



編集・発行：滋賀大学経済経営研究所
〒522-8522 滋賀県彦根市馬場 1-1-1
滋賀大学彦根キャンパス
総合研究棟〈土魂商才館〉1階
2022 年 1 月 11 日発行

— VR 型防災教育システムの開発 —

いまここにいる感覚 いまここにいる感覚

2022 年 1 月 11 日 [火] — 6 月 30 日 [木]



ごあいさつ

カメラを使った画像解析は、長年の基礎研究の成果が実ったことで、近年実用化フェーズに至りつつあります。画像を使った解析では、カメラ以外の特殊なセンサを必要とせず比較的安価に目的の機能を実現できることから、その活用事例が増加しています。代表的な活用事例として、車載カメラを使った自動運転や、安全運転支援、スマートフォン上で動作する書類のスキャナ・自動翻訳システムなどがあります。一方で、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) が市販されはじめ、バーチャルリアリティ (VR) 空間における仮想体験も身近なものとなりつつあります。

本展示では、画像解析技術とバーチャルリアリティ (VR) の双方を融合することで実現する新たな VR 型防災教育システムの研究事例を紹介します。この研究では、VR 型防災教育において重要となる現実感・実在感・迫真性を含む「いまここにいる感覚」を、VR 体験において維持することを目指し、実世界を再現した VR 空間内で効果的な防災教育を実現するための様々な要素技術の開発を行いました。この研究で得られた知見を基に、今後も安心安全な社会の実現に寄与する研究開発を継続していきたいと考えています。

2022 年 1 月

監修：佐藤 智和 (サトウ トモカズ)
滋賀大学データサイエンス学部教授
研究キーワード：コンピュータビジョン、画像処理・画像合成、自由視点
画像生成、仮想化現実、拡張 / 複合現実感



バーチャルリアリティ (Virtual Reality : VR) 技術



バーチャルリアリティ (Virtual Reality : VR) 技術とは、コンピュータによって作られた人工環境を現実として知覚させる技術のことである。近年、ヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display : HMD) の急速な普及により VR はより身近なものとなり、娯楽や教育、産業、医療等多くの分野で活用されている。



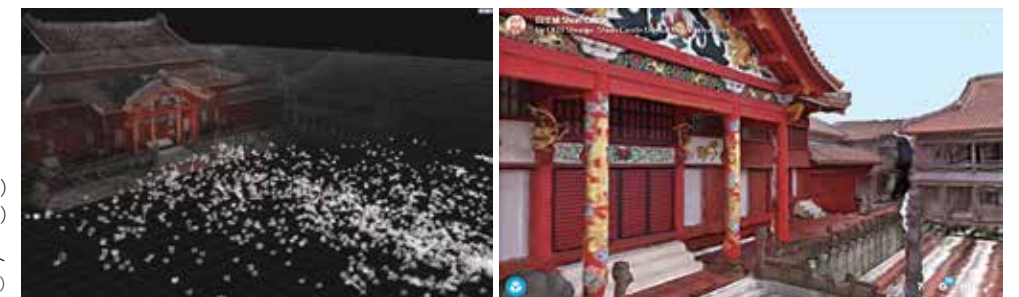
Augmented Reality : AR は、一般的に「拡張現実」と訳される。実在の風景にバーチャルの視覚情報を重ねて、目の前にある世界を仮想的に拡張する。一方、VR はスクリーンにリアリティを高めた視覚映像を投影する「仮想現実」。非現実の世界をあたかも現実のように感じさせる。

2016 年に発売されたスマホ用ゲーム「ポケモン GO (任天堂)」は、AR を一躍世に広めた。

2019 年 10 月 31 日に大規模な火災で焼失した沖縄県の首里城を三次元で復元するプロジェクト「みんなの首里城デジタル復元プロジェクト」では、一般ユーザから首里城の動画像を収集し、異なる視点からの写真やビデオを使って三次元で形状を復元する「Structure from Motion (SfM) 技術」を利用して、首里城を仮想空間上にデジタル復元している。実物が再建されるまでの観光資源としての活用が期待できる。

複数枚の画像により復元される首里城 (写真左)
三次元で復元された首里城 (写真右)

みんなの首里城デジタル復元プロジェクト
<https://www.our-shurijo.org/> (2021 年 8 月 25 日 閲覧)



おおいた防災 V R (土砂災害編) <https://youtu.be/cQ6i6yuy-Vo> (2021 年 8 月 25 日 閲覧)

既存の VR 型防災教育の課題

頻発する集中豪雨や台風、地震の発生による河川の氾濫や高潮による水害等により、防災教育にVRを用いる動きが活発になっている。また、没入型VRシステムの低価格化に伴い、VR型防災教育システムが販売されはじめ、実際の危険や大規模な災害訓練を伴わない防災教育が可能となりつつある。

これによって、今後裾野の広い防災教育が期待できる一方、既存の防災訓練システムは現実の防災訓練とは異なり、あらかじめCGによって構築された現実世界とは独立した仮想世界を舞台としているため、実際の居住環境を対象とした仮想的な災害体験や実際の避難経路上のリスクの確認を行うことはできない。さらに現実の防災訓練とは異なり、ユーザが仮想世界を現実だと感じにくく、HMDを被る前後の情景等が全く異なると、ユーザは「これは現実ではなくVRによる疑似体験に過ぎない」と判断してしまい、今まさに自分が災害に直面しているという感覚(現実感・実在感・迫真性)が乏しくなり、ともするとゲームのように楽しんでしまうことさえある。よっ

て、自らが存在するリアルな空間だと感じる感覚を保ったままの体験が可能な高臨場VR型防災教育システムを開発することが必要である。



VR消火体験シミュレータ（日本電気株式会社・NECネットスエスアイ株式会社・MXモバイリング株式会社）
表示映像のイメージ(左)と訓練用消火器の操作イメージ(右)
今までいた現実世界から突如違う場所に飛ばされるので真実味が湧きにくい。
日本電気株式会社（NEC）https://jpn.nec.com/press/201708/20170802_01.html（2021年8月25日閲覧）

高臨場VR型防災教育システムの研究開発の概要

VR による防災教育の効果を飛躍的に向上させることを目的として、以下の3つの要素技術を開発・構築して、VR 型防災教育システムを試作した。

1. 全方位カメラを用いた、町単位での仮想化現実世界の構築
2. エージェントシミュレーションによる避難経路上のリスクの提示
3. 高臨場 VR 型防災教育インターフェースの開発

これに加えて、2017 年 8 月に発生した台風 5 号で氾濫した姉川により、水害が生じた長浜市大井町を実験対象地域として、町内会協力のもと実証実験を行った。

平成29年台風5号による姉川の氾濫

2017年（平成29年）8月、台風5号は近畿・北陸を縦断して大雨を降らせた。滋賀県長浜市大井町周辺では8日午前0時過ぎ、姉川に架かる大井橋付近の堤防からあふれた濁流が集落に流れ込み、近くの住民が119番した。市は同日午前2時12分、川の南側の南大井地区約65世帯200人に避難指示を発令。警察や消防が住民らを誘導し、周辺住民を含めた約550人が小中学校に避難し、一夜を過ごした。近くの高齢者施設の入所者ら約100人も一時避難した。

人的被害の情報はなく、避難指示は午前7時10分に解除された。県長浜土木事務所によると、午前4時ごろに氾濫は収まったものの、民家に床上浸水1戸、床下浸水15戸の被害が出た。氾濫場所は県道263号の大井橋を通すために堤防を一部切り取っている切り通しで、増水時には地元住民が自らの判断で堰き止めする陸閘^{りっこう}だった。

全方位カメラを用いた、町単位での仮想化 一町並みの撮影



2020 年 9 月 7 日、大井町の画像データを計測した。ポールに固定した全方位カメラを持ち、歩行しながら全方位動画を撮影。

今回の撮影に使用した全天球（全方位）カメラは、Ricco Theta Z1。前後に 2 つの広角レンズを搭載し、上下左右全方位の 360 度パノラマ写真および 360 度動画が撮影できる。



歩行撮影した大井町の経路
Google Earth <https://earth.google.com/web/>
(2021 年 9 月 16 日閲覧)



全方位カメラで撮影した大井町の 360 度パノラマ動画像

全天球動画像からのカメラ位置の確定

全方位パノラマ画像から、前後左右の 4 方向を中心とする広画角な単眼透視投影画像^(注1)を作成した。

4 方向に切り出した画像の画角を適切に拡げることで、カメラの位置・姿勢の推定精度を向上させた。

また、SfM (Structure from motion ^(注2)) 適用時に、移動距離や周囲の物体までの距離を考慮して不要なフレーム画像を間引くことで精度を向上させた。

(注1) 一般的なカメラで撮影されるものと同様の画像。
(注2) 三次元点群データを得る自動作成手法のこと。視点を変えて撮影した複数枚の写真から、対象の形状を三次元復元する技術。



撮影した全方位動画像を 4 方向に分割する。



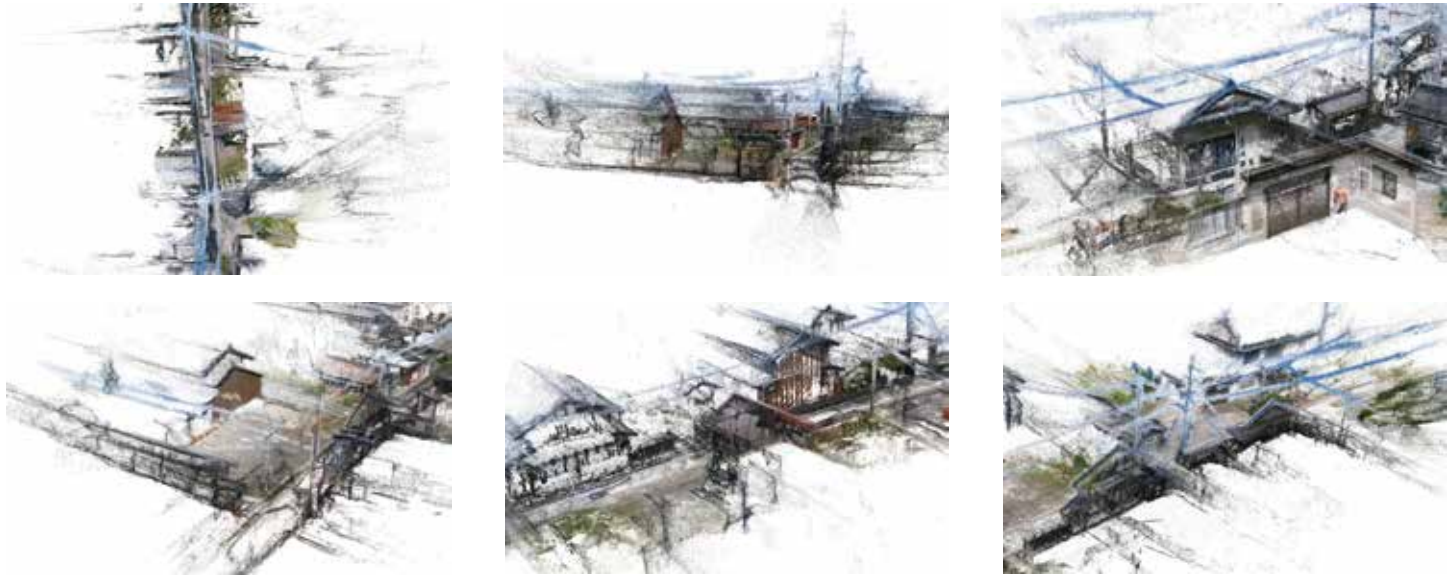
データ解析によって復元された撮影カメラの移動経路

建物や物体の角など自然に存在する特徴点を手がかりとして、撮影された時のカメラ位置を算出する。

町並みの三次元復元

SfM と MVS (Multiview Stereo (注1)) 法を用いて、カメラに近いほど白くなり、カメラから遠くなるにつれ黒くなる濃淡を使って、対象物までの奥行 (距離) を画像化した。奥行画像のデータの欠損は、全方位画像をスーパーピクセル (注2) に分割した上で、スーパーピクセル内の奥行値は局所平面で近似できると仮定することで補完。奥行値の補間には粗密法 (注3) を併用した。

(注 1) 複数枚の 2D 画像から、カメラの 3D 姿勢情報と被写体の疎ら (sparse) な 3D 点群を推定する。
(注 2) 色やテクスチャが類似するピクセルをグループ化した小領域のこと。スーパーピクセルに分割することで、色の類似画素の位置関係を反映した小領域に分割できる。
(注 3) まず画像を粗く分割して処理し、段階的に解像度を高めながら処理を繰り返すことで、効果的に例外値を排除する手法。



復元された密な三次元点群の可視化結果

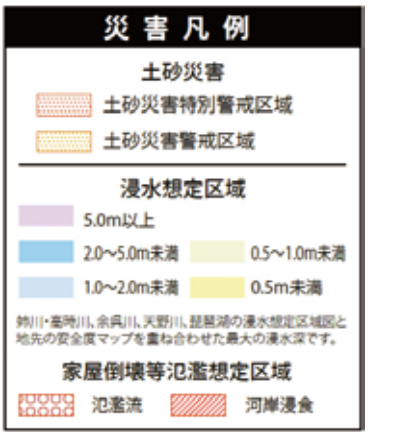
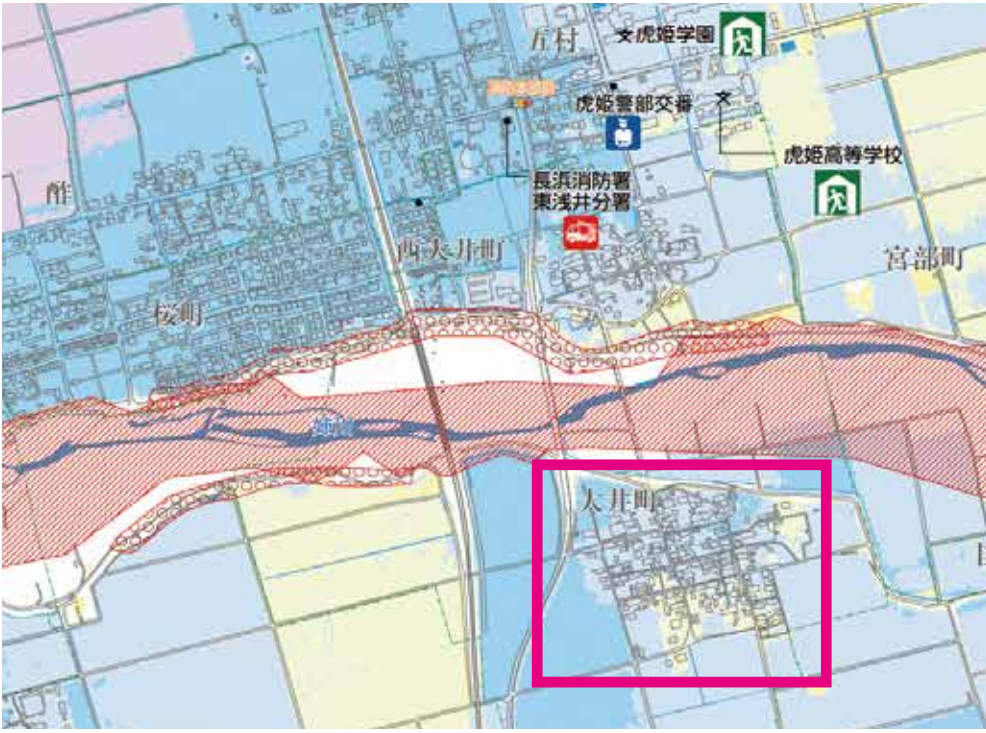
エージェントシミュレーションによる避難経路上のリスクの提示

紙のハザードマップや洪水浸水想定区域図などでは、災害をリアルに捉えることが難しく、発災時に取るべき行動を、感覚的・知覚的に学ぶことができない。これに対して、災害のシミュレーション結果をVRで表示するシステムを用いれば、避難経路の安全性を考慮したより直観的な理解を伴う避難体験を実現できる。

本研究では、避難情報 (避難準備・高齢者等避難開始、避難指示 (緊急)、避難勧告) (注1) 発表のタイミングや個々の住民の避難開始時刻の違いによる、災害発生時の避難経路上の交通渋滞区間、避難所到達時間、および避難所到達率の変化をシミュレートした。用いたハザードのシナリオは、滋賀県の実施した氾濫シミュレーションに基づく。100年に1度の規模とされる1時間131ミリの雨が湖北地域全体に降ったと想定し、降水開始から1~24時間のデータを1時間刻みでシミュレートし、各時間における内水氾濫および河川からの溢水による浸水深を算出した。



(注 1) 災害対策基本法が改正され、2021 年 5 月 20 日から市町村が発令する避難情報が変わっている。(内閣府防災情報のページ)



長浜市総合防災マップ
長浜市役所防災機器管理局
令和 3 年 3 月発行

想定雨量 【浸水想定区域】 姉川・高時川 725mm/36 時間、余呉川 698mm/12 時間、天野川 856mm/24 時間、琵琶湖 555mm/120 時間、地先の安全度マップ (200 年に 1 度) 131mm/1 時間
※各地点において、上記の想定最大規模降雨の中から被害想定が最も大きいものを採用しています。

高臨場 VR 型防災教育インターフェースの開発

仮想空間内へ複数の球体を配置し、その球体の内側に全天球画像をテクスチャとして貼り付ける。中心にユーザ視点を配置すれば、360 度全方向を見渡せる Street View が出来る。

シミュレーションにより得られた水位データと全方位画像から得られた三次元シーンの座標系を変換・統合することで、三次元復元されたシーン上に水位の情報を合成。奥行画像を用いることで、水面が建物に回り込んで描画され、実世界と水面 (CG) の間の前後関係が正しく再現された。

実装した災害体験アプリケーション内でユーザが操作できるのは、以下の 4 つである。

1. Street View を 360 度見回す
2. 視点の移動
3. 浸水エフェクトの ON/OFF
4. 経過時間を初期時間 (降水開始から 1 時間後) に戻す

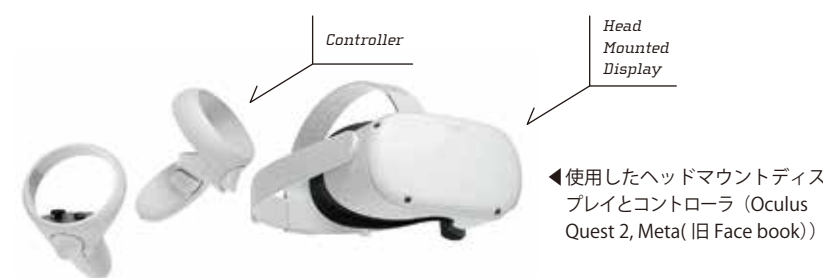
実世界で使用するコントローラを仮想空間内に描画し、コントローラから発せられる光線で基本操作を行う。視線移動はユーザの頭の動きに連動しており、ユーザは 360 度自由に見回すことが可能である。



球体にテクスチャを貼り付けるだけでは隠蔽関係 (後ろにあるものを手前の物体が隠している状態) が正確に表現できない。球体を変形させ、三次元情報を与えることにより違和感を無くした。



全方位画像上に合成提示された水面データ



開発した VR 型防災教育システムのインターフェース

長浜市大井町での公開実験

— 大井町町民協力のもと実証実験 —

試作した VR 型防災教育システムを用いて、2020 年 12 月 15 日に公開実験を実施。45 歳から 66 歳の地域住民 11 名がシステムを体験した。半数以上が姉川氾濫の被災者である。

実験開始時に、まず水害シミュレーションデータの説明および操作方法の手本を見せることで操作の説明を行った。各被験者の体験時間は 5 分とし、体験後にアンケート調査に回答してもらった。多くの住民は通常のハザードマップでは浸水時の水位について、具体的には理解しづらいと感じており、これまでに VR を経験したことがある被験者は 1 名のみであった。

— 実証実験結果 —

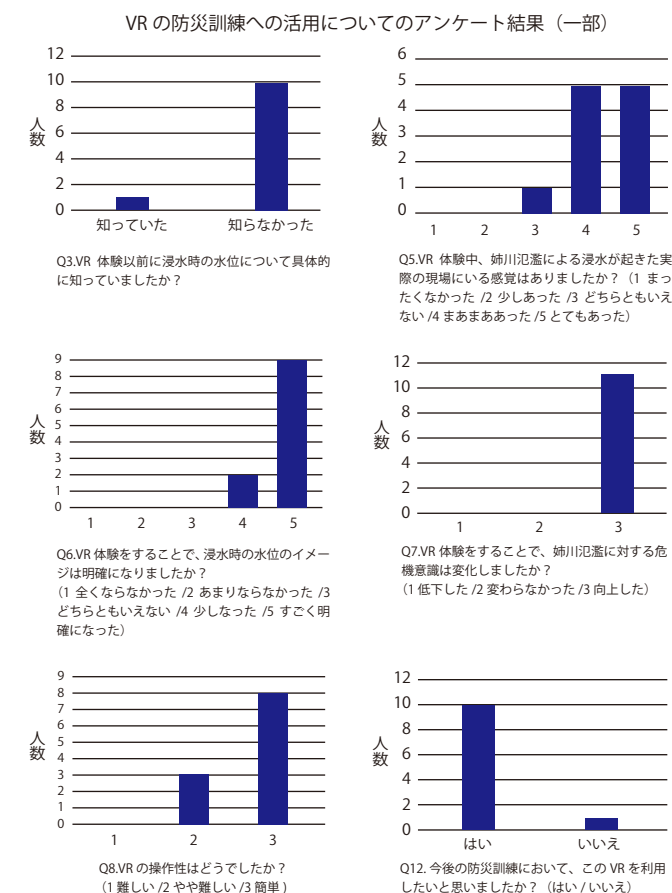
アンケート評価によりシステムの効果を検証した。結果として体験者の 91% が姉川氾濫による浸水が起きた実際の現場にいる感覚があったと回答し、全ての被験者が VR 体験をすることで浸水時の水位のイメージが明確となり、姉川氾濫に対する危機意識が向上したと回答した。

VR についての改善・修正点については以下のような意見があり、映像については改善の余地がある。

- ・浸水時の空が晴天なので、雨の降る様子を入れると一層リアルに感じられると思った
- ・空が青空だと浸水するイメージが沸かない
- ・町内全域が上空から見られることが出来ると良い

被験者の 90% がシステムを活用したいと答え、いいえと答えた被験者は、VR 機器の調達が難しいことを理由として挙げていた。よって、今後より安価な VR 機器が普及すれば、防災教育への活用のしやすさにつながる。今回、仮想化を行った地域で実験を行ったため、仮想化現実空間内の自分の家の被害を確認する被験者もあり、この防災教育アプリケーション特有の効果だと思われる。「学校の防災訓練で活用すると良いが、機器の調達が大変ではないか」、「次の行動をどうするのか、どちらに避難すれば良いのかにつなげると良いと思う」という意見もあったため、消防団などの団体と連携を行い、防災訓練に用いるとさらなる教育効果の向上が望める。

実証実験において開発した VR 型防災システムは、市販の VR ゴーグル内の web ブラウザにおいて指定の URL にアクセスすることで誰でも簡単に体験できるものとしている。これにより、当該地域では、今後も継続的にシステムを利用することで、防災意識を高めることが期待できる。



大井町の町民協力のもと行なわれた実証実験の様子



シミュレーションを体験する様子

