

(29) 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

植野 雄貴¹・陳 詩凌²・金澤 功樹³・大川 博史⁴・檜山 和男⁵

¹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

²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: a14.p84k@g.chuo-u.ac.jp

³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: a14.sgns@g.chuo-u.ac.jp

⁴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

⁵正会員 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: 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、その技術を用いた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を作成し、Unityを用いて都市・地域モデル、津波解析結果を統合した。そして、スマートフォンで閲覧可能な全方位映像として避難場所からの視点の動画を作成した。

Key Words: Virtual Reality, Tsunami, Evacuation Simulation, Disaster Mitigation Education

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。ソフト対策の主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、津波の解析結果を統合し、避難場所から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

(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、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、スマートフォンが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) 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。

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、人的被害の大きい津波に焦点を絞り、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、津波の発生・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、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-1 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) 1) および 2) の結果を用いて VR 可視化を行い避難場所視点での全天球動画の作成、という 3 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。

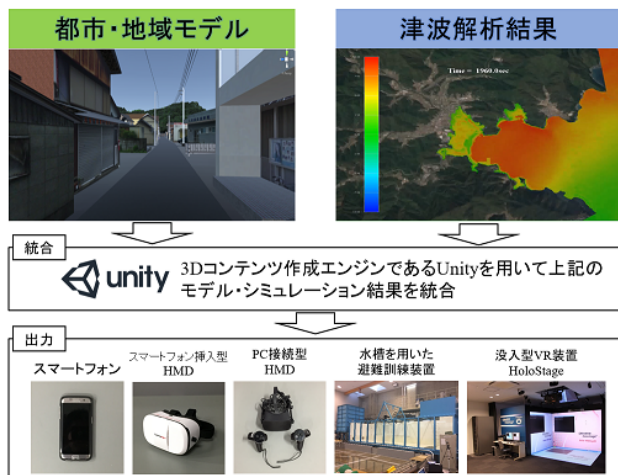


図-1 システムの概要

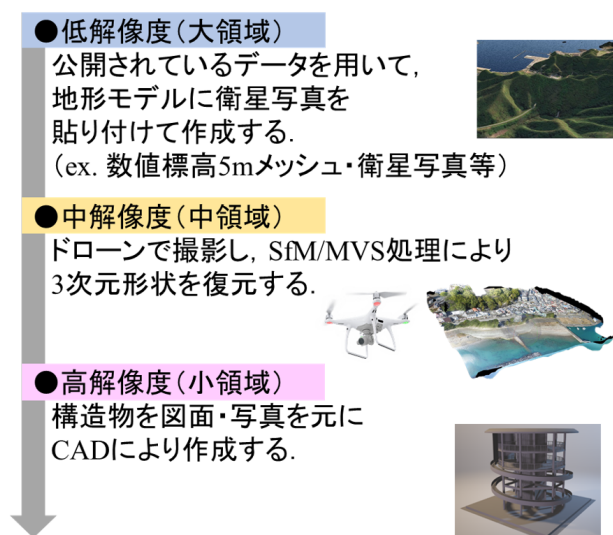


図-2 都市・地形モデルの導入手法

(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¹⁾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でモデル化を行う点にある(図-2 参照)。具体的には、大領域の地形モデルにはGIS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。

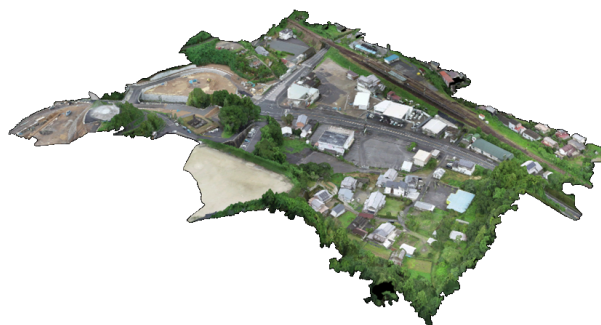


図-3 中解像度のモデル

a) 低解像度領域の作成

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。

b) 中解像度領域の作成

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な地域のモデル化を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ウェア (Agisoft Photo Scan) を用いてモデル化を行った(図-3 参照)。

c) 高解像度領域の作成

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-4 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-5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。

各手法により作成したモデルの結合そして、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-6 参照)。

(2) 津波解析結果の導入

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(1)を用いた。

$$\frac{\partial U}{\partial t} + A_i \frac{\partial U}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left(N_{ij} \frac{\partial U}{\partial x_j} \right) = R - GU \quad (1)$$

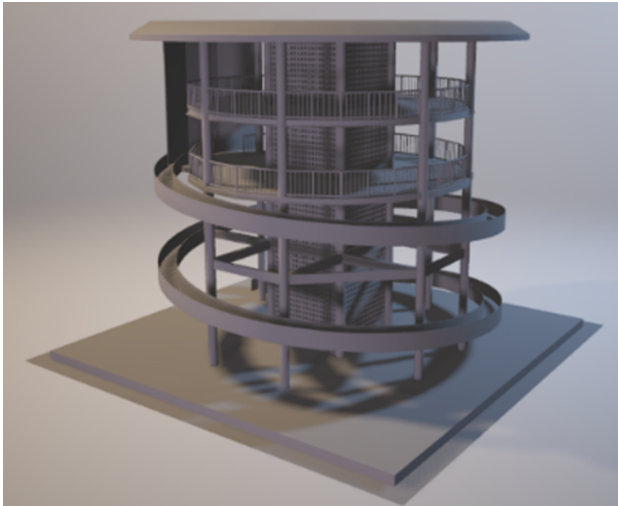


図-4 高解像度のモデル



図-6 各手法により作成したモデルの統合



図-5 都市・地形モデルと実物との比較

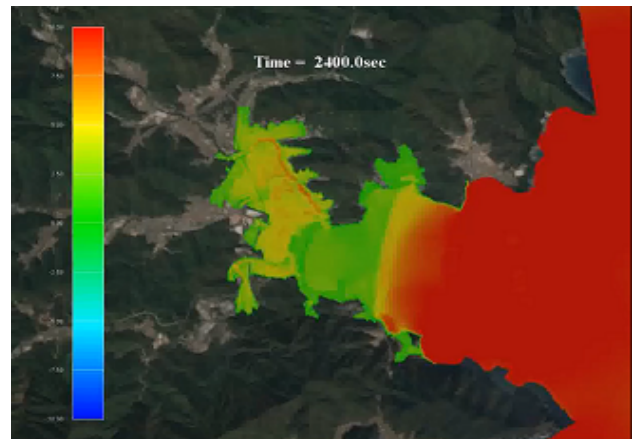


図-7 解析結果

a) 数値解析条件

津波の初期条件には当該地域の津波被害が最大となる条件である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。

b) 数値解析結果

図-7 に地震発生から 2,400 秒後の当該地域を津波が遡上していく様子を示す。この解析結果をオブジェクトデータに変換し、Unityに導入することによって可視化を行った。

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の可視化を行った。]

図-8 に対象地域の避難場所マップを用いた投影までの様子を示す。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-9 に対象地域内のある避難場所からの視点を示す。

$\mathbf{U}$ は未知ベクトル、 $\mathbf{R}$ は勾配ベクトル、 $\mathbf{A}_i$ は移流マトリックス、 $\mathbf{N}_{ij}$ は拡散マトリックス、 $\mathbf{G}$ は摩擦マトリックス、 H は全水深、 u_i は各方向の流速、 h は静水深、 c は波速、 z は河床高さ、 ν_e は渦動粘性係数、 n はマンニングの粗度係数である。

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った。連立一次方程式の解法には Bi-CGSTAB 法を用いた。詳しくは参考文献2)を参照されたい。



図-8 I. 避難場所マップ II. スキャンの様子 III. 投影の様子

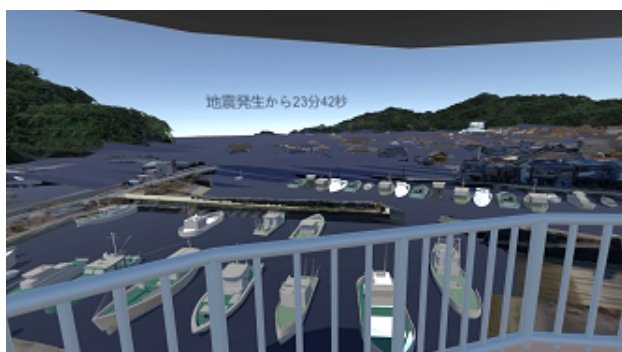


図-9 ある避難場所からの視点

5. 疑似体験システムの適用

(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-10に結果を示す。

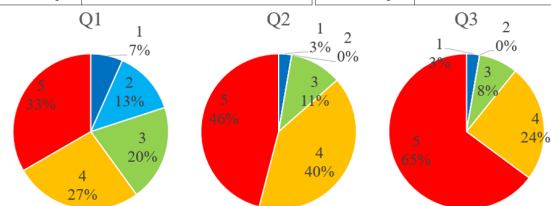
(2) 結果の分析

このアンケート結果より、以下の2つの傾向を読み取ることができる。

図-10表2より、Q1とQ2においてやや強い相関があることが分かる。これは、Q1で「街並みを忠実に再現している」と答えた人がQ2で「操作性が良い」と答える傾向があるという事を意味する。つまり、都市・地域モデルの品質が高いほど、操作の煩雑さを感じなくなるということである。現段階では、操作性において高い評価を得ることができたといえる。

表1. アンケート結果

		評価						相関係数		
		1	2	3	4	5		Q1	Q2	Q3
質問	Q1	0	3	3	16	15	質問	Q1	0.72395	0.53629
	Q2	1	0	4	15	17		Q2		0.67972
	Q3	1	0	3	9	24		Q3		



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-10 アンケートの結果

一方、都市・地域モデルの品質に関しては高い評価は得られているが、まだ改善の余地があるといえる。

したがって、直接的な操作性の改善を行わなくとも、都市・地域モデルの改善が行われると操作の負担を感じにくくすることができると考えられる。

また、Q1とQ3の相関係数よりQ2とQ3の相関係数の方が大きいことが分かる。これは、Q1で「街並みを忠実に再現している」と答えた人より、Q2で「操作性が良い」と答えた人の方が、「本システムが防災意識の向上に有効である」と答える傾向があるということである。

つまり、操作性をよくすることが防災意識の向上に寄与するといえる。「都市・地域モデルの改善が行われると操作の負担を感じにくくすることができる」という結論を得られたことより、都市・地域モデルの高品質化によって操作の負担が感じにくくなり、結果として防災意識の向上につながるとも考えられる。

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。

- 避難場所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

- 陳詩凌, 金澤功樹, 植野雄貴, 大川博史, 檜山和男: GIS/CAD/ドローンを用的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.
- 金澤功樹, 凌国明, 大川博史, 檜山和男: 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.