

地震疑似体験 VR における 避難行動記録・再現による NPC 生成

谷岡 樹^{*1}, 光原 弘幸^{*2}, 獅々堀 正幹^{*2}

^{*1} 徳島大学大学院創成科学研究科

^{*2} 徳島大学大学院社会産業研究科

NPC Creation by Recording and Reproducing Evacuation Behaviors in a VR-based Simulator for Earthquake Experience

Itsuki TANIOKA ^{*1}, Hiroyuki MITSUHARA ^{*2}, Masami SHISHIBORI ^{*2}

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

^{*2} Graduate School of Technology, Industrial and Social Sciences, Tokushima University

In this study, we are developing a VR (virtual reality)-based evacuation drill system focusing on scenarios that an earthquake suddenly hits. We conducted a preliminary experiment using a VR-based earthquake simulator to observe how participants in one- and two-player groups behave for suddenly-hit earthquake in the VR space. The experimental results inspired us to create multiple evacuees as NPCs (non player characters) in the VR-based evacuation drill system. Our idea for creating NPCs is to record and reproduce evacuation behaviors of the past drill participants. In other words, it is expected that drill participants can see NPCs that take human-like behaviors such as wavering, uneasy, reckless, etc.

キーワード: NPC (Non Player Character), VR (Virtual Reality), 地震疑似体験, 避難行動

1. はじめに

地震は自然災害のなかでも発生の予測が難しい。地震が頻発する我が国では、地震から命を守るために備えておくことが重要である。そのような備えとして、防災教育とりわけ避難訓練は不可欠であり、教育現場などで定期的に行われている。しかし、従来の避難訓練では、決められた経路に沿って決められた場所へ移動することが多い。避難途中で遭遇する可能性のある難しい状況（経路寸断など）を扱わなければ、避難訓練は緊迫感やリアリティに欠ける。しかし、訓練時に建物損壊や火災といった災害状況を表現することは困難である。光原らは Geo-fencing や Augmented Reality により仮定の災害状況を表現してリアリティ

を向上させ、難しい状況にどう対応するかを参加者に考えさせる ICT 活用型避難訓練を開発・実践している^{(1)~(3)}。これらの ICT 活用型避難訓練は現実世界（主に参加者の生活圏）で実施されるため、参加者が避難を自分事としてとらえることにつながる一方で、天候などによっては実施できない場合がある。また、近年では、新型コロナウイルス感染拡大の影響によって、現実世界で参加者が接触する避難訓練の実施が難しい場合もありうる。そこで本研究では、参加者が現実世界で接触することなく避難訓練を実施する手段として、Virtual Reality (VR : 仮想現実) に着目し、リアルタイムマルチプレイヤ型 VR 地震避難訓練システムを開発している。

VR 地震避難訓練システムはこれまでにも多く開発

されている。例えば、Li らのシステムは詳細な地震シミュレーションを導入しており、マニュアルやビデオによる従来の訓練方法と比較して、被害回避能力や危険認識能力を効果的に向上できる⁽⁴⁾。Gong らのシステムは、マウスとキーボード、HMD (Head Mounted Display) とモーションキャプチャデバイスである Kinect 導入した没入感の高い地震避難訓練を実現している⁽⁵⁾。従来の VR 地震避難訓練システムは訓練実施を明示して提供され、参加者は地震が発生することを知った上で訓練に参加することが多い。言い換えれば、実際の地震は突然発生することから、従来の VR 地震避難訓練システムでは、突然の地震発生による状況 (緊迫感, 認知バイアス) の疑似体験として不十分な可能性がある。開発中の VR 地震避難訓練システムは、表向きは VR ゲームとして提供され、プレイヤー (参加者) のゲームプレイ中に突然地震を発生させる “不意打ち” を取り入れている。不意打ちによって、参加者に突然避難しなければならない状況を疑似体験させることで訓練効果の向上をめざしている。予備実験として、VR 空間内で簡易的なゲームをプレイ中に不意打ちで地震を発生させた場合、被験者 (1 名または 2 名で条件分け) がどのように行動するのかを比較分析した⁽⁶⁾。その結果、被験者の避難行動は他者の存在に影響を受けることが確認された。

本研究ではこのような経緯から、VR 地震避難訓練システムにおいて他者を表現する手法として、NPC (Non Player Character) に着目し、より人間らしく見せることをめざして、訓練参加者の避難行動を記録・再現する NPC 生成に取り組んでいる。

2. 開発システムと予備実験

NPC 生成の基盤である開発中の VR 地震避難訓練システムとその予備実験結果を概説する。

2.1 システムの概要

本システムはクライアントとサーバから構成され、サーバとして PC を利用でき、クライアントとして VR 機器 (HMD) を必要とする (図 1)。

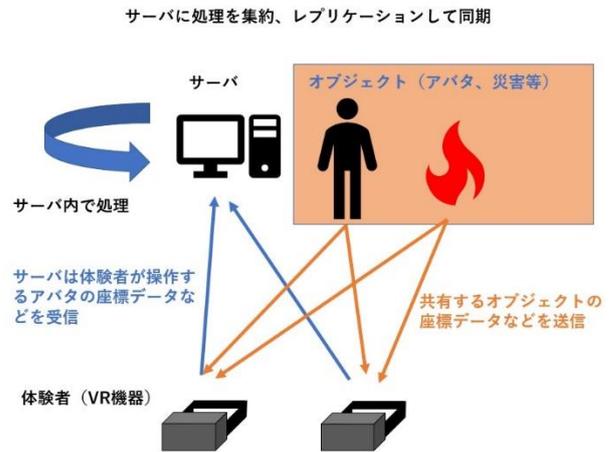


図 1 システム構成

マルチプレイの通信は、アプリの実行時にサーバ、クライアントの選択を経て開始される。PC にはサーバを選択し、VR 機器にはクライアントを選択する。このように選択することで、サーバ (PC) に処理を集約し、処理されたアバタやオブジェクト (炎など) をレプリケーション (複製) してクライアントに同期させることができる。また、VR 機器の処理負荷を軽減できる。本システムは以下の特徴を有している。

- 表向きは、リアルタイムマルチプレイヤー型 VR ゲームとして提供される。
- VR 機器 (入出力デバイス) として、没入型 HMD (Head Mounted Display) の Oculus Quest 2 ならびにトラッキングコントローラの Oculus Touch Hand Controller を採用する。
- 開発にはゲームエンジン Unity3D を使用し、Unity Asset Store で公開されている 3 次元モデルから VR 空間を構成する。また、マルチプレイの実現には、Unity 公式ネットワークソリューションである MLAPI (Mid Level API) を利用する。
- 3 次元 VR 空間内で不意打ち (現状ではランダム、将来的には、気象庁の地震発生情報を受信して実際の地震と同じタイミング) で地震を発生させる。地震発生により、ゲームモードから避難訓練モードに移行する。
- プレイヤーはアバタとして表現され、VR 空間内を移動して避難する。コントローラ操作で 3 次

元オブジェクト（軽量なものに限る）を移動させることができる。

- 設定した避難場所に到着するか、地震発生から一定時間経過すると、避難訓練は終了する。避難訓練モードからゲームモードに移行する。
- 避難中のプレイヤーの行動はサーバ側にログとして記録される。

2.2 予備実験の概要

VR 避難疑似体験における参加者の避難行動は、これまで積極的に分析されてきた。例えば、Gamberiniらは、VR 空間内で避難途中に負傷者を救助するという状況を作り出し、負傷者の人種の違いが救助活動にどのような影響を及ぼすかを分析した⁽⁷⁾。小林らは、VR 空間で火災を発生させ、火種の延焼規模や被験者と火種の距離による避難行動の違いを分析した⁽⁸⁾。

VR 地震避難訓練システムの開発を進めるにあたり、不意打ちで地震を発生させた場合に1人プレイ（単独で避難）と2人プレイ（他者がいる避難）（図2）で避難行動にどのような違いが生じるかを調査する予備実験を実施した。

2.2.1 実験方法

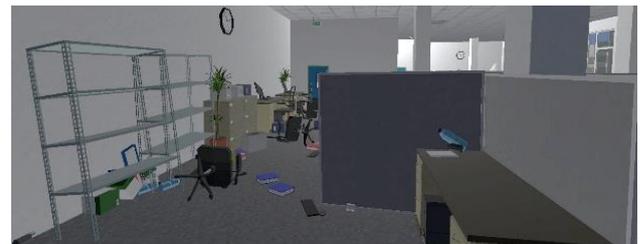
本実験用のVR空間として、都市モデルに6階建て屋上付きビルを用意した。被験者は「VRゲームの実験に参加してほしい」という協力依頼に応じた大学生9名であり、1人プレイ（3名）と2人プレイ（2名×3組）のグループに分けた。2人プレイの場合、被験者は同じ部屋・時間においてHMDを装着し、共通のVR空間に入ったため、会話は可能であった。実験中のVR画面と会話が録画録音された。実験手順は以下のとおりである。

(1) ゲームプレイ

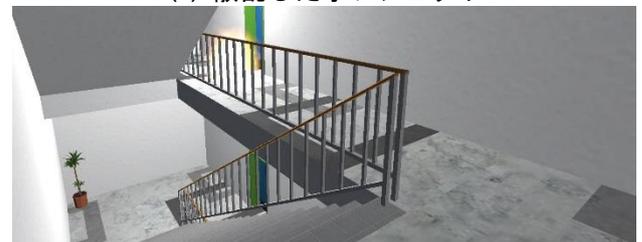
HMDを装着した被験者は、ビル4階のゲームルームまで移動し、射的ゲームをプレイする。被験者は移動とゲームプレイを通じてVR操作に慣れると想定される。



図2 3人プレイの様子（一人称視点）



(a) 散乱したオブジェクト



(b) 非常階段で発生した火災

図3 地震発生後のVR空間内

(2) 地震発生

実験実施者が手動（被験者がプレイに没頭している、と判断したタイミング）で緊急地震速報を再生し、VR画面（空間全体）を小刻みに揺らして地震を発生させる。この揺れにより、ビル内のオブジェクトが倒れたり（図3-a）、火災が発生したりする（図3-b）。

(3) 行動開始

揺れが収まった後、システムや実験実施者が被験者に指示を与えることはないため、被験者は避難するかどうかも含めて判断・行動できる。被験者は散乱したオブジェクトを避けたり、コントローラでオブジェクトを掴んで投げ飛ばしたりしながら移動できる。また、火災箇所を通り抜けることもでき、その際のペナルティ（移動速度低下など）もない。1階出口からビル外に出るか、屋上に到着すると避難完了とした。

(4) アンケート

被験者は避難完了直後、アンケートに回答した。

2.2.2 実験結果と考察

2人プレイの被験者1名(被験者D3)がVR酔いに陥り、避難途中で実験継続を断念した。

(1) 避難行動

被験者9名全員が避難行動をとり、8名がビル外に出るか屋上に到着した。アンケートの自由記述に「地震が起きたから反射的に避難するべきだと思った」という回答があったことから、VR空間内の不意打ちの地震で避難を動機づけてきたと考えられる。

1人プレイの被験者は基本的に無言で避難しており、2名が小規模火災を通り抜けて避難した。一方、2人プレイについては、3組とも避難先(1階か屋上)を相談して避難を開始し、1組は避難途中で逸れないように協力しながら慎重に避難した。

(2) 避難時間

避難時間を表1に示す。平均避難時間について、2人プレイが1人プレイより約105秒遅くなっている。この理由として、2人プレイでは避難経路を相談して行動していたことが挙げられる。加えて、D5&D6は逸れないように移動速度を合わせたことが避難時間を増加させた。一方、1人プレイの被験者には、立ち止まることなく避難する傾向があり、短い避難時間につながった。

表1 避難時間

1人プレイ	避難時間(秒)	平均(秒)
被験者S1	278	241
被験者S2	241	
被験者S3	204	
2人プレイ	避難時間(秒)	平均(秒)
被験者D1&D2 ^{*1}	334	345.7
被験者D3&D4 ^{*2}	294	
被験者D5&D6 ^{*1}	409	

*1 2名が避難を終了するまでの時間を計測

*2 D3が避難途中で離脱したため、1名(D4)が避難を終了するまでの時間を計測

表2 避難中の感情の平均値

感情	1人プレイ	2人プレイ
怯え	4.3	2.8
不安	4.3	2.8
恐怖	4.0	1.8
焦り	4.3	3.3
迷い	3.0	4.5
楽しさ	4.7	4.3

1「全く思わなかった」～5「非常に思った」

(3) 避難中の感情

避難中の感情に関するアンケート結果(5段階平均)を表2に示す。“迷い”を除くすべての感情において、1人プレイの平均値が2人プレイよりも高くなっており、“楽しさ”を除いて1.0ポイント以上の差があった。“迷い”については、1人プレイの平均が2人プレイよりも1.5ポイント低かった。1人プレイの被験者の避難時間の短さや、火災箇所を通り抜ける危険な行動は負の感情の高さに起因すると考えられる。2人プレイの被験者の避難時間の長さは、避難経路の相談や逸れないように避難する際に、他者の意見との違いや「移動速度を他者に合わせるべきか」といった葛藤に起因する可能性が考えられる。平均値がともに高い“楽しさ”は負の感情を中和する役割を担い、不意打ちのVR地震避難訓練への継続的な参加を動機づけることが期待される。

3. 避難行動記録・再現によるNPC生成

予備実験の結果から、他者(避難を共にする人)の有無が避難行動に影響すると考えられる。先行研究では、VR空間内で地震発生時の率先避難者と非率先避難者をNPCで表現し、被験者の避難行動を観察した結果、率先避難者が避難を促進し、非率先避難者が避難を抑制することがわかっている⁽⁹⁾。

3.1 目的

本研究では、NPCの避難行動が訓練参加者の避難行動に影響を与えることに着目し、NPC生成の方法を検

討している。先行研究⁹⁾では、Unity3D のナビゲーション機能 (NavMeshAgent) を用いて、NPC (率先避難者) を特定の場所まで移動させていた。しかし、この NPC 移動は、ある程度固定された移動経路をたどるだけで、どこに避難するか迷って右往左往するといった避難行動を表現できていなかった。また、このようなある種の“人間らしい”避難行動の表現は、NPC を詳細に設定 (プログラム) することで可能ではあるが、多数の NPC に多様な移動をさせるとなると、設定時の負担が大きくなる。

そこで、NPC にある種の“人間らしい”避難行動をとらせることをめざして、過去の訓練参加者の避難行動を NPC で再現するという着想に至った。訓練参加者の避難行動は、NPC の避難行動に影響を受けて多様化すると考えられ、NPC の詳細設定と比較して、避難行動の記録・再現は負担も小さい。

3.2 生成方法

本研究の NPC 生成方法は、訓練参加者のログを記録し、そのログを NPC に反映して再現するものである。

(1) ログ記録

クライアント (Oculus Quest2) アプリケーションが VR 空間における参加者アバタの位置座標 (X, Y, Z) および角度の Y 座標を取得し、参加者の避難行動ログとして 1 秒に 20 回サーバに送信する。これは MLAPI のデフォルト値である。サーバは受け取ったログをテキストファイルに書き込む。最初の参加者 A に対するログ記録の概略を図 4 (a) に示す。角度の Y 座標は NPC の斜め移動のアニメーションに使用される。

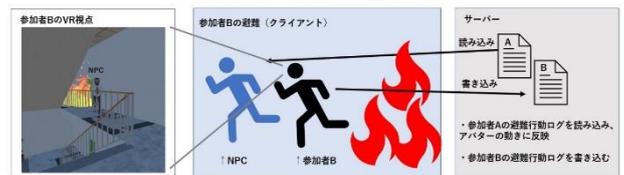
(2) ログ再現

クライアントアプリケーションは、記録された避難行動ログを読み込み、0.05 秒ごとに NPC の座標を更新し、VR 空間内に NPC を描画する。現在と直前の座標値の差が大きい場合、NPC がワープしたように描画される可能性があるが、上述したサーバへの送信頻度や座標更新・描画の間隔が短いことと、アバタは高速で移動しないことから、VR 機器の処理速度が著しく低下しないかぎり、ワープしているように見えないと

考えられる。サーバはログのデータ数だけ NPC を生成しているが、VR 機器では処理負荷を減らすため、視界内と視界付近だけを描画しており、背面にいる NPC は描画していない。これらの処理により、避難行動ログを NPC に反映し、移動の際の手足のアニメーションも加えて避難行動を再現している。二人目の参加者 B に対するログ記録・再現の概略を図 4 (b) に示す。参加者 B は NPC (再現された参加者 A) を追従するなど、NPC に影響を受けて避難行動をとると考えられる。参加者の数だけ避難行動ログが蓄積されるため、参加者数の増加に伴い、ログ再現のためにテキストファイルの読み込み処理が多く発生する。スペックの観点からクライアント側には VR 空間の描画処理を主に担当させたいため、サーバ側で避難行動ログの読み書きを処理するようにしている。これにより、処理遅延の少ない円滑な訓練が期待できる。



(a) 最初の参加者が避難する際



(b) 二人目の参加者が避難する際

図 4 避難行動ログの記録・再現



図 5 再現された 100 体の NPC (VR 視点)

表 3 VR 機器の fps 値の最小値と平均値

人数	最小値	平均値
0 人	59.8	61.4
20 人	50.9	53.5
40 人	44.9	49.8
60 人	41.4	44.2
80 人	35.8	40.7
100 人	34.3	35.8

3.3 動作検証

100 体の移動する NPC を再現した様子を図 5 に示す。サーバ側がテキストファイルの読み書き処理を担当しているとはいえ、参加者数が増加すれば、クライアント側の NPC の描画処理の負担が大きくなる。そこで、NPC 数によるフレームレート (fps: frame per second) を調査した。フレームレートとは 1 秒間にどれだけゲームの情報 (例: NPC の動き) が反映されているかを表す数値である。検証の条件を以下に示す。

- NPC の人数は 0~100 人, 20 人刻みで計測する。
- VR 機器は 1 つだけ接続する。
- VR 機器をサーバに接続し, NPC が VR 視点に表示されてから 5 秒間の FPS 値を取得する。
- NPC を VR 機器に描画させるため, NPC はプレイヤーの視界付近に存在させる。
- VR 機器に処理負荷を与えるため, 移動している NPC のログを使用する。
- NPC の数による処理負荷を検証するため, クライアント側は移動しない。

計測した FPS 値の最小値, 平均値を表 3 に示す。

NPC の人数が 20 人ずつ増えるごとに, fps 値の最小値, 平均値ともに減少し, 0 人と 100 人では約 25 の差が生じた。しかし, NPC の人数が 100 人でも, 最小値 34.3, 平均値 35.8 とともに 30fps 以上の値が確認されており, NPC の移動が遅くなることもなかった。スタンドアロンの Oculus Quest2 では約 20fps を下回ると処理が遅くなり, アプリの動作に支障をきたすが, 検証では最小でも 30fps 以上となっている。よって, VR 機器一台の接続時では, NPC が 100 人生成されたとしても動作に支障はないと考えられる。

3.4 関連研究

VR において, 人間らしい NPC を生成するさまざまな手法が研究開発されている。例えば, 今井らの VR 学習者支援システムでは, 他者の一部に NPC が使われており, 人間による操作をパターン化・模倣して NPC を動かしている⁽¹⁰⁾。田中らの VR 避難シミュレータでは, NPC がシミュレーションによって得られた移動軌跡をたどって指定した時刻から一斉に避難を開始する様子を表現している⁽¹¹⁾。本研究では, 参加者のアバタの移動を VR 空間にそのまま再現することで, 人間らしい避難行動をとる NPC の生成をめざしている。

4. おわりに

本研究では, VR 地震避難訓練システム開発の予備実験として, 1 人プレイと 2 人プレイで条件分けし, VR 空間において不意打ちで地震を発生させた際の参加者の避難行動の違いを調査した。その実験結果から, 他者の有無が避難行動に影響を与えることに着目し, 他者を NPC で表現することに取り組んでいる。特に, 人間らしい避難行動を表現するために, 避難行動を詳細に設定する NPC 生成ではなく, 訓練参加者の避難行動ログの記録・再現による NPC 生成を採用する。

試作した NPC 生成の動作検証を通じて, VR 機器は, 少なくとも 100 体の NPC の描画に耐えることがわかった。今回の動作検証は, 災害によって発生するオブジェクト (炎など) は描画していないため, 実際のシステムでは NPC 以外の描画負荷がかかると考えられる。この描画負荷を軽減するアプローチとして, 光源による描画処理を検討している。例えば, ゲームプレイ中に動かないオブジェクトは, そのオブジェクトに当たる光が変わらないため, ゲーム実行前にあらかじめライティングを計算しておくことができる。また, 現時点では, 避難行動として NPC の移動を再現するのみであり, 例えば, NPC の表情には変化がない。そこで, 訓練中の参加者の生体情報や発話などを避難行動の記録・再現の対象とし, 感情を推測して NPC の表情に反映させたり, 録音した発話を NPC にしゃべらせたりするといったことを検討している。

今後は、上記の課題を解決するとともに、訓練の振り返り機能、屋内外を対象としたシナリオに基づく災害状況表現、参加者の危険行動の判定・指導機能なども組み込んで本システムを完成させ、防災教育の現場に導入して訓練効果を検証していく。

付記

本論文は、参考文献(6)を基に内容を追加・再構成したものである。

アバタの Asset は Unity-chan!を使用した。©Unity Technologies Japan/UCL

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP18H01054 の助成を受けた。

参 考 文 献

- (1) 光原弘幸, 井上武久, 山口健治, 武知康逸, 森本真理, 上月康則, 井若和久, 獅々堀正幹: “考えさせる ICT 活用型避難訓練の実践”, 教育システム情報学会研究報告, Vol.31, No.7, pp.65-72 (2017)
- (2) 光原弘幸, 入江祐生, 獅々堀 正幹: “AR とスマートフォン HMD を用いた災害疑似体験システムとその予備実験”, 教育システム情報学会研究報告, Vol.33, No.5, pp.9-14 (2019)
- (3) 光原弘幸, 獅々堀正幹: “マーカレス AR を用いて仮想の災害状況を可視化するアプリとその予備実験”, 教育システム情報学会第 45 回全国大会講演論文集, pp.255-256 (2020)
- (4) Li, C., Liang, W., Quigley, C., Zhao, Y., and Yu, L.F.: “Earthquake safety training through virtual drills”, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.23, No.4, pp.1275-1284 (2017)
- (5) Gong, X., Liu, Y., Jiao, Y., Wang, B., Zhou, J., and Yu, H.: “A novel earthquake education system based on virtual reality”, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E98-D, No.12, pp. 2242-2249 (2015)
- (6) 谷岡樹, 光原弘幸, 獅々堀正幹: “Virtual Reality を用いた不意打ち地震疑似体験における行動分析”, 教育システム情報学会 2020 年度学生研究発表会論文集, pp.211-212 (2021)
- (7) Gamberini, L., Chittaro, L., Spagnoli, A., & Carlesso, C.: “Psychological response to an emergency in virtual reality: Effects of victim ethnicity and emergency type on helping behavior and navigation”, Computers in Human Behavior, Vol.48, pp. 104-113 (2015)
- (8) 小林大吉, 加藤孝明, 河原大, 志村泰知, 江田敏男: “VR(仮想現実) を用いた地震火災時の市街地延焼からの避難行動特性”, 地域安全学会論文集, No.31, pp.59-68 (2017)
- (9) Mitsuhashi, H., Tanimura, C., Nemoto, J., and Shishibori, M.: “Failure-enhanced evacuation training using a VR-based disaster simulator: A comparative experiment with simulated evacuees”, Procedia Computer Science, Vol.159, pp.1670-1679 (2019)
- (10) 今田昇吾, 林田尚子, 葛岡英明, 鈴木健嗣, 大木美加: “VR 空間におけるセルフペース学習の継続支援: 空間内の他者が与える影響の検証”, 情報処理学会インタラクション 2020, pp.31-38 (2020)
- (11) 田中俊成, 朴聖經, 水野雅之: “VR 避難シミュレーターの開発と被験者実験への適用に基づく改善策の検討～仮想地下街での火災避難における出口選択傾向の分析～”, ライフサポート, Vol.32, No.3, pp.90-93 (2020)