

防災教育のためのVR津波疑似体験システムの構築

Development of tsunami experience system using VR technology for disaster mitigation education

20N3100002E 王 博 (計算力学研究室)

Bo WANG/ Computational mechanics Lab.

Key Words : virtual reality, tsunami simulation, disaster mitigation education, visualization

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、近年では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。

著者らはこれまで、バーチャルリアリティ (VR) 技術に着目したVR津波疑似体験システム¹⁾の構築を行い、津波の来襲が想定される地域の中学校などでの防災教育に利用してきた。その結果、防災教育ツールとしての有用性を確認することができたが、一方でCGモデル品質と操作性の向上が防災意識のさらなる向上に寄与する可能性があることも認識した。

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、インタラクション機能を実装し、解析結果に基づいた津波遡上の様子体験可能なVR津波体験システムの構築を行った。

2. 開発環境

(1) ハードウェア

本システムでは主に図-1に示すように、スマートフォン及び各種なHMD (Head Mount Display) を用いて、臨場感の高い立体映像に基づくVR体験が可能となる。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 (2020.3.1) 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、解析結果の処理には科学データ可視化ライブラリーVTKを用いて、VR可視化及びインタラクション機能の実装にはMRライブラリーであるMRTKを使用した。

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

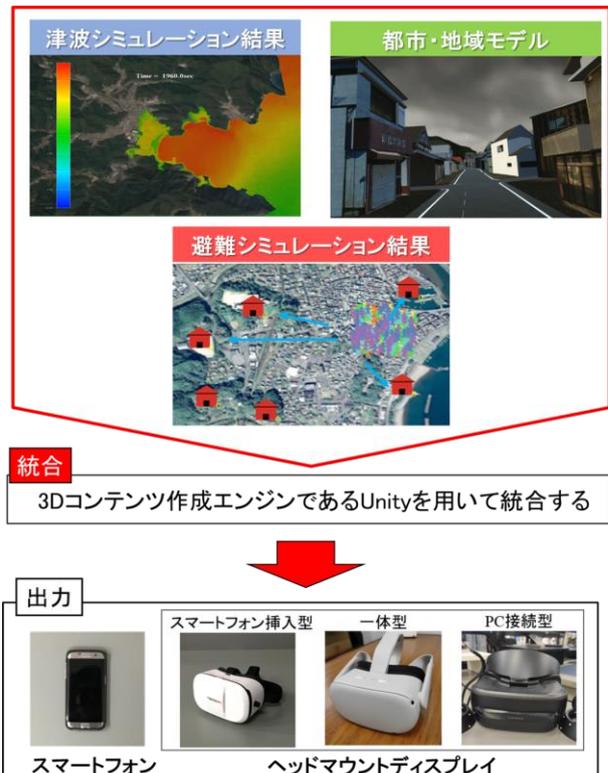


図-1 システムの概要

概要を図-1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し、その結果をマルチエージェントを用いた避難行動シミュレーションに用いた。

そして、それらを統合開発環境内蔵のゲームエンジンである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、災害や避難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。

4. 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

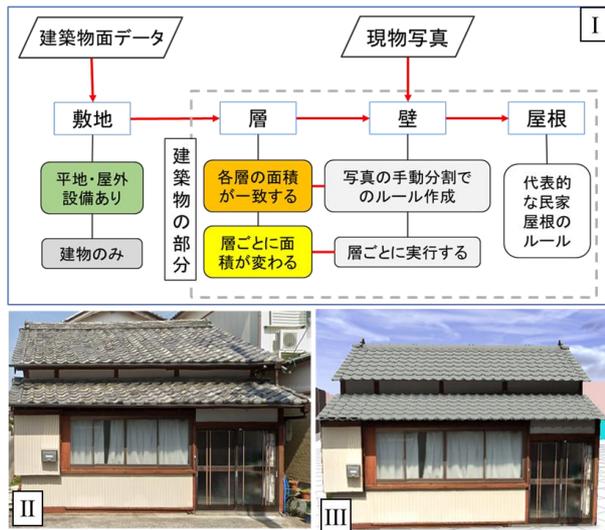


図-2 ルールに基づくモデリング手法
(I：作成の流れ，II：現地写真，III：作成したモデル)

(地形モデル)，中解像度の中領域（非構造物モデル），高解像度の小領域（構造物モデル）に分け，それぞれに対して適切な手法²⁾を用いた。大領域の地形モデルには津波解析用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。

特に本研究では，数多くの民家モデルを効率的に作成するために，ルールに基づいたモデリング手法(図-2-I参照)も併用した。図-2-IIに示すような民家の正面画像に対し，該当ソフトウェア(ArcGIS cityengine)の機能を用いて，壁面の分割・ルール化を施した後に，あらかじめ作成した屋根を表すルールを適用し，形状や屋根材を再配置することで，僅か数分程度で図-2-IIIに示すような，再現性の高い民家モデルの作成が可能となる。

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。

5. 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²⁾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の離散化を行い，また，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。

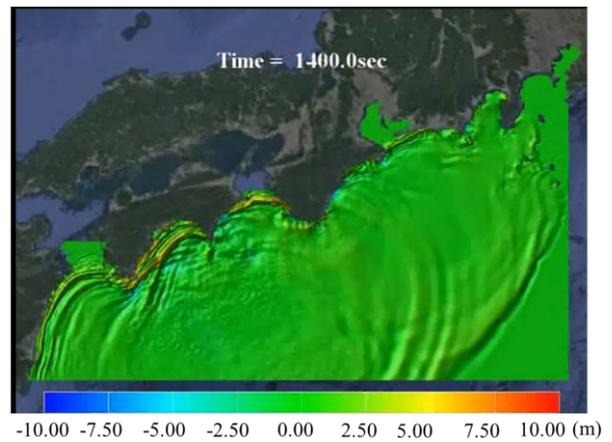


図-3 津波解析結果（全域）

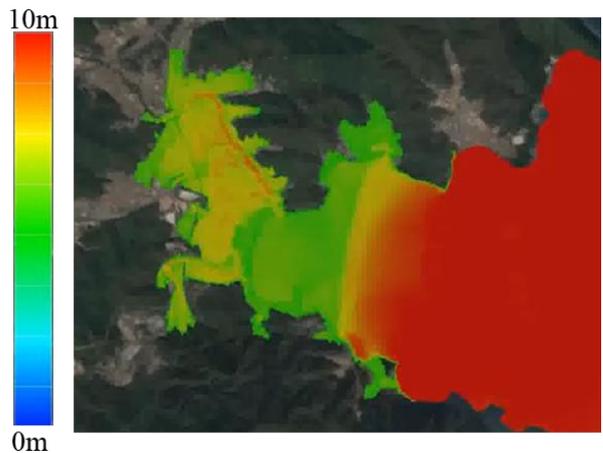


図-4 津波解析結果（対象地域周辺）

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，図-4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，まず，抽出した波高情報に合わせて，節点を等間隔に配置し，三角形としての結合情報を自動配置するプログラムを用いて等間隔なメッシュの作成を行う。次に，波高情報を入力データとして，高さを置き替えることや白波，水面反射，フレネル反射を表現可能な描画手法(図-5参照)を適用することで水の質感を表現可能な津波CGモデル(図-6参照)の構築を行った。

6. 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³⁾の結果を可視化し，避難者視点の映

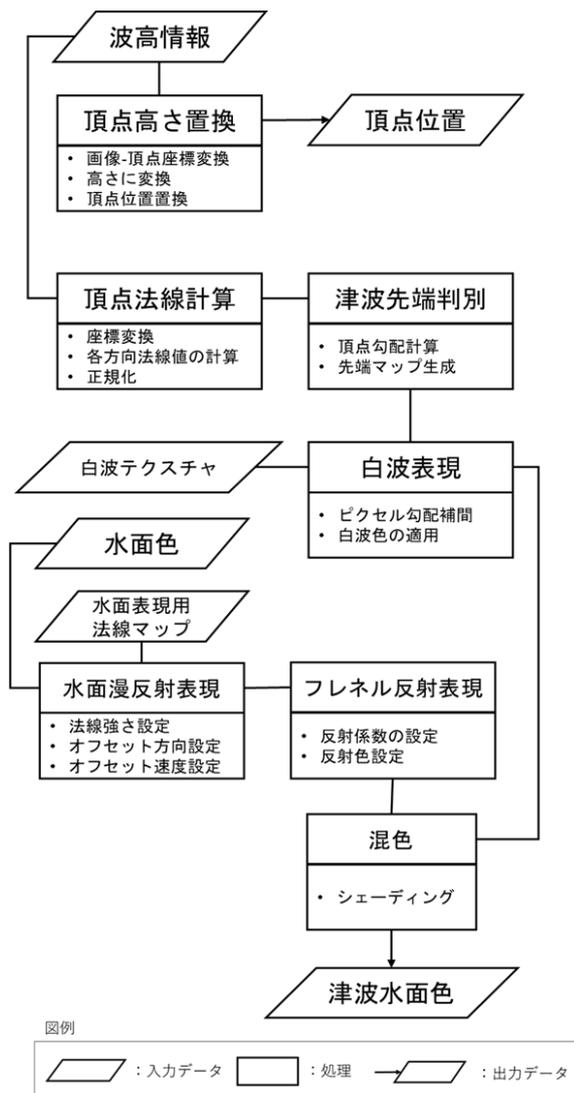


図-5 津波モデル描画手法



図-6 津波遡上表現

像を提示したVR体験を実現した。避難シミュレーションでは、避難者エージェントが重力モデル(図-7-I参照)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。得られた各性別・年齢層の避難者エージェントの経路情報を用いて、作成した該当する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。そして上述機能を利用することで、図-7-IIに示すような避難者視点の可視化が可能となる。避難

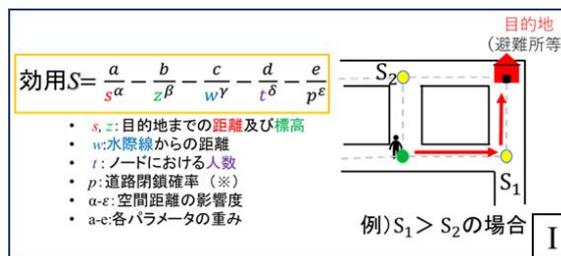


図-7 避難シミュレーション (I: 概要, II: 可視化結果)



図-8 VR津波避難体験

者者視点の映像からは、地震発生後何分後に避難路のどこまで到着したかをより直観的に確認することが可能となる。

7. 統合及びVR可視化

本研究では、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、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や、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するインタラクション機能を実装したことで、任意視点で津波の遡上を確認することを実現した。図-8にインタラクション機能を利用した津波避難を体験している様子を示す。

また、各視点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。作成した動画がコンピュータ環境に依存せず、VR用に投影、再生することで手軽にも臨場感のあるVR津波体験が可能となる。

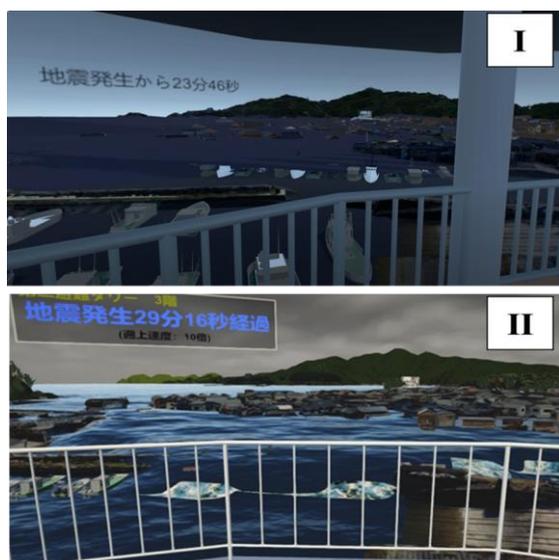


図-9 避難場所視点 (I: 先行研究, II: 本研究)



図-10 避難者視点

図-9に避難場所視点からの映像について、先行研究と本研究の比較を示す。図より、津波モデル及び都市・地域モデルの高品質化が実現できていることが分かる。

8. 防災教育への適応例

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や、避難者視点(図-9-II, 図-10参照)の動画コンテンツを作成し、該当地域内にある久礼中学校で行われた防災教育に適用した。

中学3年生35名を対象してシステムの体験をした後、アンケート調査を行った。避難場所視点動画に関する設問(Q1:都市・地域モデルの品質, Q2:操作性の手軽さ, Q3:防災意識は向上したか)を設定した。評価は5を最高点、1を最低点とする5段階評価とした。今回のアンケート結果と著者らの先行研究のシステムのアンケート結果(中学1年生37名を対象)に得点ごとの比率で比較した結果を図-11に示す。

Q1において4と5を選択した人の割合が20%増えたことから各モデルの品質向上が確認でき、また、Q3において4と5を選択した人の割合が従来の89%から約94%と高

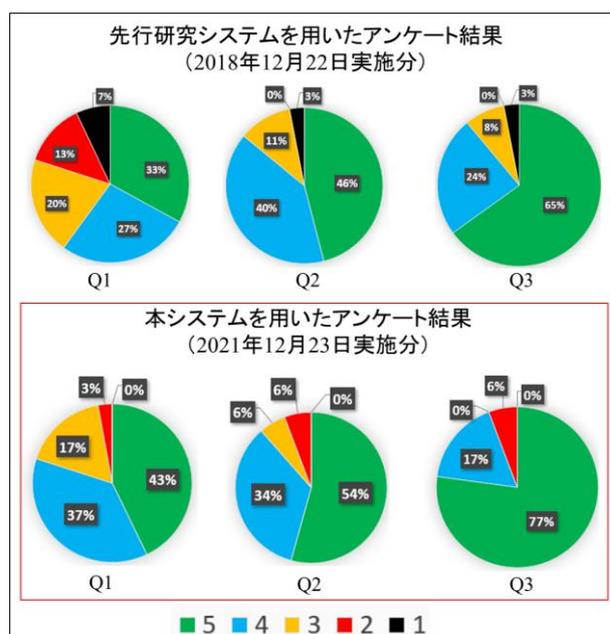


図-11 アンケート結果の比較

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。また、避難者視点の動画に関する設問(Q4:避難しているように体験できたか, Q5:津波体験から早期避難すべきと思ったか)については、4と5を選択した人の割合はそれぞれ約86%と約97%であることから、本システムの利用により、早期避難の重要性への理解を深まる効果があると考えられる。

9. おわりに

本研究では、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・地域モデルの品質の改善を行い、防災教育に適用した。アンケート結果を通じて、提案システムの有効性確認できた。今後の課題として、インタラクティブなシステムを防災教育に適用することにより、その有効性に対する検証・評価を行うことが挙げられる。

参考文献

- 1) 植野雄貴, 金澤功樹, 陳詩凌, 近真弥, 大川博史, 檜山和男: 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に関する研究, 第 46 回土木学会関東支部技術研究発表講演概要集, 2019.
- 2) 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.
- 3) 中村麻菜美, 金澤功樹, 大川博史, 檜山和男: 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.