

WebVR を用いた疑似津波避難訓練システムの開発

塩崎大輔^{†1} 橋本雄一^{†2}

概要：本研究は ICT 及び WebVR 技術を用いて日常空間を再現すると共に、夜間や火災発生といった多局面を再現し、その中で津波避難を行うことのできる疑似避難訓練システムを開発することを目的とする。研究方法はまず GoogleStreetView を利用し、日常空間を再現する疑似津波避難訓練システムを開発する。次に夜間など GoogleStreetView では対応できない限定条件下での疑似津波避難訓練機能を付与し、平常時と限定条件下での疑似避難を比較・検討する。最後に 8 人の参加者による疑似避難訓練実験を行い、その結果からシステムの効果及び課題を検証し議論する。

本研究で開発された疑似避難訓練システムは主に 3 つの機能を有する。1) 避難ルートを限定し、開始地点から避難場所まで移動する避難ルート確認機能。2) 独自に撮影した 360 度画像を利用した限定条件下における避難ルート確認機能。3) ルート制限を設けず、自由に避難行動を行うことのできる避難行動確認機能である。

システムを開発した結果、オープンソースフレームワークを用いることにより、Web アプリを構築するのと同様に VR システムの開発できた。また GoogleStreetViewAPI を利用することにより、ルートを設定するだけで全国の訓練データの整備を可能とした。これにより、普段居住していない地域や、夜間などの実際に訓練が難しい状況下での避難訓練が可能となり、防災教育などへの援用ができると考えられた。また避難ルート確認機能を利用した実験では、実験参加者のログデータから、ルート上で迷いが生じるポイントなどを推定することができた。こうしたデータは今後の津波対策や津波避難計画策定における基礎資料となることが期待される。

キーワード：津波災害、WebVR、避難訓練、防災教育、北海道

1. はじめに

東日本大震災以降、日本では津波災害に対する危機意識が高まり、国レベルから市民レベルまで様々なスケールで津波対策が議論されてきた。また北海道では、30 年以内に千島海溝沖での巨大地震の発生確率が 80% と予測されており、沿岸部における津波対策は急務である（地震調査研究推進本部、2018）[1]。

国レベルでは、中央防災会議の南海トラフ巨大地震対策検討 WG が、地震及び津波災害に対する防災教育・防災訓練の充実を具体的に実施すべき対策の一つとして挙げており、その中では実際の避難訓練とともに、E ラーニングなどを活用した教育を推進している（内閣府、2013）[2]。地方公共団体は国の指針に基づき津波浸水想定の見直しを進めるとともに、ハザードマップを刷新し、紙や Web といった様々な媒体による普及を進めている。市民レベルでは町内会が中心となり、津波避難訓練を抜き打ちで行うなどの活動も見られるようになった。

近年では情報通信技術を利用した防災訓練が取り組まれており、例えばシェイクアウト訓練などが挙げられる[3]。シェイクアウト訓練とは訓練用アプリをインストールし、地域によって指定された日時に一斉に訓練情報が送信され、その情報を元に発災時の行動を行う訓練である。このような訓練時のデータを収集し、今後の防災・減災対策に活かす試みも進められている。奥野・橋本（2015）は、集団での避難行動時における特性と、積雪寒冷地における夏季と冬季の差異や課題を明らかにした[4]。

しかし一斉訓練形式には課題も残る。その一つは訓練の参加率である。大和ハウス工業株式会社が 2017 年に行ったアンケート調査では、5 年以内に防災訓練の参加経験を持つ回答者は全体の 39.2% という結果が出た[5]。防災訓練という括りは幅広く、避難訓練の参加経験はさらに低いと考えられる。避難訓練は参加者が避難所の位置とその経路を確認するだけでなく、そうした参加者の行動を分析することによって、潜在的な災害リスクを洗い出すことも可能になるなど、今後の防災・減災対策を考えるうえで重要な機会の一つと考える。

他方で北海道では 2018 年 9 月に北海道胆振東部地震が発生した際に、火力発電所停止に伴う一斉停電（ブラックアウト）が発生しており、不測の事態をも想定しなければならないと改めて認識させられた。

そこで本研究は ICT 及び WebVR 技術を用いて日常空間を再現すると共に、夜間や火災発生といった多局面を再現し、その中で津波避難を行うことのできる疑似津波避難訓練システムを開発することを目的とする。

本研究の研究方法は以下の通りである。まず GoogleStreetView を利用し、日常空間を再現する疑似津波避難訓練システムを開発する。次に夜間など GoogleStreetView では対応できない限定条件下での疑似津波避難訓練機能を開発し、平常時と限定条件下での疑似避難を比較・検討する。最後に 8 人の参加者による疑似津波避難訓練実験を行い、その結果からシステムの効果及び課題を検証し議論する。

疑似避難実験は、北海道厚岸町を想定し港町 4 丁目をス

^{†1} 北海道大学大学院文学研究科・院
Hokkaido University, Graduate School of Letter.
^{†2} 北海道大学大学院文学研究科

Hokkaido University, Graduate School of Letter.

スタート地点として、避難場所である厚岸町グルメパークコンキリエまでの最短経路を設定する。実験参加者はヘッドマウントディスプレイを装着し、画面の案内に従いながら疑似避難を行い、避難場所を目指す。

2. システム概要

本研究で開発される疑似津波避難訓練システム（以下システムと称す）の概要を説明する（図1）。システムはPHP及びHTML、JavaScriptによって構築され、CentOSで可動するVPS上に設置される。データベースは先行研究にて開発された津波避難訓練可視化システムと共通のMySQLを利用する。これはシステム間で津波浸水データやログデータを共有するためである。特に津波浸水データは可視化システムや本システムの重要データのの一つとなるが、今後も浸水想定の変更が予測される。そのため、一つのデータを複数のシステムで共有化することによりデータの不整合を防ぐ。



図1 疑似避難訓練システムホーム画面

今回、システムに付与する機能は大きく3つである。1つ目は避難ルートを指定し、指定ルートからそれた場合は警告を発する避難ルート確認機能である。2つ目は夜間や火災の発生といった条件を付与することのできる限定条件下での避難ルート確認機能である。そして最後に、避難ルートを設定せず、開始地点から自由に行動することのできる避難行動確認機能である。

これらの機能は全てWebVR技術を利用し実装される。特に広い範囲での利用を想定し、スマートフォンなどマルチプラットフォームで可動する汎用性の高いシステムを目指す。そして開発コストの削減と、メンテナンスを考慮しWebVRフレームワークにはMozillaがサポートするA-Frameを利用する。

VRシステムを構築する際、高度な3Dデータの投影や複雑な動きをサポートする場合、UnityやUnreal Engineが採用されることが多いが、本システムでは既存の画像データ

を360度に投影し、方向を指示するUIを実装するという仕組み的には単純な設計となる。そのため、WebVRのようなWebVRフレームワークでもその実装に十分であると考える。

2.1 本システムの操作方法

本システムは開始場所から避難場所までに設定されたポイント単位のノードを順次移動していく形で避難訓練を行う。ノードデータにはノードの位置情報及び、紐づくノードの情報が属性情報として付与される。避難開始と共にノード情報及び紐づくノードの情報が読み込まれ、VR空間上に表示される（図2）。

UIはスマートフォンでの利用も想定しているため、コントローラーなどを必要としない設計とする必要がある。そこで、ルート選択に際しては紐づくノードをアイコンで表示し、注視ベクトルとアイコンが3秒間交差した場合、ルート選択と認識し次のノードに遷移する（図3）。



図2 ルート選択画面（2018年10月27日著者撮影）

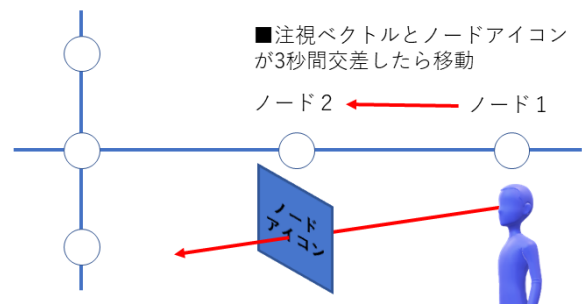


図3 ノード選択イメージ

2.2 避難ログの保存と所要時間の推定

本システムではユーザーの避難開始から終了までの選択ログを保存する。避難開始と同時にユニークIDを生成し、ユニークIDに紐づく形で選択されたノードIDを順次記録する。このログは避難所要時間の計算及び、避難行動の分析に利用される。

避難訓練においては、避難開始から避難終了までの所要時間が重要となる。実際の訓練では開始時のからの経過時間を計測することができるが、本システムではユーザーのルート指定による空間から次空間への移動、つまり点から点へ瞬間的に移動するため、開始時間と終了時間のデータだけでは所要時間を計算することができない。そこで、各ノード間の距離をノードに紐づく位置情報から算出し、成人の歩行速度を毎秒 1m と仮定して所要時間を算出する。

2.3 津波浸水想定の利用

本システムの避難訓練における避難成功の可否は、北海道危機対策局危機対策課より提供された津波浸水想定データを利用し判断する。北海道では北海道防災会議地震火山対策部会地震専門委員会に設置されたワーキンググループの指導のもと津波波源モデルを設定し津波シミュレーションを実施し、津波浸水想定図を作成した。本研究で用いるデータは 2016 年度に北海道が作成したデータのうち「太平洋沿岸の津波被害想定に係る津波遡上データ」である。

このデータはシェーブファイル形式で保存されており、人口密集地域では 10 メートル、その他は 50 メートルメッシュ毎に属性が付与されている。属性データとしては、位置情報及び ID 情報に加え、1cm、20cm、30cm、100cm、200cm、最大浸水深に達する時間が秒単位で付与されている。このメッシュデータを 1 メッシュ毎にレコード化し、属性情報と共に DB に格納する。

ユーザーによってノードが選択された時点で、その位置情報を元にノード位置が内包されるメッシュデータをロードする。ロードされたメッシュデータの属性情報のうち、1cm の到達時間を経過時間がオーバーした場合には警告を表示し、避難失敗を判断する。

3. オープンソースフレームワーク及び外部 API を利用した開発

3.1 A-Frame を利用した WebVR 機能の開発

A-Frame は WebVR をサポートしたブラウザ上で可動する VR フレームワークである。2015 年に公開され、2018 年 10 月時点でのバージョンは 0.8.2 であり、未だ開発が進んでいることが伺える。オープンソースとして公開されており、開発コミュニティには Google の技術者も参加していることから、少なくともサポート主体の Mozilla が手がける Firefox や GoogleChrome 等での可動は安定するのではないかと考える。

最大の特徴は VR の構成要素及び制御を HTML タグ及び JavaScript で行えるということである。先に述べた Unity や UnrealEngine は 3D 制御と言語あるいはフレームワーク仕様の理解が求められ、実装難度は高いと言える。そのためこれらを利用したシステムの開発及びメンテナンスをでき

る技術者は多くない。

しかし Web アプリケーションが一般に広く普及した現在、HTML 及び JavaScript を扱う技術者は日本でも相当数にのぼる。WebGL 等の仕組みの理解度が低くても実装可能なように設計されているため、今後本システムを広く普及する上でも大きなアドバンテージになると考えられる。

3.2 GoogleStreetView を利用した 360 度画像の投影

本システムの避難ルート確認機能及び避難訓練機能では、周辺画像の投影に GoogleStreetView を利用する。GoogleStreetView は Google 社が提供する API の 1 つであり、位置情報及び指定する角度等のパラメータに基づいた画像をレスポンスする。画像の指定可能であるが、フリーライセンスでの最大サイズは 640×640 ピクセルである。

昨今、Google 社の提供する API は一律従量課金制に移行しており、フリーで利用する場合には月 200 ドルの制限が設けられている。StreetView の場合、200 ドルはおおよそ 28,000 枚の画像がロードできる金額である。画像サイズに関しては最大 2048×2048 ピクセルの画像のロードが可能となるが、別途ライセンスが必要である。フリーライセンスで高解像度の 360 度画像を投影しようとした場合、解像度に応じた枚数の画像のロードが必要となる。本システムでは 1 つの空間に対して、試験的に 640×640 ピクセルの StreetView を 6 枚読み込み 360 度画像の生成を試みる (図 4)。

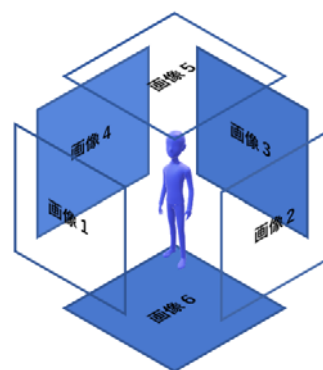


図 4 GoogleStreetView 利用イメージ

GoogleStreetView は山岳地帯や観光名所といった特定の条件がない限りは、車載カメラによる画像の撮影が行われている。そのため、StreetViewAPI を利用した 360 度空間はその殆どが車道からの景色になる点、実際の歩行による避難と異なる。また市街地に点在する歩道などの車の入れない道に関しては、画像が存在しない場合が多い。そうした場所は別途画像を用意する必要がある。

4. システム機能概要

4.1 避難ルート確認機能

先にも述べたようにシステムは大きく3つの機能を有する。まず対象地点から避難場所までのルートを確認する避難ルート確認機能である。この機能は避難ルートを固定し、最適な避難ルートから外れた場合は警告を発し、元の道へ戻るように促す(図5)。3つの機能の中ではノード数の観点から最もデータ作成が容易であり、周辺画像もGoogleStreetViewを利用することから、全国各地域での運用も可能となる。本機能の目的は、利用者に最適な避難ルートを示すと共に、ルート上の滞留ポイントを特定することである。

実空間で行われる避難訓練は、自宅や学校、職場などの日常的に利用する建物から避難場所を目指す訓練が多い。しかし、出張や旅行などによって訪れた地域では、避難場所や避難場所へのルートを知ることは、ハザードマップなどの2次元上のデータに頼るところが大きく、実際にどのような空間が広がっているかを確認することは難しい。もちろん、本システムで利用しているGoogleStreetViewのアプリを利用すれば確認は可能であるが、津波情報や避難ルートと合わせて確認することができない。本機能は避難ルートの確認とともに、VR空間上で避難ルートの確認を行えるようにする。

また、ログデータから次のノード選択までの所要時間を計算することができる。避難行動者の迷いが、ルート選択の時間経過に現れると考えられる。これにより、滞留ポイントやエラーとなるノードの選択状況などから迷いやすいノードを特定でき、今後の津波対策の基礎データとなることが期待される。



図5 避難ルート確認機能画面イメージ
(背景：2018年10月27日著者撮影)

4.2 限定条件下避難ルート確認機能

GoogleStreetViewはそのデータが全国的に整備されているが、それらの画像データはほぼ全てが日中、特に晴れた日の撮影データである。しかし災害は日中に発生するとは

限らない。特に北海道では2018年9月に発生した北海道胆振東部地震の際に、北海道全域で停電が発生するブラックアウトが夜間に発生した。ブラックアウトにより道路脇の街灯や信号も機能せず、逃げ道がわからなくなるといった状況も生じた。このように災害対策を考える際には、今後夜間や電気のない状況等も考慮に入れなければならない。また北海道のような積雪寒冷地では降雪により、周囲の状況下変化することも考えられる。

こうしたGoogleStreetViewでは対応できない状況を想定し避難訓練を行うため、本システムでは360度画像を別途用意し、利用できるよう設計した。例えば釧路市中央郵便局付近のStreetViewを利用したVR画面では昼間であれば、道の先にビルがはっきりと映っており、ビル上に避難することを検討することができる。図6は同じく釧路市中央郵便局付近を夜間に撮影し投影した画像である。周辺には光源が少なく、道の先にビルがあることは確認しづらい。非常階段や部屋の明かりがあればビルに気づくものの、気づかなかった場合には避難先まで遠回りをすることになる。北海道道東太平洋沿岸部は津波の到達時間が比較的早いため、遠回りによる時間ロスが被災つながらることも考えられる。



図6 釧路市中央郵便局付近における夜間の様子
(背景：2018年9月18日著者撮影)

積雪期には除雪の有無によって、歩道の利用困難度が変わってくる。そうした状況を事前に経験しておくことで、発災時における最適な避難行動を促す効果があると期待される。本機能は自宅や学校などの日常的に利用する施設でも効果があると考えられる。避難訓練を行う回数は一般的に多くても年に1~2回であり、この中で夜間や積雪など様々な状況をシミュレートするのは容易ではない。事前にデータを作成しておくことで、いつでも限定条件下での避難訓練を可能とする機能である。

4.3 避難行動確認機能

ここまでの2つの機能は避難場所及び避難ルートの啓発といった防災教育用機能である。対して避難行動確認機能

は避難行動者の行動を推定し、津波対策や他システムの基礎データを収集する目的で開発する。本機能は特定の避難場所やルートを指定せず、参加者が避難開始場所から自由に移動できるように設計されている。参加者は周辺の風景だけを頼りに避難行動を行い、津波避難ビルまたは津波浸水エリア外に出た時点で避難終了となる。3つの機能の中では、最も発災時の行動に近いデータが取得されることが期待できる。特に避難場所等を知らない地域の場合、周辺に見える高台や高い建物を目指すと推測される。さらに、火災などの地震発生時に考えられる状況を再現することによって、避難行動者の行動の変化を捉える(図7)。



図7 VR空間上での火災発生エフェクト
(背景: 2018年10月27日著者撮影)

今後、本機能を利用して行動ログを収集し、合わせてヒアリングなどを行うことによって、その地域の津波避難の課題の洗い出しに利用する。しかし本機能は広域のノード情報を整備する必要がある。今回試験的に北海道函館市の函館朝市を中心とするエリアの情報を整備したが、ノード数が函館山につながる陸繋島砂洲部だけでも16,032となり、手作業でのデータ整備は難しいと考えられ、ノード生成の自動化等課題が残された(図8)。

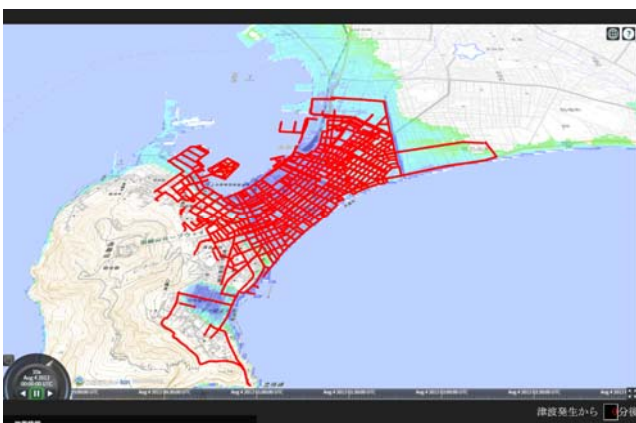


図8 函館市函館駅周辺ノード整備状況と津波浸水想定
(背景: 国土地理院地理院地図)

5. 避難ルート確認機能を用いた疑似避難実験

本研究では避難ルート確認機能を利用し、2018年8月3日に北海道大学大学院文学研究科・文学の学生8人による疑似避難実験を行った。参加者のうち、5名は実際に行われた津波集団避難実験に参加しており、避難ルートを知る学生である(図9)。3名は集団避難実験に参加しておらず、また実際に厚岸町を歩いたことがない参加者である。

今回はVR空間の投影にスタンドアロンヘッドマウントディスプレイであるOculus社が販売するOculusGoを利用した(図10)。避難行動に際しては後方にも考えられるため、ケーブルなどで行動が阻害されないことが必要だったためである。



図9 疑似避難訓練避難経路
(背景: 国土地理院地理院地図)



図10 実験中の風景
(2018年8月3日著者撮影)

図11は参加者がノードから次のノードを選択するまでの秒数を、個人の平均選択時間を差し引き示した。学生A-Eは集団避難実験の参加者であり、F-Hは未参加者である。ログの結果から、特に集団避難実験未参加者のGが、平均的に他の参加者よりもルート選択に時間をかけていた。実験中の様子を確認すると、交差点付近で何度も首を振り、周囲の状況を確認している様子が伺えた。住宅街では周囲

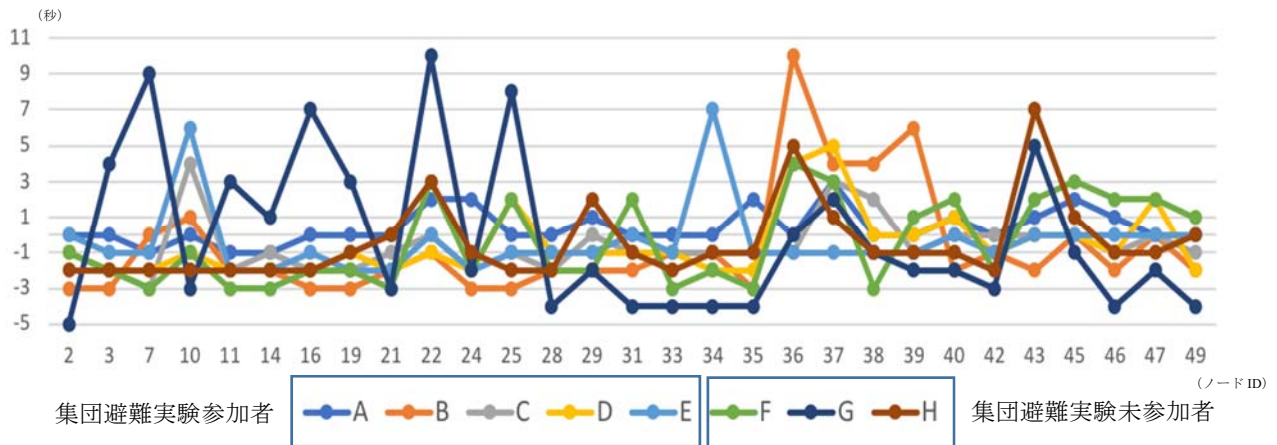


図 11 参加者毎の各ノードにおけるルート選択までの所要時間 (秒)

が住宅に囲まれ、高台の場所が確認しづらく、ルート選択に時間を要したと考えられる。逆に、高台が確認できるノード以降は、G も他の参加者と同様の時間でルートを選択しており、住宅街における避難ルート確認の重要性が明らかとなった。

その他の集団避難実験未参加者は、直ぐに海から離れようとして直進を選択していた。避難所要時間の観点から言えば後者のほうが、結果的に時間が短縮されたことになるが、これは潜在的な危険を含んでいると言える。この実験では直進から T 字交差点に差し掛かった段階で、明確に高台と海に近づくルートが分かれるが、地域によっては道が緩やかにカーブし、海から離れているつもりが、実は海に近づいているというケースもある。今後はそうした状況をシミュレートする必要が出た。

このようにノードの選択の様子から、実際の避難行動者がどのような行動をとるのかを推測する参考となる結果を得ることができた。

6. おわりに

本研究は ICT 及び WebVR 技術を用いて日常空間を再現すると共に、夜間や火災発生といった多局面を再現し、その中で津波避難を行うことのできる疑似津波避難訓練システムを開発することを目的とした。

システム開発に関しては A-Frame を利用することによって、Web アプリベースでのシステム開発を行うことができた。また疑似避難訓練に必要な最小限な機能は本システムでも実装できたと考えられる。そして GoogleStreetView を利用することにより、共通基盤を用いて全国各地域の VR 空間を再現することが可能となった。

また 360 度カメラによって撮影された画像を併用することによって、夜間や積雪期における VR 空間上での避難訓練を可能とした。合わせて火災エフェクトなどを用いることによって、より発災に近い状況を再現できることも確認

した。

疑似避難訓練では参加者のノード選択ログから、参加者の滞留ポイントや交差点での状況を再現することができた。特に避難場所が確認できない住宅街などのルート周知をいかに行うかなど、津波避難対策の課題を明らかにすることができた。

今回は避難ルート確認機能を用いた実験を行ったが、今後は他の機能も合わせて用いることにより、避難行動者の行動ログの収集を行いデータの拡充に努める。そして建物倒壊や土砂災害など地震発生時に併発する可能性がある現象の再現を行い、状況に応じて被災者の行動がどのように変化するかを明らかにすることを目指したい。

謝辞

本研究を進めるにあたり、北海道大学文学部の学部生には、実験への参加などご協力いただきました。ここに記して深く感謝いたします。なお、本研究は、(一財)北海道開発協会研究助成「ICT を援用した津波防災教育システムの開発と実証研究」及び文部科学省「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」における成果の一部である。

- [1] 北海道東部（網走、釧路、根室地方）の地震活動の特徴,地震調査研究推進本部 (2018),入手先 (https://www.jishin.go.jp/regional_seismicity/rs_hokkaido/p01_to_bu/) (参照 2018-11-9).
- [2] 中央防災会議防災対策推進検討会議南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ:南海トラフ巨大地震対策について(最終報告),内閣府防災情報のページ(2013),入手先 (http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku_wg/pdf/20130528_honbun.pdf) (参照 2018-11-1).
- [3] The Great Hokkaido Shakeout 2018,入手先 (<http://www.shakeout.jp/event/hokkaido/>) (参照 2018-11-1).
- [4] 奥野祐介,橋本雄一:積雪寒冷地における疑似的津波避難に関する移動軌跡データ分析. GIS-理論と応用, 23(1): 11-20 (2015)
- [5] 今年の「防災の日」は、おうちで防災訓練しよう,大和ハウス工業 (2017),入手先 (<https://www.daiwahouse.co.jp/column/technology/bousai/>) (参照 2018-11-9).