

スマートフォンを用いた VR 津波体験システムの構築

Development of an experiment based on VR system for tsunami disaster using smartphone

- 金澤 功樹, 中央大学大学院, 東京都文京区春日 1-13-27, E-mail : a14.sgns@g.chuo-u.ac.jp
- 植野 雄貴, 中央大学, 東京都文京区春日 1-13-27, E-mail : a15.sjkn@g.chuo-u.ac.jp
- 陳 詩凌, 中央大学, 東京都文京区春日 1-13-27, E-mail : a14.p84k@g.chuo-u.ac.jp
- 近 真弥, 中央大学, 東京都文京区春日 1-13-27, E-mail : a15.gajr@g.chuo-u.ac.jp
- 凌 国明, 中央大学, 東京都文京区春日 1-13-27, E-mail : a13.kkbf@g.chuo-u.ac.jp
- 大川 博史 (株) エイト日本技術開発, 岡山県岡山市北区津高 278-1, E-mail : ookawa-hi@ej-hds.co.jp
- 櫻山 和男, 中央大学, 東京都文京区春日 1-13-27, E-mail : kaz@civil.chuo-u.ac.jp

Isaki Kanazawa, Chuo University, 1-13-27 Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8551, Japan

Yuki Ueno, Chuo University, 1-13-27 Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8551, Japan

Siryong Tin, Chuo University, 1-13-27 Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8551, Japan

Masaya Kon, Chuo University, 1-13-27 Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8551, Japan

Guoming Ling, Chuo University, 1-13-27 Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8551, Japan

Hiroshi Okawa, Eight-Japan Engineering Consultants Inc, 1-21 Okayama-santyoume, Okayama 700-8617, Japan

Kazuo Kashiya, Chuo University, 1-13-27 Kasuga, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8551, Japan

In this study, we propose an experimental-based system for tsunami disaster using virtual reality technology for disaster prevention education. In order to prepare the accurate city model, several data such as GIS, CIM and aerial data using drone are employed. The computation of tsunami is performed by the shallow water equation based on finite element method. The multi-platform software Unity is employed for the development of the system. In order to show the efficiency of the system, the present system is applied to an example of Tsunami disaster. It can be concluded that the present system is a useful tool for disaster prevention education.

1. 研究背景

東日本大震災を契機として、新たな津波想定の下、従来の浸水域のみを示す静的なハザードマップではなく、津波の遡上状況の時間的変化を確認できる動的なハザードマップが作成・公開されている。また、近年では VR 技術の発達に伴い、高品質な立体 CG 映像による可視化も行われている。VR 映像を可視化できるデバイスには様々なものがある。没入型 VR 装置はフルスクリーンで臨場感の高い体験が可能であるが、外部に持ち出すことは困難である。

そこで、本研究では近年普及の著しいスマートフォンに着目し、利用者自身のスマートフォンを利用する VR 津波体験システムの構築を行った。システムの構築には映像や音のリアルタイム処理を容易に行なうことができる Unity を用いた。

2. 水害疑似体験システムの構築

2.1 システム概要

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、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。本システムでは、Fig. 1 左に示すようなスマートフォン単体で VR 可視化を行えるが、Fig. 1 右に示す安価なスマートフォン挿入型 HMD に装着することで立体映像による可視化が可能となり、より臨場感の高い VR 体験も可能となる。

構築した津波体験システムは、1) 対象地域の地形・建造物のモデリング、2) 津波のシミュレーション、3) 1) および 2) の結果を用いて VR 可視化を行う位置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



Fig. 1: Smartphone and HMD

を取り上げた。

2.2 対象地域の地形・建造物のモデリング

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大領域（地形モデル）、中解像度の中領域（植生・建造物モデル）、高解像度の小領域（建造物モデル）に分け、それぞれ別々の方法でモデル化を行う点にある。具体的には、Fig. 2 に示すように、大領域の地形モデルには GIS データを、中領域の植生・建造物モデルにはドローンによる空撮データを、小領域の建造物モデルには 3 D モデリングソフトを用いてモデル化を行った (Fig. 2 参照)。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、モデリングの方法について示す。

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 (Fig. 3 参照)。また、建物などのモデリングについては 3 D モデリングソフトウェアを用いる。その際、避難所 (Fig. 4 参照) などの

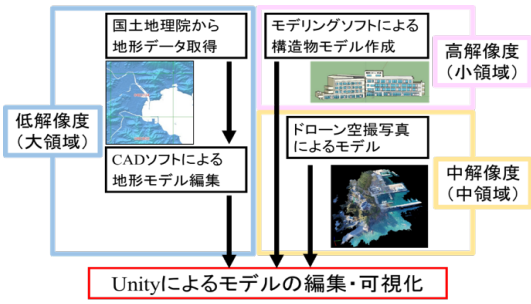


Fig. 2: Modeling method of terrain / structure



Fig. 3: Modeling for landform

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) を用い、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デジカメで撮影した画像の貼り付けを行った。Fig. 5 は対象地域の実際 (上) と街中のモデル (下) を示している。図より、街並のモデリングは比較的正確に行われていることが分かる。

一方、砂浜や樹木群などの非人工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 Fig. 6 (左) に示す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⁽¹⁾を行った (Fig. 6 (右) 参照)。そして、別々の手法で作成したモデルデータを FBX データに変換して、Unity 上で統合することで、Fig. 7 に示すような対象地域の再現性の高いモデル作成が可能となる。

2.3 水害シミュレーション

2.3.1 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 (1) を用いる。

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \mathbf{A}_i \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\mathbf{N}_{ij} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial x_j} \right) = \mathbf{R} - \mathbf{GU} \quad (1)$$

各ベクトル、各マトリックスは以下ようになる。

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} H \\ u_1 H \\ u_2 H \end{bmatrix}, \mathbf{R} = \begin{bmatrix} 0 \\ -c^2 \frac{\partial z}{\partial x_1} \\ -c^2 \frac{\partial z}{\partial x_2} \end{bmatrix},$$

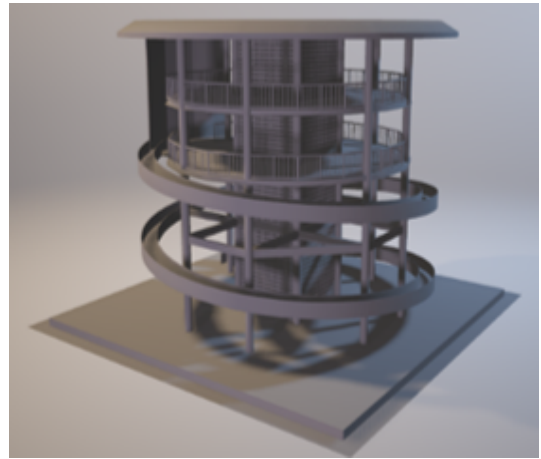


Fig. 4: CAD model



Fig. 5: Comparison of model

$$\mathbf{A}_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ c^2 - u_1^2 & 2u_1 & 0 \\ -u_1 u_2 & u_2 & u_1 \end{bmatrix}, \mathbf{A}_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ -u_1 u_2 & u_2 & u_1 \\ c^2 - u_1^2 & 0 & 2u_2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{N}_{11} = \nu_e \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -2u_1 & 2 & 0 \\ -u_2 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \mathbf{N}_{12} = \nu_e \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -u_1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{N}_{21} = \nu_e \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -u_2 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \mathbf{N}_{22} = \nu_e \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -u_1 & 1 & 0 \\ -2u_2 & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{C_f \sqrt{u_i^2 + u_j^2}}{H} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{C_f \sqrt{u_i^2 + u_j^2}}{H} \end{bmatrix}$$

\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



Fig. 6: Drone(left) and model using data by drone(right)

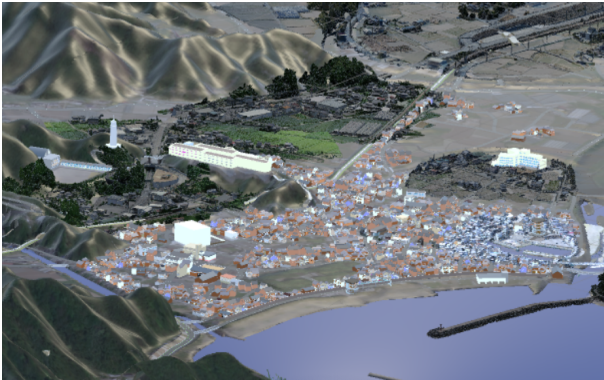


Fig. 7: Combined model

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 (1) に対して, SUPG 法に基づく安定化有限要素法⁽²⁾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.

2.3.2 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. Fig. 8 に地震発生から 80 秒後の解析結果を, Fig. 9 に地震発生から 2,400 秒後の中土佐町を遡上していく様子を示す. また, マニングの粗度係数は小谷ら⁽³⁾にならない, 海域が $0.025\text{m}^{-\frac{1}{3}} \cdot \text{s}$, 陸域が $0.020\text{m}^{-\frac{1}{3}} \cdot \text{s}$ としている. 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.

2.4 全天球動画の作成

先に作成した都市地域モデル及び, 任意の時間間隔 (本例題では 1 秒間隔) で出力した津波結果を FBX 形式で Unity 内へ格納した. そして, 任意の時間間隔で表示と消去を行うことで, 連続的な表示を行った (Fig. 10). また, 津波体験の臨場感を向上させるために, 津波の迫る音を滝の音を用いることで疑似的に再現した. 音源は津波の水際線に合わせて移動するように設定し, Unity の機能を用いて移動に伴うドップラー効果や音が三次元的に広がるようした.

中土佐町に点在する避難所位置からの津波体験が可能となるように, 各避難所で指定した視点からの津波を再現した全天球 VR 動画を作成した. 全天球動画の作成には, Unity のアセット (VR Panorama) を用いた. なお, 画質及びフレームレートはそれぞれ $4\text{K} \cdot 30\text{FPS}$ に設定した. Fig. 11 に, 作成した全天球動画のキャプチャ画像を示す.

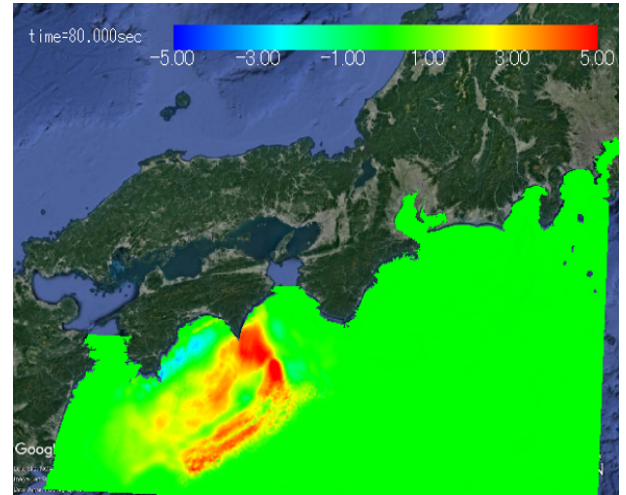


Fig. 8: Water level at 80 seconds later the earthquake

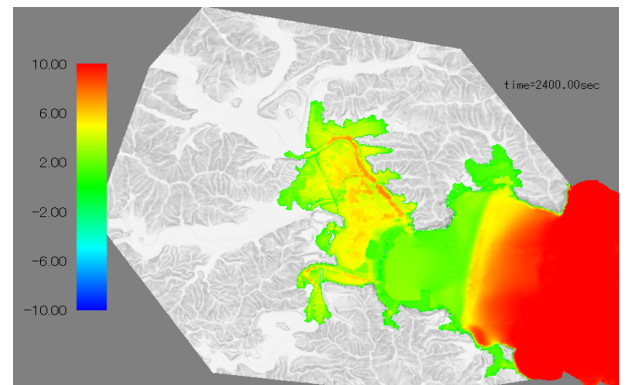


Fig. 9: Water level at 2400 seconds later earthquake

3. VR システムの利用例

利用者が各自のスマートフォンを用いて中土佐町に点在する避難所位置からの津波体験が可能となるように, Fig. 12 に示す対象地域の VR 体験避難所マップの作製を行った⁽⁴⁾. この VR 避難所マップは, 利用者が地図上の避難所ごとに表示されている QR コードを読み込むことで, その避難所の視点から津波が来襲する様子を, YouTube アプリを用いて津波の VR 動画が閲覧可能となる. Fig. 13 に本 VR システムの使用法を示す. 利用者は, まずスマートフォンのカメラアプリで, QR コードをスキャンする (ステップ 1: Fig. 12 参照). 次に, 画面に表示された URL をタッチすることにより指定した位置での VR 動画が再生される (ステップ 2: Fig. 14 参照). なお, スマートフォンに搭載のジャイロセンサーにより, 視点の角度を自由に変更しての可視化が可能となる. そして, Cardboard マークをタッチすることにより, Fig. 15 に示す立体視モードの動画に切り替わり, Fig. 1 に示すスマートフォン挿入型 HMD を用いることにより, 立体 VR 映像が閲覧できる.

4. 結論

本研究では, 地域防災教育のための VR 技術に基づく津波似体験システムの構築を行い, 以下の結論を得た.

- (1) 都市地域モデリングに対しては, 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・地域モデルを作成し, Unity 上で編集可能な手法を構築した.

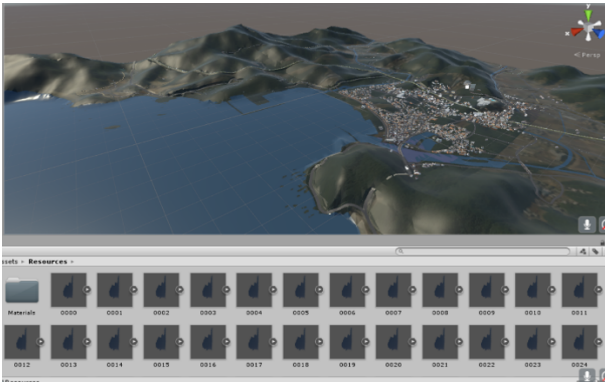


Fig. 10: Tsunami visualization

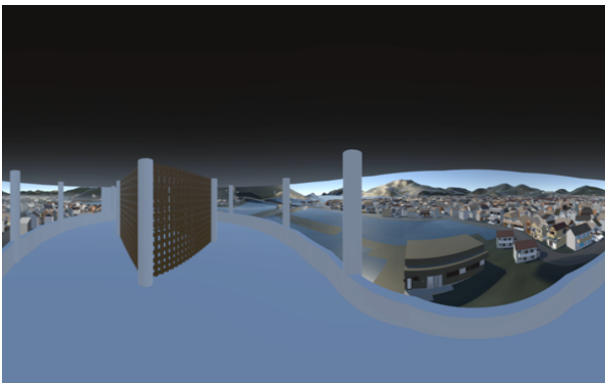


Fig. 11: Omnidirectional Video



Fig. 12: VR Tsunami evacuation location map



Fig. 13: How to use the VR system

- (2) 災害現象の可視化においては、Unity を用いて可視化を行うシステムを構築した。Unity に基づく可視化をシステムにより、様々な可視化デバイスへの投影が可能となった。
- (3) 1, 2 の成果を踏まえて特に、近年普及が著しいスマートフォンに着目して、津波体験システムの構築を行った。

本システムは、利用者が手持ちのスマートフォンを用いて手軽に津波体験ができるため、住民の津波災害に対する理解度や防災意識の向上および各自治体や学校等での防災教育等に有用なツールとなることが期待される。

謝辞

本研究は、(一財)日本建設情報総合センターの平成 28 年度研究助成金の支援を受けた。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- (1) 呉奥圖, 榎山和男, 野坂創一, 大川博史, “ドローンによる空撮データを用いた高精細都市モデルの構築,” 第 45 回土木学会関東支部技術研究発表会, (2017), pp. I-20.
- (2) 日本計算工学会, “第 3 版 有限要素法による流れのシミュレーション,” 丸善出版, (2017), pp. 39-86.
- (3) 小谷美佐, 今村文彦, 首藤伸夫, “GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法,” 海岸工学論文集, 45, (1998), pp. 356-360 .
- (4) 野坂創一, 金澤功樹, 呉奥圖, 大川博史, 緒方正剛, 榎山和男, “スマートデバイスを用いた VR 津波防災教育システムの構築,” 第 45 回土木学会関東支部技術研究発表会, (2017), pp. I-7.

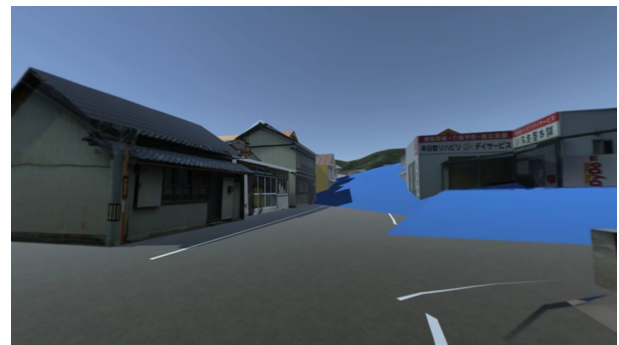


Fig. 14: Watching movies

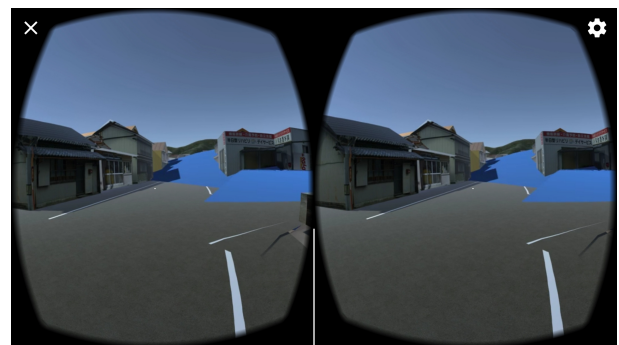


Fig. 15: Stereoscopic viewing mode