

都市形態からみた観光防災としての津波避難における課題の検討

Investigation and awaiting solution of Disaster Imagination Game for evacuation of tourists

函館工業高等専門学校専攻科環境システム工学専攻 ○正 員 川村 怜音 (Reo Kawamura)
 函館工業高等専門学校社会基盤工学科 正 員 永家 忠司 (Tadashi Nagaie)
 函館工業高等専門学校社会基盤工学科 正 員 宮武 誠 (Makoto Miyatake)

1. はじめに

北海道が2012年に発表した千島海溝でのL2地震津波によれば、函館市内、特に観光客が集中する地域では壊滅的なダメージを受けることが想定されている¹⁾。

本研究は、このような発災時における観光客の安全確保を目的として、函館市における観光防災の重要性の把握およびその課題と解決に向けた検討²⁾を行ってきた。特に観光客の入り込みパターンフローを提案し、函館市の場合について検討した結果、着眼的指標として抽出した「宿泊」に関し、過去の津波による浸水実績、想定地震津波の浸水域、避難時間、集客立地条件や宿泊率の高さなどを勘案すると、函館市は他の観光都市よりも観光防災の重要度が極めて高いことを指摘した³⁾。また、数回に渡り実施した勉強会では、災害経験や防災意識を把握するとともに、備えの一助として防災チェックリストを配布し、その効果を検証した⁴⁾。その中では防災意識と災害知識の平準化を図りつつ、宿泊施設に対する現状を把握し、初動避難の誘導體制の検討に向けた方向性を明示した。同じ観光都市である京都市は、すでに大規模災害時における観光客等の帰宅困難者対策として観光防災に対する取り組みが活発に推進しており⁵⁾、震災時に地域の企業や旅館、ホテルを帰宅困難者の一時避難所として使用することで、帰路の安全が確保されたら無事に自宅まで帰す仕組みを構築している。しかし、函館市は京都市と違い、海に面している都市であるため、地震だけではなく津波による被害も想定し、観光防災に考慮する必要がある。また、2016年3月に函館市では東日本大震災において、災害の危機から逃れるための避難所と、避難生活を送るための避難所が明確に区別されていなかったことが被害拡大の一因となったことを踏まえて、異常な現象ごとに災害の危険から緊急に逃れるための指定緊急避難場所、被災者を避難のために必要な時間滞在させる指定避難所の2種類に避難所が区分された⁶⁾。

そこで、本研究は函館市で津波被害が懸念される地震津波として、北海道が公表したL2地震津波および今まで注目されてこなかった下北半島での地震津波を想定し、津波シミュレーションを実施した。L2地震津波は北海道が行った津波シミュレーションと再現性を図るためである。また、避難場所の避難リスクを把握することが避難計画の立案上重要であると考え、都市形態からみた避難場所の立地特性について検討し、空間統計手法を用いて都市形態を考慮した上で避難場所付近の地域住民や観光客の空間的分布の推定を試みることで避難場所の混雑状況を推定する。得た結果から、地区別で避難場所の避難リスク評価を行い、その結果を基に避難体制および避難誘導の課題を検討する。

2. 研究対象地区の概要

(1) 東日本大震災時の津波状況

2011年3月に発生した東日本大震災による地震津波において、函館市が陸繋島地形の上に立地していることから函館湾側の西部地区が津波による災害を受けやすく、朝市やウォーターフロントといった観光施設ならびに都市型ホテルの集中する西部地区を中心に0.1~1.2m程度の浸水被害(図-1)を受け、多くの観光客が帰宅困難となり足止めを被った。これを契機として、近年、観光客の初動避難体制のあり方が問題視されるようになったことで、函館市は指定災害対策基本法の改正に伴い、避難所の見直しを行った。見直し前は学校施設等の公共施設を基本として避難所又は避難地の指定をしていた避難所について、社会福祉 災害応急対策計画施設等の民間施設についても、地域の実情等を勘案し避難所として指定している津波避難ビルや高台などの一時避難場所を追加した。

函館中心市街地は函館山や元町地区、五稜郭といった豊富な観光資源に恵まれる都市であり、年間約4,000,000人近い観光客⁷⁾が国内外から訪れる北海道でも有数の観光都市である。また、函館市における観光客の推移について函館市観光振興課が調査している昭和30年から現在にかけての来函観光入込客は、北海道全体と同じように東日本大震災発生時には低迷していたが、現在にかけては順調な回復傾向にある。さらには2016年の北海道新幹線開通により観光客数約500,000人の純増が見込まれており、これまで以上の国内外からの観光入り込み客が期待されている。

以上の事柄から、函館市の主要観光地において被害を及ぼす可能性のある地震について津波シミュレーションを実施した。

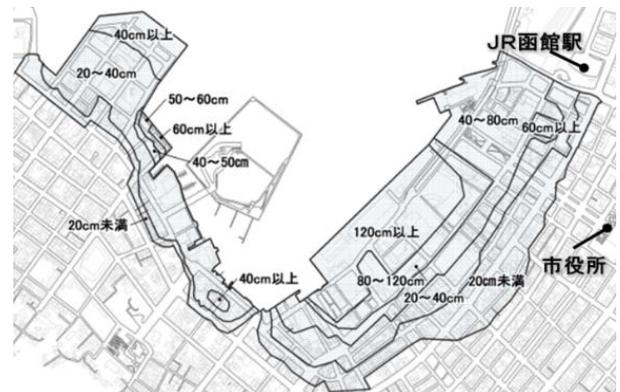


図-1 東日本大震災津波による浸水実績⁷⁾

(2) 函館市の想定される津波被害状況

函館市に津波被害を及ぼすとされる地震として2012年に北海道により発表された千島海溝でのL2地震津波と下北半島北西沿岸部における地殻変動の研究⁸⁾によれば、下北半島西端部・大間周辺に活断層が存在しており、函館市に近いことから津波被害を及ぼす可能性がある地震津波について、IRIC-ERIMOの津波シミュレーション⁹⁾を実施し、5つの地区について最大水位および到達時間から津波被害の検討を行った(図-2)。

L2地震津波では、北海道の実施した津波シミュレーションとの再現性を図ることができた。西部地区に地震発生から1時間20分後に5m近くの津波が到達し、少なくとも4m以上浸水すると想定できる(表-1)。西部地区は観光施設に加え、駅や市役所をはじめとする都市機能のほか、路面電車やバス等による交通機能が集中し、観光客が多く集まる地区である。津波発生から1時間以上の避難時間の猶予はあるが、観光客は土地勘がなく津波避難場所がわからないため避難に時間を有するという点から、甚大な津波被害が懸念される。また、湯川地区では津波発生から1時間後に4.8mの津波が到達し、3m以上の浸水が想定される。湯川地区は河口部に位置し温泉とホテル、旅館が密集しており、住宅地も多いことから甚大な津波被害が懸念されることから、東日本大震災以上の甚大な被害が想定される。

下北半島地震では各地点で1m近くの津波が30分以内に到達することが想定される。この地震では、津波到達時間が非常に短く、避難時間の猶予が短いことが特徴である。また、L2地震津波に比べ津波高は低いものの、浜町では2mと想定され、沿岸部の建物の浸水や漁業施設の被害が懸念される。そのため早急な避難を要し、さらに震源地が函館市に近いため地震そのものの被害により建物の崩壊など津波避難の際に避難場所への交通アクセスに影響を及ぼす可能性があるほか、防潮堤や防波堤といった海岸構造物の破壊により想定津波高から懸念されるが、観光客が集中する地区での津波被害は軽微であると考え、本研究ではL2地震津波について検討を行った。



図-2 津波シミュレーション結果の各測定地点

表-1 函館市の最大水位および津波到達時間

地区	下北半島地震		L2地震津波地震	
	最大水位(m)	到達時間(分)	最大水位(m)	到達時間(分)
①	0.6	27	5.2	80
②	0.8	16	4.8	60
③	1.1	15	4.0	54
④	1.9	12	7.3	41
⑤	1.0	20	6.1	37

3. 函館市における津波避難場所の立地特性

図-3、図-4に函館市の西部地区および湯川地区における浸水区域の津波避難場所の立地を示す。表-2に津波の発生時に利用できる函館市の津波避難場所の現状を示す。図-3より、西部地区の浸水区域内に津波避難ビルが多く見受けられる。津波避難ビルは一時避難のために利用できるが、浸水区域に立地しているため津波避難ビルに取り残される可能性が高く、収容人数が豊富な指定避難所が遠くに立地しているため、浸水区域内の津波避難ビルに観光客や地域住民などの一時避難者が集中し、混雑する可能性が示唆される。表-2より、西部地区と湯川地区を比較すると、西部地区は、津波避難ビルが24箇所と多い、しかし、指定避難所は7箇所であるが、津波浸水区域にある指定避難所を含まないとするなら、短・中間応急的な生活をする場所となる指定避難所が少ない。それに対し、湯川地区は津波避難ビルが3箇所で指定避難所も3箇所と西部地区に比べると非常に少ないと言える。これらのことから、西部地区および湯川地区の津波避難所の混雑状況を推定する必要があると考えた。

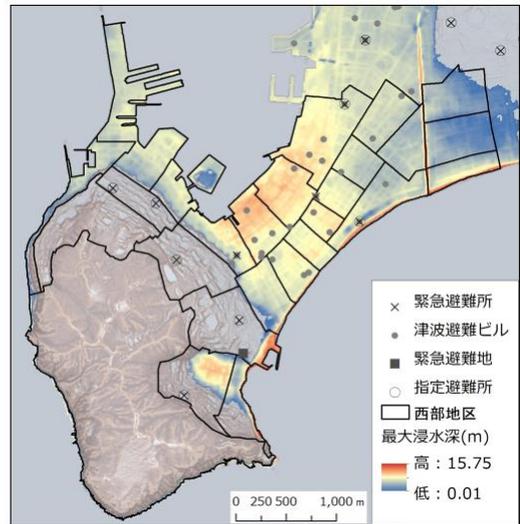


図-3 西部地区における避難場所

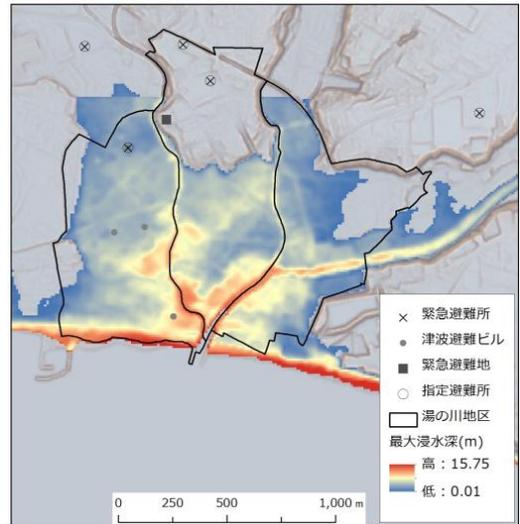


図-4 湯川地区における避難場所

表-2 函館市における津波避難場所の現状

区分	西部地区		湯の川地区		函館市全域	
	箇所	標高 (m)	箇所	標高 (m)	箇所	標高 (m)
緊急避難所	11	15.7	4	14	68	23.4
緊急避難地	1	7.2	1	15.8	32	28
広域避難地	0	0	0	0	1	12.7
避難ビル	24	3.2	3	4.6	61	3.2
指定避難所	7	19.4	3	12	49	25.1
全体	30	6.8	7	10.3	151	20.2

4. 道路ネットワークとしての都市形態からみた津波避難場所の混雑状況の推定

函館市の主要観光地における津波避難場所の立地特性から、ある特定の避難施設に一時避難者が集中する可能性が示唆されたため、対象地区に立地する新たに指定された緊急避難所および津波避難ビル、指定避難所が災害発生時にどのように混雑するのかを道路ネットワークにおけるアクセシビリティを定量的に評価する Space Syntax理論¹⁰⁾を用いて、アクセシビリティの高さによる各津波避難場所の混雑度の検討を行った。

(1)Space Syntax理論を用いた分析

Space Syntax 理論 (以下, SS 理論) とは, 1980 年代前半に英国ロンドン大学 (UCL) の Hillier らによって提唱された, 空間構造を定量的に解析するための手法である。分析対象は, 住宅の内部空間といった小規模なものから, 都市全体の街路ネットワークと幅広く, SS 理論を用いる目的, 適用方法も多様化している¹¹⁾。本研究では, SS 理論を都市に適用する場合に多く用いられる Axial Analysis の解析手法を用いた。まず, 都市の街路空間を全ての角が凸になる Convex Space という平面に分割し, それらを全て貫くように Axial Line という直線がそれぞれ最長かつ本数が最小となるように作成する。Axial Line によって表される地図を Axial Map といい, Axial Line を頂点とし, その隣接関係を辺とするグラフに変換して解析を行う。ある Axial Line から他の Axial Line に対する位相的な距離を Depth といい, Depth を解析範囲内にある他のすべての Line に対して集計した値 (Mean Depth : MD) から Relative Asymmetry (RA) が以下の式で求められる。

$$RA = \frac{2(MD - 1)}{k - 2}$$

$$D_k = \frac{2 \left(k \log_2 \left(\frac{k + 2}{3} \right) - 1 \right)}{(k - 1)(k - 2)}$$

上式の D_k は全空間の数を表し, RA は解析する Axial Line の数に依存する値であるため, これを上式の D_k 値で割ることで標準化して Real Relative Asymmetry (RRA) 以下の式が求められる。

$$RRA = \frac{RA}{D_k}$$

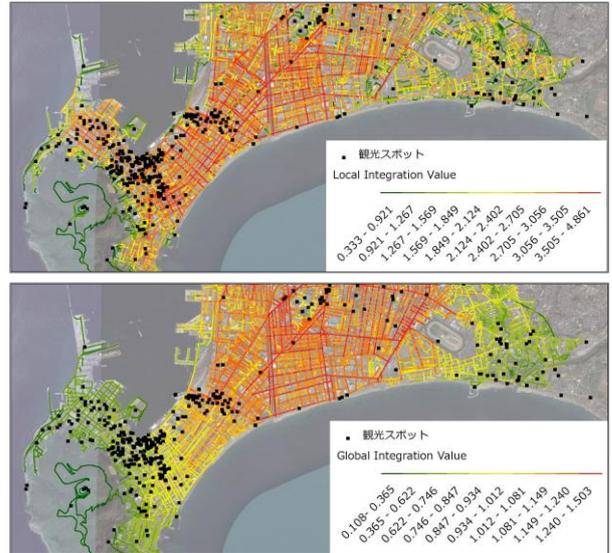


図-5 観光スポットの分布状況およびAxial分析の結果

それを感覚的に理解しやすいように逆数を取ったものが Integration Value (以下, Int.V) であり, 以下の式で求められる。

$$Int.V = \frac{1}{RRA}$$

Int.Vは, その場所へのアクセスのしやすさを表しており, 値が高いほどアクセシビリティも高いと評価することができる。また, すべての Line に対して総当りに Depth を求めて算出した Global Int.V は, 対象地域全体からみたアクセシビリティを表し, 自動車交通量と強い相関関係を示すことが知られている。一方, Local Int.V は Depth の解析範囲 (一般に Radius=3) を限定して算出し局所的なアクセシビリティを表し, 歩行者交通量と強い相関関係を示している¹²⁾。

(2) 観光スポットおよび避難場所における Int.V の傾向

函館市の Axial 分析の結果を踏まえた上で, 函館市が公表している観光情報のはこぶらを基礎として西部地区および湯川地区の観光スポットにおける Global Int.V と Local Int.V を求めた (図-5)。一般に, 震災時の観光客の避難場所への移動手段は徒歩であり, Local Int.V は歩行者交通量と一定の相関があるということからも, この値が高い避難所へ避難が集中することがわかる。

図-5 より, 西部地区は函館市の中で最も飲食店や観光地, 商業施設など観光スポットが多く見受けられることから昼間人口が多いと想定される。また, 表-3, 表-4 より, 西部地区の避難ビルの Local Int.V, Global Int.V は, とともに高い値を示しており, 観光スポットが多く, 函館市全体から避難所のアクセシビリティも高いことから, 観光客のみならず, 地域住民の避難者も集中し, 混雑する可能性が高い。

湯川地区はホテルや温泉施設などの観光スポットが多く見受けられることから夜間人口が多い地区であると考えられる。表-3, 表-4 より, 湯川地区は温泉やレジャー施設から避難所までの Local Int.V, Global Int.V とともに低い値を示しており, 避難所までの交通アクセスが容易で

ないことを示している。また、湯の川地区は避難場所が少なく、観光客は土地勘がないことから避難に時間を要するほか、夜間災害であれば避難が困難な浮遊観光客が多くなり、甚大な被害を及ぼす可能性がある。このことから、ホテルや温泉施設などの観光関連事業者の横方向の連携が重要である。

表-3 避難場所におけるIntegration Value

区分	西部地区		湯の川地区	
	Global	Local	Global	Local
緊急避難所	0.886	2.476	0.848	2.181
緊急避難地	0.772	1.588	0.769	2.242
避難ビル	1.027	2.931	0.858	2.283
避難所全体	0.973	2.787	0.845	2.227

表-4 観光スポットにおけるIntegration Value

区分	西部地区		湯の川地区	
	Global	Local	Global	Local
温泉	0.832	2.122	0.798	1.841
観光地	0.875	2.875	0.844	2.038
飲食店	0.990	2.975	0.814	2.102
商業施設	0.955	2.952	—	—
娯楽施設	0.970	2.863	0.766	1.793
全体	0.960	2.934	0.801	1.971

(3) 西部地区における混雑度の傾向

これまでの事柄や東日本大震災の被害状況から西部地区において甚大な被害が想定された。また、一部の避難場所において混雑する可能性が示唆されたため、西部地区におけるAxial分析の結果から、Int.Vの値が高い道路が避難経路として使用できない閉塞した状態を考え、Global Int.VとLocal Int.Vの上位1%、3%、5%の道路を削除し、それぞれのAxial分析を行った。西部地区におけるGlobal Int.VとLocal Int.Vの各平均値を表-5に示す

表-5より、Global Int.VとLocal Int.Vに変動の差が見られる。これは、アクセシビリティの高い道路が渋滞や混雑により、観光客や地域住民が複雑な道路を通ることになるため局所的なアクセシビリティが上昇していることを示している。土地勘のない観光客は複雑な道を通ることになる可能性があり、避難場所の場所がわからなくなる可能性や最短ルートでの避難が容易ではなくなるため避難に遅れが生じる可能性が示唆される。

表-5 西部地区におけるInt.Vの平均値

西部地区	5%	3%	1%	全体
G-Int.V	1.0105	1.0213	1.0478	1.0803
L-Int.V	1.5279	1.6712	1.8647	1.9540

5. 結語

函館市の主要観光地に被害を及ぼす可能性のある地震について津波シミュレーションを実施した結果、L2地震津波において甚大な被害が想定された。また、L2地震津波の浸水データを用いて函館市の主要観光地における津波避難場所の立地特性について検討した。また、空

間統計手法を用いて都市形態を考慮した上で避難場所付近の地域住民や観光客の空間的分布の推定を試みることで避難場所の混雑状況を推定し、得た結果から、地区別で避難場所の避難リスク評価を行い、その結果を基に避難体制および避難誘導の課題を検討した。

結果として、西部地区は観光スポットも多く、アクセシビリティが高いことから一部の避難場所が混雑する可能性が高い。また、観光スポットが多く、函館市全体から避難所のアクセシビリティも高いことから、観光客のみならず、地域住民の避難者も集中し、混雑する可能性が高いことから、初期避難行動として避難者の属性に応じた避難方向および避難場所の設定が必要である。それに対して、湯川地区はホテルや温泉施設が多い地区であるため、夜間災害であれば避難が困難な浮遊観光客が多くなり、甚大な被害を及ぼす可能性がある。このことから、ホテルや温泉施設などの観光関連事業者の横方向の連携が重要である。今後の研究としては、地域別の避難リスクの高い避難経路や避難場所について探求し、浮遊観光客において新たな仕組みを検討する。

参考文献

- 1) 函館市：津波ハザードマップ（平成25年3月作成）
<http://www.city.hakodate.hokkaido.jp/docs/2014022400517>
- 2) 橋詰知喜, 宮武誠, 布村重樹：観光地函館における津波防災の課題とその解決に向けた検討, 平成24年度土木学会北海道支部論文報告集, 第69号, B-52
- 3) 橋詰知喜, 宮武誠, 永家忠司：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, 土木学会北海道支部論文報告集, 第70号, B-55, 2014.
- 4) 橋詰知喜, 永家忠司, 宮武誠, 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, pp.43-48, 2014
- 5) 京都市：帰宅困難者対策
<http://www.city.kyoto.lg.jp/gyoza/page/0000076886.htm>
- 6) 函館市：災害対策基本法の改正「避難所の見直し」
<https://www.city.hakodate.hokkaido.jp/docs/2016032300054/>
- 7) 門田寛一：函館市内における3.11東北地方太平洋沖地震の津波被害において、2011年度地理学野外実習報告書IV, pp.35-41, 2013
- 8) 渡辺満久・中田高・鈴木康弘・小岩直人：下北半島北西端周辺の地震性隆起海岸地形と海底活断層, 活断層研究 No.36, 2012
- 9) IRIC Project, <http://i-ric.org/ja/software/6/>
- 10) Hillier,B,Hanson.J : Social Logic of Space , Cambridge UniversityPress, 1984
- 11) 高野裕作, 佐々木葉 : Space Syntax を用いた都市空間構造研究の動向と展望, 景観・デザイン研究講演集, No.6, 2010
- 12) 高野裕作, 佐々木葉 : シークエンシャルな景観体験を考慮した場の景観の分析手法に関する研究—Space Syntax 理論を適用した手法の提案と検証—, 景観・デザイン研究講演集, pp.43-48, 2007