

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 9 月 14 日現在

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350481

研究課題名(和文) マルチエージェント手法を用いた自律的避難支援システムの開発と有効性の評価

研究課題名(英文) An Autonomous Disaster Evacuation Assist System based on Multi-agent Technology

研究代表者

飯塚 泰樹 (IIZUKA, Yasuki)

東海大学・理学部・准教授

研究者番号：80580844

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：災害時の円滑な避難は被害を拡大させないために非常に重要である。しかし発災直後に、防災対策本部のような中央組織から誘導を行うことは事実上不可能である。そこで、現場の状況に応じた自律分散協調方式の避難誘導システムが必要になる。本研究では、避難者が持つスマートホンなどの携帯端末の計算資源だけを使った自律分散協調方式の避難誘導システムを提案し、これを実現するための技術的要件を検討するとともに、その計算方式に焦点をあてて研究を進めた。システムを実現した場合の効果について、大学のキャンパスからの避難を想定したマルチエージェントシミュレーション実験を試みた結果、避難完了時間を短くできることが確認できた。

研究成果の概要(英文)：In times of disaster, or other emergency situations, it is essential for people to be evacuated in a smooth manner. Evacuation must be performed promptly and safely. It is necessary to avoid generating a secondary disaster at the time of evacuation. However, this is not easy to realize, because people often tend to panic when faced with disaster, crowding the evacuation passageways of buildings. Therefore, evacuation guidance is very important. However, it is impossible to guide all evacuees through authorities such as disaster countermeasure offices. To deal with this issue, the authors propose a system that provides optimal evacuation guidance autonomously without central server. The system works on the mobile devices of evacuees, performs distributed calculations on ad-hoc communication. In the experiment using multi-agent simulation, for the case where the evacuees can receive evacuation guidance from this system, the evacuation completion time decreased.

研究分野：分散処理

キーワード：災害避難 避難支援システム 自律分散協調 シミュレーション 利用者調査

### 1. 研究開始当初の背景

災害が発生した時、人々が円滑に避難できることは非常に重要である。しかし一つの避難経路に多くの避難者が集中すれば、渋滞が発生し、避難時間は非常に長くなってしまう。そのため円滑な避難のためには適切な避難誘導が必要である。発災直後に防災対策本部のような中央組織が結成されることは期待できず、またそのような組織があったとしても全ての避難者の誘導を行うことは不可能である。避難誘導は、各現場での情報収集、調整、および意思決定が必要となるが、発災時の被災現場は混乱が発生することが多く、円滑な避難誘導はどのようにしても困難ということになる。

### 2. 研究の目的

災害時の避難誘導を、避難者自身が持つスマートフォン等の情報端末の自律分散協調計算により実現するシステムの実現を目指す。

すなわち、情報端末の位置情報などにより各自の避難経路を検索し、端末の位置の集中度から周辺の混雑を検知し、各自がどのような時間にどのような経路を通ることで渋滞の発生を抑えた避難ができるかを計算する。この計算を周辺の情報端末との通信により協調的に行う。そしてその計画された避難経路を利用者に提示することで、円滑な避難を実現することを目指す。この原理に基づいた避難誘導システムは、中央組織による意思決定を必要としないばかりではなく、サーバ計算機をも必要としない。すべての計算は利用者が持つ情報端末による自律分散協調計算で実現する。

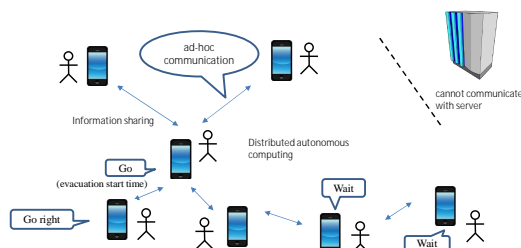


図1. システムの利用イメージ

### 3. 研究の方法

本研究はこのようなシステムを実現するための技術的課題の抽出と計算方法の妥当性に焦点を当てて研究を行う。

評価実験は、本来ならば多数の参加者を集めた実地シミュレーションを行うべきである。しかし避難経路に渋滞を発生させるほどの参加者を集めた実験は、膨大な費用と時間が必要となる。そのため本研究では、マルチエージェントシミュレーションを用いた評価実験を行うことにした。実験用のシミュレータは、避難者の動きだけでなく、システムの計算の部分も動作させる必要があったため、専用のシミュレータを開発し、これを用いた。

また、システムの有効性について、利用者の意識について調査を進めた。

### 4. 研究成果

本研究では最初に、自律分散協調による避難誘導を分散アルゴリズムで解くために、問題をモデル化し、アルゴリズム適用のフレームワークを定めた。同時に、避難誘導の計算を行うための情報端末の要件、ソフトウェアの機能要件などを明らかにした。

さらにシステムを実現した場合の効果をマルチエージェントシミュレーションを用いて評価した結果、次のような知見が得られた。

(1) 発災時に大学校舎から学生が避難するシナリオ(図2)では、一部の避難者のグループが避難開始タイミングを遅らせるように誘導することで(時間差避難の誘導を行うことで)、すべての避難者が避難を完了するまでの時間を1割程度短縮できることが確認できた。(図3)

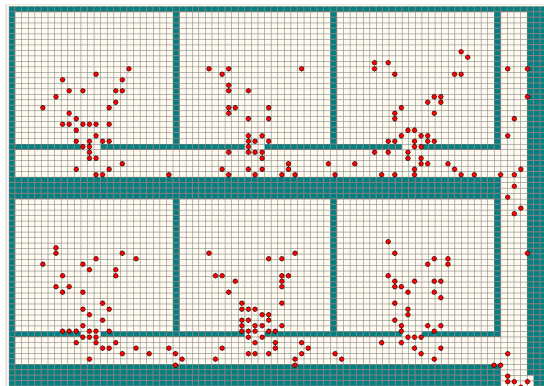


図2. マルチエージェントシミュレーション

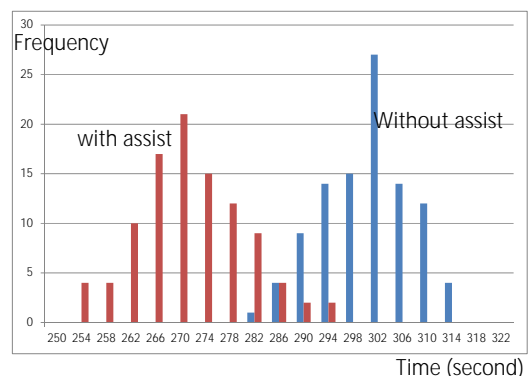


図3. 避難完了時間の頻度分布

(2) 災害避難という緊急の事態を想定した場合、端末間の自律分散協調計算による避難計画の作成は、長い計算時間を使って最適解をもとめるのではなく、短い計算時間で近似解を求めることが望ましい。本研究では近似解法を使った場合の影響を調べるためにシミュレーション実験を重ねた結果、近似解法を使って避難計画を立てても十分な効果が得られることが確認できた。(図4)

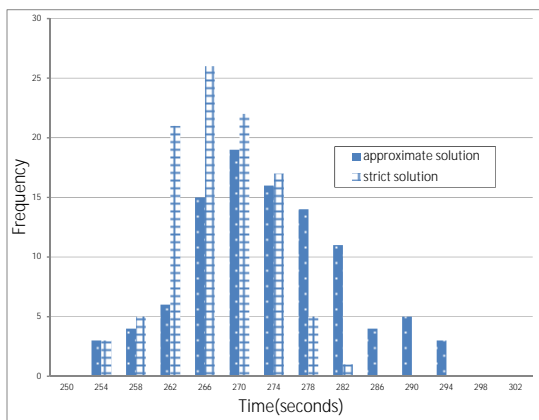


図 4. 近似解法を使った場合と完全解法を使った場合の避難完了時間の違い

(3) 複数の避難経路の選択可能な状況においては、避難者がどちらの避難経路を使うべきか迷い、結果として大きな混乱が発生する状況が存在する。シミュレーション実験では、このような状況で避難完了までにかかる時間の頻度分布がロングテールになることが観測された。しかし避難誘導システムを使うことで、このような混乱を避けられることが確認できた。(図5～図7)

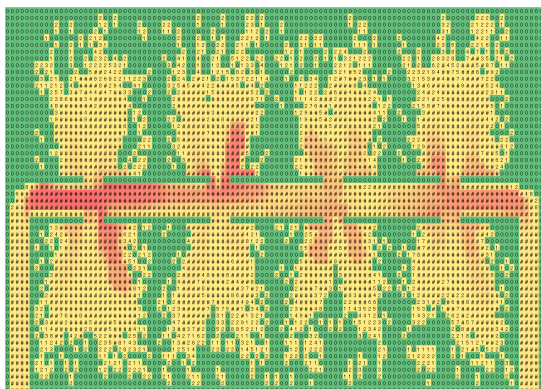


図 5. 誘導が無い場合の避難経路の混雑状況のヒートマップ

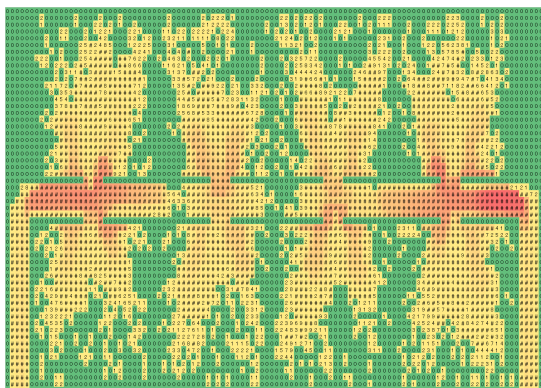


図 6. 誘導がある場合の避難経路の混雑状況のヒートマップ

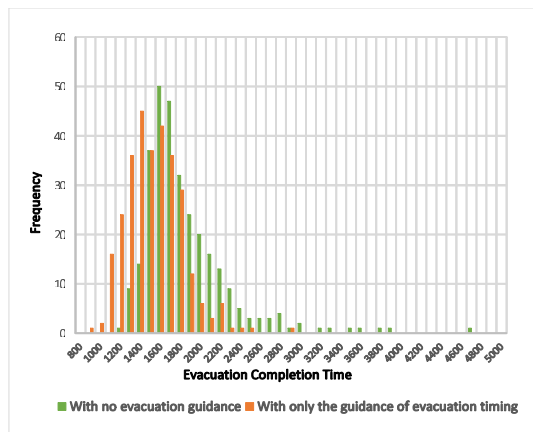


図 7. 誘導が無い場合の避難完了時間のロングテール現象と、誘導がある場合の避難完了時間の頻度分布

(4) 本研究で提案した避難誘導システムは避難開始タイミングを調整することで、避難経路の混雑を緩和し、避難完了にかかる時間を短縮することを目指した。この避難開始タイミングの調整を、避難経路が合流する場所での待ちに応用した実験についても試みた。しかし避難中に複数の避難者グループが追い抜きなどにより混じってしまうことから、比較的混乱が発生しにくいコンピュータシミュレーションの上でも精密な誘導は難しく、多段階の待ち指示を実施しても避難完了にかかる時間を短縮することが難しいことも判明した。

(5) 本研究では時間差避難により避難を円滑にするが、一部の避難者グループの避難開始タイミングを遅らせることについて理解が得られるか、インターネットを使った100人規模の利用者調査を行った。その結果、全体の避難時間を短縮できる効果が認知されていれば、利用者の理解が得られることが判明した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 9 件)

(1) Yasuki Iizuka, Katsuya Kinoshita, Kayo Iizuka, A Distributed Autonomous Approach to Developing a Disaster Evacuation Assist System, Journal of Disaster Research, 査読有, Vol.10, No.6, 2015, pp.1081-1090, DOI: 10.20965/jdr.2015.p1081

(2) Yasuki Iizuka, Katsuya Kinoshita, Kayo Iizuka, Agent Based Disaster Evacuation Assistance System, Information

Engineering Express International Journal, 査読有, Vol.1, No.2, 2015, pp.41-50

(3) Kayo Iizuka, Yasuki Iizuka, Evacuation Guidance Systems and Initial Response to Disaster, Evacuation Guidance Systems and Initial Response to Disaster, International Conference on Advances in Software, Control and Mechanical Engineering, 査読有, Vol.1 2016, pp.151-157

(4) Yasuki Iizuka, Kayo Iizuka, Disaster Evacuation Assistance System based on Multi-agent Cooperation, Proceedings of 48<sup>th</sup> Hawaii International Conference on System Sciences, 査読有, Vol.1 2015, pp.173-181, DOI:10.1109/HICSS.2015.30

(5) Yasuki Iizuka, Kayo Iizuka, Efficiency of the Agent Based Disaster Evacuation Assist System, Proceedings of Advanced Applied Information, 査読有, Vol.1, 2014, pp.459-463, DOI:10.1109/IIAI-AAI.2014.98

(6) Kayo Iizuka, Yasuki Iizuka, Consideration of Behavioral Psychological Issues for the Mobile Evacuation Guidance System, The Inaugural Asian Conference on the Social Sciences and Sustainability, 査読有, Vol.1, 2014, pp.109-114

(7) Yasuki Iizuka, Katsuya Kinoshita, Kayo Iizuka, Multiagent Approach for Effective Disaster Evacuation, Proceedings of International Conference on Agent and Artificial Intelligence, 査読有, Vol.2, 2014, pp.223-228, DOI:10.5220/0004905002230228

(8) Katsuya Kinoshita, Kayo Iizuka, Yasuki Iizuka, Effective Disaster Evacuation by Solving the Distributed Constraint Optimization Problem, Proceedings of IIAI International Conference on Advanced Applied Informatics, 査読有, Vol.1, 2013, pp.399-400, DOI:10.1109/IIAI-AAI.2013.40

(9) Kayo Iizuka, Yasuki Iizuka, Functional Requirements for Psychological Factors on Evacuation Modeling and Simulation, Proceedings of International Conference on Engineering and Applied Science, 査読有, Vol.1, 2013, pp.1668-1669

〔学会発表〕(計 2 件)

(1) 飯塚佳代, 避難誘導システムの有効性についての考察, 電子情報通信学会総合大会, 2016/3/16, 九州大学(福岡)

(2) 木下克也, 飯塚泰樹, 災害避難への分散制約最適化手法の適用, 情報処理学会全国大会, 2014/3/12, 東京電機大学(東京)

〔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

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

飯塚泰樹 (IIZUKA, Yasuki)  
東海大学理学部・准教授  
研究者番号: 80580844

### (2) 研究分担者

飯塚佳代 (IIZUKA, Kayo)  
専修大学ネットワーク情報学部・教授  
研究者番号: 80433861

### (3) 連携研究者

竹内郁雄 (TAKEUCHI, Ikuo)  
東京大学・名誉教授  
研究者番号: 90293109

### (4) 研究協力者

吉田享子 (YOSHIDA, Junko)  
専修大学ネットワーク情報学部・教授  
研究者番号: 00337643