

VR地震体験下での落下物の刺激による臨場感の向上

船津 昌和¹ 稲森 一隆² 犬伏 徹志² 中西 英之^{3,4}

概要: 日本は地震や台風をはじめとする災害が多発する地域であり、その危険性を認知させるための手法としてバーチャルリアリティ (VR) による体験学習が考えられる。VR は災害の状況やその結果を模擬的に体験できる手段として、特に地震を再現する研究は多いと言える。しかし、地震の危険性の中には、視覚では十分に再現しきれない要素もあり、中でも身体への危険性が高い落下物は視覚再現だけでは十分伝えられない可能性がある。そこで、落下物を模した身体刺激を VR 地震体験中に提示することで、危険性に対する実感や没入感を高められるのではないかと考え、本研究では、地震体験中に肩部へ落下物を模した振動刺激を与えることで、VR 体験における没入感の向上を目指した。

1. はじめに

日本は地震や台風をはじめとする災害が多発する地域であり、その被害も人的・物的の両面で深刻な影響をもたらしてきた [1]。そのため、災害の危険性を正しく理解し、自ら危険を認知して行動する能力を養うことが重要である。しかし、実際の災害を安全に体験しその危険性を実感する機会は限られており、災害教育や防災訓練の手法には改善余地があると考えられる。

その代替手段として注目されているのが、バーチャルリアリティ (VR) による体験学習である。VR は災害の状況やその結果を模擬的に体験できる手段として、防災研究や避難訓練などさまざまな分野で活用が進んでいる [2][3]。特に地震を再現する試みは多く、3次元振動台や椅子からの振動などを用いて地面の揺れを物理的に提示しつつ、視覚的にも地震の映像を再現することで、被験者により強い臨場感を与える試みからわかるように [4][5]、視覚的な揺れの提示や没入型環境により、被験者に災害の状況をリアルに体験させる取り組みが積み重ねられている。

しかし、地震の危険性の中には、視覚では十分に再現しきれない要素も多い。その一つが落下物による危害であり、実際に地震における負傷の原因として本やテレビなどの落下物が身体に接触して怪我をするケースがいくつも存在し、場合によっては重傷になったというケースも見受けられた [6]。このように落下物は身体への危険性が高いと言え、落下物に対しても十分に備える必要があると言える。

しかし従来の避難訓練ではこの落下物被害の恐ろしさを実感することは難しく、VR による地震体験下での落下物の視覚再現だけでは、この危険性の身体的切迫感を体験者に十分伝えられない可能性がある。

そこで、落下物を模した身体刺激を VR 地震体験中に提示することで、危険性に対する実感や没入感を高められるのではないかと考えられる。現実の危険刺激に近いフィードバックを与えることで、単なる視覚刺激のみの体験よりも、より現実的な地震として認識される可能性がある。

本研究では、地震体験中に肩部へ落下物を模した振動刺激を与えることで、VR 体験における没入感の向上を目指した。この取り組みを通じて、落下物刺激が没入感に与える影響を検証し、より効果的な防災教育や危険認知訓練への応用可能性を示すことを目的とする。すなわち、落下物を模した肩部刺激を用いることで、地震 VR 体験の没入感を高められる可能性がある。

2. 関連研究

仮想現実を用いた地震体験の応用は教育・訓練分野で広がっており、地震学習用の没入型 VR 教材や屋内環境の自動モデル化を備えた VR 地震体験システムの開発・評価が報告されている。これらの研究は、視覚・音響に加えて触覚や震動提示を組み合わせることで、学習効果や行動変容を高める可能性を示している [7][8]。

落下物の衝撃を触覚的に再現する研究は様々なアプローチで進められており、データ駆動型のエンコーダ-デコーダネットワークを用いて頭部へのインパクトフィードバックを再現する試みや [9]、空気圧および音響を組み合わせたスーツ型デバイスによる短時間の強い衝撃感の提示な

¹ 近畿大学大学院総合理工学研究科エレクトロニクス系工学専攻

² 近畿大学建築学部建築学科

³ 近畿大学情報学部

⁴ 近畿大学情報学研究所



図 1 実験映像

ど [10], 多モーダルな実装例が報告されている。これにより, 視覚だけでは伝わりにくい「落下物が当たる感覚」を安全に提示する技術的基盤が整いつつある。

さらに, 振動台などの震動提示ハードウェアと仮想現実ソフトウェアを統合することで, より現実味のある地震体験シミュレーションを実現する研究も報告されており [4], 視覚的な揺れの可視化と実機の震動体感を組み合わせることで安全性と現実味の両立を図る取り組みが進んでいる。

以上より, VR を用いた地震教育・訓練、落下物衝撃の触覚再現, そして振動台と VR の統合という三領域は相互に関連しつつ, 地震体験シミュレーションの現実味・学習効果・安全性向上に寄与する主要な研究トピックとなっている。

3. 実験

本研究では, 「振動台を用いた VR による地震体験下において, 被験者の肩に落下物を模した振動を与えた時, 被験者の感じた揺れの強さや, 地震に対する恐怖感が増す。」という仮説を立てた。その仮説を元に以下のような実験システムを構築し, 実験を行った。

3.1 実験設計

視覚刺激を与えるための動画として実験で用いた映像は, 建築学部の方で作成したものを使用した。映像の設定としてはキッチンからリビングを見る視点の状態地震に遭うという形となっている。その映像の一部は図 1 に示されている。

この際, 落下物については背後の棚から箱が落ち, 肩に接触するという形をとった。そして, その落下物が落ちたタイミングで, 振動による刺激を被験者に与えられるように調整した。



図 2 実験の様子

3.2 システム

動画の再生手段としては VR 用のヘッドマウントディスプレイ (HMD) である Meta Quest Pro を使用した。この際, 動画を制御しつつ Quest Pro 上で再生するため, PC に接続し, 動画の制御を Unity を用いて行った。

肩に振動を与えるデバイスは, bhHaptics TactSleeve という腕に振動を与えるデバイスを用いた。TactSleeve は腕に装着するための VR 用振動デバイスで, HMD や PC などに Bluetooth によって接続して使う。今回の実験では肩に落下物を接触させるため, 被験者の肩に装着した。制御については Quest Pro 同様に PC で制御した。

被験者は Meta Quest Pro と TactSleeve を装着した状態で振動台に乗り, 動画を見ながら地震を体験してもらった。実験の様子は図 2 に示されている。

3.3 手順

実験の手順は以下の通りである。

- (1) HMD を装着していない状態で地震の揺れを体験
- (2) HMD を装着し, 「肩の振動なし」条件または「肩の振動あり」条件で地震体験
- (3) アンケートに回答
- (4) 2 で体験していない条件で地震体験
- (5) アンケートに回答

まず, HMD を装着しない状態で 3 次元振動台に乗ってもらって振動を体験してもらった。その後, 被験者には 3 次元振動台に乗ったままの状態 HMD と TactSleeve を装着して映像を見てもらった。ただし, 本研究の目的を被験者に悟られることを防ぐために, 地震の映像が流れることと肩に振動が加えられることを被験者には説明した。映像を視聴後被験者には感じた揺れを評価する質問を 3 つ含んでいるアンケートに答えてもらった。質問文は以下の 4 つである。

- (1) 今回の実験で感じた揺れはどの程度の震度を感じましたか?。(Q1)

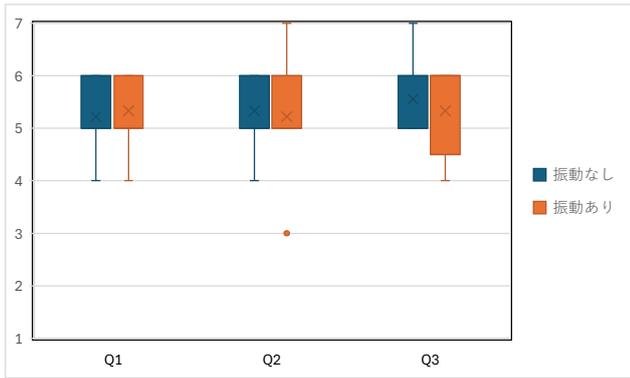


図 3 実験結果

- (2) 今回の地震体験において部屋の中に自分自身がいると感じましたか？(Q2)
- (3) 今回の実験で揺れに対して身の危険を感じました。(Q3)
- (4) 今回の地震体験において身の危険を感じた要素を挙げてください。(Q4)

Q1 のどの程度の震度を感じたかを問う質問では震度 1 から震度 7 までの 7 段階で質問に答えてもらい、Q2 と Q3 の質問は 7 段階のリッカート尺度を用いた。Q4 は記述式であり、地震体験において危険と感じた要素を挙げてもらった。アンケートに回答してもらったあとは再び HMD を装着してもらい、体験していない条件の映像を視聴してもらった。そしてアンケートに回答してもらった。被験者の各条件の順番はカウンターバランスを取るものである。

4. 結果

実験には学生 9 名が参加した。被験者 9 名に対して行ったアンケート Q1, Q2, Q3 のそれぞれの質問のスコアを図 3 に示す。

縦軸は質問の回答のスコア、または答えた震度を表しており、数値が大きくなるほど被験者が揺れを激しい、揺れに対して身の危険を感じたことを示している。

どの程度の震度を感じたかを尋ねている質問(Q1)は「振動なし」条件の平均が 5.2、「振動あり」条件の平均が 5.3 で、部屋の中に自分自身がいると感じたかを尋ねている質問(Q2)の「振動なし」条件の平均は 5.3、「振動あり」条件の平均は 5.2 であり、身の危険を感じたを尋ねている質問(Q3)の平均は「振動なし」条件の平均が 5.6、「振動あり」条件の平均が 5.3 であった。また、これらのスコアに対して t 検定を行った結果、いずれの質問においても有意差は見られなかった。(Q1:[$t(8) = 1.000, p = 0.347$]), (Q2:[$t(8) = -0.555, p = 0.594$]), (Q3:[$t(8) = -0.800, p = 0.447$]).

身の危険を感じた要素を挙げてもらった記述式の質問(Q4)では以下のような結果となった。

- 振動あり条件の時、肩の振動に身の危険を感じたのは 4 名だった

- そのうち 2 名は落下物との連動を答えていた
- 振動なし条件で落下物に身の危険を感じた被験者が 1 名いた。
- 振動あり条件で振動にリアリティを感じなかった被験者が 1 名いた。
- その他の回答は揺れや落下物以外の部屋の状況を回答していた。

5. 考察

本実験は「振動台を用いた VR による地震体験下において、被験者の肩に落下物を模した振動を与えた時、被験者の感じた揺れの強さや、地震に対する恐怖感が増す。」という仮説を立てて実験を行ったが、どの程度の震度を感じたかを尋ねている質問(Q1)、部屋の中に自分自身がいると感じたかを尋ねている質問(Q2)、身の危険を感じたを尋ねている質問(Q3)いずれにおいても、有意差は出ず、Q2 と Q3 は振動なし条件の方が僅かであるがスコアが高くなっていた。そして、いずれのアンケートにおいて天井効果が出ている可能性が高いと考えられる。

このような結果となった要因として考えられるのは、落下物の映像のシナリオ設定にあると考えられる。今回被験者に見てもらった映像の設定はキッチンからリビングを見ている視点で地震に遭い、その中で背後から箱が落ち、肩に接触するというシナリオだった。このようなシチュエーションでは、そもそも被験者が落下物を認識できないという状況が発生してしまったと考えられる。実際身の危険を感じた要素を挙げてもらった記述式の質問(Q4)では、肩と落下物が連動したものに危険を感じた被験者は 2 名しかおらず、肩の振動のみに危険を感じた被験者もいた。

このような結果にならないためにはどのようなシチュエーションにすればいいのかについては、シンプルに被験者にしっかり当たると認識させる落下物にすればいいということになる。具体的には、被験者の隣にある本棚が倒れてきて肩に接触するという形や、外にいる状況下では看板などが落ちてきて肩などに接触するという形が考えられる。しかし、明らかに不自然なシチュエーションは没入感を損なう可能性が高いため注意が必要である。また、今回の実験で用いなかったが、被験者が VR アバターを通して地震体験することによって、落下物の挙動をよりリアルにするというのも手である。

また、被験者の数も 9 名と少なく、より多くの人数を確保することで、より精度の高い調査ができると考えている。

6. まとめ

本研究では、振動台での地震体験中に肩部へ落下物を模した振動刺激を与えることで、VR 体験における没入感の向上を目指したが、いずれのアンケートにおいても有意差は見られなかった。このような結果となった要因として、

被験者が落下物を認識できないというシチュエーションであると考えられ、被験者にしっかり当たると認識させる落下物のシチュエーションを作ることが重要であると考えている。具体的には本棚や看板などの落下物が被験者に認識されつつ、身体に接触するというシチュエーション作りができると良いと考えられる。とはいえ、被験者に認識してもらいながらの落下物の接触にこだわるあまりに、明らかに不自然なシチュエーションになってしまい、没入感を損ねるということは避けていく必要がある。

参考文献

- [1] 総務省消防庁. 令和 6 年度版消防白書. 2025.
- [2] 高野拓樹. VR を活用した環境・防災教育の現状と課題, 地域連携教育研究, vol. 10, pp. 55-65, 2025.
- [3] Ryohei Kimura, Ayako Fukushima, Kohei Kajiwara, Hideaki Sakuramoto, Shun Yoshihara, Kimie Harada, Teruyuki Nakayama and Akiko Ito. Scoping Review of Virtual Reality (VR)-Based Disaster Mitigation Education, *Cureus*, 16(11):e74062, 2024.
- [4] 倉田和己, 福和伸夫. 仮想現実ソフトウェアと震動体感環境の融合による効果的な防災・減災啓発ツールの開発, 災害情報, vol. 14, pp. 83-92, 2016.
- [5] Ruggiero Lovreglio, Vicente Gonzalez, Zhenan Feng, Robert Amor, Michael Spearpoint, Jared Thomas, Margaret Trotter and Rafael Sacks. Prototyping virtual reality serious games for building earthquake preparedness: The Auckland City Hospital case study, *Advanced Engineering Informatics*, vol. 38, 2018.
- [6] 福島県. 令和 4 年 3 月 16 日 震度 6 強による被害状況即報 (第 49 報・最終報), 2022.
- [7] Vaia Maragkou, Maria Rangoussi, Ioannis Kalogeras and Nikolaos S. Melis. Educational Seismology through an Immersive Virtual Reality Game: Design, Development and Pilot Evaluation of User Experience, *Education Sciences*, 13(11), 1088, 2023.
- [8] 石井裕剛, 半田大樹, 下田宏. 屋内環境の自動モデル化機能を備えた VR 地震体験システムの開発と評価, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 21 巻, 2 号 pp. 345-357, 2016.
- [9] Joolekha Bibi Joolee, Mohammad Shadman Hashem, Waseem Hassan and Seokhee Jeon. Deep encoder-decoder network based data-driven method for impact feedback rendering on head during earthquake, *Virtual Reality*, Volume 28, article number 23, 2024.
- [10] Daeseok Kang, Chang-Gyu Lee and Ohung Kwon. Pneumatic and acoustic suit: multimodal haptic suit for enhanced virtual reality simulation, *Virtual Reality*, Volume 27, pages 1647-1669, 2023.