

(80) 地域防災教育のための VR 津波疑似体験システムの構築

王 博¹・大川 博史²・樫山 和男³

¹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: pppp9786@gmail.com

²正会員 株式会社エイト日本技術開発 技術本部 (〒164-8601 東京都中野区本町 5-33-11)
E-mail: ookawa-hi@ej-hds.co.jp

³正会員 中央大学教授 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: kaz@civil.chuo-u.ac.jp

本論文は、防災教育のための VR 技術を用いた津波疑似体験システムのシステムの構築を行ったものである。高精度かつ簡便に地域モデルを作成するために GIS/CAD およびドローンデータを用いるとともに建物モデルをルール化して作成するモデリング手法を構築した。また、津波の CG を高品質に行う Unity に基づくレンダリング手法についても構築した。津波被害が想定される地域を対象とした都市・地域モデル、津波および避難シミュレーション結果を統合し、避難場所および避難者の視点から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、ハード対策には限界があることが明らかとなり、各自治体においてはソフト対策として、新たな想定の下でのハザードマップの作成・公開や避難訓練などのソフト対策の推進に力を入れている。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。その大きな原因の一つとして、ハザードマップや避難訓練からは災害がイメージできないということが挙げられる。

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の構築を行い、地元の中学校や自主防災組織などでの利用を通じて、防災意識の向上に寄与する可能性があることを確認してきた¹⁾。

そこで本論文では、防災意識のさらなる向上を目的として、都市・地域モデルと津波モデルの高品質化を施した VR 津波体験システムの構築を行った。また、避難シミュレーション²⁾に基づく避難者視点からの全天球動画の作成、避難の疑似体験を可能とした。また、本システムを適用地域の中学生に対する防災教育に使用して、システムの使用性と有効性に対する評価を行った。

2. システム概要

本システムは、実際の都市・地域を GIS データ、ドローンおよび CAD モデルを用いて忠実に再現した上で、自然災害の発生・進行過程を物理モデルに基づく津波シミュレーションおよびマルチエージェントに基づく避難シミュレーションを実施する。そして、それらの結果を Unity を用いて統合し、VR 技術を用いて高品質な 3 次元 CG を表示させることで、津波を疑似体験可能なシステムの構築を行うものである。なお、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である Unity を用いた。

また、本システムは従来のスマートフォンを用いるシステムに加えて新たに構築したヘッドマウントディスプレイ (HMD) を用いるシステムに大別できる。スマートフォンを用いるシステムでは、避難所や避難者などあらかじめ設定した上で、それらの視点での全天球立体映像による VR 津波疑似体験が可能である。一方、HMD を用いる可視化システムでは、都市・地域モデル内を自由に移動できる機能及び津波モデルの遡上速度を変更可能なインタラクション機能を実装した。スマートフォンを用いるシステムでは、スマートフォン挿入型 HMD に装着することで、立体映像に基づく体験が可能となる。

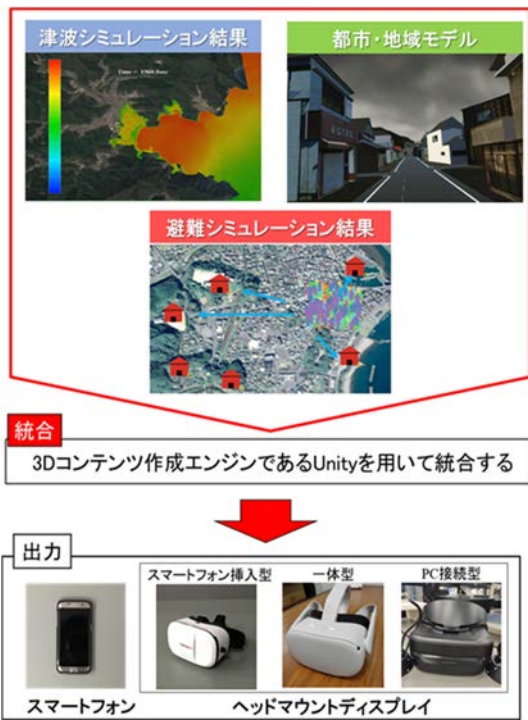


図-1 システムの概要

本システムの概要を図-1 に示す。次章以降に、新たに実装する都市・地域モデリング手法、高品質な津波モデルの作成方法、避難シミュレーションに基づく可視化を中心に述べる。

3. 都市・地域モデリング手法

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、モデリング手法について述べる。

(1) モデリング手法の概要

大領域の地形モデルに対しては GIS データ（国土地理院発行の数値標高 5m メッシュ）を用い、作成し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。なお、地形モデルの作成には、インフラ設計ソフト（Infraworks）を用いた。また、樹木や微地形などの非構造物モデルを含む中領域にはドローンによる空撮データを用いてモデル化を行った。一方、建物など人工物の小領域のモデリングについては 3D モデリングソフトを用いて行う。次項において、本研究で構築した建物のモデリング手法について述べる。

(2) 建物のモデリング手法

建物など人工物のモデリングについては 3D モデリングソフトを用いて行う。その際、重要でかつ複雑形状を有する構造物についてはハイエンドな 3D モデリングソフト（3ds Max）を用い、民家などの幾何学的形状が比

較的簡単な建物については、デジタルカメラ画像を用いて簡易な 3D モデリングソフト（Google SketchUp）により形状の作成を行った。対象地域の中土佐町久礼地区は、典型的な漁村であり、民家が圧倒的に多い。後者のデジタルカメラ画像を用いたモデリングを多用した。

デジタルカメラ画像を用いたモデル化は、建物に対して複数の角度から撮影を行い、その写真データから構造物の特徴線とモデリングソフトの座標軸を合わせてトリミング機能等を利用して形状の作成を行う。

また、数多くの民家モデルを効率的に作成するために、図-2 に示すルールに基づいたモデリング手法を構築した。

具体的には、まず、立体化させた建物面の各壁面に対し、実物写真より個別に作成した壁面ルールを作成する。壁面ルールは、図-3-I に示すような民家の正面のデジタルカメラ画像に対し、ソフトウェア（ArcGIS cityengine）の組込機能を用いてルールにより作成した壁面モデルを図-3-II に示す。次に、屋根のルールに関しては、該当地域の代表的な屋根の形状や材質に合わせてルール（図-4、図-5参照）を作成した。また、それらに対し、パッケージ化を行い、形状や材質に対応したパラメータを用意することで、数分程度で図-6-II に示すような、再現

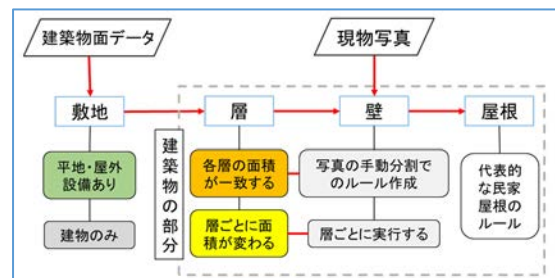


図-2 ルールに基づくモデリング手法



図-3 壁面ルールの作成（I：実物、II：壁面モデル）

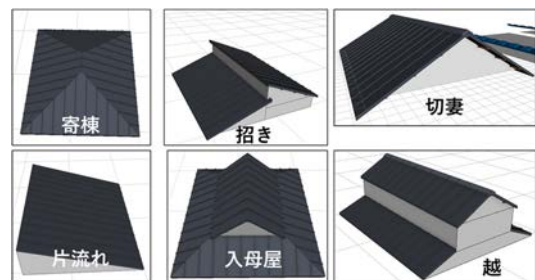


図-4 屋根ルールの作成（形状）

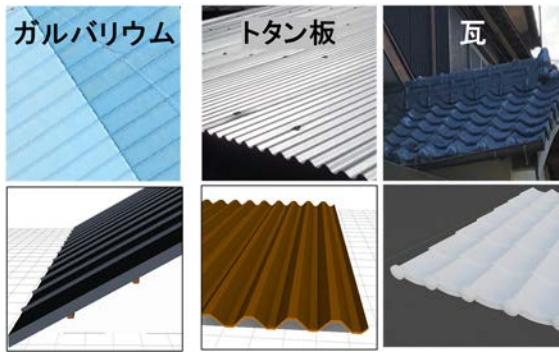


図-5 屋根ルールの作成 (材質)



図-6 実際の比較 (I : 実物, II : CADモデル)

性の高い民家モデルの作成が可能となる。

本手法は、各建物の面データに対し、分割や押し出しなど一連の処理を指定したルールを適用することで建物モデルを作成していく手法であり、一度作成したルールをパッケージ化することで多くの建物モデルを効率的に作成することが可能となる。

4. 津波シミュレーションと可視化手法

(1) 津波シミュレーション

津波の支配方程式としては、非線形浅水長波方程式を用い、離散化手法には任意形状への適合性に優れた三角要素を用いた安定化有限要素法²⁾を用いる。

津波の初期条件には、中央防災会議が策定した津波断層モデルケース4から算出された水位変動量を用いた。

(2) 津波モデルの作成

図-7 に津波モデルの描画手法について示す。なお、描画手法はUnityのアセット機能、MRTKを用いたVRレンダリングおよびHLSLによるプログラミングを行った。

津波シミュレーションに使用した非構造要素のメッシュ情報及び流速ベクトルを含む解析結果のデータをそのまま可視化に使用すると、データ量が膨大となるので、本可視化システムでは、5m 間隔の構造格子の三角要素に変換し、津波の波高情報のみを抽出する。そして、浮動小数点表示された節点の波高を、各ステップの最大波高値を用いて正規化して、8ビットの整数情報で置き換えて格納する。なお、可視化表示の際には、各ステップの最大波高を用いて逆変換を行うことで、実際の波

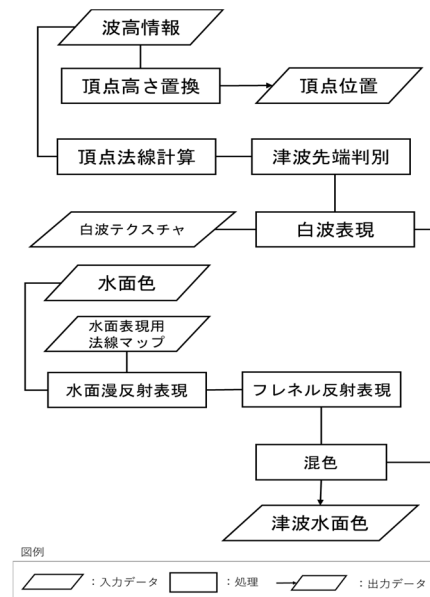


図-7 津波モデルの描画手法

高をもったCG映像を作成する。次に、白波を表現するために津波の先端を判別し、先端の部分に白波のテクスチャを貼り付ける。津波先端の判別には、各頂点の法線方向の高さ成分を計算して正規化³⁾した勾配を取得し、先端判別に使用する。

また、水面の乱反射やフレネル反射などの表現には、法線方向の変位量を記録した法線マップを動的に移動させることによって実現する。なお、視角が小さい程反射が強くなるように反射係数を設定することでフレネル反射⁴⁾を表現した。最後に各処理結果をブレンドした結果をシェーディングに用いることで、水の質感を高品質に表現可能な津波モデルの構築が可能となる。

5. 避難シミュレーション

津波災害に対する早期避難の重要性への理解を促進するために、マルチエージェントを使用した津波避難シミュレーション⁵⁾の結果を可視化し、避難者視点の映像を提示したVR体験を実現した。避難シミュレーションは、避難者エージェントが重力モデルより計算した効用が最大となる避難路ノードを次第に選択して避難を行う。また、シミュレーション結果によって得られた、各エージェントの避難経路情報を用いて、作成した人型モデルを道路モデル上で移動させる機能の実装を行った。

6. システムの適用例

本研究では、Unityにより中土佐町久礼地区を対象とした都市・地域モデル、津波モデルおよび避難シミュレ

ーション結果を統合して可視化を行った。

スマートフォンを用いるシステムでは、各避難所および避難者の視点位置での映像を正距円筒図法で投影した全天球動画を作成した。システムの利用法は、図-8に示すように避難場所マップ上にあるQRコードを読み込むことで、その地点での全天球動画を再生できる。また、スマートフォン用のHMDに装着することで立体的なVR津波体験が可能となる。図-9に避難場所からの視点映像を示す。図より、Iの従来のシステムI)に比べて、本システムのIIの映像は津波モデル及び都市・地域モデルの品質が改善されて臨場感が向上していることが分かる。また、図-10に避難者視点の映像を示す。システム利用者はこれらの映像を通じて、津波避難の疑似体験が可能となる。

一方、HMDの基づく可視化システムでは、使用性を向上させるため、MRTKを用いてVRレンダリングの実現を行うとともに、都市・地域モデル内を自由に移動できる機能及び津波の遡上の描画速度を変更可能なインタラクション機能を実装した。図-11にシステム使用者がインタラクション機能を利用して任意地点で津波を疑似体験している様子を示す。

また、スマートフォンに基づく本システムを用いて、中土佐中学校にて中学3年生35名を対象に防災教育を行い、アンケートを実施した。本システムの利用により、早期避難の重要性の理解が深まったという結果が得られた。アンケート結果の詳細については、講演時に述べる。

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・地域モデルの高品質化を行うとともに、新たに避難シミュレーションを統合した可視化システムの構築を行った。本システムにより、VR空間上の固定および任意地点、避難者の視点からの津波疑似体験が可能となる。

本システムを、実際の津波防災教育に使用し、システムの使用性と有効性の評価を行った。

参考文献

- 1) 植野雄貴, 金澤功樹, 陳詩凌, 近真弥, 大川博史, 榎山和男: 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, 榎山和男: 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) Andersson, J.: Terrain rendering in frostbite using procedural shader splatting, ACM SIGGRAPH, 2007.
- 4) Akenine, T., Haines, E. and Hoffman, N: Real-time rendering fourth edition, CRC Press, 2018.
- 5) 中村麻菜美, 金澤功樹, 大川博史, 榎山和男: 建物倒壊による道路閉塞を考慮した津波避難シミュレーション, 土木学会第74回年次学術講演会講演概要集, 2020



図-8 システムの利用法

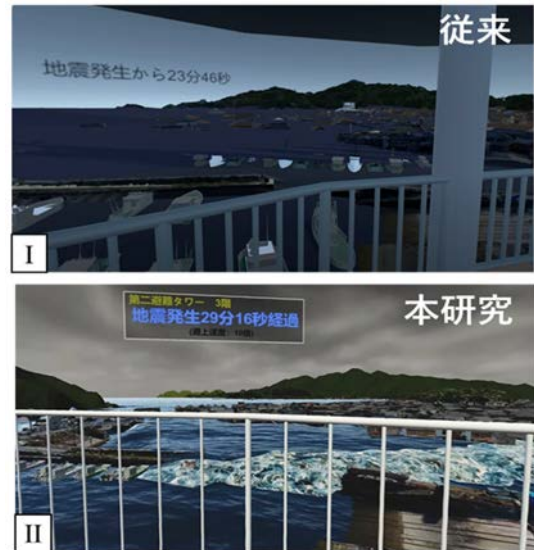


図-9 避難場所視点映像の比較

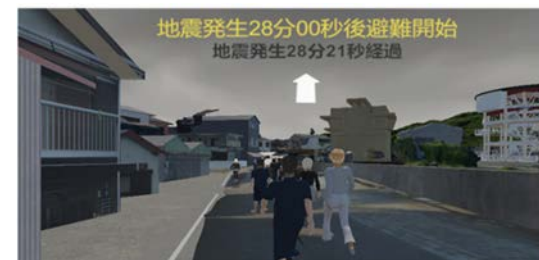


図-10 避難者視点映像

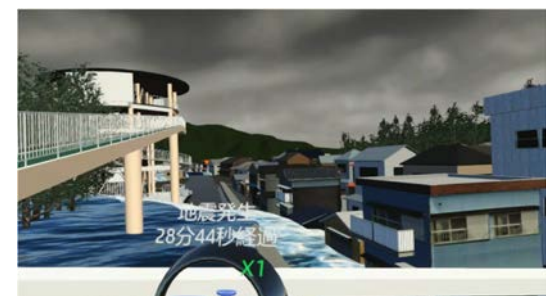


図-11 HMDによる可視化