

津波避難学習における災害リスク情報プラットフォームの活用

愛媛大学防災情報研究センター 新宮圭一，三谷卓摩，森脇 亮，
山本浩司，薬師寺隆彦
東京大学復興デザイン研究体 羽藤英二

1. はじめに

我が国及びその周辺は、世界で有数の地震多発地域である。世界の地震の2割は日本周辺で発生しており地震の巣窟である。過去においては、南海トラフを震源域とする南海地震は、684年天武地震の記録があり有史以来100年から150年間隔で発生している。前回発生した昭和東南海地震（1944年）及び昭和南海地震（1946年）から既に70年近くが経過している。これらのそれぞれの地震がさらに前の安政東海地震（1854年）及び安政南海地震（1854年）から90年後、92年後に発生していることから、地震が発生する確率が高まっていることは容易に想像できる。国の地震調査研究推進本部は、関東から九州の広い範囲で強い揺れと高い津波が発生するとされる南海トラフ地震は、30年以内でマグニチュード8～9クラスの地震が発生する確率が70%～80%と高い数字で予想されている。

そうした中、東日本大震災以上の災害規模ともなりえる南海トラフ地震に対する防災・減災の重要性が高まっている。1995年に発生した阪神大震災以降に、災害が発生した際に被害を出さないようにする「防災」に加えて、最小限に抑えることを目的とする「減災」の理念の重要性が認識される契機となった。それ以降、さまざまな防災・減災対策が講じられていたが、2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、東北4県と関東2県の太平洋沿岸地域に未曾有の津波被害をもたらした。また、東日本大震災から10年が経過し、甚大な被害を受けた地域で社会インフラ復旧は概ね完了している反面、被災者の生活再建においては今も仮設住宅等での生活が続くというような「復興まちづくり」における課題も残されている。

そのような状況を踏まえ、平成30年度から3ヶ年を実施期間として、南海トラフ巨大地震による大規模災害の可能性に対処するために、津波災害が想定されている愛媛県の宇和海沿岸5市町（宇和島市、八幡浜市、西予市、伊方町、愛南町）と愛媛県、愛媛大学、東京大学が共同で「南海トラフ地震事前復興共同研究」（以下、「本研究」という）に取り組んでいる。本研究は、「計画」、「調査」、「教育」の3つを大きな柱として、復災害時の避難・復旧・復興に多くの課題を有している地域特性を踏まえ、来る南海トラフ巨大地震の防災・減災と被災からの復興に備えるための取り組みを行っている。

本研究の課題の一つとして、事前復興の「計画」、「調査」、「教育」で利用する情報を一つの情報システムの上に統合することを目的に“災害リスク情報プラットフォーム”の構築を進めている。その構築上の課題や活用内容などの開発状況については一昨年度に報告し¹⁾、昨年度は蓄積したデータを利用した活用事例として、地域の防災・事前復興ワークショップや豪雨災害からの被害状況の把握と復興の進捗把握などへの活用について報告した²⁾。本文では、昨年度に実施したワークショップにおいて、漁業集落特有の生活道において、震発生後にどのようにして集落の人々が安全に避難場所まで避難するかを議論した。その議論を効率的・効果的に行うための支援ツールとして、避難シミュレーションの検討を進めており、その内容と構築上の課題などより現在までの開発状況を報告する。

(1) システムの構成

1. データ収集・取得

平常時

【既存データ】

(地図、統計、防災、インフラ
土地、建物、地質、交通など)

国 愛媛県 市町 民間

【各種調査】

事前復興センサス
(アンケート)

避難訓練情報

調査機器
ドローン
GPSロガー・カメラなど

発災時

【各種調査】

インフラ被災調査

建物被災調査

避難行動・住宅再建意向調査

3. シミュレーション・アプリケーション

ネットワークデータ

GPSデータ

- 避難経路シミュレーション
- 津波シミュレーション
- 土地変遷シミュレーションなど

2. データプラットフォーム

意見

データ利用

結果のフィードバック

4. 災害情報システム、調査システム

事後復興

発災直後

愛媛県災害情報システム (既存有)

県全域の被害情報を集約

- ・市町との共有
- ・安否確認
- ・道路閉鎖計画
- ・応急復旧

初期期

インフラ被害調査システム (提案)

建物被害調査システム (既存システムあり)

避難行動・再建意向調査 (行政・大学が主体)

復旧期

災害査定調査作成 (調査から連動)

罹災証明書作成 (既存システムあり)

復興計画作成 (事前復興と連携)

5. データ可視化

様々な災害リスク(想定)を重ね合わせ

40分後

50分後

60分後

避難行動・津波シミュレーションのアニメーション

様々な被災情報(実態)を重ね合わせ

6. データ活用

事前復興

住民生活

図上避難訓練(診断)

行政・研究機関活用

住民ワークショップ(合意形成)・教育

事前復興デザイン策定

2010年版

事後復興

行政・研究機関活用

復興デザインの修正

- ・被害実態
- ・避難実態
- ・再建意向などを踏まえ

事前復興デザインを修正

2020年版

復興・復興管理

- ・調査発注計画
- ・工事発注計画
- ・仮設住宅計画
- ・復興進捗管理

意見・結果をフィードバック

図-1 災害リスク情報プラットフォームの構築イメージ

(2) システムの活用

2

3. 津波避難学習

(1) ワークショップの概要

昨年度、西予市明浜町の宮野浦地区において住民への「事前復興ワークショップ」を開催した。地域住民を主体に避難から復興までのことを学習し、ワークショップの手法を用いて一人ひとりの避難や被災後の生活・生業再建などについても学習した。

ワークショップでは、復興における地域課題の解決に向けて、住民が主体的に考えられるよう、住民にもっとも関係する「住まいの再建」では図-2に示す4段階の復興プロセスに応じたテーマを設定し、テーマごとに4回の予定でワークショップを開催している。発災からの復興プロセスとして、①津波から逃げる、②避難所で生活する、③仮設住宅に移る、④住宅再建（現地再建や高台に移転するなど）といった4段階の復興プロセスに分解することで、日頃は防災に対して意識が低い住民の方でも地震・津波災害等に対する理解が深めやすく、段階的に必要な対策を議論する機会になるように工夫している。第1回の津波から逃げる、第2回の避難所で生活するが、津波避難学習の内容にあたる。

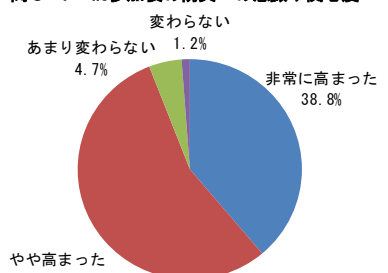


図-2 4段階の復興プロセス

(2) ワークショッププログラムの検証と課題

ワークショッププログラムの内容を検証するために、ワークショップの参加者対象とした調査を実施した。住民アンケート結果から、図-3に示す防災への意識や関心度の高まりを示す評価として、参加者の9割以上が、ワークショップ終了後に“非常に高まった”や“やや高まった”と回答を得ている。そのことから、ワークショップにより危機意識の向上効果がうかがえる。自由意見として「津波の映像を見て、恐ろしさを再確認した」などのコメントが挙げられている。また、「もっといろいろな人に参加してもらえたら良かった」という意見も挙げられている。東日本大震災や過去に起きた災害事象を含めたリアリティのある映像を活用したことや、津波シミュレータと火災シミュレータを用いたことで「防災への意識や関心度の高まり」と「危機意識の向上効果」に繋がったと推察され、こうしたツールの活用が有効であることが示唆されている。また、第1～4回の回答を比較すると、被災後の生活再建とまちの復興をテーマとした第3、4回ワークショップでは、“あまり変わらない”と“変わらない”がゼロに減じ、全員が“非常に高まった”や“やや高まった”と答えている。これは、被災後の生活再建と復興を考える内容（事前復興）が住民にとって新しい学びであったことを示唆している。

問3-1 WS参加後の防災への意識や関心度



n=85

問3-1 WS参加後の防災への意識や関心度

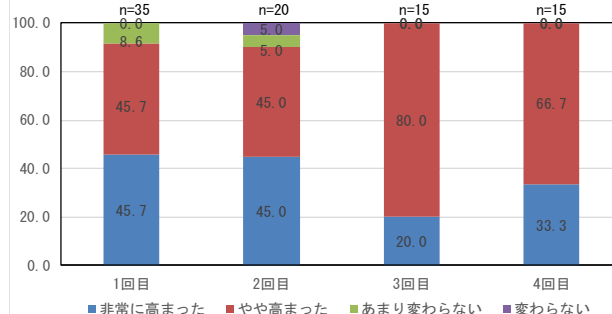


図-3 ワークショップ参加後の防災への意識、関心度

一方で、試行から見てきた地区の課題として、災害リスク低減方策を検討する必要がある。対象とした明浜町は、漁業集落特有の狭い土地に木造建物の人家が軒と軒を突き合わせて密集し、1m から 2m 程度の狭い路地が生活道となっている。これらは災害時に道路閉塞の可能性が高く、集落内の道路網は脆弱である。しかし、今回のワークショップでは道路閉塞された場合の避難経路・避難場所の変更あり方や要援護者の支援の在り方についての議論は深掘りできず、災害リスクの低減方策に課題が残された。本文では、ワークショップ参加者から挙げた道路閉塞の要因から集落の人々がどのように安全に避難場所まで避難するか、避難経路・避難場所への安全な避難を支援するための課題解決に絞って進める。

4. 津波避難シミュレータの開発と可視化

(1) 概要

ワークショップでは、阻害要因が発生した場合の避難経路のあり方を効率的・効果的な議論を行うための支援として、住民の意見として出された阻害要因を反映してシミュレーションを行い、避難行動をアニメーションとして視覚的に表現することで避難の在り方をよりイメージできる。アニメーションを活用することで、災害時の避難の状況をよりリアルに想定でき、避難問題や要援護者問題がより身近な問題として理解されることは、昨年度の宮野浦地区ワークショップのアンケート結果からも示唆されている。

以上の考えから、避難シミュレータと津波データを時刻同期したアニメーションの開発を行う。図-4 に示すよう作成までの全体構成において、ワークショップで出された阻害が発生した場合を想定し、阻害が発生しなかった場合の想定される避難経路や道路閉塞が生じた場合の津波避難シミュレータの開発を行う。具体的には、家屋が押しつぶされ倒壊し避難路を閉塞した集落の状況想定や、要避難支援者の避難を補助する際の状況を想定して、どのようにすれば適切な避難行動が確保できるかを科学的な分析に基づき定量化し、津波避難シミュレータの活用によりワークショップの高度化を図る。

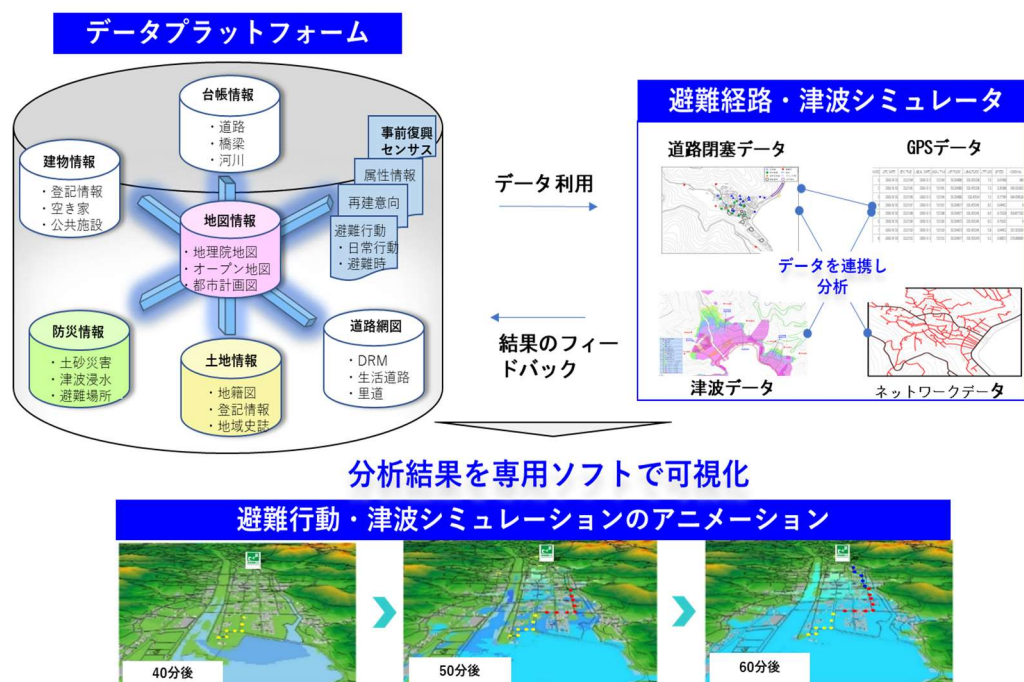


図-4 津波避難シミュレータの全体構成

津波避難シミュレータは、個別の避難行動支援するため2つのシミュレーションを行う。一つは、避難訓練時の避難場所への経路と所要時間の再現を行う。取得したGPSデータを道路ネットワークデータにマップマッチングすることで避難経路を特定し各リンクの所要時間を算出する。2つ目は、道路閉塞の可能性を考慮した代替避難所への迂回経路と所要時間の計算について行う。想定している避難経路において阻害が発生した場合において、当初想定していた避難場所へ迂回して避難するのか、また、別の避難場所を選択した場合において、避難経路と所要時間の計算を行う。計算に必要なインプットデータと可視化ツールを用いた操作手順について図-5に示す。

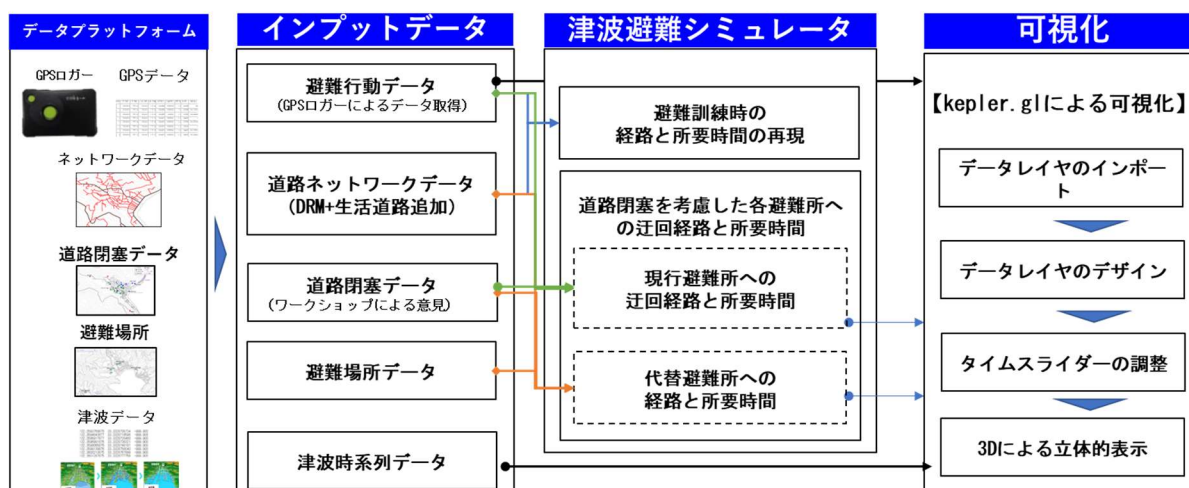


図-5 津波避難シミュレータの全体構成

(2) 津波避難シミュレータのインプットデータ

津波避難シミュレータは、図-5 と表-1 に示すような5つのインプットデータから構成される。避難行動データは、当該地域の避難訓練時に地域の方々にGPSロガーを携帯してもらいデータを取得し、GPSデータの取得間隔は一秒とする。道路ネットワークデータは、一般財団法人日本デジタル道路地図協会が提供する「デジタル道路地図データベース（DRM）」を元に作成した。DRMでは幅員3m以下の道路データが格納されていないため、生活道のネットワークデータを新規に作成しDRMに追加したネットワークデータを構築した。作成方法は、昨年度に蓄積したデータの活用事例として報告している。道路閉塞データは、「事前復興ワークショップ」において災害時のブロック・建物倒壊などによる危険箇所と要避難支援者を地図上に手書きしてもらい、その後に情報をGISソフト等によりシェープファイル形式でデータ化した。避難場所データは、西予市ハザードマップから経緯度情報を読み取り、テキストデータを作成した。津波データは、愛媛県地震被害想定調査において作成された津波シミュレーションデータ（1分間隔）を西予市よりデータ提供を受けた。

表-1 津波避難シミュレータのインプットデータ

No	データ項目	取得方法・データ元	属性情報	データ取得・整備間隔	データ形式
1	避難行動データ	GPSロガー	時刻（1秒間隔）・緯度経度	1秒	txt
2	道路ネットワークデータ	DRM、地籍図（里道）	ノード・リンク	-	shp
3	道路閉塞データ	ワークショップ	閉塞要因（空家・ブロック塀・老朽家屋・老朽空家・倒木・要配慮者・崖くずれ）、緯度経度	-	shp
4	避難場所データ	ハザードマップ	場所名・緯度経度	-	txt
5	津波データ	愛媛県地震被害想定調査津波シミュレーション	地震発生からの時間・緯度経度・浸水深	1分	txt

(3) 津波避難シミュレータの開発

1) 避難訓練時の避難場所への経路と所要時間の再現

GPS ロガーからの位置情報による避難行動データは、誤差を含むことから、必ずしも道路ネットワーク上の歩行を示しているわけではない。そこで図-6 に示すように、避難行動データを道路ネットワークデータにマップマッチングすることで避難行動データの補正を行う。マップマッチングとは、GPS データなどの位置データを用いて、ある時点で移動者がどの経路を利用しているのか、あるいはその経路上のどこにいるのかを特定する技術である。マップマッチングのアルゴリズムは、Curve to Curve map-matching を改良したものを適用して行う。

具体的には、以下の通りである。

- ① GPS の位置データの最初の点 g_{start} から一番近い道路ネットワークのノードを出発ノード n_{start} 、位置データの最後の点 g_{end} から一番近い道路ネットワークのノードを到着ノード n_{end} として計算する。
- ② 道路ネットワークのノードデータ n ごとに GPS の位置データ群 G の中から最近接点の距離 $n_{distance}$ を計算する。
- ③ 道路ネットワークのリンクデータからリンクコストを算出する。リンク l のリンクコスト l_{cost} は、起点側のノード $n_{distance}^{l,o}$ 、終点側のノード $n_{distance}^{l,d}$ 、リンク長を $l_{distance}$ とした場合、 $l_{cost} = (n_{distance}^{l,o} + n_{distance}^{l,d}) \cdot l_{distance}$ として算出する。
- ④ ③で求めた各リンクのコスト l_{cost} と出発ノードを n_{start} とし、Dijkstra 法により、最短経路を探索し、到着ノード n_d までの最短経路コストが計算できた時点で終了し、経路も抽出する。
- ⑤ 経路上のノード n_{route} ごとに GPS の位置データ群 G から最近接点を計算し、通過時刻 n_{time} を計算し、経路上のリンクごとの所要時間を計算する。

最終的な計算結果は、道路ネットワークデータ上を歩行する位置データとなり、加えて、各個人の自宅から避難所までの経路（通行しているリンクデータのリスト）とその経路上のリンクごとの所要時間について把握することができる。なお、上記のマップマッチングのアルゴリズムの実装は、プログラミングに言語「Java」を用いる。

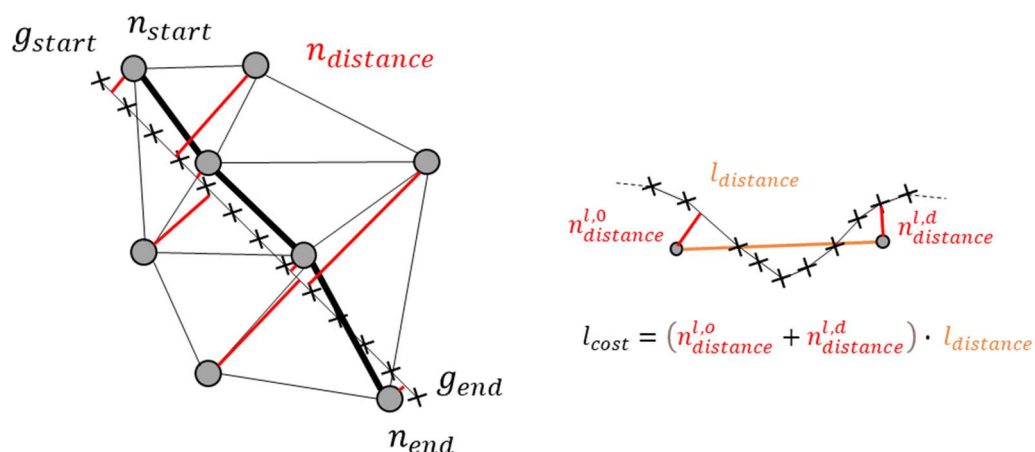


図-6 避難行動データを道路ネットワークデータにマップマッチングイメージ

2) 道路閉塞の可能性を考慮した代替避難場所への迂回経路と所要時間

大地震発生時には、道路閉塞の可能性もあることから、必ずしも想定していた避難所に避難できるとは限らない。そこで図-7 に示すように、道路閉塞データを用いた代替避難場所への迂回経路と所要時間の計算を行う。具体的には、以下の通りである。

- ① 道路閉塞の位置データをもとに道路ネットワーク N の最近接リンクを計算し、道路ネットワークからカットした道路ネットワーク N' を作成する。
- ② 代替避難所の候補となる位置データと一番近い道路ネットワークのノードを到着ノードとして計算する。
- ③ 避難訓練時のリンク所要時間情報から平均値を集計し、リンクコストを算出する。
- ④ 閉塞時のリンクカットを行った道路ネットワーク N' から出発ノードを n_{start} と各代替避難所のノードまでの経路と所要時間を Dijkstra 法により計算する。

この結果により、現行避難所までの迂回経路の把握や到着までの所要時間の変化や、代替避難所の位置とその経路について把握することができる。津波避難シミュレータの開発により、個別の避難計画を検討するための付加的な材料を複数提供することが可能となる。

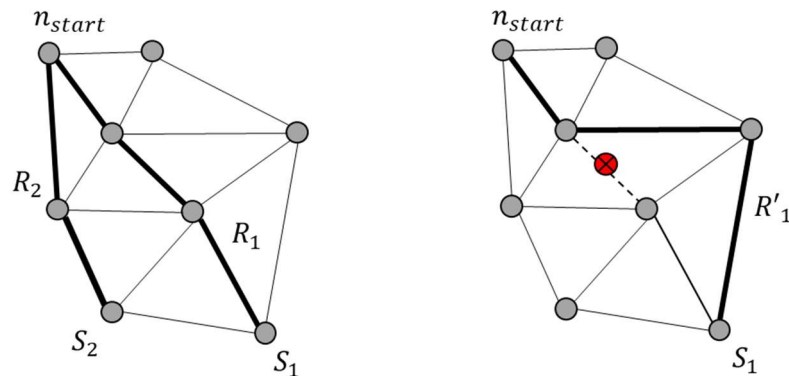


図-7 代替避難場所への迂回経路と所要時間の計算イメージ

(4) Kepler. GL による可視化

1) 概要

津波避難シミュレータによる避難行動データと津波予測シミュレーションによる浸水深の時系列データを重畳して表示することにより、高台への避難行動に対する意識を促すための可視化（アニメーションの作成）を行う。可視化にあたっては、Uber 社製の“Kepler. GL”を利用する。Kepler. GL は、オープンソース webGIS であり、コードの知識がなくてもデータの可視化を行うことのできるシステム設計になっている。事前に緯度、経度を column に含む CSV や Json データを用意し webGIS 上にアップロードすることにより可視化を可能とする。また、同社では kepler. GL の他 deck. GL と言ったライブラリもあり、JavaScript で操作を行うこともできる。kepler. GL は、deckgl をベースに開発された簡易版ツールと位置づけられ、操作性や使いやすさが高いツールであることから、避難シミュレータと津波データを時刻同期したアニメーションの実装も可能である。

2) 機能性・操作性とワークショップでの有効性

Kepler. GL は、他社性の GIS と比較して可視化ツールに優れていると定評があり、機能性と操作性においては、次のような特徴が挙げられる。最も特徴的な機能として、タイムスライダー機能によるアニメーション作成が挙げられる。図-8 に示すように GPS ロガーにより取得した時刻、緯度、経度のデータを取り込むことで、容易に人の動きを動的に可視化することが出来る。また、地震発生から津波浸水想定深データ（1 分毎）を別レイヤーとして取り込むことで、同一画面上で重ね合わせて動的に可視化を行うことが可能である。Kepler. GL は、データ取り込み形式が限られているため、事前に GPS データを geoJSON や津波浸水想定深を CSV データに変換

し、Kepler.GLに取り込んでいる。

津波の到達予想時刻や予想される津波の高さ、範囲により避難のタイミングや経路の選択が重要であることを促すためには、実際の避難行動データ（1秒）と津波データ（1分）の時刻同期を図る必要がある。Kepler.GLは、レイヤーごとに可視化方法とタイムスライダーの速度を設定が可能で、津波データとGPSデータをタイムスライダーの速度を相互に調整することで時刻同期が図れる。

Kepler.GL活用し、可視化を行うことで津波による浸水被害が発生する場所、時間帯が視覚的に予測できることから、地域住民への避難行動に対する意識を促すためのツールとしてKepler.GLの有用性が十分にあると思われる。また、インターネット環境が整備されている場所であれば、どこでも閲覧可能である。また、3Dによる立体的表示と視点変更などでシミュレーションを体験できるため、ワークショップ等にも有効的に活用できると思われる。



図-8 Kepler.GLを活用した可視化イメージ

5. まとめ

災害リスク情報プラットフォームに蓄積したデータの活用事例として、津波避難シミュレータの開発と可視化の開発状況を紹介した。今年度は開発した津波避難シミュレータを活用して、道路閉塞された場合の避難経路・避難場所の変更あり方や要援護者の支援の在り方をテーマとしてワークショップを予定している。また、現在は、新型コロナが日常化し3密での対面形式でのワークショップが困難なため、リモートワークショップでの開催も視野に入れている。一方で、対象地域は高齢化が進む漁業集落でワークショップ参加者も高齢の方が多いことから、パソコンを保有していない方やパソコン操作が不慣れ方の割合が高いなどリモートワークショップの課題が挙げられる。今後は、リモートワークショップを前提とした情報プラットフォームの改良や津波避難シミュレータ活用の促進とデータベースの構築を継続する。

参考文献

- 1) 新宮圭一, 山本浩司, 薬師寺隆彦, 全邦釘, 森脇亮: 宇和海沿岸地域の事前復興デザインのための情報プラットフォームの構築, 第13回南海地震四国地域学術シンポジウム, 土木学会四国支部, pp.49-56, 2018.
- 2) 新宮圭一, 森脇亮, 山本浩司, 薬師寺隆彦, 矢田部龍一, 二神 透, 羽藤英二, 萩原拓也: 宇和海沿岸地域の事前復興のための災害リスク情報プラットフォームの活用, 第14回南海地震四国地域学術シンポジウム, 土木学会四国支部, pp.49-68, 2019.