

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月26日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06642

研究課題名（和文）多様な災害に対応する避難行動モデルの精緻化とロバストな避難安全性の評価

研究課題名（英文）Refinement of Evacuation Behavior Model Capable of Various Disaster and Evaluation of Evacuation Safety and Robustness

研究代表者

安福 健祐（Yasufuku, Kensuke）

大阪大学・サイバーメディアセンター・講師

研究者番号：20452386

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：複数の災害シナリオを考慮した最適な避難誘導方法を検討するために、避難行動データの収集、精緻な避難行動モデルの検討、地下空間をケーススタディとしたシミュレーションによる避難安全性の評価を行った。その成果として、夜間津波避難に避難行動を分析したところ、誘導灯の寸法や光量が大きくなるに伴い総歩行時間が短くなる傾向などを明らかにした。また、大規模地下空間の避難では、最短経路に加えて混雑を回避するような経路選択を考慮することで、火災時、浸水時ともに、避難場所が分散されて使われるようになり、避難場所数に応じた避難時間に近づいた。さらに一部の避難者を特定の避難場所に誘導することで、避難時間が短縮できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

夜間津波避難の避難行動実験分析から、津波避難誘導灯の寸法や光量による誘導効果の特性を明らかにしており、実際に津波避難誘導灯を設置する際の指標として応用できる成果が得られた。また、避難シミュレーションを用いて、火災と浸水を考慮した地下空間からの避難安全性を検討した結果は、各災害に応じた避難誘導計画の検証や立案を支援できる可能性が示されており、ともに社会的意義を有している。さらに、今後の避難シミュレーション開発においてより精緻な避難行動モデルを構築する上で、避難者の視覚のうち光学的流動を考慮するために必要となる空間分析ツールを開発できたことは学術的に意義がある。

研究成果の概要（英文）：In order to plan an optimal evacuation guidance method considering multiple disaster scenarios, we collected evacuation behavior data, examined a refined evacuation behavior model, and simulated evacuation safety in underground space as a case study. As a result of the analysis of evacuation behavior from a nighttime tsunami, it was clarified that the total walking time tended to be shortened as the size and the light quantity of the illuminated route sign increased. In addition, evacuation simulation of large underground spaces showed that the evacuation time tended to approach the time depending on the number of the exits by considering route selection to avoid congestion. Furthermore, evacuation time could be shortened by guiding some evacuees to specific exits.

研究分野：建築計画

キーワード：避難シミュレーション 防災 避難誘導 マルチエージェントシステム 浸水 地下空間

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) 巨大災害に対する防災・減災の取り組みは、ハード整備・ソフト施策を一体として進めていく必要があり、特にハードの抑止力を上回った場合の避難対策は重要である。東日本大震災後は、ハザードマップの更新、避難確保計画の見直しが進んでおり、以前から浸水時の危険性が指摘されている大規模地下街に対しては、平成 27 年 5 月の水防法改正により、地下街等における避難確保・浸水防止計画作成が義務化され、国土交通省では「地下街等に係る避難確保計画、浸水防止計画作成の手引き（案）（平成 27 年 7 月）」が作成、提供されている。一方で、想定する浸水区域や浸水深さは、津波、高潮、内水氾濫、外水氾濫によって異なり、水害以外にも、火災、テロ、群集事故、原子力災害等といった、近年多様化する災害に対して、綿密な避難確保計画を策定し、住民、利用者に対して周知・訓練を継続することが重要である。特に、不特定多数の人が利用する大規模施設において、複数の災害シナリオを考慮した避難確保計画を立案するには、避難誘導方法の違いをはじめ複雑な条件設定が必要となり、コンピュータを活用したシミュレーションが有効な手段の一つとなる。

(2) 避難シミュレーションで扱う人間の避難行動は、実際には不確定要素が多く、物理現象として一つの数理モデルで表現できる基礎方程式はない。そのため、避難行動モデルの妥当性確認については、現状、過去の災害事例調査、群集の観測、災害時を想定した避難行動実験の結果との比較によって再現性の確認が行われているが、標準化された方法や根拠となるデータは十分に整理がなされていないという意見がある。

2. 研究の目的

(1) 多様な災害シナリオに対応する避難行動モデルを開発するため、その初期段階として避難行動データを収集し、その特性を明らかにする。

(2) 精緻な避難行動モデルの開発に向けて、既往の避難行動モデルの特性を調査するとともに、人間の視覚をベースとしたモデル開発のための基礎技術を開発する。

(3) マルチエージェントベースの避難シミュレーションを利用して複数の災害シナリオを適用することで、建築・都市空間のロバストな避難安全性を評価し、避難誘導計画に資する。

3. 研究の方法

(1) 多様な災害の一つとして、夜間の津波避難を対象とし、南あわじ市で行われた夜間住民避難訓練、大規模可視化システムを用いた仮想災害環境下での被験者実験および想定観光客に対する避難行動実験を行い、その避難行動特性を分析する。

(2) 既往の避難行動モデルについてソフトウェア、文献調査を行い、その傾向を把握した上で、人間の視覚をベースとした避難行動モデルに着目する。人が空間を移動するときの視覚的变化と行動特性の関連を分析するため、光学的流動に着目した空間分析ツールの開発を行う。また、空間のスケール、肌理、色彩をパラメータとして制御できる仮想環境において、被験者の行動を評価する。

(3) 大阪市にある津波避難ビルを含む大規模施設を対象に、多様な災害シナリオを想定した避難シミュレーションを行うことで、施設の避難安全性能を総合的に評価する。災害シナリオとして、火災時は建物の外に避難するが、浸水時は建物内の 2 階以上に避難するため、災害によって避難方向および避難誘導を変更する必要がある。また、災害規模や発生位置に応じた情報伝達と避難開始のタイミング、避難経路の安全性についても条件設定を変えると、エージェントは、災害環境を知覚して、自身の安全が最大となるような判断を行い、避難経路を選択する。

4. 研究成果

(1) 南あわじ市において行われた住民避難訓練および想定観光客に対する避難行動実験は、南海トラフ地震等の巨大地震による津波が夜間に発生した場合を想定しており、津波避難誘導灯の試作機が設置されたエリアと設置されていないエリアの避難行動を比較分析した。その結果、地理不案内である想定観光客は、住民よりも誘導灯に気付く確率が低く、誘導灯の誘目性を高める必要性が生じた。ただし、誘導灯に気付いた被験者は、最も効率よく避難できたこと等、その効果についても確認した。

(2) 夜間の津波避難を想定して行われた仮想災害環境下での被験者実験は、津波避難誘導灯を設置した夜間街路の CG 画像（図 1）を大規模可視化システムに表示した主観評価を通して、避難行動特性を分析した。実験は、1 枚の CG 画像による絶対評価と、2 枚の CG 画像による一対比較により行った。その結果、誘導灯を高さ 2.5m に設置し、誘導灯下部にフラッシュライトを設定すると高い誘目性

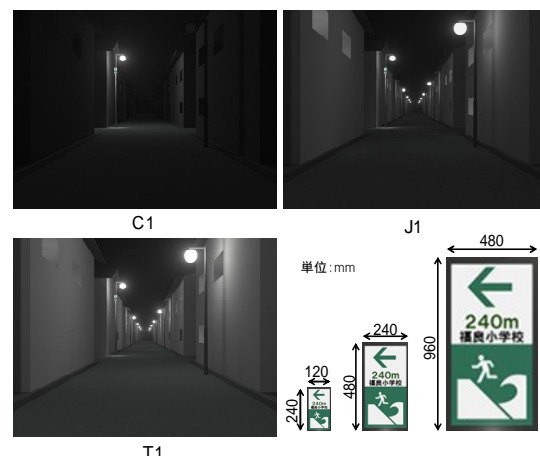


図 1 津波避難誘導灯を設置した夜間街路 CG 画像

と避難誘導効果がみられた。また、避難経路の選択傾向と誘導灯の気付きやすさに高い相関がみられた。

(3) 仮想災害環境下の実験結果を元に津波避難誘導灯を実際に製作し、建物が立ち並ぶ広大な私有地内にそれを設置して、地理に精通していない被験者が想定避難場所までの避難行動を分析した。その結果、建物が密集し経路が狭いところでは、誘導灯に気が付きにくく、想定した避難場所には最短経路で辿り着けないこと、高齢者、若年者にかかわらず、誘導灯の寸法や光量が大きくなるに伴い総歩行時間が短くなる傾向などを明らかにした。

(4) 国内外で提案されている避難行動モデルを研究開発段階の事例から実用化されたパッケージソフトウェアまで網羅的に調査し、「空間モデル」「経路選択モデル」「群集歩行（衝突回避）モデル」に分類し比較を行った。その結果、精緻な避難行動モデルとして人間の視覚を考慮したビジョンベースのモデル開発が進んでいることがわかった。

(5) 精緻な避難行動モデル構築の基礎研究として、人間の視覚における光学的流動に着目した空間分析ツールの開発を行った。本ツールを用いて、3D-CG を利用した透視投影図上で視点や対象物が動くことによる光学的流動を高速かつ正確に表現する手法を提案した（図 2）。また、本ツールの光学的流動の変化から、対象物への接触までの時間、遮蔽縁での可視面の消失割合、出現割合等の空間特性を定量化できることを示した。

(6) 人が空間を移動するときの視覚的变化と行動特性の関連を分析するため、光学的流動から空間の色彩、肌理に着目した没入型の仮想環境を構築した。さらに建築家ル・コルビュジエ設計のラ・ロッシュ邸と建築家ルイス・バラガン設計のヒラルディ邸を再現し、光源の種類、肌理や色彩をパラメータとして制御できる空間において、被験者に空間体験させてその空間容量認知の変化や印象の変化を評価した。その結果、ヒラルディ邸で色彩、肌理をなくした空間に変更すると、スケールを小さく把握する傾向などがみられた。また、色彩、肌理に関して SD 法による印象評価実験を行った結果、ラ・ロッシュ邸とヒラルディ邸で、色彩、肌理のパラメータ変化により、変化する印象に特徴があることを明らかにした。

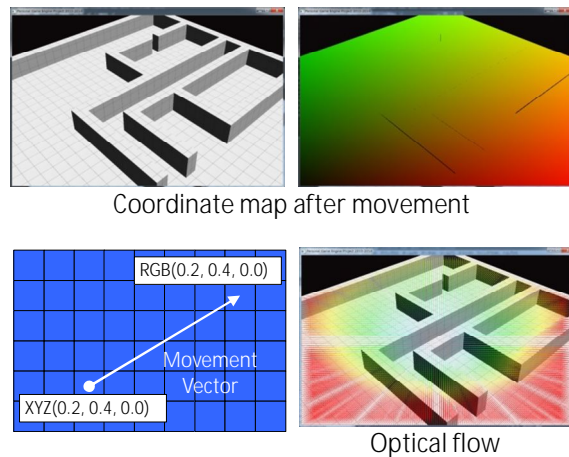
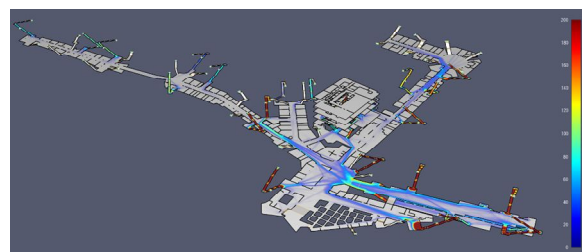
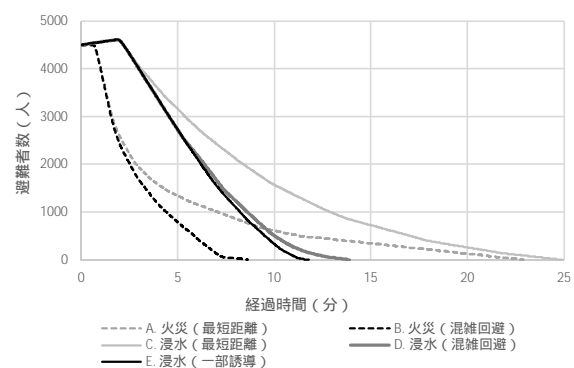


図 2 光学的流動の計算手法

(7) 建物からの避難を対象に、複数の経路障害が発生する場合を考慮した避難シミュレーションを行い、階避難時間、居室避難時間、廊下滞留人数等の様々な観点から避難安全性の評価ができるフレームワークを構築した。通行可能な居室出口の数と幅に変化はなくても、非常階段との位置関係や経路によって、避難者同士の合流が生じることで群集性状や避難時間に差が生じることがシミュレーションによって示された。

(8) 津波避難ビルを含む地下空間をケーススタディとして、多様な災害からの避難安全性の評価を行った。火災を想定した避難場所は地上に通じる出口および接続ビルの1階とし、浸水を想定した避難場所は接続ビルの3階とした。避難場所までの経路選択方法として、最寄りの避難場所まで最短経路で避難する「最短距離」に加えて、混雑を回避してより避難時間が短くなることが予測される避難場所を選択する「混雑回避」を設定した。さらに、より混雑が緩和されるよう一部の避難者をあらかじめ指定した経路で避難させる設定も行った。その結果、経路選択を混雑回避にすることで、最短距離では集中する避難場所を避けて、遠回りをしてでも避難時間の短縮が予測できる避難場所が選択され、火災時、浸水時ともに大幅な避難完了時間の短縮につながった（図 3）。火災時と浸水時の避難性状を比較すると、避難場所の数としては、火災時 51 箇所、浸水時 27 箇所と大きな差があるものの、経路選択が最短距離では両者に避難完了時間にそれほど大きな差はみられなかった。経路選択を混雑回避



避難シナリオE. 浸水（一部誘導）

図 3 地下空間避難シミュレーション結果

にすると、火災時、浸水時ともに、すべての避難場所が分散されて使われるようになり、避難場所数に応じた避難時間に近づいた。一方、混雑回避のアルゴリズムは完全に正確な時間予測は困難であったため、浸水時に一部の避難者を特定の避難場所に誘導することで、浸水時の混雑回避においても避難者の集中がみられた避難場所をさらに分散させることができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

Kensuke Yasufuku, Takuro Enomoto, Hirokazu Abe, Spatial Recognition Affected by Color and Texture in Architectural Space, Journal of Graphic Science of Japan, 査読有、Vol.52, No.4, 2018, pp.19 - 26

安福健祐、光学的流動に基づく建築空間分析ツールの開発、図学研究、査読有、51巻、3号、2017、pp.3 - 10

Kensuke Yasufuku, Yuki Akizuki, Akihiko Hokugo, Yoshio Takeuchi, Akira Takashima, Toshinari Matsui, Hiroataka Suzuki, Abel Táiti Konno Pinheiro, Noticeability of illuminated route signs for tsunami evacuation, Fire Safety Journal, 査読有、Vol.91, 2017, pp.926 - 936

安福健祐、VRウォークスルーシステムによる視覚的シーケンス分析ツールの開発、日本建築学会技術報告集、査読有、第23巻、第54号、2017、pp.637 - 641

安福健祐、マルチエージェントシステムによる歩行者行列の再現と追従行動が及ぼす群集流動の分析、日本建築学会計画系論文集、査読有、81巻、722号、2016、pp.821 - 829

〔学会発表〕(計5件)

安福健祐、マルチエージェントシステムによる複数の災害を考慮した地下空間最適避難誘導の検討、2019年度日本建築学会大会学術講演会、2019

安福健祐、マルチエージェントシステムを用いた最適避難経路選択の検討、2018年度日本建築学会大会学術講演会、2018

安福健祐、エージェントベースモデルによる避難シミュレーション精緻化の動向、九大IMI研究集会 防災・避難計画の数値モデルの高度化と社会実装へ向けて、招待講演、2017

安福健祐、津波避難誘導照明の仕様に関する基礎的研究 その1 CG画像を用いた誘導照明の誘目性評価実験、日本火災学会平成29年度研究発表会、2017

安福健祐、照明による津波避難誘導の効果に関する研究(その2)住民と想定観光客の避難行動特性分析、平成28年度(第49回)照明学会全国大会、2016

〔図書〕(計1件)

日本火災学会編(著者多数) 火災便覧 第4版、共立出版、2018、pp.1384 - 1388

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年:

国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.dma.jim.osaka-u.ac.jp/view?l=ja&u=848>

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。