

# 防災教育のためのVR技術を用いた 津波とその避難の疑似体験システムの構築に関する研究

中央大学 植野 雄貴  
中央大学 近 真弥  
中央大学 陳 詩凌  
中央大学大学院 金澤 功樹  
(株) エイト日本技術開発 大川 博史  
中央大学 檜山 和男

## 1. はじめに

南海トラフの巨大地震にともなって発生する津波など、将来、大規模な災害が発生する可能性がある。東日本大震災を契機として、ハード対策による人的被害の軽減には限界があることが明らかになり、ソフト対策の重要性が認識された。ソフト対策の軸はハザードマップの公開と防災教育である。しかし、一般住民の防災に対する意識はそれ程向上しているとは言えない。その理由は、ハザードマップでは災害をイメージできないことが挙げられる。

本研究では、精度の高い都市・地域モデルの作成を目指してGIS/CADおよびドローンを用いた高精度地域モデルの構築及び適用性の高い避難シミュレーション手法の構築を行った。そして、防災教育のツールとしてゲーム及び3Dコンテンツの作成向けの統合開発エンジンであるUnityを用いて都市・地域モデル、津波の解析結果、避難シミュレーション結果を統合し、避難場所からの視点および避難者の視点の全天球動画の作成を行った。また、それらを近年普及の著しいスマートフォンで閲覧可能なVR体験型津波避難シミュレーションシステムの構築を行った。

## 2. 開発環境

### 2.1 ハードウェア

本システムではスマートフォン単体でVR可視化を行うことができるが、図-1に示すようなスマートフォン挿入型HMD(Head Mount Display)を用いることでより臨場感の高いVR体験も可能となる。スマートフォン挿入型HMDは、スマートフォン内のジャイロセンサーを用いることで向いている方向を感知し、出力した画像を立体的に提示する。

### 2.2 ソフトウェア

本システムの開発ではUnity 2018.1.2f1 Personal版及びUnity 5.6.4f1 Personal版を用いた。



図-1 スマートフォン挿入型HMD

## 3. 本システムの概要

本研究は、住民の防災意識向上の促進を目的として、人的被害の大きい水害(特に津波、洪水)に焦点を絞り、実際の都市・地域環境を忠実に再現したモデルを作成した上で、自然災害の発生・進行過程を物理モデルに基づく高精度なシミュレーション手法により再現した。そして、それらに避難シミュレーションの結果を導入し、仮想現実(VR)技術を用いて3次元CGにより映像化した計算結果を立体表示させることで、災害を疑似体験可能なシステムの構築を行うものである。

図-2に示すように、構築した津波体験システムは、1)対象地域の地形・構造物のモデリング、2)津波シミュレーション、3)避難シミュレーション、4)1)、2)および3)の結果を用いてVR可視化を行い避難場所と避難者視点での全天球動画の作成、という4つのプロセスを経ることにより構築される。以下に、各プロセスについてその概要を述べる。なお、対象地域は高知県中土佐町久礼地区を取り上げた。

### 3.1 都市・地域モデルの導入

本研究では、GIS/CAD/ドローンにより取得したデータを用いて高精度な3次元都市・地域モデルを作成する手法を構築した。本手法の特徴は、モデリング領域を低解像度の領域(地形モデル)、中解像度の領域(非構造物モデル)、高解像度の領域(構造物モデル)に分け、それぞれに対して適切な手法でモデル化を行う点にある(図-3参照)。具体的には、大領域の地形モデルにはGIS

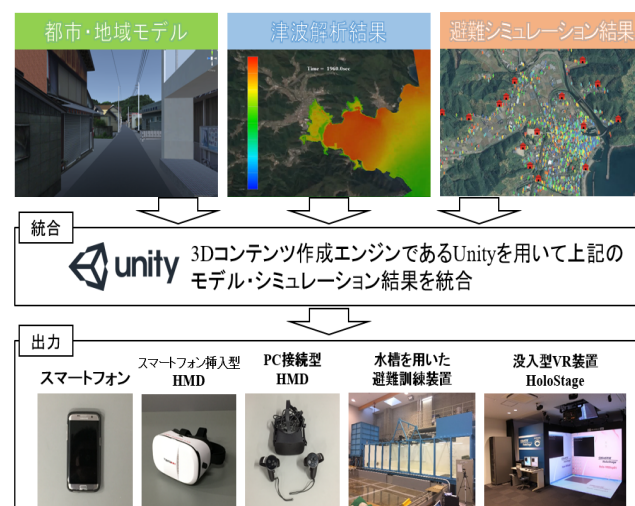


図-2 システムの概要

●低解像度(大領域)

公開されているデータを用いて、地形モデルに衛星写真を貼り付けて作成する。  
(ex. 数値標高5mメッシュ・衛星写真等)



●中解像度(中領域)

ドローンで撮影し、SfM/MVS処理により3次元形状を復元する。



●高解像度(小領域)

構造物を図面・写真を元にCADにより作成する。

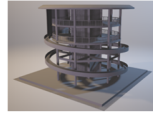


図-3 都市・地形モデルの導入手法



図-4 低解像度のモデル

データを、中領域の非構造物モデルにはドローンによる空撮データを、小領域の構造物モデルには3Dモデリングソフトを用いてモデル化を行った。そして、作成したモデルをUnityにより編集および可視化を行うため、FBX形式に変換して、モデルの統合を行った。以下に、各領域のモデリング方法について示す。

地形モデルのモデル化には、GISデータとして国土地理院発行の数値標高5mメッシュを用いる。そして、GISソフトを用いて作成された地形モデルの表面上に、高解像度の衛星写真データを張り付ける(図-4参照)。

砂浜や樹木群などの非構造物のモデル化については、3Dモデリングソフトの使用は適さない。また、可視化において重要でない地域のモデル化を3Dモデリングソフトを用いることは効率的ではない。本研究では、それらの領域においてはドローンを用いて撮影した画像データをSfM (Structure from Motion) /MVS (Multi View Stereo) 技術に基づくソフト (Agisoft Photo Scan) を用いてモデル化を行った(図-5参照)。

また、建物などのモデリングについては3Dモデリングソフトウェアを用いる。その際、避難所(図-6参照)などのランドマーク的な重要構造物についてはハイエンドな3Dモデリングソフトウェア (3ds Max) を使い、民家などのモデリングについて簡易な3Dモデリングソフトウェア (Google SketchUP) を用いた。なお、現実感を高める

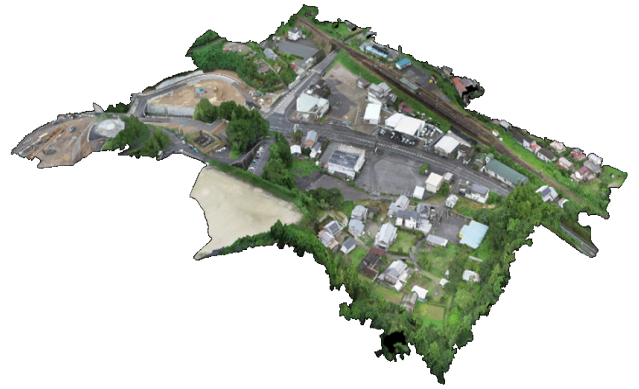


図-5 中解像度のモデル

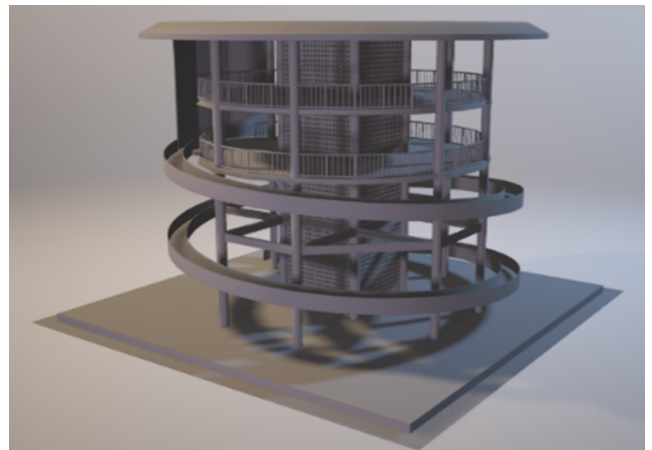


図-6 高解像度のモデル

ために、建物モデルの壁面にはカメラで撮影した画像の貼り付けを行った。図-7に対象地域の実際写真(上)と本手法によるモデル(下)を示す。図より、街並のモデリングが正確に行われていることが分かる。

そして、別々の手法で作成したモデルデータをFBXデータに変換し、Unity上で統合することで、対象地域の再現性の高いモデル作成が可能となる(図-8参照)。

## 3.2 津波解析結果の導入

### 3.2.1 支配方程式と離散化手法

津波解析の支配方程式として、浅水長波理論に基づく浅水長波方程式を用いる。

支配方程式に対して、SUPG法に基づく安定化有限要素法を用いて空間方向に離散化、Crank-Nicolson法を用いて時間方向の離散化を行う。連立一次方程式の解法にはBi-CGSTAB法を用いる。

### 3.2.2 数値解析条件

津波の初期条件には中央防災会議が提供している断層パラメータケース4から算出された水位変動量を用いている。

## 3.3 避難シミュレーション結果の導入

### 3.3.1 避難シミュレーション

避難者は建物内から避難すると仮定し、初期位置から分岐点までの最短距離の分岐点を選びその分岐点へ移動する。避難者の経路選択は分岐点に到達した時点で行われ、



図-7 都市・地形モデルと実物との比較



図-8 各手法により作成したモデルの統合

隣接した分岐点の情報を入手し、式(1)で表される重力モデルによって決まる。\$S\$は効用であり\$S\$が最大となる隣接点へ移動する。

$$S = \frac{a}{s^\alpha} - \frac{b}{z^\beta} - \frac{c}{w^\gamma} \quad (1)$$

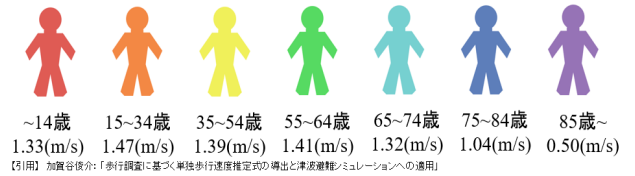
ここで、\$s\$は避難所距離、\$z\$は標高、\$w\$は水際線からの距離である。\$a, b, c\$は変数に対する重みであり、値が大きいほど効用に占める割合が大きくなる。\$\alpha, \beta, \gamma\$は変数に対する空間距離の影響度である。以下に考慮した要素を示す。

- 年齢別速度：図-9に示すように、避難者の歩行速度を年齢別・性別毎に設定した。
- 勾配速度：上り、下りそれぞれで以下の速度式を適用した。

$$V(\text{up}, M) = \frac{P}{(m + M)g(\mu \times \cos \theta + \sin \theta)} \quad (2)$$

$$V(\text{down}, M) = \frac{P}{(m + M)g(\mu \times \cos \theta - \sin \theta)} \quad (3)$$

ここで、\$P\$は筋の発するパワー、\$m\$は体重、\$M\$は



中土佐町久礼地区の年齢別人口(2017)

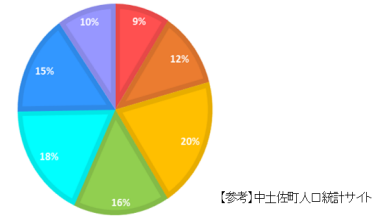


図-9 年齢別速度

負荷量、\$g\$は重力加速度、\$\mu\$は地面の摩擦係数、\$\theta\$は勾配である。

- 群集速度
- 歩行疲労割引率の考慮
- 適切な車間距離の確保
- 浸水済の避難経路を回避するシステム
- 避難場所の収容人数の考慮
- 避難所の優先順位

### 3.3.2 スクリプトの作成・導入

各時刻における避難者の位置座標を導入する際に各時刻ごとに位置座標を外部ファイルから参照する場合、エラーの原因の解明が困難になる。そこで本システムでは、避難者を制御するスクリプトに各時刻における避難者の位置座標を記述した。また、\$x, y\$方向にそれぞれ\$\pm 1.5\text{m}\$の乱数を加え、避難者がばらつくようにした。

また、その避難者の位置座標が記述されたスクリプトを人型モデルに導入するスクリプトを作成した。

### 3.4 全地球動画の撮影・閲覧

全地球映像はUnityのAssetStoreから導入した録画ソフトを用いて作成し、画質及びフレームレートはそれぞれ4K・30FPSに設定した。

全地球映像はYouTubeのサーバーにアップロードし再生できるようにした。それぞれの避難場所視点のVR映像に簡単にアクセスするために、当該映像のURLをQRコード化し避難場所マップの各避難場所毎に配置した。(図-10-I参照)

## 4. 可視化結果

本研究では、高知県中土佐町の久礼地区を対象として避難場所からの視点、避難者の視点の映像の可視化を行った。

### 4.1 避難場所からの視点

対象地域の避難場所マップを用いた投影までの様子を図-10に示す。避難場所マップは、津波災害に対する防災教育に活用することを目的として作成したものであり、その作成に当たっては当該地域の航空写真を使用し、地図上



図-10 I. 避難場所マップ II. スキャンの様子 III. 投影の様子

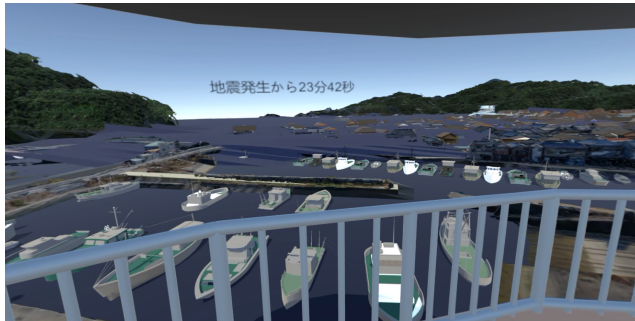


図-11 ある避難場所からの視点



図-12 避難者の視点

の各避難場所に YouTube にアップロードしたその避難場所からの視点の動画の URL 情報を含んだ QR コードを共に示した。図-11 に対象地域内のある避難場所からの視点を示す。

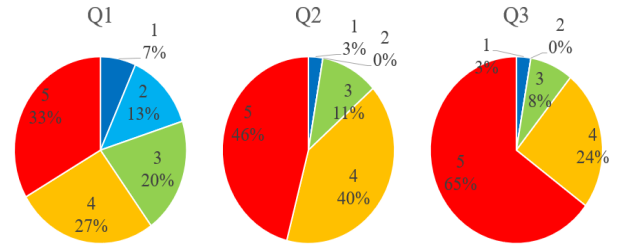
#### 4.2 避難者の視点

図-12 は対象地域内を避難する様子を避難者視点から示したものである。この可視化機能により、避難開始から避難場所到着までの動画を閲覧することができる。

### 5. 疑似体験システムの適用

#### 5.1 アンケート調査の実施

2018年12月22日(土)に、対象地域内にある久礼中学校の中学1年生と保護者、教員(約50名)にシステムを公開し、アンケート調査を行った。そのうちの有効回答



都市・地域モデルの品質 本システムの操作の手軽さ 防災意識は向上したか

図-13 アンケートの結果

者数は37名であった。

設問は、Q1: 都市・地域モデルの品質、Q2: 本システムの操作の手軽さ、Q3: 防災意識は向上したか、について5を最良、1を最低として5段階で評価するものである。図-13にアンケート調査結果を示す。

#### 5.2 結果の分析

Q3において4と5を選択した人の割合が約89%と非常に高いことから、本システムは防災教育に有効であると考えられる。

### 6. おわりに

本研究では、スマートフォンで閲覧することができるようなVR体験型津波避難シミュレーションシステムの構築を行い、高知県中土佐町を対象として津波シミュレーション結果の可視化に適用した。その結果以下の成果を得た。

- QRコードを活用した防災マップとスマートフォンを用いることで、VR可視化結果への容易なアクセスが可能となった。
- 避難シミュレーション結果を導入し、避難者視点の可視化機能により、容易に避難体験をすることを可能とした。
- アンケート結果から、本システムは防災教育に有効であることが確かめられた。

今後の課題として、都市・地域モデルや津波の描画の高品質化が挙げられる。

#### 参考文献

- 1) 植野雄貴, 金澤功樹, 陳詩凌, 近真弥, 大川博史, 樫山和男: 防災教育のためのVR技術を用いた津波とその避難の疑似体験システムの構築, 第46回土木学会関東支部技術研究発表講演概要集, I-76, 2019.
- 2) 近真弥, 金澤功樹, 大川博史, 樫山和男: マルチエージェントモデルを用いた津波避難シミュレーションの適用性向上に関する研究, 第46回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, I-75, 2019.
- 3) 陳詩凌, 金澤功樹, 植野雄貴, 大川博史, 樫山和男: GIS/CAD/ドローンを用いた高精度地域モデルの構築手法に関する研究, 第46回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, I-77, 2019.
- 4) 金澤功樹, 凌国明, 大川博史, 樫山和男: 建物倒壊を考慮した津波解析手法の有効性の検証, 第45回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, II-38, 2018.