

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23710188

研究課題名(和文) 要救助者把握を念頭においた実室内被害把握に関する研究

研究課題名(英文) Research for the actual indoor damage grasp for the understanding of survivors

研究代表者

柴山 明寛 (Akihiro, Shibayama)

東北大学・災害科学国際研究所・准教授

研究者番号：80455451

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、実際の室内の被災状況を把握するために、汎用ノートPC内蔵の加速度センサー及び深度センサー、音センサーの重合処理による室内の被害把握方法及び要救助者の有無の判定方法を明らかにした。そして、室内の被災情報をマルチキャストによる情報共有を行い、地震直後に即時の被災地全域の被害把握するためのシステムを構築した。最後に、消防隊員等の公助の支援を目的としたスマートフォンを用いた要救助者の人命検索のための支援ツールの開発を行った。

研究成果の概要(英文)：This research demonstrates the following three tasks. First, in order to understand the condition of actual indoor damage caused by a disaster, we have discovered a method to identify the conditions of real-time indoor damage as well as a method to judge the presence or absence of survivors in need of help by using the polymerization of a built-in accelerating sensor, depth sensor, and sound sensor typical to an average laptop computer. In addition, we have built a system that, once the indoor conditions are acquired, will share these conditions via multicast, thereby archiving the prompt comprehension of the overall conditions of damage in an earthquake-inflicted area. Finally, we have developed a smartphone rescue assistance application for individuals, such as firefighters, who partakes in life-saving missions.

研究分野：社会・安全システム科学

科研費の分科・細目：社会システム工学・安全システム

キーワード：センシング技術 実室内被害把握 家具転倒

### 1. 研究開始当初の背景

大規模地震災害時では、人命が失われることを最小限に抑える必要がある。そのためには、様々な場所で同時多発的に大量に発生する要救助者を如何に効率的に人命検索するかである。人命検索には、被災地域の建物等の詳細な被害情報が必要不可欠であり、要救助者の生死を分ける 72 時間以内に発見・救出する必要がある。しかし、救助者に関する情報源は、一般からの通報や災害現場での聞き込みが大半であり、正確な位置の情報がない中で消防隊員の経験に頼っているのが現状である。また、救助を行う消防隊員の人員は限られており、自衛隊等が出動したとしても人的リソースが絶対的に足りないのが現状である。これからわかる通り、人命が失われることを最小限に抑えるためには、要救助者の発生の基礎情報となる建物等の詳細な被害情報及び正確な要救助者の人数と位置の把握、時間的な制約条件内での要救助者の発見、限られた人的リソースを如何に効率的に配置するかである。

これらを解決する方法として、建物被害推定からの人的被害推定による建物被害及び被災者人数の把握方法がある。近年の研究結果により、建物被害推定及び人的被害推定の精度は格段に上がっていると言えるが、被害推定に必要な基盤情報が統計量の情報に頼っているため、個別建物の正確な被害推定及び個別建物内の正確な被災者人数の推定まではできていない。また、個別建物の人的被害を詳細に推定するために室内の什器類の転倒を考慮した人的被害推定手法があるが、事前に什器類の位置及び居住者人数を把握する必要があり、被災地全域にこの手法を当てはめることは難しい。そして、これらの推定手法では、被災者人数が把握できたとしても避難した人数までの把握はできない問題がある。

これまでの研究において、災害現場での構造物の被災状況を詳細かつ効率的に把握するために被害情報収集の方法を提案し、個別建物の実被害を正確に把握することを可能にした。また、被災地域の構造物の被害情報や地域コミュニティの情報を集約する情報共有・提示の方法を提案し、消防隊員等の効率的な配置のための基礎情報及び要救助者の情報に繋がる情報源の集約を可能にした。しかし、本方法でも実際の構造物の被害把握及び間接的な情報源の把握までに止まっており、室内の被害状況の把握や建物内の要救助者人数までの提案はできていない。

### 2. 研究の目的

本研究では、これらの問題点を解決するために、実際の室内の被災状況を把握する方法として直接室内に汎用 PC 内蔵のセンサー群を配置し、センサー群とライフログとの重合処理による室内の被害把握方法及び要救助者の有無の判定方法を明らかにする。そして、

室内の被災情報をマルチキャストによる情報共有を行い、地震直後に室内を含む即時の被災地全域の被害把握を可能にする。最後に、消防隊員等の公助の支援を目的とした ICT を用いた要救助者の人命検索のための支援及び人的リソースを補うための自主防災組織等の共助の支援を目的とした ICT 技術を利用した共助・公助の連携支援を可能にする。共助・公助の連携支援とは、公助の手が及ばない時、共助だけでは救出が困難な時などを公助と共助が伴い連携をし合い、両方を補う支援を行うものである。

### 3. 研究の方法

研究方法として、(1)室内の被害把握方法及び要救助者の有無の判定方法、(2)要救助者の救助のための必要情報及び救助側への情報提供方法、(3)要救助者の救助支援を効率化するための共助・公助の連携方法、(4)室内の実被災状況を含めた被災地全域の情報提示方法、以上の 4 つに分けて研究を実施した。詳細については、以下に示す。

#### (1)室内の被害把握方法及び要救助者の有無の判定方法について

室内の被害把握方法については、汎用 PC 内蔵のセンサー群とライフログとの重合処理による判定を試みる。まず、什器類の転倒や移動に関しては、床の応答加速度と什器の形状の関係で明らかにされており、汎用ノート PC 内蔵の加速度センサーで解決を図る。ただし、什器類の転倒防止や移動防止策が施されている場合などは、一概に応答加速度だけの判断はできない場合がある。そこで、様々なセンサーを用いて常時観測による差分処理により什器類の転倒の有無の判断の解決を図る。次に、要救助者の有無の判断に関しては、要救助者から発した声（例えば、「助けて」）を音声センサーで拾い、音声認識したものをキーワード分析し、要救助者の有無の判定や緊急性の判断をする。これらについては、室内を模擬した部屋を用いて実験を繰り返し、判定が可能であるかを検証する。

#### (2)要救助者の救助のための必要情報及び救助側への情報提供方法(3)要救助者の救助支援を効率化するための共助・公助の連携方法について

要救助者の救助のための必要情報及び救助側への情報提供方法については、岩手宮城内陸地震、東日本大震災の救出活動に従事した仙台市消防局にヒアリングを実施し、当時の災害状況や情報内容について整理を行い、要救助者を検索するために必要な情報を明らかにする。また、消防隊員と自主防災組織の連携タイミングや情報提供時期、情報提供内容、消防隊員が不足した際の自主防災組織の対応方法、自主防災組織と消防隊員の役割分担等について仙台市消防局にヒアリングを行い、これを基にした共助・公助の連携方

法について明らかにする．そして，上記のヒアリングと伴に文献調査も合わせて行う．

(4)室内の実被災状況を含めた被災地全域の情報提示方法について

情報提示方法については，地図等による提示方法などが考えられるが，現場での利便性を考え，携帯端末による AR（拡張現実）を利用した被災情報の提示方法の検討を行った．また，携帯端末だけではなく，ウェブブラウザによる提示方法の検討を行った．

#### 4．研究成果

(1)室内の被害把握方法及び要救助者の有無の判定方法について

研究方法で示した通り，室内の被害把握方法については，加速度センサー及び深度センサーによる什器類の転倒・移動の判定を行った．要救助者の有無の判定方法には，音センサーを用いて判定を行った．

まず，加速度センサーによる什器類の転倒・移動の判定については，汎用ノート PC 内蔵の加速度センサーを用いて室内の揺れの状況を取得することとした．汎用ノート PC は，Apple 社及び Lenovo 社のノート PC を用い，Java 言語と複数のライブラリーを用いて加速度センサーの情報を取得するプログラムを開発し，実験を行った．その結果，PC を固定しない場合は震度 5 強程度，PC を固定した場合は震度 6 強以上まで室内の揺れを計測できることがわかった（柴山ら，2011）．これにより，既往の什器転倒の有無の基礎情報となる室内の応答加速度が計測できることがわかった（写真 1）．

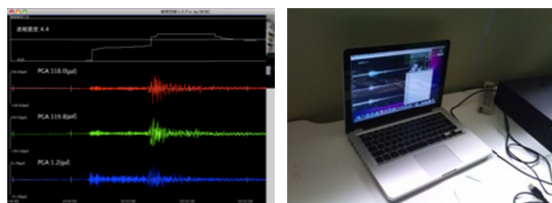


写真 1 ノート PC による加速度計測（左：システム画面，右：計測風景）

次に，深度センサーによる什器類の転倒・移動の判定については，Microsoft 社の Kinect の深度センサーを利用する方法を試みた．Kinect については，ゲーム用に開発されたデバイスであり，開発用の SDK などが用意されている．開発には，Java 言語及び Opencv でプログラミングを行った．

什器の転倒・移動の判定の流れは，室内から什器（ラックやタンス等を想定）を検出するために，室内のエッジを検知し，その中からある程度奥行きがあるもの，水平方向に傾きが少ないものを什器として認識する．そして，地震前の什器の位置として，上端部の X,Y 座標及びセンサーと什器の上端部の距離を記録し（写真 2），地震後に再度その距離を計測し，移動の判定の有無を検出する流れと

した．本プログラムの有用性を検証するために写真 3 のような什器を模擬した段ボールを用意し，深度センサーを正面に配置し，移動・転倒の実験を行った．実験の結果，什器の移動・転倒を把握することができた．また，深度センサーの仕様上の問題として，センサーと什器類の対象物までの距離が 1m から 4m までの範囲に関しては移動判定ができることがわかった．ただし，数 cm レベルの移動は，移動と認識ができず，数十 cm の移動が無い限りは判別が不可能であることもわかった．また，実際の什器を用いて検出動作を確認したところ，認識できることを確認した．しかしながら，実際の什器の場合，ラックの上もしくはタンスの上などに物を置く事も考えられ，その場合，什器として認識することができなく，什器の設置状況に左右されてしまう問題があることもわかった．



写真 2 什器の検出状況

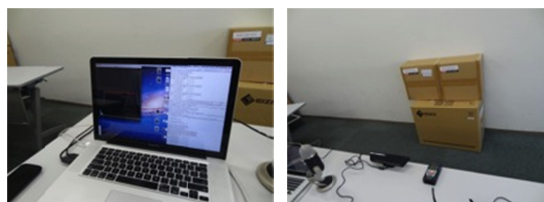


写真 3 実験風景（左：監視 PC，右：家具を模擬した段ボール）

最後に要救助者の有無の判断については，音センサーを使用することとした．音センサーについては，特殊な機器を使用せず，PC で利用できる外付けのマイクを利用することとした．要救助者から発した声を認識するための音声認識ソフトウェアとして，独自に開発するのではなく，オープンソース等を利用した．様々な音声認識ソフトウェアを検討した結果，発話者がマイクに近づいた状態での音声の認識率は高いものの，声が小さい場合やはっきりした発音ができない場合，雑音が入る場合などに認識率が下がる傾向であることがわかった．生き埋め状態などを想定した場合，さらに条件が悪くなる可能性もあり，マイクの配置方法など更なる検討が必要であることがわかった．ただし，自動的に音声認識の判定は困難な場合も想定して，地震時から録音する機能を設け，人間による判断ができるように改善も図った．

これらの成果により、加速度センサー及び深度センサーを用いることで、推定でしか分からなかった什器等の転倒・移動の把握することができることがわかった。要救助者の有無の判定については、音声認識ソフトウェアの変更やマイクの配置を検討が必要である。

(2)要救助者の救助のための必要情報及び救助側への情報提供方法(3)要救助者の救助支援を効率化するための共助・公助の連携方法について

要救助者の救出方法について、岩手宮城内陸地震、東日本大震災の救出活動に従事した仙台市消防局にヒアリングを実施した。要救助者を検索する際は、震災直前の居住者の有無の情報が必要であり、生き埋めになった大まかな場所の情報が重要であることがわかった。また、室内の什器配置などの居住環境や居住者が避難をしたかなどの情報が必要であることがわかった。これは、範囲を絞り込むことで、生き埋めになった要救助を検索するためのファイバースコープや二酸化炭素濃度測定器装置、地中探査装置などを効果的に配置することができるためである。その他の情報としては、救助に当たる隊員の二次災害の防止のために、危険物などの情報が事前にわかることが重要であることもわかった。上記から本システムに基本情報を入力することにより解決することがわかった。また、共助、公助の連携を効果的にするために、要救助者の情報をいち早く情報提供する仕組みの重要性がわかった。

情報提示方法については、消防隊員の装備の関係から携帯端末では手が塞がってしまう問題があることがわかった。しかしながら、要救助者の場所を AR で視覚的にわかることについては、ヒアリングの中で有効であることがわかった。

(4)室内の実被災状況を含めた被災地全域の情報提示方法について

(1)で把握した室内被害情報及び要救助者の情報は、マルチキャストによる情報共有を行い、震災後に即時の被災地全域の被害把握するためのシステムを構築した(写真4)。

上記の他に、消防隊員による要救助者の支援としてカメラ付き携帯端末等を利用した AR による提示について検討を行った。AR のシステムは、汎用的に使用されている Layer (<https://www.layar.com/>) を用いて検討を行った。室内の被災情報を視覚的にわかりやすくするために、要救助者が居る建物の場所を AR で示すと共に、建物の階数をアイコン化し、要救助者がどこの階にいるかを示すようにした(写真5)。また、災害対策本部を想定し、携帯端末だけではなく、ウェブブラウザ上でも閲覧が可能にするために地図上に要救助者の位置を表示できるようにした(写真6)。AR 及びウェブのシステムは、細川ら(2011)で開発したシステムを改良して

実現したものである。

上記の他に要救助者の位置を特定するための機能として、(1)で用いた汎用ノート PC に内蔵されている無線 LAN 機能をアドホック通信モードに切替え、携帯情報端末の無線 LAN で取得する機能も付け加えた。

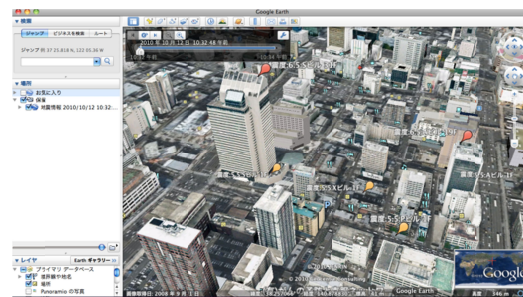


写真4 被災地全域の室内被害状況の表示システム

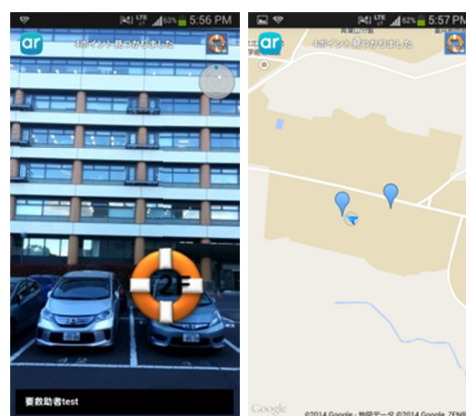


写真5 携帯端末による表示例(左:ARによる要救助者の位置情報,右:地図表示による要救助者の位置情報)



写真6 ウェブブラウザ上で要救助者の位置を表示した例

(5)まとめ

本研究課題では、センサー群の重合処理による室内被害把握から要救助者の救助のための支援ツールの開発まで行った。これらについては、今後も研究を継続させ、更なる精度向上を図る予定である。

5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計5件)

Akihiro Shibayama, Susumu Ohno, Tohru Okamoto, Development of Immediate Earthquake Intensity

Information Aggregation System Using  
Various Sensors and IP Multicast , 15th  
World Conference on Earthquake

Engineering, 査読有, Paper No. 2011, 2012

柴山明寛, 岡元徹, 大野晋, 妹尾一弘, 滝澤修  
ノート PC 内臓加速度センサーとマルチキャスト通信を利用した即時震度情報収集システムの開発, 日本地震工学会論文集, 査読有, 11(4), 17-33, 2011

細川直史, 武原靖, 柴山明寛, 拡張現実(AR)を用いた現位置における防災情報可視化の試み, 消防研究所報告, 査読有, 111, 1-6, 2011

柴山明寛, 大野晋, 簡易加速度センサーを利用した即時震度情報収集システムの開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読無, (B-2), 977-978, 2011

岡元徹, 柴山明寛, 大野晋, 汎用端末の内蔵センサー群を活用した即時被害把握システムの開発, 東北地域災害科学研究, 査読無, 47, 41-46, 2011

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柴山 明寛 (AKIHIRO SHIBAYAMA)

東北大学・災害科学国際研究所・准教授

研究者番号: 80455451