

# オープンソースライブラリによる津波浸水に関する 時間発展の可視化と利活用

塩崎大輔<sup>†1</sup> 橋本雄一<sup>†2</sup>

**概要**：本研究はオープンソースライブラリである Cesium を用いて Web システムを開発し、津波浸水に関する時間発展の可視化及びその利活用方法の検討することを目的とする。Cesium は WebGL に対応しており、プラグインなしで Web ブラウザ上に 2D 及び 3D の地図表示を可能とする JavaScript ライブラリである。津波浸水データは北海道総務部危機対策課が作成した津波シミュレーションデータを、GIS にてラスタデータ化し利用する。また Cesium を組み込む Web システムは LAMP 環境で構築し、クラウドサーバーに配置することで場所を問わず津波浸水データの閲覧ができる。これにより誰もがどこにいても、陸域における津波浸水の時間発展を確認することが可能となり、地域や学校などでの防災教育に利用できると考えられる。また避難訓練の行動ログを合わせて表示し、机上で避難行動者の被災状況をシミュレーションするなど、本システムの利活用方法を検討する。システムを開発した結果、以下の点が明らかとなった。Cesium 特有のタイムライン機能と CZML ファイルを用いることにより時系列データの表示が容易となり、今回のような津波の時間発展に関するデータを可視化する上で非常に有用であることが明らかとなった。次に、Cesium を用いた津波シミュレーション可視化システムを運用することにより、これまでの最大浸水深のみを表示したハザードマップに比べ、浸水深の時間発展を詳細に確認することができ、津波避難を行う上での時間的制約や避難経路を考える際に有効に活用できることが期待できた。さらに避難行動の軌跡データを重ね合わせることによって、避難行動の中で、津波浸水深がどのように変化するかを合わせて確認することができた。

**キーワード**：津波災害、GIS（地理情報システム）、オープンソースライブラリ、函館市

## 1. はじめに

東日本大震災以降、日本においては防災意識の高まりとともに、ICT（情報通信技術）の普及に伴い、防災・減災を目的とした防災アプリなどの開発が積極的に行われている。国の政策で見ると、国土交通省国土地理院と水管理・国土保全局は内閣府と協力して災害時に役立つアプリの公募を 2014 年度から毎年行っており、2016 年度には 5 つのアプリが選定された。研究分野においても防災関連システムの活用は活発に議論されている。特に津波避難支援に関するシステムは多くの知見を得ており、例えば深田ほか(2013)は地域住民が平常時に利用できる津波避難支援システムを開発し、システムの評価し課題を明らかにした[1]。孫ほか(2017)は、避難訓練時にその行動軌跡を記録し、津波シミュレーションデータと合わせて表示することにより、より実践的な訓練を促すアプリを開発し実証を行った[2]。また奥野・橋本(2015)はこうした避難行動ログを分析し、避難行動時の課題を抽出する分析手法の提案を行っており、今後 ICT を利用した防災アプリはより一層活用されることが見込まれる[3]。

しかし、避難行動の支援やより多目的なハザードマップアプリの開発は行われてきたものの、津波の時間発展を可視化するシステムの提案は少ない。該当地域において浸水深がどのように変化するかという津波の時間発展に関する情報は、避難経路の設定や、災害時の避難支援方針の決定

において重要な情報になると考えられる。

またこうした情報共有システムに関しては、特定のアプリやシステムのインストールを必要としない、Web ブラウザを介した Web アプリケーションであることが望まれる。従来、こうした津波浸水データの閲覧に際しては、ArcGIS や QGIS といった高機能地理情報システムを用いることが一般的であった。しかし近年、情報保護の観点から特に地方自治体においてネットワーク接続への制限が厳しくなっており、QGIS のような高機能ソフトをダウンロード・インストールすることが難しくなっている現状がある。Web ブラウザであれば、一般的なタブレット端末や PC 端末には標準でインストールされており、仮想デスクトップ上でもアクセスすることが可能である。

そこで本研究はオープンソースライブラリである Cesium を用いて Web システムを開発し、津波浸水に関する時間発展の可視化及びその利活用方法の検討することを目的とする。

### 1.1 研究方法

本研究はまず Web システムで津波シミュレーションデータを表示するために、北海道総務部危機対策局危機対策課が作成したベクタ形式の津波浸水シミュレーションデータをラスタ化する。次に津波浸水シミュレーションデータを可視化する Web アプリケーションの開発を行う。そして開発された津波浸水シミュレーション可視化システムを用

<sup>†1</sup> 北海道大学大学院文学研究科・院  
Hokkaido University, Graduate School of Letter.

<sup>†2</sup> 北海道大学大学院文学研究科  
Hokkaido University, Graduate School of Letter.

いて、その利活用方法を検討する。最後に、避難行動者の軌跡情報と合わせて可視化することにより、本システムの有用性を議論する。

## 1.2 対象地域

本研究では実際に津波浸水シミュレーション可視化システムの利活用方法を検討するため、北海道函館市における津波浸水シミュレーションデータの可視化を行う(図1)。北海道函館市は北海道南部に位置し、古くから本州と北海道の玄関口として栄えてきた。2016年度の人口は265,503人であり、道内では札幌市、旭川市に次ぐ第3の都市である[4]。2004年に戸井町・恵山町・榎法華村・南茅部町が函館市に編入合併し、現在の面積は677.87km<sup>2</sup>である。旧函館市を含め合併したすべての市町村が沿岸部に位置しており、津波発生時には被災する可能性の高い地域である。

函館市は観光分野においても注目される地域であり、北海道新幹線の開業もあり今後観光客数の増加が見込まれており、実際に観光客入れ込み客数推計は2011年度が約410万人に対して、2016年度は約500万人と年々増加している。しかし、観光客の移動の拠点となるJR函館駅や、観光施設として人気の高い函館山、朝市、金森倉庫などは沿岸部に位置しており、津波発生時には多くの観光客が被災するリスクを負うことが予想される。こうした地域における津波浸水の時間発展を可視化することは、今後の防災を考慮する上で有効であると考えられる。



図1 JR 函館駅周辺の概観

## 2. 津波浸水シミュレーションデータの加工

### 2.1 津波浸水シミュレーションデータ

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、津波浸水予測図を作成した[5]。本研究で用いるデータは2016年度に作成されたデータのうち「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プ形式で保存されており、10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。

### 2.2 津波浸水シミュレーションデータのラスタ化

まず、函館山から陸繋島砂州にかけての地域を囲むように矩形領域を設定する。矩形領域内のデータを対象とし、60秒毎の浸水深データを選択し抽出する(図2)。属性データT001(浸水深1cm時刻)が0のものを非浸水メッシュとして0とし、1cm、20cm、30cm、100cm、200cmをそれぞれ1、2、3、4、5とレベル分けする。1分間隔で各メッシュのレベルを算定し、90分間のレベル別ベクターデータを作成する。そして1分毎のベクターデータを結合したうえでラスタデータに変換し、レベルごとに色分けを行ったうえでKMZファイルに変換する。KMZファイルはPNG形式に変換されたラスタデータと、その領域情報が記載されたKMLファイルがZIP形式で圧縮されたファイルである。一つの矩形領域に対して1分毎のKMZファイル、計90ファイルが作成される。

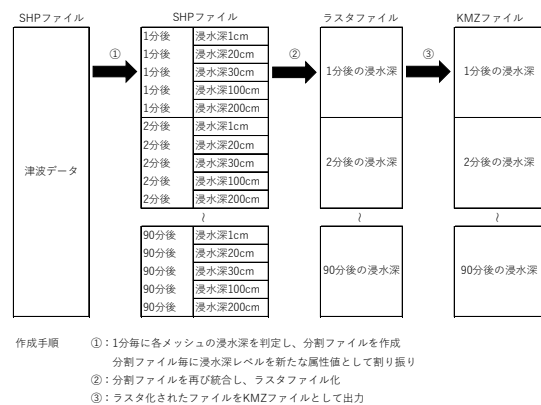


図2 津波シミュレーションデータ加工の流れ

## 3. 津波浸水シミュレーション可視化システム

### 3.1 津波浸水シミュレーション可視化システムの概要

本研究では、津波浸水シミュレーションデータの可視化のため、Webアプリケーションを中心とする津波浸水シミュレーション可視化システムを開発する。クラウドサーバー上にLAMP(CentOS、ApacheHTTPServer、MySQL、PHP)環境を構築し、そこに津波浸水シミュレーション可視化シ

システムが設置される(図 3)。津波浸水シミュレーション可視化システムの主な機能は 3 つである。第 1 に KMZ ファイルに変換された津波浸水シミュレーションデータを読み込み、Cesium で利用する CZML ファイルを作成する機能、第 2 に Cesium を用いて津波シミュレーションを可視化する機能、そして第 3 に軌跡情報を津波シミュレーションと合わせて表示する機能である。

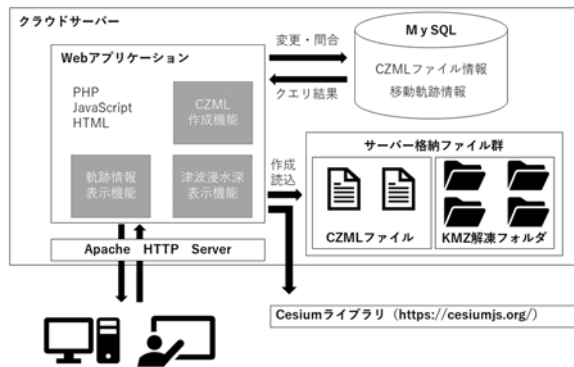


図 3 システム構成

### 3.2 CZML 作成機能

本機能は Cesium で地図情報を表示するためのデータファイルである CZML ファイルを作成する機能である。CZML とは、Cesium でデータを読み込むためのファイル形式である。JSON 形式を基準としており、表示する地図の基本情報と共に、タイムラインを形成するための時間データもここに記載する。このファイルを作成するため、まず分割された KMZ ファイルをクラウドサーバー上に転送する。この KMZ ファイルを本システムにて ZIP 解凍し、KMZ ファイル毎にサブフォルダを作成する。このサブフォルダ内に存在する KML ファイルを読み込み、PNG 画像の座標データを抽出した上で、時間ごとにファイルパスと座標を CZML ファイルに記載し保存する。この際、時間毎のデータに対して、乗算色を設定できる。本システムでは津波浸水データと土地利用を合わせて確認できるよう、アルファ値を設定し浸水データを半透明に設定する。可視化機能はこのファイルを読み込む事で、対象の津波浸水シミュレーションデータの可視化及びアニメーションの制御を行う。なお、CZML ファイルが作成される際に、データベース上にファイル情報を書き込み、データが追加された際に動的に可視化ページを作成する。

### 3.3 津波シミュレーション可視化機能

本システムの主機能となる可視化機能は、Cesium に前章の手順で作成された CZML ファイルを読み込み、時間ごとに津波シミュレーションデータを表示するよう実装される。まずデータベースから作成された CZML ファイル情報を読み込みリスト化する。可視化ページでは Web 上から最新

の Cesium ライブラリを読み込み、あらかじめ Cesium の標準機能を使い国土地理院が公開する地理院地図から、淡色地図を読み込みベースマップとして利用する。通常の地理院地図では配色によって浸水データの色が見えづらくなる可能性があるため、淡色地図を利用する。選択された項目に応じて、CZML ファイルのパスを取得し、Cesium でロードする。CZML ファイルのロードが完了すると、自動的に対象地域にズームし、タイムラインアニメーションの再生を開始する。アニメーションの再生に際しては Cesium から時間情報を取得し、経過時間を分かりやすく表示する。

### 3.4 避難行動軌跡情報表示機能

津波シミュレーションデータの利活用の 1 つの形として、避難行動者の軌跡情報を津波浸水シミュレーションデータと合わせて確認できる機能を実装する。軌跡情報表示ページでは津波浸水データのロードが完了した後に、Ajax 通信にて避難行動ログ API に避難行動ログ情報の問い合わせを行う。避難行動ログが存在する場合、避難行動ログの POINT 情報及び時間情報を記載した CZML データを作成しレスポンスデータとして返す。また、避難開始時刻を設定することにより、CZML 内の時間データを自動で調整し、軌跡アニメーションの開始時間を任意に設定することが可能である。

## 4. 津波浸水シミュレーション可視化システムの利活用

図 4 は 2 章のデータ作成手順を踏まえて函館市における津波浸水シミュレーションデータを加工し、本システムにて可視化した結果である。まず函館市における津波の到達時間はおおよそ津波発生から 50 分とされており、発生直後から 50 分間は海岸部において浸水深の変動が見られる程度である。しかし津波発生 52 分後、大森浜から津波浸水深が変動し始め、津波発生から 60 分後には大森浜から国道 279 号まで浸水していることがわかる。津波発生から 70 分後には大森浜から函館湾沿いに浸水が達しており、この時点で陸繋島砂州部は完全浸水し、函館山と内陸部は浸水域によって分断される。

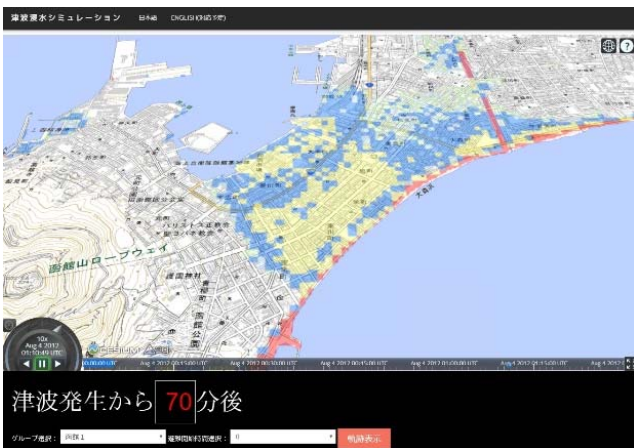
津波発生から 75 分後、今度は大森浜側ではなく、函館湾から急激に浸水深が深くなる様子がわかる。太平洋沿岸部からの浸水深は 30 cm から 100 cm で推移したのに対して、函館湾からの浸水深の変化は 200 cm で推移する。80 分後には陸繋島砂州部の浸水深が 200cm に達し、90 分後には陸繋島砂州から亀田川沿いまで浸水深 200cm となる。結果、大森浜沿いよりも函館湾からの津波による浸水深の変化が大きくなることがわかる。



a.津波発生 50 分後



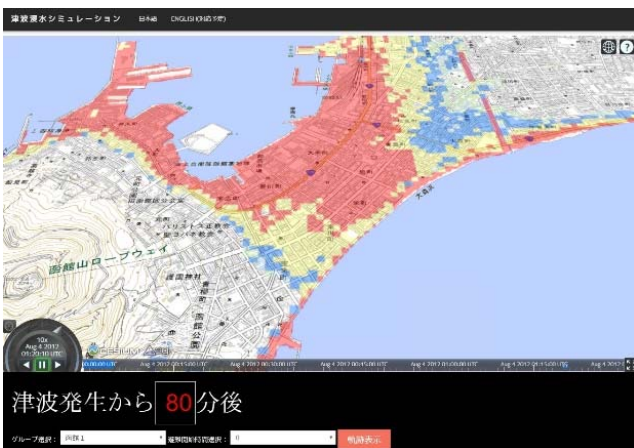
b.津波発生 60 分後



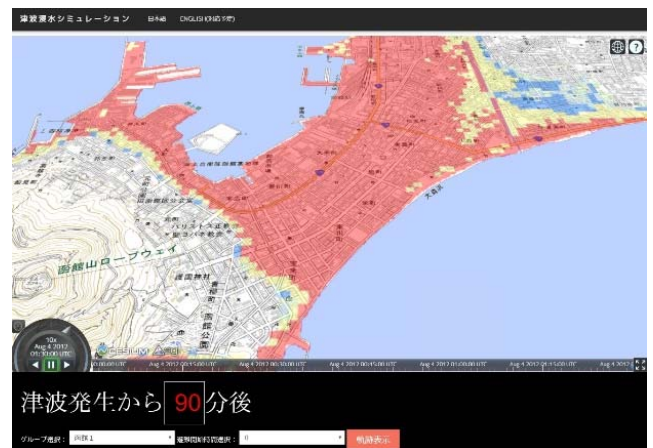
c.津波発生 70 分後



d.津波発生 75 分後



e.津波発生 80 分後



f.津波発生 90 分後

図 4 津波浸水シミュレーションデータ可視化画面



このシミュレーション結果から、津波避難行動のリスクが2点指摘できる。1点目は大森浜沿の人々が沿岸部から離れるため砂州中央部を目指した場合、対岸の函館湾からの大波に被災するリスクである。例えば、陸繋島砂州の北東部は、大森浜からの波が到達する津波発生70分前後では比較的浸水深の値が小さい。陸繋島砂州部は既に30cm以上の浸水深となっており、続けて避難する場合は内陸部へ移動すると考えられる。しかし、その10分後には函館湾からの大きな波が押し寄せ、亀田川まで浸水深200cmのエリアが広がる。この内陸部への避難のうちに避難行動者が被災するリスクが考えられる。

2点目は、既存のハザードマップによる浸水深表現が、逆に被災を招いてしまう可能性があるということである。函館市が公開している津波ハザードマップでは、函館湾沿いから陸繋島砂州内部に向かって、浸水深の深いエリアが広がっている。このハザードマップを見た避難行動者は、まず沿岸である函館湾沿いから離れるため、砂州の中央部に向かって避難することが考えられる。しかしシミュレーションでは、まず西側の大森浜から津波が進むため、避難行動者は自ら津波が来る方向に向かって避難を開始する状況が想定される。津波シミュレーションの時間発展を見る限り、函館駅や朝市といった観光施設にいる人々は、むしろ函館湾沿いにまっすぐ函館山を目指すほうがより多くの避難時間を確保することができるのではないかと考えられる。

## 5. 避難行動軌跡情報の可視化

前章において、避難者の行動が津波による被災リスクを高める可能性が明らかとなった。そこで本章においては、避難行動軌跡情報とシミュレーションデータを合わせて可視化することによって、実際に避難行動者の行動がどうようなりリスクを生み出すかを検証する。そのためにまず軌跡情報を収集するため、集団避難行動実験を行う。調査員は、北海道大学文学部で2017年度前期の地域システム科学演習を受講している学生、院生の25名である。避難ルートは函館市緑の島から、最寄りの避難所である函館市立弥生小学校までのルートとする。

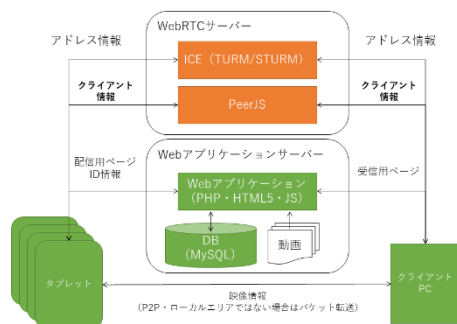


図5 位置情報送信収集システム概要

軌跡情報を収集するシステムは本研究の可視化システムではなく、同クラウドサーバーに設置されている北海道虻田郡ニセコ町にて実証実験のため開発された除排雪車位置情報収集システムを一部改良し利用する[6]。避難行動者は位置情報送信アプリを各自のスマートフォンにインストールする。アプリの起動と同時にGPSによる測位を開始し、位置情報が取得でき次第、HTTP通信にてクラウドサーバーにデータを送信する仕組みである(図5)。

軌跡情報収集システムは過去2度にわたり集団避難行動の軌跡情報収集を行った実績があり、その有用性が示された[7][8]。本可視化システムはこの軌跡情報収集システムの軌跡データに対して、避難行動エリア情報と避難開始後経過時間情報を付与した上でインポートし利用する。図6は津波発生からの避難開始時間を津波発生後55分後と60分後に設定し、それぞれ可視化システム上で表示した画面図である。



a.津波発生後55分後に避難開始



b.津波発生後60分後に避難開始

図6 函館市における避難行動軌跡と津波浸水深

それぞれ全く同じ軌跡を、時間をずらした上で表示している。なお避難開始から 15 分後集団が 2 つに分かれているが、これは後方集団が信号にて停止しているためである。こういった状況は、例えば道路上に車が通っており直ちに横断することができないなど、避難行動中にもあり得る状況である。避難開始時間が津波発生 55 分後の場合、集団は函館湾からの波にのまれることなく、避難行動を完了できる。しかし津波発生 60 分後に避難を開始した場合、交差点において 20cm 浸水深エリアと重なる。さらに避難が 1 分遅れた場合、後方集団は 100cm 浸水深エリアと重なり、非常に危険な状態にさらされることがシステム上で把握できる。

上記のように避難行動軌跡と合わせて表示することにより、避難行動開始の限界を把握することが可能となる。これは平時の防災訓練や防災教育に役立つことが期待される共に、近年避難計画策定の際に議論される、避難支援者の撤退時間の設定の一つの指標となるのではないかと考えられる。

## 6. おわりに

本研究はオープンソースライブラリである Cesium を用いて Web システムを開発し、津波浸水に関する時間発展の可視化及びその利活用方法の検討すること目的とした。北海道函館市を対象に運用した結果、以下の点が明らかとなった。

まず、Cesium 特有のタイムライン機能と CZML ファイルを用いることにより時系列データの表示が容易となり、今回のような津波の時間発展に関するデータを可視化する上で非常に有用であることが明らかとなった。

次に、Cesium を用いた津波シミュレーション可視化システムを運用することにより、これまでの最大浸水深のみを表示したハザードマップに比べ、浸水深の時間発展を詳細に確認することができ、津波避難を行う上での時間的制約や避難経路を考える際に有効に活用できることが期待できる。さらに避難行動の軌跡データを重ね合わせることで、避難行動の中で、津波浸水深がどのように変化するかを合わせて確認することができた。また避難開始時間変更機能により、避難開始がどの程度遅れた場合にどのように被災するかを机上でシミュレーションすることも可能となり、こうした機能は今後の防災・減災を考える上で、有用な情報の一つとなるのではないかと考える。

しかし運用することによって課題も明らかとなった。まず、事前に対象地域のデータを作成しておく必要があり、新規に対象エリアを設定した場合、すぐにはシステムに反映できない点である。今回対象とした津波シミュレーションデータは北海道太平洋沿岸部のデータのみであった。今後北海道日本海側やオホーツク海側、あるいは本州など他

地域における津波データが公開された場合、KMZ ファイルを作成しインポートする必要がある。そうした手間を省くために、データに関しては PostGIS を利用し、ベクターデータとして DB に保存した上で適宜読み込むような仕組みを考える必要がある。

また災害時にはネットワークが不安定になることが予想される。Cesium に関してはパッケージをダウンロードすることにより、オフライン化でもライブラリを利用することは可能である。ベースマップとなる地理院地図も公開されているため、緊急時にはオフラインでも利用できるようなパッケージを作成することも、今後の検討課題の一つである。

**謝辞** 本研究を進めるにあたり、北海道総務部危機対策局危機対策課から太平洋沿岸の津波被害想定に係る津波遡上データを提供していただきました。また集団避難に関する移動軌跡データの収集において、北海道大学文学部の学部生及び院生に調査員として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、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] 深田秀実,橋本雄一,赤淵明寛,沖覬行,奥野祐介:GPS・GISを用いた避難行動支援システムの提案,日本災害情報学会第14回研究発表大会,pp.266-269,(2013)
- [2] 孫英英,矢守克也,鈴木進吾,李葉昕,杉山高志,千々和詩織,西野隆博,卜部 兼慎. スマホ・アプリで津波避難の促進対策を考える:「逃げトレ」の開発と実装の試み.情報処理学会論文誌, vol. 58, no. 1, pp. 205-214, (2017) .
- [3] 奥野祐介,橋本雄一.積雪寒冷地における疑似的津波避難行動に関する軌跡データ分析.GIS—理論と応用—,vol. 33, no. 1, pp. 11-20, (2015) .
- [4] 函館市統計書平成28年版,  
<http://www.city.hakodate.hokkaido.jp/docs/2014030300489/files/H28toukeisyo.pdf> (参照 2017-7-21).
- [5] 北海道:太平洋沿岸に係る津波浸水予測図作成業務報告書,[http://www.bousai-hokkaido.jp/BousaiPublic/html/common/sim\\_tsunami/data/report/05\\_toubu\\_tyubu\\_seibu/01\\_報告書本編.pdf](http://www.bousai-hokkaido.jp/BousaiPublic/html/common/sim_tsunami/data/report/05_toubu_tyubu_seibu/01_報告書本編.pdf) (参照 2017-7-21).
- [6] 塩崎大輔,橋本雄一:地方自治体におけるICTを用いた除排雪車位置情報システムの課題. 情報処理学会研究報告「情報システムと社会環境」Vol.2016-IS-138 No.12,pp.1-6,(2016).
- [7] 奥野祐介,塩崎大輔・橋本雄一:GNSSを用いた津波集団避難実験と移動軌跡データ分析.地理情報システム学会講演論文集,2015,24 (2015).
- [8] 奥野祐介,塩崎大輔・橋本雄一:GNSSを用いた津波集団避難行動に関する移動軌跡データ分析.地理情報システム学会講演論文集,2016,25, (2016)