

地震時を想定した家具転倒VR映像が 生理・心理面に与える影響

生田 英輔¹⁾

1) 大阪公立大学 都市科学・防災研究センター e-mail: ikuta@omu.ac.jp

近年、防災教育において仮想現実（VR）映像の活用が広がっている。VR映像は2D映像に比べ没入感が高く実際の災害により近い状況を体験できる特性がある。したがって、災害映像の視聴が人に与える影響も2D映像よりも高いと考えられ、VR映像を効果的かつ安全に防災教育で活用する為には、VR映像の人への影響の程度を評価する必要がある。本研究では家具転倒のVR映像を用い、VR映像の視聴が人に与える影響を生理・心理面から評価した。

Key words : 地震, 家具転倒, VR映像, 生理心理評価

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震、2016年熊本地震など、我が国では内陸型地震による住宅被害を原因とする人的被害が発生しており、今後の南海トラフ地震においても津波被害に加えて住宅の震動被害が想定されている。住宅の躯体には被害がない状況でも、家具の転倒や散乱によって負傷者は発生する。例えば、2016年に発生した熊本地震では、戸建て住宅等における負傷者24人のうち、おおよそ3割は家具類の転倒によるもの¹⁾であった。

建築基準法等の改正により、建物の耐震化が進むわが国では、今後は地震時の建物内部の家具等による被害の抑止が地震防災の大きな課題である。しかしながら、住宅の自室における家具固定等の対策には法的規制は難しく、居住者の自発的行動に委ねられているが、東日本大震災後に上昇した家具の固定率は熊本地震前後では約4割のままほとんど変化していない²⁾。したがって、家具固定等の対策を進捗させる為には、居住者が自室の家具転倒のリスクを認知するためのコンテンツが必要とされている。既に家具転倒を再現できる簡易な室内模型、ワークショップ形式で平面図を使って家具転倒のリスクを学ぶコンテンツが開発されている。しかしながら、これらのコンテンツは自室での家具転倒を意識するにはやや現実性に乏しい面がある。一方、近年VR技術を用いた現実性の高い学習コンテンツ³⁾⁴⁾が普及しつつあり、学習者本人が仮想現実で災害を疑似体験することで、書籍などを用いた従来の受け身型の学習方法よりも深い学習効果を得ることができるとされている。

地震時の家具転倒に関する既往研究では、震動台実験における家具の挙動検証や解析に関する研究⁵⁾が多く、家具転倒による避難経路の閉塞に関する研究⁶⁾もある。また、VR技術を用いた研究では地震、火災を再現しアンケート調査による効果検証を行っている研究⁷⁾や建設現場の安全教育に関するコンテンツを対象に心拍数で評価している研究⁸⁾がある。これらの研究は居住者目線での家具転倒に対するリスクを認知させるコンテンツではなく、VR映像と2D映像との比較に至っていない。さらに被験者の評価方法もアンケート調査や心拍数計測のみであり、生理・心理評価が十分とはいえない。

このような背景から、本研究では地震時の住居内の様子を想定したVR映像を複数用意し、映像視聴時の被験者の心拍数や皮膚電気活動、呼吸といった生理指標の測定及びアンケート調査から心理的な変化を把握することで、地震時を想定した家具転倒VR映像が生理・心理面に与える影響を評価することを目的とする。

本研究は大阪市立大学大学院生活科学研究科研究倫理委員会の承認済み(21-50)であり、被験者には書面にて

実験目的やリスクを説明した上で、研究に同意が得られた場合のみ、実験に参加してもらった。

2. 研究方法

(1) 実験用映像の作成

本研究ではゲームエンジンを活用した仮想空間家具転倒 VR 映像と実際に家具転倒実験を行い作成した家具転倒実験 VR 映像を作成した。VR 映像を作成するにあたり、設置家具やその配置は、2008 年 1 月に防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センターが実施した「超高層建物のオフィス空間」の実大震動台実験⁹⁾による映像を参考にした。本映像を参考にした理由は、典型的な住宅室内を再現しているからである。本映像の実験では畳敷きの室に布団を敷き、ダミー人形を設置し、その上に和ダンスとタンスが転倒してくる様子を床面に近い就寝者の目線で収録されている点も、被験者に家具転倒リスクを認知させる効果が高いと判断した。なお本研究では、実際の地震動による家具転倒挙動を厳密に再現することは目的ではなく、防災教育における教材としての簡易な実験用映像の作成を目指した。

地震に関する VR 映像を用いた防災教育等では映像の振動と連動した装置に視聴者が乗り、より地震時の状況に近い状態で体験する仕組みもある。また、室内をウォークスルー形式で進み、家具転倒だけでなく窓ガラスの損傷や壁のひび割れを体験する仕組みもある。一方、本研究では就寝時に自身に家具が転倒してくる様子に特化した内容とし、振動自体の要素は含まれていない。現実に近い状況ではないものの、広く防災教育等の現場で意識啓発につなげるためには本研究のような対象を限定したコンテンツも有益であると考え、ゲームエンジンでの VR 映像の作成を試みた。また、本研究は VR 映像の影響を評価することが目的であるので、対照とする映像が必須である。そこで、実際の家具転倒実験も映像も作成したが、これも家具が自身に向かって転倒してくる様子を再現できれば目的を満たすと考え、振動台等は用いずに単純に家具を揺らして転倒させる方法とした。震度 7 クラスの実災害時、特に就寝時には地震動を地震であると認知できる人は限定されると考え、地震時の家具転倒の挙動の再現より、家具転倒のリスクを認知させる効果を狙った映像といえる。

仮想空間家具転倒 VR 映像の作成においては、360 度自由に閲覧可能な VR 空間をゲームエンジンにて作成した。本研究で使用したゲームエンジンは Unity (ユニティ・テクノロジーズ製) である。Unity で設定したオブジェクトは床、タンス、布団、本棚の 4 種である。Unity 内の物理演算コンポーネントである RigidBody を用いて、タンスは 60kg、布団は 1.5kg、本棚は 40kg に設定した。また、床の物理特性マテリアルとして Dynamic Friction (動摩擦係数) は 0.5、Static Friction (静止摩擦係数) は 0.3 に設定した。床面には 1 方向に正弦波の速度を与えることで振動を再現し、家具が転倒するようにした。これらの係数等は実際の数値とは異なると考えられるものの、解析結果と実験映像を確認しながら、想定する挙動となるよう調整した。解析結果を図 1 に示す。実際の地震とは異なる正弦波ではあるものの、転倒の過程は実験映像と大きくは変わらず、本予備的解析の手法での VR 映像の作成は妥当であると判断した。

家具転倒実験 VR 映像の作成においては、360 度カメラ「Qoo Cam 8K」(Kandao 製) を用い、1,365 mm×885 mm×460 mm の大きさの市販のタンスを使用した。タンスが転倒する様子を全体視点で撮影する動画、ダミー人形を置いて転倒の様子を撮影した動画の 2 つの条件の動画を作成した。家具転倒実験映像撮影の全体の様子を図 2 に示す。

(2) 映像視聴実験

映像視聴実験の概要を表 1 に示す。実験被験者は健康な女子大学生 18 名であり、気温・湿度・照度を制御した人工気候室で実験を実施した。計測した生理指標は心拍、皮膚電気活動、呼吸数である。心理指標は不安度を定量的に検証するための指標として状態・特性不安尺度 (STAI) の記入と独自の事前・事後調査票で調査した。調査票では、映像の恐怖感や啓発効果を尋ねた。視聴映像は生理心理状態を安定させる為の 120 秒間の自然風景のダミー映像 (映像 1)、60 秒間のゲームエンジンにより作成した仮想空間家具転倒映像 (2D : 映像 2a, VR : 映像 2b)、60



図 1 ゲームエンジンによる家具転倒の解析結果

図 2 家具転倒実験の映像撮影

秒間の家具転倒実験映像（2D：映像 3a，VR：映像 3b）である。仮想空間実験映像はゲームエンジンでの解析結果の映像を再生する設定で 60 秒間，同様に家具転倒実験映像を再生する設定で 60 秒間の視聴とした。いずれの映像も実大震動台実験⁹⁾と同じく床面に近い位置から被験者自身に家具が転倒してくるような視点とした。また，60 秒間の防災科学技術研究所による 2D の実大震動台実験映像（映像 4）も視聴させたが，本稿では分析対象としていない。VR 映像に関しては，ヘッドマウントディスプレイの Meta Quest2（Meta Platforms, Inc.製）を用い 360 度の VR 映像としての視聴させた。対照映像である 2D 映像及び実大震動台実験の映像は 42 インチプラズマディスプレイ（XGA）にて約 500 mm の距離で 2D 映像として視聴させた。2D 映像及び VR 映像視聴時のディスプレイと被験者の配置を図 3 に示す。通常のテレビ視聴より近距離である理由は，ヘッドマウントディスプレイでの視聴と同じ状況となるよう，視野を調整するためである。

結果の解析には統計解析ソフト IBM SPSS Statistics26 を使用した。統計検定は対応のある t 検定であり，有意水準は 5% または 1% 水準とした。検定結果の表記は，1% 水準は「**」，5% 水準は「*」，5% を超える場合は「n.s.」として図中に示す。

2 パターンの実験プロトコルを図 4，図 5 に示す。順序効果を考慮し，被験者に視聴させる映像の順番は被験者ごとにパターン 1 または 2 に変更した。パターン 1 では仮想空間映像の 2D 映像（映像 2a），仮想空間映像の VR 映像（映像 2b）を視聴した上で，実験映像の 2D（映像 3a）と実験映像の VR（映像 3b）を視聴した。パターン 2 ではパターン 1 と仮想空間映像と実験映像の順序が逆となるが，2D の後，VR を視聴する順序は変わらない。こ

表 1 映像視聴実験概要

被験者	女子大学生 18 名（平均年齢 21.72 歳）
実施日時	2022 年 11 月 21 日(月)～11 月 25 日(金)
実施場所	大阪公立大学生生活科学部棟人工気候室
実験条件	気温：23（℃），湿度：50（%），照度：1,000（lx）
生理指標	心拍，皮膚電気活動，呼吸数
心理指標	ストレス調査 STAI による測定，事前の質問紙調査，事後の質問紙調査
視聴映像	映像 1：川や森といった自然風景に関する映像（120 秒） 映像 2a：ゲームエンジン Unity を用いて作成した仮想空間家具転倒 2D 映像（60 秒） 映像 2b：ゲームエンジン Unity を用いて作成した仮想空間家具転倒 VR 映像（60 秒） 映像 3a：360 度カメラ Qoo Cam 8K を用いて作成した家具転倒実験 2D 映像（60 秒） 映像 3b：360 度カメラ Qoo Cam 8K を用いて作成した家具転倒実験 VR 映像（60 秒） 映像 4：「超高層建物のオフィス空間」の震動実験 2D 映像（60 秒）

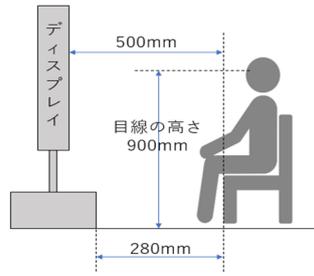


図 3 2D 映像視聴時のディスプレイと被験者の配置

これは、VR を視聴するにはヘッドマウントディスプレイを装着する必要があり、装着が生理指標に及ぼす影響が想定される為、2D 映像を VR 映像より先に視聴する設定とした。実験器具の装着後、質問紙への回答、生理心理状態の安静化のためのダミー映像視聴の後、実験映像を視聴した。視聴後には質問紙調査に加えてインタビュー調査も実施した。図の実験プロトコル内の▼のマークで示した時点で各生理指標のマーク信号を入れ、生理指標の変化を評価した。



図 4 実験プロトコル パターン1



図 5 実験プロトコル パターン2

3. 結果と考察

(1) 生理指標

家具転倒実験映像視聴時、仮想空間家具転倒映像視聴時について、2D 映像と VR 映像の被験者全体の心拍数を図 6 に示す。この図から、それぞれの映像において 2D 映像と VR 映像で有意な差が認められ ($p < 0.01$)、2D 映像視聴時より VR 映像視聴時の方が転倒実験で 1.87 bpm、仮想空間で 1.85 bpm 増加していた。心拍数は身体的・精神的負担により増加するとされていることから、VR 映像は負担がやや大きいといえる。なお、本研究では心拍変動の評価も予定していたが、映像刺激が短時間であり変動の精査が困難と判断した。

皮膚電気活動 (EDA) を通電法により計測し、皮膚コンダクタンスレベル (SCL) と皮膚コンダクタンス反応 (SCR) の 2 種類の指標を算出した。図 7 に家具転倒実験映像、仮想空間家具転倒映像の SCL の 2D 映像と VR 映像の比較、図 8 に家具転倒実験映像、仮想空間家具転倒映像の SCR の 2D 映像と VR 映像の比較を示す。被験者全体の SCL の平均値を見ると、家具転倒実験映像、仮想空間家具転倒映像どちらにおいても 2D 映像視聴時より

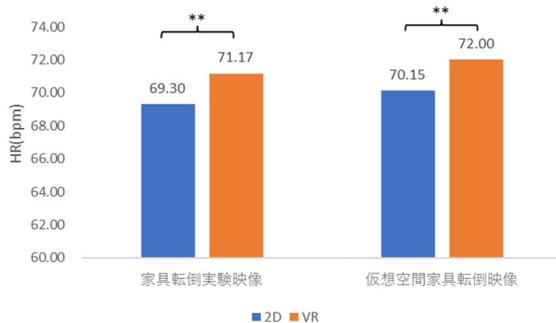


図 6 2D と VR 視聴時の心拍数 (毎分) の平均

VR 映像視聴時に転倒実験で $1.31 \mu S$, 仮想空間で $1.35 \mu S$ 増加し, 家具転倒実験映像では有意な差は認められた ($p < 0.01$). 被験者全体の SCR の平均値を見ると, 家具転倒実験映像, 仮想空間家具転倒映像どちらにおいても 2D 映像視聴時より VR 映像視聴時に転倒実験で $1.04 \mu S$, 仮想空間で $0.72 \mu S$ 増加し, 有意な差が認められた ($p < 0.05$). これらの結果から VR 映像の方が 2D 映像より刺激が大きいことがわかる.

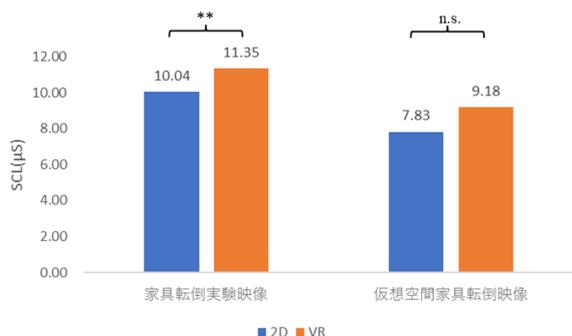


図 7 2D と VR 視聴時の SCL (μS) の平均

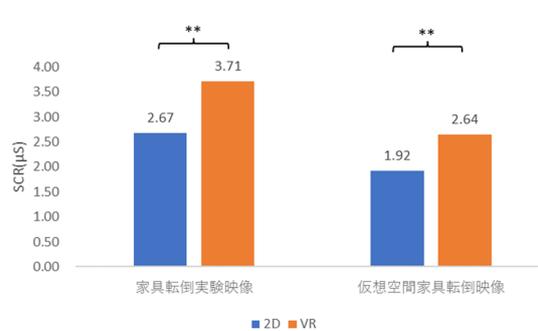


図 8 2D と VR 視聴時の SCR (μS) の平均

被験者全体の呼吸時間の平均値を図 9 に示す. この図から, 家具転倒実験映像においては 2D 映像と VR 映像で有意な差が認められた ($p < 0.05$). 仮想空間家具転倒映像においては有意な差が認められなかった ($p > 0.05$) もの, 2D 映像視聴時より VR 映像視聴時の方が転倒実験で 0.3 秒, 仮想空間で 0.2 秒呼吸時間は減少していた. 被験者全体の呼吸数の平均値を図 10 に示す. この図から, 家具転倒実験映像, 仮想空間家具転倒映像どちらにおいても 2D 映像と VR 映像で有意な差が認められ ($p < 0.05$), 2D 映像視聴時より VR 映像視聴時の方が転倒実験で 1.56 回, 仮想空間で 0.81 回呼吸数は増加していた. 呼吸数はネガティブな感情喚起時に増加する¹⁰⁾とされており, 2D 映像より VR 映像の方が災害時の恐怖感を喚起することが示唆される.

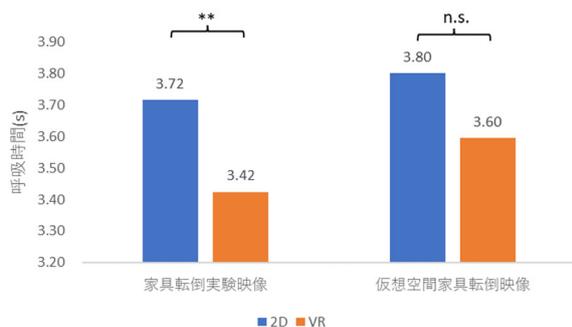


図 9 被験者全員の呼吸時間の変化平均

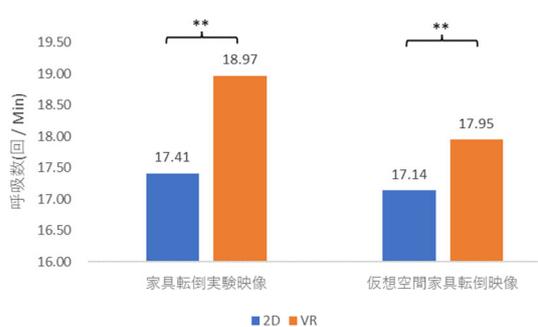


図 10 被験者全員の呼吸数の変化平均

(2) 心理指標

被験者 18 人の STAI 得点平均を図 11 に示す。安静前に比べて転倒実験で 10.43 点、仮想空間で 10.74 点上昇していた。安静前と家具転倒実験映像視聴後の STAI 得点の間には有意な差は認められた ($p < 0.05$)。また、安静時と仮想空間家具転倒映像視聴後の STAI 得点の間には有意な差が認められた ($p < 0.05$)。一方、家具転倒実験映像視聴後と仮想空間家具転倒映像視聴後の STAI 得点の間には有意な差は認められなかった ($p > 0.05$)。

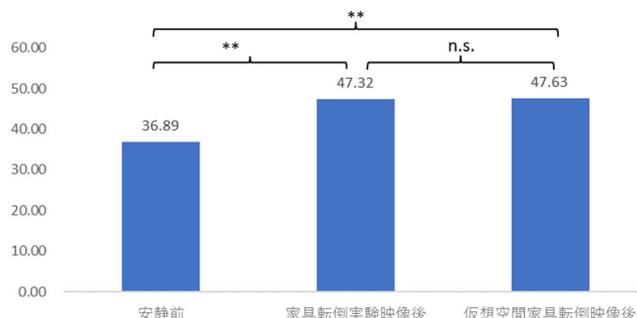


図 11 安静前と映像視聴後の STAI 得点 (N=18)

動画の恐怖感に関しては、「非常に感じた」は 2 人 (11.1 %), 「やや感じた」が 7 人 (38.9 %), 「あまり感じなかった」が 5 人 (27.8 %), 「全く感じなかった」が 4 人 (22.2 %) であった。家具転倒防止の啓発に関しては、「非常に感じた」は 4 人 (22.2 %), 「やや感じた」が 14 人 (77.8 %), 「あまり感じなかった」と「全く感じなかった」が 0 人 (0.0 %) であった。主観評価から動画の恐怖感はやや感じられたが、家具転倒実験の映像が家具転倒防止の啓発を促す効果まではあまり感じられないという評価が多かった。

4. まとめ

本研究では、ゲームエンジンを活用した VR 映像、実際の家具転倒実験から作成した VR 映像を被験者に視聴させ、それぞれの映像の生理・心理面に与える影響について映像視聴時の生理指標と心理指標という 2 つの指標から分析した。2D 映像よりも VR 映像の方が刺激は強く、恐怖感を喚起できるということ、仮想空間での家具転倒映像と、実空間での家具転倒映像とでは刺激に大きな差がないということがわかった。しかしながら、VR 映像の刺激が恐怖感を喚起するものの、心理評価の結果を踏まえると本研究で用いた映像そのものの啓発効果が高いとは言えず、映像視聴と意識啓発との関係の解明が必要である。また、生理指標の変化には重量のあるヘッドマウントディスプレイの装着や、VR 映像視聴の経験の影響があると考えられ、映像刺激の影響をよりの確に評価する実験手法の改善が必要である。

地震時の家具転倒の様子を再現し、家具の間近の視点で転倒を実際に見ることは困難であり、これを仮想的に体験できることは VR 映像を用いた防災意識啓発の有用な点である。一方で、VR 空間での実験は、振動、照度、音など、現実の空間との相違点がある。したがって、VR 映像の有用性を踏まえつつ実際の状況との差異を考慮し、過度なストレスとならないレベルでの防災意識啓発効果を高める手法の検討が必要である。

謝辞

本研究は森脇花恋さん(元大阪市立大学生)の卒業研究の成果です。大阪公立大学研究推進課の山下久仁子先生、情報学研究科の吉田大介先生には実験にご協力賜りました。深謝申し上げます。

参考文献

- 1) 東京消防庁防災部震災対策課：平成 28 年(2016 年)熊本地震に伴う室内被害の実態調査結果, URL：
https://www.tfd.metro.tokyo.lg.jp/ts/bousai_fukyu/bousai_vr.html (閲覧日:2022 年 12 月 22 日)

- 2) 内閣府：令和4年版防災白書, 2022
- 3) 株式会社理経：防災訓練用VRシリーズ～地震, 火災, 水害をVRで体験!～コンテンツ一覧 URL : <https://www.rikei.co.jp/product/611/> (閲覧日:2022年12月22日)
- 4) 東京消防庁：VR防災体験車の概要, URL : https://www.tfd.metro.tokyo.lg.jp/ts/bousai_fukyu/bousai_vr.html (閲覧日:2022年12月22日)
- 5) 井上雅之他：住まいのレジリエンス向上に向けた家具の地震時挙動の検証 その1 実大10階建て鉄筋コンクリート造建物の震動台実験における検証, 日本建築学会学術講演梗概集(構造), pp.181-182, 2022
- 6) 久保田敬大他：地震時の室内変容に伴う避難動線の閉塞率と性能評価曲線を使った不安度との比較に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集(構造), pp.223-224, 2022
- 7) 中本涼菜：VRを用いた被災体験とその対策を繰り返すことによる防災教育システムの提案, 情報処理学会関西支部大会, G-28, 2017
- 8) 大津一輝他：VR技術を活用した安全教育に関する研究 その1 心拍数を用いた効果検証手法, 日本建築学会学術講演梗概集(建築社会システム), pp.213-214, 2022
- 9) 防災科学技術研究所：大地震を受ける超高層建物内部の被害様相と防災啓発, 建築防災, 2009年8月号, pp.8-13, 2009
- 10) Frans A. Boiten et al.: Emotions and respiratory patterns: Review and critical analysis, International Journal of Psychophysiology, 17, pp.103-128, 1994