

拡張現実技術を用いた位置情報に基づく家具の 地震応答シミュレーションに関する研究

佐藤俊明・チャタクリ・スバス

Simulation of Dynamic Furniture Behavior for Earthquake Based on Location Information Using Augmented Reality

Toshiaki Satoh and Subas Chhatkuli

Abstract: In case of the massive scenario earthquake like Tokai earthquake, it is of concern that furniture tipping might be one of the major causes of human injury. Hence, education for disaster prevention is important to reduce the human injury in such cases. The purpose of this study is to develop a prototype system for disaster prevention education and to examine the development possibility of this system. This system runs as following: First, the smart-phone gets location information by GPS and sends the information to GIS server. Second, GIS server searches nearby scenario earthquakes by the location and send them to the smart-phone. Third, smart-phone user selects a scenario earthquake and gets its waveform from the GIS server by requesting it. Fourth, the smart-phone executes the simulation of dynamic furniture behavior. Last, the smart-phone shows the behavior by augmented reality as a result of the simulation.

Keywords: 拡張現実 (augmented reality), スマートフォン (smart phone), 防災教育 (education for disaster prevention)

1 はじめに

今後発生する可能性のある東海地震、南海地震および東南海地震などの巨大地震では、長周期地震動による高層建築物の大きな揺れが発生するため、それによる家具などの屋内設置物による人的被害が懸念される。これに対し、目黒ほか（2007）は、家具の転倒防止器具設置などによる自発的な被害軽減行動が重要であることを指摘している。しかし、内閣府（2004）によると、家具転倒防止などの対策

はほとんど進んでいないということが現状であり、個人個人が自発的被害軽減行動をとるようになるは、日常的な防災教育が重要であると考える。

これまでにも GIS などによる地震ハザードマップを用いてリスク周知などによる防災教育が行われてきた。しかし、目黒（2004）によれば、個人の災害イメージ能力や対応力の向上が災害軽減のためには必要で、そのためにはビジュアライズされた情報提供が重要であると述べており、前述のような単なるハザードマップだけでは災害イメージ能力や対応力の向上が難しいと考える。そのため、近年では、拡張現実（以降、AR）技術による防災教育や

佐藤俊明 〒153-0043 東京都目黒区東山2-8-11

目黒ビル新別館1階

(株)パスコ研究開発センター

Phone: 03-3715-4011

E-mail: tuoost7017@pasco.co.jp

ロボット技術と映像技術を用いて一人乗りの地震体感シミュレータ (Sou et al., 2010)などの、より現実感のある実体験が可能なシステムが開発されてきている。

しかし、これらのシステムは専用の装置が必要であり、いざ実体験を行おうとしても、手軽に行えるものではない。更に、これらのシステムでは、事前に用意されたシナリオ的なシミュレーションである。したがって、シミュレーションの実施者の身近なものがどのような被害や損害にあうのか(例えば、自宅の一階に設置してある家具が想定地震では転倒するのかしないのか)、といった疑問にこたえるものではない。今後は、より現実感を与えるために、身近に感じるものを対象とした防災教育を行うことは防災意識を向上するためのひとつの手段になると考える。

ところで、近年発達の目覚ましい携帯電話などは最も身近なデバイスのひとつであるといえる。特に、GPSや電子コンパスなどのセンサーを標準装備したiPhone¹⁾を代表とするスマートフォーンは、数年前までPC上でしか動作しなかったようなプログラムでも動作するぐらいのスペックを有するようになってきた。このことは、つまり、家具の転倒シミュレーション解析などの計算負荷が高いプログラムの実行もスマートフォン上で可能になってきたということである。

以上に述べてきた背景のもと、本論文では、容易に地震体験を行えるようなスマートフォンを用いたシステムを試作し、その開発可能性検証を目的として、まずは初步的な研究を行うこととする。具体的には、想定される地震波形(以降、想定地震波形)を用いて、目の前にある家具の地震応答解析を行い、その結果をスマートフォン上のAR技術により表現する試作システムを開発する。

以降、第2章ではシステム要件としてその方針お

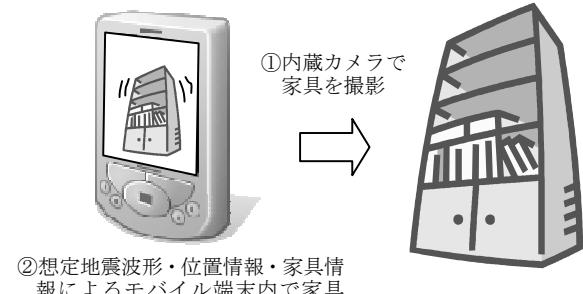


図-1 ARによる家具の転倒シミュレーションシステムのイメージ

より関連技術を、第3章では試作システム開発を、最後にまとめを述べる。

2 システム要件

2.1. 方針

本論文が最終的に目指すシステムは、ユーザがスマートフォンを用いて、自宅にある身近な家具に対して転倒シミュレーションを行い、その危険性を体験することにより、防災意識を高めるためのものである。具体的には、図1に示すように、目の前に設置してある家具をカメラ付きスマートフォンで撮影しながら、位置や家具形状などの必要な情報を設定し、選択した想定地震波形による家具の挙動をAR技術により表現し、家具の転倒シミュレーションを体感しようとするものである。

2.2. 関連技術

2.1に示すようなシステムを具現化するには、想定地震波形が必要であったり、家具の転倒シミュレーション解析を行ったりと様々な技術が必要となる。そこで、以降に必要な関連技術の概要を述べる。

2.2.1. 地震応答解析技術

地震の発生から建物の応答までの機構を示した概略図が図2である。地震による建物の振動は、震源断層がすべり破壊をおこし、そのときの震動が地中を伝わって増幅されて建物地点に到達し、建物が大きく揺れる現象である。

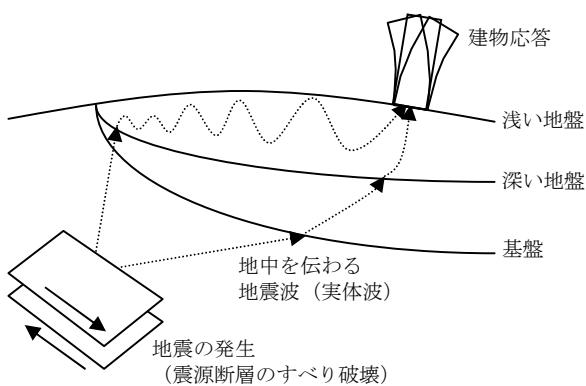


図-2 地震発生・地震伝播・建物の地震応答
* 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2010) を参考

本システムでは、具体的な家具転倒シミュレーション解析を行うため、地震波形などが必要となるが、断層モデルを用いた波形合成法や地震伝播モデルなどの研究開発により現在では想定地震波形を作成することが可能となってきた。また J-SHIS²⁾よりこれらの計算に必要なパラメータを取得できるよう今までなってきており、これらを利用して想定地震波形を生成することが可能となる。

また家具などは屋内に設置していることがほとんどであるため、建物の地震応答波形が必要であるが、これも建物の階数や建築種類がわかれればそれらの情報による時刻歴地震応答解析が可能であり、屋内のフロアレベルの地震波形も生成可能である。

2.2.1. 家具転倒シミュレーション解析技術

屋内のフロアレベルの地震波形がわかれれば、その波形を用いて、数値解析による家具転倒シミュレーションが可能となる。具体的には、個別要素法（伯野, 1997; 目黒・西川, 1998）や粒子法（越塙, 2005）などを用いて解析を行えばよい。

2.2.2. 位置情報取得関連

自分が現在いる位置の想定地震波形を得るためにには、その地点の測位を行う必要がある。測位技術としては GPS や Wifi 技術などが代表的なものであろう。しかし今回のような家具の転倒は屋内に設置

していることがほとんどであるため、屋内での測位技術が必要となってくる。屋内での測位技術には IMES や可視光通信技術などがあるが、これらの技術は現在発展途上であるといえ、本論文では今後の発達に期待することにするが、今回は大まかな位置を取得できればよく、既存の GPS による測位技術で問題ないと考える。

2.2.3. AR 技術

AR 技術とは現実空間（カメラ映像など）に仮想モデル（3D モデルなど）を重ね合わせて表現することにより、現実世界と仮想世界を同時に表現する技術であるといえる。AR 技術には大きく、マーカ系 AR や位置・方位センサー系 AR などにわかれれる。マーカ系 AR（図 3）は ARToolKit（加藤, 2002）に代表されるように、ある特定のマーカを用意し、それをパソコンに接続された Web カメラなどにより撮影し、そのマーカに対応した 3D モデルなどをパソコンの画面上にカメラ映像とともに表示する技術である。防災分野では、この技術を利用して田村ほか（2007）や土屋ほか（2010）などによる防災教

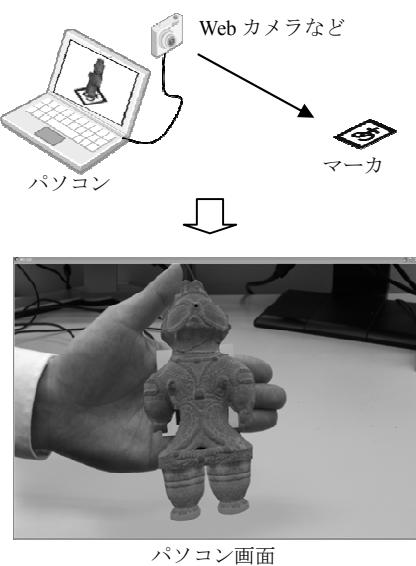


図 3 マーカ系 AR 技術のイメージ

育ツールの開発が行われている。また位置・方位センサー系 AR は、GPS や電子コンパスによりカメラ付モバイル端末の位置や姿勢を取得し、カメラにより投影された現実空間を背景として仮想モデルを表示する技術で、セカイカメラ³⁾などが代表的である。防災分野では、防災科学技術研究所により洪水に関する災害リスク情報を重ね合わせる技術⁴⁾が開発されており、AR 技術の利用は、今後、ますます多くなってくると考える。

3 試作システムの開発

3.1. 試作システムの開発方針

本論文では、第 1 章で述べたように、システムが実際に構築可能であるかという点に重きをおいており、具体的には想定地震波形取得から家具転倒シミュレーション解析結果の表示までの一連の動作が可能である点を確認することを目的とする。そのため、以降に示すいくつかの制約条件をつけて試作システムの開発を行った。

3.2. 試作システムの機能

本論文で構築するシステムの処理シーケンスは図 4 に示される通りである。以下にシステムに必要となる主な機能の概要を述べる。

3.2.1. 位置情報取得・設定機能

ユーザが現在いる位置情報（緯度経度および方位）の取得、建物のフロア情報および建築種類の指定などの基本情報を設定する機能である。位置情報は、ネットワークを通じて GIS サーバに転送され、サーバ上にある近隣の想定地震の絞り込むために用いられる。

3.2.2. 地震波形選定機能

スマートフォン上で、解析に用いる想定地震波形を選択する機能である。本論文では、想定地震による地震波形を GIS サーバに持たせておき、ユーザが現在いる場所の地震波形をダウンロードしていく

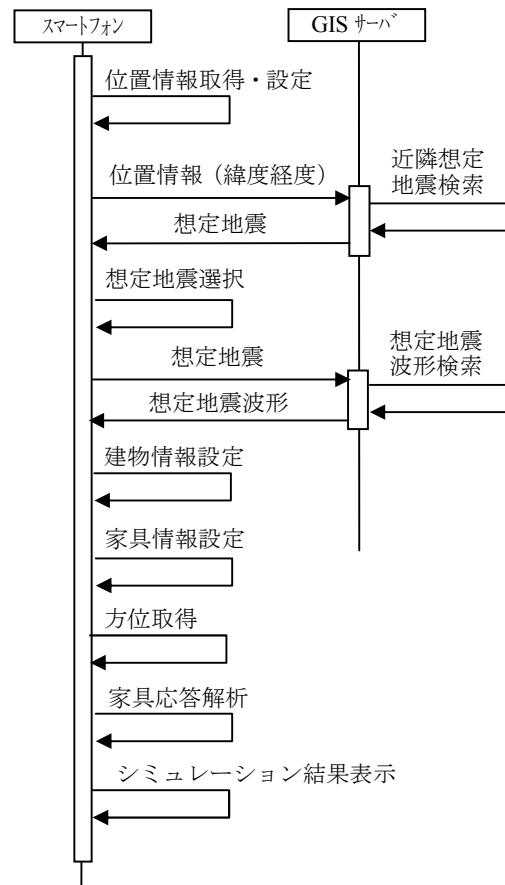


図-4 処理シーケンス

ようにする。なお、今回の波形データは、実際に想定地震波形データを作成したものではなく、既存の地震波形データで代用している。

3.2.3. 家具応答解析・表示機能

家具の応答解析を行うためには、少なくとも家具の材質、形状などや床の材質などが必要になる。そこで、本来はこれらを設定できる機能を用意する必要があるが、今回はまずは既定の家具データによる検証を行うこととした。また家具の転倒シミュレーションには、粒子法を用いて解析を行うこととした。

シミュレーションの解析結果は、AR 技術を用いてスマートフォンの画面に家具の 3D モデルのアニメーションを表示することとする。なお、その際、電子コンパスを使用して、家具の設置方向による挙

動の違いも解析できるようとする。

3.3. システム構成

想定地震波形データを置くサーバにはPostGISを用いた。地震波形データとしては1kmメッシュごとに地震波形を作成しておき、スマートフォンから送信されてくる位置情報により近隣の想定地震を検索する。

また、今回使用したスマートフォンはiPhone4である。iPhone4上で家具の転倒シミュレーション解析を行うようにして、その結果表示機能は、OpenGLを用いてプログラム開発を行った。

3.4. 試作システムのイメージ

図5は、地震動による家具の転倒挙動がカメラ越しに表示されている様子を示している。本試作システムでは、家具モデルが単純で家具転倒シミュレーションの精度がわるいため、今後も改良が必要であるが、少なくとも現在のスマートフォンであれば、このようなシミュレーションを行うことが十分可能であることがわかった。



図-5 試作システムによる家具転倒シミュレーションイメージ

4 おわりに

本研究では、防災教育ツールの一つとして、家具の

転倒シミュレーションを、AR技術を用いて試作した。

今回は、システムの一連動作の検証であったため、かなり制約を設けた試作システムであったが、今後、より汎用的なシステムとして改良していくことによって、より臨場感のある防災教育ツールを開発することが可能であると考える。

謝辞

本研究では、株式会社パスコ研究開発センターの李勇鶴氏にプログラム開発のご協力を願いした。ここに記して感謝の意を表す。

注

- 1) Copyright Aiphone Co
- 2) <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- 3) <http://sekaicamera.com/>
- 4) http://www.bosai.go.jp/news/press_release/20100511_02.pdf

参考文献

- 伯野元彦 (1997) : 「破壊のシミュレーション－拡張個別要素法で破壊を追う－」, 森北出版株式会社.
- 加藤博一 (2002) : 拡張現実感システム構築ツール ARToolKit の開発, 信学技報 PRMU, 101(652), 79-86.
- 越塚誠一 (2005) : 「粒子法（計算力学レクチャーシリーズ）」, 丸善株式会社
- 田村秀行・柴田史久・木村朝子・坂井陸一・横江祥吾・濱田純也・家崎明子 (2007) : 防災研究・防災対策のための複合現実型情報提示デジオラマを利用した体験型動的ハザードマップー, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 12(4), 567-576.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2010) : 全

国地震動予測地図－地図を見て私の街の揺れを
知る－, http://www.jishin.go.jp/main/chousa/10_yosokuchizu/tebiki_kaisetsuhen.pdf

土屋勇人・浦邊真寛・望月翔・飯塚泰樹・飯塚佳代・
吉田享子 (2010) : AR 技術を用いた防災対策効
果の可視化, 情報処理学会創立 50 周年記念 (第
72 回) 全国大会

目黒公郎 (2004) : ビジュアリゼーションと都市防災,
第 10 回ビジュアリゼーションカンファレンス,
http://www.kgt.co.jp/avs_conso/event/vc10/summary/data/1-4.pdf.

目黒公郎・吉村美保・伊藤大輔・佐藤芳仁 (2007) :
市販の家具転倒防止装置の効果に関する実験・
数値解析的検証, 日本地震工学会論文集, 7(4),
23-32.

目黒公郎・西川大介 (1998) : 3 次元個別要素法に
よる地震時の家具の動的挙動解析, 土木学会第
53 回年次学術講演会概要集, I-B248, 496-497.

Sou Adachi, Masayuki Matsudaira, Yoshiharu
Hirayama, Minoru Yoshida, Saburoh Midorikawa,
Shigeo Hirose, 2010. *Development of
Earthquake Experience System Using Ground
Motion Simulator "Jishin The Vuton"*, *Proc.
of the Seventh International Conference on
Urban Earthquake Engineering*, 317-320.