



MR デバイスを活用した地震体験学習 アプリケーションの提案

Demonstration of an MR-Based Educational Application for Experiencing Earthquakeszz

江上新¹⁾, 中村空人¹⁾, 岩間友幸¹⁾

Arata EGAMI, Sorato NAKAMURA, and Tomoyuki IWAMA

1) 東京都立科学技術高等学校 (〒136-0072 東京都江東区大島 1 丁目 2-31, S1000132@section.metro.tokyo.jp)

概要: 地震時の「凍りつき症候群」への対策として身近な環境を再現した地震疑似体験が有効であると考えた。加速度データに基づき揺れを Unity で再現した MR 地震体験学習アプリケーションの開発を行い、被災時の行動評価を通じて、プレイヤーの行動を点数化・可視化することで、学習効果を高めている。MR は VR よりも現実性や危機感の喚起に優れているという評価結果が得られ、防災教育への MR 応用の可能性を示すことができた。

キーワード: 教育・訓練, 地震, 複合現実, シミュレーション

1. はじめに

日本は世界でも有数の地震多発国であり、日常生活の中で突発的な揺れに直面する可能性は常に存在している。そのような災害発生時に、人間は本能的に「逃げる」「戦う」「凍りつく」という3つの反応を示すとされているが、中でも「凍りつき症候群 (Freeze response)」は重大な問題として指摘されている。これは地震などの強いストレス環境において、恐怖や混乱から身体が硬直し、何もできない状態に陥る現象である。

この凍りつき症候群への対策として、地震時の行動を事前に学び、シミュレーションを通じて身体的・心理的に準備をしておくことが重要である。しかし、従来の訓練では現実性が乏しく、緊張感や実効性に欠ける場合も多い。

本研究では、Mixed Reality (MR) 技術を用いることで、現実の空間情報に仮想の地震現象を重ね合わせ、より没入感のある地震体験を可能とする学習アプリケーションを開発した。特に、現実空間における教室環境を忠実に再現し、実際の地震加速度データに基づいた揺れを再現することで、従来のシミュレーションでは得られなかった臨場感と学習効果の向上を目指している。

本アプリケーションは、プレイヤーの入力によって建物や床の材質情報を反映させることで、摩擦係数・減衰係数といった物理的条件も加味しながら、地震発生時の行動を定量的に評価する仕組みを備えており、MR を活用した新たな防災教育の実践的な一例となることを目的としている。

2. アプリケーション制作

このアプリケーションでは、実際の地震を再現し、実際の規模でのシミュレーションを行うことが可能である。また、本研究では、私たちの学校の教室を元にした MR 空間を使用している。制作には Unity を用いている。

2.1 各種データの準備

実際の地震の再現のため、気象庁の「防災科学技術研究所 強震観測網」[1]で配布されている地震の加速度データを、WebPlotDigitizer [2]を用いて各軸(東西・南北・上下)の加速度を座標値として抽出し、Unity 上で利用しやすいように CSV ファイル化した。また、本アプリケーションでは地震データの他、HMD から取得したデータ、または、プレイヤーから入力されたデータから摩擦係数データや減衰係数データを算出し、仮想オブジェクトに反映を行っている。

2.1.1 プレイヤーの入力設定

プレイヤーはシミュレーションの際に、アプリケーションを使用する場所の階(地上からの距離)や建造物の材質として RC 造(鉄筋コンクリート),S 造(鉄骨造),W 造(木造)の選択、床の素材などを入力出来るようにする。入力した情報に合わせて様々なデータを用意する(表1)。

2.1.2 摩擦係数と減衰係数のデータの準備

摩擦係数および減衰係数の算出には参考文献のデータ[3],[4],[5]から、プレイヤーが入力した床の材質の摩擦係数を数値として出力(表2)し、それを MR 空間上のオブジェクトに反映させる。

2.2 システム

アプリケーションではプレイヤーが地震によって移動して飛来した物体と衝突することによって受ける衝撃等から生存率を計算し、体験者にフィードバックすることにより学習効果を高めている。生存率は飛来物から受けるエネルギーを、あたった部位からもめた当たり判定および飛来物の接触条件（接触面積、接触箇所、接触速度など）を使って設定し、HP（ヘルスポイント）として出現するような方法をとっている。

2.2.1 当たり判定の設定

当たり判定はプレイヤーごとにHMDの機能から、プレイヤーの身長を割り出し、そこから参考文献の情報 [6]より、人体の部位ごとの身長比から長さの算出を行う（表3）。また、腕の長さはコントローラーから割り出す。

例えば、身長が180cmの人がこのアプリケーションをプレイすると、胸部の長さは36cm、腹部の長さは32.4cm、足の長さは90cmと処理される

2.2.2 行動確認

地震時の対応方法の学習のため、地震時の行動、例えば「机の脚を持っていた」などの行動をHMDやコントローラーの動きから総合的に判断し、生存率を増減させる。それによって、自身の行動が客観的にどれほどの効果的だったかを判断できるようにした。また、地震時の行動に対する問題点とそれに対する改善点、優良点はシミュレーション終了時に音声で流れる。

2.2.3 結果の算出

上記より取得したデータから、HPを増減させる（図1）。

接触部位ごとにHPが設定されていてそれぞれの部位のHPの値によって生存率が算出される。

接触面積は1cm²より大きい接触は鈍的接触、1cm²以下の接触は鋭的接触として処理され、それぞれの運動エネルギーに倍率が掛かり、HPの減少値が変化する。

行動確認はHPとは別のステータスが用意されていて、生存率に反映されている。

3. 実験

3.1 実験 1

3.1.1 詳細

開発したMR地震体験シミュレーションに有用性があるのかをパイロット実験を実施して評価する。評価は危機感、リアリティ、アプリケーションの3項目の10段階評価でプレイヤーに対してアンケート調査で行う。加えてその3項目について記述による評価も行う。

アンケートに協力したプレイヤーは本校の生徒11名（学年問わず）である。

3.1.2 アンケート結果、考察

危機感の平均評価は約5.27であった（図2）。記述では「警告音や効果音は緊張感をとてもあおった」という評価が見受けられた。また、「現実から離れているせいか実感がわかなかつたためあまり危険に感じなかった」という評

表 1: 建造物の材質から得られるデータ

| 構造 | 特徴 | 減衰係数 (ζ) |
|-----|-----------------|-------------|
| RC造 | 耐震・耐火・防音性が高い | 0.02 ~ 0.05 |
| S造 | 軽量で柔軟、揺れやすい | 0.01 ~ 0.03 |
| W造 | 軽量でコストが安い、耐火性低い | 0.03 ~ 0.06 |

表 2: 床の材質と摩擦係数および減衰係数の関係データの例

| 床の材質 | 動摩擦係数 (μ _k) | 減衰係数 (ζ) |
|-------------|-------------------------|--------------|
| コンクリート (乾燥) | 0.5 ~ 0.7 | 0.05 ~ 0.07 |
| コンクリート (湿潤) | 0.4 ~ 0.55 | 0.04 ~ 0.055 |
| 木製フローリング | 0.3 ~ 0.5 | 0.03 ~ 0.05 |

表 3: 身長に対する身体部分の比

| 部位 | 身長比 (%) |
|--------------|---------|
| 胸部 (鎖骨~みぞおち) | 約 20% |
| 腹部 (みぞおち~骨盤) | 約 18% |
| 脚 | 約 50% |

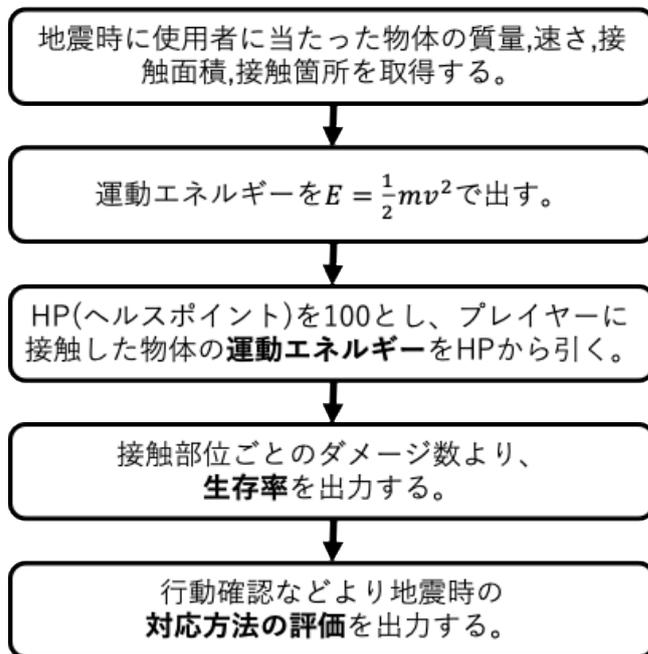


図 1: 結果の算出の流れ

価もあった。

リアリティの平均評価は約5.55あった（図3）。記述では「いつも見ている教室のためリアリティを感じた」という評価があった。一方「現実空間から仮想オブジェクトへのオブジェクトへのフィードバックがなく違和感を覚えた」などの評価があり、体験したプレイヤーの個人差が大きかった。

アプリケーションの平均評価は約6.73であった（図4）。記述では「スペースがあればどこでも体験できるのが良いと思った」、「周りの人も消して天井も見えないようにしたい」というものがあがっている。

総評として平均評価はいずれの項目でも5.00以上を上回っておりMR地震体験シミュレーションには一定の有用性があると考えられる。また、代表的な記述として「現実空間から仮想オブジェクトへのフィードバックがなく違和感を覚えた」、「周りの人や天井が揺れてなかったのでリアリティが薄れた」があった。これはアプリケーションがまだ開発段階にあるため発生した評価であるので未然

に解決できると考えられる。

3.2 実験 2

3.2.1 詳細

既存の VR でのシミュレーションと比較し、アンケート調査を行う。アプリケーションは実験 1 で出た評価を元に改善を行った。VR でのシミュレーションでは YouTube にて配信されている VR 地震映像[8]を視聴し、比較を行う。評価は危機感、リアリティ、アプリケーション、優秀性の 4 項目を 6 段階評価でプレイヤーに対してアンケート調査で行う。危機感、リアリティの評価では VR、MR それぞれで調査を行う。優秀性の評価では数値が高いほど MR 地震体験学習アプリケーションの方が優れているという評価になる。加えてその 4 項目について記述による評価も行う。

アンケートに協力したプレイヤーは本校の生徒 9 名(学年問わず)である。

3.2.2 アンケート結果, 考察

危機感について VR は 4.0, MR は 4.2 であり(図 5), MR は評価にばらつきが多く, 個人差が見受けられる。評価としては「MR は現実みたいだったけどどうして良いか分からず何も動けなかった」とあり, アプリケーションの説明不足が理由だと考えられる。

リアリティの平均評価は VR は 3.4, MR は 4.3 となった(図 6)。評価としては「机が吹っ飛んだりしてそっちに意識を取られてしまった」などが見受けられた。

地震学習アプリケーションとしての評価は平均評価 4.6, 全ての評価が 4/6 以上の高評価に位置されていること(図 7)から全員が一定の学習効果を感じたと判断した。評価としては「実際に起きた時の行動を今やることできる」と MR の利点が反映されていると見受けられる。また, 「見てるときはあまり危機感が持てなかった」といったものもあった。

優秀性の評価は平均評価 4.4, ほとんどの評価が 4/6 以上の高評価に位置している(図 8)。このことから, MR は VR よりも優秀であると判断する。評価として「MR の事

前知識がなく, 手の動かし方がわからなくなった」などが見受けられた, その理由としてアプリケーションの説明不足があるからだと考えられる。

また, 実験 1 で評価として見受けられたあまりリアルではないという意見が今回でも出てしまっているため, 更なる改善が必要であると考えられる。

4. 実験 2 を経て

実験 2 を経て, 家具のみが揺れるという基本構造のため, リアリティが薄れるという問題を解決するために安価で簡単な外部から揺れを与えられる装置を制作しようと考えた。そのために, ESP-32 を使用して地震の 3 軸の揺れを再現できる重心移動・回転装置の設計を行なった。

5. 今後の展望

実験 1, 2 から, MR デバイスを使用した地震体験学習アプリケーションは一定の有用性があり, 一部既存のシミュレーションと比べ固有の利点があるシミュレーションと言うことがわかった。今後としては, 実験 2 の意見をもとにアプリケーションの改善を行い, 一般的に利用できるようフォーマットにし, アプリケーションとして公開することを目標とする。

公開するにあたり, 本シミュレーションが地震体験学習としてどれほどの効果があるかを判断するために, 追加実験として本アプリケーションを反復することによってどれほどの学習成長が得られるのかを実験する。

実験内容はアプリケーションが完了した後に実行する。これは, まず二つのグループを作りそれぞれのスコアを出して片方のグループには反復練習をしてもらいその二つのグループの間での変数を比較することである。

また, 問題点として地震という自然災害への学習のため, 本アプリケーションの利用がどれほど現実の地震に影響を与えるかの検証が難しいと考えられる。

図 2 : 実験 1 危機感のアンケート結果

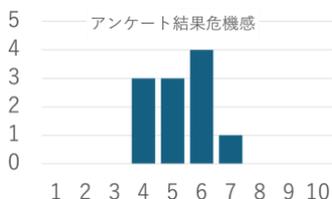


図 3 : 実験 1 リアリティのアンケート結果

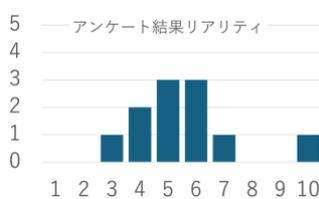


図 4 : 実験 1 アプリケーションの評価の結果

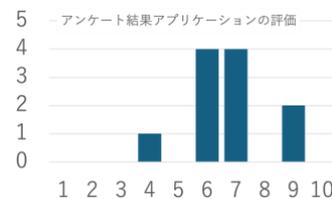
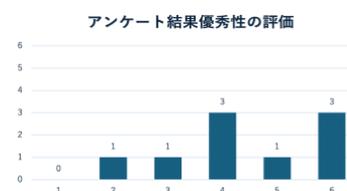
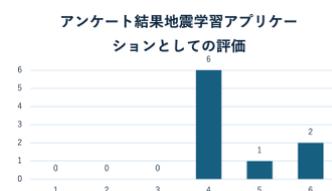
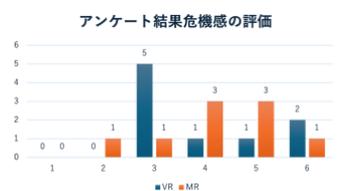


図 5 : 実験 2 危機感アンケート結果

図 6 : 実験 2 リアリティアンケート結果

図 7 : 実験 2 アプリケーション評価アンケート結果

図 8 : 実験 2 優秀性アンケート結果



6. むすび

本研究では、MR 技術を活用し、地震時の「凍りつき症候群」への対策として、現実空間に即した地震体験学習アプリケーションを開発した。加速度データに基づいた揺れの再現や、建物・床材ごとの摩擦・減衰係数の反映、当たり判定による生存率評価などを組み合わせることで、災害時の行動を可視化・点数化する仕組みを実現した。

プレイヤーによるアンケート結果から、MR による体験は一定の危機感とリアリティを喚起し、防災教育において有効であることが示された。一方で、現実空間へのフィードバックの不足や操作方法などの説明の不十分さなど、改善すべき点も明らかとなった。これに対しては、ESP-32 を用いた物理的揺れの再現装置を設計するなどの対策を進めている。

今後は反復利用による学習効果の検証や、より現実に近い全方位的な地震体験環境の構築を通じて、MR 防災教育の有効性と可能性をさらに高めていきたい。

謝辞

本研究の発表準備および論文執筆にあたり、多大なるご支援を賜りました金子先生に、心より感謝申し上げます。内容の構成や表現方法についての的確なご助言をいただき、最後まで取り組みを続けることができました。

また、研究活動にご協力くださった関係者の皆様にも、深く御礼申し上げます。

本研究の成果は、金子先生をはじめ、多くの皆様のご支援の賜物であり、ここに改めて感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 強震観測網(K-NET,KiK-net)
<https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/data/>
- [2] WebPlotDigitizer - Copyright 2010-2024 Ankit Rohatgi
<https://automeris.io/login/>
- [3] 機械工学便覧 日本機械学会
- [4] The Engineering Toolbox
<https://www.engineeringtoolbox.com/>
- [5] 建築構造設計指針 日本建築学会
- [6] AIST 人体寸法データベース 1991-92 産業技術総合研究所 <https://www.airc.aist.go.jp/dhrt/91-92/>
- [7] 労働災害発生状況 厚生労働省
<https://www.mhlw.go.jp/bunya/roudoukijun/anzeneisei11/rousa-i-hassei/>
- [8] YouTube 映像
<https://youtu.be/gsXVVLLhLE4?si=80WW6seAXO2Tnl6J>