されるようになってきた。その結果、日本各地で、東日本大震災の教訓を生かした地域防災計画が立案されるようになってきた。しかし、地域防災計画において積雪期における防災計画を立案しているものは少なく、積雪期における観光客に対する災害時の対応に関しても明記されているものは少ない。既往の

研究としては、無積雪期と積雪期の避難速度を計測比較したもの<sup>1)</sup>や、積雪期における避難圏域に基づく避難場所到達圏域を空間的に明らかにしたもの<sup>2)</sup>、積雪寒冷期の津波避難所の実態調査行ったもの<sup>3)</sup>等がある。その一方で、北海道新幹線の開通に伴い観光客の増加が見込まれる北海道においては、特に積雪期における観光防災の観点をより強く防災計画に盛り込んでいく必要がある。橋詰<sup>4)</sup>らの研究によると、他の地域と比較しても北海道の函館市における観光防災の取り組みについて高い重要性を示されているが、避難における阻害要因として考えられる積雪期を考慮した観光客の避難経路のキャパシティを考慮した研究は見当たらない。北海道函館市を訪れる観光客数は、平成26年度に行われた調査<sup>5)</sup>によると、年間で約484万人であり、前年と比べ約2万人増加であり、積雪期である下半期（10月～3月）だけで見ても、約168万人となっており、前年比約11万人増加と年々観光客数は増加傾向にある。積雪量に関しては、年間を通して378cm<sup>6)</sup>となっており、積雪期での避難における雪の影響を無視することはできない。さらに、函館市が想定している津波は発生から最短35分で津波の第一波が到達することを想定しており<sup>7)</sup>、重要伝統的建造物保存地区周辺は海に面している観光名所が多いことから、各観光地に滞在している観光客は、津波発生時には函館市が設定した「津波避難所」<sup>8)</sup>に避難誘導されることが想定される。

## (2) 目的

以上より本研究では北海道函館市において観光客数が最も多いとされる重要伝統的建造物群保存地区を中心とする観光地の中で、函館市が指定している津波避難所及び、ウォーターフロントが避難訓練時に避難所として想定している場所に観光客が避難する際に危惧される課題を明らかにし、その対策を検討する。

## 2. 避難シミュレーションモデルの構築

### (1) シミュレーションに用いたソフトウェアについて

本研究の避難シミュレーションには、出口ら<sup>9)</sup>による社会シミュレーションモデル構築用言語SOARS (Spot Oriented Agent Role Simulator) を使用した<sup>補注1)</sup>。SOARSを通してはエージェントベースモデルにより避難者の動線や通路の条件設定ができることから、エージェント、スポット、ロール（役割）の3つの要素を用いてモデルを構築していく。SOARSで避難シミュレーションモデルを構築する場合、エージェントは避難者を、スポットは避難者の滞在できる施設や移動できる通路などを表し、ロールでは避難者の挙動や施設・通路の状態（混雑しているか、通行可能か等）を定義する。避難場所となるスポットを決め、避難者となるエージェントがそのスポットに向かって移動するように設定し、そのスポットにエージェントが辿り着いた時点で避難が完了する。このシミュレーションソフトを用いて、無積雪期と比較して積雪期では積雪の影響でどの程度の支障をきたすのかを出口ら<sup>9)</sup>が開発している社会シミュレーションモデル構築言語SOARSを用いてシミュレーションを行い、抽出された課題に対する改善案もシミュレーションを通して検証する。

### (2) 避難シミュレーションにおけるパラメータ設定について

通路の幅や面積などから、それぞれに対応するスポットにおいて、一度に流入可能な人数や許容人数を設定した（表1・表2）。避難者の移動速度に関しては、国土交通省都市局街路交通施設科の資料<sup>10)</sup>より、歩行速度を0.62m/sとして設定し、積雪期の歩行速度については、大堀ら<sup>11)</sup>より低減率を0.8として設定し、歩行速度を0.5m/sとした<sup>補注2)</sup>。移動時間に関しては、例えば、移動に10分かかる通路を表現する場合、対応するスポットに10分間エージェントが滞在し、10分経過したら次のスポットに移動するという形で表現した。また、混雑時のスポット内の移動を考慮し幅員に対して最大に立ち並べられる行の人数を行列混雑人数とし、一人あたりに2mと設定した（幅員/2mを切り上げ）。各スポットの出入口において、この行列混雑人数を超えて避難者が寄せられる場合には、通過や避難所に入られずに直前のスポットで渋滞が発生することになる。

積雪期の道路幅員については、積雪が原因となり道路閉塞が発生することを想定した。函館市における積雪期には、除雪により通路の端に雪が集められることが原因となって、通路の幅員が減少することを想定し、幅員の減少率を10%～50%程度の場合として任意に想定した<sup>補注3)</sup>。シミュレーションの実行結果、閉塞率10%～50%の間では避難時間に大きな差が見られなかったことから、本研究では、条件が一番悪い50%の道路閉塞が起こる場合を積雪期の代表例として用いる。

表1 各スポットに設定したパラメータ（無積雪期）

	距離 (m)	幅員 (m)	面積 (㎡)	許容人数 (人)	歩行速度 (m/s)	移動時間 (秒)	行列遅延人数 (人)
道路1	140	15	2100	8400	0.62	226	8
道路2	270	15	4050	16200	0.62	435	8
道路3	55	15	825	3300	0.62	89	8
二十間坂1	190	30	5700	22800	0.62	306	15
二十間坂2	80	30	2400	9600	0.62	129	15
二十間坂3	65	30	1950	7800	0.62	105	15
二十間坂4	80	30	2400	9600	0.62	129	15
二十間坂5	175	30	5250	21000	0.62	282	15
海峽通り(道路3)	40	20	800	3200	0.62	65	10
海峽通り(二十間坂3)	115	20	2300	9200	0.62	185	10
海峽通り2	75	20	1500	6000	0.62	121	10
海峽通り3	230	20	4600	18400	0.62	371	10
海峽通り4	150	20	3000	12000	0.62	242	10
海峽通り5	130	20	2600	10400	0.62	210	10
大三坂1	55	10	550	2200	0.62	89	5
大三坂2	80	10	800	3200	0.62	129	5
大三坂3	185	10	1850	7400	0.62	298	5
八幡坂通り	60	20	1200	4800	0.62	97	10
八幡坂通り2	75	20	1500	6000	0.62	121	10
八幡坂通り3	185	20	3700	14800	0.62	298	10
山手通り	70	15	1050	4200	0.62	113	8
山手通り2	140	15	2100	8400	0.62	226	8
山手通り3	230	15	3450	13800	0.62	371	8
山手通り4	195	15	2925	11700	0.62	315	8
基坂1	85	35	2975	11900	0.62	137	18
基坂2	75	35	2625	10500	0.62	121	18
基坂3	100	35	3500	14000	0.62	161	18
東坂1	60	20	1200	4800	0.62	97	10
東坂2	100	20	2000	8000	0.62	161	10
東坂3	200	20	4000	16000	0.62	323	10
西部臨海通り	70	15	1050	4200	0.62	113	8
西部臨海通り2	135	15	2025	8100	0.62	218	8
西部臨海通り3	235	18	4230	16920	0.62	379	9
西部臨海通り4	105	18	1890	7560	0.62	169	9
港が丘通り	100	10	1000	4000	0.62	161	5
港が丘通り2	160	10	1600	6400	0.62	258	5
港が丘通り3	230	10	2300	9200	0.62	371	5
港が丘通り4	120	10	1200	4800	0.62	194	5

表2 各スポットに設定したパラメータ（積雪期）

	距離 (m)	幅員 (m)	面積 (㎡)	許容人数 (人)	歩行速度 (m/s)	移動時間 (秒)	行列遅延人数 (人)
道路1	140	14	1890	7560	0.5	280	7
道路2	270	14	3645	14580	0.5	540	7
道路3	55	14	742.5	2970	0.5	110	7
二十間坂1	190	27	5130	20520	0.5	380	14
二十間坂2	80	27	2160	8640	0.5	160	14
二十間坂3	65	27	1755	7020	0.5	130	14
二十間坂4	80	27	2160	8640	0.5	160	14
二十間坂5	175	27	4725	18900	0.5	350	14
海峽通り(道路3)	40	18	720	2880	0.5	80	9
海峽通り(二十間坂3)	115	18	2070	8280	0.5	230	9
海峽通り2	75	18	1350	5400	0.5	150	9
海峽通り3	230	18	4140	16560	0.5	460	9
海峽通り4	150	18	2700	10800	0.5	300	9
海峽通り5	130	18	2340	9360	0.5	260	9
大三坂1	55	9	495	1980	0.5	110	5
大三坂2	80	9	720	2880	0.5	160	5
大三坂3	185	9	1665	6660	0.5	370	5
八幡坂通り	60	18	1080	4320	0.5	120	9
八幡坂通り2	75	18	1350	5400	0.5	150	9
八幡坂通り3	185	18	3330	13320	0.5	370	9
山手通り	70	14	945	3780	0.5	140	7
山手通り2	140	14	1890	7560	0.5	280	7
山手通り3	230	14	3195	12420	0.5	460	7
山手通り4	195	14	2632.5	10530	0.5	390	7
基坂1	85	32	2677.5	10710	0.5	170	16
基坂2	75	32	2362.5	9450	0.5	150	16
基坂3	100	32	3150	12600	0.5	200	16
東坂1	60	18	1080	4320	0.5	120	9
東坂2	100	18	1800	7200	0.5	200	9
東坂3	200	18	3600	14400	0.5	400	9
西部臨海通り	70	14	945	3780	0.5	140	7
西部臨海通り2	135	14	1822.5	7290	0.5	270	7
西部臨海通り3	235	16	3807	15228	0.5	470	8
西部臨海通り4	105	16	1701	6804	0.5	210	8
港が丘通り	100	9	900	3600	0.5	200	5
港が丘通り2	160	9	1440	5760	0.5	320	5
港が丘通り3	230	9	2070	8280	0.5	460	5
港が丘通り4	120	9	1080	4320	0.5	240	5

重要伝統的建築物群保存地区（以下、伝建地区と略称する）周辺にある避難所から避難可能距離500mの円を描き、その円の中にある観光地から観光客が避難を開始すると設定し、伝建地区周辺の避難所に逃げ込んでくる可能性のある観光地全体からの避難シミュレーションを構築した。（図1参照：赤の点線内）

施設および通路をスポットで表現し、避難者となるエージェントを配置した。本研究における避難者とは、積雪のある道に不慣れであり、土地勘のない観光客を想定している。一方で、本要素はシミュレーションにおけるパラメータとしては考慮できず、地震災害が発生した場合には、周囲の状況を避難者が危険だと認識し、全員が一斉に避難を開始すると想定し、エージェントはシミュレーション開始と同時に、設定した「指定避難所」に向かって避難を開始することとした。

本研究における対象地域内の指定避難所は、企業局（アクロス十字街）、函館西高等学校、函館市立弥生小学校の計3箇所である。

対象地の周辺には「津波避難ビル」も存在するが、対象地区内のその全てがホテルなどの宿泊施設である。これらの津波避難ビルは津波からの一時避難場所もしくは緊急避難場所としての利用が可能であるが、本研究調査時（2015年）には津波避難ビルの看板などの整備がまだ整ってなく、観光客に対しては緊急避難先としての認識が難しと仮定し、本研究では避難場所としては考慮しないこととする。避難経路選択時は、分岐点で等確率で

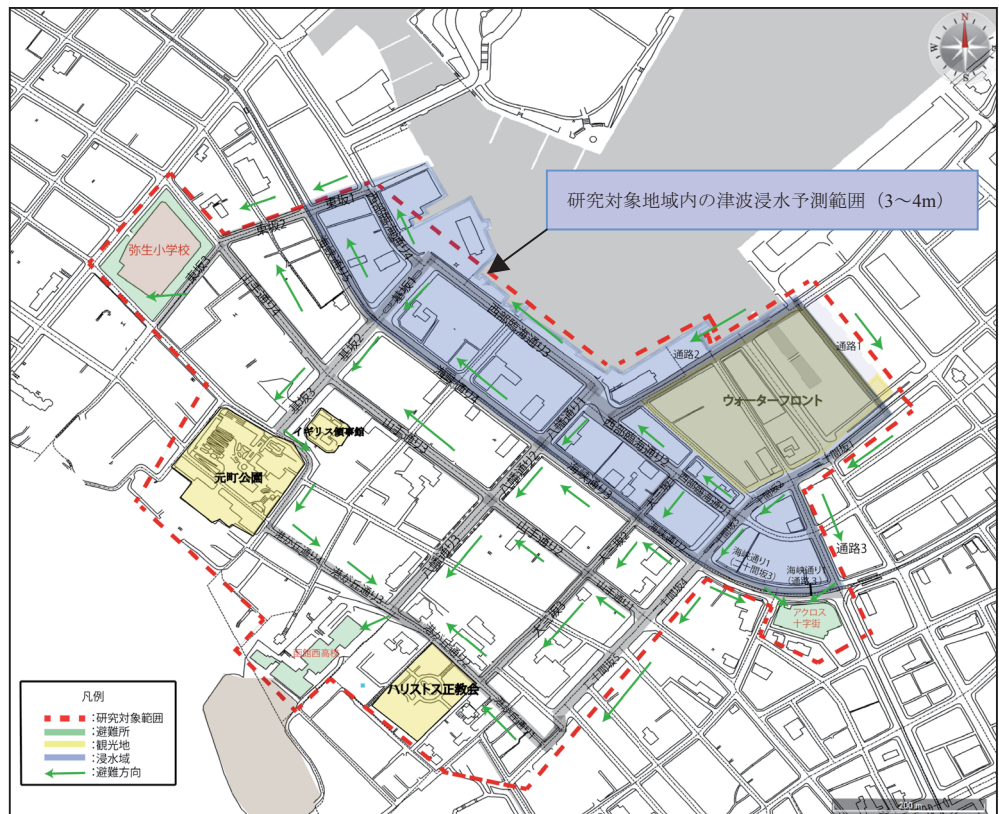


図1 研究対象地（電子地図帳ゼンリン13の上に筆者加筆）

経路選択する。避難経路に使用する通路については、災害が発生しても道路が完全に閉塞しない幅員15m以上の通路<sup>8)</sup>と、避難所に直結してそこを通るほかに避難所にたどり着けない場合の通路のみを選択した。避難方向に関しては「避難者は海から離れるように避難すること」、「今いる場所から標高が下がる方向には避難しないこと」を前提とした避難経路を想定した。図1にその避難経路と避難行動の方向を示す。

それぞれの避難場所の施設内と外空間の許容人数は、表3、表4に示す。許容人数は、函館市が出している「地域防災計画」<sup>8)</sup>に示されている各避難所の収容可能人数をもとに設定した。また、積雪期では屋外を利用した避難が困難であることを想定するため、グラウンドの収容人数を0として設定した。

表3 避難所の許容人数（無積雪期）

施設名	許容人数	
	施設内	グラウンド
アクロス十字街	600	—
函館西高校	2500	800
弥生小学校	1500	1500

表4 避難所の許容人数（積雪期）

	許容人数	
	施設内	グラウンド
アクロス十字街	600	—
函館西高校	2500	—
弥生小学校	1500	—

避難者の初期配置に関しては、現地調査で人数を計測した結果より、各スポットにおける観光客の分布状況を求め配置した。現地調査の日時は、市が出している統計<sup>5)</sup>の結果から、積雪期間で観光客数の最も多くなる12月の休日に実施した。よって本研究では、2015年12月19日と2015年12月20日に実施した。8人で観光スポットの出入口を同時に10分間計測し、それを各観光地が開園する10時から17時の間で複数回行い、時間内に観光スポットに流入した人の数と流出した人の数の差をその観光スポットの滞在人数として使用していく。その結果を表5に示す。

表5 実地調査の結果

場所 時間	元町公園	滞在人数(人)	イギリス領事館	滞在人数(人)	二十間坂	滞在人数(人)
10:00~10:10	25	25	4	4	13	13
10:20~10:30	18	43	2	6	17	30
10:40~10:50	13	56	4	10	19	49
11:00~11:10	49	105	7	17	21	70
11:20~11:30	0	105	2	19	11	81
11:40~11:50	-22	83	-1	18	22	103
13:00~13:10	13	96	1	19	21	124
13:20~13:30	35	131	-4	15	11	135
13:40~13:50	30	161	2	17	4	139
14:00~14:10	2	163	2	19	7	146
14:20~14:30	57	220	4	23	9	155
14:40~14:50	15	235	10	33	7	162
15:00~15:10	6	241	4	37	10	172
15:20~15:30	78	319	-3	34	11	183
15:40~15:50	11	330	-5	29	6	189
16:00~16:10	-8	322	21	50	8	197
16:20~16:30	6	328	-7	43	5	202
16:40~16:50	34	362	-4	39	7	209
場所 時間	ウォーターフロント	滞在人数(人)	ハリストス正教会	滞在人数(人)	全体の時間ごとの滞在人数(人)	全体の累積滞在人数(人)
10:00~10:10	123	123	54	54	219	219
10:20~10:30	106	229	32	86	175	394
10:40~10:50	127	356	46	132	209	603
11:00~11:10	200	556	-8	124	269	872
11:20~11:30	193	749	-26	98	180	1052
11:40~11:50	131	880	-4	94	126	1178
13:00~13:10	144	1024	21	115	200	1378
13:20~13:30	112	1136	10	125	164	1542
13:40~13:50	211	1347	1	126	248	1790
14:00~14:10	217	1564	23	149	251	2041
14:20~14:30	111	1675	8	157	189	2230
14:40~14:50	161	1836	2	159	195	2425
15:00~15:10	221	2057	51	210	292	2717
15:20~15:30	233	2290	-11	199	308	3025
15:40~15:50	216	2506	-5	194	223	3248
16:00~16:10	340	2846	2	196	363	3611
16:20~16:30	425	3271	3	199	432	4043
16:40~16:50	544	3815	13	212	594	4637

イギリス領事官を除くすべての計測箇所では16:40~16:50の滞在人数が最大であったが、時間は考慮せず各スポットの最大滞在人数に基づいてシミュレーション開始時の避難者の初期配置を設定した。各スポットの最大滞在人数を合計すると4,648名（元町公園：362名+イギリス領事館：50名+二十間坂：209名+ウォーターフロント：3,815名+ハリストス正教会：212名）になるが、シミュレーションでは安全率も考慮して5,000人と設定し、それぞれのスポットに割り当てた。

なお、各シミュレーションは計10回を繰り返し行いその平均値を求めることとした。その理由としてはシミュレーションの結果値に10人ほどの差が見られたからである。

### 3. 「避難所」への避難シミュレーションについて

#### (1) シミュレーション結果と考察

無積雪期と積雪期のシミュレーション結果を見てみると、無積雪期の避難完了時間は71分であったが、積雪期は79分であった。また、積雪期には、グラウンドが使用できない分、「弥生小学校」では、避難者数が許容人数を上回ってしまった。そこで、弥生小学校の人数が許容範囲を超えないようにすると今度は「函館西高校」で許容人数を400人程度上回ってしまった。そこで、「元町公園」と「ハリストス正協会」は、隣接した場所に屋内を利用でき、津波の浸水域からも離れているので、この2箇所に滞在していた観光客（約500人程度）は、それぞれ「旧函館区公会堂」と「遺愛幼稚園」に留まることとしてシミュレーションを行うと、許容範囲を超えることなく避難を終えることができた。

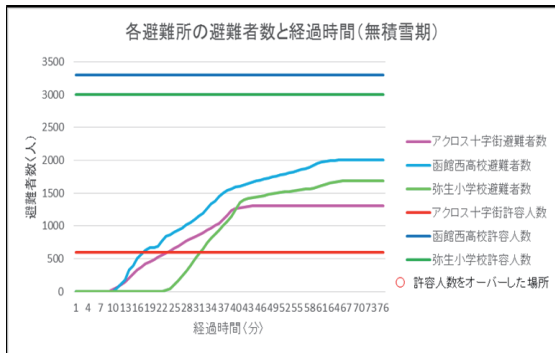


図2 シミュレーション結果（無積雪期）

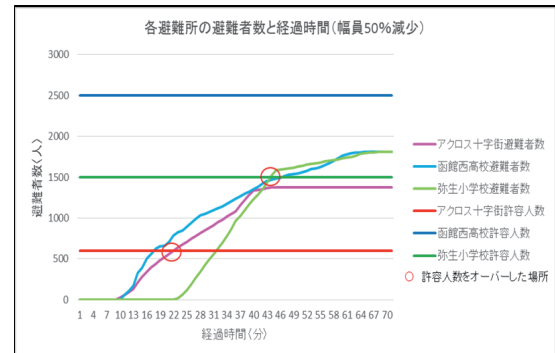


図3 シミュレーション結果（積雪期）

積雪期は無積雪期と比較して、道路幅員の減少や歩行速度が減少しているため、避難にかかる時間が8分ほど多くなっていると考えられる。さらに、函館市が出している津波到達予想時刻の35分を大幅に超えてしまっていた。そこで、改善案として以下のことが考えられる。

- 二十間坂の道路条件を改善し、観光客の誘導数を増やす。
- 大三坂の道路条件を改善し、観光客の誘導数を増やす。
- 八幡坂の道路条件を改善し、観光客の誘導数を増やす。
- 基坂の道路条件を改善し、観光客の誘導数を増やす。
- 西部臨海通りの道路条件を改善して歩行速度を改善する。
- 避難開始から津波到達時間の35分時点で避難者が浸水域外に避難できるようにする。

i) ~ v) においてこれらの通路を選定した理由としては、観光客数が多い「ウォーターフロント」に直接接する通路、もしくは、それらの通路に接していて、海から離れる方向に避難できる通路の道路条件を改善することで、より早く避難が完了するのではないかと考えたからである。ここで言う道路条件とは、積雪による歩行速度の低下、通路の幅員減少のことを示す。また、シミュレーションの結果から、本研究対象地において、津波到達時間の35分までに、各観光地から避難者全員を避難所まで避難させることが難しいため、35分時点で、津波の到達が予想されるエリアから避難者をより早く逃がすことが出来ないか比較・考察を行った。

#### (2) i) ~ v) の各通路の道路条件を改善する。

避難所の中で、「函館西高校」と「弥生小学校」が避難に時間を要することがわかる。そこで、「ウォーターフロント」と「函館西高校」を繋ぐ通路と「ウォーターフロント」と「弥生小学校」を繋ぐ通路を改善することで避難時間がどのように変化するか検証した。避難時間が一番短縮されたのは、「二十間坂」と「大三坂」を改善した場合であり、他の通路を改善した場合は1~2分の短縮でとどまっていたのに対して、この2つの通路は避難時間を4分短縮することができた。この理由としては「二十間坂」と「大三坂」が、避難者の初期滞在数が多い「ウォーターフロント」に近い通路であったことから、より効率的な避難が実行で

きたためである。また、「ウォーターフロント」が面している「二十間坂」の道路環境を改善することで、より多くの観光客が早く「函館西高校」に避難出来ており、他の通路よりも大幅に時間短縮できていた。シミュレーションの結果を以下の(図4)～(図6)に示す。

(3) vi) 避難開始から35分時点で避難者が浸水域外に避難できるようにする。

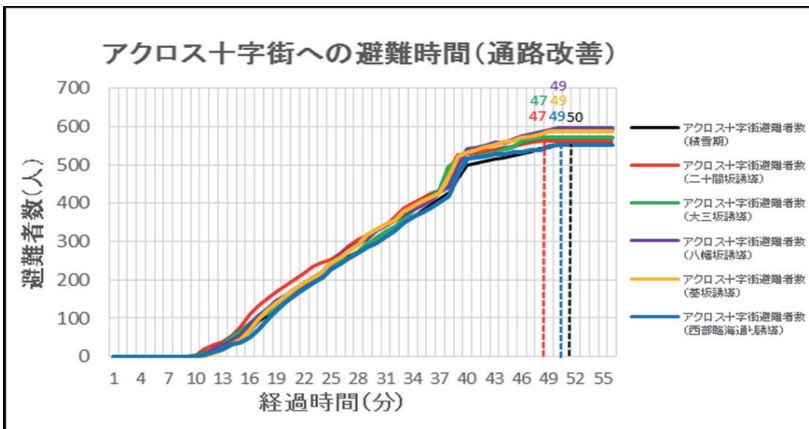


図4 アクロス十字街の避難完了時間の変化

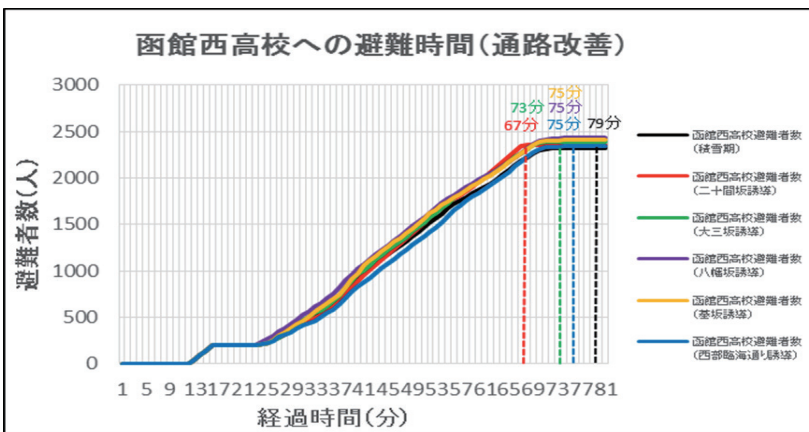


図5 函館西高校の避難完了時間の変化

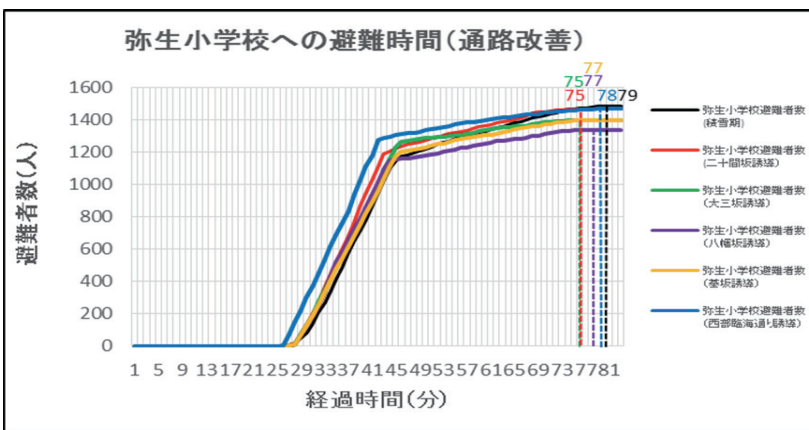


図6 弥生小学校の避難完了時間の変化

i)、ii)のシミュレーションの結果から津波到達予想時刻の35分時点で浸水域内に残っている避難者がいた。(以下、避難困難者とする。)浸水域内にある通路の中で、避難困難者数が多い「通路3」、「二十間坂2」、「二十間坂3」、「海峡通り3」、「海峡通り4」、「西部臨海通り1」、「西部臨海通り2」を抽出し、その改善に努めた。「通路1」、「二十間坂1」、「西部臨海通り1」、「西部臨海通り2」、「海峡通り3」の道路環境を改善する場合、避難困難者数を0にするまでの時間は3分ほど短縮できたが、まだどの通路にも35分段階で避難困難者が残っていた。「西部臨海通り1」「西部臨海通り2」、「海峡通り3」「海峡通り4」への経路選択確率を0にし、浸水域から出る方向の経路に誘導した結果、「海峡通り3」、「海峡通り4」、「西部臨海通り1」、「西部臨海通り2」において35分までに避難困難者数を0とすることができていたことに加え、避難困難者数が浸水域からいなくなるまでの時間も13分ほど短縮することができた。「二十間坂2」の経路選択確率を下げ、「通路3」から「アクロス十字街」へ避難させ場合、「二十間坂2」自身は避難困難者数が0になるまでの時間を2分ほど短縮することができたが、一方で、「通路3」を利用する避難者が増えた結果、「通路3」は避難者が滞在する時間が延びた。全体としては避難困難者数が0になるまでの時間を短縮することができたものの、「アクロス十字街」への避難者数が超過されていた。

#### 4. 結論

##### (1) まとめ

本研究では、積雪期には、外部空間での避難が難しいと考えられるため、グラウンドなどの屋外空間を利

用しないものと考え、予想される観光客数に対して避難所が足りなくなった。また、積雪による歩行速度の減少に伴い無積雪期が71分で避難完了していたのに対し、積雪期は79分と避難時間が8分ほど（10回平均値）が多くなっていた。これらは幅員の減少と歩行速度の低下によるものであろうかと考えられるが、これらの課題に加え、時期に関係なく函館市の重要伝統的建造物群保存地区では、津波到達予想時刻になっても、避難者が取り残される場所があった。これらの問題を解消するために以下のような改善案を提案した。

(a) 避難所の不足に対して

「旧函館区公会堂」や「遺愛幼稚園」といった浸水域外に存在し、かつ観光地に隣接していて避難に時間を要さない場所を新たに避難施設として取り入れる。

(b) 積雪や路面凍結による歩行速度の低下に関して

改善案1：通路幅が広く、多くの避難者を誘導可能で、「函館西高校」へと続く「二十間坂」の道路状況の改善を行う。

改善案2：「函館西高校」へと続く「大三坂」の道路状況の改善を行う。

改善案3：「函館西高校」へと続く「八幡坂」の道路状況の改善を行う。

改善案4：「函館西高校」へと続く「基坂」の道路状況の改善を行う。

改善案5：避難者数の多くが初期に滞在している「ウォーターフロント」から「弥生小学校」へと続く「西部臨海通り」の道路状況の改善を行う。

(c) 津波到達時間の35分時点で浸水域から出ることができるようにする。

以上の改善案をもとにシミュレーションを構築し実行した。

シミュレーションの結果より、

(a) 「元町公園」に近い「旧函館区公会堂」と「ハリストス正教会」に近い「遺愛幼稚園」を新たに避難所として利用することで避難所の不足は改善された。

(b) 歩行速度の低下による避難速度の低下に関しては、「西部臨海通り」の道路環境を改善するよりも「二十間坂」を改善した方が、避難時間の短縮につながった。しかし、「函館西高校」への避難だけで見てみると、「二十間坂」を改善した場合、何もしていない場合よりも12分も避難時間を短縮することができていた。

(c) また、津波到達予想時刻である35分以内の避難所までの避難が距離的に難しかったことから、浸水域内にある通路の中で、避難困難者数が多い「通路3」、「二十間坂2」、「二十間坂3」、「海峡通り3」、「海峡通り4」、「西部臨海通り1」、「西部臨海通り2」を抽出し、その改善に努めた。

シミュレーションの結果をしてみると、「通路1」、「二十間坂1」、「西部臨海通り1」、「西部臨海通り2」、「海峡通り3」の道路環境を改善する場合と、「西部臨海通り1」、「西部臨海通り2」、「海峡通り3」「海峡通り4」への経路選択確率を0にし、浸水域から出る方向の経路に誘導した場合、「二十間坂2」の経路選択確率を下げ、「通路3」から「アクロス十字街」へ避難させた場合を比較した結果、「西部臨海通り1」、「西部臨海通り2」、「海峡通り3」「海峡通り4」への経路選択確率を0にし、浸水域から出る方向の経路に誘導した場合が一番避難困難者数を少なくすることができることがわかった。

(d) 「旧函館区公会堂」や「遺愛幼稚園」といった避難所としての利用が望めて、観光地に近い場所を新たに避難所として利用することに視野に入れ、「二十間坂」は優先的に積雪の影響が少なくなるようにロードヒーターや地域住民、市役所の連動した除雪などの積雪対応をしていくことが重要である。また、避難経路として、「西部臨海通り1」、「西部臨海通り2」、「海峡通り3」「海峡通り4」などのような浸水域内で平行に移動する通路をなるべく使用しないように誘導していくことが、函館市の避難には重要である。

## (2) 今後の課題

本研究の課題としては、シミュレーションの対象である観光客について「積雪のある道に不慣れであり、土地勘のない」災害時要援護者としてのパラメータは設定できず、対象地区内の指定避難所に向かって避難が可能な設定をしているところにある。また、除雪作業による道路幅員の減少率についても50%と任意に設定している。この点を考慮して本研究における結果を理解するには十分な注意が必要であろう。

避難路として利用している通路は幅員が大きく車も通行可能な状態になっている。本研究においてシミュレーションモデルを構築した際には、車による幅員の減少は考慮していない。また、シミュレーションに用いた積雪期の歩行速度の低減率は、積雪量に関わらず、0.8で統一しているが、実際には、積雪量によってその条件が変わるため、積雪量ごとに歩行速度の低減率を変更していく必要がある。避難経路に関しては、幅員が大きいものを選択して経路を組んだため、より現実に近いシミュレーション結果を得るならば、細い通路も考慮していかなければならない。

本研究の対象地周辺には商業施設や住宅も多く存在しているので、こうした地域の人々も考慮したシミュレーションを行う必要がある。一方で、本研究で指摘している通りに積雪期における地区の避難所は、既に観光客だけでも受け入れ可能な許容人数を超えている。本来であれば避難所とは、地区住民の避難予想人口に基づいて設置される場合が一般的であるため主な使用主体は住民と考えられる一方で、観光客が避難者に加わることで、現実社会では大きな混乱を招く可能性があると考えられる。

また、本研究において挙げた改善案を実施するに当たり、事業主体や、誘導などをするための案内板のデザインなどは実社会での課題として挙げられる。

**謝辞：**本研究は、科学研究費基盤研究C「社寺等地域遺産の震災被災者支援拠点としての活用実態と計画指針に関する研究」に基づくものです。現地調査におきましては、北海道教育大学函館校の方々より北海道函館市での2日間に及ぶ現地調査にご協力していただきました。心より感謝申し上げます。

## 補注

1. SOARS -Spot Oriented Agent Role Simulator-は、プログラミングの知識を必要とせず、誰にでも簡単に社会シミュレーションモデルが構築できるように設計されたエージェントベースシミュレーション用の言語であり、筆者らは短期間でのプログラムの構築と解析のために本シミュレーション言語を使用することとした。
2. 本研究における歩行速度は、現地での観光客構成について基礎的な調査が不十分であったために、男女差や年齢差による区分をせずに一律として安全側に設定している。
3. 除雪作業で通路の端に集められる雪に対しては該当するデータがなかったため、任意に幅員の減少率を設定した。現実的に50%を超えての減少率は考えられないために最大減少率も任意に設定をしている。

## 参考文献

- 1) 丸岡直樹・池本敏和・宮島昌克・野村尚樹：輪島市における積雪期の地震津波に対する効率的避難の検討，雪氷研究大会（2014・八戸），雪氷研究大会講演要旨集 2014(0)，94，2014
- 2) （例えば）橋本雄一：積雪寒冷地の沿岸部都市内部における津波避難ネットワークボロノイを用いた釧路市の津波避難件に関する空間分析，日本地理学会発表要旨集 2013a(0)，100011，2013
- 3) 南慎一・竹内慎一・高橋章弘：7161 積雪寒冷期の津波避難所の実態調査(竜巻と津波,都市計画)，一般社団法人日本建築学会，学術講演梗概集 F-1, 都市計画, 建築経済・住宅問題 2008，pp345-346，2008
- 4) 橋詰知喜・永家忠司・布村重樹：函館市における「観光防災」の課題とその解決に向けた検討，土木学会論文集B3（海洋開発），Vol.70, No.2, 1\_43-1\_48，2014
- 5) 平成26年度 来函観光入込客数推計 | 函館市 2015年10月8日  
参考URL：<http://www.city.hakodate.hokkaido.jp/docs/2014060600023/files/H26questionnaire.pdf>
- 6) 函館市津波避難計画 | 函館市 2017年5月28日（津波到達予測）  
参考URL：[http://www.city.hakodate.hokkaido.jp/docs/2014032000554/files/tsunamikeikaku\\_h29\\_3.pdf](http://www.city.hakodate.hokkaido.jp/docs/2014032000554/files/tsunamikeikaku_h29_3.pdf)
- 7) 函館市の概要（はこだてしのがいよう） | 函館市 2015年9月25日  
参考URL：<https://www.city.hakodate.hokkaido.jp/docs/2014012300506/>
- 8) 函館市地域防災計画 | 函館市 2015年9月25日  
参考URL：<http://www.city.hakodate.hokkaido.jp/docs/2014022500262/>
- 9) 田沼英樹・出口弘：『エージェントベース社会シミュレーション言語SOARSの開発』，電子情報学会論文誌，Vol.J90-D, No.9, pp.2415-2422，2007年
- 10) 東日本大震災の津波被災現況調査（第3次報告）～津波からの避難実態調査結果（速報）2015年11月7日  
参考URL：[http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi09\\_hh\\_000004.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi09_hh_000004.html)
- 11) 大堀和明：雪国地域独自の津波および雪・地震複合災害の被害低減策の提案 「北陸地域の活性化」に関する研究助成事業論文集 18, 79-84, 2013 北陸地域づくり協会
- 12) 都市計画道路の必要性の検証-2 (pdf, 972.89KB) - 大阪市 2015年11月6日  
参考URL：<http://www.city.osaka.lg.jp/toshikeikaku/cmsfiles/contents/0000175/175764/12hitsuouseikensyo-2.pdf>