

メタバース内避難訓練システムの開発

大江 海斗^{*1}, 奥井 翔真^{*2}, 市野 有朔^{*1}, 光原 弘幸^{*3}, 獅々堀 正幹^{*3}

^{*1} 徳島大学大学院創成科学研究科

^{*2} 徳島大学理工学部

^{*3} 徳島大学大学院社会産業理工学研究部

Development of “Evacuation Training in Metaverse” System

Kaito OE^{*1}, Shoma OKUI^{*2}, Yusaku ICHINO^{*1}, Hiroyuki MITSUHARA^{*3}, Masami SHISHIBORI^{*3}

^{*1} Graduate School of Science and Technology of Innovation, Tokushima University

^{*2} Faculty of Science and Technology, Tokushima University

^{*3} Graduate School of Technology, Industrial and Social Sciences, Tokushima University

Recently, VR (Virtual Reality) has been actively applied to evacuation training, and Metaverse (social VR) is gathering great attention as a new environment for various activities. We proposed “Evacuation Training in Metaverse” (ETM) and are developing an ETM system called “Tokudiverse”. Tokudiverse has a 3-dimensional high-fidelity virtual world modeled from a real campus of Tokushima University and enables many users to spend time in the virtual world. In Tokudiverse, a sudden disaster (earthquake) happens, and users are required to decide whether to evacuate or not. In other words, the mode suddenly shifts from normal time to evacuation (emergency) time. The Tokudiverse system has several functions based on recent VR technologies. In this paper, we describe the concept, design and development, and future perspectives of the Tokudiverse system.

キーワード: メタバース, 避難訓練, 防災教育, VR

1. はじめに

自然災害や人為的な災害は壊滅的な被害をもたらし、日常生活を一変させる可能性がある。特に、地震やテロなどの予期せぬ災害に対し、われわれは脆弱といわざるをえない。予期せぬ災害から生き残るためには、安全な場所へ速やかに避難する必要があるが、避難途中で難しい状況に遭遇し、判断が求められることも少なくない。例えば、想定していた避難経路が通行できない状況で別の経路を選択したり、発見した負傷者を救助するか否かを判断したりすることがあるだろう。そのため、速やかな避難には、迅速かつ的確に判断することが重要となる。

速やかな避難をめざす防災教育として避難訓練が挙げられる。しかし、従来の避難訓練の多くは、参加者

に避難経路を覚えさせることにとどまっており、難しい状況で判断させるという疑似体験を提供していない。つまり、予期せぬ災害に対する避難訓練として災害状況をリアルに表現できておらず、訓練効果は必ずしも高くない。したがって、さまざまな災害状況と判断を疑似体験できる避難訓練が必要である。

近年、仮想現実 (Virtual Reality: VR) が注目を集めている。VR は高度な 3 次元コンピュータグラフィックス (3DCG) や HMD (Head Mounted Display) を用いて災害状況をリアルに表現することができ、安全な環境下でさまざまなシナリオに基づく避難疑似体験を提供できることから、避難訓練に積極的に導入されている⁽¹⁾。例えば、実在する病院を忠実に再現した 3D モデルを用いて地震避難を疑似体験できるシステム⁽²⁾、火災と煙の広がり避難者の行動をシミュレー

トして建物火災をリアルに再現するシステムがある⁽³⁾。また、地下鉄火災と乗客エージェントのシミュレーションを用いて、乗客を火災に遭遇させることなく出口まで誘導する、地下鉄従業員向けのシステムも存在する⁽⁴⁾。これらの避難訓練 VR システムは、3DCG だけでなく現実的なシナリオやシミュレーションに基づいて災害状況を表現することで、判断を伴う避難疑似体験が強化され、高い訓練効果が期待される。しかし、参加者は避難訓練 VR を利用しているという意識をもっており、災害発生のタイミングが予め分かっていることも多いため、予期せぬ災害に対する避難訓練としては不十分である。

そこで著者らは、ソーシャル VR として近年急速に普及し始めたメタバースに着目し、徳島大学理工学部キャンパスのメタバース内で不意打ちの災害を発生させるメタバース活用型避難訓練システム“Tokudiverse”を開発している⁽⁵⁻⁷⁾。Tokudiverse では、ユーザが 3 次元仮想世界でコミュニケーションを取りながら日常生活の延長としてさまざまな活動をしている中、突然の災害発生をきっかけとして避難を開始することになる。現実世界における地震やテロの発生と同じように、メタバース内で災害を発生させることで、予期せぬ災害に対する避難訓練として十分な効果が期待される。

本稿では、Tokudiverse の構想と設計・開発、および今後の展望について述べる。

2. Tokudiverse の構想

Tokudiverse は、複数ユーザによる 3 次元仮想世界への同時アクセスといったメタバースの基本的な要件を満たした上で、効果的な避難訓練をめざす。

2.1 避難訓練モデル

本研究では、避難訓練を Kolb の経験学習⁽⁸⁾に当てはめてモデル化し、このモデルに基づいて Tokudiverse を設計している（図 1）。

(1) 具体的経験（Concrete Experience: CE）

避難訓練に該当し、参加者は開始場所から避難場所へ移動する中で、遭遇した災害状況に対して判断を求

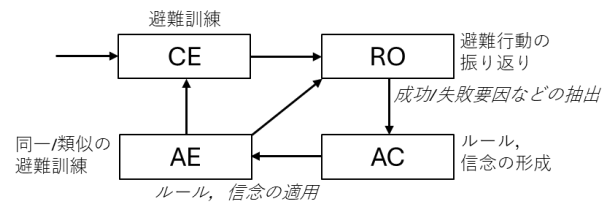


図 1 避難訓練モデル

められる。

(2) 内省的観察（Reflective Observation: RO）

参加者は CE における自身の避難行動を（場合によっては他者の避難行動も）振り返ることで、避難の成功／失敗要因、課題などを抽出する（例、狭い近道を避難したが、地震による家屋倒壊で通れず避難に時間がかかった。）

(3) 抽象的概念化（Abstract Conceptualization: AC）

参加者は RO において抽出した内容から、避難成功のためのルールや信念を形成する（例、地震避難では、少し遠回りしても広い道を避難すべきだ。）

(4) 能動的実験（Active Experimentation: AE）

参加者は AC において形成した内容を、同一または類似する想定での避難訓練に適用する。参加者は AE の後、CE（異なる想定での新たな避難訓練）または RO に移行する。

2.2 要件

Tokudiverse は、避難訓練モデルにおける CE および AE に対して、

- 現実世界に忠実な仮想世界の構築
- 不意打ちの災害発生

を要件とする。さらに、RO および AC に対して、

- 振り返りの支援

を要件とする。

2.2.1 現実世界に忠実な仮想世界の構築

従来の避難訓練（現実世界における避難訓練）は主に参加者の生活圏内で実施される。Tokudiverse では、徳島大学理工学部の学生および教職員を対象参加者とするため、現実世界の徳島大学理工学部キャンパスをできるだけ忠実に 3 次元仮想世界として構築する。さらに、アバタの外見をできるだけユーザに似せて作成



図2 Tokudiverse の3次元仮想世界
(左：パノラマ 右：教室)

し、非現実的な行動（例えば、空を飛ぶ）はできないようにする。これらにより、参加者はキャンパス内で遭遇しうる災害状況と判断をリアルに疑似体験できる。

2.2.2 不意打ちの災害発生

徳島県では南海トラフ巨大地震・津波による甚大な被害が予想されており、避難訓練が積極的に実施されている。徳島大学工学部キャンパスにおいても震度7の揺れと2～3mの津波浸水深が想定されており、学生および教職員はキャンパス内避難訓練に参加すべきである。このことから、Tokudiverseではまず予期せぬ災害として地震に焦点を当て、地震を不意打ちで発生させる。不意打ちの地震発生をきっかけとして、Tokudiverseにアクセス中のユーザは避難訓練の参加者となりうる。なお、避難する／しないの判断はユーザに委ねられており、必ずしも全ユーザが訓練参加者になるとは限らない。

2.2.3 振り返りの支援

ROおよびACのためには、参加者が自身の避難行動（避難経路や速度、判断内容など）を振り返る必要があるが、記憶を頼りに振り返ることは容易ではない。そこでTokudiverseでは、避難行動の可視化（再現）に焦点を当てて振り返りを支援する。

3. システム設計・開発

Tokudiverseは、構想に基づいてシステム設計・開発される。開発環境には、PCやHMDなど複数のデバイスで動作させるために、クロスプラットフォーム開発に適したソフトウェア“Unity”⁹⁾を採用している。キャンパスの3次元仮想世界は、実際の建物の設計図を基にCADソフトや3DCGソフトでモデリングし、Unity上でオブジェクトとして配置した（図2）。

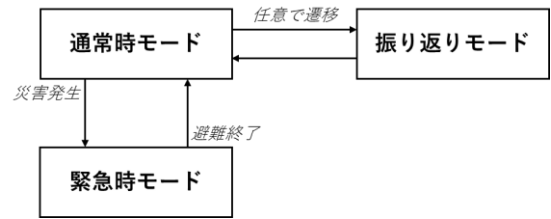


図3 モード遷移図



図4 災害状況表現の例

3.1 モード

Tokudiverseには、“通常時”、“緊急時”、“振り返り”のモードが存在する（図3）。

(1) 通常時モード

ユーザは現実世界のキャンパス内と同じように、教室で授業を受けたり、仲間と会話したりできる。

(2) 緊急時モード

地震が発生すると、緊急時モードに切り替わり、ユーザは避難を開始するかどうかを判断する。避難を開始したユーザは避難訓練の参加者とみなされる。参加者は炎、煙、瓦礫、負傷者などの災害状況に遭遇し、判断しながら避難していく（図4）。避難場所（例えば、3階以上の教室）に到着するか、地震発生から一定時間が経過すると、避難訓練終了となり、通常時モードに切り替わる。

(3) 振り返りモード

通常時モードにおいて、ユーザは任意のタイミングで振り返り支援機能を起動し、振り返りモードへ移行することができる。

3.2 メタバース基本機能

3.2.1 アバタの生成と操作

アバタは現在、アバタ生成サービスであるReady Player Me¹⁰⁾を用いて、ユーザの顔画像からできるだ

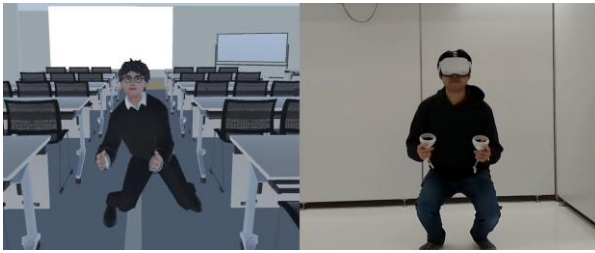


図5 アバタ（左）とユーザ（右）

けユーザ本人に似せて生成している。

Tokudiverse では、視聴覚的リアリティを向上させるために、ユーザには HMD の装着を推奨している。このため、より多くの HMD で動作することをめざして、VR の標準規格である OpenXR⁽¹¹⁾を用いて開発する。6DoF のアバタ操作に対応しており、HMD 付属コントローラによるオブジェクトの選択や接触検知、身振り手振りやしゃがむといった操作も可能にしている（図 5）。現在のところ、Meta Quest2 および VIVE Pro Eye で動作確認できている。

3.2.2 複数ユーザの同時アクセス

複数ユーザの同時アクセスは Photon のフレームワーク⁽¹²⁾を用いて実現している（理論上 200 名までのアクセスが可能）。ユーザを含めたオブジェクトの位置同期処理は Photon Fusion、ユーザ間の音声会話（ボイスチャット）は Photon Voice を用いて実装している。Photon Cloud 内に存在する Room に最初にアクセスしたユーザがホストとなる。ホストは各クライアントからアバタの座標や音声データを受信した後、全クライアントへ斉送信する（図 6）。また Room は複数存在可能で、特定のユーザのみが参加できるプライベートルームも作成可能である。

3.2.3 ユーザおよびデータ管理

Tokudiverse 管理用の Web サーバを導入し、ユーザの情報（ID、アバタデータなど）や避難行動ログ、授業用 PDF 教材などを保存している。

3.2.4 授業実施

Web サーバに保存された PDF 教材を複数枚の画像ファイルに変換し、Tokudiverse 内のスクリーンに投影することで、授業を実施できるようにする。ページ送りやレーザーポインタの表示も可能である（図 7）。

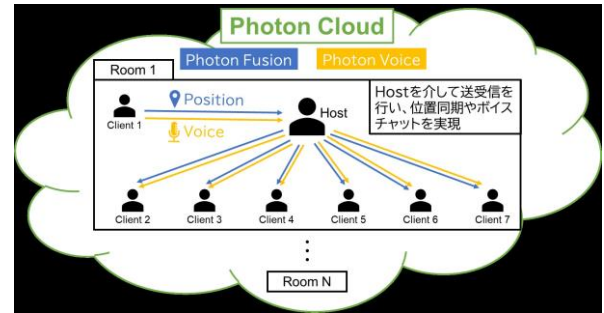


図6 マルチユーザシステムの構成

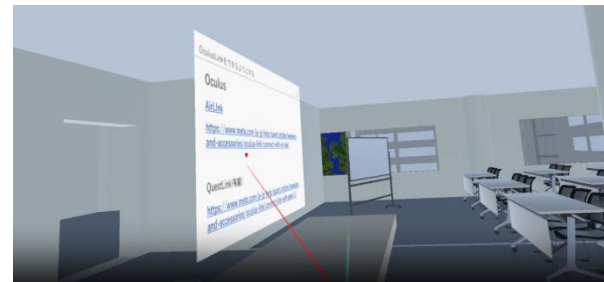


図7 Tokudiverse 内での授業実施

3.3 避難訓練機能

Tokudiverse では、予告なく緊急地震速報を鳴らし、数秒後に地震を発生させ、さまざまな災害状況を再現する。

3.3.1 通常時モード

ユーザは授業を受けたり、他のユーザと会話したりしている。

3.3.2 緊急時モード

緊急地震速報が鳴ることで、通常時モードから緊急時モードへ移行する。このとき、避難を促進または指示するようなメッセージは表示されず、避難するかどうかの判断はユーザに委ねられる。実際の災害においても、正常性バイアスなどにより避難を開始しない事例があることから、Tokudiverse では、緊急時モードであっても通常時モードと同じような行動をするユーザは許容される。現在のところ、訓練参加者（避難を開始したユーザ）の自助（自身の避難の成功）に焦点を当てた避難訓練になっており、負傷者を救助するといったインタラクションは未実装である。

(1) 不意打ちの地震発生

Tokudiverse における地震発生のタイミングは、



図 8 参加者のアバタと NPC

- ① 日本国内で実際に震度 4 以上の地震が発生した
- ② 管理者がキーボードの特定キーを押下して、地震発生を開始した
- ③ シナリオで指定された災害発生日時になった場合としている。①について、Tokudiverse は気象庁から地震発生を受け取ると、建物を揺らして地震を表現する。このとき、机や椅子といったオブジェクトは物理演算によって建物の揺れに応じて動くため、床に散乱していく。

(2) シナリオに基づく災害状況の表現

2.1 で示した避難訓練モデルに従えば、さまざまな想定で訓練を繰り返す必要がある。そこで、想定すなわち一連の災害状況をシナリオとして記述・蓄積しておき、訓練実施者がシナリオを選択して訓練を実施できるようにする。Tokudiverse では、XML 形式の災害シナリオファイルに基づき、地震発生直後の災害状況を表現する。シナリオファイルには、炎、煙、瓦礫、負傷者といった災害状況の配置座標が記述されるほか、シーン・カットという概念を導入することにより、複雑な災害状況も記述できるようにしている。

- カットとはメッセージ、動画、画像などのコンテンツ表示やオブジェクトの操作に該当する。
- シーンには通常シーンと割込シーンが存在する。通常シーンは場所に対応づけられており、参加者が設定されたエリアに入ることによってカットに移行する。割込シーンは時間に対応づけられており、経過時間を基にカットに移行する。

例えば、特定のエリアに入った時に悲鳴を聞かせて負傷者の存在を示唆したり、経過時間に合わせて津波警報を発令したりできる。

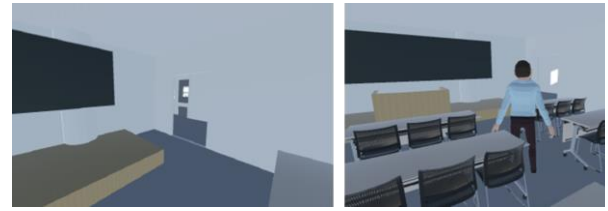


図 9 振り返り支援機能
(左：1 人称視点 右：3 人称視点)

(3) 避難行動ログの記録

緊急時モードでは、振り返りモードで避難行動を可視化するために、参加者の避難行動ログ(位置や視線)を記録している。また、Tokudiverse にリアルタイムでアクセスしているユーザが少ない場合、参加者の避難行動ログを NPC (Non Player Character) に反映させて避難行動を再現することで、多人数が避難している状況を表現できる (図 8) ⁽¹³⁾。

3.3.3 振り返りモード

通常時モードにおいて、参加者はメニューから自身の避難行動ログを選択して、振り返り支援機能を起動させ、振り返りモードに移行する。一人称または三人称で可視化・再生された避難行動から、どのような経路で避難したのか、避難中に何を見たのかなどについて振り返ることができる (図 9) ⁽¹⁴⁾。例えば、振り返りを通じて、“炎や瓦礫に行く手を遮られた際、立ち止まって別の逃げ道を考えてしまい、時間をロスした”と避難失敗の要因に気づき、“他の逃げ道を常に探しながら、立ち止まらず逃げる”という自身の避難ルールを形成することが期待される。

振り返り支援機能では、巻き戻しや一時停止なども可能なため、参加者が注目したい箇所をピンポイントで何度でも振り返ることができる。

3.4 災害シナリオ作成機能

XML 形式の災害シナリオは、タグなどの意味を把握して手入力することは可能であるが、表現する災害状況が多数であったり複雑であったりすると、手入力は現実的ではない。そこで、Unity 上で災害状況の設置やシーン・カットの設定を可能とする災害シナリオ作成機能を実装している。さらに、参加者の視点で 3 次

元仮想空間内に災害状況を直接配置する機能も実装している。

4. まとめ

本稿では、予期せぬ災害（地震）のリアルな避難疑似体験を提供することをめざして開発した、メタバース内避難訓練システム“Tokudiverse”について述べた。Tokudiverse は現在、ユーザの同期やボイスチャットによるコミュニケーションなどのメタバースとしての基本的な機能は実装済みであるが、ユーザを増やして滞在時間を長くする仕組みの実装や、災害状況表現や各種機能の細かい調整や追加を残している。例えば、通常時モードにおける活動は他ユーザとの会話および授業の受講に限られている。対戦型ミニゲーム（卓球など）などを実装することで、ユーザのアクセスを促進し操作練習にもなる上、楽しい活動に没入させることで、不意打ちの災害を強調できると考えている。さらに、負傷者の救助といったインタラクション機能を実装することで、参加者に共助も意識させ、モラルジレンマ（例えば、避難に失敗する可能性がある中で、負傷者を救助するかしないか）も含めたよりリアルな避難訓練につなげたい。

また、不意打ちの災害発生によるメタバース内避難訓練の効果など、評価実験を実施して明らかにしていく。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 23H01004、徳島大学理工学部令和 4 年度先端理工学教育研究プロジェクト No.2022-01 の助成を受けた。

参 考 文 献

- (1) Gagliardi, E., Bernardini, G., Quagliarini, E., et al.: “Characterization and future perspectives of Virtual Reality Evacuation Drills for safe built environments: A systematic literature review”, *Safety Science*, 163, 106141 (2023)
- (2) Feng, Z., González, V.A., Amor, R., et al.: “An immersive virtual reality serious game to enhance earthquake behavioral responses and post-earthquake evacuation preparedness in buildings”, *Advanced Engineering Informatics*, 45, 101118 (2020)
- (3) Feng, Z., González, V.A., Spearpoint, M., et al.: “A sequence analysis of behaviors in immersive virtual reality for indoor earthquake and post-earthquake evacuation”, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 75, 102978 (2022)
- (4) Wang, Z., Mao, Z., Li, Y., et al.: “VR-based fire evacuation in underground rail station considering staff’s behaviors: model, system development and experiment”, *Virtual Reality*, 27, 1145–1155 (2023)
- (5) Mitsuhara, H. and Shishibori, M.: “Toward evacuation training in metaverse”, *Methodologies and Use Cases on Extended Reality for Training and Education*, IGI Global (2022)
- (6) Oe, K., Tanioka, I., Mitsuhara, H., et al.: “Prototype system of evacuation training in metaverse”, *Proc. of the 30th International Conference on Computers in Education*, Vol.2, pp. 122–130 (2022)
- (7) 光原弘幸, 谷岡樹, 大江海斗ほか: “メタバース内避難訓練の提案と試作システム”, *教育システム情報学会研究報告*, Vol.37, No.5, pp.45-52 (2023)
- (8) Kolb, D.: “Experiential learning: Experience as the source of learning and development”, Prentice Hall (1984)
- (9) Unity, <https://unity.com/ja> (2023 年 12 月 14 日確認)
- (10) Ready Player Me, <https://readyplayer.me/> (2023 年 12 月 14 日確認)
- (11) OpenXR, <https://www.khronos.org/openxr/> (2023 年 12 月 14 日確認)
- (12) Photon, <https://www.photonengine.com/> (2023 年 12 月 14 日確認)
- (13) Oe, K., Ichino, Y., Mitsuhara, H., et al.: “Non-player characters for evacuation training in metaverse: Preliminary experiment”, *Proc. of the 31th International Conference on Computers in Education*, Vol.2, pp.271-280 (2023)
- (14) 市野有朔, 大江海斗, 光原弘幸ほか: “避難訓練 VR におけるリプレイ機能を用いた振り返り支援”, 第 48 回教育システム情報学会全国大会講演論文集, pp.85-86 (2023)