

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011 ～ 2012

課題番号：23656338

研究課題名（和文）

動く見たまま3D画像と地震音の自動生成による視聴覚に訴える地震時想像力醸成環境

研究課題名（英文）

Environment Making Imagination in Earthquake

研究代表者

福和 伸夫（FUKUWA NOBUO）

名古屋大学・減災連携研究センター・教授

研究者番号：20238520

研究成果の概要（和文）：

巨大地震による災害被害を劇的に減少させるためには、耐震化や家具固定などの個々人の備えの行動を抜本的に進めることが必要である。このためには、国民一人一人の我が事感を醸成することが不可欠である。そこで、視聴覚体感環境を利用して個々人の地震時イマジネーション力をつけるシステムを開発した。

研究成果の概要（英文）：

In order to dramatically decrease the disaster damage due to the huge earthquake such as Nankai-Trough earthquake, it is necessary to promote an action of the individual preparation such as seismic retrofit or the furniture fixation. For this realization, it is essential for each person to think an earthquake to be my thing. Therefore, we developed a system to easily imagine various phenomena in the earthquake using seeing and hearing bodily sensation environment

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：建築学

科研費の分科・細目：建築構造・材料

キーワード：地震防災、耐震化

1. 研究開始当初の背景

南海トラフ巨大地震や首都直下地震の予想被害は甚大であり、地震が発生すれば国難とも言える状況となる。多大な債務を抱える中、地震被害の軽減を進めるには、個々人の減災行動を進めるしかなく、そのためには地震時のイマジネーション力の醸成が基本となる。そこで、本研究では、個々人が地震時の状況を正しくイメージできる人工環境を実現する。

研究代表者は、本研究の応募以前から、中央防災会議の「災害被害を軽減する国民運動」作りや総合科学技術会議の「きめ細かい災害情報を国民一人一人に届けるとともに災害対応に役立つ情報通信システム」の構築

に主体的に携わると共に、地域で耐震化まちづくりなどの実践活動に取り組んでいた。これらの活動の中で、地震についての納得感と我が事を持てる環境があれば国民を減災行動に誘導できると実感してきた。一方で、近年の情報技術の進展は著しく、これらを活用すれば、独創的な地震時挙動仮想体感環境を実現できるのではと、着想した。

研究代表者は、応募前に、科学研究費・基盤研究(A)「個人の耐震化対策を誘導する説明力を持った地震ハザード予測と体感型提示手法の開発」、同・挑戦的萌芽研究「いつでもどこでもだれでも地震の揺れを体験できるバーチャルウェブ振動体感環境の構築」を実施し、個々人に耐震化の必要性を訴える

情報提供システムの構築、バーチャル振動環境を試作してきた。本研究では、これらの成果に加え、3次元バーチャルリアリティ技術と地理空間情報利用技術を活用することで、より独創的な地震時体感環境を具体化しようとしたものである。

2. 研究の目的

住民一人一人が、居住する土地の地形的特徴や地震ハザードの特徴を実感できるよう、3次元都市空間上で地盤の地震時挙動を体感できるシステムを構築する。さらに、居住する建物内の地震時応答挙動を予測し、室内での揺れを体感できる3次元視聴覚地震時挙動体感環境を実現することを目的とする。

その際に、最新の3次元画像取得・映像技術、地理空間情報利用技術、各種データの相互運用技術、動画生成技術、3次元サラウンド音声再生技術などの情報技術と、強震動予測、地震応答予測、フーリエ解析技術などの地震工学的知見を総合的に活用する。そして、この環境を実現することにより個人々々を具体的な減災活動へと誘う。

ここで、提案するバーチャル振動体感環境は視聴覚のみで地震時挙動を再現する画期的なものであり、安価でかつ場所や時間を選ばず利用でき、地域の防災活動での利用を通して減災対策を抜本的に進めることができる。

3. 研究の方法

地震時の揺れの状況を仮想的に体験し、個人々々のイマジネーション力を育む地震時3次元動的挙動視聴覚環境生成システムを新たに実現するために、都市空間・建物データの作成と都市・建物の3次元ビューシステムの構築、ヘッドマウントディスプレイを利用した視覚環境の構築、地震の音の自動生成方法の構築、室内画像の自動生成方法の構築を行った。さらにこれらの、要素技術をシステム化し、WebGIS上で選択した任意地点にある任意建物内の室内の地震時の視聴覚環境を再現できるシステムを実現した。

具体的には、①3次元都市空間表示環境、②3次元画像の取得・再現環境、③地震時の3次元応答挙動予測と視覚環境の再現、④地震時の音の自動再生による聴覚環境の再現、⑤室内の家具転倒シミュレーションの動画再現、⑥①～④をシステム化した地震時イマジネーション環境の実現、の5つのステップからなる。以下、それぞれについて述べる

① 3次元都市空間表示環境の構築

国土地理院による5mメッシュデジタル標高データ、擬似経験的グリーン関数法により予測した地盤地表の強震動予測結果、自治体により提示されている各種のハザードマップ、昔の地形図に基づく地形の改変データ、

などをデータベース化すると共に、建物データを整備する。建物データは、公表されている建物平面形状ポリゴンデータと、Google Earthデータから導出した建物高さ情報を利用して、簡易的に建物立体形状データを生成する。さらに、地動データと建物高さに応じた建物増幅特性を考慮し、建物応答を予測する。これらのデータとMatrixEngineを用いた動画表示機能により、3次元地形・都市・建物空間上で、地震時動的挙動を立体視しつつ鳥瞰動画表示するシステムを構築する。

② 3次元画像の取得・再現環境

カメラ付きヘッドマウントディスプレイに加速度計を設置して、ブレ補正をしながらヘッドマウントディスプレイ上で、目の前の映像を立体視できる環境を整える。

③ 地震時の3次元応答挙動予測と視覚環境の再現

地表の強震動を用いて、建築物の地震応答解析を実施し、建物内床応答を予測する。さらに、これまでに構築していたバーチャル振動台EVERESTの技術を用いて、地震時室内映像の視覚環境を生成する。その上で、②の映像を組み合わせて、地震時の応答挙動視覚環境を整える。

④ 地震時の音の自動再生による3次元聴覚環境の再現

③で得られた床応答波形に対応する地震時の聴覚環境を生成する。その方法は、対称的フーリエ変換法による。床応答速度波形の包絡波形を保持し、振動数成分を可聴域にまで振動数増大させ、振動周期に応じて音の高低音波形を生成する。

⑤ 室内の家具の転倒シミュレーション

シミュレータソフトUnityを活用して、室内の家具の転倒挙動をリアルに動画表現する方法を構築する。

⑥ ①～⑤のシステム化

①～⑤で構築した要素技術を統合しこれにより、これらをヘッドマウントディスプレイ上で体感できるシステムを構築する。さらに様々な防災イベントで、これらのシステムを一般市民に体験してもらい、効果測定を行うとともに、システムの改善を行う。

4. 研究成果

図1に研究成果の全体像を示す。それぞれの要素を統合化し、地震時の3次元動的挙動を視聴覚で体感することの出来る環境を構築した。

① 3次元画像の取得・再現環境

360度(パノラマ)撮影に対応した特殊レンズを用いた3次元画像取得システムを構築した。収録装置にはフルHD解像度の動画撮影に対応したデジタル一眼レフカメラを用い、ノートPCから制御することで、VNCソフトウェアを持ちいたリモートコントロール

が可能となっている。これを実大振動実験施設 E ディフェンスにおいて建物試験体内のフロア中央部に設置し、地震時における家具等の挙動を 360 度全方位にわたって記録した。

収録した 360 度映像データを通常のディスプレイで表示できるよう展開・変換するソフトウェアを開発し、実験観測データのアーカイブ化を行った。さらに、これを 3D シミュレーションソフトウェア内で使用出来るようモデルを構築した。具体的には、3D 空間内の半球体モデル内面に収録映像をテクスチャとして貼り付け、半球体の中心部を視点とし、マウス操作によって視線の方向を自由にコントロールして出力できるようにした。これにより、収録した 3 次元映像をあたかもその場に居合わせた時のように再現する環境を構築することができた。

② 地震時の 3 次元応答挙動予測と視覚環境の再現

地震時の室内・家具応答挙動を収録した実大振動実験映像を元に、それらをシミュレーションで予測し再現する視覚環境の構築を行った。基盤技術には 3D ゲーム開発環境として定評のある Unity3D を使い、Unity3D が内蔵する物理演算エンジンを用いてシミュレーションを行った。

実大振動実験において計測した値を元に、それぞれの家具オブジェクトに対して質量・寸法・静止摩擦係数・動摩擦係数・反発係数を設定し、それらを空間的に配置した上

で、実験で収録された床面の地震応答変位波形を入力し、3 次元応答挙動が再現できるかを検証した。既存技術を活用した事により、オブジェクトが等質量分布に限定され重心位置が自由に設定できないという制約があったが、オブジェクトの寸法と質量位置を別々にモデル化し重ね合わせるという工夫により解決している。

最終的には実測値とほぼ同じ質量で、やや大きめの摩擦係数によって室内全体としては同じような挙動を再現できた。ただし、摩擦係数については実測値にも誤差が含まれていると考えられる。このように、室内の危険箇所を視覚的に再現でき、他システムへの応用が可能な 3D モデル空間を構築することができた。

③ 地震時の立体的視聴覚環境の再現

地震動の瞬間振動数や振幅・エネルギーといった情報を時系列で表す音声波形を生成することにより、地震時の応答を視覚化する際の表現力を大幅に高めることが出来ると考え、その理論体系を整備すると共に、地震動波形を音声波形に変換するソフトウェアを開発した。

基礎理論には対称的フーリエ解析を利用しており、周波数領域のみならず時間領域においても振幅と位相を定義し、通常のフーリエ解析では無視されがちな位相の持つ情報を最大限に活用している。地震動の周波数成分は大部分が 10Hz 以下であるのに対し、人

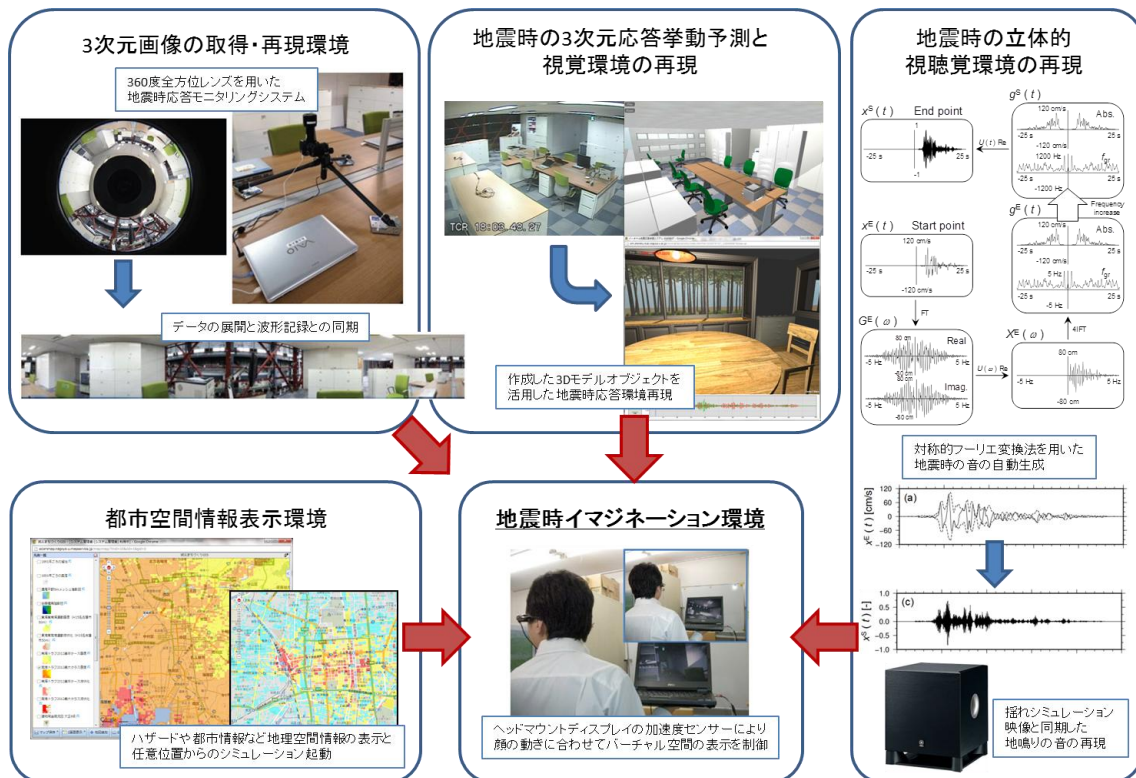


図 1 地震時 3 次元動的挙動視聴覚環境生成の研究成果全体像

間の可聴域が 20Hz-20000Hz であることから、元の地震動波形の包絡形を維持しつつ、振動数を高めることで音声波形に変換した。これにより、元の地震動波形と同じ継続時間を有し、地震動の振動数が高い時は高い音になり、地震動の振幅が大きい時は大きい音になるという音の生成が可能になった。すなわち、同じ地震動波形データを用いることで、揺れの視覚再現シミュレーションと完全に同期した地震の音の再現が実現し、五感に訴えかける視聴覚環境を構築することができた。

④ 都市空間情報表示環境

オープンソース WebGIS を基盤に、地震ハザード情報や地盤情報に加え、個々の建物情報や街区ごとの危険度情報を組み込んだ都市空間情報表示環境を構築した。さらにここから地図上の位置と地震の震源を指定し、対応する地表の応答加速度波形をサーバ上から取得して地震応答シミュレーションを実行するインターフェースを開発した。これにより、従来は抽象的だった地震ハザードの情報をより実感できるシミュレーションへと連携させることが可能になった。

⑤ 地震時イメージーション環境へのインテグレーション

上記①から④の技術をインテグレーションし、任意の地震動波形記録を用いて地震時の3次元応答環境を再現できる視聴覚環境を構築した。通常のディスプレイに加え、ヘッドマウントディスプレイと加速度センサーを組み合わせた装置を用いることにより、利用者が向いている方向にシミュレーション空間の表示が追従し、極めて没入感の高い地震時イメージーション環境が達成された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

倉田和己、福和伸夫、護雅史、飛田潤：強震動データの活用と説明力向上により利用者の想像力を喚起し耐震化を誘導するための建物応答シミュレーションソフトウェア開発、地域安全学会論文集、17 号、10p.、2012.7 (電子ジャーナル)

[学会発表] (計 9 件)

1) 倉田和己、護雅史、福和伸夫、飛田潤：ヘッドマウントディスプレイを活用した地震の揺れ体験による減災行動の誘導、日本建築学会学術講演梗概集、pp. 979-980、2011.8

2) 倉田和己、松下卓矢、飛田潤、護雅史、福和伸夫、長江拓也、吉澤睦博：地震時の室内被害による建物機能損失に関する実験的研究 その 9 室内被災状況のモニタリングとシミュレーション 360 度映像の活用、日本建築学会学術講演梗概集、pp. 1055-1056、2012.9

5) 松下卓矢、倉田和己、飛田潤、護雅史、福

和伸夫、長江拓也、吉澤睦博：地震時の室内被害による建物機能損失に関する実験的研究 (その 10) 室内被災状況のモニタリングとシミュレーション (家具転倒評価から安全対策へ)、日本建築学会学術講演梗概集、pp. 1057-1058、2012.9

6) T. Hirai, K. Kurata, N. Fukuwa and M. Mori : Synthesis of Earthquake Sound Using Seismic Motion Record and its Application to Audiovisual Earthquake Experience System, Proceedings of 15th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 380, 9p., Lisbon, 2012.9

7) 倉田和己、新井伸夫、福和伸夫：南海トラフにおける巨大地震をテーマとした市民目線の災害シナリオと啓発アプリケーションの開発、日本災害情報学会、pp. 248-251、2012.10

8) 松下卓矢、倉田和己、飛田潤、護雅史、福和伸夫：振動台実験と 3D 表現環境に基づく地震時室内被害状況シミュレーションのリアリティ向上、日本建築学会東海支部研究報告集、第 51 号、pp. 161-164、2013.2

9) 松下卓矢、倉田和己、飛田潤、福和伸夫、吉澤睦博、長江拓也：振動台実験に基づく地震時室内被災状況のモニタリング技術とシミュレーションの開発、日本建築学会技術報告集、2013 (採用決定)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.sharaku.nuac.nagoya-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福和伸夫 (FUKUWA NOBUO)

名古屋大学・減災連携研究センター・教授
研究者番号：20238520

(2) 研究分担者

飛田潤 (TOBITA JUN)

名古屋大学・災害対策室・教授
研究者番号：90217521

(3) 連携研究者

護雅史 (MORI MASAFUMI)

名古屋大学・減災連携研究センター・准教授
研究者番号：40447842