

## 論文内容の要旨

博士論文題目 混雑度・災害弱者・家族構成を考慮した  
避難所決定シミュレーションに関する研究

氏名 田中 智基

### (論文内容の要旨)

地震等の突発的な災害時において、帰宅困難者及びそれらの数に相当する被災者の安全を確保するため、避難所の提供、避難所に対し被災者の適切な分配、誘導は災害対策の最も基本的な方針である。避難所の決定の問題は、収容可能人数を制約とし被災者の避難時間を最小化することが目的化される。その中で、帰宅困難者を対象とし、被災者の位置情報を取得できる前提の下、ナップサック問題の考えを利用し、ヒューリスティックに避難先を決定する手法が存在する。しかしながら、避難状況は移動中の混雑や、被災者自身の属性、特徴、社会的関係が大きく影響することが考えられ、帰宅困難者の対策においてもそれらの問題が指摘されている。本研究は、被災者の発生に伴う複数の問題に対応するため、上記の避難所決定手法をベースラインとした新たな避難所決定手法の提案をする。また、提案する手法はそれぞれ効果を検証するため、30,000人規模の避難を想定したシナリオのマルチエージェントシミュレーションを実施し、避難完了時間などを測定し、既存手法と比較した。本論文で取り扱う課題は以下の通りである。課題1は避難行動によって発生する道路上の混雑及びその影響を緩和できるように避難所を決定すること、課題2は高齢者や身体障害者などの災害弱者が避難行動中に被る身体的負荷を軽減が可能となるように避難所を決定すること、課題3は家族の世帯構成員が離れている状態で構成員同士を避難所に合流させることを目的とする。課題1に対しては、混雑の影響を推定する手段としてシミュレーションを利用し、その結果を反映した上で避難所の再決定を行う。この手順を反復することで、移動中の混雑とその影響を軽減した避難所決定の解を出力している。全体避難完了時間を約12%削減し、移動中の平均混雑度数が24%から32.5%、最大混雑度数が24.2%から57.8%減少する結果が得られた。課題2に対しては、被災者を健常者と災害弱者の2つに分類し、尚且つ被災者が指示に従わない行動する可能性を想定する。これにより、災害弱者への優先性と避難所の割り当て人数に制限を設けた上で避難所の決定を行う。更に、シミュレーションを活用することでたらい回しが発生する避難所を特定し、避難所に訪れる人数の想定に合わせて制限する手法を提案する。実験の結果、健常者による避難指示に対して一定の貢献が担保される場合において、災害弱者の避難時間を下回ることが可能になると伺えた。課題3に対して、ベースラインの手法を複数人ごとで避難所を決定するように拡張し、世帯ごとの避難所までの予想避難時間について、異なる複数の設定を考案し、それぞれの設定による避難完了時間結果を比較した。考案した設定は一般的な避難方針にて採用されている「自宅に近い場所に集まる」を参考にした「自宅基準時間設定」を基準として、被災者の分布に応じた複数のパターン「最大避難時間設定」「最小避難時間設定」「平均避難時間設定」の4つとなる。世帯構成データを用いたシミュレーションを行った結果、「自宅基準設定」と比較して「平均避難時間設定」で平均避難完了時間が約23%、「最大避難時間設定」で全体避難完了時間が約22%削減する結果となった。一方、ベースラインである個人ごとの避難所決定と比較した場合、提案手法は全体避難時間が63%以上増加するのに対し、ベースラインの手法は複数の構成員を持つ世帯の集合率が約23.6%であるという、避難完了時間と世帯集合のトレードオフの関係が伺えた。

## (論文審査結果の要旨)

大規模災害時において、被災者を避難所に対し適切に分配・誘導することは災害対策において極めて重要である。本論文では、災害時の避難誘導における3つの課題：(課題1) 避難行動によって発生する道路上の混雑及びその影響を緩和できるように避難所を決定すること、(課題2) 高齢者や身体障害者などの災害弱者の避難行動による身体的負荷をできるだけ軽減するように避難所を決定すること、(課題3) 家族の世帯構成員が離れている状態で構成員同士を避難所に合流させること、の解決に取り組んだ。

本研究の学術的貢献は以下のとおりである。

- (1) 課題1 に対し、混雑の影響を推定するシミュレーションの結果を反映した上で避難所の再決定を行う手法を考案し、全体避難完了時間を約12%削減し、移動中の混雑度を平均24%~32.5%削減した。
- (2) 課題2 に対し、被災者を健常者と災害弱者の2つに分類し、災害弱者への優先性と避難所の割り当て人数に制限を設けた上で避難所の決定を行う手法を考案し、一定の有効性を示した。
- (3) 課題3 に対し、世帯ごとに同じ避難所に避難する際の予想避難時間について複数の異なるシナリオを想定し避難完了時間結果を比較した結果、「自宅基準設定」と比較して「平均避難時間設定」で平均避難完了時間が約23%、「最大避難時間設定」で全体避難完了時間が約22%削減した。

全体として、本論文は、様々な現実的な制約を考慮した避難所への避難誘導方式を提案しシミュレーションによりその効果を示しており、本分野において十分な学術的新規性を有していることを確認した。以上より、本論文は、博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。