

## (56) 防災教育のための VR 津波疑似体験システムの構築

王 博<sup>1</sup>・植野 雄貴<sup>2</sup>・須藤 瑞輝<sup>3</sup>・大川 博史<sup>4</sup>・檜山 和男<sup>5</sup>

<sup>1</sup>学生会員 中央大学大学院 理工学研究科 都市人間環境学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

E-mail: a15.twnn@g.chuo-u.ac.jp

<sup>2</sup>学生会員 中央大学 理工学部 都市環境学科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

E-mail: plant.field.00001@gmail.com

<sup>3</sup>学生会員 中央大学 理工学部 都市環境学科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

E-mail: a17.7s8y@g.chuo-u.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 株式会社エイト日本技術開発 (〒701-1152 岡山県岡山市北区津島京町 3-1-21)

E-mail: ookawa-hi@ej-hds.co.jp

<sup>5</sup>正会員 中央大学教授 都市環境学科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

E-mail: kaz@civil.chuo-u.ac.jp

本論文は、近年普及の著しいスマートフォンに着目し、その技術を用いて津波避難体験システムの構築を行ったものである。本システムは、高精度な3次元都市地域モデルの構築、高品質な津波モデル作成を行い、Unityを用いてそれらを統合した。そして、避難場所における全方位映像を作成し、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することで津波の疑似体験が可能なシステムの構築を行った。

**Key Words:** virtual reality, tsunami simulation, evacuation simulation, disaster mitigation education

### 1. はじめに

東日本大震災を契機として、各自治体において新たな津波想定のもとに、ハザードマップの再作成・公開が行われている。また、津波災害に対する正しい理解と防災意識の向上を目的として、従来の最大浸水深を表示する静的なハザードマップに代わり、津波被害の進展状況が理解できる動的なハザードマップについても作成・公開が行われている。

近年、バーチャルリアリティ (VR) 技術が各種の防災教育・訓練等に活用されており、著者の研究室においても普及が著しいスマートフォンに着目した VR 津波疑似体験システム<sup>1)</sup>の構築を行い、地域の中学校や自主防災組織などでの利用を通じて、ハザードマップにはない臨場感を体験できる防災教育コンテンツとしての有用性を確かめる他、操作性及びCGモデル品質等の向上が防災意識の向上に寄与する可能性があることを認識した。

本論文は、従来の津波疑似体験システムの臨場感のさらなる向上を目的として、津波モデル及び都市・地域モデルの品質の改善を行うとともに、各避難場所視点で解

析結果に基づいた津波遡上の様子をスマートフォンで体験可能な全天球動画の作成を行った。

### 2. 開発環境

#### (1) ハードウェア

本システムでは主にスマートフォンを用いて可視化を行い、図-1に示すようなスマートフォン挿入型HMD (Head Mount Display) にセットすることで、臨場感の高い立体映像に基づくVR体験も可能となる。なお、開発に使用したコンピュータ環境におけるCPUとGPUは、それぞれIntel core i7-8700 (3.2GHz) 及びNvidia Geforce RTX 2070を用いた。

#### (2) ソフトウェア

システムの開発には、統合開発環境内蔵のゲームエンジンUnity (2020.4.6f1)を用いた。各プログラムは主にC#で記述し、一部はHLSLで記述した。また、解析結果可視化するには科学データ可視化ライブラリーVTKを



図-1 スマートフォン挿入型HMD

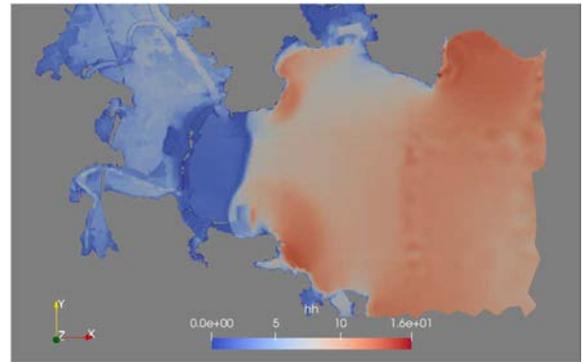


図-3 津波解析結果



図-2 システムの概要

用いた。なお、都市・地域モデルの作成で使用したモデリングソフトウェアについては後述する。

### 3. システム概要

本システムは、対象地域の住民の防災意識の向上を促進する津波体験システムの構築を行うもので、その概要を図-2に示す。

本システムは、実際の都市・地域環境をGIS、CADおよびドローンによるマッピングデータを用いて忠実に再現した上で、物理モデルに基づく津波シミュレーションを実施する。そして、それらをUnityを用いて統合し、VR技術を用いて3次元CG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。

以下に、各プロセスについてその概要を述べる。なお、適用対象地域として、高知県中土佐町久礼地区を取り上げた。

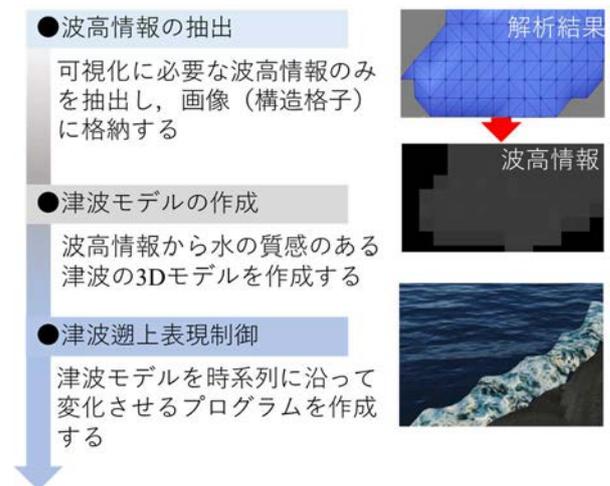


図-4 津波解析結果の可視化

## 4. 津波シミュレーション

### (1) 支配方程式と離散化手法

本研究では任意形状への適合性に優れた三角形要素を用いた有限要素法による津波解析手法<sup>2)</sup>を用いる。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た。また、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った。連立一次方程式の解法にはBi-CGSTAB法を用いた。

津波の初期条件としては、中央防災会議が策定した断層モデル4から算出された水位変動量を用いている。図-3に地震発生後2400秒前後の津波が遡上していく様子を示す。このような解析結果を立体感のあるように可視化を行った。

### (2) 津波解析結果の可視化

津波の数値解析結果から時系列に変化するCGモデルの作成するために、図-4に示すように、まず、可視化に必要な波高情報を等間隔に抽出・格納を行い、空間充填



図-5 都市・地域モデルの作成

(Tessellation) の手法を用いて立体感のあるモデルを構築した。そして、水の質感を表現可能なシェーディング手法を適用することで、津波モデルの作成が可能となる。なお、津波の先端には白波を表示させるモジュールを作成した。そして、時系列に波高情報の補間・更新を行うプログラムを適用することで、津波の遡上を表現可能なCGモデルの作成が可能となる。

## 5 都市・地域モデルの導入

本研究では、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<sup>3)</sup>を用いた。図-5に示すように、大領域の地形モデルには津波解析メッシュから抽出した高さ情報を、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及びGIS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。

### (1) 低解像度領域の作成

津波モデルと重ね合わせる際のずれの発生を避けるために、VTKを用いて津波解析用地形メッシュから抽出した高さ情報を用いて地形モデルを作成した。



図-6 中解像度のモデル



図-7 高解像度のモデルと実物との比較



図-8 各モデルの統合

### (2) 中解像度領域の作成

砂浜や農地等の非構造物及び橋、消波ブロックなどの土木構造物を含めた、可視化において重要でない地域のモデル化を効率的に作成するために、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 (MultiView Stereo) 技術に基づくソフトウェア (Pix4D) を用いてモデル化を行った (図-6参照)。また、ドローン撮影にカバーされていない部分のモデルについては、公開された GIS データよりインフラ設計ソフトウェア (Infraworks) を用いて作成した。

### (3) 高解像度領域の作成

避難所、病院、役所、消防署などのランドマーク的な重要構造物及び可視化に重要な民家モデルの作成につい

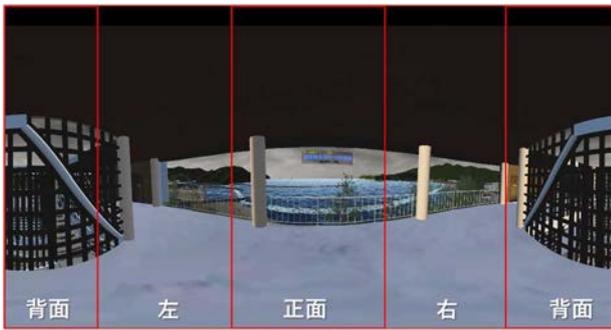


図-9 正距円筒図法の全天球動画



図-10 システムの利用方法

て 3D デザインソフトウェア (SketchUp) を用いて作成した。なお、現実感を高めるために、建物モデルの壁面には実物の写真から切り取ったテクスチャの貼り付けを行った。図-7に対象地域の実際写真(左)と本手法によるモデル(右)を示す。図より、正確にモデルが再現されていることが分かる。

各手法により作成したモデルの結合においては、3Dモデリングソフトウェア (Blender) を用いて修正や位置合わせを行い、Unity 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)。

## 6. 全天球動画の作成及び VR 可視化

Unity で津波モデルと都市モデルを日本の平面直角系座標系で位置合わせした後に、各視点での映像を正距円筒図法で投影した全天球動画 (図-9 参照) を作成した。作成した動画に VR 用に投影、再生することで臨場感のある VR 津波体験が可能となる。

本研究では、高知県中土佐町の久礼地区を対象として各避難場所からの視点の可視化を行った。図-10 にスマ

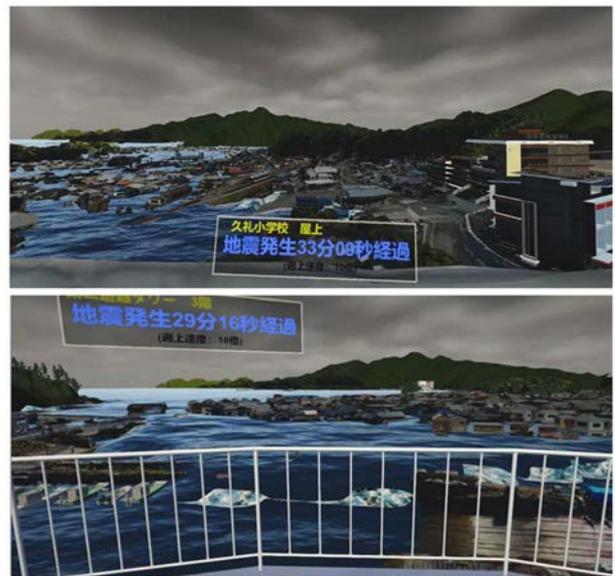


図-11 主な避難場所からの視点

ートフォンや対象地域の避難場所マップを用いた全天球動画及び VR 動画再生の様子を示し、各種 HMD を用いることでより臨場感の高い VR 津波体験が可能となる。

図-10 (左) の避難場所マップには、避難所の場所ごとに YouTube にアップロードした各避難所視点の動画の URL 情報を含んだ QR コードが表示されており、スマートフォンで読み取ることで、手軽にリンクを取得することが可能となる。図-11 に主な避難場所からの映像を示す。図より、高品質な VR 映像が表示されていることが分かる。

## 7. おわりに

本論文では、従来の津波疑似体験システムの臨場感のさらなる向上を目的として、津波モデル及び都市・地域モデルの作成手法の変更による品質の改善を行った。本システムの利用により、防災意識の向上が期待できる。

今後は、本システムを防災教育に適用することによりシステムの有効性に対する検証・評価を行う予定である。

## 参考文献

- 1) 植野雄貴, 金澤功樹, 陳詩凌, 近真弥, 大川博史, 檜山和男: 防災教育のための VR 技術を用いた津波の疑似体験システムの構築に関する研究, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol.44, pp.113-116, 2019.
- 2) 利根川大介, 檜山和男: 安定化有限要素法による非線形分散波理論に基づいた津波遡上解析手法の構築研究, 応用力学論文集 12, pp.127-134, 2009.
- 3) 須藤瑞輝, 檜山和男: 高精度かつ簡便な都市モデルの作成手法の構築に関する研究, 第 48 回土木学会関東支部技術研究発表講演概要集, I-46, 2019.