

スマートフォンを利用したセルフ地震体験シミュレータ

山本 拓真¹ 水野 慎士¹

概要：日本に住む人々にとって大地震は現実的な問題であり，地震対策はますます重要になっている．地震対策には，地震が起きたあとに備えることと，地震の脅威を知っておくことがある．近年は地震の対策のためのスマートフォンアプリが注目されている中で，地震が起きた後の避難支援アプリなどが多く提案されている一方で，地震の脅威を知ることができるアプリはあまり提案されていない．そこで，本研究では地震の仮想的体験を通じて，地震の脅威を知ることが目的として「セルフ地震シミュレータ」を提案する．このアプリは VR ゴーグルを装着して使用するもので，椅子等に座って揺すられることで揺れを感じながら，VR ゴーグルを通じて観察される CG 空間の物体の転倒等によって視覚的にも揺れを感じる．アプリを実装して実験を行った結果，地震体験車のように地震を仮想的に体感することが可能となることを確認した．

A self earthquake simulator on a smartphone

TAKUMA YAMAMOTO¹ SHINJI MIZUNO¹

1. はじめに

ここ数年来，東日本大震災，熊本地震，鳥取地震など大きな地震が連続しており，南海トラフ巨大地震発生も危惧されるなど，地震に対する関心が非常に高くなっている．地震自体を防ぐことはできないため，地震が起きた際の被害を最小限に防ぐための日頃からの地震対策が非常に重要になってくる．

地震対策として，まず避難訓練や住宅耐震化など，地震が起きたときに備えることが重要となる．そして，それらを支援したり啓発したりする方法がいくつも提案，実践されている．例えば，一般市民を対象とした地震防災教育教材の開発に関する取り組みが行われてきた [1]．また，災害時の人命救助に必要な行動をカードゲームを通じて学ぶ「ダイレクトロード」も開発されている [2]．

近年では災害発生時のデジタル技術の活用が盛んに行われている．例えば，携帯電話各キャリアからは地震等の発生を知らせる緊急速報 (エリアメール) は携帯電話やスマートフォン向けに用意されている．また，NTT ドコモは地震防災訓練スマートフォンアプリ [3] を提供している他，津

波が起きた際の避難訓練を支援するスマートフォンアプリ「逃げトレ」 [4] なども開発されている．さらに，リアルタイムで地震の被害を推定する手法の研究 [5]，地震による建物被害の認定調査を学習するためのアプリ開発 [6]，地震発生時のネットワーク経路情報を制御をする研究 [7]，なども行われている．

地震対策としてもう一つ重要なことは，地震の脅威をあらかじめ知っておくことである．これにより，地震に対する心構えが代わり，発生時のスムーズな避難にも繋がる．地震の脅威を知る方法の一つとして，大震災に関する文書，写真，映像等の閲覧が挙げられ，東日本大震災に関する様々な記録を収集し公開する取り組みが産官学民などの機関により行われている [8]．また，地震体験室や地震体験車などによって地震を体験することができれば，地震の脅威をより直感的に知ることができる．しかし，地震体験は限られた施設でしか行うことができないため，実際に体験したことがある人はそれほど多くない．

それに加えて，地震の脅威を知るためのデジタル技術の活用は，地震発生時に備えるアプリに比べてそれほど多くない．洪水などによる浸水状況を AR で体験するアプリ「天サイ!まなぶくん」 (図 1) などは開発されているが [9]，地震の脅威を体感することができるアプリはほとんど提案

¹ 愛知工業大学大学院経営情報科学研究科
Graduate School of Business Administration and Computer
Science, Aichi Institute of Technology

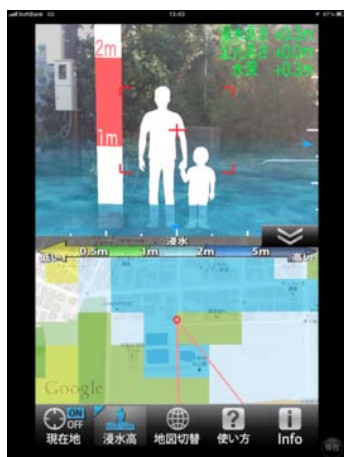


図 1 天サイ!まなぶくん 茅ヶ崎版 (茅ヶ崎市 HP より)

されていない。もしもデジタル技術を用いて地震の脅威を直感的に知ることができれば、多くの人々にとって地震の発生に備えるために有用である。

そこで、本研究ではデジタル技術を用いて地震の脅威を直感的に知ることができるスマートフォン用アプリ「セルフ地震シミュレータ」の提案と開発を行う。これは VR 技術を用いて地震を仮想体験することができるアプリである。このアプリを活用することで、誰も手軽に地震を仮想体験することが可能となり、より多くの人に対して地震の脅威を知る機会を提供することができる。

2. セルフ地震シミュレータとは

「セルフ地震シミュレータ」は iPhone 用アプリケーションである。そして、VR ゴーグルを装着して使用する。ユーザが椅子に座って VR ゴーグルを装着すると、三次元 CG で構築された部屋が立体的に映し出されて、まるで部屋の中に座っているような感覚となる。この状態で椅子を他人に揺すってもらくと、体で椅子の揺れを感じることができるため、疑似的な地震の揺れを感じている状態になる。このとき、VR ゴーグルで表示されている三次元 CG で構築された部屋でも、現在感じている揺れによって家具が転倒するなど揺れの影響がリアルタイムで生じる (図 2)。これにより地震の揺れを体感と視覚で疑似的に体験することが可能となる。

また、現在取得している揺れの状態を加速度値グラフを震度数値として提示する。

提案アプリを用いることで、従来は地震体験室でしかできなかったような地震体験をあらゆる場所で行うことが可能となる。そのため、大きな地震を経験したことがない人たちが地震の脅威を知ることができ、地震に対する意識を高めることが期待できる。



(a) 椅子に座って VR ゴーグルを装着



(b) 3DCG で構築された部屋 (立体視対応)

図 2 セルフ地震シミュレータ

3. 実現方法

3.1 実装に必要な要素

「セルフ地震シミュレータ」はスマートフォンと VR ゴーグルだけで実現するアプリである。そして、現在感じている揺れを検知した上で、その揺れの影響を三次元 CG で構築された部屋に反映させて、地震の視覚的体験を提供する。これを実現するためには、現実の揺れを検知すること、三次元 CG 空間で構築した部屋が揺れによって現実に近い感覚でリアルに反応することが必要となる。また、揺れの強弱を数値やグラフなどで可視化することも望まれる。

3.2 揺れの検出

揺れの取得には VR ゴーグルに装着したスマートフォンを用いる。そして、スマートフォンに搭載されている加速度センサとジャイロセンサの値を取得して解析することで、揺れの様子を三次元加速度として取得する。

まず、加速度センサで加速度を取得する。スマートフォンには一般的には三軸加速度センサが搭載されており、図 3 に示すように各軸方向の加速度が個別に取得される。そのため、三軸の加速度値を用いることで、スマートフォンにかかる三次元加速度を取得することができる。そして、スマートフォンを動かしたり、スマートフォンの向きを変えることで、各軸の加速度が大きく変化するため、その値を用いることでスマートフォンの揺れを三次元加速度として取得することができる。ただし、その値には重力加速度が含まれるため、後の処理で三次元 CG 空間に揺れを適用

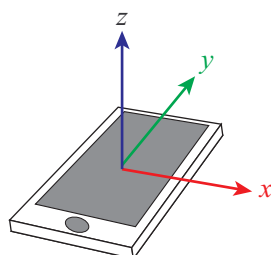


図 3 スマートフォンで取得する加速度の三軸方向

するには、重力加速度成分を除去する必要がある。

そこで、重力加速度成分の除去のためにジャイロセンサを用いる。ジャイロセンサでは、スマートフォンの初期状態からの三次元回転の様子を四元数で取得することができる。そこで、はじめにスマートフォンを図3のように静止させた状態での三軸加速度センサの値を取得する。このとき得られる三次元加速度は重力加速度とみなすことができる。それ以降は、ジャイロセンサの値を用いてスマートフォンの初期状態からの三次元回転を計算した上で、加速度センサで取得した三次元加速度をスマートフォンの三次元回転に基づいて座標変換することで、スマートフォンの傾きに関わらず、図3の状態で設置した場合の三次元加速度が得られる。そして、初期状態で取得した重力加速度を現在の三次元加速度から減算することで、揺れによる加速度だけを抽出することができる。

3.3 三次元 CG による部屋の構築

三次元 CG の部屋は Unity で構築している。Unity は様々なプラットフォームに対応したゲームエンジンの一つで、三次元 CG 物体の物理運動シミュレーションを扱うことができる。三次元 CG の部屋の構築のため、まず三次元 CG 空間に地面に相当する CG 平面を設置している。そして、床面の上に建物に相当する CG 物体を設置してから、その内部に家具などの CG 物体を配置している。部屋の内部に配置する CG 物体としては、机、椅子、ソファ、食器、観葉植物などがある。

建物の CG 物体、および部屋の内部に配置する CG 物体は、それぞれお互いの衝突を検出させる。また各 CG 物体には質量、静止摩擦係数、動摩擦係数といった物理特性を与える。そして、三次元 CG 空間で重力加速度を考慮することで、配置された各物体は重力加速度と与えられた物理特性に基づいて、お互いに衝突等を行いながら、様々な物理運動を行う。

3.4 三次元 CG の部屋への揺れの反映

3.2 節で取得した揺れによる三次元加速度を 3.3 で構築した三次元 CG 空間に適用する。そのために、揺れによる三次元加速度に基づいて、三次元 CG 空間に設置した CG 平面を移動させる。これにより、CG 平面がスマートフォ

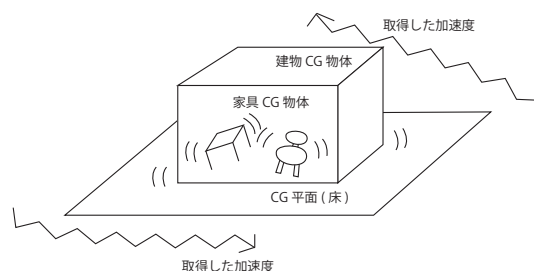


図 4 三次元 CG 空間への揺れの適用方法



(a) セルフ地震発生前



(b) セルフ地震発生後

図 5 物理演算による移動や転倒

ンの揺れと同じように揺れ始める。それに伴って、CG 平面上に設置された建物 CG 物体も物理特性に応じて揺れ始めて、さらに建物 CG 物体の中に配置されている家具 CG 物体も物理特性に応じて運動を始める (図 4)。すなわち、椅子や机が動いてお互い衝突したり倒れたりして、机の上に乗っている食器も飛んだり床に落ちたりするなど、実際に地震が起きたときのような状況が再現される。図5に三次元 CG 空間に揺れを適用した結果の様子を示す。

3.5 揺れの数値情報の可視化

揺れの状態について数値情報の可視化も行う。可視化対象の数値情報は、スマートフォンの回転補正後の三軸加速度、および震度値である。

三軸加速度の可視化は折れ線グラフで行う。アプリでは逐次取得した加速度値の過去 5 秒間の値の推移を折れ線グラフで表示している。図 6 に三軸加速度を折れ線グラフで表示している様子を示す。

震度については、震度階級 (表 1) を考慮しながら、三軸

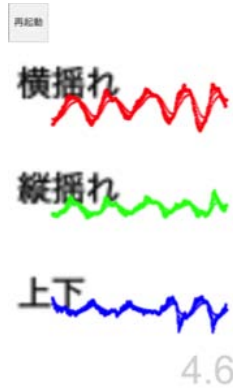
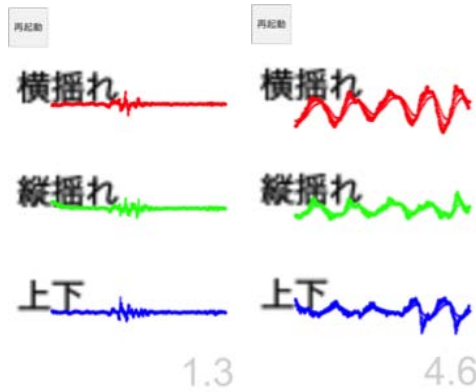


図 6 三軸加速度のグラフ表示の様子



(a) 小さい揺れ (b) 大きい揺れ

図 7 三軸加速度の変化と求められた震度

加速度値に基づく擬似的な値を用いている。実際の計測震度の計算には加速度の大きさに加えて、揺れの周期や継続時間が考慮されるが [10]，提案アプリではリアルタイム性を重視して取得した加速度から瞬間的に震度を求めることとした。そのため、加速度値の大きさからどの程度の震度に相当するかを実験的に求めている。

擬似的な震度は、グラフ化のために使用している 5 秒間の三軸加速度の値を利用して求める。まず、5 秒間の加速度の変化の中で極大値と極小値を検出する。これを揺れによる 1 つの波と仮定して、5 秒間に含まれる波の振幅をすべて求める。そして、各波の振幅を実験的に決めた 22 段階の階級に分けて、各階級に含まれる波の個数を求める。各階級には実験的に求めた階級値を定めている。そして各階級の階級値と度数に基づいて階級値の平均値を求めて、この値を擬似的な震度として用いる。

図 7 に取得した三軸加速度の変化と得られた震度値の様子を示す。

4. アプリ実装のための改良

4.1 物理特性値の調節

提案アプリでは、スマートフォンで取得した加速度値を三次元 CG 空間に適用することで、地震の揺れによる部屋

表 1 震度と揺れの状況 [11]

震度	特徴
4	ほとんどの人が驚く電灯などのつり下げ物は大きく揺れる。据わりの悪い置物が倒れることがある。
5 弱	大半の人が恐怖を覚え、物につかまりたいと感じる。棚にある食器類や本が落ちることがある。固定していない家具が移動することがあり不安定なものは倒れることがある。
5 強	物につかまらなと歩くことが難しい。棚にある食器類や本で落ちるものが多くなる。固定していない家具が倒れることがある。補強されていないブロック塀が崩れることがある。
6 弱	立っていることが困難になる。固定していない家具の大半が移動し、倒れるものもある。ドアが開かなくなることがある。壁のタイルや窓ガラスが破損、落下することがある。耐震性の低い木造建築は、瓦礫が落下したり、建物が傾いたりすることがある。倒れるものもある。
6 強	はわなと動くことができない。飛ばされることもある。固定していない家具のほとんどが移動し、倒れるものが多くなる。耐震性の低い木造建築は、傾くものや、倒れるものが多くなる。大きな地割れが生じたり、大規模な地すべりや山体の崩壊が発生することがある。
7	耐震性の低い木造建築は、傾くものや、倒れるものがさらに多くなる。耐震性の高い木造建築でも、稀に傾くことがある。耐震性の低い鉄筋コンクリート造の建物では、倒れるものが多くなる。

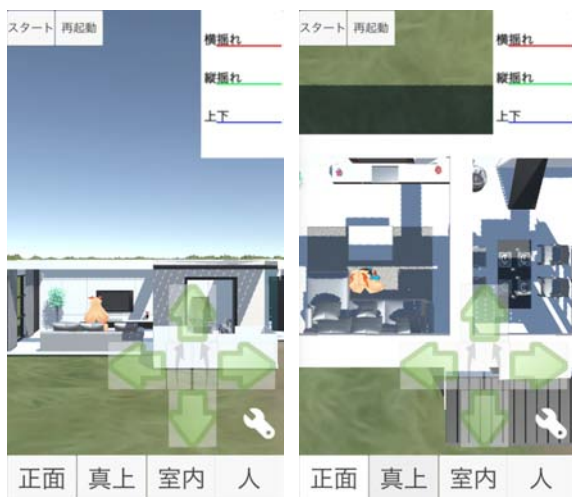
の状況をリアルタイムシミュレーションしている。このとき、三次元 CG 空間に配置する CG 物体はできるだけ現実世界に近い物理特性を与えた上で、Unity を用いて物理シミュレーションを行っている。しかし、三次元加速度値の誤差や計算誤差などが要因となって、シミュレーション結果が現実世界の挙動からかけ離れる場合がある。

そこで、三次元 CG 空間に配置する CG 物体の物理特性や CG 空間の重力加速度の値を実験に基づいて補正している。具体的には、スマートフォンのアプリの CG 空間を地震体験室と同様に家具を配置した状態にする。そして、そのスマートフォンを地震体験室に設置して揺らすことで、地震体験室の家具の状態とアプリの CG 空間内の部屋の家具の状態との比較を行う。その結果に基づいて、CG 空間内の部屋の状況が地震体験室の状況に近くなるように物理特性を補正している。

4.2 視点モード変更とシーン追加

提案アプリは VR ゴーグルに装着して使用するだけでなく、手で持って使用する場合も想定している。そのため、VR 用視点モードに加えて、第三者視点モードも用意している。図 8 に第三者視点モードで三次元 CG の部屋を観察している様子を示す。

また、提案アプリでは 5 つの異なるシーンを用意した。具体的には、3 種類リビングルーム、山小屋、名古屋市港



(a) 第三者視点 1

(b) 第三者視点 2

図 8 第三者視点モード

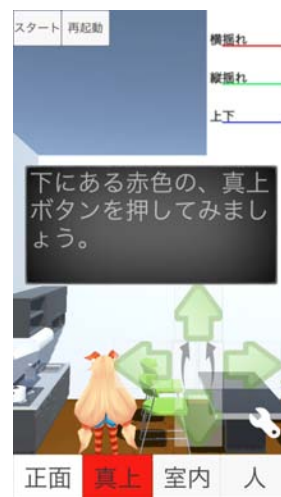
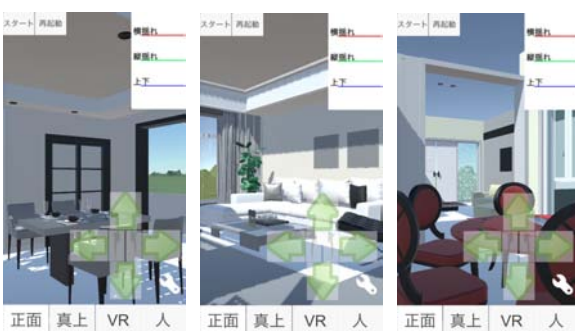


図 10 チュートリアル画面



(a) リビング 1

(b) リビング 2

(c) リビング 3



(d) 山小屋

(e) 名古屋市港防災センター風

図 9 アプリで用意したシーンの種類

防災センター地震体験室、を再現したものである。図 9 に各シーンを示す。

4.3 チュートリアルモード

初めての人でも使いやすいようにチュートリアルモードを作成した。このアプリではいくつかのボタンを使用するが、アプリの使用手順を順序立てて説明していくことで、初めて使う人でも「セルフ地震シミュレータ」の機能をすべて理解することができるように心掛けている (図 10)。

5. 実験

5.1 物理特性と震度判定のための実験

名古屋市港防災センターの協力を得て、地震体験室でテストを行った。アプリでは地震体験室を模した CG 部屋を構築してある。そして、地震体験室内にアプリをインストールしたスマートフォンを固定して設置することで、体験室の揺れによって CG 空間の部屋で仮想的な地震が発生して、CG 物体の家具などが揺れによって動いたり転倒したりする。

地震体験室では関東大地震と東南海地震を再現した。初めに関東大地震を再現した揺れで、物理特性および震度を求める階級を補正した。それにより、地震の揺れによる CG 空間の部屋の家具の移動や転倒の状態は地震体験室の状況とほぼ同じになることを確認した。また、アプリの震度値は実際と同じ値を示した。この実験の様子はアプリ内で確認することができる (図 11)。

一方、東南海地震を再現した揺れでは、地震体験室の椅子はあまり動かなかったのに対して、CG 空間の部屋に配置した CG 物体の椅子はかなり移動した。今回、家具の重さ等は実際に測定した値ではなく、一般的な重さを与えている。その状況の中で、関東大地震の揺れの場合にシミュレーション結果が適切になるように各物理特性値を補正している。そのため、揺れの特性の変化に適切に対応できなかった可能性がある。

5.2 ユーザによる実験

何人かのユーザに実際に使用してもらう実験を行った。ユーザに VR ゴーグルを着用してもらった状態で椅子に座ってもらい、その状態で椅子を揺らす。これにより、体で揺れを感じながら、VR ゴーグルで表示される CG 空間の部屋も同じように揺れて、配置されている CG 物体の家具が転倒したり移動したりするなど、実際の地震のような



(a) 小さい揺れの状態



(b) 大きい揺れの状態

図 11 関東大震災を再現した地震体験室の状況と同じ揺れを与えたアプリ画面の様子



(a) セルフ地震発生前



(b) セルフ地震発生後

図 12 CG 空間の仮想地震による家具 CG 物体の移動転倒の様子

被害が発生した。その結果、揺れと視覚で地震体験室のような体験を行うことができることを確認した。図 5 にユーザが座る椅子の揺れによって CG 空間で仮想的な地震が発生して、家具 CG 物体が転倒する様子を示す。

6. まとめと今後の課題

本研究では VR 技術を用いて地震を仮想的に体験できる

スマートフォン用アプリ「セルフ地震シミュレータ」の提案と開発を行った。このアプリの実現により、多くの人が地震を仮想的に体験することで地震の脅威を体感することが可能となり、地震対策の一つの方法として活用できることが期待できる。

今後の課題としては、現在はスマートフォンに内蔵されたセンサだけを用いて実装しているため、VR 画面で視点や視線を変更することを実現できていない。そのため、外部のセンサも併用することで、より没入感の高い VR 環境による地震仮想体験が実現できると思われる。また、家具の転倒による煙の発生や家屋の崩壊など、地震体験室などでは実現できない、より過酷な地震を仮想体験を実現することも検討したい。

参考文献

- [1] 高村早織, 盛川仁, 松田稔樹: 一般市民を対象とした地震防災教育教材の開発と学習効果の評価に関する基礎的検討, 地震工学研究発表会報告集, Vol. 28, p. 77, 2005.
- [2] 神戸市消防局災害対応シミュレーションゲーム「ダイレクトロード」: <http://www.city.kobe.lg.jp/safety/fire/bousai/directroad.html>
- [3] NTT ドコモ地震防災訓練アプリ: https://www.nttdocomo.co.jp/service/areamail/earthquake_warning/disaster_prevention/
- [4] 杉山高志, 李フシン, 孫英英, 矢守克也, 鈴木進吾, 西野隆博, 卜部兼慎: 避難訓練支援アプリ「逃げトレ」の開発と評価 ~大阪府堺市の津波避難訓練を事例として~, 信学技報, 116(185), HCS2016-51, pp. 115-120, 2016.
- [5] 中村洋光: リアルタイム地震被害推定システム (J-RISQ) の開発, 日本表面科学会誌, Vol. 37, No. 9 pp. 457-458, 2016.
- [6] 藤生慎, 大原美保, 中山晶一朗, 高山純一: 3次元建物モデルを用いた建物被害認定調査学習アプリの開発, 土木学会論文 A1(構造・地震工学), Vol. 71, No. 4, pp. L865-L872, 2015.
- [7] 柳田晴香, 中尾彰宏, 山本周, 山口実靖, 小口正人: 大規模災害時における SNS 情報に基づいた アプリケーション QoS 制御ライブラリの実装, DICOMO2016 論文集, pp. 1427-1433, 2016.
- [8] 今村文彦, 柴山明寛, 佐藤翔輔: 東日本大震災記録のアーカイブの現状と課題, 情報科学技術協会誌, Vol. 64, No. 9, pp. 338-342, 2014.
- [9] AR アプリ「天サイ!まなぶくん 茅ヶ崎版」: <http://www.city.chigasaki.kanagawa.jp/machidukuri/1007927/1008007.html>
- [10] 気象庁, 計測震度の算出方法: <http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/kaisetsu/calc.sindo.htm>
- [11] 気象庁, 震度について 震度の階級: <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/shindo/>